

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

Πτυχιακή Διατριβή
Μιλτιάδη Γ. Ζαχαρή



Θέμα:
Σύγκριση Επιφανειακής με Υπόγεια Άρδευση στο Σόργο
με Εφαρμογή 80% της Δόσης Άρδευσης

ΒΟΛΟΣ 2008



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

Αριθ. Εισ.: 6613/1

Ημερ. Εισ.: 03-10-2008

Δωρεά:

Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ

2008

ZAX

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

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΡΔΕΥΣΗ ΣΤΟ
ΣΟΡΓΟ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ 80% ΤΗΣ ΔΟΣΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ Γ. ΖΑΧΑΡΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. Σφουγγάρης Αθ.

Καθηγήτρια Π.Θ.

Επιβλέπουσα

Επίκουρος Καθ.

Μέλος

Βαρδαβάκης Εμ.

Λέκτορας Π.Θ.

Μέλος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Καθηγήτρια Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Διευθύντρια του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής, για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη την πορεία της, καθώς επίσης και για την συμπαράστασή καθ'όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Ευχαριστώ επίσης, τον Επίκουρο Καθηγητή Διαχείρισης Οικοσυστημάτων κ Αθ. Σφουγγάρη, καθώς και τον Λέκτορα του Εργαστηρίου Γεωργίας και Εφαρμοσμένης Φυσιολογίας Φυτών κ. Εμμ. Βαρδαβάκη για τις συμβουλές τους και την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή..

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

1.1 Γενικά	8
1.2 Βιοκαύσιμα.....	9
1.3 Πλεονεκτήματα από τη χρήση βιοκαυσίμων.....	12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΟΡΓΟ

2.1 Γενικά	14
2.2 Βοτανικά γνωρίσματα.....	15
2.2.1 Αγροβιολογικά Χαρακτηριστικά.....	11
2.2.2 Ανάπτυξη	18
2.3 Καλλιεργητικές Φροντίδες – Οικολογικές απαιτήσεις	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΔΕΥΣΗ

3.1 Γενικά	25
3.2 Συστήματα Άρδευσης.....	27
3.3 Άρδευση με σταγόνες	28
3.4 Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση	29
3.5 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση	30
3.6 Επίδραση της άρδευσης με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.....	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Γενικά – Οριοθέτηση - Σχέδιο	33
4.2 Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά.....	34
4.3 Υπόγεια στάγδην άρδευση	37
4.4 Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος	41
4.5 Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Κλιματικά δεδομένα	51
5.2 Υγρασίες εδάφους	53
5.3 Φυλλική Επιφάνεια.....	56
5.4 Ανάπτυξη Φυτού.....	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 Ελληνική βιβλιογραφία	61
6.2 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	97
--------------------------------	-----------

Πρόλογος

Μελετήθηκε η ανάπτυξη και η παραγωγή του γλυκού σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) var. Keller κάτω από διαφορετικές διαδικασίες άρδευσης – την παραδοσιακή επιφανειακή άρδευση με σταγόνα και την υπόγεια άρδευση με σταγόνα σε ένα ξηρό έτος στην κεντρική Ελλάδα, ως ενεργειακή καλλιέργεια για την παραγωγή της βιοαιθανόλης . Το πείραμα έλαβε χώρα το καλοκαίρι του 2005 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας σε εντελώς τυχαιοποιημένη ομάδα με 4 μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις συμπεριλαμβανομένου και του μάρτυρα. Στις επιφανειακές επαναλήψεις εφαρμόστηκε 100% και 80% δόση άρδευσης και στην υπόγεια 80%.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ

1.1 Γενικά

Η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού της γης σε συνδυασμό με την επιτακτική ανάγκη για μείωση των εκπομπών ρύπων που τροφοδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, κάνουν επιτακτική την ανάγκη αναζήτησης νέων εναλλακτικών μορφών ενέργειας, προερχόμενες από βιολογικές πηγές με σκοπό την προοδευτική ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων.

Η αξιοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων αποτελεί ζήτημα μείζονος σημασίας για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος, την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και την γενικότερη στήριξη του γεωργικού τομέα.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει ήδη διατυπώσει τη στρατηγική της Ένωσης για τα βιοκαύσιμα, το Φεβρουάριο του 2006. Η στρατηγική αυτή έχει τρεις στόχους:

- την περαιτέρω προώθηση των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση και σε αναπτυσσόμενες χώρες,
- την προετοιμασία για την ευρείας κλίμακας χρήση βιοκαυσίμων με βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς τους από άποψη κόστους και
- την εξερεύνηση των ευκαιριών για αναπτυσσόμενες χώρες για την παραγωγή πρώτων υλών βιοκαυσίμων και βιοκαυσίμων.

Προβλέπονται επτά άξονες πολιτικής:

1. τόνωση ζήτησης για τα βιοκαύσιμα
2. αποκόμιση περιβαλλοντικών ωφελημάτων
3. ανάπτυξη της παραγωγής και διανομής βιοκαυσίμων
4. επέκταση εφοδιασμού με πρώτες ύλες
5. ενίσχυση ευκαιριών για εμπορικές συναλλαγές
6. υποστήριξη σε αναπτυσσόμενες χώρες
7. υποστήριξη στην έρευνα και ανάπτυξη.

Με τις κοινοτικές οδηγίες 2003/30/ES και 2003/96/ES αξιώνει τη μεγαλύτερη συμμετοχή των βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση καυσίμων από 2% που προβλεπόταν το 2005 στο 5.75% μέχρι το 2010.

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή βιοκαυσίμων κ.α. Τα πιο συνηθισμένα στο εμπόριο υγρά βιοκαύσιμα είναι το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη.

1.2 Βιοκαύσιμα

Έτσι χαρακτηρίζονται τα καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα σε ειδικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εφαρμογή φυσικών και χημικών διεργασιών.

Τα λεγόμενα εναλλακτικά βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν δύο κατηγορίες

1. Το βιοντήζελ το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν υποκατάστατο του πετρελαίου ντήζελ είτε αυτούσιο είτε σε ανάμιξη με το συμβατικό ντήζελ. Παράγεται από πρώτες ύλες πλούσιες σε έλαια. Τα έλαια(τριγλυκερίδια) με μια σχετικά απλή διαδικασία μετατρέπονται σε εστέρες τριγλυκεριδίων με μεθανόλη ή αιθανόλη. Οι καθαροί εστέρες είναι άριστοι υποκαταστάτες του πετρελαίου χωρίς να χρειάζεται καμία μετατροπή στη μηχανή. Για την παραγωγή του βιοντήζελ γίνεται χρήση κυρίως σπορέλαιων.

2. Τη βιοαιθανόλη η οποία χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο της βενζίνης είτε αυτούσια είτε σε ανάμιξη με τη συμβατική βενζίνη. Είναι καθαρή αιθανόλη η οποία παράγεται από πρώτες ύλες πλούσιες σε σάκχαρα ή σε άμυλο. Οι σακχαρούχες πρώτες ύλες υποβάλλονται σε ζύμωση για τη μετατροπή των σακχάρων σε αιθανόλη ενώ οι αμυλούχες πρέπει πρώτα να υποστούν επεξεργασία για τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα και μετά να υποβληθούν σε ζύμωση.



Εικ. 1,1

Παρακάτω παραθέτονται πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με την παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τα σημαντικότερα φυτά (βάσει των αποδόσεων) για την παραγωγή βιοντήζελ και βιοαιθανόλης καθώς και το εκτιμώμενο κόστος παραγωγής ενός κυβικού μέτρου βιοκαυσίμου από διάφορες πρώτες ύλες.

Παραγωγή Βιοκαυσίμων στην Ε.Ε. το 2003(τόνοι)		
Χώρα	Βιοντήζελ	Βιοαιθανόλη
Γερμανία	715.000	
Γαλλία	357.000	241.450
Ιταλία	273.000	
Δανία	41.000	
Αυστρία	32.000	
Αγγλία	9.000	
Ισπανία	6.000	563.400
Σουηδία	1.000	52.300
Σύνολο	1.434.000	857.150

Εικ. 1,2

Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις ανά στρέμμα σε σπόρο και λάδι			
Βιοκαύσιμο	Πρώτη Ύλη	Απόδοση (κιλά / στρ.)	Απόδοση σε βιοκαύσιμο (λίτρα /στρέμμα)
Βιοντήζελ	Ηλιάνθος	120 - 300	43 - 75
	Ελαιοκράμβη	120 - 300	43 - 90
	Βαμβάκι	120 - 160	18 - 25
	Σόγια	160 - 240	29 - 44
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150 - 800	45 - 240
	Αραβόσιτος	900	270
	Τεύτλα	6000	600
	Σόργο	7000 - 10000	675 - 900

Εικ 1,3

Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες	
Πρώτη ύλη	Κόστος βιοαιθανόλης (ευρώ / M3)
Τεύτλα	230 - 530
Σακχαροκάλαμο	200
Γλυκό Σόργο	155 - 230
Καλαμπόκι	230 - 320
Σιτάρι	600
Λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες	140-350
Πατάτες	760

Εικ 1,4

1.3 Πλεονεκτήματα από τη χρήση βιοκαυσίμων

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των βιοκαυσίμων ως εναλλακτικών καυσίμων στις μεταφορές είναι τα ακόλουθα:

1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
2. Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και μάλιστα συγκράτηση του τοπικού πληθυσμού σε προβληματικές περιοχές με την προσφορά μόνιμης εργασίας
3. Ανάπτυξη εθνικής βιομηχανίας
4. Αξιοποίηση εδαφών και υδάτινων πόρων σε περιοχές που χρήζουν υποστήριξης
5. Μείωση εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα
6. Απεξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα και ξένες ενεργειακές πηγές και αύξηση της ικανότητας μιας χώρας να αντιμετωπίσει με επιτυχία ενεργειακές κρίσεις
7. Εξοικονόμηση συναλλάγματος
8. Το γεγονός ότι το οικονομικό μειονέκτημα των βιοκαυσίμων σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα έχει μειωθεί στο ελάχιστο αν όχι εκμηδενιστεί, θα αποβεί στο άμεσο μέλλον προς όφελος των βιοκαυσίμων.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των βιοκαυσίμων στη χώρα μας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

1. Στη διέξοδο που μπορούν να βρουν τα γεωργικά μας εδάφη, σε εναλλακτικές καλλιέργειες αφού καθαρά πλέον οδηγούμαστε σε τέλμα με τις καλλιέργειες βαμβακιού, του καπνού και στο μέλλον των τεύτλων.

2. Στη διέξοδο που μπορεί να δοθεί στα εδάφη και στον πληθυσμό σε μερικές ευαίσθητες περιοχές, π.χ. στο τρίγωνο του Έβρου και στην υπόλοιπη Θράκη.

Η χώρα μας έχει μεγαλύτερη ανάγκη να υιοθετήσει τη χρήση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές από τη Γαλλία και τη Γερμανία, τις Η.Π.Α. και τον Καναδά τόσο για να αντιμετωπίσει τις ραγδαίες εξελίξεις με τις τιμές των καυσίμων όσο και για να ανακουφίσει το σημερινό αδιέξοδο ορισμένων καλλιεργειών (π.χ. βαμβάκι) και περιοχών (π.χ. Θράκη).

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι αποδόσεις κάποιων ενεργειακών φυτών (για παραγωγή βιοαιθανόλης) στην Ελλάδα καθώς επίσης και οι απαιτούμενες εκτάσεις που θα πρέπει να καλλιεργούνται μέχρι το 2010 σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες 2003/30/ES και 2003/96/ES οι οποίες αξιώνουν τη μεγαλύτερη συμμετοχή των βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση καυσίμων σε ποσοστό 5.75%.

Ενεργειακά φυτά στην Ελλάδα		
Για παραγωγή Βιοαιθανόλης		Εκτιμώμενη μέση απόδοση
Αραβόσιτος	Αρδευόμενη	350 – 400 λίτρα/ στρέμμα
Ζαχαρότευτλα	Αρδευόμενη	450 – 500 λίτρα/ στρέμμα
Γλυκό Σόργο	Αρδευόμενη	500 – 550 λίτρα/ στρέμμα
Για κάλυψη αναγκών 2010		Απαιτούμενες εκτάσεις μίας καλλιέργειας
Βιοαιθανόλη	Αραβόσιτος	1.300.000
	Ζαχαρότευτλα	1.040.000
	Γλυκό Σόργο	950.000

Εικ 1,5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΟΡΓΟ

Γενικά

Το σόργο καλλιεργείται στη Νότια Αφρική εδώ και τρεις χιλιάδες χρόνια. Το είδος *Sorghum bicolor* L. Είναι μία Αφρικάνικη καλλιέργεια η οποία έχει διαδοθεί σε όλο τον κόσμο . Διάφορες καλλιέργειες συναντώνται σε πολλές περιοχές του πλανήτη ανάλογα των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε αυτές. Προσαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα οικολογικών συνθηκών. Είναι κυρίως φυτό ξηρών θερμών περιοχών που επιβιώνει ακόμα και με δροσερό καιρό και διαποτισμένους βιότοπους.



Εικόνα 2.1 Γεωγραφική εξάπλωση του σόργου σε όλο τον κόσμο

Το σόργο περιγράφηκε αρχικά από τον Linnaeus το 1753 με το όνομα *Holcus*. Ο Moench διαχώρισε αργότερα το γένος σόργο από το *Holcus* και κατέστησε το συνδυασμό *Sorghum bicolor*. Η τρέχουσα επίσημη ταξινομική κατάταξη του γένους και των ειδών σόργου συμφωνεί με αυτό που καθιερώθηκε από τον Moench. Όλα τα διαφορετικά ονόματα που δίνονται από τους διάφορους βοτανολόγους λαμβάνονται ως συνώνυμο του *Sorghum bicolor* Moench (L.). Η ταξινόμηση του γένους σόργου προσπαθήθηκε από τους Brotero (1804), Roxburghii (1820), Steudel(1854)), Chiovenda (1912), Piper (1915), Stapf (1917). Η πιο λεπτομερής ταξινόμηση έγινε από τον Snowden. Περιέγραψε 31 καλλιεργούμενα είδη και 17 άγρια η και έδωσε 48 διαφορετικούς τύπους που καθορίζονται από διάφορους ευδιάκριτους χαρακτήρες. Μετά από τις δεκαετίες συστηματικής έρευνας, οι Harlan και de Wet έχουν αναπτύξει μια απλουστευμένη ταξινόμηση, χρήσιμη στους βοτανολόγους. Οι

καλλιεργούμενες τάξεις, που καλύπτουν 28 (από τα 31) είδη από αυτά που περιγράφηκαν από Snowden και de Wet , χωρίζονται σε πέντε βασικές φυλές και δέκα υβριδικές φυλές κάτω από το όνομα Sorghum Bicolor.

Η καλλιέργεια του σόργου έχει ως προϊόντα τον καρπό (μέση παγκόσμια απόδοση 150 κιλά / στρέμμα) τον σανό (χορτοδοτικό, διαδεδομένο στις Η.Π.Α.) και μεγάλες εκτάσεις ζαχαροφόρο (για σιρόπι). Τα τελευταία χρόνια η καλλιέργειά του παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως φυτό για την παραγωγή βιοαιθανόλης.

2.2 Βοτανικά Γνωρίσματα

Ο σόργος ανήκει στην οικογένεια Gramineae, υποοικογένεια Andropogoneae και γένος Sorghum.

