

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ. 55

Ημερομηνία 7-10-2004

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**

**ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΝΤΑΣΙΟΥ ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

ΘΕΜΑ : ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΟΡΓΟΥ



ΒΟΛΟΣ 2004



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 4176/1
Ημερ. Εισ.: 10-12-2004
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2004
ΝΤΑ

Τριμελής Επιτροπή

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία, Καθηγήτρια Π.Θ. (Επιβλέπουσα Καθηγήτρια)

Κίττας Κωνσταντίνος, Καθηγητής Π.Θ.

Σφουγγάρης Αθανάσιος, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΣΟΡΓΟ.....	7
2.1. Γενικά.....	7
2.2. Βοτανικοί χαρακτήρες.....	7
2.3. Οικολογία	9
2.4. Καλλιέργεια	10
2.5. Προϊόντα	12
2.6. Παραγωγή ενέργειας.....	13
3. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΑ	15
3.1. Γενικά.....	15
3.2. Βασικά χαρακτηριστικά στάγδην άρδευσης	16
3.3. Πλεονεκτήματα	17
3.4. Μειονεκτήματα	20
3.5. Γενική σύνθεση συστήματος στάγδην άρδευσης	21
3.6. Διάταξη και εγκατάσταση δικτύου	23
4. ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ	28
4.1. Γενικά.....	28
4.2. Γενική σύνθεση συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης	30
4.3. Διάταξη και εγκατάσταση δικτύου	30
4.4. Πλεονεκτήματα	31
4.5. Μειονεκτήματα	32
5. ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟΣ ΕΚΤΟΞΕΥΤΗΡΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΕΩΣ.....	33
5.1. Γενικά.....	33
5.2. Χαρακτηριστικά συγκροτήματος.....	33
5.3. Διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συγκροτήματος.....	34
5.4. Σχεδιασμός του κατάλληλου συγκροτήματος	34
6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ	35
6.1. Γενικά.....	35
6.2. Οριοθέτηση.....	35
6.2. Κατεργασία εδάφους	35
6.3. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά.....	36

7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	38
7.1. Υλικά άρδευσης	38
7.2. Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος	40
7.3. Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης.....	42
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	50
8.1. Κλιματικά δεδομένα	50
8.2. Υγρασίες εδάφους μετά την άρδευση.....	52
8.3. Φυλλική επιφάνεια (LAI).....	55
8.4. Παραγωγή βιομάζας	57
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	69

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Το θέμα της πτυχιακής δόθηκε από τη Καθηγήτρια τμήματος, κυρία Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη την οποία ευχαριστώ ιδιαίτερα για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη τη πορεία της, καθώς επίσης και για τη πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή της στην επίλυση των θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά καιρούς. Επίσης την ευχαριστώ για την ηθική της υποστήριξη και κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Τον Καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Κίττα και τον Επίκουρο Καθηγητή Αθανάσιο Σφουγγάρη ευχαριστώ θερμά για την επικοδομητική κριτική και το χρόνο που αφιέρωσαν για την ανάγνωση και διόρθωση της πτυχιακής διατριβής.

Επίσης η παρούσα διατριβή ήρθε εις πέρας χάρις στο πνεύμα συνεργασίας και στη φιλική διάθεση που έδειξαν οι κύριοι: Νίκος Παπανίκος, Τέντας Ιωάννης και οι εργαζόμενοι και εργαζόμενες στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

Τέλος αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστίσω τους γονείς μου Γεώργιο και Αικατερίνη για τη συμπαράσταση που επέδειξαν κατά την εκπόνηση αυτής της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διερευνήθηκε η ανάπτυξη και η παραγωγή του ινώδους Σόργου ως ενεργειακού φυτού (*Sorghum bicolor L.*), υπό την επίδραση τριών μεθόδων άρδευσης, ήτοι της άρδευσης με κανόνι βροχής, της επιφανειακής στάγδην άρδευσης και της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Για τους σκοπούς αυτούς έγινε πείραμα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το έτος 2001, με 4 μεταχειρίσεις και 4 επαναλήψεις, συμπεριλαμβανομένου και του μάρτυρα (χωρίς άρδευση). Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α και με την αυτόματη ενεργοποίηση προγράμματος άρδευσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν υπεροχή της υπόγειας στάγδην άρδευσης έναντι των υπολοίπων, με μεγαλύτερους ρυθμούς ανάπτυξης και μεγαλύτερη τελική απόδοση σε χλωρή και ξηρή

βιομάζα καθιστώντας φανερή τη δυναμική του ινώδους Σόργου ως εναλλακτικής καλλιέργειας για τη παραγωγή βιομάζας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αλλαγή στρατηγικής της ΕΕ και της παγκόσμιας κοινότητας πάνω σε θέματα περιβάλλοντος έκανε επιτακτική την ανάγκη διεύρυνσης μεθόδων 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 τη τελευταία δεκαετία μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στη παραγωγή ενεργειακών φυτών όπως το καλαμπόκι, το βαμβάκι, η ρετσίνολαδία, το σόργο κ.ο.κ.

Το σόργο (*Sorghum bicolor*) ειδικότερα είναι φυτό μονοετές, μικρής φωτοπερίόδου και ανήκει στη 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). Είναι ανθεκτικότερο στην έλλειψη νερού σε σχέση με τις υπόλοιπες εαρινές καλλιέργειες αφού κάτω από συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας αναστέλει την ανάπτυξή του αλλά δεν ξηραίνεται ούτως ώστε να συνεχίσει την ανάπτυξή του όταν οι συνθήκες το επιτρέψουν. Ενδεικτικά μπορούμε να πούμε ότι με μέτρια ποσά άρδευσης (200-300 mm/έτος) έχουν σημειωθεί παραγωγικότητες που υπερβαίνουν τους 3,5 t/στρ σε ξηρή ουσία ή τους 1,4 t ισοδύναμου πετρελαίου (Δαναλάτος, αδημοσίευτα αποτελέσματα). Πιστεύεται επομένως ότι μπορεί ν' αποτελέσει βασική εναλλακτική καλλιέργεια μειωμένων εισροών στα πλαίσια της αειφορικής γεωργίας και είναι δυνατό να εισέλθει σε αμειψισπορά με παραδοσιακές ενεργοβόρες καλλιέργειες ειδικά σε περιοχές όπου νερό καλής ποιότητας είναι πολύ περιορισμένο. Στη περίπτωση αυτή η καλλιέργεια θα πρέπει να αρδεύεται με τα υπάρχοντα συστήματα μεγάλης εξοικονόμησης νερού και μειωμένων απωλειών όπως είναι τα συστήματα στάγδην άρδευσης.

Η εξάπλωση της άρδευσης με σταγόνες στη χώρα μας άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του 80' κυρίως σε καλλιέργειες οπωροφόρων και αμπέλου, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται κατα κόρον και για την άρδευση του βαμβακιού σε πολλές περιοχές της χώρας (Danalatos, 1993). Σε αυτήν οφείλεται η αύξηση της καλλιεργήσιμης έκτασης με βαμβάκι από 1600 km² στα τέλη της δεκαετίας του 80' σε άνω των 4000 km² σήμερα (Οργανισμός βάλβακος, 2001).

Μια σύγχρονη μέθοδος στάγδην άρδευσης είναι η υπόγεια άρδευση με σταγόνα. Η μέθοδος αυτή κερδίζει έδαφος σε αρκετό ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων ανά το κόσμο. Το 1986 ο Phene σε πειράματα τομάτας αυξάνει τη μέση παραγωγή, από 30 t/acre με τη

χρήση παραδοσιακών μεθόδων επιφανειακής άρδευσης, σε 50 έως 60 t/acre με την υπόγεια άρδευση. Μελετώντας στη βόρεια και νότια Ιταλία την επίδραση της υπόγεια άρδευσης σε ζαχαρότευλα οι Amaducci *et al.*, το 1989 παρατήρησαν αύξηση της συνολικής παραγωγής ζάχαρης. Το 1993 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά το Trifluralin-5 στην υπόγεια άρδευση ως ριζοαπωθητικό. Το 2000 οι Sakellariou-Makrantonaki *et al* παρατηρούν αύξηση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευλων και αύξηση του ζαχαρικού τίτλου αυτών συγκρίνοντας την υπόγεια μέθοδο άρδευσης με αυτήν της επιφανειακής. Οι Shani *et al.*, (1996) απέδειξαν ότι η παροχή του σταλάκτη εξαρτάται από τη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους. Με την εφαρμογή της μεθόδου στη δυτική ακτή των ΗΠΑ κυρίως για άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών, έχουμε ταχεία εξάπλωση αυτής ανά το κόσμο.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κρίνεται απαραίτητη η μελέτη της επίδρασης σύγχρονων μεθόδων άρδευσης, όπως η επιφανειακή και η υπόγεια άρδευση με σταγόνες, στην αύξηση και ανάπτυξη των ενεργειακών φυτών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα κατά το οποίο διερευνήθηκε η ανάπτυξη και η παραγωγή ινώδους σόργου (*Sorghum bicolor* L.) ποικιλίας FS-5 ως ενεργειακού φυτού κάτω από συνθήκες αγρού στη κεντρική Ελλάδα το έτος 2001, χρησιμοποιώντας ένα τυχαίοποιημένο σχέδιο τεμαχίων με τέσσερις επεμβάσεις σε τέσσερις επαναλήψεις. Οι επεμβάσεις περιελάμβαναν τρεις διαφορετικές μεθόδους άρδευσης (άρδευση με καταιονισμό με αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα υψηλής πίεσεως, επιφανειακή στάγδην άρδευση, υπόγεια στάγδην άρδευση) και μία ξηρική καλλιέργεια ως μάρτυρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν σαφή υπεροχή της υπόγεια στάγδην άρδευσης έναντι των άλλων μεθόδων με μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και σημαντικά μεγαλύτερη τελική απόδοση ξηρής βιομάζας, ενώ παράλληλα επιτεύχθηκε και σημαντική εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, καθιστώντας φανερό τη δυναμική του ινώδους σόργου ως εναλλακτικής καλλιέργειας παραγωγής βιομάζας.

2. ΣΟΡΓΟ

2.1 Γενικά

Το σόργο πιθανόν κατάγεται από την ανατολική και κεντρική Αφρική και εξημερώθηκε από αρχαιοτάτων χρόνων. Ενώ η καλλιέργεια του σόργου αρχικά περιοριζόταν στις χώρες της Αφρικής και της Ασίας, τελευταία έχει διαδοθεί στις περισσότερες χώρες του κόσμου αντικαθιστώντας τον αραβόσιτο σε περιοχές με ανεπαρκή βροχόπτωση και πολύ υψηλή θερμοκρασία.



Η κύρια παραγωγή του σόργου συγκεντρώνεται στις χώρες της Ασίας (Κίνα, Ινδία, Μαντζουρία, Ιράν, Τουρκία, Πακιστάν, Κορέα) και της δυτικής Αφρικής. Άλλες χώρες με σημαντική καλλιέργεια σόργου είναι οι ΗΠΑ, Αυστραλία και η κεντρική και νότια Αμερική ενώ στην Ευρώπη το σόργο έχει πολύ μικρή εξάπλωση.

Ο καρπός του σόργου χρησιμοποιείται για τη διατροφή του ανθρώπου σε ορισμένες χώρες (Αφρική, Κίνα, Ινδία), κυρίως όμως χρησιμοποιείται για τη διατροφή των ζώων.

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

2.2 Βοτανικοί χαρακτήρες

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

Το γένος αυτό χαρακτηρίζεται από φυτά μόνουκα, μονόκλινα ή δίκλινα, αλλά και από φυτά με τα δύο είδη ανθέων. Η ταξιανθία του σόργου είναι φόβη. Κάθε γόνιμο άνθος αποτελείται από τα λέπυρα, δύο γλωχίνες, τρεις στήμονες και τον ύπερο. Ο ύπερος

αποτελείται από μονόχωρο ωσθήκη και δύο στύλους. Τα λέπυρα είναι παχιά, σκληρά και φέρουν τρία δόντια στα άκρα (ενίοτε άγανα) και τα σταχίδια είναι διανθή με ένα γόνιμο άνθος.

2.2.1 Ανάπτυξη

Το φύτευμα και η ανάπτυξη του καλλιεργούμενου σόργου ακολουθεί πορεία περίπου ίδια με αυτή του αραβοσίτου. Τα στελέχη και τα φύλλα μοιάζουν πολύ με τα αντίστοιχα του αραβοσίτου. Τα φυτά φτάνουν, ανάλογα με τη ποικιλία και τις συνθήκες του περιβάλλοντος, σε ύψος 1,2-5,5 μ., είναι μόνονικα, μονόκλινα, η ταξιανθία είναι φόβη και εκφύεται στη κορυφή, αποκτώντας μήκος (ανάλογα με το είδος) από 20-70 εκ.

Η άνθηση γίνεται συνήθως τη νύκτα ή τις πρωινές ώρες, διαρκεί 6 με 12 ημέρες ή με δροσερό καιρό μέχρι 15 ημέρες. Το σόργο είναι φυτό ανεμόφιλο και σταυρογονιμοποιείται ή αυτογονιμοποιείται (κατά ίσες αναλογίες). Ο κόκκος είναι περίπου σχήματος σφαιρικού έως πεπλατισμένου, λευκού, κίτρινου ή ερυθρού χρώματος και ποικίλου μεγέθους (1000 κόκκοι ζυγίζουν από 7-10 γραμμάρια).

Η σύσταση του κόκκου είναι παρόμοια με αυτή του αραβοσίτου. Περιέχει περισσότερη πρωτεΐνη (κατά μέσο όρο 12%), λιγότερα έλαια (3%), γύρω στο 70% υδατάνθρακες και μικρή περιεκτικότητα βιταμινών.

2.2.2 Ταξινόμηση

Τα κυριότερα είδη σόργου είναι τα εξής: *Sorghum versicolor*, *S. bicolor*, *S. halepense* και *S. virgatum*, συγγενές του *S. sudanense* (Διαμάνης, 1983).

Οι καλλιεργούμενοι τύποι του *S. bicolor* ταξινομούνται γεωργικώς ως εξής:

Σακχαροφόροι. Χρησιμοποιούνται για εξαγωγή χυμού και για ενσίρωση.

Καρποδοτικοί. Πρόκειται για ποικιλίες χονδροστέλεχες. Οι τύποι Kafir είναι χαμηλόσωμοι, Milo υψηλόσωμοι και Dura μετρίου ύψους με μικρό αδελφωμα.

Χορτοδοτικοί. Περιλαμβάνει διάφορες ποικιλίες διάφορες ποικιλίες με λεπτό στέλεχος, ύψους μέχρι 2,5 μ., με άφθονο φύλλωμα και πλούσιο αδελφωμα. Δεν περιέχουν HCN και ως εκ τούτου θεωρούνται κατάλληλα για κατανάλωση σε χλωρή κατάσταση και ενσίρωση. Κόβεται 2-4 φορές ετησίως, λόγω δε της μεγάλης παραγωγικότητας, των καλλιεργητικών φροντίδων, της συγκομιδής, της μεταχειρίσεως και χρησιμοποίησε του προϊόντος στη κτηνοτροφία, θεωρείται ότι αποτελεί τη μηδική των αγροστωδών.

Σκούπα. Καλλιεργείται στην Ελλάδα για καρπό και κατασκευή σαρώθρων, ιδιαίτερα στο νομό Έβρου.

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

2.3 Οικολογία

2.3.1 Κλίμα

Το σόργο προέρχεται εκ της τροπικής ζώνης και θεωρείται φυτό θερμών και ξηρών περιοχών. Λόγω της προέλευσής του είναι φυτό βραχείας φωτοπεριόδου.

2.3.2 Θερμοκρασία

Το σόργο φυτρώνει στους 7 με 10 °C ενώ η ανάπτυξή του απαιτεί θερμοκρασία μεγαλύτερη των 16 °C και γενικώς απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες. Επομένως οι καλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται με μέση θερμοκρασία Ιουλίου 27-29 °C, ενώ σπέρνεται περίπου δύο εβδομάδες οψιμότερα του αραβοσίτου. Λόγω των υψηλών απαιτήσεών του σε θερμοκρασία, μόνο ένα μέρος της καλλιεργητικής περιόδου ελεύθερης από παγετούς δύναται να χρησιμοποιηθεί για τη καλλιέργειά του.

Οι απαιτήσεις του σόργου σε βλαστική περίοδο ανέρχονται στις 100-120 ημέρες. Υπάρχουν εν τούτοις και βιότυποι μικρότερων απαιτήσεων, καθώς επίσης δύναται να μειωθεί η απαιτούμενη βλαστική περίοδος, όταν αυξηθούν οι θερμοκρασίες και μειωθεί η φωτοπερίοδος.

2.3.3 Βροχόπτωση

Το σόργο έχει μεγάλη αντοχή στη ξηρασία. Η αντοχή του αυτή φαίνεται να οφείλεται στο πλούσιο ριζικό σύστημα, τη μειωμένη φυλλική επιφάνεια, την ανατομική κατασκευή των φύλλων κτλ. Κατά τη περίοδο της ξηρασίας τα φυτά διατηρούνται σχεδόν σε κατάσταση ληθάργου και αναλαμβάνουν αμέσως μόλις εξασφαλισθεί η απαραίτητη υγρασία στο έδαφος. Σε αυτή του την ιδιότητα οφείλει κατά μεγάλο μέρος την επιβίωσή του σε ξηρές καλλιεργητικές περιόδους και δικαίως αποκαλείται για αυτό καμήλα των φυτών μεγάλης καλλιέργειας. Ξηρασία κατά τη κριτική περίοδο όχι μόνο δεν εκμηδενίζει τη παραγωγή, όπως συμβαίνει στη περίπτωση του αραβόσιτου, αλλά είναι ικανό να αναλάβει και να αποδώσει

καρπό. Ακόμη και αν το κεντρικό στέλεχος δεν επανέλθει μετά από περίοδο ξηρασίας είναι ικανό να αναπτύξει νέους βλαστούς ώστε τελικά να δώσει μια μέτρια παραγωγή.

Η αντοχή του αυτή το καθιστά υποκατάστατο του αραβόσιτου εάν επικρατούν δυσμενείς κλιματικές συνθήκες. Εν τούτοις ικανοποιητική παραγωγή δύναται να ληφθεί μόνο κατόπιν άρδευσης ή σε περιοχές με θερινή βροχόπτωση και συνολικό ετήσιο ύψος βροχής 350-650 mm.

Η κατανομή βροχοπτώσεων στην Ελλάδα ευνοεί την καλλιέργεια των χειμερινών σιτηρών εφ' όσον δεν υπάρχει δυνατότητα άρδευσης. Με άρδευση και εδάφη γόνιμα ο αραβόσιτος πλεονεκτεί των άλλων σιτηρών. Σε εδάφη πτωχά ή μέτριας γονιμότητας και περιορισμένης δυνατότητας άρδευσης το σόργο δύναται να αντικαταστήσει τον αραβόσιτο.

Η αντικατάσταση αυτή του αραβόσιτου επιβάλλεται στη περίπτωση επίσπορης καλλιέργειας όπου οι θερμοκρασία λόγω εποχής είναι οριακή για την ανάπτυξη του αραβόσιτου ενώ ευνοούν την ανάπτυξη του σόργου. Σε αυτή τη περίπτωση είναι επιθυμητή η χρησιμοποίηση πρώιμων υβριδίων σόργου, όταν πρόκειται περί καρποδοτικής καλλιέργειας.

2.3.4 Έδαφος

Οι εδαφικές απαιτήσεις του σόργου είναι επίσης μικρές. Αποδίδει σχετικά καλά σε πτωχά εδάφη και ανέχεται τα σχετικώς αλατούχα ή αλκαλιωμένα εδάφη.

2.4 Καλλιέργεια

2.4.1 Προετοιμασία του εδάφους

Οι καλλιεργητικές εργασίες είναι ίδιες με αυτές που εφαρμόζονται στον αραβόσιτο (περιορισμένη ίσως και μόνο στη λωρίδα σποράς). Εν τούτοις απαιτείται μεγαλύτερη επιμέλεια λόγω του μεγέθους του σπόρου του αφ' ενός και της βραδείας ανάπτυξής του κατά τη νεαρή ηλικία αφ' ετέρου.

