

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ
ΣΤΙΣ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ
ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΕ
ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PENMAN – ΜΟΝΤΙΕΤΗ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ
ΕΛΑΦΟΥΣ »**

ΜΙΛΤΙΑΔΗΣ Γ. ΖΑΧΑΡΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2012

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΣΕ ΝΕΡΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ PENMAN –
ΜΟΝΤΙΕΤΗ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΕΛΑΦΟΥΣ**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

- 1) Σακελλαρίου Μακραντωνάκη Μαρία,** Καθηγήτρια, Αρδεύσεις – Στραγγίσεις, Υδραυλική, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπουσα,***
- 2) Αντωνιάδης Βασίλειος,** Λέκτορας, Εφαρμοσμένη Εδαφολογία, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος,***
- 3) Χαλκίδης Ηρακλής,** Λέκτορας, Γεωργική Υδραυλική με έμφαση στη Διαχείριση του νερού στο έδαφος, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

Στους γονείς μου
Γεώργιο και Χρυσούλα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Καθηγήτρια κα Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη Μαρία για την πολύτιμη βοήθειά της και τη διαρκή υποστήριξή της, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς επίσης και για την πολύτιμη στήριξή της και τις συμβουλές της καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου προπτυχιακών και μεταπτυχιακών από το 2003 έως και σήμερα . Επίσης τα δύο μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, τον Λέκτορα κ Αντωνιάδη Βασίλειο και το Λέκτορα κ. Χαλκίδη Ηρακλή, για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ζαχαρή Γεώργιο για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, όσον αφορά στην προμήθεια εργαστηριακού υλικού, καθώς επίσης τους κυρίους/ες Αγγελάκη Αναστασία, Βεργίδου Αναστασία, Δημάκα Δημήτριο, Καρατάσιου Ειρήνη και Παπανικολάου Χρήστο για την αμέριστη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια του πειράματος και της συγγραφής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	2
1.1	Έδαφος.....	4
1.2	Η Εδαφική υγρασία.....	5
1.3	Ριζόστρωμα.....	6
1.4	Υπολογισμός Υδατικών Απαιτήσεων.....	6
1.5	Παραγωγή Βιομάζας από Ενεργειακές Καλλιέργειες	9
2	Σόργο	13
2.1	Γλυκό και Ινώδες Σόργο	13
2.2	Είδη και χρήσεις σόργου.....	14
2.3	Βοτανική Ταξινόμηση	17
2.4	Καλλιεργητικές τεχνικές.....	18
2.5	Παραγωγικότητα.....	21
3	Άρδευση	23
3.1	Γενικά.....	23
3.2	Τα διάφορα συστήματα άρδευσης	28
3.3	Υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών	36
3.3.1	Προσδιορισμός Υδατικών Απαιτήσεων	36
3.3.2	Μέθοδοι Blaney – Criddle.....	39
3.3.3	Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά SCStc	39
3.3.4	Μέθοδος MAKKINK	40
3.3.5	Μέθοδος του εξατμισιμέτρου	41
3.3.6	Μέθοδοι Penman – Montieth	41

4	Υλικά και Μέθοδοι	45
4.1	Γενικά – Οριοθέτηση – Σχέδιο πειραματικού Αγρού	45
4.2	Ευφύες Σύστημα Στάγδην Άρδευσης	48
4.3	Όργανα Μέτρησης	50
4.3.1	Ποσότητα Νερού	50
4.3.2	Εδαφική Υγρασία	50
4.3.3	Μετεωρολογικά δεδομένα	52
4.3.4	Ευφύες σύστημα άρδευσης	54
4.4	Υλικά άρδευσης	61
5	Αποτελέσματα – Συζήτηση	64
5.1	Κλιματικά Δεδομένα	64
5.2	Ανάπτυξη της καλλιέργειας	68
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