2.2.1 Αγροβιολογικά Χαρακτηριστικά

Φύλλα

Εμφανίζονται με τη βλάστηση των σπερμάτων. Τα αρχικά φύλλα αποτελούνται από το κεντρικό κύτταρο στο θόλο της κορυφής, το οποίο διαιρείται (γίνεται μεριστωματικό), διογκώνεται και δημιουργεί προεξοχές στην κορυφή του κολεού. Μετά το σχηματισμό του φύλλου, τα κύτταρα στην υποδερμίδα γίνονται μεριστωματικά .Στη συνέχεια, αναπτύσσονται διαδοχικά τα φύλλα και οι κολεοί που προέρχονται από τα εμβόλιμα μεριστώματα 12-25 φύλλα

Έχουν οδοντώσεις στις παρυφές του ελάσματος Φέρουν εφυμενίδα με κηρώδες επίχρισμα και πολλά μηχανικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα που αποδεικνύουν την ικανότητα συστροφής του ελάσματος σε περίοδο ξηρασίας όπου μειώνεται η απώλεια του νερού Ο ρυθμός θανάτου στα φύλλα εξαρτάται από τη συνολική θερμοκρασία αλλά μπορεί να επηρεαστεί από τη σκίαση, την έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, την ξηρασία, τον παγετό και τις ασθένειες

Στο ύψος των κολεών βρίσκονται τα εμβόλιμα μεριστώματα των μεσογονατίων διαστημάτων Η υποδιαίρεση των κυττάρων γίνεται στα μεσογονάτια της βάσης αντί

στα μεριστώματα της κορυφής. Γι' αυτό η δράση των εμβόλιμων μεριστωμάτων κατανέμεται σε κάθε σημείο του μήκους των φύλλων, των περιβλημάτων, και των μεσογονατίων στα αρχικά τους στάδια. Με την ωρίμανση, η μεριστωματική δράση μεταφέρεται στην περιοχή της βάσης και τελικά σταματάει να υφίσταται.

Οι κόμβοι είναι τα σημεία εκείνα του φυτού από τα οποία εκφύονται τα φύλλα. Η μεταβολή του αριθμού τους ακολουθεί το ίδιο πρότυπο αύξησης με αυτό των φύλλων. Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών ο αριθμός των κόμβων αυξάνεται εκθετικά με το χρόνο. Το σημείο στο οποίο αρχίζει η μείωση του αριθμού των φύλλων δεν υπάρχει όσον αφορά την αύξηση των κόμβων. Οι κόμβοι συνεχίζουν να αυξάνονται αν και με προφανώς μειωμένο ρυθμό και μετά από αυτό το σημείο. Η διαφορά του αριθμού των κόμβων σε σχέση με τον αριθμό των φύλλων οφείλεται στο ότι οι κόμβοι δεν μειώνονται σε αριθμό με την έναρξη της διαδικασίας του βιολογικού γήρατος.

Ριζικό Σύστημα

Αποτελείται από μια δευτερογενή εμβρυακή ρίζα με κατακόρυφη διεύθυνση και πολλές πλευρικές ρίζες κατά μήκος. Οι ρίζες του είναι μόνιμες και εναέριες. Το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος κυμαίνεται από 0,9-1,2 m, ενώ σε πλήρως ανεπτυγμένα φυτά μπορεί να φτάσει και τα 2,7 m. Έχει λεπτότερες και πιο ινώδεις ρίζες από τον αραβόσιτο, ενώ οι μόνιμες ρίζες του κατά μονάδα μήκους, δευτερογενούς εμβρυακής μορφής, είναι διπλάσιες του αραβόσιτου. Αυτό επιτρέπει στο σόργο να έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού.

Βλαστός

Κατακόρυφος, ύψος 0,5-5 m, 7-18 κόμβοι, με οφθαλμούς κατ' εναλλαγή. Αδελφώματα από τους οφθαλμούς της βάσης – χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τα αδελφώματα.

Ταξιανθία - Ταξικαρπία

Φόβη συμπαγής ή αραιή, 1000-5000 γόνιμα άνθη ανά φυτό. Ταξικαρπία με 800-3000 κόκκους.

Καρπός

Μήκος: 8 - 35 mm - βάρος (1000 καρπών): 20-40 gr Περιβάλλεται από δυο λέπυρα που αποχωρίζονται στην κορυφή Τα λέπυρα απομακρύνονται δύσκολα Κόκκινοι, λευκοί, κίτρινοι ή καφέ. Το σκοτεινό χρώμα δηλώνει ύπαρξη τανίνης που μειώνει την πεπτικότητα του καρπού. Το κίτρινο ενδοσπέρμιο δηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε καροτένια .



Εικόνα 2.2

Το καλλιεργούμενο είδος είναι το *Sorghum Bicolor* L. Με $2n = 20$ χρωμοσώματα. Άγρια είδη είναι τα *Sorghum versicolor* (αυτοφύεται στην Αφρική με $2n=20$ χρωμ.), *Sorghum Halepense* (κοινώς Βέλιουρας, πολυετές ζιζάνιο με $2n= 40$ χρωμ.). Το σόργο ταξινομείται στους εξής τύπους ποικιλιών.

- **Καρποδοτικές (grain sorghum) :**

1. **Kafir:** Κατάγονται από τη Νότια Αφρική έχουν χοντρούς χυμώδεις μίσχους, μεγάλα φύλλα και διαμορφώνουν κυλινδρική ταξιανθία . Οι σπόροι μπορούν να είναι άσπροι, ρόδινοι ή κόκκινοι και είναι μέσοι στο μέγεθος.
2. **Milo:**κατάγονται από την Ανατολική Αφρική, έχουν τους μίσχους που είναι λιγότερο χυμώδεις απ ότι των Kafir. Τα φύλλα σημαίες είναι κυματιστά με κίτρινο την κεντρική νεύρωση του φύλλου.. Τα κεφάλια είναι συμπαγή, σχήματος οβάλ. Οι σπόροι είναι μεγάλοι, χρώματος ελαφρού ροζ έως μπεζ. Τα φυτά τείνουν να είναι πιο ανθεκτικά στη θερμότητα και στην ξηρασία από τα Kafir.
3. **Feterita:** προήλθαν από το Σουδάν. Τα φύλλα είναι αραιά σε αριθμό.

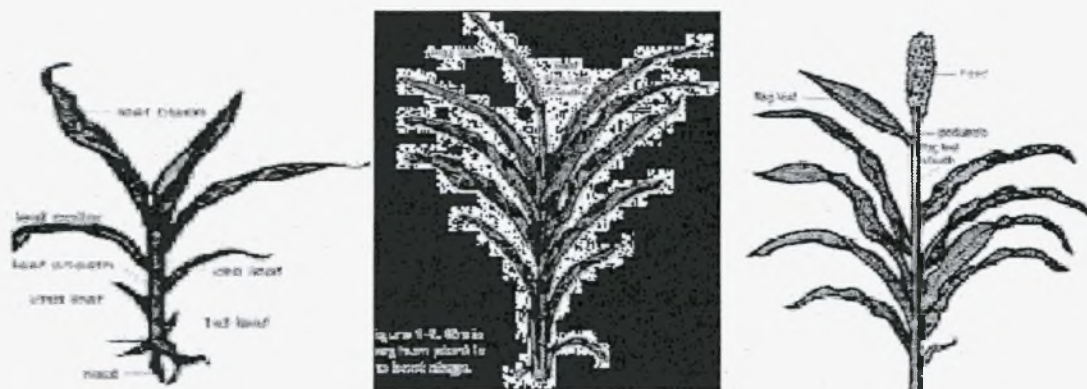
4. **Durra:** Είναι από τη Μεσογειακή Περιοχή, την Εγγύς Ανατολή, και τη Μέση Ανατολή. Οι μίσχοι είναι ξηροί. Οι ταξιανθίες είναι γενειοφόρες και τριχωτές και μπορεί να είναι συμπαγείς ή ανοικτές. Οι σπόροι είναι μεγάλοι και επίπεδοι.
 5. **Sballu:** Είναι από την Ινδία και έχουν ψηλούς, λεπτούς, ξηρούς μίσχους. Τα κεφάλια είναι χαλαρά. Οι σπόροι είναι χρώματος μαργαριταρένιο λευκό και αργούν να ωριμάσουν, απαιτώντας κατά συνέπεια μια σχετικά μακριά περίοδο αύξησης
 6. **Koaliang:** Είναι εκείνοι που αναπτύσσονται κυρίως στην Κίνα, τη Μαντζουρία και την Ιαπωνία, έχουν τους λεπτούς, ξηρούς, ξύλινους μίσχους με τα αραιά φύλλα. Οι σπόροι είναι καφετιοί και πικροί στην γεύση.
- **Χορτοδοτικές (Grass Sorghum):** Τύπος Sudadense, το ονομαζόμενο χόρτο του Σουδάν. Χαρακτηρίζεται από πολλά αδέρφια και πλούσιο φύλλωμα (ορισμένες ποικιλίες έχουν αρκετή ποσότητα γλυκοζίτη και , που ύστερα από υδρόλυση παράγει HCN). Η ελληνική συνθετική ποικιλία του με το όνομα κρόκιο αποδίδει 8,5 τόνους χλωρό ή 1,8 τόνους ξηρό χόρτο ανά στρέμμα.
 - **Ζαχαροφόρες (sorgo):** περιέχουν ζαχαρώδεις ουσίες στην εντεριόνη και χρησιμοποιούνται για ενσίρωση και παραγωγή σιροπιού.
 - **Σκούπα (broom corn):** Χαρακτηριστικό των ποικιλιών αυτών είναι η μακριά ταξιανθία (μέχρι 60 εκ. και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σκούπας.

2.2.2 Ανάπτυξη:

Παρακάτω παρουσιάζονται τα κυριότερα μοντέλα ανάπτυξης του σόργου σύμφωνα με τον Keley και τον Vanderlip και στάδια ανάπτυξης του γλυκού σόργου κατά Woods.

A) Ο Kelley (2006) διακρίνει 3 στάδια ανάπτυξης:

1. Στάδιο των 3-φύλλων
2. Στάδιο του σχηματισμού του περιανθίου (boot stage)
3. Στάδιο πλήρους ωριμότητας



1. Στάδιο των 3-φύλλων 2. Στάδιο του σχηματισμού του περιάνθιου (boot stage) 3. Στάδιο πλήρους ωριμότητας

Εικ. 2.3: Στάδια ανάπτυξης σόργου κατά Kelley

B) Ο Vanderlip (1993) διακρίνει 10 στάδια ανάπτυξης:

Στάδιο 0: εμφάνιση

Στάδιο 1: 3-φύλλων

Στάδιο 2: 5-φύλλων

Στάδιο 3: διαφοροποίησης ανάπτυξης

Στάδιο 4: εμφάνιση του τελευταίου φύλλου στον κορυφαίο σπόνδυλο (leaf-flag)

Στάδιο 5: περιανθίου

Στάδιο 6: ημι-άνθησης

Στάδιο 7: μαλακής ζύμης

Στάδιο 8: σκληρής ζύμης

Στάδιο 9: φυσιολογικής ωριμότητας



Εικόνα 2.4: Στάδια ανάπτυξης κατά Vanderlip (1993)

Γ) Ο Woods (2003) διακρίνει 4 στάδια ανάπτυξης στο γλυκό σόργο:

Στάδιο 1:

- Αναφέρεται στο χρονικό στάδιο μεταξύ της φύτευσης και του σχηματισμού των οφθαλμών
- Πλάγιοι βλαστοί εμφανίζονται συνήθως μετά τη διέλευση των πρώτων 30 ημερών κάτω από τις μασχάλες των 3-5 πρώτων φύλλων
- Αναπτύσσεται με βραδείς ρυθμούς και οι απαιτήσεις του σε νερό και θρεπτικά (λίπανση) είναι αυξημένες

Στάδιο 2: επιμήκυνσης

- 47-55 ημέρες μετά την εμφάνιση του αρτιφύτου
- Σημαντική και ταχεία αύξηση της φυλλικής επιφάνειας και του ύψους του φυτού
- Όσο πιο πολύ διαρκεί το στάδιο αυτό τόσο πιο ψηλό και παραγωγικό γίνεται το φυτό
- Απαιτεί αποτελεσματικές καλλιεργητικές πρακτικές (διαχείριση)

Στάδιο 3: άνθησης

Ανάπτυξη φόβης

- Τα άνθη εμφανίζονται βαθμιαία από την κορυφή προς τη βάση και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα της φόβης
- Το ανοιγοκλείσιμο των πετάλων των ανθέων διαρκεί μία ώρα
- Απαιτούνται επαρκείς ποσότητες νερού, ιδιαίτερα για τις όψιμες ποικιλίες που ανθίζουν σε ζεστές και ξηρές καλοκαιρινές ημέρες

Στάδιο 4: “γάλακτος” και ωρίμανσης

1. Γάλακτος: έκκριση γαλακτώδους παχύρρευστου λευκού υγρού (ενδοσπέρμιο) όταν ο σπόρος συνθλιβεί
2. Μαλακού κηρού: όταν ο σπόρος συνθλιβεί, δεν εξέρχεται λευκό υγρό αλλά παχύρρευστη κηρώδης πάστα
3. Ωριμότητας: Ο σπόρος γίνεται ξηρός και σκληρός. Από την άνθηση στην ωρίμανση απαιτούνται 30 ημέρες.

2.3 Καλλιεργητικές Φροντίδες – Οικολογικές απαιτήσεις

Το γλυκό σόργο (*Sorghum Bicolor*) είναι ένα C4 μονοετές φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και με υψηλό ποσοστό σε διαλυτά σάκχαρα. Είναι ανθεκτικό σε έλλειψη νερού, παρουσιάζοντας πολύ μεγάλη αποτελεσματικότητα χρήσης του νερού και έχει σχετικά χαμηλές απαιτήσεις σε άζωτο. Μπορεί να καλλιεργηθεί από τις βορειότερες έως τις νοτιότερες περιοχές της Ελλάδας αφού έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται εύκολα σε διάφορους τύπους εδαφών. (σε εύφορα αλλά και σε υποβαθμισμένα εδάφη) και σε ποικίλες κλιματικές συνθήκες.

Η σπορά γίνεται την άνοιξη δύο εβδομάδες αργότερα από τη σπορά του αραβόσιτου. Η ιδανική περίοδος για την Ελλάδα (και γενικότερα για τις εύκρατες ζώνες) θεωρείται από τα μέσα Μαΐου έως και αρχές Ιουνίου.

Απαιτεί θερμοκρασίες εδάφους 7-10 °C για επιτυχές φύτρωμα, ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία ανάπτυξης πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 16 °C. Πάντως είναι γενικότερα θερμοφίλο φυτό καθώς οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται σε θερμοκρασίες αέρα μεταξύ των 27 και 29 °C.

Σε αντίθεση με τον αραβόσιτο, το Σόργο δεν αποθηκεύει τους υδατάνθρακες (από την υδρόλυση των οποίων προέρχεται η αιθανόλη) στον καρπό αλλά στο καλάμι, στα φύλλα και κυρίως στο μίσχο. Επίσης η κυριότερη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο φυτών έγκειται στο μειωμένο χρόνο συγκομιδής που κυμαίνεται μεταξύ των 8-10 εβδομάδων στο Σόργο.

Παρόλο που είναι τροπικής προελεύσεως, μπορεί να αναπτυχθεί άριστα σε υποτροπικές και εύκρατες περιοχές της υφηλίου. Ορισμένα μάλιστα υβρίδια Σόργου που προορίζονται για την παραγωγή ίνας αναπτύσσονται άριστα σε Μεσογειακές κλιματολογικές συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης.

Οι μεν γραμμές σποράς καθορίζονται ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται το Σόργο (για σάκχαρα, για καρπό, για ίνα, για ενέργεια, κτλ.) και κυμαίνονται από 40-120 cm, οι δε αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής σποράς εξαρτώνται από την πυκνότητα σποράς και την καλλιεργητική τεχνική και κυμαίνονται από 10 έως 15 cm.

Μεγάλο βέβαια πλεονέκτημα της καλλιέργειας είναι το σχετικά μικρό κόστος εγκατάστασης των φυτών στον αγρό, ενώ αραίωμα απαιτείται μόνο στην περίπτωση που η καλλιέργεια θα χρησιμοποιηθεί για την συλλογή των καρπών. Η τοποθέτηση του σπόρου γίνεται με μία απλή σπαρτική σιτηρών σε βάθος 3 έως 4 cm.