2.4.2 Λίπανση

Εφαρμόζεται η λίπανση που εφαρμόζετο στα διπλά υβρίδια αραβόσιτου. Έχει μεγάλες ανάγκες σε N, P, K, Ca, Mg και S.

Το άζωτο που δίνεται σήμερα συνολικώς είναι συνήθως περισσότερο από 20 kg/στρ. Περίσσεια αζώτου προκαλεί μερική οψίμιση γιατί παρακωλύεται η ανάπτυξη των φυτών ιδίως με συνθήκες ξηρασίας που δυσχεραίνουν τη πρόσληψη N. Προσλαμβάνεται κυρίως ως

NO_3^- αλλά και NH_4^+ . Μεγαλύτερες αποδόσεις αζώτου αυξάνουν και τον άριστο πλυθισμό φυτών.

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

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

Συνήθως χορηγούνται 4-15 μονάδες N και 4-7 μονάδες P στο στρέμμα αντίστοιχα (Dercas *et al.*, 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 μετά από κάθε κοπή προστίθεται συνήθως 2 περίπου μονάδες N/στρέμμα. Αν δε βρέξει πρέπει να ποτίζεται στη περίπτωση που λιπαίνεται.

2.4.3 Σπορά

Καλά κατεργασμένο έδαφος, υγρασία και θερμοκρασία άνω των 7-10 °C απαιτούνται για την επιτυχία φυτρώματος του σόργου. Οι κίνδυνοι περιορίζονται αν χρησιμοποιηθεί σπόρος απολυμασμένος, οπότε η σπορα δύναται να πραγματοποιηθεί νωρίτερα. Συνήθως σπέρνεται 1-2 εβδομάδες μετά την εποχή σποράς του αραβόσιτου.

Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών των σανοδοτικών ποικιλιών θα πρέπει να είναι 35-40 εκ. Οι καρποδοτικές ποικιλίες σπείρονται σε αποστάσεις μεταξύ γραμμών 60-80 εκ. εφ' όσον

αρδεύονται και 80-120 εκ. για ξηρικές καλλιέργειες. Το ποσό σπόρου το στρέμμα κυμαίνεται μεταξύ 3-4 kg στις σανοδοτικές και 2-2,5 kg στις καρποδοτικές ποικιλίες.

Το σόργο σπείρεται με κοινή σπαρτική σίτου και ο σπόρος τοποθετείται σε βάθος 3-4 εκ. Με ανεπαρκή υγρασία κυλίνδρισμα μετά τη σπορά ευνοεί το φύτευμα.

2.4.4 Αραιώμα

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

2.4.5 Άρδευση

Η άρδευση του σόργου διενεργείται δι' οποιουδήποτε συστήματος (αύλακες, καταιονισμός, σταγόνα κ.λ.π.) σε τρεις συνήθως περιόδους για όλες τις κατηγορίες των ποικιλιών. Προκειμένου περί σανοδοτικών ποικιλιών μία άρδευση δίδεται πρό της πρώτης κοπής και ανα μία μετά τη πρώτη και δεύτερη κοπή, αν επακολουθήσει και τρίτη κοπή. Σε καλλιέργειες καρποδοτικών ποικιλιών οι αρδεύσεις διακόπτονται στο στάδιο του γάλακτος του κόκκου.

2.4.6 Καταπολέμηση ζιζανίων

Συνήθως διενεργούνται 2-4 σκαλίσματα προκειμένου περί καρποδοτικού σόργου. Αυτά εκτελούνται με το χέρι ή μηχανικώς μεταξύ των γραμμών. Στίς πυκνές γραμμές μπορεί να χρησιμοποιηθεί πριν το φύτευμα ή και αμέσως μετά το φύτευμα περιστροφικό σκαλιστήρι προς καταπολέμιση των νεαρών ζιζανίων.

Τα ζιζανιοκτόνα είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τον αραβόσιτο, δεδομένου ότι το σόργο είναι πιο ευπαθές στο 2,4 D.

2.5 Προϊόντα

Στην Ασία και την Αφρική ο καρπός του σόργου χρησιμοποιείται κυρίως στη διατροφή του ανθρώπου, ενώ σε άλλες χώρες ως ζωοτροφή, έχει δε την ίδια ή λίγο μικρότερη θρεπτική αξία σε σχέση με αυτή του αραβόσιτου. Η τιμή του είναι μικρότερη σε σχέση με του αραβόσιτου. Το χόρτο του χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή. Στη βιομηχανία χρησιμοποιείται για εξαγωγή αμύλου, σακχαρούχων προϊόντων, ελαίου, παρασκευή κολλητικών ουσιών κ.λπ.

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 σακχάρως, συγκριτικά προς το σακχαροκάλαμο και τα σακχαρότευλα.

Το σόργο έχει επίσης διάφορες άλλες δευτερευούσης σημασίας χρήσεις, όπως η κατασκευή σαρώθρων.

2.6 Παραγωγή ενέργειας

Ανάλογα με την ενεργειακή του χρήση διακρίνουμε δύο ποικιλίες, το γλυκό Σόργο (Sweet sorghum) για τη παραγωγή βιοαιθανόλης, και το ινώδες Σόργο (Fiber sorghum) για τη παραγωγή βιομάζας.

Ειδικότερα σε περιοχές με έντονο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής λίπανσης θεωρείται πλέον αναγκαία η λύση της παραγωγής οξυγονομένων καυσίμων με μείγμα αιθανόλης (USDA, 1990).

Η σημασία της βιοαιθανόλης αναμένεται να αυξηθεί δεδομένου ότι τα περισσότερα ζητήματα υγείας σήμερα συσχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Σε πολλές χώρες μάλιστα, με υψηλές καθημερινές τιμές ατμοσφαιρικών ρύπων όπως για παράδειγμα στις Η.Π.Α αποφασίστηκε η θεσμοθέτηση ειδικών φοροαπαλλαγών στους χρήστες αυτοκινήτων που θα επιλέξουν ως καύσιμη ύλη το εν' λόγω μείγμα. Με το φορολογικό αυτό κίνητρο σε ισχύ για άλλα 10 έτη η παραγωγική ικανότητα της αιθανόλης αναμένεται να τριπλασιαστεί μέχρι το έτος 2010 (Dinneen, 1991).

Ως ενεργειακό φυτό το ινώδες σόργο καλλιεργείται σε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στο εξωτερικό.

Από πρόσφατες έρευνες (Dalianis, 1996 ; Chatziathanassiou et al., 1998), η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μία εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα ός και σε υποτροπικά κλίματα.

Στα συμπεράσματα πειράματος που πραγματοποιήθηκε στη νότια Ρουμανία (Roman et al., 1998), 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).

Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα περαμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία (Curt,1998), όσον αφορά τη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου, εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά επίπεδα λιπαντικής αγωγής (0, 60, 120 kg N ha⁻¹). 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.

Βέβαια σημαντικό ρόλο στη παραγωγικότητα του φυτού παίζουν, πέρα 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.

Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν (Dercas et al., 1995 ; Dercas et al., 1996) 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.

Για τη περαιτέρω όμως διάδοση του προϊόντος πρέπει να επιτευχθεί μείωση της τιμής διάθεσής του. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί αν βελτιωθεί αφ' ενός η αλυσίδα παραγωγής και αφετέρου αν αυξηθεί η συνολικά παραγόμενη ποσότητα.

3. ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΑ

3.1 Γενικά

Με τη γενική ονομασία μέθοδοι μερικής ή τοπικής άρδευσης χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι εκείνες, που χορηγούν το νερό κατευθείαν στις ζώνες της μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών και μόνο εκεί, αντίθετα από διάφορες παραδοσιακές μεθόδους που χορηγούν το νερό σε ολόκληρη την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια.

Η στάγδην άρδευση ανήκει στις μεθόδους τοπικής άρδευσης και είναι η μέθοδος με την οποία το νερό εφαρμόζεται στο χωράφι σε μικρές ποσότητες (σταγόνες), έτσι ώστε η κάθε καλλιέργεια να εφοδιάζεται ξεχωριστά την αναγκαία ποσότητα υγρασίας για την ορθή ανάπτυξή της. Η μέθοδος προσφέρεται ειδικότερα σε περιοχές όπου το διαθέσιμο αρδευτικό νερό δεν διατίθεται σε μεγάλες ποσότητες και είναι χαμηλής ποιότητας (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Το 1971 πραγματοποιείται στο Ισραήλ η πρώτη διεθνής συνάντηση ειδικών για τη στάγδην άρδευση. Κατά τη συνάντηση αυτή (Deshmukh, 1974) ανακοινώθηκε ότι με το σύστημα στάγδην είχαν επιτευχθεί υπερδιπλάσιες αποδόσεις φρούτων και λαχανικών απ' αυτές με άλλες μεθόδους και μάλιστα με ανάλωση 30% λιγότερου νερού, σε συνθήκες ξηρών ή ερημικών περιοχών με εδάφη και νερά αλατούχα.

Στις ΗΠΑ κατά το 1970, '71, '72, και '73 πραγματοποιούνται σεμινάρια εθνικού επιπέδου για τη στάγδην άρδευση, τα οποία παρακολουθούν αγρότες και κατασκευαστές.

Το 1974 πραγματοποιείται το δεύτερο διεθνές συνέδριο στάγδην άρδευσης στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, ενώ τον ίδιο χρόνο γίνεται στο Μπορντώ της Γαλλίας συνέδριο εθνικού επιπέδου για τις τοπικές αρδεύσεις.

Το 1985 πραγματοποιείται το τρίτο διεθνές συνέδριο στάγδην άρδευσης στη Καλιφόρνια των ΗΠΑ ενώ, στο μεταξύ, πλήθος εργασιών ανακοινώνονται σε άλλα διεθνή και εθνικά συνέδρια ή δημοσιεύονται σε επιστημονικά περιοδικά.

Από φυτοτεχνικής πλευράς η στάγδην άρδευση ως μέθοδος τοπικής άρδευσης επιδιώκει τον ίδιο σκοπό που επιδιώκει και η γενικευμένη τεχνική της τοπικής λίπανσης. Δηλαδή χορήγηση του νερού ακριβώς στις θέσεις από τις οποίες πρόκειται να παραληφθεί και να αξιοποιηθεί από τα φυτά, ώστε να βελτιωθεί η θρέψη τους, να περιοριστούν κατά το δυνατό οι απώλειες και ν' αυξηθεί κατά συνέπεια η αποτελεσματικότητα της άρδευσης.

Από οικονομικής πλευράς η μέθοδος στάγδην άρδευσης προορίζεται να δώσει λύση στο πρόβλημα της μείωσης του κόστους εφαρμογής του νερού με περιορισμό κυρίως των απαιτούμενων εργατικών χεριών. Αυτό το επιτυγχάνουν με τη μεταφορά και διανομή του νερού στα φυτά με πλήρη, μόνιμα δίκτυα και κατάλληλους αυτοματισμούς.

3.2 Βασικά χαρακτηριστικά στάγδην άρδευσης

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τη στάγδην άρδευση (Μιχελάκης, 1994) είναι:

Μικρή παροχή νερού. Η παροχή του νερού κατά σταλάκτη στη στάγδην άρδευση κυμαίνεται ανάλογα με το σύστημα, οπωσδήποτε όμως είναι κατώτερη από 12 lt/h. Κατά συνέπεια η αναλογικά χορηγούμενη ποσότητα νερού ανά μονάδα επιφάνειας στη συνολικά εξυπηρετούμενη από το δίκτυο έκταση είναι συνήθως χαμηλότερη απ' ότι στις άλλες μεθόδους.

Μερική διαβροχή του εδάφους. Συνέπεια της μικρής παροχής των σταλακτήρων είναι ότι η βρεχόμενη επιφάνεια κατά θέση εκροής είναι πολύ περιορισμένη. Η συνολικά διαβρεχόμενη επιφάνεια αποτελεί πάντοτε ένα ποσοστό μόνο της όλης έκτασης που εξυπηρετεί το δίκτυο. Το ίδιο συμβαίνει και όσον αφορά το βρεχόμενο όγκο του εδάφους, που αποτελεί επίσης ποσοστό μόνο του όλου εδαφικού όγκου τον οποίο εκμεταλλεύεται το ριζόστρωμα.

Μεγάλη συχνότητα και διάρκεια άρδευσης. Αφού η παροχή των σταλακτήρων είναι σχετικά μικρή και ο βρεχόμενος εδαφικός όγκος ποσοστό μόνο του όλου εδαφικού όγκου, για να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, απαιτείται να έχουν μεγάλη διάρκεια και να επαναλαμβάνονται συχνά.

Υψηλή περιεκτικότητα και χαμηλή τάση εδαφικής υγρασίας. Η υψηλή συχνότητα και η μεγάλη διάρκεια της άρδευσης συντελούν στη δημιουργία υγρών θυλάκων στο έδαφος, με υψηλή υδατοπεριεκτικότητα και συνεπώς χαμηλή τάση υγρασίας. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα της άρδευσης τόσο τα υψηλά επίπεδα της υδατοπεριεκτικότητας και τα χαμηλά επίπεδα της τάσης διατηρούνται περισσότερο σταθερά. Στις άλλες μεθόδους, ενώ αμέσως μετά την άρδευση επιτυγχάνεται μια πολύ υψηλή υδατοπεριεκτικότητα και αντίστοιχα χαμηλή τάση, στη συνέχεια και μέχρι την επόμενη άρδευση η υδατοπεριεκτικότητα αυτή κατέρχεται και η τάση αντίστοιχα ανέρχεται, τόσο περισσότερο όσο μεγαλύτερο είναι το μεταξύ αρδεύσεων διάστημα.

Τριδιάστατη κίνηση του νερού στο έδαφος. Στις μεθόδους ολικής άρδευσης η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος γίνεται μόνο κατά την κατακόρυφη έννοια και επομένως είναι

μονοδιάστατη. Κατά τη στάγδην άρδευση η κίνηση αυτή γίνεται κατά τρεις διευθύνσεις (τρισδιάστατη).

3.3 Πλεονεκτήματα

Η παρατηρούμενη ταχύτατη επέκταση της στάγδην άρδευσης, σε διεθνή κλίμακα, οφείλεται αναμφίβολα στα σοβαρά αγρονομικά πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει.

Εξ' αυτών τα κυριότερα είναι τα εξής:

Οικονομία νερού. Κατά την άρδευση με σταγόνα προκύπτει σημαντική οικονομία νερού, λόγω κυρίως της σημαντικής μείωσης των απωλειών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διανομή του νερού και κατά την αποθήκευσή του στο έδαφος.

Η μείωση των απωλειών κατά την εφαρμογή του νερού προέρχεται κυρίως από το περιορισμό της ποσότητας που παρασύρεται από τον αέρα ή εξατμίζεται πρίν πέσει στην επιφάνεια του εδάφους. Εξ' αιτίας του ότι στα συστήματα στάγδην οι απώλειες κατά την εφαρμογή του νερού είναι ασήμαντες θεωρούνται πρακτικώς ανύπαρκτες.

Η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είναι επίσης σημαντικά μειωμένη αφού η βρεχόμενη επιφάνεια του εδάφους αποτελεί πάντοτε μέρος της ολικής έκτασης. Εξυπακούεται ότι, όσο μικρότερο είναι το ποσοστό της βρεχόμενης επιφάνειας, τόσο μικρότερες είναι και οι απώλειες λόγω εξάτμισης.

Οικονομία εργατικών. Η ποικιλία των πλαστικών σωλήνων και εξαρτημάτων, που διατίθενται σήμερα, επιτρέπει την εγκατάσταση πλήρων μόνιμων δικτύων, που μεταφέρουν και διανέμουν το νερό σε όλα τα φυτά της καλλιέργειας, μηδενίζοντας έτσι πρακτικά την απαιτούμενη εργασία από τη πλευρά αυτή.

Από την άλλη τα διατιθέμενα ποκίλα όργανα ηλεκτρο-υδραυλικών αυτοματισμών, καθώς και τα όργανα ελέγχου της υγρασίας του εδάφους και της εξάτμισης δίνουν τη δυνατότητα να αυτοματοποιηθούν μερικώς εως πλήρως όλες οι εργασίες και οι χειρισμοί που απαιτούνται για την έναρξη και λήξη της άρδευσης, αλλά και για τη διαδοχική χορήγηση του νερού στις διάφορες στάσεις όταν υπάρχουν.

Μείωση των ζιζανίων. Κατά τη στάγδην άρδευση το έδαφος βρέχεται κατά τμήματα που συνολικά αποτελούν ένα ποσοστό μόνο της ολικής έκτασης την οποία καταλαμβάνει η καλλιέργεια. Η ανάπτυξη των ζιζανίων, κατά συνέπεια, λαμβάνει χώρα μόνο στα τμήματα αυτά και επομένως σε ποσοστό μόνο της όλης έκτασης. Τα ζιζάνια αυτά μπορούν να

ελεγχθούν εύκολα και οικονομικά με ζιζανιοκτόνα, τα οποία μάλιστα μπορούν να εφαρμοστούν, υπό ορισμένες προϋποθέσεις, μέσω του δικτύου άρδευσης.

Εκτέλεση εργασιών κατά τη διάρκεια της άρδευσης. Η τοπική εφαρμογή του νερού και η διατήρηση του μεγαλύτερου ποσοστού της επιφάνειας του εδάφους ξηρού, ειδικά στους δενδρώνες, επιτρέπει την εκτέλεση των διάφορων καλλιεργητικών εργασιών (καταπολεμήσεις ασθενειών, κλαδέματα, συγκομιδή, μεταφορές κ.λπ.) και κατά τη διάρκεια της άρδευσης.

Εύκολη και αποτελεσματική λίπανση. Κατά την άρδευση με σταγόνα υπάρχει η δυνατότητα να χορηγηθούν αρκετά από τα λιπάσματα, μέσω του νερού της άρδευσης, με κατάλληλους υδρολιπαντήρες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οικονομία στα εργατικά και καλύτερη αποτελεσματικότητα της λίπανσης αφού η χορήγηση των λιπασμάτων γίνεται κατευθείαν στο ριζόστρωμα της καλλιέργειας.

Δυνατότητα αξιοποίησης αλατούχων νερών. Η στάγδην άρδευση δίνει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν, για άρδευση καλλιεργειών, αλατούχα νερά. Η δυνατότητα αυτή βασίζεται στους παρακάτω λόγους:

Η εφαρμογή του νερού κατευθείαν στο έδαφος, χωρίς να διαβρέχεται το φύλλωμα της καλλιέργειας, επιτρέπει να αποφευχθούν οι ζημιές που μπορούν να προκληθούν στα φύλλα από την αυξημένη ωσμωτική πίεση, που δημιουργείται με την αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων καθώς το νερό εξατμίζεται από τα βρεγμένα φύλλα.

Η μεγάλη συχνότητα αρδεύσεων κάνει δυνατή τη διατήρηση της υδατοπεριακτικότητας του εδάφους σε συνεχώς υψηλά επίπεδα. Αποτέλεσμα αυτού είναι η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό διάλυμα και, κατ' επέκταση, η ωσμωτική τάση στο έδαφος να διατηρούνται σε συνεχώς χαμηλά επίπεδα και το ριζόστρωμα να βρίσκεται υπό ανεκτές συνθήκες τάσης. Η κατάσταση αυτή εξασφαλίζεται τόσο περισσότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα αρδεύσεων.

Ανεξαρτητοποίηση της άρδευσης από τον άνεμο και το ανάγλυφο του εδάφους. Η χορήγηση του νερού πάνω ή πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους ανεξαρτητοποιεί την εφαρμογή της άρδευσης από την επίδραση του ανέμου. Αυτό συμβαίνει στη περίπτωση της άρδευσης στάγδην, καθώς και άλλων συστημάτων τοπικής άρδευσης, στα οποία το νερό δεν εκτοξεύεται αλλά εκρέει από πολύ κοντά στο έδαφος. Δε συμβαίνει όμως σε συστήματα που διανέμουν το νερό με μικρή ή μεγάλη εκτόξευση, καθώς και στον κλασσικό καταιονισμό.