Περίληψη

Διερευνήθηκε η ανάπτυξη και η απόδοση του γλυκού Σόργου ως ενεργειακού φυτού (*Sorghum bicolor L.*), υπό την επίδραση στάγδην άρδευσης με αισθητήρα εδάφους και με τη μέθοδο Penman - Montieth. Για το σκοπό αυτό έγινε πείραμα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο το έτος 2011, το οποίο διεξάχθηκε σε 2 μεταχειρίσεις φυτών, με άρδευση με τον αισθητήρα Envirosmart και με τη μέθοδο Penman – Montieth σε 3 επαναλήψεις. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε στην περίπτωση του αισθητήρα αυτόματα (βάσει της υγρασίας εδάφους) και στην περίπτωση της Penman- Montieth μέσω δεδομένων από το μετεωρολογικό σταθμό και έγινε χρήση αυτόματου προγράμματος άρδευσης. Ο ρυθμός ανάπτυξης και η τελική απόδοση σε ξηρή βιομάζα δεν διέφεραν στατιστικώς σημαντικά στις δυο μεταχειρίσεις A100 (αισθητήρας) και E100(Penman – Montieth). Αξίζει όμως να σημειωθεί ότι η χρήση του αισθητήρα (εφόσον τα αποτελέσματα παραγωγής και στις δύο μεταχειρίσεις είναι ίδια) ενισχύεται καθώς προσφέρει εξοικονόμηση χρόνου στον παραγωγό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 Εισαγωγή

Το νερό της γης κατά 97,41% βρίσκεται στους ωκεανούς και μόνο το 2,59% είναι γλυκό. Απ' αυτό περί τα 80% είναι δεσμευμένο σε βραχώδεις περιοχές και μη διαθέσιμο ενώ άλλο ένα 19,986%, απαντάται ως υπόγειο νερό. Τα επιφανειακά γλυκά νερά αποτελούν μόλις το 0,014% και αυτό σε ποσοστό 52% βρίσκεται στις λίμνες. Το 38% αποτελεί την υγρασία του εδάφους, το 8% είναι υπό μορφή υδρατμών και μόνο το 1% βρίσκεται στους ποταμούς. Από τα ανωτέρω και μόνο γίνεται κατανοητό ότι το γλυκό νερό ως φυσικός πόρος είναι σε ανεπάρκεια. Όμως το νερό είναι βασικό στοιχείο του κύκλου ζωής φυτών, και κάθε ζωντανού οργανισμού στη γη, γιατί το έχουν ανάγκη για να αναπτυχτούνε και να επιβιώσουν.

Ο κύριος χρήστης νερού είναι η γεωργία σε παγκόσμιο επίπεδο, εκκινώντας από ένα επίπεδο 70% αυξάνεται στο 80% στις χώρες της Μεσογείου και στη χώρα μας είναι στο 78,5%. Συνεπώς κάθε ενέργεια που στοχεύει στην ορθολογική χρήση του με στόχο την εξοικονόμηση νερού έχει ιδιαίτερη βαρύτητα. Η ελληνική γεωργία τα τελευταία 40 χρόνια είναι κατά βάση αρδευόμενη γεωργία, παρουσίασε αύξηση της γεωργικής παραγωγής, με παράλληλη αύξηση του γεωργικού εισοδήματος και αυτάρκειας της χώρας σε βασικά προϊόντα.

Η σπατάλη νερού κατά την άρδευση σε μια εποχή που η κλιματική αλλαγή θυμίζει καθημερινά ότι οι υδατικοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι μας αναγκάζει να σκύψουμε με περισσότερη προσοχή, αναζητώντας τα αίτια αυτής της σπάταλης, που μπορεί να συνδέονται με τον τρόπο μεταφοράς και εφαρμογής στο χωράφι και την μη ακριβή γνώση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών. Στο θεσσαλικό κάμπο πολύ λίγα είναι τα κλειστά δίκτυα μεταφοράς αρδευτικού νερού με απώλειες που ενδεχόμενα δεν ξεπερνούν το 10%.