Το Σόργο αντιδρά επιτυχώς στην αζωτούχο και τη φωσφορική λίπανση. Για παραγωγές της τάξης των 5-7 t στρ.⁻¹ τα φυτά καταναλώνουν περίπου 5 κιλά στρ.⁻¹ P. Ανάλογα με την εδαφολογική συμπεριφορά του χωραφιού και για παραγωγές της τάξης των 5-7 t στρ.⁻¹ απαιτούνται περίπου 5 με 7 κιλά N σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία, σε μία δόση λίγο πριν ή λίγο μετά τη σπορά, και σε αμμώδη εδάφη σε δύο δόσεις μία πριν τη σπορά και μία περίπου 30 ημέρες μετά (Undersander., *et al*, 1990). Συνήθως χορηγούνται 4-15 μονάδες N και 4-7 μονάδες P στο στρέμμα αντίστοιχα (Dercas *et al.*, 1995).

Είναι πάντως σύνηθες σε ικανοποιητικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας να μην πραγματοποιείται κανενός είδους λιπαντική αγωγή, πριν το πέρας 2 ή 3 ετών,

καθώς το φυτό κυρίως εξαιτίας του εκτεταμένου ριζικού του συστήματος, δεσμεύει το φυσικό άζωτο καθώς και άλλα θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος. Γι' αυτό άλλωστε θεωρείται σημαντική η συμβολή του στην οικοδόμηση της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών.

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

Το σημαντικότερο βέβαια πλεονέκτημα του Σόργου είναι η αντοχή του σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. Η ανατομική κατασκευή των φύλλων του και το εκτενές ριζικό του σύστημα, σε συνδυασμό με την ικανότητα να αναστέλλει την ανάπτυξή του (λήθαργος) σε περιόδους μεγάλης ξηρασίας, του δίνει την δυνατότητα να υποκαθιστά την καλλιέργεια του καλαμποκιού, ειδικότερα σε περιοχές με χαμηλές τιμές βροχόπτωσης.

Επάξια λοιπόν του έχει δοθεί το προσωνύμιο φυτό καμήλα μεταξύ των υπολοίπων καλλιεργειών. Μάλιστα ακόμη και αν το κεντρικό στέλεχος δεν επανέλθει έχει την δυνατότητα της ανάπτυξης νέων βλαστών (αδέλφια) με αποτέλεσμα να αποδίδει ικανοποιητικά. Στις περιπτώσεις μάλιστα που καλλιεργείται για τη ξηρή ή χλωρή του βιομάζα δεν πραγματοποιείται κανενός είδους αραίωμα ή κοπή των επιπλέον βλαστών (αδέλφια) που αυτό αναπτύσσει.

Στις περιπτώσεις βέβαια που υπάρχει διαθέσιμο νερό καλό είναι να αρδεύεται αμέσως μετά τη σπορά, 2 έως 3 φορές, σε αναλογικές δόσεις μετά την κάθε κοπή. Η κρίσιμη πάντως περίοδος είναι λίγο πριν την εμφάνιση των ταξιανθιών έως και την περίοδο της μαλακής ζύμης.

Παρότι θεωρείται από τα φυτά με τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε νερό (Mastorilli *et al.*, 1995), η άρδευση θεωρείται απαραίτητη. Μάλιστα σε

συνδυασμό με υψηλής γονιμότητας εδάφη δύναται να επιτευχθούν πολύ υψηλές παραγωγές.

Σε αντιπαραβολή με τη λιπαντική αγωγή η οποία δεν παίζει σπουδαίο ρόλο στην παραγωγή βιομάζας ή ζάχαρης, αντίθετα η επάρκεια αρδευτικού νερού παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας.

Ειδικότερα, για τα κλιματικά δεδομένα του Θεσσαλικού κάμπου ο μέσος όρος των συνολικών αναγκών σε αρδευτικό νερό των καλλιεργειών κατά την αρδευτική περίοδο υπολογίζεται σε $480 \text{ m}^3 \text{ στρ.}^{-1}$ συνυπολογιζόμενου και ενός ποσοστού απωλειών περίπου 20% (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 1996).

Για την καταπολέμηση των ζιζανίων αποτελεσματική αποδεικνύεται η χρήση των προ-φυτρωτικών προπαζίνη ή και CDAA σε δόσεις 150-250 g στο στρέμμα.

Οι κυριότεροι εχθροί του φυτού είναι οι σιδηροσκάληκες, το πράσινο σκουλήκι (προσβάλλει τα φύλλα και τους σχηματιζόμενους καρπούς), η μύγα του Σόργου (καταστροφή του κορυφαίου μεριστώματος), και η σεσάμια (εμποδίζεται η εμφάνιση ταξιανθιών).

Οι σπουδαιότερες ασθένειες που προσβάλλουν το φυτό είναι οι σηψήριζιες (νανισμός), οι σήψεις του στελέχους (πλάγιασμα – πρώιμη ωρίμανση), οι σκωριάσεις καθώς επίσης και οι άνθρακες (π.χ. *Sphacelotheca sorghi*). Παρόλα αυτά τα νεαρά φυτά του Σόργου παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα εμφανίζοντας μικρότερες ζημιές από την προσβολή των διαφόρων μυκήτων. Οι μυκητιάσεις κάνουν την εμφάνιση τους μετά το πέρας 60 με 70 ημερών από τη σπορά της καλλιέργειας, όταν βέβαια το ευνοούν και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής (βροχοπτώσεις και εν συνεχεία υψηλές θερμοκρασίες).

Η συγκομιδή πραγματοποιείται ανάλογα με τη χρήση χορτοκοπτικής μηχανής (για σανό, για ενσίρωση, για βιομάζα κ.ο.κ.) και με την χρήση θεριζοαλωνιστικής (για καρπό). Προτιμάται η συλλογή για κτηνοτροφικούς σκοπούς να γίνεται όταν η υγρασία του καρπού κυμαίνεται μεταξύ των ποσοστών 18-22% και τούτο διότι, πρώτον αυξάνει η ξηρά ουσία του στελέχους των φυτών, και δεύτερον μειώνεται το ποσοστό του πρωτεϊνικού οξέος (δηλητήριο) που περιέχεται στον καρπό και στο σανό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΑΡΔΕΥΣΗ

3.1. Γενικά

Στόχος της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός του ριζοστρώματος με την απαραίτητη ποσότητα νερού για την απρόσκοπτη ανάπτυξη των φυτών ώστε να δώσουν τη μέγιστη παραγωγή. Εξίσου σημαντικό είναι όμως κατά την άρδευση να επιτυγχάνονται οι μικρότερες δυνατές απώλειες νερού είτε ως διήθηση σε βάθος (σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους από εκείνα στα οποία αναπτύσσονται οι ρίζες είτε και ως επιφανειακή απορροή.

Τα προβλήματα που έχουν προκύψει τελευταία λόγω ανεπάρκειας του αρδευτικού νερού τα οποία πρόκειται να ενταθούν τα επόμενα χρόνια κάνουν επιτακτική την ανάγκη για σοβαρές προσπάθειες μείωσης των απωλειών νερού, η οποία μείωση μπορεί να επιτευχθεί:

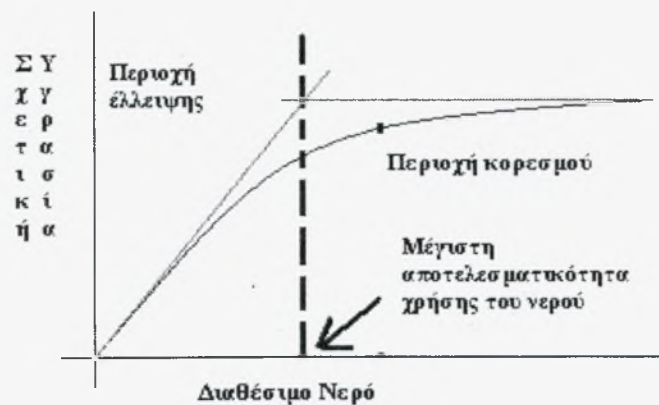
- Με τον καλύτερο προγραμματισμό των αρδεύσεων(αποφυγή άσκοπων αρδεύσεων)
- Την ελαχιστοποίηση των διαρροών στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής του νερού και
- Τον περιορισμό των απωλειών στο χωράφι

Ιδιαίτερη σημασία για το τελευταίο έχει η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί. Η τέλεια μέθοδος δεν υπάρχει αλλά ανάλογα με τις συνθήκες επιλέγεται η καταλληλότερη. Προϋπόθεση βέβαια για την μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων της κάθε μεθόδου αποτελεί ο άριστος σχεδιασμός, η σωστή εγκατάσταση και η χρήση υλικών καλής ποιότητας.

Ο γεωργικός τομέας είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού (70% σε παγκόσμιο επίπεδο και άνω του 80% στις περισσότερες μεσογειακές χώρες) για την παραγωγή τροφίμων, πρώτων υλών αλλά και παροχή εργασίας σε πολλούς κατοίκους των αγροτικών περιοχών.

Και στην Ελλάδα η γεωργία είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού (78.5% για άρδευση, 15.8% για ύδρευση ενώ μόνο 5.7% στη βιομηχανία. Η ζήτηση άρδευσης στη χώρα μας είναι μεγάλη ενώ η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης μικρή

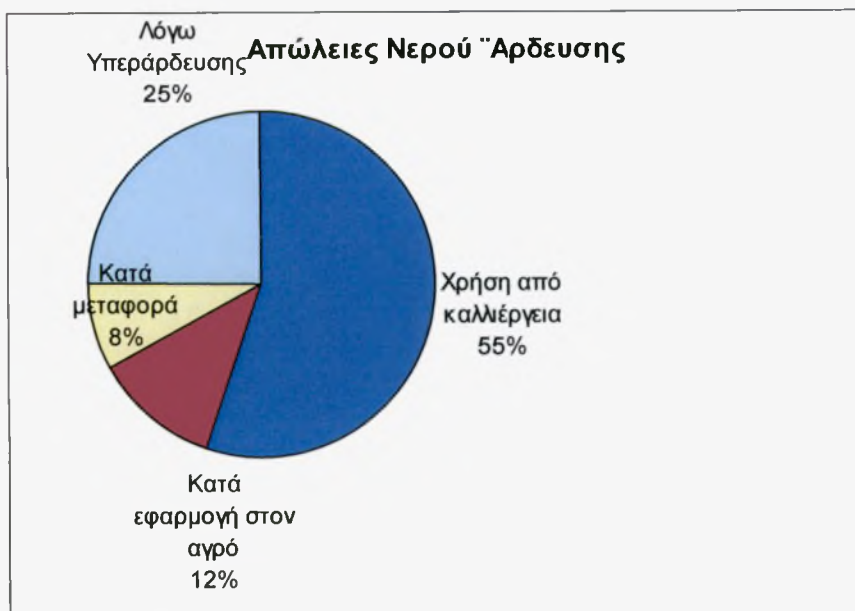
(σε πολλές περιπτώσεις κάτω του 55%). Σήμερα αρδεύεται το 41.2% της καλλιεργούμενης έκτασης.



Εικόνα 3.1: Σχέση παραγωγής μιας καλλιέργειας και νερού άρδευσης

Η παραγωγή αγροτικών προϊόντων απαιτεί μεγάλη κατανάλωση νερού. Για παραγωγή 1kg. Ξηρής ουσίας π.χ. πατάτες, τομάτες, σιτάρι και ρύζι απαιτούνται 0.5, 0.6 – 1.0, 0.9 και 1.9 m νερού αντίστοιχα. Πέραν μίας ποσότητας η παραγωγή δεν αυξάνεται (εικ. 3.1)

Εκτιμάται ότι από το νερό άρδευσης που εφαρμόζεται μόνο το 55% χρησιμοποιείται από την καλλιέργεια, ενώ το 12% χάνεται κατά τη μεταφορά, το 8% κατά την εφαρμογή στον αγρό ενώ το 25% χάνεται λόγω υπερβολικής άρδευσης.



Εικ.3.2

3.2. Συστήματα άρδευσης

Υπάρχουν τρία βασικά συστήματα άρδευσης:

1. Με φυσική ροή
2. Με τεχνητή ροή
3. Με σταγόνες

Σε καθένα από τα οποία υπάρχουν διάφορες παραλλαγές.

Σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης			
Παράγοντες σύγκρισης	Άρδευση με ελεύθερη ροή	Άρδευση με τεχνητή βροχή	Άρδευση με σταγόνες
Τοπογραφία	Επίπεδη επιφάνεια αγρού με κλίση 0-1%	Προσαρμόζεται στις περισσότερες τοπογραφικές συνθήκες	Προσαρμόζεται στις περισσότερες τοπογραφικές συνθήκες
Έδαφος	Προτιμώνται εδάφη βαθιά μέσα έως βαριά	Προσαρμόζεται στους περισσότερους τύπους εδαφών	Προσαρμόζεται στους περισσότερους τύπους εδαφών
Καλλιέργειες	Σε καλλιέργειες κυρίως με βαθύ ριζικό σύστημα	Προσαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες	Προσαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες
Δαπάνες εγκατάστασης συστήματος	Μέσες	Υψηλές	Υψηλές, έως πάρα πολύ υψηλές
Εξοικονόμηση νερού	Μικρή	Μέση έως υψηλή	Υψηλές, έως πολύ υψηλή
Δαπάνες εργατικών	Μέση ως υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Απαιτούμενη για το πότισμα ενέργεια	Λίγη	Πολύ έως παρά πολύ	Μέση
Ζημιές από τη μέθοδο εφαρμογής	Διάβρωση, ανύψωση υπόγειας στάθμης	Ασθένειες βλάβες στο φύλλωμα	Αλατότητα, φράξιμο σταλακτήρων
Ειδική προσοχή	Ισοπέδωση χωραφιού, εκπαίδευση παραγωγού	Άνεμος, Ανταλλακτικά Εκπαίδευση παραγωγού	Ανταλλακτικά Εκπαίδευση παραγωγού

Πηγή: Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων

Εικόνα 3.3: Σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης

1. Συστήματα άρδευσης με φυσική ροή

- Άρδευση με αυλάκια.
- Άρδευση μεταξύ παράλληλων αναχωμάτων.

2. Συστήματα άρδευσης με τεχνητή βροχή

- Άρδευση με καρούλι.
- Άρδευση με τεχνητή βροχή.

3. Άρδευση με σταγόνες

- Επιφανειακή άρδευση
- Υπόγεια άρδευση

3.3. Άρδευση με σταγόνες

Θα πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτίμηση

- Όταν έχουμε μικρή διαθέσιμη παροχή
- Σε γραμμικές καλλιέργειες, κυρίως όμως οπωροφόρα ή καλλιέργειες με μεγάλη πρόσοδο (θερμοκήπια).
- Όταν το διαθέσιμο νερό έχει άλατα
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιοσδήποτε τοπογραφικές συνθήκες
- Επιδέχεται αυτοματισμό στην άρδευση
- Μειώνει την ανάπτυξη ζιζανίων και επιτρέπει την προσπέλαση στο χωράφι.

Δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας

- Μεγάλη δαπάνη εγκατάστασης.
- Μέση δαπάνη λειτουργίας διότι λειτουργεί με μικρή πίεση.
- Μικρές απαιτήσεις σε εργατικά χέρια.