Οι δυσμενείς επίδραση του ανέμου, στις περιπτώσεις που το νερό διανέμεται με εκτόξευση, είναι η αύξηση των απωλειών και μετατόπιση της βρεχόμενης επιφάνειας του εδάφους.

Η ευκαμψία από την άλλη των πλαστικών σωλήνων που χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στη στάγδην άρδευση, επιτρέπει τη τοποθέτησή τους σε ανώμαλα και επικλινή εδάφη. Έτσι, με το σύστημα στάγδην άρδευσης δίνεται η δυνατότητα να αρδευτούν ανώμαλα εδάφη, τα οποία θα ήταν αδύνατο ή πολύ δαπανηρό να αρδευτούν με άλλες μεθόδους.

Ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας. Με τις συνθήκες της στάγδην άρδευσης (συχνή και βραδεία χορήγηση του νερού με μικρές παροχές) επιτυγχάνεται διατήρηση της υδατοπερατότητας του εδάφους σε συνεχώς υψηλά επίπεδα και της τάσης σε αντίστοιχα χαμηλά.

Τέτοιες χαμηλές τάσεις παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια και λίγο μετά την άρδευση και στις άλλες μεθόδους άρδευσης, αλλά η διατήρησή τους είναι ανάλογη προς τη συχνότητα άρδευσης. Γενικώς, όσο μικρότερη είναι η συχνότητα και επομένως μεγαλύτερο το διάστημα μεταξύ δύο αρδεύσεων, τόσο υψηλότερες θα είναι οι τάσεις λίγο πριν την επόμενη άρδευση.

Σήμερα όμως γίνεται αποδεκτό ότι σε χαμηλά επίπεδα τάσης της εδαφικής υγρασίας, εξασφαλίζεται ευκολότερη πρόσληψη του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από το ριζόστρωμα και επομένως επιτυγχάνονται ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Έλεγχος ασθενειών και εντόμων. Η μη διαβροχή του φυλλώματος κατά τη στάγδην άρδευση αποτρέπει τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την εμφάνιση μυκητολογικών και εντομολογικών προσβολών.

Επίσης η μη διαβροχή του φυλλώματος αποτρέπει την έκπλυση των μυκητοκτόνων και εντομοκτόνων που εφαρμόζονται με τους ψεκασμούς και παρατείνει έτσι τη διάρκεια δράσης τους.

Εξάλλου, τα συστήματα στάγδην, δίνουν αρκετές ελπίδες για δυνατότητα εφαρμογής ορισμένων φυτοφαρμάκων μέσω του δικτύου άρδευσης. Σε διάφορα πειράματα, μυκητοκτόνα εδάφους που προστέθηκαν στο νερό άρδευσης και απολυμαντικά εδάφους σε αέρια κατάσταση, που εφαρμόστηκαν μέσω των σωληνώσεων του δικτύου άρδευσης, έδωσαν αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

Ευνοϊκή επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Οι ευνοϊκότερες συνθήκες εφοδιασμού των φυτών με νερό και θρεπτικά στοιχεία, οι καλύτερες συνθήκες φυτούγειας, ο

περιορισμός των ζιζανίων και γενικά οι καλύτερες συνθήκες εκτέλεσης των καλλιεργητικών εργασιών φαίνεται να συντελούν, στο βαθμό που εξασφαλίζονται με τα συστήματα στάγδην άρδευσης, στην επίτευξη καλύτερης ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών.

Σύγχρονη άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων και αξιοποίηση μικρών παροχών. Η ανα μονάδα επιφάνεια εδάφους χορηγούμενη ποσότητα νερού, κατά τη στάγδην άρδευση, είναι πάντοτε μικρότερη απ' ό τι σε συστήματα τοπικής άρδευσης. Έτσι μια δεδομένη διαθέσιμη παροχή νερού επιτρέπει πάντοτε τη σύγχρονη άρδευση πολύ μεγαλύτερων εκτάσεων, όταν εφαρμόζεται σύστημα στάγδην άρδευσης απ' ό τι με άλλες μεθόδους.

Στις περιπτώσεις ύπαρξης διαθέσιμων παροχών πολύ μικρής τάξης είναι φανερό ό τι μπορούν να αξιοποιηθούν πολύ ευκολότερα και οικονομικότερα για άρδευση καλλιεργειών με συστήματα στάγδην άρδευσης. Η αξιοποίηση τέτοιων μικρών παροχών με άλλες μεθόδους είναι δύσκολη και δαπανηρή, αφού προϋποθέτει σχεδόν πάντοτε τη κατασκευή αποταμιευτικών δεξαμενών.

3.4 Μειονεκτήματα

Οποσδήποτε τα συστήματα στάγδην άρδευσης αντιμετωπίζονται σε μικρό ή μεγάλο βαθμό και διάφορα προβλήματα τα οποία αποτελούν μειονεκτήματα για τα συστήματα αυτά. Τα κυριότερα από τα προβλήματα είναι τα εξής:

Φραξίματα. Πρόκειται για φραξίματα που μπορούν να παρουσιαστούν στους σταλακτήρες. Το πρόβλημα των φραξιμάτων παρουσιάζεται τόσο οξύτερο, όσο μικρότερη είναι η διατομή εκροής του νερού που διαθέτουν οι σταλακτήρες κάθε φορά.

Γενικά τα φραξίματα ανάλογα με το αίτιο που τα προκαλεί, χαρακτηρίζονται ως φυσικά, όταν προκαλούνται από στερεά τεμαχίδια λεπτής άμμου, ιλύος ή αργίλου, ως χημικά όταν προκαλούνται από ιζήματα αλάτων και ως βιολογικά, όταν προκαλούνται από άλγες, βακτήρια ή μικροοργανισμούς.

Συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος. Στις περιπτώσεις χρησιμοποίησης αλατούχων νερών με συστήματα στάγδην άρδευσης, δημιουργείται συνήθως μια συγκέντρωση αλάτων στα όρια μεταξύ βρεχόμενου και μή εδάφους. Το πρόβλημα αυτό σε περιοχές με ικανοποιητικές βροχοπτώσεις είναι ασήμαντο γιατί με τις βροχές τα άλατα εκπλύνονται σε βαθύτερα στρώματα. Σε περιοχές όμως με χαμηλές βροχοπτώσεις πρέπει να γίνονται ειδικές εκπλύσεις με επιπλέον αρδεύσεις.

Μηχανικές ζημιές. Μπορούν να προκληθούν στις σωληνώσεις του δικτύου ή στους σταλακτήρες από απρόσεκτη χρήση μηχανικών μέσων ή από διάφορα ζώα.

Αδυναμία προστασίας από παγετούς. Στα συστήματα στάγδην άρδευσης, αφού το νερό διανέμεται συνήθως κάτω από τη κόμη των δέντρων, δεν υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί το δίκτυο άρδευσης για προστασία από παγετούς, όπως αντίθετα μπορεί να γίνει στη περίπτωση του καταιονισμού.

3.5 Γενική σύνθεση συστήματος στάγδην άρδευσης

Με τον όρο σύστημα στάγδην άρδευση εννοείται ένα σύνολο σωληνώσεων, εξαρτημάτων, μηχανισμών κ.λπ. μικροϋλικών, μόνιμα εγκατεστημένων σύμφωνα με μελετημένη διάταξη, ώστε να εξασφαλίζουν τη μεταφορά και ομοιόμορφη διανομή του νερού στα φυτά της καλλιέργειας και να επιτρέπουν διάφορους βαθμούς αυτοματισμού στην εφαρμογή του νερού και στην εκτέλεση διάφορων καλλιεργητικών φροντίδων.

Ένα τυπικό σύστημα στάγδην άρδευσης (Μιχελάκης, 1994) περιλαμβάνει τα εξής βασικά μέρη:

Σταλακτήρες. Πρόκειται για ειδικά εξαρτήματα που διανέμουν το νερό στο έδαφος.

Σωληνώσεις. Σύνολο σωλήνων, κατά βάση πλαστικών, που χρησιμοποιούνται να μεταφέρουν το νερό στο υπό άρδευση κτήμα, να το κατανέμουν στα διάφορα μέρη του και να το διανέμουν τελικά στα φυτά διαμέσου των σταλακτήρων.

Εξαρτήματα συνδεσμολογίας. Ειδικά τεμάχια πλαστικά ή μεταλλικά που χρησιμοποιούνται για την εγκατάσταση και σύνδεση των διάφορων σωλήνων και άλλων μηχανισμών μεταξύ τους. Σ' αυτά περιλαμβάνονται σέλες, ρακόρ, σύνδεσμοι, μούφες, φλάτζες, ταφ, γωνίες κ.ο.κ.

Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή. Πρόκειται για σύνολο μηχανισμών από τους οποίους περνά το νερό πριν από τη κατανομή του στα διάφορα μέρη του κτήματος, ώστε να εξασφαλιστούν: ο καθαρισμός του από τις ξένες ύλες, η ρύθμιση της πίεσης του, η αυτοματοποίηση του προγράμματος άρδευσης, η προσθήκη λιπασμάτων, φαρμάκων κ.λπ. Συνήθως μια κεφαλή περιλαμβάνει: φίλτρο, αυτόματη ογκομετρική βαλβίδα, υδρολιπαντήρα, ρυθμιστή πίεσης, βαλβίδα αντεπιστροφής, βαλβίδα εξαερισμού, μανόμετρα, βάνες κ.α.

Πηγή πίεσης. Προορίζεται να καλύψει τις απώλειες πίεσης λόγω τριβών στους *διανεμητές*, τις σωληνώσεις, στα ειδικά τεμάχια και στους διάφορους μηχανισμούς (διήθηση, υδρολίπανση, ρύθμιση κ.α..) καθώς και τις διαφορές υψομέτρου μέσα στο δίκτυο.

Κατάλληλη πηγή για την εξασφάλιση της πίεσης μπορεί να αποτελέσει μία αντλία, μια υπερυψωμένη δεξαμενή ή υδροληψία από κλειστούς αγωγούς συλλογικού αρδευτικού έργου.

Εκτός από τα βασικά αυτά μέρη, ένα σύστημα στάγδην άρδευσης περιλαμβάνει και διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν καθένας ανάλογες λειτουργικές δυνατότητες στο δίκτυο.

Συνήθως σε ένα δίκτυο περιλαμβάνονται μηχανισμοί διήθησης του νερού, αυτοματισμού της λειτουργίας, υδρολίπανσης κ.ο.κ.

Καθένας από τους μηχανισμούς αυτούς αποτελείται από ένα σύνολο εξαρτημάτων, τα περισσότερα από τα οποία συνήθως βρίσκονται στη κεφαλή του δικτύου.

3.5.1 Σταλακτήρες

Σταλακτήρες ονομάζονται οι διανεμητές των συστημάτων στάγδην άρδευσης. Η ονομαστική παροχή τους, υπό πίεση 10 m, δεν υπερβαίνει τα 12 lt/h και έτσι επιτρέπουν θεωρητικά τουλάχιστον μια εκροή του νερού σταγόνα-σταγόνα και μια άμεση διήθησή του στο έδαφος. Οι σταλακτήρες κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία ειδών.

3.5.2 Πλευρικοί σωλήνες

Ως πλευρικοί σωλήνες, σε ένα σύστημα στάγδην άρδευσης, χαρακτηρίζονται οι σωλήνες που παίρνουν το νερό από τους δευτερεύοντες και το διανέμουν μέσα στην έκταση που πρόκειται να αρδευτεί μέσω των σταλακτήρων.

Οι πλευρικοί σωλήνες κατασκευάζονται συνήθως από πολυαιθυλένιο (PE) και σπανιότερα από PVC ή άλλα πλαστικά υλικά.

Η εξωτερική τους διάμετρος κυμαίνεται από 12-32 mm και η διατομή τους είναι συνήθως κυκλική. Σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευάζονται με διατομή ελλειψοειδή ή πεπλατυσμένη (τύπος μάνικας).

Η αντοχή τους σε πιέσεις, ανάλογα με το υλικό και τον τύπο κατασκευής τους, κυμαίνεται από 0,5-6 cm.

Οι πλευρικοί από PE είναι μαλακοί ή σκληροί. Οι σκληροί είναι μικρότερου κόστους από τους μαλακούς, αφού για την αυτή αντοχή σε εσωτερικές πιέσεις μπορούν να έχουν λεπτότερα τοιχώματα. Οι μαλακοί είναι πιο εύκολοι στη χρήση τους, ιδίως κατά την τοποθέτηση των διανεμητών και εξασφαλίζουν καλύτερη στεγανότητα και στερεότερη πρόσφυση, ειδικά στους γραμμικούς σταλακτήρες.

Οι πλευρικοί από PVC είναι σκληροί με ελάχιστη ευκαμψία και διατίθενται σε ευθύγραμμα τεμάχια των 6 m, τα οποία συναρμολογούνται με ειδικά τεμάχια κατά την τοποθέτηση τους στην οριστική θέση.

Το χρώμα που συνηθίζεται στους πλευρικούς σωλήνες είναι το μαύρο, λόγω της αντοχής του στη φωτόλυση και λόγω της αδιαπερατότητάς τους από το φως, η οποία εμποδίζει να αναπτυχθούν στο εσωτερικό τους διάφοροι μικροοργανισμοί (άλγες, μύκητες, μικρό-ζώα), επικίνδυνοι για την πρόκληση εμφράξεων στους διανεμητές. Σπανιότερα χρησιμοποιούνται και άλλα χρώματα, εκτός του μαύρου, όπως π.χ. το λευκό ή γκριζο στους σωλήνες από PVC.

3.5.3 Δευτερεύοντες και κύριοι σωλήνες

Οι κύριοι και οι δευτερεύοντες σωλήνες, σ' ένα δίκτυο, προορίζονται να μεταφέρουν το νερό από την κεντρική υδροληψία μέχρι τους πλευρικούς σωλήνες.

Κατασκευάζονται από PVC ή PE υψηλής πυκνότητας με αντοχή σε εσωτερικές πιέσεις 4, 6, 10 ή 16 atm και με εξωτερική διάμετρο 32, 40, 50, 75, 90, 110, 125, 140, 160 mm. Οι σωλήνες από PVC είναι σκληροί και κατασκευάζονται, σε τμήματα μήκους συνήθως 6 m με άκρα ειδικά διασκευασμένα για τη μεταξύ τους σύνδεση. Οι σωλήνες από PE είναι σχετικά εύκαμπτοι και διατίθενται περιτυλιγμένοι σε ρόλους των 100-300 m.

Οι κύριοι σωλήνες είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερης διαμέτρου από τους δευτερεύοντες και μπορεί να είναι ένας ή περισσότεροι σε κάθε δίκτυο ή ακόμη να διαιρούνται σε υπο-κύριους, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του κτήματος.

Οι δευτερεύοντες, που τροφοδοτούν ένα αριθμό πλευρικών ο καθένας, μοιάζουν από υδραυλικής πλευράς με τους πλευρικούς. Βασικά διαφέρουν απ' αυτούς μόνο ως προς το μεγαλύτερο διάστημα μεταξύ των εκροών και ως προς τις μεγαλύτερες παροχές. Συνήθως στην αρχή κάθε δευτερεύοντα γίνεται ρύθμιση της πίεσης (ή της παροχής), ώστε τελικά το τμήμα του δικτύου, το οποίο εξυπηρετεί, αποτελεί μια ανεξάρτητη υπομονάδα.

Τόσο οι κύριοι όσο και οι δευτερεύοντες τοποθετούνται υπόγεια για διευκόλυνση των καλλιεργητικών εργασιών και έτσι το χρώμα δεν αποτελεί σ' αυτούς χαρακτηριστικό ουσιώδους σημασίας, όπως στους πλευρικούς.

3.6 Διάταξη και εγκατάσταση δικτύου

3.6.1 Γενική διάταξη

Με τον όρο διάταξη δικτύου, εννοείται η διαδοχική σειρά με την οποία τοποθετούνται στο χώρο τα διάφορα τμήματα, εξαρτήματα ή μηχανισμοί του δικτύου.

Η διάταξη του δικτύου αποτελεί ουσιώδη παράγοντα για τη λειτουργικότητα και αποδοτικότητα του και γι' αυτό πρέπει να τηρούνται όλοι οι κανόνες που εξασφαλίζουν την επιτυχία της (Μιχελάκης, 1994).

Γενικά, σ' ένα τυπικό δίκτυο στάγδην άρδευσης, τα βασικά μέρη του διατάσσονται σχεδόν πάντοτε με την εξής σειρά:

Πηγή πίεσης.

Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή.

Σωλήνες: α) κύριοι, β) δευτερεύοντες, γ) πλευρικοί ή σταλακτηφόροι.

Σταλακτήρες.

Οι διάφοροι ειδικοί μηχανισμοί, όπως διήθησης του νερού, αυτοματισμού της λειτουργίας, ρύθμιση της πίεσης, υδρολίπανσης κ.λπ., τοποθετούνται σε διάφορα σημεία, από την πηγή πίεσης μέχρι την είσοδο των δευτερευόντων, ανάλογα με τις δεδομένες συνθήκες του δικτύου.

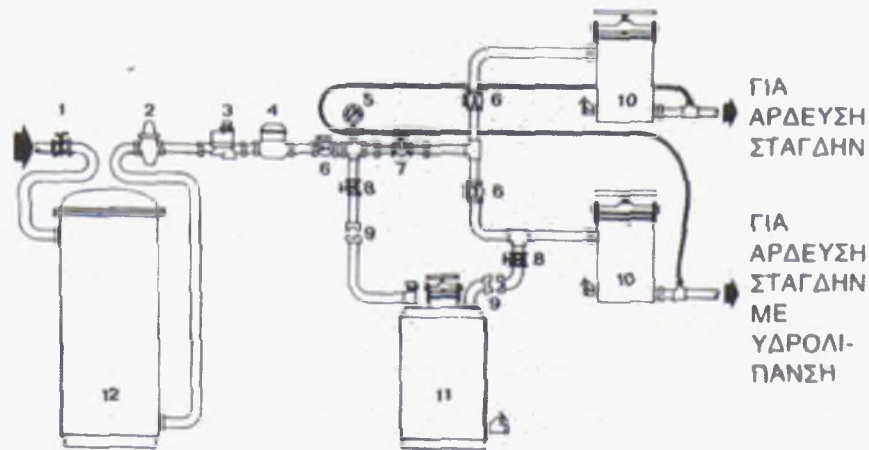
3.6.2 Θέση και διάταξη της πηγής πίεσης

Η πηγή πίεσης μπορεί να είναι αντλία, υπερυψωμένη δεξαμενή ή υδροληψία από κλειστούς αγωγούς συλλογικού αρδευτικού δικτύου.

Συνήθως η θέση όπως και το είδος της πηγής πίεσης είναι δεδομένα ή καθορίζονται από τις γενικότερες συνθήκες του κτήματος. Όταν υπάρχουν περιθώρια επιλογής προτιμάται η πηγή που εξασφαλίζει συνεχή κατά το δυνατόν, έστω και μικρή, παροχή με το ελάχιστο δυνατό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας και που βρίσκεται από πλευράς θέσης όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς την "κεφαλή" του δικτύου.

3.6.3 Θέση και διάταξη της κεφαλής

Το νερό από την πηγή πίεσης και πριν διοχετευτεί στο δίκτυο, περνά από το κέντρο ελέγχου ή την κεφαλή, όπως ονομάζεται, του συστήματος. Η κεφαλή περιλαμβάνει σύνολο μηχανισμών και εξαρτημάτων που προορίζονται να εξασφαλίσουν καθαρότητα και σταθερή πίεση στο νερό, προσθήκη των λιπασμάτων και αυτοματισμό της άρδευσης κατά διάφορους βαθμούς.