Ο μεγαλύτερος όμως όγκος αρδευτικού νερού διακινείται με επιφανειακά δίκτυα, όπου παρατηρούνται σημαντικές απώλειες της τάξης του 30-70%. Οι απώλειες αυτές κατά τη μεταφορά, ή απώλειες που σχετίζονται με την εξάτμιση, την κατά βάθος διήθηση, τις διαρροές λόγω παλαιότητας, ή ελλιπούς συντήρησης κ.α.

Επίσης απώλειες νερού έχουμε και κατά την εφαρμογή του στο χωράφι, που εξαρτώνται πρώτα από το χρήστη παραγωγό και μετά από τη μέθοδο άρδευσης. Έχει αποδειχτεί ότι οι επιφανειακές μέθοδοι άρδευσης παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απώλειες που οφείλονται σε επιφανειακή απορροή και βαθιά διήθηση. Η άρδευση με τεχνητή βροχή (καταιονισμό), παρουσιάζει μικρότερες απώλειες και η άρδευση με σταγόνες έχει τις μικρότερες απώλειες.

Η αυξημένη ζήτηση για αρδευτικό νερό κατά τους θερινούς μήνες πιέζει τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους της χώρας, και τη μεγαλύτερη πίεση τη δέχονται οι υπόγειοι υδατικοί πόροι, όπου η ζήτηση είναι μεγαλύτερη της αναπλήρωσης, με αποτέλεσμα, τη μεγάλη πτώση της υπεδάφιας στάθμης (κάτω των 50 μέτρων στην Κυψέλη) στο κεντρικό τμήμα της ανατολικής Θεσσαλίας, με ταυτόχρονη μείωση ποσότητας και ποιότητας, και της αλμύρισης των υδροφορέων των παρακτίων περιοχών (Ομολίου, Αιγάνης κ. α.).

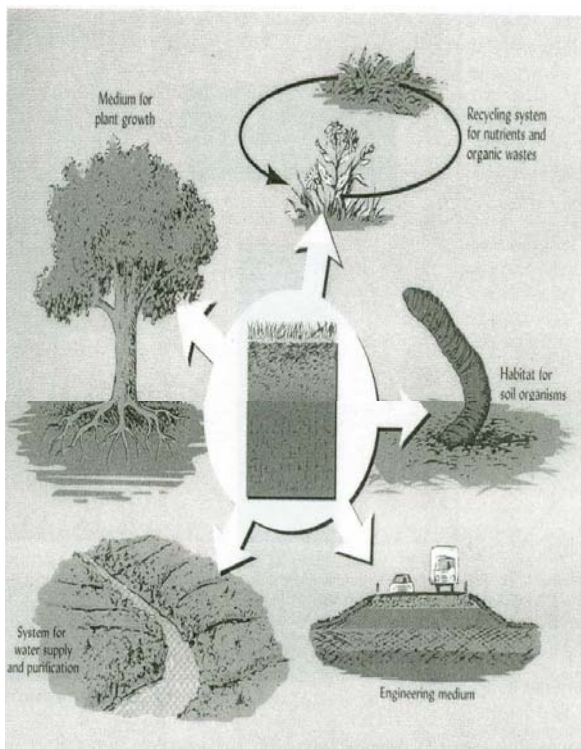
Για λόγους αειφορίας των υδατικών πόρων ποιοτικά και ποσοτικά με στόχο την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών των καλλιεργειών, επιβάλλεται η μείωση της σπατάλης με ορθολογική διαχείριση και αποτελεσματική χρήση, που αφετηρία της έχει την ακριβή γνώση των αναγκών σε νερό των καλλιεργειών.

1.1 Έδαφος

Για τους γεωπόνους-εδαφολόγους, Έδαφος είναι: Τα ανόργανα και οργανικά συστατικά της επιφάνειας της γης, που συνήθως έχουν κάποιο χρώμα οφειλόμενο στο χούμο που περιέχουν και είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης δραστηριότητας των ζωντανών και νεκρών οργανισμών (φυτών και ζώων), του μητρικού υλικού, του κλίματος και του ανάγλυφου. Το ενεργό βάθος συνήθως δεν ξεπερνά το 1,5 μ.