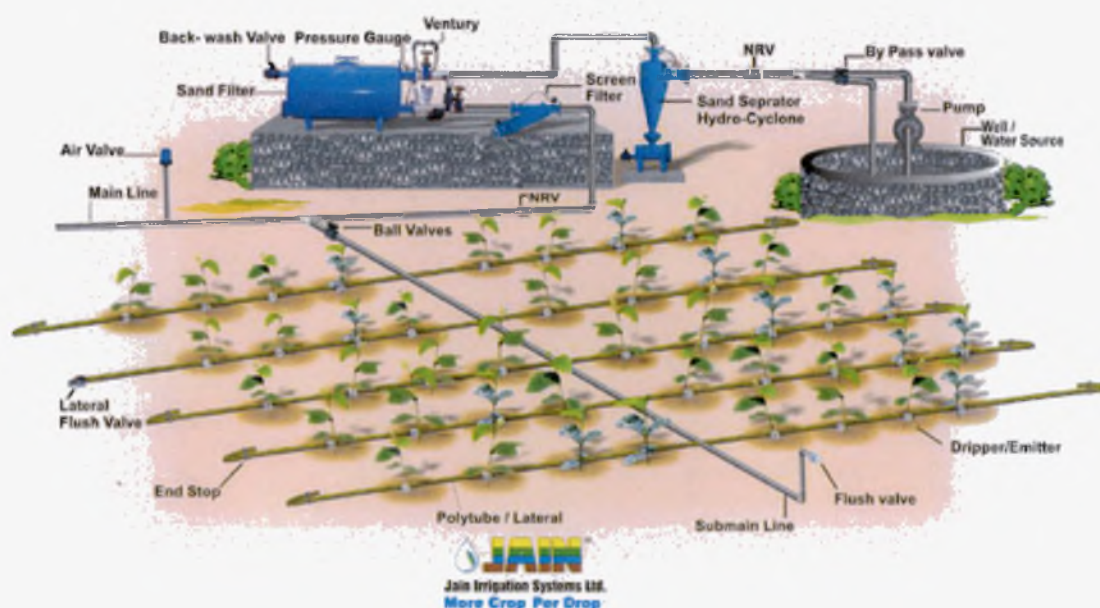
Ζημιές κατά την χρήση

- Εάν δεν γίνει καλός καθαρισμός του νερού φράζουν οι σταλακτήρες.
- Εάν το νερό έχει ανθρακικά και άλλα άλατα φράζουν οι σταλακτήρες
- Δημιουργεί αλατότητα και για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται έκπλυση του εδάφους.

Παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα αξιοποίησης του αρδευτικού νερού που κυμαίνεται από 80% - 90%.

3.4. Επιφανειακή στάγδην άρδευση

Η άρδευση με σταγόνες επιφανειακά 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).



Εικ. 3.4: Τυπικό σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα δίκτυα μεταφοράς, εφαρμογής και από τη μονάδα ελέγχου. Οι αγωγοί του δικτύου είναι από P.V.C. διαμέτρων 12-25 mm. Επάνω στους σωλήνες ενσωματώνονται οι σταλακτήρες μέσω των οποίων το νερό φτάνει στο χωράφι με τη μορφή σταγόνων. Η μονάδα ελέγχου τοποθετείται στην αρχή του δικτύου αμέσως μετά την αντλία ή την υδροληψία και περιλαμβάνει μετρητές ροής, φίλτρα, ρυθμιστές πίεσεως και συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Ο κάθε σταλακτήρας πρέπει να εξασφαλίζει μικρή και ομοιόμορφη παροχή που να μην επηρεάζεται από τις μεταβολές της πίεσης στον σωλήνα εφαρμογής και επίσης να είναι κατασκευασμένος από υλικό που δεν καταστρέφεται σε υψηλές θερμοκρασίες

περιβάλλοντος. Οι περισσότεροι σήμερα σταλακτήρες είναι αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι.

Τα φίλτρα αποτελούν το κυριότερο κομμάτι της μονάδας ελέγχου. Χρησιμοποιούνται με σκοπό τη πρόληψη από τις πιθανές φθορές και δυσλειτουργίες του δικτύου που προκαλούνται κυρίως από τα φερτά υλικά. Τα φίλτρα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες α) τα φίλτρα σήτας, β) τους υδροκυκλώνες και γ) τα φίλτρα χαλικιών και άμμου. Οι απώλειες φορτίου που δημιουργούνται εντός των φίλτρων οφείλονται στις υψηλές παροχές του νερού άρδευσης που τα διαπερνά. Σε κάθε περίπτωση καλό είναι να βρίσκεται η βέλτιστη λύση ώστε οι απώλειες αυτές να ελαχιστοποιούνται. Η σωστή λειτουργία ενός δικτύου άρδευσης με σταγόνες απαιτεί ορισμένους χειρισμούς όπως η αυτοματοποιημένη έναρξη και παύση λειτουργίας του συστήματος, η διαδοχική υδροδότηση των διαφόρων μονάδων και η ρύθμιση της απαιτούμενης παροχής και των φορτίων στην αρχή του δικτύου και στους αγωγούς τροφοδοσίας.

3.5. Υπόγεια στάγδην άρδευση

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

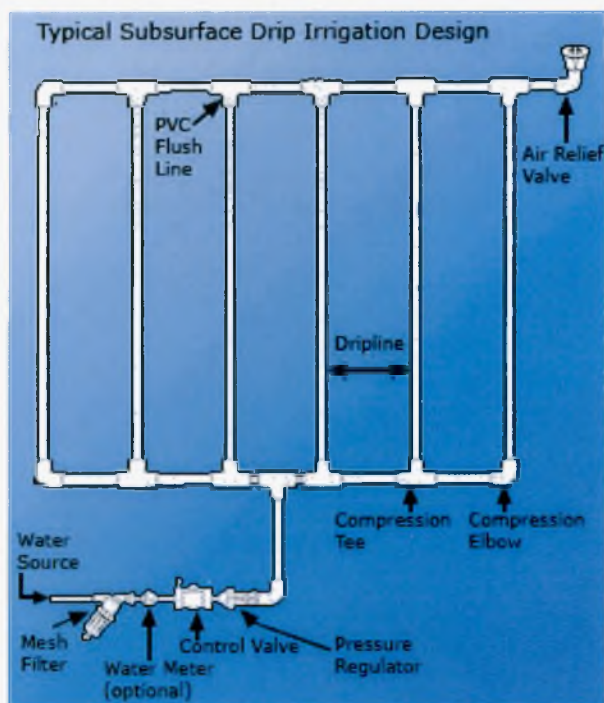
Η υπόγεια στάγδην άρδευση εμφανίστηκε πριν 50 περίπου χρόνια στις Η.Π.Α. και τη Μεγάλη Βρετανία με τη λήξη του δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υλικών P.E. και PVC.

Η εφαρμογή της μεθόδου στη Δυτική Ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών, κυρίως για την άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών δίπλα σε λεωφόρους, είχε ως συνέπεια την ταχεία εξάπλωση αυτής σε ολόκληρο τον κόσμο.

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

Χρησιμοποιήθηκε πρωτίστως σε μεγάλης αξίας καλλιέργειες όπως τα οπωροφόρα δέντρα, τα λαχανικά, τα καρύδια, το ζαχαροκάλαμο, το βαμβάκι, η

πατάτα, τα εσπεριδοειδή και το γλυκό καλαμπόκι. 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 του σημαντικού ελλείμματος σε αρδευτικό νερό των περιοχών αυτών (Phene *et al.*, 1992).



Εικ. 3.5: Τυπικό σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης

Σε σχετική έρευνα (Phene *et al.*, 1992) τα περισσότερα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης έχουν αποδώσει απολύτως ικανοποιητικά για 8-11 χρόνια με μικρές ενδείξεις υποβάθμισης. Αναφέρεται επίσης ότι η απαίτηση σε αρδευτικό νερό μειώθηκε μέχρι και σε ποσοστό 40% έναντι των υπολοίπων παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης. Στο ίδιο πείραμα την μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (WUE), μεταξύ οκτώ πλέον γνωστών μεθοδολογιών, είχε η υπόγεια στάγδην άρδευση.

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 (πλησίον της υδατοϊκανότητας). Μάλιστα το εδαφικό νερό σε καμία περίπτωση δεν χανόταν με διήθηση στα βαθύτερα στρώματα της εδαφοτομής, καθώς η κλίση του υδραυλικού φορτίου στο συγκεκριμένο κομμάτι

είχε ανοδική κατεύθυνση. Σε πείραμα τους σε γυμνό έδαφος το 1992 οι Phene *et al.* διαπίστωσαν απώλεια αρδευτικού νερού λόγω εξάτμισης στην υπόγεια στάγδην άρδευση σε ποσοστό μόνο 6% επί του συνόλου εφαρμογής, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες όπου το ποσοστό απωλειών (λόγω εξάτμισης) κυμαίνεται από 12 έως 24%.

Το 1993 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά το Trifluralin-5 στη υπόγεια άρδευση ως ριζοαπωθητικό. Κατασκευάζεται από την εταιρεία Geoflow και χρησιμοποιείται με το εμπορικό όνομα RootGuard. Η ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου Teflan στους σταλάκτες και η αργή αποδέσμευση του οδηγεί στην παύση παρείσφρησης της ρίζας παράπλευρα και εντός των σταλακτήρων (emitters). Η κατασκευάστρια εταιρεία εγγυάται μάλιστα μία δεκαετή έως και εικοσαετή άριστη λειτουργία του συστήματος ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης και συντήρησης του.

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

Οι Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και συνεργάτες (2003) στα συμπεράσματα τους από την ολοκλήρωση πειράματος σε καλλιέργεια ινόδους Σόργου στη Θεσσαλία (αποτελέσματα δεύτερου έτους), αναφέρουν σαφή υπεροχή σε παραγωγή ξηρής βιομάζας, άρα και ενέργειας, καθώς επίσης και υψηλότερους αναπτυξιακούς ρυθμούς στα φυτά που αρδεύτηκαν υπογείως έναντι αυτών που αρδεύτηκαν με σταγόνα επιφανειακά.

Σε έρευνα που διεξήχθη τον Φεβρουάριο του 2003 (USDA-ARS Conservation and Production Research Laboratory) σε καλλιέργεια *Grain Sorghum* σε αργιλοπηλώδες έδαφος με τη χρήση τριών διαφορετικών μεθοδολογιών άρδευσης, της υπόγειας στάγδην άρδευσης (SDI), της χαμηλής ενέργειας άρδευση ακριβείας με καταιονισμό (LEPA) και των αρδεύσεων με ψεκασμό (LESA – 1ft πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και MESA – 5 ft πάνω) κοινώς pop-up, παρατηρήθηκαν τα παρακάτω, πρώτον η αποδοτικότητα του νερού εφαρμογής στην υπόγεια άρδευση έφτασε το 100% και ακολούθησαν η LEPA σε ποσοστά μεταξύ των 95-98% και των αρδεύσεων με ψεκασμό σε ποσοστό 90%, και δεύτερον για ποσοστά άρδευσης έως και το 70% του συνόλου της ημερήσιας

εξατμισοδιαπνοής η υπόγεια άρδευση είχε τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε χλωρή βιομάζα. Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι ότι με την υπόγεια άρδευση επιτυγχάνεται καλύτερη διάθεση του αρδευτικού νερού και υψηλότερη παραγωγικότητα με την μικρότερη δυνατή κατανάλωση.

Τέλος, σε έρευνα που διεξήχθη προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση του εδαφικού τύπου και της υπο-πίεσης στην έμφραξη λόγω εισρόφησης ενός σταλάκτη που χρησιμοποιείται σε υπόγειο δίκτυο στάγδην άρδευσης, σαφώς υψηλότερα ήταν τα επίπεδα έμφραξης στο αμμοπηλώδες και στο πηλοαμμώδες έδαφος έναντι των υπολοίπων εδαφών και μάλιστα η έμφραξη αυτή αυξάνονταν με την ταυτόχρονη αύξηση της υποπίεσης (Βύρλας και συνεργάτες, 2003).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1. Γενικά – Οριοθέτηση - Σχέδιο

Η ανάπτυξη και παραγωγικότητα του γλυκού Σόργου *Sorghum bicolor* (L) Moench cv. Keller μελετήθηκε σε πείραμα αγρού στο πειραματικό αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2005. Το συγκεκριμένο αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39°23', γεωγραφικό μήκος 22°45' και σε υψόμετρο 50 m από το επίπεδο της θάλασσας. Στην περιοχή επικρατεί ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα, χαρακτηριζόμενο από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες.

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 09 Μαΐου του 2005. Η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός είναι 1 στρέμμα.

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

Η διαφοροποίηση των τεμαχίων έγινε με βάση τη μέθοδο άρδευσης. Έτσι τέσσερα πειραματικά αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση (εφαρμογή 100% της δόσης άρδευσης), τέσσερα πειραματικά αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση 9εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης), τέσσερα με υπόγεια στάγδην άρδευση (εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης), ενώ τέσσερα πειραματικά χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες και δεν αρδεύτηκαν καθόλου.

Η συνολική επιφάνεια του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 50 m² (κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε μήκος 10 m και πλάτος 5 m). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο εγκαταστάθηκαν έξι σειρές φυτών. Η απόσταση μεταξύ των σειρών σποράς της κάθε επανάληψης ήταν 0,8 m. Η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς υπολογίστηκε στα 0,143 m (Πληθυσμιακή πυκνότητα σποράς 8.400 φυτά στρ.⁻¹).



Τα υλικά άρδευσης, οι αποστάσεις των δικτύων εφαρμογής, οι ισαποχή των σταλακτήρων, και τα υπόλοιπα τεχνικά χαρακτηριστικά της άρδευσης παρουσιάζονται στο υποκεφάλαιο "υλικά άρδευσης". Μία σύντομη πάντως παρουσίαση της διάταξης του πειραματικού αγρού γίνεται στο σχήμα 4.1. που ακολουθεί.

4.2. Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Το έδαφος, όπου το πείραμα πραγματοποιήθηκε, είναι καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδους υφής και ανήκει στην υπο-ομάδα των Typic Xerochrepts (USDA, 1975).

Η εδαφοτομή P₂ αντιπροσωπεύει τη μισή περίπου έκταση του κεντρικού τμήματος του αγροκτήματος στο Βελεστίνο. Η οριοθέτηση του παρουσιάζεται στη σχήμα 4.2.

Παρατηρείται έναρξη της διαδικασίας εδαφογένεσης με το σχηματισμό "καμβικού" ορίζοντα και την εμφάνιση "ωχρού" επιπέδου υπεράνω του διαγνωστικού ορίζοντα.

Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας xeric 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 σύστασης του.

Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή και σε επίπεδα μετρίως χαμηλά και εμφανίζουν μία σαφή τάση μετακίνησης και έκπλυσης τους προς τα βαθύτερα στρώματα της 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 20ppm (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.

Στο σχήμα 4.2. παρουσιάζεται το τοπογραφικό διάγραμμα του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και στο σχήμα 4.3. η εδαφοτομή P₂, στο σχήμα 4.4. το επί της εκατό ποσοστό αργίλου, οργανικής ουσίας και Ca₂CO₃, και στον πίνακα 4.1. οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της εδαφοτομής P₂ (Μήτσιος και συνεργάτες, 2000).

Πίνακας 4.1. Φυσικές και Χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P₂.

Εδαφοτομή: P₂

Τάξη: Inceptisol

Υποομάδα: Typic xerochrept

43*4

Χαρτογραφική μονάδα: B— Iox
A03

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

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

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

(Μήτσιος και συνεργάτες, 2000)

4.3. Υλικά άρδευσης

Κατ' αρχήν έγινε η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης στα 45 cm βάθος με την χρήση ειδικού μηχανήματος (υπεδαφοθέτη).

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 επιφανειακής και της υπόγειας στάγδην άρδευσης τοποθετήθηκαν τρεις αγωγοί εφαρμογής των 20 mm.

Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1,6 m και η τοποθέτηση τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας (φώτο 3.). Η ισαποχή των σταλακτήρων (emitters) επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6 m. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής 3,6 l h⁻¹ σε πίεση λειτουργίας 3,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής 3,78 mm h⁻¹ (πίνακας 4.2.).