Εικόνα 2. Σχηματική διάταξη των μηχανισμών μιας τυπικής κεφαλής: 1) Γενική βάνα 2) μειωτής πίεσης 3) αυτόματος ογκομετρικός διακόπτης 4) υδρόμετρο 5) μανόμετρο γλυκερίνης σε ρουμπινέτο 4/στομο 6) βαλβίδα αντεπιστροφής 7) βάνα venturi 8) βάνα μικρή 9) ταχυσύνδεσμος 10) φίλτρο με θέση επικοινωνίας μανομέτρου στην έξοδο 11) υδρολιπαντήρας 12) φίλτρο άμμου.

Οι κυριότεροι από τους μηχανισμούς που περιλαμβάνει μια κεφαλή είναι: φίλτρα, υδρολιπαντήρας, ρυθμιστής πίεσης, αυτόματη ογκομετρική βαλβίδα, βαλβίδα αντεπιστροφής, μανόμετρα, βάνες κ.ά.

Ανάλογα με το σύστημα και τις ειδικές συνθήκες της άρδευσης, σε μια κεφαλή μπορεί να περιλαμβάνονται όλοι οι προηγούμενοι μηχανισμοί, μέρος μόνο αυτών ή και άλλοι επιπλέον. Επίσης, σε ειδικές περιπτώσεις, μπορεί να απαιτηθούν δύο ή και τρία τεμάχια του ίδιου μηχανισμού στο ίδιο ή διαφορετικό μέγεθος.

Η διάταξη των μηχανισμών της κεφαλής πρέπει να γίνεται με λογική σειρά και με τρόπο ώστε η θέση κάθε μηχανισμού να μην παρεμποδίζει ή αχρηστεύει τη λειτουργία των επόμενων, αλλά αντίθετα να την διευκολύνει όσο είναι δυνατό.

Σε περιπτώσεις υψηλών πιέσεων (πάνω από 2,5-3 atm) οι διακόπτες λειτουργίας (βάνες) απλές ή αυτόματες καθώς και οι μειωτές πίεσης πρέπει να τοποθετούνται προ των φίλτρων και λιπαντήρων, ώστε να αποφεύγεται η καταπόνηση ή διάρρηξη των εξαρτημάτων αυτών από τις υψηλές πιέσεις ή και τα υδραυλικά πλήγματα που συμβαίνουν με την αυτόματη διακοπή της λειτουργίας.

Σε περιπτώσεις δικτύων όπου οι σωληνώσεις βρίσκονται ανάντη της κεφαλής, τοποθετείται βαλβίδα αντεπιστροφής πριν από την είσοδο στον υδρολιπαντήρα, ώστε να αποφευχθεί η επιστροφή νερού με διαλυμένα λιπάσματα που μπορεί να μολύνει την πηγή του νερού (πηγάδι, δεξαμενή, δίκτυο) ή να μειώσει τη διηθητική ικανότητα των φίλτρων χαλικιών με την πρόκληση χημικών ιζημάτων.

Η θέση εγκατάστασης της κεφαλής μέσα στο κτήμα εκλέγεται, ώστε να την επισκέπτεται εύκολα το πρόσωπο που ελέγχει την άρδευση και συγχρόνως να εξυπηρετεί τη διάταξη του δικτύου.

3.6.4 Διάταξη δευτερευόντων και κύριων

Οι δευτερεύοντες διατάσσονται οπωσδήποτε κάθετα προς τους πλευρικούς και με διάφορες κατευθύνσεις σε σχέση προς τους κύριους. Στις επικλινείς εκτάσεις οι δευτερεύοντες ακολουθούν την κλίση του εδάφους, ενώ οι πλευρικοί, τους οποίους τροφοδοτούν, διατάσσονται κάθετα προς την κλίση ακολουθώντας τις γραμμές των δέντρων.

Σε επίπεδα εδάφη ο κύριος αγωγός επιβάλλεται να τροφοδοτεί τους δευτερεύοντες στη μέση τους, ώστε να γίνεται κανονική η κατανομή του νερού και να είναι δυνατή η χρήση σωλήνων με μικρότερη διάμετρο.

Σε επικλινή εδάφη οι δευτερεύοντες (όπως και οι πλευρικοί) πρέπει να τροφοδοτούνται κατά τρόπο ώστε το τμήμα τους ανάντη 100 του σημείου τροφοδοσίας να είναι πάντοτε μικρότερο, απ' ό,τι το τμήμα τους κατόντη του σημείου τροφοδοσίας, ώστε οι πιέσεις στα άκρα τους να είναι ίσες.

Σε περιπτώσεις εδαφών με μεγάλες κλίσεις, μικρότερες όμως από 10%, όπου είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθούν ίσες πιέσεις στα δύο άκρα, οι δευτερεύοντες και οι πλευρικοί διατάσσονται πάντοτε κατόντη του σημείου τροφοδοσίας τους, ώστε η ροή του νερού να ακολουθεί την κλίση του εδάφους.

Σε πολύ μεγάλες κλίσεις (> 10%) είναι απαραίτητη επιπλέον και η χρήση ρυθμιστών πίεσης (ή έστω απλών βανών) στα σημεία τροφοδοσίας των δευτερευόντων.

3.6.5 Διάταξη πλευρικών

Οι πλευρικοί σωλήνες διατάσσονται κατά κανόνα κάθετα προς τους δευτερεύοντες που τους τροφοδοτούν και παράλληλα προς τις γραμμές της καλλιέργειας.

Για να εξασφαλιστεί το απαραίτητο ποσοστό βρεχόμενου εδάφους, οι πλευρικοί μπορεί να τοποθετηθούν και κατά τη διεύθυνση των μεγαλύτερων αποστάσεων φύτευσης, αλλά και με διάφορες διατάξεις ως προς τις γραμμές των φυτών. Μερικές από τις διατάξεις αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Απλή ευθεία διάταξη. Ένας ευθύς πλευρικός ανά γραμμή φυτών.
2. Διπλή ευθεία διάταξη. Δύο ευθείς πλευρικοί ανά γραμμή φυτών.
3. Μαιανδρική διάταξη. Ένας πλευρικός σε σχήμα μαιάνδρου ανά γραμμή δέντρων.
4. Ημικυκλική διάταξη. Ένας πλευρικός που περιβάλλει τα δέντρα υπό μορφή ημικυκλικών τόξων.

5. Κυκλική διάταξη. Ένας πλευρικός που περιβάλλει τα δέντρα κυκλικά

6. Απλή ευθεία διάταξη με στολακτήρες πολλαπλής εξόδου. Ένας πλευρικός ανά γραμμή δέντρων με σταλακτήρες πολλαπλής εξόδου που διανέμουν το νερό με μικροσωλήνες σε αποστάσεις 1-2 m.

7. Μεικτή ευθεία-κυκλική διάταξη. Ένας ευθύς πλευρικός ανά γραμμή δέντρων, ο οποίος τροφοδοτεί πλευρικούς με μικρότερη διάμετρο που περιβάλλουν κυκλικά τα δέντρα.

8. Διάταξη ψαροκόκαλου. Ένας ευθύς πλευρικός μεταξύ δύο γραμμών φυτών που τροφοδοτεί μικροσωλήνες με ή χωρίς σταλακτήρες στο άκρο τους.

Η εκλογή της κατάλληλης για κάθε περίπτωση διάταξης εξαρτάται από τις αποστάσεις φύτευσης και τις ιδιότητες του εδάφους,

Πάντως στην πράξη έχει επικρατήσει η απλή ευθεία διάταξη λόγω της απλότητας και οικονομικότητας που παρουσιάζει. Σε περιπτώσεις αμμωδών εδαφών και ευαίσθητων καλλιεργειών, όπως τα εσπεριδοειδή, όπου η απλή ευθεία διάταξη δεν εξασφαλίζει το απαιτούμενο ποσοστό διαβροχής, προτιμάται η διπλή ευθεία λόγω της απλότητας της. Έστω και αν είναι μερικές φορές λιγότερο οικονομική, από πλευράς υλικών, από άλλες διατάξεις.

3.6.6 Διάταξη σταλακτήρων

Η διάταξη των σταλακτήρων εξαρτάται από το είδος και το ανάγλυφο του εδάφους, από το είδος της καλλιέργειας και την ηλικία της αλλά και από το είδος και την τελική διάταξη των διανεμητοφόρων σωλήνων.

Σε κάθε περίπτωση ο σκοπός που επιδιώκεται είναι να επιτευχθεί το αναγκαίο ποσοστό βρεχόμενου εδάφους και συγχρόνως να εξασφαλιστεί απλότητα και λειτουργικότητα του δικτύου και χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

Γενικά, εδάφη ελαφρά και με μεγάλες κλίσεις επιβάλλουν σταλακτήρες με πυκνότερες διατάξεις και με μικρές παροχές.

4. ΥΠΟΓΕΙΑ ΣΤΑΓΔΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ

4.1 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 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 P.E. και PVC.

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.

Η μαθηματική θεωρία που αφορά τη διήθηση και τη πλευρική μετακίνηση του αρδευτικού νερού στην υπόγεια άρδευση με σταγόνα αναπτύχθηκε αρκετά νωρίς από τους Philip (1968), και Zachman και Thomas (1973).

Χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε μεγάλης αξίας καλλιέργειες όπως τα οπωροφόρα δέντρα, τα λαχανικά, τα καρύδια, το ζαχαροκάλαμο, το βαμβάκι κ.ο.κ. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε και σε καλλιέργειες αμπέλου. Ήδη από το 1959 χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μεγάλες εκτάσεις της Καλιφόρνιας, της Χαβάης και του Τέξας των Η.Π.Α εξαιτίας της έλλειψης σε αρδευτικό νερό των περιοχών αυτών (Phene *et al.*, 1992).

Την επίδραση της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε ζαχαρότευλα μελετούν οι Amaducci *et al.* (1989) στη βόρεια και νότια Ιταλία. Παρατηρούν αύξηση της συνολικής παραγωγής ζάχαρης.

Στο Ισραήλ οι Oron *et al.* (1992) αρδεύουν με υπόγεια σταγόνα καλλιέργειες λαχανικών και φρούτων με τη χρήση απόβλητου ύδατος επεξεργασμένου δευτεροβάθμια με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι Hutmacher *et al.* (1992), επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση του συνολικού κόστους άρδευσης και υλικών με την εφαρμογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε λιβαδικές καλλιέργειες. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται μείωση της επιφανειακής εξάτμισης καθώς το έδαφος παραμένει ξηρό μετά τη κάθε εφαρμογή.

Σε πείραμα που πραγματοποίησαν οι Phene et al. (1992) σε αργιλοπηλώδες έδαφος παρατήρησαν ότι η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης στα 45 cm βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας κοντά στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος σε απολύτως ικανοποιητικά ποσοστά. Σε πείραμα τους σε γυμνό έδαφος οι Phene et al. (1992) διαπίστωσαν απώλεια αρδευτικού νερού λόγω εξάτμισης στην υπόγεια στάγδην άρδευση σε ποσοστό μόνο 60% επί του συνόλου εφαρμογής σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες όπου το ποσοστό απωλειών κυμαίνεται από 12 έως 24%.

Το 1993 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά το Trifluralin-5 στην υπόγεια άρδευση ως ριζοαποθητικό. Κατασκευάζεται με το εμπορικό όνομα RootGuard. Η ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου Teflan στους σταλακτήρες και η αργή αποδέσμευση του οδηγεί στη παύση παρείσφρησης της ρίζας παράπλευρα και εντός των σταλακτήρων. Η κατασκευάστρια εταιρεία εγγυάται μάλιστα άριστη λειτουργία του συστήματος για δέκα έως είκοσι χρόνια ανάλογα με το τρόπο εγκατάστασης και συντήρησης .

Το Teflan είναι μη τοξικό, δε βλάπτει την υγεία των ανθρώπων, δεν είναι διαλυτό στο νερό, δεν είναι συστηματικό, ακινητοποιείται και δε διηθείται με το νερό της άρδευσης ή της βροχής και διαλύεται μόνο στο πολυμερές σώμα των σταλακτήρων.

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

Η βελτίωση της μεθόδου οφείλεται κυρίως σε Ισραηλινές εταιρίες οι οποίες επένδυσαν σημαντικό χρόνο και χρήμα στην εξέλιξή της. Οι Shani et al. (1996) απέδειξαν ότι η παροχή του σταλάκτη στην υπόγεια στάγδην άρδευση εξαρτάται από τη τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας.

Οι Zoldoske et al. (1998) στα συμπεράσματά τους αναφέρουν σημαντική αύξηση σε παραγωγή σταφυλίων ανά συστάδα σε καλλιέργεια αμπέλου η οποία αρδεύτηκε με υπόγεια στάγδην άρδευση, σε αντίθεση με την επιφανειακή στάγδην, και μάλιστα με μειωμένες δόσεις άρδευσης σε ποσοστό 20% επί της ημερήσιας τιμής της εξατμισοδιαπνοής. Επιτεύχθηκε επίσης με την υπόγεια άρδευση μεγαλύτερη ισορροπία στο χρόνο ωρίμανσης της καλλιέργειας.

4.2 Γενική σύνθεση συστήματος υπόγειας στάγδην άρδευσης

Ως σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης (Μιχελάκης, 1994) ορίζεται ένα σύνολο σωληνώσεων, εξαρτημάτων, μηχανισμών κ.λπ. μόνιμα εγκατεστημένων σύμφωνα με μελετημένη διάταξη, ώστε να εξασφαλίζουν τη μεταφορά και ομοιόμορφη διανομή του νερού στα φυτά της καλλιέργειας και να επιτρέπουν διάφορους βαθμούς αυτοματισμού στην εφαρμογή του νερού και στην εκτέλεση διάφορων καλλιεργητικών φροντίδων.

Τα βασικά μέρη που περιλαμβάνει ένα τυπικό σύστημα στάγδην άρδευσης είναι οι σταλακτήρες, οι σωληνώσεις, τα εξαρτήματα συνδεσμολογίας, το κέντρο ελέγχου ή κεφαλή και τη πηγή πίεσης. Εκτός από τα βασικά αυτά μέρη, ένα σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης περιλαμβάνει όμοια με τα συστήματα επιφανειακής στάγδην άρδευσης και διάφορους μηχανισμούς, οι οποίοι εξασφαλίζουν καθένας ανάλογες λειτουργικές δυνατότητες στο δίκτυο.

4.3 Διάταξη και εγκατάσταση δικτύου

Με τον όρο διάταξη δικτύου, εννοείται όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η διαδοχική σειρά με την οποία τοποθετούνται στο χώρο τα διάφορα τμήματα, εξαρτήματα ή μηχανισμοί του δικτύου.

Γενικά, σ' ένα τυπικό δίκτυο υπόγειας στάγδην άρδευσης, τα βασικά μέρη του διατάσσονται σχεδόν πάντοτε με την εξής σειρά:

- Πηγή πίεσης.
- Κέντρο ελέγχου ή κεφαλή.
- Σωλήνες: α) κύριοι, β) δευτερεύοντες, γ) πλευρικοί ή σταλακτηφόροι.
- Σταλακτήρες.

Οι διάφοροι ειδικοί μηχανισμοί, όπως διήθησης του νερού, αυτοματισμού της λειτουργίας, ρύθμιση της πίεσης, υδρολίπανσης κ.λπ., τοποθετούνται σε διάφορα σημεία, από την πηγή πίεσης μέχρι την είσοδο των δευτερευόντων, ανάλογα με τις δεδομένες συνθήκες του δικτύου.

Κατά την εγκατάσταση όμως ενός δικτύου υπόγειας στάγδην άρδευσης σε σχέση με ένα δίκτυο επιφανειακής στάγδην άρδευσης οι πλευρικοί ή σταλακτηφόροι σωλήνες τοποθετούνται υπόγεια με τη βοήθεια ειδικού μηχανήματος σε βάθος 45 cm συνήθως.

4.4 Πλεονεκτήματα

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

Είναι δυνατή η χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα και η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων ως το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (Devitt and Miller, 1988).

Επιτυγχάνεται μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης (από 40-45% στις παραδοσιακές μεθόδους, σε 25% στην επιφανειακή στάγδην άρδευση και σε 5 με 10% στην υπόγεια άρδευση).

Επιτυγχάνεται η μέγιστη μείωση απωλειών νερού εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων ανέμου.

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).

Η μεταφορά των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος είναι καλύτερη κι επίσης παρατηρείτε επιτυχέστερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων όπως ο φώσφορος, το κάλιο και των απαραίτητων για τα φυτά ιχνοστοιχείων (Solomon, 1993).

Είναι δυνατός ο πλήρης αυτοματισμός της άρδευσης βάση των ημερήσιων αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (Sakellariou, 2000)

Οι ανάγκες σε πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες της τάξης 15-20 PSI (Gushiken, 1993).

Η φθορά των υλικών άρδευσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, των συνθηκών καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέργεια πανίδας, είναι μικρότερη.

Είναι εύκολη η επίβλεψη των εργασιών καθώς επίσης και η μη απαίτηση μετακίνησης του δικτύου πριν τη σπορά.

Συντελεί στη μείωση της εδαφολογικής διάβρωσης (ειδικότερα στα επικλινή εδάφη).

Επιτυγχάνεται αύξηση του οικονομικού οφέλους μακροπρόθεσμα από τη χρήση της μεθόδου και το μειωμένο κόστος συντήρησης (βέβαια αυτό εξαρτάται και από τη σωστή σχεδίαση και τοποθέτηση του δικτύου).

Τέλος θεωρείται η πλέον αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των υγρών αστικών αποβλήτων για γεωργική χρήση με τη ταυτόχρονη μείωση των οσμών και χωρίς την ανάγκη τριτογενούς επεξεργασίας.

4.5 Μειονεκτήματα

Τα συνήθη προβλήματα είναι α) το μεγάλο κόστος εγκατάστασης όταν δε γίνεται σωστός σχεδιασμός, β) η δυσκολία ελέγχου του υπόγειου δικτύου και γ) η απόφραξη των σταλακτήρων από τα φερτά υλικά (Phene, 1983).

5. ΑΥΤΟΚΙΝΟΥΜΕΝΟΣ ΕΚΤΟΞΕΥΤΗΡΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΙΕΣΕΩΣ

5.1 Γενικά

Το αυτοπροωθούμενο συγκρότημα με εκτοξευτή (κοινώς καρούλι) είναι ένας καταιονιστήρας υψηλής πίεσης που τροφοδοτείται με νερό μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα και κινείται από το ένα μέχρι το άλλο άκρο του χωραφίου αρδεύοντας μία λωρίδα εδάφους.

Μέχρι το έτος 1988 περίπου 4500 συγκροτήματα είχαν καταγραφεί σε ολόκληρη τη χώρα εξυπηρετώντας περισσότερα από 600.000 στρέμματα αρδευόμενων καλλιεργειών (Λουϊζάκης, 1991). Σημαντική ήταν άλλωστε η συνεισφορά του εν λόγω συστήματος στο διπλασιασμό του οικογενειακού εισοδήματος τη περίοδο από το 1981 ως το 1985 στη χώρα μας. Από τότε έως σήμερα ο αριθμός αυτών υπερδιπλασιάστηκε, καθώς και η έκταση που αναλαμβάνουν.