Πραγματοποιήθηκε επίσης η τοποθέτηση τεσσάρων ηλεκτροβανών (μία για κάθε δύο πειραματικά τεμάχια της ίδιας μεταχείρισης) με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης και τέσσερις υδρομετρητές, αντίστοιχα με τις ηλεκτροβάνες, για τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές

των δόσεων άρδευσης. Οι ηλεκτροβάνες ήταν τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9-40 V.

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.

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

Ο προγραμματιστής παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας τεσσάρων ηλεκτροβανών ταυτοχρόνως σε τρία διαφορετικά προγράμματα και αποτελείται από την ψηφιακή οθόνη προγραμματισμού, τα πλήκτρα εντολών (καθορισμός ημέρας, ώρας, δόσης και διάρκειας άρδευσης), την μπαταρία Λιθίου (9 V), τον πίνακα ελέγχου, τα καλώδια με τις συνδέσεις τους και το πλαίσιο στήριξης. Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα της συνεχούς άρδευσης για 9 h 59 min, μπορεί να προγραμματιστεί με βάση ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα άρδευσης, διαθέτει την ικανότητα καθυστέρησης της άρδευσης έως και 99 ημέρες, παρέχει τη δυνατότητα μείωσης ή και αύξησης των δόσεων άρδευσης μέχρι ποσοστού 100% σε βήματα του 10%, δίνει τη δυνατότητα της ανεξάρτητης ακύρωσης ενός ή περισσοτέρων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα, επίσης σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά την 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.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50 m³ με σκοπό τη συγκέντρωση και διάθεση του απαιτούμενου προς άρδευση ύδατος.

Η πλήρωση της δεξαμενής πραγματοποιούνταν από παρακείμενη γεώτρηση με τη χρήση αντλίας μέσης παροχής 60-80 m³ νερού h⁻¹ με άξονα και σωλήνα 4''.

Τοποθετήθηκαν επίσης 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 (φώτο 2.).

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δεκαεπτά (17) αρδεύσεις και χορηγήθηκαν 280 m³ νερού στρ.⁻¹ στις επιφανειακές στάγδην επαναλήψεις και στα πειραματικά τεμάχια που αρδεύτηκαν με την μέθοδο της άρδευσης με κανόνι βροχής, καλύπτοντας το 100% των αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, και 238 m³ νερού στρ.⁻¹ στις υπόγειες στάγδην επαναλήψεις, καλύπτοντας το 85% των αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή (πίνακας 4.3.). Στις ποσότητες αυτές δεν συμπεριλαμβάνεται η ποσότητα των κατακρημνισμάτων (βροχή) και το νερό φυτρώματος.

Όσον αφορά την μέθοδο της άρδευσης με κανόνι βροχής, η τοποθέτηση του εκτοξευτή έγινε σε σταθερό σημείο πλησίον των πειραματικών και χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικοί σωλήνες για τον έλεγχο της ομοιομορφία της άρδευσης.

Η παροχή αυτού μετρήθηκε στα 34 m³ h⁻¹ σε πίεση λειτουργίας 4,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής τα 18 mm h⁻¹.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι η διηθητικότητα του συγκεκριμένου εδάφους αγγίζει τα 7 mm h⁻¹, οι εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν με ενδιάμεσες διακοπές της τάξης των 40' με 45', όταν ο συνολικός χρόνος άρδευσης ξεπερνούσε το ένα τέταρτο (ανάλογα και με τις τιμές της εδαφικής υγρασίας).

Πίνακας 4.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά άρδευσης των μεταχειρίσεων

Μεταχείριση	Ισαποχή αγωγών εφαρμογής (m)	Ισαποχή σταλακτήρων (m)	Παροχή (l h ⁻¹)	Πίεση λειτουργίας (Atm)	Δόση άρδευσης (% ET)
E1	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E2	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E3	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E4	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E1	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E2	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E3	1,6	0,6	3,6	3,5	100
E4	1,6	0,6	3,6	3,5	100
Y1	1,6	0,6	3,6	3,5	85
Y2	1,6	0,6	3,6	3,5	85
Y3	1,6	0,6	3,6	3,5	85
Y4	1,6	0,6	3,6	3,5	85

Πίνακας 4.3. Δόσεις άρδευσης και διάρκειες άρδευσης των μεταχειρίσεων

Ημερομηνία	Δόση Επιφ/κής Στάγδην (100%) (mm)	Δόση Επιφ/κής Στάγδην (80%) (mm)	Δόση Υπόγειας (80%) (mm)
05/06/05	19,80	15,84	15,84
09/06/05	17,20	13,76	13,76
13/06/05	24,00	19,2	19,2
17/06/05	21,50	17,2	17,2
20/06/05	17,80	14,24	14,24
24/06/05	21,50	17,2	17,2
27/06/05	18,50	14,8	14,8
30/06/05	20,00	16	16
07/07/05	15,60	12,48	12,48
10/07/05	20,00	16	16
13/07/05	18,00	14,4	14,4
16/07/05	21,80	17,44	17,44
19/07/05	20,50	16,4	16,4
22/07/05	26,50	21,2	21,2
25/07/05	22,00	17,6	17,6
28/07/05	22,00	17,6	17,6
31/07/05	25,00	20	20
03/08/05	25,00	20	20
06/08/05	16,60	13,28	13,28
09/08/05	20,00	16	16
12/08/05	19,00	15,2	15,2
15/08/05	22,00	17,6	17,6
18/08/05	22,00	17,6	17,6
21/08/05	20,00	16	16
24/08/05	25,00	20	20
27/08/05	18,00	14,4	14,4
30/08/05	21,00	16,8	16,8
02/09/05	20,00	16	16
07/09/05	15,40	12,32	12,32
10/09/05	19,00	15,2	15,2
13/09/05	26,00	20,8	20,8
30/09/05	18,00	15,84	15,84

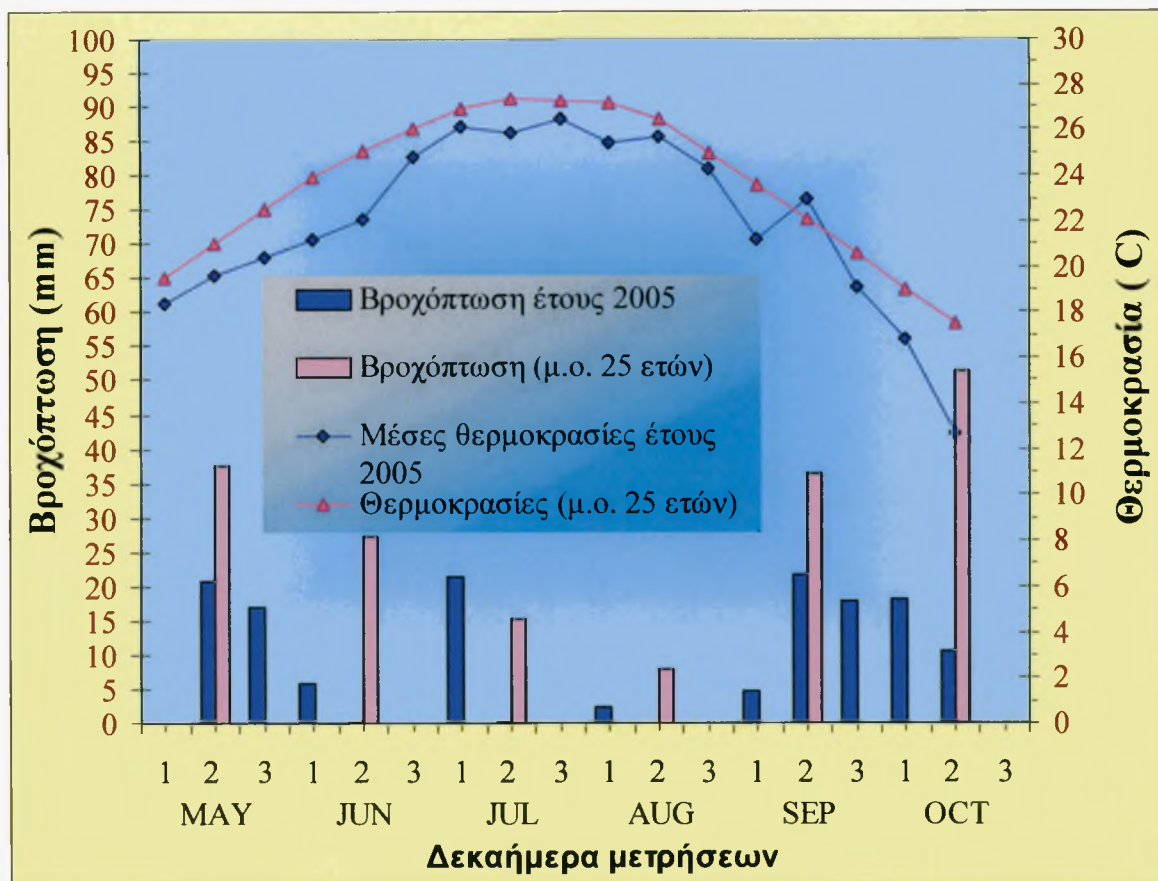
4.4. Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας έγιναν λίγο πριν την άρδευση και δύο ημέρες μετά από αυτήν, με την μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry), με αισθητήρες μήκους 75cm και διαστημάτων μέτρησης: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 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 την ταχύτητα κίνησης ενός υψηλής συχνότητας σήματος το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω κατάλληλου κυματοδηγού (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και συνεργάτες, 1997). Με άλλα λόγια η αρχή λειτουργίας του TDR βασίζεται στην χρονομετρημένη απόκριση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος της πηγής του οργάνου για διάφορα βάθη από 0-75 cm και την αναγωγή του χρόνου καθυστέρησης σε μονάδες εδαφικής υγρασίας (% κ.ο.), με την χρήση πολυωνυμικών εξισώσεων. Το όλο σύστημα περιλαμβάνει τη συσκευή T.D.R. με ενσωματωμένο επεξεργαστή μετατροπής και την οθόνη προβολής των τιμών εδαφικής υγρασίας, τον αισθητήρα του οργάνου (probe), τον φορτιστή των μπαταριών του οργάνου, τα καλώδια επικοινωνίας της συσκευής με τον αισθητήρα και τον υπολογιστή, και την ομάδα εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή των αισθητήρων. Το συγκεκριμένο όργανο δεν απαιτεί βαθμονόμηση, καθώς είναι βαθμονομημένο από τον κατασκευαστή. Τοποθετήθηκαν συνολικά τέσσερις αισθητήρες ένας για κάθε διαφορετική μεθοδολογία άρδευσης.

Σημειώνεται εδώ ότι κατά τις ημέρες των υψηλών βροχοπτώσεων, οι οποίες συνέπεσαν με τις προκαθορισμένες μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας, αυτές πραγματοποιήθηκαν κανονικά αλλά δεν συμπεριελήφθησαν στην γραφική και στατιστική επεξεργασία των τιμών της εδαφικής υγρασίας, καθώς οι τιμές αυτές δεν είχαν απολύτως καμία σχέση με τις διαφορετικές μεθοδολογίες άρδευσης που εφαρμόστηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής (ημερήσια 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, βροχόμετρο, πυρανόμετρο και ανεμόμετρο. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Τονίζεται ότι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων έγινε σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

Η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) έγινε στον αγρό αλλά και στο εργαστήριο. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του εργαστηρίου για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων για το σύνολο των μεταχειρίσεων. Αυτό έγινε διότι οι μετρήσεις στον αγρό επηρεάζονται καταρχήν από τον χειρισμό του οργάνου και κατά δεύτερον από την κατάσταση του ουρανού (π.χ. μικρή διάρκεια ηλιοφάνειας-νεφοσκεπής ουρανό).

Όσον αφορά τις μετρήσεις στον πειραματικό αγρό, επιλέχθηκαν τρία τυχαία φυτά από την κάθε επανάληψη για τη μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και του ύψους. Η επιλογή έγινε βάση τυχαίου τριψηφίου αριθμητικού συνδυασμού, με το πρώτο ψηφίο να παίρνει την τιμή από 2 – 5 (μία από τις τέσσερις εσωτερικές σειρές κάθε επανάληψης) και τα δύο επόμενα ψηφία να

παίρνουν τις τιμές από 11 – 60 (ένα από τα 50 φυτά της κάθε σειράς αποκλείοντας τα 10 πρώτα και τα 10 τελευταία φυτά).

Για την γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του δείκτη φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των μετρήσεων. Οι μετρήσεις στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν με το ειδικό όργανο εμβαδομέτρησης LI-COR που είναι αρκετά ακριβές και απόλυτα αξιόπιστο. Παράλληλα προσδιορίστηκε και το σφάλμα μέτρησης του οργάνου σε μία τιμή 5,8% πέραν της πραγματικής. Η υπερτίμηση της τιμής του L.A.I. οφείλεται στην συνεχή εγγραφή του οργάνου καθ' όλη τη διάρκεια της διακοπή για την εισαγωγή ενός νέου δείγματος. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δέκα μετρήσεις στον αγρό και έξι μετρήσεις στο εργαστήριο.

Η εξέλιξη της παραγωγής σε χλωρή και ξηρή βιομάζα των μεταχειρίσεων μετρήθηκε συνολικά σε έξι στελεχοκοπές (15/7, 16/8, 4/9, 22/9, 8/10 και 4/11).

Για την μέτρηση της χλωρής βιομάζας, σε κάθε δειγματοληψία ελήφθησαν, από τις δύο εκ των τεσσάρων κεντρικών σειρών του κάθε πειραματικού τεμαχίου, όλα τα φυτά που υπήρχαν σε δύο μη συνεχόμενα τρέχοντα μέτρα. Στον αγρό πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός των φυτικών τμημάτων (φύλλα, βλαστοί, όργανα αναπαραγωγής), καθώς επίσης και το ζύγισμα των νωπών δειγμάτων.

Χρησιμοποιήθηκε ειδική ζυγαριά ακριβείας με μέγιστο αποδεκτό βάρος τα 100 kg. Εν συνεχεία τα νωπά δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικές πλαστικές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο.

Οι βλαστοί και τα φύλλα της κάθε επανάληψης τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε ειδικές χάρτινες σακούλες και αποξηράνθηκαν σε θερμοκρασία 85⁰C, μέχρι σταθεροποίησης των βαρών τους σε δύο ειδικά ξηραντήρια του Πανεπιστημίου. Εν συνεχεία ζυγίστηκαν τα ξηρά βάρη των δειγμάτων για τον προσδιορισμό της ξηρής βιομάζας των δειγμάτων.

Τέλος, τονίζεται ότι στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική αγωγή ή άλλου είδους προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος των πειραματικών.

4.5. Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης

4.5.1. Θεωρητικός τρόπος υπολογισμών

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

Ο θεωρητικός τρόπος περιλαμβάνει του παρακάτω υπολογισμούς:

Υπολογισμός της θεωρητικής δόσης άρδευσης (I_d):

$$I_d \text{ (mm)} = \frac{(FC - PWP) \times h \times c \times P \times ASW}{10} \quad (\text{σχέση 1})$$

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 $I_d = 64,67$ mm.

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

$$I_{da} \text{ (mm)} = I_d / 0,95 \quad (\text{σχέση 2})$$

Όπου 0,95 το ποσοστό ωφελιμότητας του νερού άρδευσης.

Επομένως $I_{da} = 68$ mm.

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

$$Idh = \frac{q \times n}{Sr \times St} \quad (\text{σχέση 3})$$

Όπου:

$q = \text{παροχή σταλάκτη} = 3,6 \text{ l h}^{-1}$

$Sr = \text{ισαποχή των γραμμών σποράς} = 0,8 \text{ m}$

$St = \text{ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς} = 0,143 \text{ m}$

Και $n = \text{αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό}$

$$n = \frac{St}{2 \times Se} \quad (\text{σχέση 4})$$

όπου:

$Se = \text{ισαποχή σταλακτήρων} = 0,6 \text{ m}$

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

Επομένως $n = 0,12 \text{ σταλάκτες ανά φυτό}$

και $Idh = 3,78 \text{ mm h}^{-1}$

Τέλος, η διάρκεια άρδευσης (It) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$It \text{ (h)} = Ida / Idh \quad (\text{σχέση 5})$$

άρα $It = 17 \text{ h } 59'22''$

Για τον υπολογισμό του εύρους άρδευσης χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$Ir \text{ (d)} = Id / Etd \quad (\text{σχέση 6})$$

Όπου:

$Etd = \text{μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm)}$.