Το όλο συγκρότημα αποτελείται από ένα φορείο πάνω στο οποίο βρίσκεται ο εκτοξευτήρας και από ένα άλλο φορείο που φέρει ένα τύμπανο στο οποίο τυλίγεται ο εύκαμπτος σωλήνας. Στο φορείο αυτό καταλήγει ο κύριος αγωγός μεταφοράς που φέρνει το νερό από την υδροληψία και συνδέεται με το πλαστικό σωλήνα που είναι τυλιγμένος στο τύμπανο. Το τύμπανο περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός μηχανισμού που είναι συνήθως μια υδραυλική τουρμπίνα. Το άλλο άκρο του σωλήνα συνδέεται με τον εκτοξευτήρα. Για να αρχίσει η άρδευση, το φορείο με το τύμπανο τοποθετείται στο πάνω άκρο του χωραφίου και το φορείο με τον εκτοξευτήρα τοποθετείται στο κάτω, ενώ ο πλαστικός σωλήνας είναι ξετυλιγμένος συνδέοντας τα δύο φορεία. Με την έναρξη της άρδευσης, το τύμπανο αρχίζει να περιστρέφεται τυλίγοντας το σωλήνα, ο οποίος ταυτόχρονα τροφοδοτεί με νερό τον εκτοξευτήρα και έλκει το φορείο που τον φέρει, επιτυγχάνοντας έτσι την άρδευση μιας λωρίδας εδάφους ανάμεσα στα όρια του χωραφίου. Μετά την άρδευση της λωρίδας αυτής, το σύστημα μετακινείται στη διπλανή και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία, μέχρι να αρδευτεί ολόκληρη η έκταση (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

5.2 Χαρακτηριστικά συγκροτήματος

Το κάθε συγκρότημα χαρακτηρίζεται από τη διάμετρο του ακροφυσίου, το μήκος του εύκαμπτου σωλήνα και τη διάμετρο αυτού. Οι γωνίες εκτόξευσης κυμαίνονται μεταξύ των 18° με 15° και για σωστή άρδευση οι ταχύτητες του ανέμου δε πρέπει να υπερβαίνουν τα 16 km/h. Η ταχύτητα του συγκροτήματος και ο συνολικός χρόνος εφαρμογής υπολογίζεται ανάλογα με το μήκος του χωραφίου, τις συνολικές εφαρμογές, τη δόση άρδευσης, τη διάμετρο διαβροχής και το μήκος του εύκαμπτου σωλήνα.

5.3 Διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συγκροτήματος

Η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου συγκροτήματος έχει να κάνει με την έκταση και τις διαστάσεις του αγρού, τη μέση ένταση των ανέμων που επικρατούν στη περιοχή, τη καλλιέργεια που θα χρησιμοποιηθεί, το τύπο του εδάφους την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή για τις μέρες αιχμής, την αρδευτική αποδοτικότητα, τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και το εύρος άρδευσης κατά τη περίοδο αιχμής.

Γενικότερα ο ρυθμός εφαρμογής πρέπει να μην υπερβαίνει τη διηθητικότητα του εδάφους. Η ομοιομορφία άρδευσης αυτών των συστημάτων είναι επίσης προβληματική, καθώς σε καμία περίπτωση δε ξεπερνά σε ποσοστό το 70 με 75%, εξαιτίας κυρίως των διακυμάνσεων της φοράς και της ταχύτητας του ανέμου. Στα αρνητικά του συστήματος υπολογίζονται επίσης και οι γραμμικές απώλειες φορτίου του αγωγού καθώς επίσης και οι απώλειες φορτίου του τυμπάνου.

5.4 Σχεδιασμός του κατάλληλου συγκροτήματος

Ο σχεδιασμός για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος, καθώς επίσης και οι παράμετροι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, συνήθως αγνοούνται και η αγορά τους γίνεται εμπειρικά σε συνεννόηση με τον αντίστοιχο πωλητή. Το κόστος προμήθειας του συγκροτήματος είναι σημαντικά υψηλό και απαιτεί μεγάλη ισχύ κινητήρα και αντίστοιχα υψηλή διαθέσιμη παροχή νερού (Rolland, 1982., Λουϊζακης, 1995).

Επομένως θεωρείται απαραίτητη ακόμη και σήμερα μια ολοκληρωμένη μελέτη, που να επικεντρώνεται στην αξιολόγηση, επιλογή προμήθειας και χρήση του συγκροτήματος, ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες της γεωργικής επιχείρησης.

6. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

6.1 Γενικά

Η ανάπτυξη και παραγωγικότητα του ινώδους Σόργου (*Sorghum bicolor* L Moench) ποικιλία FS-5 μελετήθηκε σε πείραμα αγρού στο πειραματικό αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) τη καλλιεργητική περίοδο του έτους 2001.

Το στίγμα του αγροκτήματος είναι 39°23' γεωγραφικό πλάτος, 22°45' γεωγραφικό μήκος και βρίσκεται σε υψόμετρο 50 m από το επίπεδο της θάλασσας. Στη περιοχή επικρατεί τυπικό Μεσογειακό κλίμα, χαρακτηριζόμενο από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 5 Μαΐου του 2001 και η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός ήταν ένα στρέμμα.

Χρησιμοποιήθηκε τυχαίοποιημένο σχέδιο συγκροτημάτων με τέσσερις μεταχειρήσεις σε τέσσερις επαναλήψεις (συνολικά 16 πειραματικά τεμάχια).

6.2 Οριοθέτηση

Η διαφοροποίηση των τεμαχίων έγινε με βάση τη μέθοδο άρδευσης. Έτσι όπως φαίνεται και στο σχέδιο 6.1. τέσσερα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν με τη χρήση αυτοπροωθούμενου συγκροτήματος τεχνητής βροχής με αγωγό (Φ110) και εκτοξευτή (κανόνι βροχής), τέσσερα πειραματικά αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση, τέσσερα με υπόγεια στάγδην άρδευση, ενώ τέσσερα δεν αρδεύτηκαν καθόλου (μάρτυρες).

Η συνολική επιφάνεια του κάθε τεμαχίου ήταν 50 m² (κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 5 m και μήκος 10 m). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο εγκαταστάθηκαν έξι σειρές φυτών. Η απόσταση μεταξύ των σειρών σποράς της κάθε επανάληψης ήταν 0,8 m και η απόσταση των φυτών επί της γραμμής σποράς ήταν 0,12 m (9 σπόροι/μέτρο) ενώ το βάθος σποράς ήταν 4,5 cm.

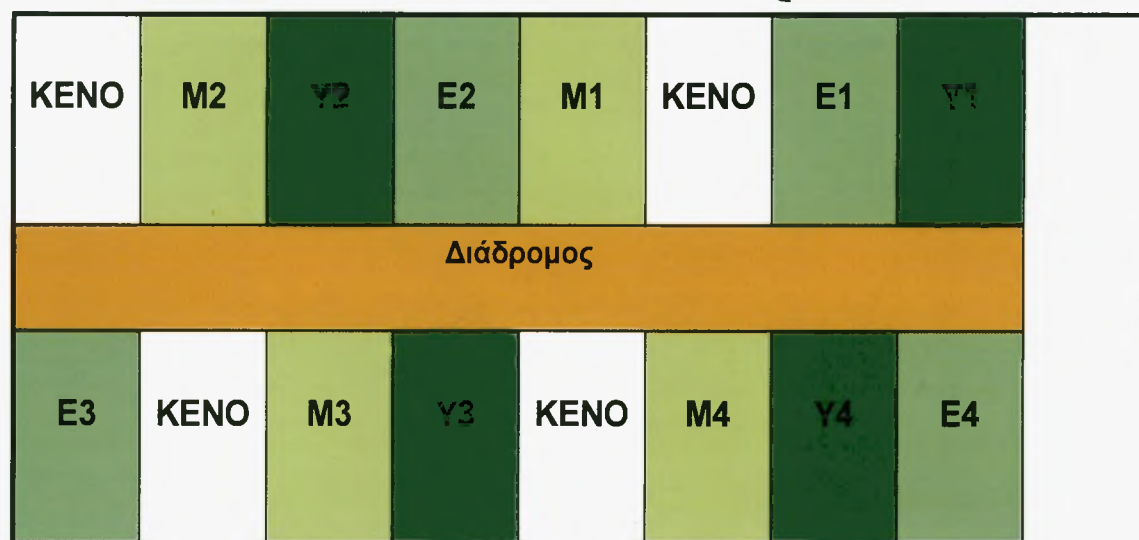
6.3 Κατεργασία εδάφους

Η κατεργασία του εδάφους ήταν ίδια σε όλα τα πειραματικά τεμάχια και πραγματοποιήθηκε στις 6 Απριλίου του 2001. Αρχικά εφαρμόστηκε εδαφοσχίστης με πέντε υνία και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή σκοπός του οποίου ήταν η διατήρηση της αρχική υγρασίας του εδάφους και η προετοιμασία κατάλληλης σποροκλίνης.

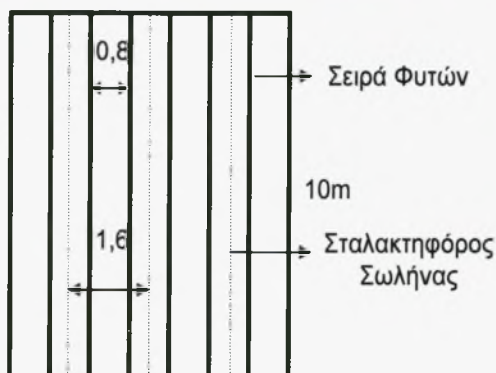
K1-K4 = Άρδευση με κανόνι βροχής E1-E4 = Άρδευση με σταγόνα επιφανειακά
 M1-M4 = Μάρτυρας (χωρίς άρδευση) Y1-Y4 = Άρδευση με σταγόνα υπόγεια

ΔΕΞΑΜΕΝΗ

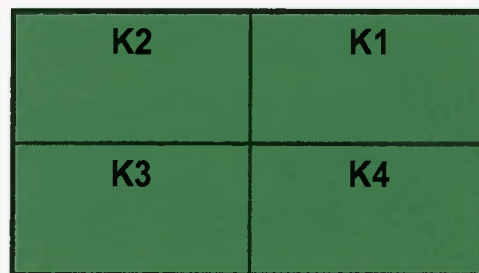
Δευτερεύον αγωγός μεταφοράς



5m



Μεγέθυνση
 πειραματικού
 στάγδην
 άρδευσης



Σχέδιο 6.1. Πειραματικός αγρός για την ανάπτυξη του ινώδους Σόργου στο Βελεστίνο το 2001.

6.4 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Το έδαφος, στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα, είναι καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδους υφής και ανήκει στην υποομάδα των Typic Xenochrepts (USDA, 1975, Μήτσιος, 1999).

Η υδατοικανότητα του εδάφους ήταν 21%, το σημείο μόνιμης μάρανσης 11,5% και το φαινόμενο ειδικό βάρος 1,23.

Η εδαφοτομή P₂, όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα, αντιπροσωπεύει τη μισή περίπου έκταση του κεντρικού τμήματος του αγροκτήματος στο Βελεστίνο.

Στη περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας *xeic* και εδαφικής θερμοκρασίας *thermic*.

Τα εδάφη αυτά έχουν υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκκοκη έως λεπτόκκοκη.

Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με Β βαθμό αποστράγγισης ο οποίος βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους, εξαιτίας της πετρώδους σύστασής του.

Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή και σε επίπεδα μετρίως χαμηλά και εμφανίζουν μια σαφή τάση μετακίνησης και έκπλυσής τους προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Το pH βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (7,9-8,2), χωρίς όμως να είναι προβληματικό.

Το πορώδες είναι καλά αναπτυγμένο, αποτελούμενο κυρίως από μικρούς και μεσαίου μεγέθους πόρους.

Ο διαθέσιμος φώσφορος είναι 20 ppm (index 2).

Η οργανική ουσία είναι επαρκής μέχρι το βάθος των 60 cm και σε πολύ χαμηλά επίπεδα βαθύτερα.

Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Na, Mg, K και η C.E.C. γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα.

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

7. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

7.1 Υλικά άρδευσης

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης. Η τοποθέτηση έγινε στις 20 Απριλίου του 2001 στα 0,45 m υπό την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια ειδικής κατασκευής (υπεδαφοθέτη) η οποία ανοίγει αυλάκι και συγχρόνως τοποθετεί το λάστιχο.

Οι αγωγοί μεταφοράς τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου δικτύου άρδευσης ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 32 mm με πίεση λειτουργίας στις 6 Atm. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο της υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης τοποθετήθηκαν τρεις αγωγοί εφαρμογής των 20 mm. Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1,6 m και η τοποθέτησή τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών της καλλιέργειας. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής 3,6 l/h σε πίεση λειτουργίας 3,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής 3,78 mm/h και η ισαποχή τους επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6 m.

Πραγματοποιήθηκε επίσης η τοποθέτηση δύο ηλεκτροβανών (μία για τα τέσσερα πειραματικά τεμάχια της επιφανειακής στάγδην άρδευσης και μία για τα τέσσερα πειραματικά τεμάχια της υπόγειας στάγδην άρδευσης). Οι ηλεκτροβάνες ήταν τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9-40 V.

Στη κεφαλή του δικτύου όπως φαίνεται στην εικόνα 3. τοποθετήθηκε ειδική βαλβίδα (air



valve 1'') η οποία σκοπό είχε να βγάξει τον αέρα από το κεντρικό αγωγό της αντλίας και ειδικότερα για το υπόγειο δίκτυο τοποθετήθηκε ειδική βαλβίδα εκτόνωσης κενού (vacuum breaker valve), για την αποφυγή εμφράξεων στο δίκτυο καθώς επίσης και φίλτρο δίσκων (teck filter) εμπλουτισμένο με Trifluralin-5 (ζιζανιοκτόνο της ομάδας

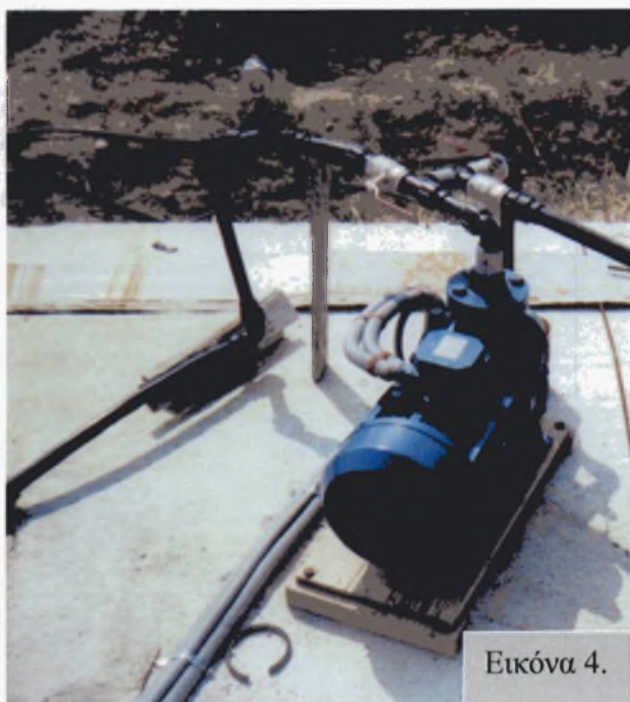
των δινιτροανιλινών), ως ριζοαπωθητικό.

Οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή (miracle) της εταιρίας Netafim με σκοπό την αυτοματοποίηση της άρδευσης.

Ο προγραμματιστής παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας των δύο ηλεκτροβανών ταυτοχρόνως σε δύο διαφορετικά προγράμματα και αποτελείται από την ψηφιακή οθόνη προγραμματισμού, τα πλήκτρα εντολών (καθορισμό ημέρας, ώρας, δόσης και διάρκεια άρδευσης), την μπαταρία λιθίου (9 V), τον πίνακα ελέγχου, τα καλώδια με τις συνδέσεις τους 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 περισσότερων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα, επίσης σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά τη προβληματική στάση και συνεχίζει την άρδευση στην επόμενη χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της κεντρικής βάνας και τέλος διαθέτει πρόγραμμα ασφαλείας 10 min για την κάθε ημέρα.

Για τη συγκέντρωση και διάθεση του προς άρδευση ύδατος χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένια



Εικόνα 4.

ορθογώνια δεξαμενή εικόνα 4. χωρητικότητας 50 m^3 .

Τοποθετήθηκαν επίσης όπως φαίνεται στην εικόνα 3. και εικόνα 4. η αντλία προώθησης του νερού στα δίκτυα, οι ηλεκτροβάνες, τα διάφορα φίλτρα, η βαλβίδα κενού, ο αγωγός των επιστρεφόμενων, το πιεζόμετρο και ο υπόλοιπος μηχανολογικός εξοπλισμός της άρδευσης.

Όσον αφορά τη μέθοδο άρδευσης με κανόνι βροχής, η τοποθέτηση του εκτοξευτή έγινε σε σταθερό σημείο πλησίον των πειραματικών. Η παροχή αυτού μετρήθηκε στα $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 4,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής τα 18 mm h^{-1} .

7.2 Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας πραγματοποιούνταν λίγο πριν την άρδευση και δύο ημέρες μετά από αυτή, με τη μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry), με αισθητήρες μήκους 75 cm και διαστημάτων μέτρησης: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-75 cm.

Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς του υπό μέτρηση εδάφους και την αναγωγή αυτής σε κατ' όγκο περιεκτικότητα νερού. Η διηλεκτρική σταθερά επιδρά και καθορίζει τη ταχύτητα κίνησης ενός υψηλής συχνότητας σήματος το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω κατάλληλου κυματοδηγού (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και συνεργάτες, 1997).

Για τη καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής (ημερησία μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, καταγραφή της ημερήσιας βροχόπτωσης και ημερήσια εξάτμιση) χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του αγροκτήματος ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 25 μέτρων από το κέντρο του πειραματικού αγρού. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα υγρό και ξηρό θερμομέτρο, πυρανόμετρο και ανεμόμετρο. Η συλλογή των βασικών δεδομένων έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία 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.

Χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο οι ενδείξεις θερμοκρασίας ημέρας και νύκτας και οι ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης για τη σύγκριση των κλιματικών δεδομένων του έτους 2001 με αυτές της προηγούμενης εικοσιπενταετίας. Τα υπόλοιπα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν δευτερευόντως για την επεξήγηση μερικών φυσιολογικών διαφορών.

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 το οποίο απεικονίζεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5.

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 επιφάνειάς 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.

Η εξέλιξη της παραγωγής σε χλωρή και ξηρή βιομάζα των μεταχειρίσεων μετρήθηκε συνολικά σε τρεις στελεχοκοπές (31/8, 21/9, 10/10).

Για τη μέτρηση της χλωρής βιομάζας σε κάθε δειγματοληψία ελαμβάνοντο, από τις δύο εκ των τεσσάρων κεντρικών σειρών του κάθε πειραματικού τεμαχίου, όλα τα φυτά που υπήρχαν σε δύο μη συνεχόμενα τρέχοντα μέτρα και ζυγίστηκαν σε ειδική ζυγαρία ακριβείας με μέγιστο αποδεκτό βάρος τα 100 kg.

Κατόπιν επιλέχθηκαν δύο αντιπροσωπευτικά φυτά από κάθε δείγμα τα οποία ξαναζυγίστηκαν. Στον αγρό πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των φυτικών τμημάτων (φύλλα, βλαστοί, όργανα αναπαραγωγής), των αντιπροσωπευτικών φυτών καθώς επίσης και το ζύγισμα τους.

Εν συνεχεία οι βλαστοί και τα φύλλα του κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε ειδικές χάρτινες σακούλες, μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο και αποξηράθηκαν σε θερμοκρασία 85 °C, μέχρι σταθεροποίησης των βαρών τους σε δύο ειδικά ξηραντήρια του Πανεπιστημίου. Εν συνεχεία ζυγίστηκαν τα ξηρά βάρη των δειγμάτων για το προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας.

Πρέπει τέλος να αναφερθεί ότι στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών δε πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική αγωγή ή άλλου είδους προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος των πειραματικών.

7.3 Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης

7.3.1 Θεωρητικός τρόπος υπολογισμού

Για τον υπολογισμό της άρδευσης με σταγόνα χρησιμοποιούνται συνήθως δύο τρόποι, ο θεωρητικός και ο πρακτικός (εξατμισόμετρο).

Ο θεωρητικός τρόπος περιλαμβάνει τους παρακάτω υπολογισμούς:

Υπολογισμός της θεωρητικής δόσης άρδευσης (I_d):

$$I_d \text{ (mm)} = \frac{(FC - PWP) * h * c * P * ASW}{10}$$

όπου:

FC = υδατοϊκανότητα = 21,2% κ.ο.

PWP = Σημείο μόνιμης μάρανσης = 11,64% κ.ο.

h = βάθος ριζοστρώματος = 1 m

c = όριο εξάντλησης υγρασίας = 0.55

P = Ποσοστό διαβροχής = 100%

ASW = φαινόμενο ειδικό βάρος = 1,23 g m⁻³

Επομένως στη προκειμένη περίπτωση θα έχουμε $I_d = 64,67 \text{ mm}$

Εν συνεχεία υπολογίζεται η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}):

$$I_{da} \text{ (mm)} = I_d / 0,95$$

Όπου 0,95 η απόδοση άρδευσης του νερού άρδευσης.

Επομένως $I_{da} = 68 \text{ mm}$.

Το ωριαίο ύψος βροχής (I_{dh}) υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση.

$$I_{dh} = \frac{Q * n}{S_r * S_t}$$

Όπου:

q = παροχή σταλάκτη = 3,61 l h⁻¹

S_r = ισαποχή των γραμμών σποράς = 0,8 m

S_t = ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς = 0,143 m

n = αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό

$$n = \frac{St}{2 * Se}$$

Se = ισαποχή σταλακτήρων = 0,6 m

Ο αριθμός 2 αναφέρεται στη τοποθέτηση των αγωγών εφαρμογής (σειρά παρά σειρά).

Επομένως $n = 0,12$ σταλακτήρες ανά φυτό και $Idh = 3,78 \text{ mm h}^{-1}$.

Η διάρκεια άρδευσης (I_t) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_t (h) = I_{da} / I_{dh}$$

Επομένως $I_t = 17 \text{ h } 59' 22''$

Για τον υπολογισμό του εύρους άρδευσης $I_r (d)$ χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$I_r (d) = I_{da} / E_{td}$$

Όπου:

E_{td} = μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm).

Η μέθοδος αυτή δε χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία διότι, αφ' ενός η ημερήσια εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός μήνα δεν είναι ποτέ σταθερή, και αφετέρου διότι απαιτούνται συνήθως πολύ μεγάλοι χρόνοι του αρδευτικού συστήματος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του εξατμισιμέτρου, η οποία είναι πιο άμεση για τη μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής και κατά συνέπεια και της δόσης άρδευσης.

Εντούτοις η παραπάνω μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για το προσδιορισμό της πραγματικής δόσης άρδευσης την οποία δε θα πρέπει να υπερβαίνει κανείς όταν ποτίζει με τη μέθοδο του εξατμισιμέτρου.

7.3.2 Πρακτικός τρόπος υπολογισμών-εξατμισόμετρο

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για το προσδιορισμό της δόσης και διάρκειας άρδευσης της καλλιέργειας ήταν αυτή του εξατμισιμέτρου τύπου Α. Το εξατμισόμετρο Α τύπου αποτελείται από μία κυλινδρική λεκάνη από γαλβανισμένη λαμαρίνα και έχει διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm.

Η τοποθέτησή της γίνεται πάνω σε ειδική ξύλινη βάση σε ύψος 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους και οριζοντιώνεται. Εντός της λεκάνης βρίσκεται γυάλινος ογκομετρικός

σωλήνας μήκους 28,5 cm και διαμέτρου 1,2 cm. Η χωρητικότητα του σωλήνα είναι 50 ml με διακριτικότητα 0,1 ml και σφάλμα ανάγνωσης τα 0,05 ml.

Ειδικότερα ο καθορισμός των δόσεων άρδευσης και για τις τρεις μεθοδολογίες βασίστηκε στην ημερήσια ένδειξη εξάτμισης του εξατμισιμέτρου τύπου A το οποίο τοποθετήθηκε εντός του πειραματικού αγρού, πολλαπλασιάζοντας πάντα με το συντελεστή του εξατμισιμέτρου ($K_{εξ} = 0,85$).

Η σχέση που δίνει τη βασική εξάτμιση είναι:

$$ET_P = K_{εξ} * E_{pan}$$

Ο παράγοντας E_{pan} εκφράζει τη μέση εξάτμιση του εικοσιτετραώρου σε $mm\ day^{-1}$ και $K_{εξ}$ είναι ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισιμέτρου.

Εν συνεχεία η εν λόγω ημερήσια τιμή εξάτμισης πολλαπλασιάστηκε με το φυτικό συντελεστή του ινώδους σόργου ($K_C = 1$) με σκοπό τον προσδιορισμό της ημερησίας τιμής εξατμισοδιαπνοής της φυτείας. Για τα κλιματικά δεδομένα του υποτροπικού Μεσογειακού θέρους της Θεσσαλίας η τιμή του αποφασίστηκε να διατηρηθεί σταθερή ($K_C = 1$) καθ' όλη τη καλλιεργητική περίοδο του 2001 (FAO, 1977).

Με το τρόπο αυτό υπολογιζόταν σε ημερήσια βάση η τιμή της πρακτικής δόσης άρδευσης για τη μέθοδο της στάγδην άρδευσης.

$$I_{da} (mm) = ET_P * K_C$$

Όλες οι μεταχειρήσεις έλαβαν, ανά τακτά χρονικά διαστήματα και για τη περίοδο από 18 Ιουνίου έως 9 Οκτωβρίου του 2001 την ποσότητα νερού που του αναλογούσε με σκοπό την κάλυψη των αναγκών της φυτείας σε mm εξάτμισης.

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A, με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Αντίστοιχα για την άρδευση με το κανόνι υπολογίστηκε το ωριαίο ύψος βροχής (I_{dh}) σε $26\ mm\ h^{-1}$ και η παροχή του εκτοξευτήρα σε $34\ m^3\ h^{-1}$. Επομένως ανάλογα με την ημερήσια ένδειξη του εξατμισιμέτρου υπολογίστηκε η πρακτική δόση άρδευσης για το κανόνι $I_{dakων}$ (mm) από τη σχέση:

$$I_{dakων} (mm) = E_{pan} * K_{εξ} * K_C$$

Η δόση άρδευσης και η διάρκεια άρδευσης για τη κάθε μέθοδο, όπως αυτή καθορίστηκε με βάση την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή, απεικονίζεται στο πίνακα 7.2.

Για τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας της άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ο τύπος:

$$It = I_{da} / I_{dh}$$

Όπου:

I_t = διάρκεια άρδευσης σε ώρες

I_{da} = πρακτική δόση άρδευσης αντίστοιχη της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (mm)

I_{dh} = ωριαίο ύψος βροχής = $q / (Se * SI) = 3,64 \text{ mm h}^{-1}$ για την επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση και 26 mm h^{-1} για την άρδευση με κανόνι βροχής.

Είναι βέβαια βασικό το άθροισμα των ημερήσιων ενδείξεων του εξατμισιμέτρου να μη ξεπερνά μια συγκεκριμένη τιμή για ένα σύνολο ημερών. Σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η υγρασία του εδάφους να πλησιάσει τη τιμή του σημείου μόνιμης μάρανσης, κάτι το οποίο θα ήταν καταστροφικό για τη καλλιέργεια. Η τιμή αυτή που καθορίζει το όριο για την απαρχή μιας νέας άρδευσης προκύπτει από τους υπολογισμούς της πρώτης φάσης (θεωρητικός τρόπος υπολογισμών) και εν προκειμένω είναι ίση με τη τιμή της πρακτικής δόσης άρδευσης ($I_{da} = 68 \text{ mm}$).

Πίνακας 7.1. Δεδομένα εξατμισιμέτρου τύπου A για τον υπολογισμό της εξάτμισης στη περιοχή του Βελεστίνου τη καλλιεργητική περίοδο του 2001.

Ημερομηνία	Ένδειξη εξατμισιμέτρου	Προσθήκη νερού	Νέα ένδειξη εξατμισιμέτρου	mm Εξάτμισης
18/6/2001	16			
19/6/2001	18			2
20/6/2001	23			5
21/6/2001	23	ΒΡΟΧΗ	21	0
22/6/2001	24			3
23/6/2001				
24/6/2001				
25/6/2001	36	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	12
26/6/2001	4			4
27/6/2001	10			6
28/6/2001	16			6
29/6/2001	23			7
30/6/2001				
1/7/2001				
2/7/2001	30	ΒΡΟΧΗ	16	7
3/7/2001	19			3
4/7/2001	22			3
5/7/2001	25			3

6/7/2001	30			5
7/7/2001				
8/7/2001				
9/7/2001	41			11
10/7/2001	46			5
11/7/2001	51			5
12/7/2001		ΓΕΜΙΣΜΑ	0	
13/7/2001	4			4
14/7/2001				
15/7/2001				
16/7/2001	16			12
17/7/2001	22			5
18/7/2001	27			4
19/7/2001	31			5
20/7/2001	36			5
21/7/2001				
22/7/2001				
23/7/2001	48	Άδειασμα-ΓΕΜΙΣΜΑ	0	12
24/7/2001	3			3
25/7/2001	6			3
26/7/2001	10			4
27/7/2001	11			1
28/7/2001				
29/7/2001				
30/7/2001				
31/7/2001				
1/8/2001	29	Βροχή-ΓΕΜΙΣΜΑ	0	18
2/8/2001				
3/8/2001				
4/8/2001				
5/8/2001				
6/8/2001				
7/8/2001				
8/8/2001	27			27
9/8/2001	34	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	7
10/8/2001	4			4
11/8/2001				
12/8/2001				
13/8/2001	9			5
14/8/2001	12			3
15/8/2001				
16/8/2001	18			6
17/8/2001	22			4
18/8/2001				
19/8/2001				
20/8/2001	32			10
21/8/2001	35			3
22/8/2001	41	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	6
23/8/2001	3			3
24/8/2001	6			3
25/8/2001				
26/8/2001				
27/8/2001	18			12
28/8/2001	21			3
29/8/2001	25	ΓΕΜΙΣΜΑ	0	4
30/8/2001	5			5
31/8/2001	10			5
1/9/2001				

2/9/2001				
3/9/2001	19			19
4/9/2001	24			5
5/9/2001	27			3
6/9/2001	29			2
7/9/2001	33			4
8/9/2001				
9/9/2001				
10/9/2001	44			11
11/9/2001		ΓΕΜΙΣΜΑ	0	
12/9/2001				
13/9/2001	6			6
14/9/2001	9			3
15/9/2001				
16/9/2001				
17/9/2001				
18/9/2001	21			12
19/9/2001	25			4
20/9/2001	27			2
21/9/2001	29			2
22/9/2001				
23/9/2001				
24/9/2001	36			7
25/9/2001	40			4
26/9/2001	45			5
27/9/2001	51	ΓΕΜΙΣΜΑ	1	6
28/9/2001	4			3
29/9/2001	8			4
30/9/2001				
1/10/2001	14			6
2/10/2001	17			3
3/10/2001	19			2
4/10/2001	22			3
5/10/2001	24			2
6/10/2001				
7/10/2001				
8/10/2001	27			3
9/10/2001	29			2
10/10/2001	32			3
11/10/2001	34			2
12/10/2001	36			2
13/10/2001				
14/10/2001				
15/10/2001	39			3
			ΣΥΝΟΛΟ	406

Η συνολική επομένως εξάτμιση από τις 18/6/2001 έως τις 15/10/2001 όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 7.1. ήταν 406 mm. Επομένως η συνολική ποσότητα νερού που πρέπει να εφαρμοσθεί κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου είναι $406 * K_{εξ} = 345 \text{ mm}$ ($K_{εξ} = 0,85$).

Πίνακας 7.2. Πρόγραμμα άρδευσης

Εξατμισόμετρο	Δόση άρδευσης	$I_{dh}=q/Se \cdot S_r$	Διάρκεια άρδευσης Σταγόνα (Υπόγεια-Επιφανειακή)	Διάρκεια άρδευσης Κανόνι βροχής ΩΡΕΣ
mm	$I_{da} = E_{pan} \times K_{εξ} \times K_c$	$Q=3,5l/h, Se \cdot 2S_r=0,6 \cdot 1,6$	$I_t = I_{da} / I_{dh}$ ΩΡΕΣ	$I_t = I_{da}/E, E=ένταση βροχής$
1	0,85	0,003645833	0,233142878	0,032692308
2	1,7	0,003645833	0,466285757	0,065384615
3	2,55	0,003645833	0,699428635	0,098076923
4	3,4	0,003645833	0,932571514	0,130769231
5	4,25	0,003645833	1,165714392	0,163461538
6	5,1	0,003645833	1,398857271	0,196153846
7	5,95	0,003645833	1,632000149	0,228846154
8	6,8	0,003645833	1,865143028	0,261538462
9	7,65	0,003645833	2,098285906	0,294230769
10	8,5	0,003645833	2,331428785	0,326923077
11	9,35	0,003645833	2,564571663	0,359615385
12	10,2	0,003645833	2,797714542	0,392307692
13	11,05	0,003645833	3,03085742	0,425
14	11,9	0,003645833	3,264000298	0,457692308
15	12,75	0,003645833	3,497143177	0,490384615
16	13,6	0,003645833	3,730286055	0,523076923
17	14,45	0,003645833	3,963428934	0,555769231
18	15,3	0,003645833	4,196571812	0,588461538
19	16,15	0,003645833	4,429714691	0,621153846
20	17	0,003645833	4,662857569	0,653846154
21	17,85	0,003645833	4,896000448	0,686538462
22	18,7	0,003645833	5,129143326	0,719230769
23	19,55	0,003645833	5,362286205	0,751923077
24	20,4	0,003645833	5,595429083	0,784615385
25	21,25	0,003645833	5,828571961	0,817307692
26	22,1	0,003645833	6,06171484	0,85
27	22,95	0,003645833	6,294857718	0,882692308
28	23,8	0,003645833	6,528000597	0,915384615
29	24,65	0,003645833	6,761143475	0,948076923
30	25,5	0,003645833	6,994286354	0,980769231

E_{pan} =ημερήσια εξατμηση (mm/day), $K_{εξ}$ =συντελεστής διόρθωσης εξατμισόμετρου, K_c =φυτικός συντελεστής καλλιέργειας, I_{da} =πρακτική δόση άρδευσης (mm ή $m^3/στρ$), I_t =διάρκεια άρδευσης (h), Se =ισαποχή σταλακτηρων (0,6 m), S_r =ισαποχή γραμμών σποράς (0,8 m), E =ένταση κανονιού (mm/hr)

Πίνακας 7.3. Δόσεις άρδευσης των μεταχειρίσεων

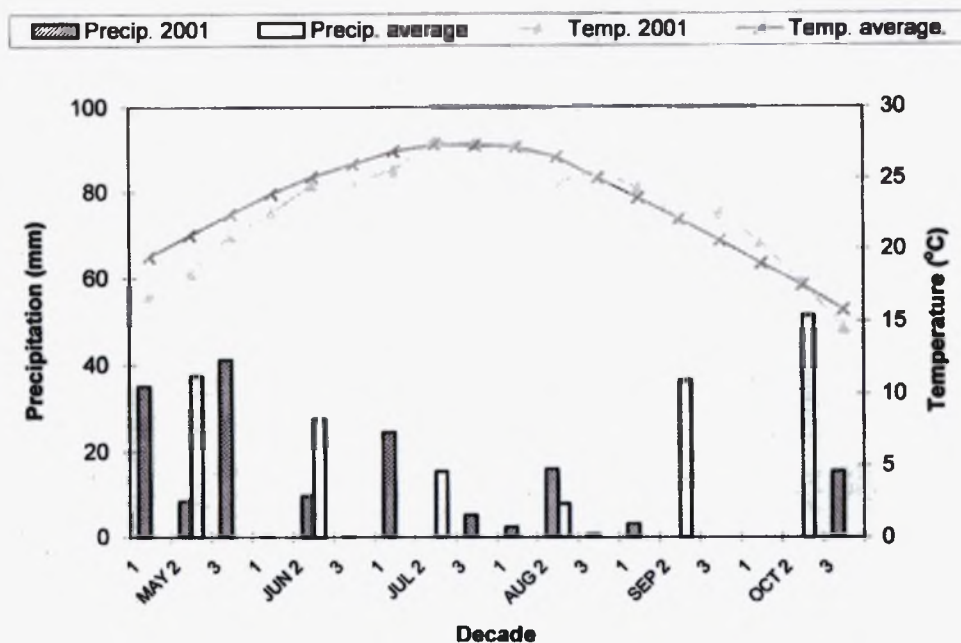
Ημερομηνία	Δόση Επιφανειακής, Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης και Κανονιού (mm)
11/6/2001	10,8
26/6/2001	9
11/7/2001	10,8
23/7/2001	36
1/8/2001	21,6
9/8/2001	25,2
22/8/2001	28,8
29/8/2001	21,6
11/9/2001	36
17/9/2001	14,4
27/9/2001	21,6
9/10/2001	18
Σύνολο	253,8

Το ύψος βροχής τη περίοδο από αρχές Ιουνίου μέχρι τα μέσα Οκτωβρίου ήταν 60 mm και προφυτρωτικά δόθηκαν 6,2 mm. Επομένως η συνολική ποσότητα νερού που δέχθηκαν τα φυτά κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ήταν 320 mm.

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η υπο μελέτη περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και κρύους και υγρούς χειμώνες. Στο Διάγραμμα 8.1. παρουσιάζονται μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης του έτους 2001 και συγκρίνονται με τις μέσες κλιματικές τιμές της υπό μελέτης περιοχής.



Διάγραμμα 8.1. Θερμοκρασία και κατακρημνίσματα (μέσες τιμές ανά 10ήμερο) που εμφανίζονται στη περιοχή πραγματοποίησης του πειράματος κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του σόργου κατά το έτος 2001 και σε ένα μέσο έτος.

Είναι εμφανές ότι η θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου που έλαβε χώρα το πείραμα δεν αυξομειώθηκε σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τις τιμές ενός μέσου έτους. Ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από το μέσο όρο (πάνω από 1 °C) νωρίς το καλοκαίρι ενώ μεταβαίνει από τους 20 °C περίπου στα μέσα Μαΐου στους 26 °C αργά τον Ιούνιο. Παραμένει κοντά στους 27.5 °C τη περίοδο του Ιουλίου μέχρι αρχές Αυγούστου, και οι τιμές της πέφτουν μεταξύ 24.5-25.5 °C από τα μέσα Αυγούστου μέχρι αρχές Σεπτεμβρίου, αλλά παραμένει κοντά στους 20 °C μέχρι το δεύτερο δεκαήμερο του Οκτωβρίου.

Με εξαίρεση το Μαΐο (συνολική βροχόπτωση 84 mm), η περίοδος ανάπτυξης του 2001 ήταν σε γενικές γραμμές ξηρή με μόλις 60 mm βροχόπτωσης τη περίοδο από αρχές Ιουνίου μέχρι μέσα Οκτωβρίου (Διάγραμμα 8.1.).

Κάτω από τέτοιες συνθήκες και γενικότερα κάτω από τις επικρατούντες κλιματικές συνθήκες της κεντρικής Ελλάδος, οι περισσότερες εαρινές καλλιέργειες συμπεριλαμβανομένης και του Σόργου χρειάζονται άρδευση προκειμένου να επιτευχθούν επιθυμητές τιμές αποδόσεων.

8.2 ΥΓΡΑΣΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ

Για τη καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και τις διακυμάνσεις αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατανομής (0-75 cm) πραγματοποιήθηκαν 11 μετρήσεις συνολικά, δύο ημέρες μετά την άρδευση, για το σύνολο των μεταχειρίσεων (υπόγεια, επιφανειακή, τεχνητή βροχή και μάρτυρας). Στο πίνακα 8.1. παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των επαναλήψεων που έτυχαν διαφορετικής μεθοδολογίας άρδευσης ενώ στο πίνακα 8.2. απεικονίζονται όλες οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο του 2001 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) οι οποίες πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο T.D.R.

Πίνακας 8.1. Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των μεταχειρίσεων δύο ημέρες μετά την άρδευση.