Εάν αυτή για παράδειγμα θεωρηθεί ίση με 7 mm τότε το εύρος άρδευσης υπολογίζεται σε περίπου 9 ημέρες.

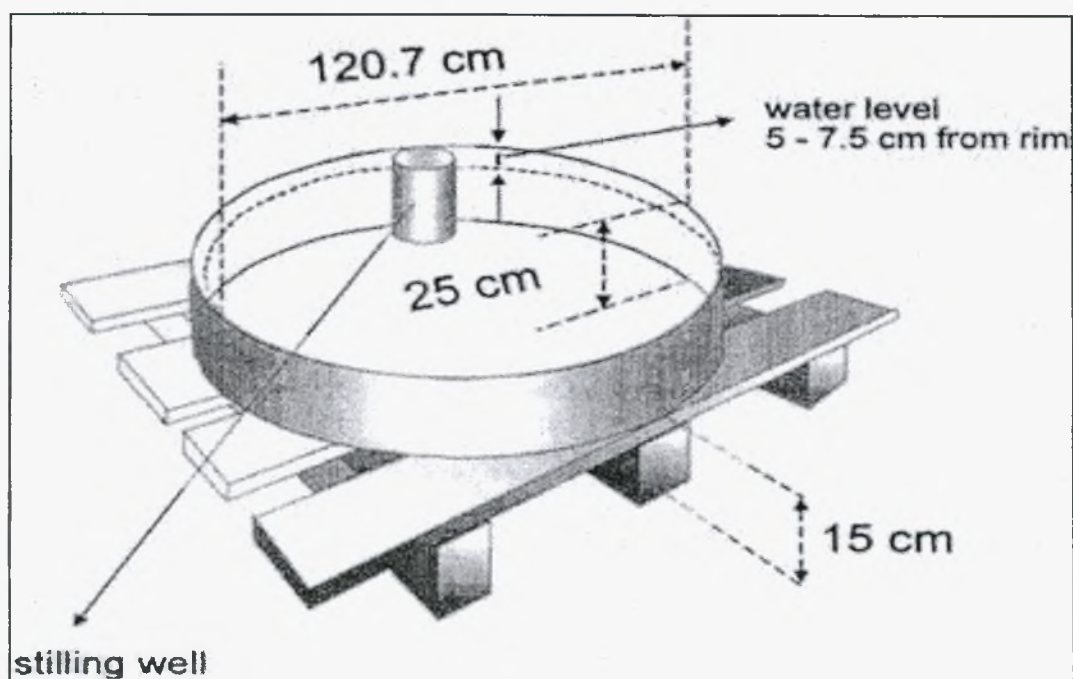
Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιείται διότι, αφ' ενός η ημερήσια εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός μήνα δεν είναι ποτέ σταθερή, και αφετέρου διότι απαιτούνται συνήθως πολύ μεγάλοι χρόνοι λειτουργίας.

4.5.2. Πρακτικός τρόπος υπολογισμών

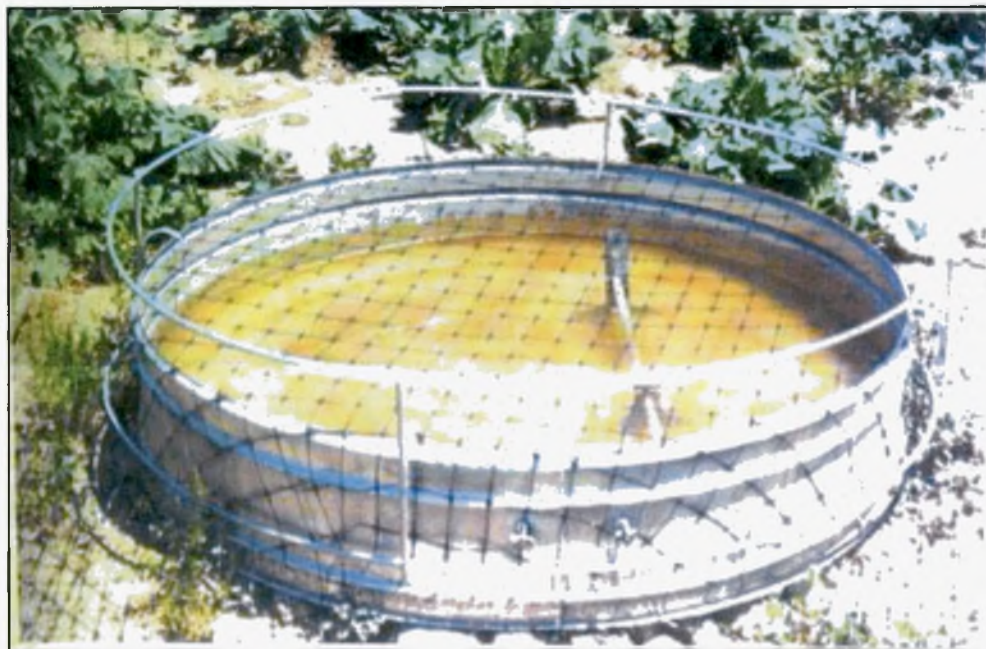
Πρακτικός τρόπος υπολογισμών

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας ήταν αυτή του εξατμισιμέτρου τύπου A (Εικόνα 5.7). Το εξατμισίμετρο τύπου A αποτελείται από μία κυλινδρική λεκάνη από γαλβανισμένη λαμαρίνα και έχει διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm.

Η τοποθέτηση της γίνεται επάνω 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.



Εικόνα 4.2 Διαγραμματική απεικόνιση του εξατμισιμέτρου



Εικόνα 4.3 Φωτογραφία του εξατμισιμέτρου που χρησιμοποιήθηκε

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

Η σχέση που διέπει τη βασική εξάτμιση είναι η:

$$ET_P = K_{εξ} \times E_{pan} \quad (\text{σχέση 7})$$

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 ημερήσιας 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 2005 (FAO, 1977).

Με τον τρόπο αυτό υπολογιζόταν σε ημερήσια βάση η τιμή της πρακτικής δόσης άρδευσης για την επιφανειακή στάγδην μέθοδο.

$$I_{daep} \text{ (mm)} = E_{pan} \times E_{εξ} \times K_c \quad \text{(σχέση 8)}$$

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A, με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση, λαμβάνοντας υπόψη και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής (για παράδειγμα δεν πραγματοποιήθηκαν αρδεύσεις μετά από περίοδο υψηλών βροχοπτώσεων ή πριν η υγρασία του εδάφους βρεθεί σε τιμές πλησίον και κάτω της τιμής της ιδατοϊκανότητας για το κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών).

Στην υπόγεια άρδευση επειδή ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω εξάτμισης και πραγματοποιείται άμεσα η εφαρμογή του αρδευτικού νερού στο ενεργό ριζόστρωμα των φυτών, μειώθηκε η χορηγούμενη δόση άρδευσης κατά 15% έναντι των υπολοίπων μεθόδων άρδευσης (επιφανειακή στάγδην άρδευση και άρδευση κανόνι βροχής).

Έτσι η πρακτική δόση άρδευσης για την υπόγεια μέθοδο υπολογίστηκε με βάση την αντίστοιχη της επιφανειακής, μειωμένη σε ποσοστό 15%.

$$I_{dauπ} \text{ (mm)} = I_{daep} \times 85\% \quad \text{(σχέση 9)}$$

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

$$I_t = I_{da} / I_{dh} \quad \text{(σχέση 10)}$$

Όπου:

I_t = διάρκεια άρδευσης σε h

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

I_{dh} = ωριαίο ύψος βροχής = $(q \times n) / (St \times Sr) = 3,78 \text{ mm h}^{-1}$ για την επιφανειακή και την υπόγεια στάγδην άρδευση και 18 mm h^{-1} για την άρδευση με κανόνι βροχής.

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

Πίνακας 4.5. Πρόγραμμα άρδευσης

Εξ/τρο	Δόση επιφανειακής στάγδην και υπόγειας	Διάρκεια άρδευσης επιφανειακής	Διάρκεια άρδευσης υπόγειας
mm	$I_{δαεπ} = E_{ραν} \times E_{ξ} \times E_c$	$I_t = I_{δαεπ} / I_{dh}$	$I_t = I_{δαεπ} / I_{dh}$
0	0,00	0	0
1	0,85	13' 30"	13' 30"
2	1,70	27' 6"	27' 6"
3	2,55	40' 31"	40' 31"
4	3,40	54' 12"	54' 12"
5	4,25	1h 7' 31"	1h 7' 31"
6	5,10	1h 21' 2"	1h 21' 2"
7	5,95	1h 34' 32"	1h 34' 32"
8	6,80	1h 48' 0"	1h 48' 0"
9	7,65	2h 1' 33"	2h 1' 33"
10	8,50	2h 15' 3"	2h 15' 3"
11	9,35	2h 28' 34"	2h 28' 34"
12	10,20	2h 42' 4"	2h 42' 4"
13	11,05	2h 55' 34"	2h 55' 34"
14	11,90	3h 9' 5"	3h 9' 5"
15	12,75	3h 22' 35"	3h 22' 35"
16	13,6	3h 36' 5"	3h 36' 5"
17	14,45	3h 49' 36"	3h 49' 36"
18	15,3	4h 3' 6"	4h 3' 6"
19	16,15	4h 16' 36"	4h 16' 36"
20	17	4h 30' 6"	4h 30' 6"
21	17,85	4h 43' 37"	4h 43' 37"
22	18,7	4h 57' 7"	4h 57' 7"
23	19,55	5h 10' 38"	5h 10' 38"
24	20,4	5h 24' 8"	5h 24' 8"
25	21,25	5h 37' 38"	5h 37' 38"
26	22,1	5h 51' 9"	5h 51' 9"
27	22,95	6h 4' 39"	6h 4' 39"
28	23,8	6h 18' 9"	6h 18' 9"
29	24,65	6h 31' 40"	6h 31' 40"
30	25,5	6h 45' 10"	6h 45' 10"

$E_{ραν}$ = ημερήσια εξατμωση ($mm \text{ day}^{-1}$), $E_{ξ}$ = συντελεστής διόρθωσης εξατμισιμέτρου
 E_c = φυτικός συντελεστής καλλιέργειας, $I_{δα}$ = πρακτική δόση άρδευσης (mm ή $m^3 \text{ str}^{-1}$) I_t = διάρκεια άρδευσης (h)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Κλιματικά δεδομένα

5.1.1. Γενικά

Στο διάγραμμα 5.1. παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση), που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (από 09/5 έως και 22/10/02) στο Βελεστίνο. Παράλληλα πραγματοποιείται η σύγκριση τους με τις μέσες κλιματικές τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης της τελευταίας 25τίας για την υπό μελέτη περιοχή.

Η καλοκαιρινή περίοδος του 2005 χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές βροχόπτωσης, ειδικότερα για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, και Σεπτέμβριο, ενώ ταυτόχρονα επικράτησαν ηπιότερες θερμοκρασίες αέρα σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, σε σχέση βέβαια με τις μέσες τιμές που επικρατούσαν στην περιοχή την τελευταία 25ετία.

Ειδικότερα, στον πίνακα 5.1. παρουσιάζεται η ποσοστιαία απόκλιση των τιμών βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου του 2005 από τις αντίστοιχες μέσες μηνιαίες τιμές της τελευταίας εικοσιπενταετίας.

Πίνακας 5.1. Ποσοστιαία απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για την καλλιεργητική περίοδο του 2005.

ΜΗΝΑΣ	Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του 2005 (mm)	Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης 25ετίας (mm)	Ποσοστιαία απόκλιση για την καλλιεργητική περίοδο του 2002 (%)
ΙΟΥΝΙΟΣ	6	27,4	-79
ΙΟΥΛΙΟΣ	6,1	15,3	-60
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	21,6	7,8	+277
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	2,4	36,3	-93
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	38,0	51,2	-26

Το σύνολο των κατακρημισμάτων για την καλλιεργητική περίοδο του 2005 έφτασε τα 105,6 mm.



5.1.2.Συζήτηση

Θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν ευνοήθηκε η ορυκτοποίηση και απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοτήτων αζώτου από τα φυτά (πλούσιο ριζικό σύστημα) εξαιτίας των σχετικά χαμηλών τιμών βροχόπτωσης κατά την αναπτυξιακή διαδικασία της καλλιέργειας του φυτού σόργο. Αντίθετα με τις τιμές των βροχοπτώσεων, οι θερμοκρασίες του αέρα κυμάνθηκαν σε λογικά πλαίσια, όντας ηπιότερες σε σχέση με την προηγούμενη 25ετία.

Έτσι παρατηρήθηκαν κατά μέσο όρο αποκλίσεις της θερμοκρασίας από τις μέσες μηνιαίες τιμές της τάξης του $\pm 5\%$ καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου και μεταξύ του τρίτου δεκαημέρου του Αυγούστου και του πρώτου δεκαημέρου του Σεπτεμβρίου, και συνέπεσαν βέβαια με τις περιόδους των υψηλών για την εποχή βροχοπτώσεων.

Η συνολική ποσότητα νερού άρδευσης ανήλθε σε 658,7 (100% της δόσης) mm δηλαδή 540 mm για το 80% της δόσης ενώ τα επιπλέον 301 mm εξάτμισης ικανοποιήθηκαν από το σύνολο των κατακρημνισμάτων της καλλιεργητικής περιόδου (29Μαΐου – 8 Οκτωβρίου). Επομένως, οι επαναλήψεις της επιφανειακής στάγδην μεθόδου και της υπόγειας στάγδην με εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης, δέχθηκαν συνολικά από 640 mm νερού .

Η τιμή αυτή της συνολικής εξάτμισης είναι συμβατή σε σχέση με προγενέστερους υπολογισμούς για την υπό μελέτη περιοχή (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη και συνεργάτες, 1996).

5.2. Υγρασίες εδάφους

5.2.1. Γενικά

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 21 μετρήσεις, λίγο πριν την άρδευση (12 μετρήσεις) και δύο ημέρες μετά από αυτήν (9 μετρήσεις), με σκοπό την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και τις διακυμάνσεις αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατατομής (0-75 cm) και για το σύνολο των μεταχειρίσεων (επιφανειακή, τεχνητή βροχή και μάρτυρας). Στον πίνακα 5.2. παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των επαναλήψεων που έτυχαν διαφορετικής μεθοδολογίας άρδευσης

Πίνακας 5.2. Διακύμανση εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των μεταχειρίσεων πριν την άρδευση και δύο ημέρες μετά από αυτήν.

άθος εδάφους (cm)	Β Επιφανειακή Στάγδην (πριν)(% κ.ο.)	Επιφανειακή Στάγδην (μετά) (% κ.ο.)	Υπόγεια στάγδην (πριν) (% κ.ο.)	Υπόγεια Στάγδην (μετά) (% κ.ο.)
0-15	23,8	26,1	18,9	17,3
5-30	20,6	23,4	23,2	25,9
3 0-45	18,2	19,3	24,8	27,6
4 5-60	20,5	18,5	25,3	27,1
6 0-75	29,6	28,9	32,9	32,2

Για τον υπολογισμό των μέσων όρων δεν ελήφθησαν υπόψη οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας που προέκυψαν μετά από μία περίοδο ισχυρών βροχοπτώσεων, καθώς θεωρήθηκε ότι κάτι τέτοιο θα επηρέαζε σημαντικά την διαφορετικότητα της κάθε μεθοδολογίας, ακόμη και όταν αυτές συνέπεσαν με τις προκαθορισμένες ημερομηνίες των μετρήσεων.