Βάθος εδάφους (cm)	Επιφανειακή Στάγδην (% κ.ο.)	Υπόγεια Στάγδην (% κ.ο.)	Τεχνητή Βροχή (% κ.ο.)	Μάρτυρας (% κ.ο.)
0-15	12,0	14,0	19,9	10,7
15-30	17,4	18,2	19,8	17,4
30-45	16,7	19,4	20,9	17,1
45-60	24,0	28,2	22,7	23,8
60-75	28,2	30,4	26,5	22,8

Σκοπός των μετρήσεων ήταν η ορθολογική χρήση του νερού άρδευσης ούτως ώστε η εδαφική υγρασία στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος (μεταξύ 30 και 60 cm) να βρίσκεται πλησίον της υδατοϊκανότητας (21,2) αφενός και αφετέρου να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη οικονομία ύδατος.

Κάτι τέτοιο είναι εφικτό να γίνει όπως φαίνεται και από το διάγραμμα 8.2. με τη μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης αλλά όχι και με τη μέθοδο της τεχνητής βροχής αφού μία τέτοια προσπάθεια θα είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση υψηλών τιμών εδαφικής υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της εδαφικής κατανομής και κατά συνέπεια σημαντικές απώλειες νερού λόγω εξάτμισης. Όσον αφορά την μέθοδο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης παρατηρούμε ότι παρόλο που επιτυγχάνεται οικονομία ύδατος εξ' αιτίας της διατήρησης χαμηλών τιμών εδαφικής υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της εδαφικής κατανομής με αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, η εδαφική υγρασία σε ένα τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος αποκλίνει από την υδατοϊκανότητα.

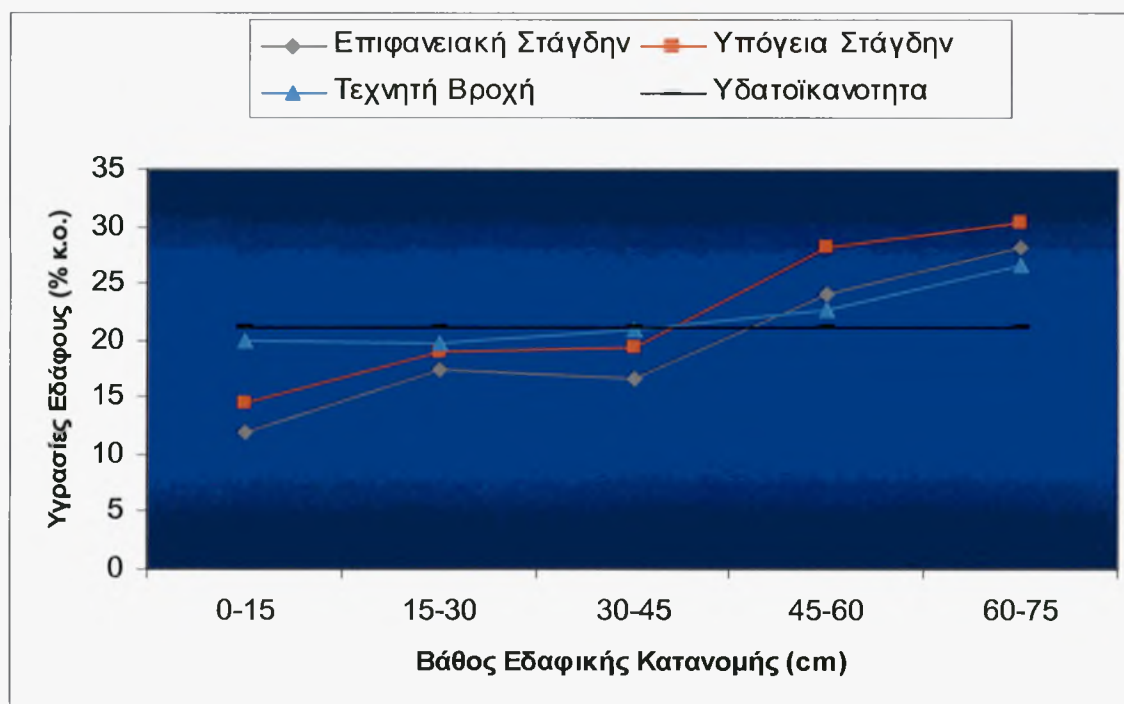
Ημερομηνία	0-15					15-30					30-45					45-60					60-75				
	Ε	Υ	Κ	Ξ	Ε	Υ	Κ	Ξ	Ε	Υ	Κ	Ξ	Ε	Υ	Κ	Ξ	Ε	Υ	Κ	Ξ	Ε	Υ	Κ	Ξ	
22/6/2001	22,1	22,9	26,6	17,7	24,4	25,9	23,8	23,4	23,0	27,3	31,5	25,3	29,3	33,9	23	28,9	29,9	31,1	23,8	30,8					
27/7/2001	11	19	20,7	12,3	22,2	26,6	22,8	19,4	23,3	25,8	24,5	22,9	29,5	33,8	26,5	26,8	31	33,4	28,6	31,1					
13/7/2001	10,4	17,2	18,8	11,4	17,2	22,8	20,4	18,4	19,4	23,4	22,2	21,1	32,5	33,3	23,8	25,7	34,1	34,2	31	31,3					
25/7/2001	10,6	14	20,9	9,7	16,1	18	17,9	17,9	16,9	19,3	19,8	17,7	24,9	29,1	22,8	24,5	26,9	34,9	26,5	29,2					
3/8/2001	9	13,1	19,5	9,4	15,5	16,6	20,3	17,2	16,4	18,4	19,4	15,9	23,5	27,8	22,5	23,6	28,4	29,2	27,3	28,6					
10/8/2001	12,7	12,9	19,1	8,9	16,7	16,8	17,5	16,3	16,1	18,7	18,6	16,4	23,1	24,2	22,5	23,2	28,3	29,6	26,1	30,4					
24/8/2001	12,2	12,6	19,4	10,2	16,3	15,8	17	16,8	15,3	17,3	18,3	15,5	21,8	25,7	21,9	23,0	27	29,7	26,5	28,9					
31/8/2001	9	12,6	17,8	10	15,6	15,7	16,7	16	13,7	16,9	18,8	15,3	24,5	25,9	21,5	22	26,7	28,3	27	27,4					
14/9/2001	14,2	11,8	18,8	8,9	19	14	16,9	15,1	14,6	16,2	18,7	14,7	21,1	24,3	21,7	21,7	26,1	29,7	24,7	27,7					
29/9/2001	9	10,8	18	9,22	14	14,5	16,8	15,9	14,3	15,9	19,3	14,0	20,7	24,1	21,3	21,4	26,4	26,7	25,0	27,7					
11/10/2001	9	11,2	19,5	9,6	14,3	13,7	18,4	15,3	10,7	14,8	18,8	9,1	20,5	23,9	22,2	21,2	25,4	27,0	25,8	23,8					

Υ=Υπόγεια στάγδην άρδευση Ε=Επιφανειακή στάγδην άρδευση Κ=Άρδευση με κανόνι βροχής Ξ=Μάρτυρας

Πίνακας 8.2. Μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R. δύο ημέρες μετά την άρδευση.

Στο Διάγραμμα 8.2. που προκύπτει από τον πίνακα 8.1. απεικονίζονται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας δύο ημέρες μετά το πότισμα για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου του 2001 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

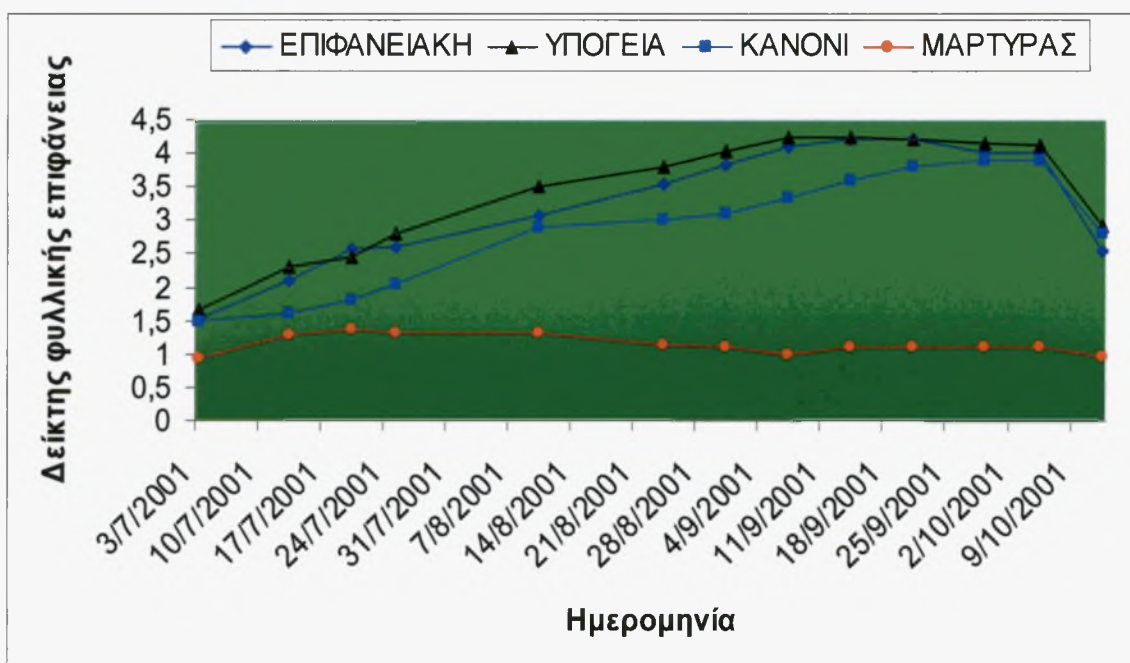
Διάγραμμα 8.2. Διακύμανση εδαφικής υγρασίας πειραματικών.



Από τη παρουσίαση των στοιχείων, για το σύνολο της αρδευτικής περιόδου, είναι εμφανής μια αύξηση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος των υπόγειων επαναλήψεων (διάγραμμα 8.2.). Παρ' όλα αυτά η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι οι διαφορές στις τιμές της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 30-45 και 45-60 (στο οποίο βρίσκεται και το ενεργό ριζόστρωμα) αντίστοιχα, δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για $P = 0.05$.

8.3. ΦΥΛΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (L.A.I.)

Στο διάγραμμα 8.3. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) της καλλιέργειας για όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2001 στο Βελεστίνο. Επίσης στο πίνακα 8.3. απεικονίζονται οι μετρήσεις του L.A.I. για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου του 2001. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 13 μετρήσεις.



Διάγραμμα 8.3. Μεταβολές των τιμών του δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε ινώδη σόργο αρδευόμενο με διαφορετικές μεθόδους άρδευσης στη κεντρική Ελλάδα το 2001.

Είναι εμφανές ότι η τιμή του LAI των φυτών που αρδεύτηκαν με το σύστημα στάγδην άρδευσης ήταν πάντοτε μεγαλύτερη από εκείνη των φυτών που άρδευτηκαν με κανόνι βροχής καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Απο τις δύο μεθόδους στάγδην άρδευσης, η υπόγεια στάγδην άρδευση παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές LAI αλλά η υπεροχή αυτή δεν ήταν στατιστικώς σημαντική για $P=0.05$. Η μέγιστη τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας επιτεύχθηκε στις αρχές Σεπτεμβρίου και ήταν 4.3 για τα φυτά που αρδεύτηκαν με στάγδην άρδευση (υπόγεια και επιφανειακή), ενώ για τα φυτά που αρδεύτηκαν με κανόνι βροχής ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας δεν υπερέβη τη τιμή 3.5. Πρέπει να σημειωθεί ότι αδημοσίευτα στοιχεία πάνω στο γλυκό σόργο (cv. Keller) από

CRES δίνουν μέγιστες τιμές LAI κοντά στο 4,5 κάτω από συνθήκες στάγδην άρευσης και έλλειψης λίπανσης.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ	ΥΠΟΓΕΙΑ	ΚΑΝΟΝΙ ΒΡΟΧΗΣ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ
3/7/2001	1,5	1,6	1,5	0,9
13/7/2001	2,0	2,3	1,6	1,2
20/7/2001	2,5	2,4	1,8	1,3
25/7/2001	2,6	2,8	2,0	1,3
10/8/2001	3,1	3,5	2,9	1,3
24/8/2001	3,55	3,7	3,0	1,1
31/8/2001	3,8	4,0	3,1	1,1
7/9/2001	4,0	4,2	3,3	1,0
14/9/2001	4,2	4,2	3,6	1,1
21/9/2001	4,2	4,2	3,8	1,1
29/9/2001	4,0	4,1	3,9	1,1
5/10/2001	4,0	4,1	3,9	1,1
12/10/2001	2,5	2,9	2,8	0,9

Πίνακας 8.3. Μετρήσεις δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεταχειρίσεων

Τέλος ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας του μάρτυρα εμφάνισε τη μέγιστη τιμή 1.4 από τα μέσα Ιουλίου (διάγραμμα 8.3.) επισημαίνοντας ότι η κατανομή ξηρής ουσίας, για την αύξηση των φύλλων και της καλλιέργειας γενικότερα, έπαψε μετά από αυτήν την περίοδο εξ' αιτίας της ακραίας πίεσης λόγω έλλειψης ύδατος.

8.4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

8.4.1. Γενικά

Σε αντίθεση με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας ο οποίος είναι μέσο έκφρασης της ανάπτυξης της καλλιέργειας, η παραγωγή σε χλωρή και ξηρή βιομάζα εκφράζει τη παραγωγικότητα της καλλιέργειας.

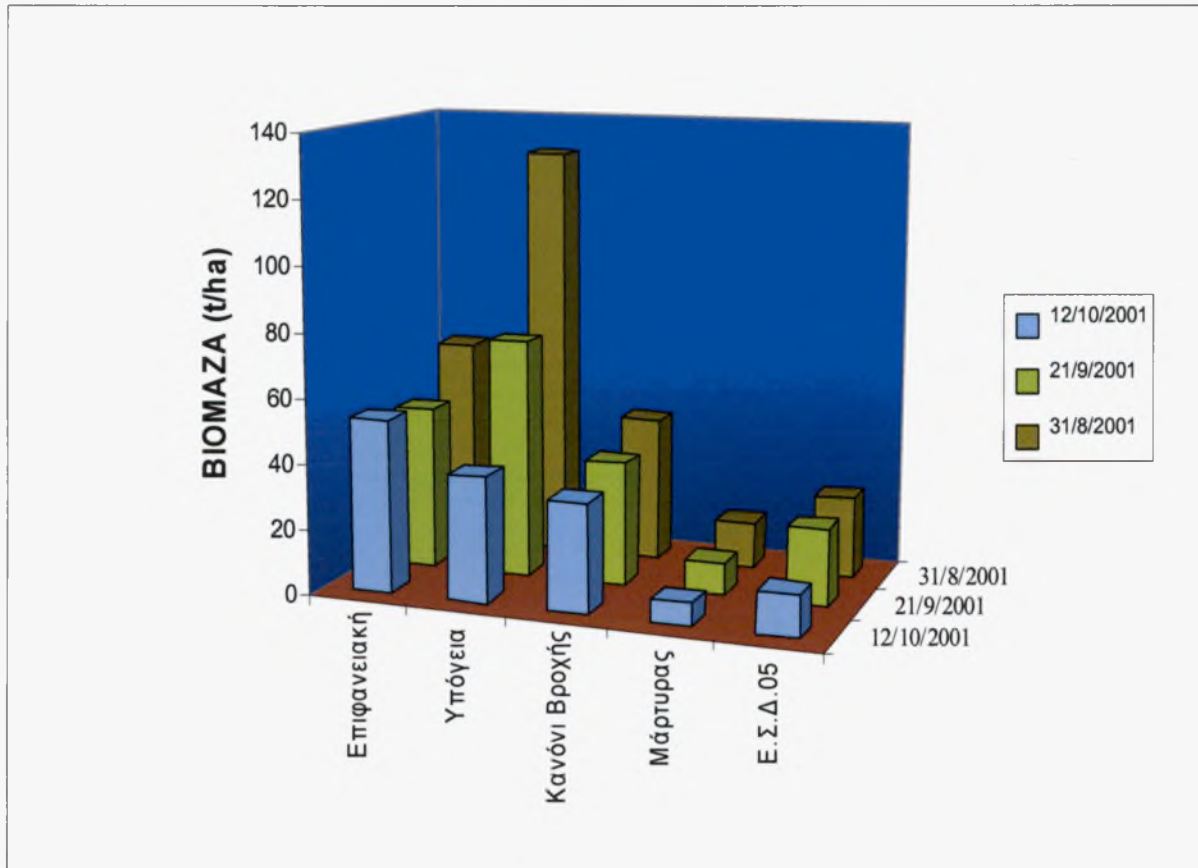
8.4.2. Χλωρή βιομάζα

Στον πίνακα 8.4. παρουσιάζεται ο μέσος όρος της παραγωγής (απο τέσσερις μετρήσεις) σε $t\ ha^{-1}$ της χλωρής βιομάζας των μεταχειρίσεων κατά τη καλλιεργητική περίοδο του 2001. Στο διάγραμμα 8.4. που προκύπτει από τον πίνακα 8.4. απεικονίζεται η παραγωγή σε χλωρή βιομάζα στις τρεις ημερομηνίες συγκομιδής κατά το έτος 2001 ενώ στο πίνακα 8.5. απεικονίζονται συνολικά οι μετρήσεις σε παραγωγή χλωρής βιομάζας ($t\ ha^{-1}$) των μεταχειρίσεων που αρδεύτηκαν ποικιλοτρόπως για το έτος 2001.

Πίνακας 8.4. Παραγωγή χλωρής βιομάζας μεταχειρίσεων για τη καλλιεργητική περίοδο του 2001.

	Μεταχειρήσεις	Ημερομηνία		
		31/8/2001	21/9/2001	12/10/2001
Παραγωγή χλωρής βιομάζας (t/ha)	Επιφανειακή	64,95	50,12	53,40
	Υπόγεια	128,75	73,51	38,81
	Κανόνι Βροχής	44,9	38,37	33,82
	Μάρτυρας	14,31	10,25	7,15
	Ε.Σ.Δ. ₀₅	25,04	23,59	13,10

Όπως φαίνεται στους πίνακες 8.4., 8.5. και στο διάγραμμα 8.4. της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα οι επαναλήψεις που αρδεύτηκαν με σταγόνα υπόγεια εμφάνισαν σαφή υπεροχή έναντι των υπολοίπων μεθόδων.



Διάγραμμα 8.4. Παραγωγή χλωρής βιομάζας (t/ha) του ιώδους σόργου κάτω από διάφορες μεθόδους άρδευσης, στην κεντρική Ελλάδα, σε τρεις ημερομηνίες δειγματοληψίας το 2001. (Ε.Σ.Δ.= Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά για $P = 0.05$)

Ειδικότερα στατιστικά σημαντικές διαφορές εμφανίζονται στη συνολική χλωρή βιομάζα μεταξύ των μεταχειρίσεων που αρδεύτηκαν με κανόνι βροχής και εκείνων της υπόγειας σταγδην άρδευσης και του μάρτυρα. Από την άλλη μεριά παρ' όλο που οι μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν με υπόγεια στάγδην άρδευση υπερέχουν “με εξαίρεση τις τιμές που ελήφθησαν στις 12/10/2001” συνολικά σε χλωρή βιομάζα σε σχέση με αυτές που αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση, η διαφορά αυτή δεν είναι στατιστικώς σημαντική για $P = 0.05$.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	31/8/2001					
ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ	ΥΠΟΓΕΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ	ΚΑΝΟΝΙ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		
1	79,06	94,68	48,12	10,00		
2	92,12	61,81	69,50	18,87		
3	59,75	63,50	34,50	12,50		
4	90,93	39,81	27,50	15,87	Ε.Σ.Δ.05	Ε.Σ.Δ.01
M.O.	128,75	64,95	44,90	14,31	25,04	35,99
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	21/9/2001					
ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ	ΥΠΟΓΕΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ	ΚΑΝΟΝΙ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		
1	73,31	49,50	33,68	8,75		
2	58,87	48,75	63,00	11,31		
3	61,87	40,00	36,50	9,18		
4	100,0	62,25	20,31	11,75	Ε.Σ.Δ.05	Ε.Σ.Δ.01
M.O.	73,51	50,12	38,37	10,25	23,59	33,89
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	12/10/2001					
ΕΠΑΝΑΛΗΨΕΙΣ	ΥΠΟΓΕΙΑ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ	ΚΑΝΟΝΙ	ΜΑΡΤΥΡΑΣ		
1	57,00	59,37	28,06	8,43		
2	30,68	44,50	37,93	7,87		
3	24,43	50,81	33,18	5,75		
4	43,12	62,68	36,12	6,56	Ε.Σ.Δ.05	Ε.Σ.Δ.01
M.O.	38,81	54,34	33,82	7,15	13,10	18,83

Πίνακας 8.5. Μετρήσεις χλωρής βιομάζας μεταχειρήσεων.

Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί, πρώτον η ανάγκη χρήσης αρδευτικού νερού συμπληρωματικά ακόμα και στις χαμηλών απαιτήσεων καλλιέργειες για τη κάλυψη των αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή και δεύτερον η χρήση της υπόγειας άρδευσης αποδεικνύεται ως η πλέον επικρατέστερη μεταξύ των σύγχρονων και των παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης για τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων σε χλωρή βιομάζα και μάλιστα με τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση αρδευτικού νερού.

8.4.3. Ξηρή βιομάζα

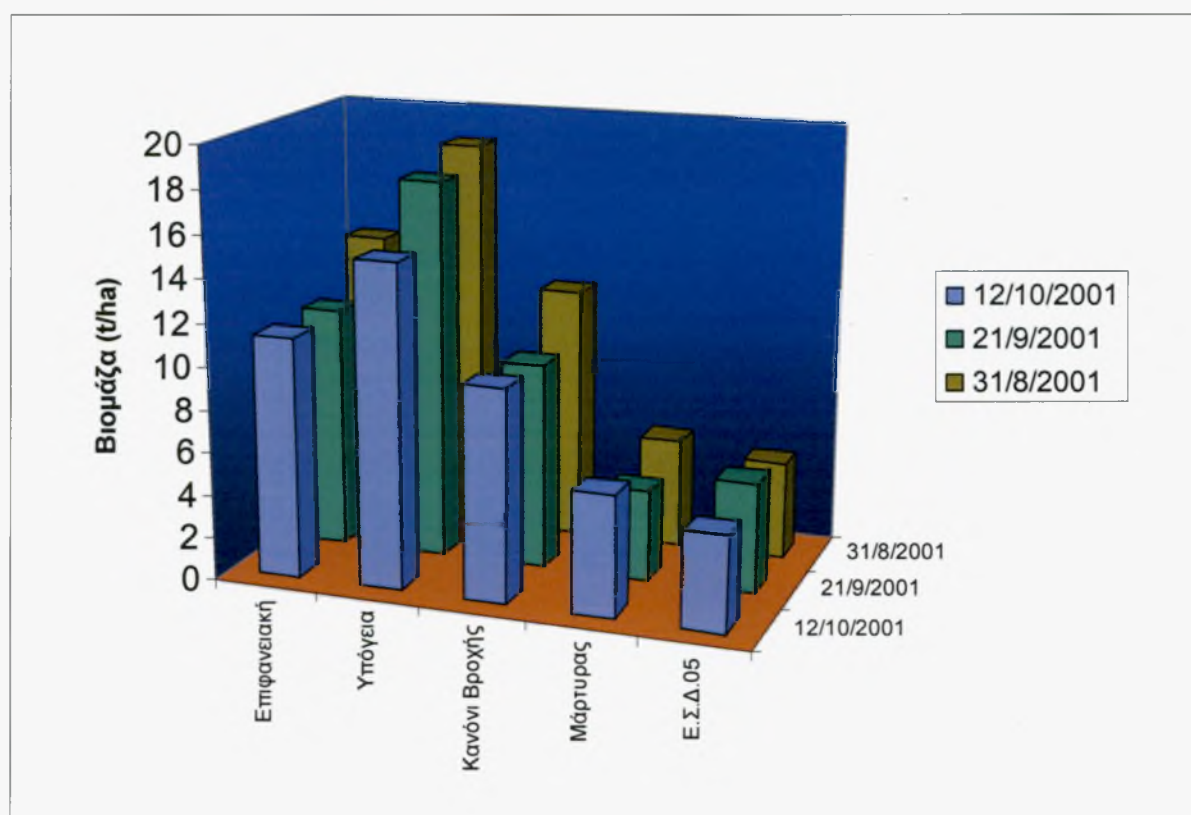
Στο πίνακα 8.6. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγωγής ξηρής βιομάζας για όλες τις μεταχειρίσεις σε τρεις ημερομηνίες συγκομιδής. Στο διάγραμμα 8.5. το οποίο προκύπτει από τον πίνακα 8.6. απεικονίζεται η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα σε τρεις ημερομηνίες συγκομιδής κατά το έτος 2001

	Μεταχειρίσεις	Βάρος Φύλλων	Βάρος Βλαστών	Συνολική Βιομάζα
Ημερομηνία	31/8/2001			
	Μάρτυρας	2,041	3,077	5,117
	Κανόνι βροχής	3,723	8,18	11,902
	Επιφανειακή	4,665	9,092	13,756
	Υπόγεια	5,278	13,271	18,552
	Ε.Σ.Δ.05	0,786	4,544	4,544
Ημερομηνία	21/9/2001			
	Μάρτυρας	1,636	2,597	4,233
	Κανόνι βροχής	3,201	6,428	9,629
	Επιφανειακή	3,165	8,169	11,334
	Υπόγεια	4,502	13,226	17,728
	Ε.Σ.Δ.05	1,074	4,196	5,179
Ημερομηνία	12/10/2001			
	Μάρτυρας	2,403	3,244	5,647
	Κανόνι βροχής	2,904	7,039	9,943
	Επιφανειακή	3,06	8,205	11,265
	Υπόγεια	3,514	11,569	15,083
	Ε.Σ.Δ.05	1,025	3,615	4,483

Πίνακας 8.6. Παραγωγή ξηρής βιομάζας φύλλων, βλαστών και συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας ($t ha^{-1}$) ινώδους σόργου κάτω από διαφορετικές μεθόδους άρδευσης στη κεντρική Ελλάδα σε τρεις ημερομηνίες συγκομιδής το 2001.

Είναι εμφανές ότι οι μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν με υπόγεια στάγδην άρδευση υπερέχουν έναντι των άλλων μεθόδων όσον αφορά τη συνολική ξηρή βιομάζα και μάλιστα εμφανίζουν μια μέγιστη τιμή της τάξης των $18,6 t ha^{-1}$ πρὸς τα τέλη Αυγούστου. Τα φυτά που αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση παρουσίασαν μέγιστη τιμή αρκετά χαμηλότερη της τάξης των $13,8 t ha^{-1}$, ενώ τα φυτά που αρδεύτηκαν με κανόνι βροχής δεν έδωσαν ούτε $12 t ha^{-1}$ παραγωγή όσον αφορά τη ξηρή ουσία. Η παραγωγή των μη αρδευόμενων μεταχειρίσεων είναι μόνο $5,1 t ha^{-1}$, η οποία εν' τούτοις δεν είναι καθόλου

ευκαταφρόνητη αν συνυπολογίσουμε τη παρατεταμένη ξηρασία που επικρατούσε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.



Διάγραμμα 8.5. Συνολική παραγωγή ξηρής βιομάζας ($t\ ha^{-1}$) ινώδους σόργου κάτω από διαφορετικές μεθόδους άρδευσης στη κεντρική Ελλάδα σε τρεις ημερομηνίες συγκομιδής το 2001. (Ε.Σ.Δ.₀₅ = Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά για $P = 0.05$)

Αν και στατιστικά σημαντικές διαφορές στη συνολική ξηρή βιομάζα υπάρχουν ανάμεσα στο κανονι βροχής και στην υπόγεια στάγδην άρδευση, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ανωτερότητα γενικότερα των μεθόδων στάγδην άρδευσης έναντι της άρδευσης με καταιονισμό, που οφείλεται προφανώς στην πιο ενιαία και αποτελεσματική εφαρμογή άρδευσης. Από την άλλη μεριά φαίνεται μεγάλη (αν και μη στατιστικά σημαντική για $P = 0.05$) διαφορά μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας μεθόδου στάγδην άρδευσης η οποία αποδεικνύει την υπεροχή της τελευταίας μεθόδου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό πρέπει να οφείλεται στον ανεφοδιασμό με νερό απ' ευθείας στη ζώνη του ριζοστρώματος και στην αποτελεσματικότερη άρδευση όσον αφορά την ελαχιστοποίηση των απωλειών, εξ' αιτίας της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, που παραμένει ξηρή στην περίπτωση

της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Αυτή η μέθοδος άρδευσης φαίνεται πολλά υποσχόμενη και πρέπει να εξεταστεί σοβαρά στην εφαρμογή σε καλλιέργειες με μικρές απαιτήσεις σε εισροές όπως είναι το σόργο αλλά και γενικά σε βιοενεργειακά φυτά. Εξετάζοντας την μέγιστη παραγωγή του ινώδους σόργου (18 t ha^{-1}) που κατά προσέγγιση αντιστοιχεί σε 7,2 ΤΟΕ (τόνοι αντίτιμου πετρελαίου) και επιτεύχθη κάτω από συνθήκες άρδευσης και μη-λίπανσης, αυτή η καλλιέργεια φαίνεται πολύ ελπιδοφόρα ως εναλλακτική πηγή για παραγωγή βιομάζας στην Ελλάδα στο εγγύς μέλλον.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών εβδομάδων του Σεπτεμβρίου, ο ρυθμός παραγωγικότητας της βιομάζας μειώθηκε και ειδικότερα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με κανόνι βροχής και με επιφανειακή στάγδην άρδευση. Ιδιαίτερη μείωση του ρυθμού παραγωγικότητας παρατηρήθηκε επίσης και στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με υπόγεια στάγδην άρδευση αλλά κάπως αργότερα δηλαδή τη περίοδο από μέσα Σεπτεμβρίου έως μέσα Οκτωβρίου (αρνητικά ποσοστά της τάξης $120 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Είναι εμφανές ότι η τελική παραγωγή έπεσε στους $15,1 \text{ t ha}^{-1}$ περίπου $3,4 \text{ t ha}^{-1}$ χαμηλότερα από τη μέγιστη τιμή της που επιτεύχθηκε έναν μήνα νωρίτερα. Τέτοιοι αρνητικοί ρυθμοί παραγωγικότητας έχουν αναφερθεί από προηγούμενες μελέτες στο γλυκό σόργο (βιογραφικό σημείωμα Keller, CRES, δημοσίευτα αρχεία) και αποδόθηκαν στη γήρανση των φύλλων καθώς επίσης και τις αυξανόμενες απώλειες εξ' αιτίας της αναπνοής οι οποίες δε μπορούν ν' αντισταθμιστούν από την αφομοίωση της καλλιέργειας προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Επομένως, ο χρόνος που επιτυγχάνεται η μέγιστη παραγωγή του σόργου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή του κατάλληλου χρόνου συγκομιδής.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο τελευταίο κεφάλαιο αυτής της διατριβής συνοψίζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ολοκλήρωση της έρευνας.

Οι κλιματικές συνθήκες (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση) που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια του θέρους του 2001 βοήθησαν στη σύγκριση μεταξύ των διάφορων μεθόδων άρδευσης. 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.

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

Όσον αφορά την αναπτυξιακή δραστηριότητα των φυτών παρατηρήθηκε υπεροχή των φυτών που αρδεύτηκαν με σταγόνα υπόγεια έναντι των φυτών που αρδεύτηκαν με σταγόνα επιφανειακά και με κανόνι βροχής, με βάση τις μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Οι διαφορές στις τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας μεταξύ της επιφανειακής και της υπόγειας στάγδην άρδευσης ήταν μή στατιστικά σημαντικές για $P = 0.05$.

Όσον αφορά την παραγωγική διαδικασία των φυτών παρατηρήθηκε υπεροχή των επαναλήψεων που αρδεύτηκαν υπόγεια σε παραγωγή χλωρής βιομάζας έναντι των υπολοίπων μεθόδων άρδευσης και στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των επαναλήψεων που έτυχαν της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε παραγωγή ξηρής βιομάζας και ενέργειας. Επίσης σε πολλές περιπτώσεις οι ελάχιστες τιμές ξηρής βιομάζας που παρατηρήθηκαν στις υπόγειες επαναλήψεις ήταν κατά πολύ υψηλότερες των αντίστοιχων μέγιστων τιμών ξηρής βιομάζας των υπόλοιπων μεθόδων για την ίδια πάντα χρονική περίοδο μέτρησης.

Οι υψηλές αυτές αποδόσεις οφείλονται στην ιδιαιτερότητα της υπόγειας στάγδην άρδευσης, καθώς επιτρέπει τη διοχέτευση του αρδευτικού νερού στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών, χωρίς απώλειες (επιφανειακή εξάτμιση), και βοηθά στη διατήρηση ικανοποιητικών τιμών εδαφικής υγρασίας μετά το πέρας της κάθε εφαρμογής.

Αποδεικνύεται έτσι, η δυνατότητα ανάπτυξης του ιώδους Σόργου ως ενεργειακού φυτού για τη παραγωγή υψηλών ποσοτήτων βιοκαυσίμου στη κεντρική Ελλάδα με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

10.1. Ελληνική βιβλιογραφία

1. Διαμάνης, Κ., 1983. Ανοιξιάτικα Σιτηρά. Αθήνα.
2. Λουϊζάκης, Α., 1991. Έκθεση επεξεργασίας δεδομένων κατόχων καρουλίων. Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων.
3. Λουϊζάκης, Α., 1996. Άρδευση με μετακινούμενο εκτοξευτήρα. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου με θέμα 'Εγγειοβελτιωτικά έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων – Εκμηχάνιση Γεωργίας' σελ.298-306.
4. Μήτσιος, Ι., 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
5. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στη περιοχή του Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 2000.
6. Μιχελάκης, Ν., 1994. Συστήματα αυτόματης άρδευσης άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Ιδρυμα Ευγενίδου. Αθήνα.
7. Οργανισμός Βάμβακος, 2001. Συνολική παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην ελληνική επικράτεια.
8. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου, Υδροτεχνικά., σελ.6.
9. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ., Καλφούντος, Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα σελ. 271-280.
10. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρούδης, Ι., Μανούδης, Ν. και Πογιαρίδης, Θ., 1996. Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισας. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου με θέμα 'Εγγειοβελτιωτικά έργα – Διαχείριση υδατικών πόρων – Εκμηχάνιση Γεωργίας' σελ.155-173.
11. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Δ. Καλφούτζος, Ν. Παπανίκος, 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαροτεύλων. Πρακτικά 2^{ου} Διεθνούς συνεδρίου, Hell. Soc. Agric. Eng., Βόλος σελ. 157-164.
12. Τερζίδης, Γ. και Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

10.2. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Amaducci, M. T., Gucci, G., Caro De, A., Gherbin, P., Mambelli, S., Venturi, G., 1989. Sugar beet yield response to irrigation in different environmental conditions. *Irrigazione e drenaggio* Vol. 36 No.
2. Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E., Zafirios, C., 1998. Biomass and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In : Chartier et al. (Ed.), *Proceedings of the 10th European Conference.*, C.A.R.M.E.N. Press. Germany. p. 209-212.
3. 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.
4. Curt, 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*.
5. 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 1996*. p. 15-25
6. Danalatos, N.G., 1993. Quantified analysis for selected land use systems in Larissa regions. Greece. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands. 370 pp.
7. Dercas, N., Panoutsou, C., 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.
8. Devitt, D. and Miller, W., 1988. Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline Water. *Applied Agricultural Res.* Vol. 3, No 3, p. 133-143.
9. Dinnen, R., 1991. Congress acts to increase the production of ethanol. *Biologue* 8(1): p.11-14.
10. FAO, 1997. Guidelines for predicting crop water requirements, by J. Doorenbos and W.O. Pruitt. *Irrigation and Drainage Paper* 24. Rome.
11. Gushiken, E., 1993. Effluent Disposal Through Subsurface Drip Irrigation Systems. Hawaii Water Pollution Control Ass. *Proceedings of the 15th Annual Conf.* Honolulu, Hawaii.

12. Hutmacher, R. B., C. J. Phene, R. M. Mead, D. Clark, P. Shouse, S. S. Vail, R. Swain, M. van Genuchten, T. Donovan, and J. Jobes. 1992. Subsurface drip irrigation of alfalfa in the Imperial Valley. Proc. 22nd California/Arizona Alfalfa Symposium 22:20-32, University of California and University of Arizona Cooperative Extensions, Holtville, CA, December, 9-10.
13. I-Pai Wu, 1994. Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc. Prepared by: Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
14. Oron, G., DeMalach, Y., Hoffman, Z. Karen, H. Hartman, HY., and Planzer, H., 1990. Waste water disposal by subsurface trickle irrigation. *Water Science Technology*, 23:2149-2158
15. Philip, J.R., 1968. Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. *Water Resources Research* 4(5):1039-1047
16. 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
17. Phene, C. J. et al., 1986. Fertilization of high yielding subsurface trickle irrigated tomatoes. Proceedings of the 34th Fertilizer Conf. California Fertilizer Ass. Fresno California. p. 33-43
18. Phene, C. J., R. Yue, I-Pai Wu, J. E. Ayars, R. A. Schoneman, B. Meso. 1992. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems. ASAE Paper No. 92-2569, p.14.
19. Rolland, L., 1982. Mechanized sprinkler irrigation. F.A.O. Rome.
20. Roman, G., Hall, D., Gosse, G., Roman, A., Ion, V. and Alexe, G., 1998. Researches on Sweet – Sorghum Productivity in the South Romanian Plain. Federation for Inf. Tec. In Agriculture. *Agricultural Technology in Asia and Oceania*, 1998.
21. Shani, U., Xue, S., Gordin-Katz, R. and Warrick, A., 1996. Soil-limiting from subsurface emitters. I Pressure measurements. *J. of Irrigation and Drainage*.
22. Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In: *Subsurface Drip Irrigation: Theory, Practices And Application*. Jorgensen, G.S. and K.N. Norum (Eds.). CATI Publication No 921001.
23. U.S.D.A. 1990. USDA backgrounder. News division, Office of Public Affairs, Room 404-A, Washington, D.C.
24. Zachmann, D. W., and A. W. Thomas, 1973. A mathematical investigation o steady infiltration from line sources. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 37(4):495-500

25. Zoldoske, D. Striegler, R.K. Berg, G.T. Jorgenson, G. Lake, C. BS. Graves, G. And Burnett. D. M. 1998. Evaluation of Trellis System and Subsurface Drip Irrigation for Wine Grape Production. Viticulture and Enology Resh. Center. CATI Publication#980401.

11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Γενική άποψη πειραματικών επιφανειακής στάγδην άρδευσης και μάρτυρα. (13/7/2001)



Γενική άποψη πειραματικών υπόγειας στάγδην άρδευσης και μάρτυρα. (13/7/2001)



Γενική άποψη πειραματικών άρδευσης με κανόνι. (13/7/2001)



Γενική άποψη πειραματικών άρδευσης με κανόνι. (13/7/2001)



Γενική άποψη πειραματικού επιφανειακής στάγδην άρδευσης. (13/7/2001)



Γενική άποψη πειραματικών επιφανειακής στάγδην άρδευσης και μάρτυρα. (3/8/2001)



Γενική άποψη πειραματικών επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης. (3/8/2001)



Γενική άποψη πειραματικών υπόγειας στάγδην άρδευσης και μάρτυρα. (3/8/2001)



Γενική άποψη πειραματικών επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης. (3/8/2001)



Γενική άποψη πειραματικού επιφανειακής στάγδην άρδευσης. (12/10/2001)



Γενική άποψη πειραματικού υπόγειας
σταγδην άρδευσης. (12/10/2001)



Γενική άποψη πειραματικού υπόγειας
σταγδην άρδευσης. (12/10/2001)



Γενική άποψη πειραματικού μάρτυρα.
(12/10/2001)



Γενική άποψη πειραματικού μάρτυρα.
(12/10/2001)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074257