Τέλος, στον πίνακα 5.3 απεικονίζονται όλες οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την καλλιεργητική περίοδο του 2005 στο Βελεστίνο.

(E= Επιφανειακή, Y= Υπόγεια, M= Μαρτυράς).

Η κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό, εξαιτίας της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής δεν ήταν ο μόνος σκοπός του πειράματος, αλλά επιδίωξη ήταν η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών (μεταξύ των 30 και 60 cm) κοντά στα όρια της υδατοϊκανότητας, πριν τελειώσει μια εφαρμογή αρδευτικού νερού. Έτσι, θα ήταν και πετυχημένος ο σκοπός της όλης έρευνας, δηλαδή της ορθολογικότερης χρήσης του διαθέσιμου αρδευτικού νερού.

Πίνακας 5.3. Μετρήσεις εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο T.D.R.

Ημερομηνία	0-15			15-30			30-45			45-60			60-75		
	E	Y	M	E	Y	M	E	Y	M	E	Y	M	E	Y	M
3/7/2005	24,8	27,2	21,9	26,4	23,7	28,6	21	23,5	29,5	37,8	31,2	39,4	40,6	40,4	38,7
15/7/2005	23,3	33,8	16,1	26	27,1	22,6	21,5	21,1	25,9	35,3	30,1	37,6	41,6	40,7	41,7
20/7/2005	18,7	29,5	13,2	25,6	23,3	21,8	18,4	18,2	23,2	32,4	29,3	35,4	41	39,3	38,9
22/7/2005	21,2	28	12,6	25,4	21,1	19,6	18,7	19,1	21,4	33,9	29,3	33,8	41,5	40,8	38,5
23/7/2005	20,3	27,5	13,6	25,3	21,3	20,2	15,6	17,3	21,5	29,6	29,6	32,9	38,1	41,9	37,6
24/7/2005	20,5	33,2	12,9	25,4	22,3	19	20,4	17,3	15,6	31,4	28,7	32,8	38,9	41	38,2
2/8/2005	31	35,9	22,9	28	22	19,6	21	19,7	16,6	30,4	26,8	32,3	37,7	40,9	33,1
5/8/2005	19,3	33,6	15,4	27	21,4	20,6	20,1	19,4	15,7	29,6	24,5	33,8	39,2	39,4	36,5
7/8/2005	18,5	33	14,5	26,4	22,9	19,4	19,5	17,7	14,4	29	23,7	32,1	37,8	38,5	35,1
9/8/2005	20,2	30,1	12,9	27,2	21,7	18,6	18,9	16,8	14	29,7	26,8	30,9	36,1	39,2	34,8
12/8/2005	18,2	27,1	12,6	26,8	22	18,3	16,9	16,8	14	29,8	26,7	30,6	37,2	39	34,7
15/8/2005	17,4	27,9	11,8	26,3	21,8	16,9	17,5	15,8	13,3	28,8	28,3	29,5	35,5	39,7	33,8
17/8/2005	26,1	40,1	12,8	24,8	23,1	17,5	16,9	16,1	15,7	28,9	26,9	29	37,1	39	30,5
19/8/2005	25,2	35,8	12,3	25,2	22,5	16,9	18,4	17	15,9	31,9	26,5	29,6	39,3	38,8	33,3
23/8/2005	19	30,5	11,6	26,3	22,8	16,9	18,3	17,7	15,6	31,7	27	28,9	38,6	40,9	30,4
26/8/2005	19,1	28,1	10,8	25,5	21,4	16,2	17,8	17	15,4	30,7	26,1	29,6	36,7	39	29,9
30/8/2005	18,2	27,8	10,6	25,3	20,2	15,6	16,4	16,9	15,3	31,2	26,1	27,9	37,9	38,1	28,5
3/9/2005	17,8	27,8	10,5	25,5	20,6	16,2	16,2	16,8	15,3	31,2	25,2	28,5	37,1	37,4	29,2
6/9/2005	26,3	35,5	11	27,9	24,7	17,6	19,4	21,1	17,2	33,4	27,8	30,3	42,6	39,3	34
11/9/2005	19,6	27,4	10,5	24,9	18,8	14,8	16,5	19	14,8	30,1	23,4	25,2	35,5	37,8	29,5
20/9/2005	24,3	37,5	19	24,9	23,3	25,9	23,8	24,9	26,7	37,3	24,9	24,2	37,6	35,7	32,7

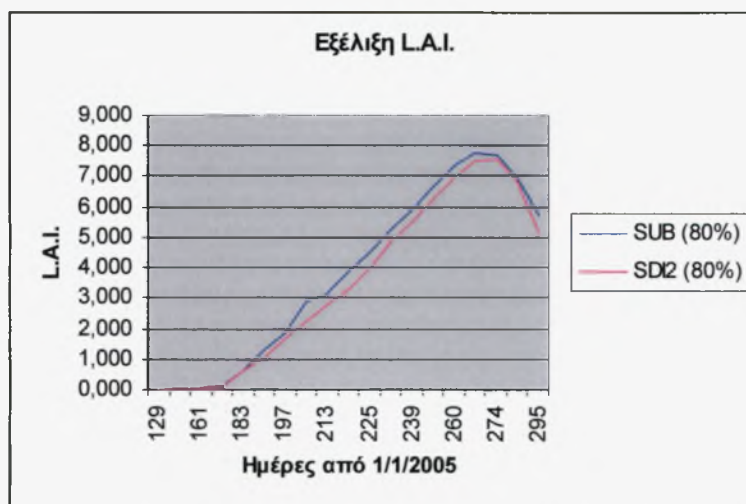
5.3 Φυλλική επιφάνεια (L.A.I.)

5.3.1. Γενικά

Στον πίνακα 5.4 απεικονίζονται οι μετρήσεις του L.A.I. για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου του 2005 στο Βελεστίνο. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 19 μετρήσεις. Στα διαγράμματα 5.6 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 2005 στο Βελεστίνο.

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ (days)	Days since 1/1/2005	SUB (80%)	SDI1 (100%)
09/05/05	129	0,000	0,000
31/05/05	151	0,040	0,050
10/06/05	161	0,070	0,070
18/06/05	169	0,112	0,138
02/07/05	183	0,610	0,780
09/07/05	190	1,330	1,560
16/07/05	197	1,825	1,870
27/07/05	208	2,907	3,080
01/08/05	213	3,135	3,403
07/08/05	219	3,856	3,910
13/08/05	225	4,545	4,617
23/08/05	235	5,276	5,283
27/08/05	239	5,928	6,017
10/09/05	253	6,605	6,662
17/09/05	260	7,335	7,248
24/09/05	267	7,740	7,825
01/10/05	274	7,690	7,794
07/10/05	280	6,985	7,065
22/10/05	295	5,694	5,555

Εικ 5.4: Μετρήσεις του L.A.I. για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου



Εικ 5,6 :Αποτελέσματα των μετρήσεων του (L.A.I.)

5.4. Ανάπτυξη Φυτού

5.4.1. Ύψος Φυτών

Ύψος Φυτών

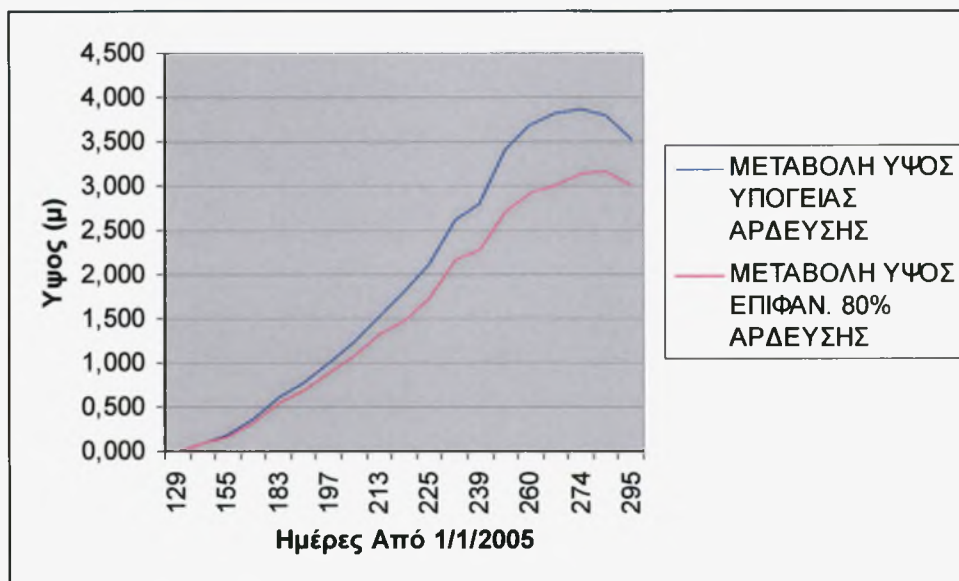
Στο Διάγραμμα 5,7 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της καλλιέργειας του σόργου όπως φαίνεται από το ύψος των φυτών. Όπως φαίνεται το σόργο έφτασε μέχρι και το ύψος των 3,8m . Στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις 2 μεταχειρίσεις (επιφανειακό 100% - υπόγειο 80%). Γενικότερα το σόργο αυξανόταν με αργούς ρυθμούς από την αρχή της καλλιέργειας μέχρι και τις 24/07/2005, (205 μέρες), ενώ μετά άρχισε να αναπτύσσεται με γρηγορότερους ρυθμούς μέχρι και τις 02/10/2005 (275 μέρες), όπου και έφτασε στο μέγιστο ύψος , ενώ μετά άρχισε να φθίνει ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας .

Παραγωγή ξηρής βιομάζας

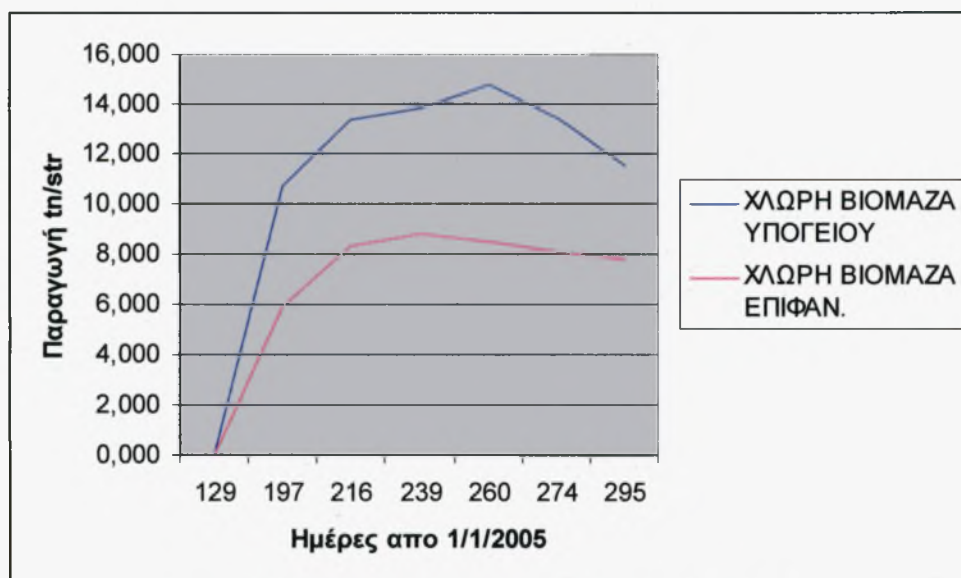
Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 5.9 η ξηρή βιομάζα έφτασε μέχρι και 3,4 t/str, ενώ παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο μεταχειρίσεις.

Γενικότερα όπως φαίνεται για την υπόγεια άρδευση στο διάγραμμα η ξηρή βιομάζα αυξάνεται σταθερά κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και αυξάνει σε ρυθμό μετά τις 01/09/2005 όπου και φτάνει την ανώτατη τιμή περίπου στα 3,4 t/str και μετά μειώνεται. Όσο για την επιφανειακή άρδευση παρατηρούμε τον ίδιο τρόπο ανάπτυξης με την υπόγεια μόνο που η παραγωγή ξηρής βιομάζας σταματά δσε πολύ χαμηλότερα επίπεδα της τάξεως των 2,1 t/str

Με τη μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας να αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti *et al.*, 1996), οπότε η μέγιστη παραγωγή που παρατηρήθηκε στα πειραματικά τεμάχια 3,4 t στρ.⁻¹, αντιστοιχεί σε 1,36 ΤΙΠ.



Εικ. 5,7:Εξέλιξη Ύψους Σόργου



Εικ. 5,8:Εξέλιξη Παραγωγής Χλωρής Βιομάζας



Εικ. 5,9:Εξέλιξη Παραγωγής Ξηρής Βιομάζας

Συμπεράσματα

Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι η εξέλιξη της βιομάζας (χλωρής και ξηρής) είναι μεγαλύτερη σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στην υπόγεια άρδευση απ' ό,τι στην επιφανειακή κατά την εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης και στις δύο μεταχειρίσεις. Δηλαδή παρατηρούμε ότι στην ίδια ποσότητα άρδευσης υπερτερεί σαφώς (έως και 70% κατά την περίοδο συγκομιδής) η μέθοδος της υπόγειας στάγδην έναντι της μεθόδου της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Αυτό εξηγείται εύκολα αν αναλογιστούμε ότι για την ίδια ποσότητα νερού στην υπόγεια δεν υπάρχουν ή είναι ελάχιστες οι απώλειες λόγω εξάτμισης, ειδικότερα σε ένα καλοκαίρι σαν αυτό της καλλιεργητικής περιόδου του 2005 όπου η χρονιά χαρακτηρίστηκε από χαμηλές τιμές βροχόπτωσης και μεγάλες και μακρές περιόδους ηλιοφάνειας.

6.1. Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ., 2003. *Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού*. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ 199-206.
2. Βάλμης, Σ., 1990. *Διαβρώσεις – συντήρηση εδαφών*. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα.
3. Βύρλας, Π., Καλφούντζος, Δ. και Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. *Επίδραση του εδαφικού τύπου στην έμφραξη λόγω εισρόφησης σε υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης*. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ 225-232.
4. Γεωργία – Κτηνοτροφία Τεύχος 5/2006 Σελ. 38 -50
5. Δ.Ε.Β., 2000. *Μέτρα για την πρόληψη των της μείωσης των υπογείων υδάτων*. Τμήμα Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Περιφέρεια Θεσσαλίας. Αδημοσίευτα στοιχεία.
6. Κωτσόπουλος, Σ., Σπανός, Α. και Χατζηκωνσταντίνου, Β., 1996. *Αποτελεσματικότητα των συστημάτων άρδευσης με σταγόνες σε περιοχές του Ν. Λάρισας*. Πρακτικά 2^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου με θέμα "Έγγειοβελτιωτικά έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων – Εκμηχάνιση Γεωργίας" σελ 286-297.
7. Μήτσιος, Ι., 1999. *Εδαφολογία*. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
8. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς Σ., 2000. *Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου*. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα 2000.
9. Μήτσιος, Ι., 2001. *Γονιμότητα – Θρέψη φυτών*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
10. Νικολάου, Α., Νάματοβ, Ε., Καβαδάκης, Γ., Τσιώτας, Κ., Πανούτσου, Κ. και Δαναλάτος, Ν., 2000. *Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων Σόργου για παραγωγή βιομάζας και ενέργειας*. Πρακτικά 2^ο Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ 197-204.
11. Ντιούδης, Π., Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Τερζίδης, Γ., Μασλάρης, Ν. και Νούσιος, Γ., 2003. *Διαφορετικές διατάξεις άρδευσης σε καλλιέργεια*

- ζαχαροτεύλων. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ 159-166.
12. Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Α., Λέλλης, Θ. και Κόκκορας, Ι., 2003. *Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση της καλλιέργειας του Αραβόσιτου (ZEA MAYS L.)*. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ 167-174.
13. Οργανισμός Βάμβακος, 2001. *Συνολική παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην Ελληνική επικράτεια*. Προσωπική Επαφή.
14. Πανώρας, Α. και Ηλίας Α., 1999. *Άρδευση με επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα*. ISBN: 960-91087-0-9, Θεσσαλονίκη.
15. Σακελλαρίου – Μκραντωνάκη Μ., 1996. *Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου*, Υδροτεχνικά, 6, 62-77.
16. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ., Καλφούντζος, Δ., 1997. *Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων*. Πρακτικά 1^ο Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα σελ. 271-280.
17. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Πανώρας, Α., Μαυρουδής, Ι., Μανούδης, Ν. και Πογιαρίδης, Θ., 1996. *Καμπύλες ίσων τιμών εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο Ν. Λάρισα*. Πρακτικά 2^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου με θέμα "Έγγειοβελτιωτικά έργα – Διαχείριση Υδατικών Πόρων – Εκμηχάνιση Γεωργίας" σελ 155-173.
18. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π. και Νάκος, Ν., 2003. *Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του ινώδους Σόργου στην Κεντρική Ελλάδα*. Πρακτικά 9^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (EYE), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σ. 183-190.
20. Τερζίδης, Γ., και Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997. *Γεωργική Υδραυλική*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

6.2. 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 drainaggio* Vol. 36 No.
2. Bravdo, B.A. & Hepner, Y. 1987. *Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. Acta Horticulturae* 206: 49-67.
3. Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E., Zafiris, 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, 209-212.
4. Conley, M.M., Kimball, B.A., Brooks, T.J., Pinter, Jr, P.J., Hunsaker, D.J., Wall, G.W., Adam, N.R., LaMorte, R.L., Matthias, A.D., Thompson, T.L., Leavitt, S.W., Ottman, M.J., Cousins, A.B., and Triggs, J.M., 2001. *Free air carbon dioxide enrichment (FACE) effects on Sorghum evapotranspiration in well-watered and water-stressed treatments*. *New Phytologist* (submitted).
5. 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* 8(6), 401-409.
6. 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.
7. Dalianis, C., 1996, *Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under E.U. conditions*. *Proceedings of the First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry, held in France, 1-3 April 1996*. p. 15-25.
8. Danalatos, N.G., 1993 *Quantified analysis for selected land use systems in the Larissa region*. Greece. PhD. Thesis. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 370 pp.
9. Dercas, N., Liakatas A., 1999. *Sorghum water loss relation to irrigation treatment*. *Water Resources Management*. 13: p. 39-57.
10. Dercas, N., Panoutsou, C., Dalianis, C., Sooter, C., 1995. *Sweet Sorghum (Sorghum bicolor [L.] Moench). Response to four irrigation and two nitrogen fertilisation 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.
11. Devitt, D. and Miller, W., 1988. *Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline Water*. Applied Agricultural Res. Vol. 3, No 3, pp. 133-143.
 12. Dinneen, R., 1991. *Congress acts to increase the production of ethanol*. Biologue 8(1): 11-14.
 13. Dolcioti, I., Mambelli, S., Grandi, S., and Venturi, G., 1996. *Comparison of two Sorghum genotypes for sugar and fiber production*. Industrial Crops and Products, 7: 265-272.
 14. FAO, 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements*, by J. Doorenbos & W.O. Pruitt. Irrigation and Drainage Paper 24. Rome.
 15. Gushiken, E., 1993. *Effluent Disposal Through Subsurface Drip Irrigation Systems*. Hawaii Water Pollution Control Ass. Proceedings of the 15th Annual Conf. Honolulu, Hawaii.
 16. 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 Extension, Holtville, CA, December, 9-10.
 17. I-Pai Wu, 1994. *Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture)*. Department of Animal Sc. Prepared by: Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.
 18. Johannson, T.B.J., Kelly, H., Reddy, A.K.N and Williams, R.H., 1993. *Renewable fuels and electricity of a growing world economy*. In: Johannson.
 19. Karlson, P., 1980. Βιοχημεία Ιατρικής Σχολής. Αθήνα.
 20. Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Seay, R.S., Pinter, Jr, P.J., Rokey, R.R., Hunsaker, D.J., Dugas, W.A., Heuer, M.L., Maunel, J.R., Hendrey, G.R., Lewin, K.F., and Nagy, J., 1994. *Effects of free-air CO₂ enrichment on energy balance and evapotranspiration of cotton*. Agric. For. Meteorol. 70:259-278.
 21. Kimball, B.A., Pinter, Jr, P.J., Garcia, R.J., LaMorte, R.L., Wall, G.W., and Hunsaker, D.J., 1995. *Productivity and water use of wheat under free air CO₂ enrichment*. Global Change Biol. 1:429-442.

22. Kimball, B.A., LaMorte, R.L., Pinter, Jr, P.J., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Adamsen, F.J., Leavitt, S.W., Thompson, T.L., Matthias, A.D., and Brooks, T.J., 1999. *Free air CO₂ enrichment (FACE) and soil nitrogen effects on energy balance and evapotranspiration of wheat*. Water Research 35:1179-1190.
23. Lamm, F.R., Spurgeon, W.E., Manges, H.L., and Rogers, D.H., 1992. *Drip irrigation for Corn: A promising Prospect*. Irrigation Jour., 3pp, 12-16.
24. Lamm, F. R. and T. P. Trooien, 1999. *SDI research in Kansas after ten years*. In Proc. Irrigation Assoc. International Irrigation Show and Conf., pp. 1-8., Fairfax, Va.:Irrigation Assoc.
25. Larson, K., 2003. *Subsurface drip irrigation boosts efficiency and crop yields*. In: www.agrotypos.gr.
26. Larson, K., and Thompson D., 2003. *Limited and full subsurface drip irrigation on corn and grain sorghum at Walsh*. In: Kevin.Larson@colostate.edu. Colorado State University, Department of Agriculture.
27. Maas, E.V., and Hoffman, G.J., 1977. *Crop salt tolerance*. Current assessment. Journal Irrigation and Drainage Division, A.S.C.E., 103:115-134.
28. Mass, E.V., 1985. *Crop tolerance to saline sprinkling water*. Plant and Soil, 89:273-284.
29. Mass, E.V., 1990. *Crop salt tolerance*. In: Agricultural Salinity Assessment and Management Manual. K.K. Tanji (ed.), A.S.C.E., New York.
30. Mastrorilli, M., Katerji, N., Rana, G., Steduto, P., 1995. *Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies*. Industrial Crops and Products 3, 253-260.
31. Maxey, H.T., Covey, B., McKinnon and Allen A., 1989. *West central district crop budgets*. Virginia Cooperative Extension Service Periodic Extension Memorandum. Va Poly. Tec. Inst. & State Univ., Blacksburg.
32. Meyer, L., 1985. *Cleaning drip irrigation systems*. Proceedings of the 3rd International Drip/Trickle Irrigation Congress, November 18-21, Fresno, California, 1:41-42.
33. Mullins, M.G., Bouquet, A., & Williams, L.E., 1992. *Biology of the grapevine*. Cambridge, U.K., Press Syndicate of the University of Cambridge.
34. Nakayama, S., 1986. *Trickle irrigation for crop production, design, operation and management*. Elsevier, Amsterdam.

35. NOVEM, (Netherlands Agency for Energy and the environment), 1992. The feasibility of biomass production for the Netherlands energy economy. Proj.No. 71.140/0130.
36. Nye, P.H., 1968. *Processes in the root environment*. J., Soil Sci., 19: 205-215.
37. Nye, P.H., 1981. *Plant and Soil*, 61,7.
38. 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.
39. Panoutsou, C., 1996. *Greek Agriculture over the coming C.A.P. reform. Biomass future role*. FAIR CT 961389.
40. Panoutsou, C., 1999. *Fiber Sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece*. European Energy Crops (BioBase). Document I.D. B10466.
41. Panoutsou, C., Kavadakis, G., Namatov, I., Ntrioti, H., Nikolaou, A., Thiveou, H., Tsiotas, K., and Danalatos, N., 2000. *Environmental studies on sweet and fiber Sorghum sustainable crops for biomass and energy*, FAIR-3-CT96-1913, 3rd annual report, CRES Biomass Dept.
42. Philip, J.R., 1968. *Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities*. Water Resources Research 4(5):1039-1047.
43. Phene, C. J., Blume, M. F., Hile M. M. S., Meek D. W. and Re, J. V., 1983. *Management of subsurface trickle irrigation systems*. ASAEpaper No. 83-2598.
44. 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. pp. 33-43.
45. 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, 14 pp. St. Joseph, Mich.:ASAE.
46. Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Ayars, J.E., Davis, K.R., Mead, R.M., and Schoneman, R.A., 1992. *Maximizing water use efficiency with subsurface drip irrigation*. International summer meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 922090. St. Joseph Michigan.
47. Rajvanshi, A.K., and Nimbkar, N., 1995. *Sweet Sorghum R&D at the Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI)*. Published by Nimbkar Agricultural Research Institute. Phaltan, India.

48. Rolland, L., *Mechanized sprinkler irrigation*. F.A.O. Rome.
49. 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.
50. Sakellariou-Makrantonaki, M., Kalfountzos, D. and Papanikos N., 2000. *Evaluation of surface and subsurface Drip Irrigation Effect on Sugar-Beet Yield*. Proc. 2th National Congress. Hell. Soc. Agric. Eng. (HelAgEng), Volos. pp. 157-164 (in Greek).
51. Sakellariou-Makrantonaki, M., Danalatos, N., Dassios, S. and Chatzinikos, A., 2001. *The effect of different irrigation methods on growth and productivity of Fiber Sorghum in Central Greece*. For XXXIAHR Congress, Thessaloniki.
52. Sakellariou-Makrantonaki, M., Danalatos, N., Dassios, S. and Chatzinikos, A., 2003. *The effect of different irrigation methods on growth and productivity of Fiber Sorghum in Central Greece (2003)*. Proceedings of XXX Congress of IAHR (International Association of Hydraulic Engineering and Research), August 24-29, Thessaloniki, Theme B, pp. 777-784.
53. Sakellariou-Makrantonaki, M., Tentas, I., Koliou, A., Kalfountzos, D., Vyrlas, P., 2003. *Irrigation of ornamental shrubs with treated municipal wastewater*. Proceedings of 8th International Conference on Environmental Sci. and Tech. (CEST), September 8-11, Lemnos, Greece, Vol. B, pp. 707-714.
54. Sander, B., 2003. *SDI on corn?*. In: www.agrotypos.gr.
55. Scheneider, D.A., Howell, T.A., and Evett, S.R., 2003. *SDI, LEPA AND SPRAY IRRIGATION OF GRAIN SORGHUM*. Soil and Water Manag. Res. Unit Newsletter, U.S.D.A.–ARS Con. And Prod. Res. Lab. Vol. 5, No 1.
56. Shani, U., Xue, S., Gordin-Katz, R. and Warrick, A., 1996. *Soil-limiting from subsurface emitters*. I Pressure measurements. J. of Irrigation and Drainage.
57. Smart, R.E., & Coombe, B.G., 1983. *Water relations of grapevines*. In: T.T. Kozlowski ed. *Water deficits and plant growth*, Vol. 7. New York. U.S.A., Academic Press.
58. Smith Ron, 2002. *Drip irrigation helps conserve water*. Southwest Farm Press, Oct 17, 2002.

59. Solomon, K., 1993. *Subsurface drip irrigation: Product selection and performance*. In: subsurface Drip Irrigation Theory, Practices and Application, Jorgansen, G. S. and K.N. Norum (Eds.). CATI Publication No 921001.
60. Solomon Kenneth H. and Jorgensen Greg. 1993. *Subsurface Drip Irrigation*. Center For Irrigation Tech. CATI Publication #930405.
61. Subhra Chakravarty and Lalita B., 1994. *Water economy through drip irrigation*. 20th W.E.D.C. Conference: Colombo, Sri Lanka, Singh, India.
62. Undersander, D.J., Smith, L.H., Kaminski, A.R., Kelling, K.A., and Doll, J.D., 1990. *Sorghum – Forage*. For Alternative Field Crop Manual. University of Minnesota: Center of Alternative Plants and Animal Products.
63. U.S.D.A. 1990. USDA backgrounder. News division, Office of Public Affairs, Room 404-A, Washington, D.C.
64. Venturi, P., 1999. *Comparison between miscanthus, kenaf and sorghum with regards to water and N availability*. Document ID B10545. In : BioBase.
65. Williams, L.E. & Matthews, M.A., 1990. *Grapevine*. In: B.A. Stewart and D.R. Nielsen eds. *Irrigation of Agricultural crops, agronomy Monograph* No. 30, Madison, Wisconsin, U.S.A., ASA-CSSA-SSSA.
66. Worley, J.W., Cundiff, J.S., 1991. *System analysis of Sweet Sorghum harvest for ethanol production in the Piedmont*. Trans. Amer. Soc. Arg. Eng. 34(2) : 539-547.
67. Zachmann, D. W., and A. W. Thomas, 1973. *A mathematical investigation of steady infiltration from line sources*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37(4):495-500.
68. Zimmerman Rick and Mahbub Alam, 2000. *Influence of Plastic Mulch and Subsurface Drip Irrigation on Yield and Brix Levels of Kabocha Squash*. W.S.R.S. 2000 Annual Report.

6,3 Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000319.htm>

<http://www.plantzafrica.com/plantqrs/sorghum.htm>

<http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=SOBI2>

<http://agspsrv34.agric.wa.gov.au/Ento/Surveillance/Sorghum%20midge.gif>

<http://www2.essex.ac.uk/wimovac/sorghum.htm>

<http://www.jains.com/irrigation/drip%20irrigation%20system%20arrangement.jpg>

<http://www.geoflow.com/images/sdidesign.jpg>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**ΧΛΩΡΗ
ΒΙΟΜΑΖΑ**

1η ΚΟΠΗ	2η ΚΟΠΗ	3η ΚΟΠΗ	4η ΚΟΠΗ	5η ΚΟΠΗ	6η ΚΟΠΗ
1,463	2,440	2,760	2,940	2,870	2,440
1,505	2,430	2,770	2,750	2,740	2,330
0,803	1,520	1,750	1,690	1,710	1,640
0,163	0,240	0,270	0,230	0,250	0,300

**ΞΗΡΗ
ΒΙΟΜΑΖΑ**

1η ΚΟΠΗ	2η ΚΟΠΗ	3η ΚΟΠΗ	4η ΚΟΠΗ	5η ΚΟΠΗ	6η ΚΟΠΗ
0,280	0,490	0,570	0,670	0,660	0,600
0,289	0,490	0,570	0,640	0,640	0,580
0,162	0,300	0,350	0,400	0,430	0,440
0,033	0,050	0,050	0,060	0,070	0,090

t/str **ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

1η ΚΟΠΗ	2η ΚΟΠΗ	3η ΚΟΠΗ	4η ΚΟΠΗ	5η ΚΟΠΗ	6η ΚΟΠΗ
2,059	2,690	2,840	3,360	3,200	2,860
2,122	2,710	2,830	3,240	3,110	2,730
1,190	1,660	1,740	2,020	2,100	2,080
0,239	0,250	0,260	0,280	0,360	0,440
197	216	239	260	274	295

t/str **ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

1η ΚΟΠΗ	2η ΚΟΠΗ	3η ΚΟΠΗ	4η ΚΟΠΗ	5η ΚΟΠΗ	6η ΚΟΠΗ
0,824	1,076	1,136	1,344	1,279	1,143
0,849	1,085	1,134	1,296	1,243	1,093
0,476	0,664	0,696	0,808	0,841	0,833
0,096	0,100	0,104	0,112	0,146	0,177

Τα στοιχεία στους πίνακες αναφέρονται από πάνω προς τα κάτω στην Υπόγεια στάγδην, στην επιφανειακή (100%), στην επιφανειακή (80%) και στο μάρτυρα.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000097325