Οι βασικές λειτουργίες του περιγράφονται εν συντομία παρακάτω:

1. Το έδαφος, είναι ο χώρος ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των φυτών και μέσω αυτού παρέχει στήριξη στο υπέργειο τμήμα τους.
2. Είναι ο χώρος διαβίωσης τόσο στην επιφάνεια όσο και κάτω άπαυτη ζώντων οργανισμών και μικροοργανισμών.
3. Είναι ο χώρος εναπόθεσης της νεκρής οργανικής ύλης όπου ανοργανοποιείται μέσω των μικροοργανισμών και τροφοδοτεί με ανόργανα θρεπτικά τις ρίζες των φυτών.
4. Κάνει τη συγκράτηση, διακίνηση, φιλτράρισμα και καθαρισμό του νερού.
5. Είναι ο χώρος, όπου εδράζονται οι κατασκευές.



Εικόνα 1.1: Σχήμα Βασικών λειτουργιών εδάφους κατά Brandy and Weil (1996)

1.2 Η Εδαφική υγρασία

Έχει σημείο εκκίνησης την Υδοχωρητικότητα που αντιστοιχεί στην υγρασία του εδάφους που προκύπτει μετά από μια έντονη βροχόπτωση ή καλή άρδευση και καλύπτει το βάθος του ριζοστρώματος, που για τις περισσότερες ετήσιες καλλιέργειες δεν ξεπερνάει το ένα μέτρο. Στο στάδιο αυτό το νερό έχει καλύψει όλους τους πόρους του εδάφους και απουσιάζει εντελώς ο αέρας, ενώ το ριζικό σύστημα των φυτών ασφυκτιά από έλλειψη οξυγόνου. Στην ίδια χρονική στιγμή έχουμε γρήγορη κίνηση του νερού προς το υπέδαφος και επιφανειακή απορροή εφ' όσον υπάρχει κλίση του χωραφιού.

Δύο με τρεις ημέρες μετά η υγρασία του εδάφους μειούμενη έρχεται στο στάδιο της Υδατοϊκανότητας. Είναι το στάδιο όπου στο έδαφος, τα κενά του νερού καταλαμβάνει ο αέρας και οι υγρασιακές συνθήκες του εδάφους για τα φυτά είναι ιδανικές. Το επόμενο στάδιο μετά την Υδατοϊκανότητα, είναι το σημείο Μόνιμης Μάρανσης των φυτών και αντιστοιχεί στο σημείο υγρασίας του εδάφους όπου το έδαφος έχει κάποια υγρασία αλλά συγκρατείται με τόσο μεγάλες δυνάμεις συνάφειας από τα τεμαχίδια του εδάφους που τα φυτά δεν μπορούν να την πάρουν με τις ρίζες τους και πεθαίνουν από λειψυδρία.

Όμως αρκετές ημέρες πριν τα φυτά έλθουν σ' αυτό το σημείο παρουσιάζουν Ενδείξεις ότι τους λείπει το νερό. Η διαφορά της εδαφικής Υγρασίας του σταδίου Υδατοϊκανότητας και του σημείου των Ενδείξεων έλλειψης νερού στα φυτά είναι το λεγόμενο διαθέσιμο νερό. Το Διαθέσιμο Νερό είναι η ποσότητα νερού που καλύπτεται με την άρδευση.

1.3 Ριζόστρωμα

Ως ριζόστρωμα των καλλιεργειών νοείται το βάθος του εδάφους εντός του οποίου δραστηριοποιείται το ριζικό τους σύστημα. Σε ένα ομοιογενές έδαφος το 80-90% του όγκου του ριζικού συστήματος αναπτύσσεται στα 60-75% του ολικού βάθους της ρίζας, όπως αναφέρουν οι Hansen et al. (1980) και Keller (1986). Σύμφωνα με τα ανωτέρω όταν το ριζόστρωμα είναι επαρκώς εφοδιασμένο με νερό, τα φυτά αντλούν νερό περισσότερο από τα επιφανειακά στρώματα και λιγότερο από τα παρακάτω. Υπό αυτές τις συνθήκες φαίνεται ότι το 40 % των υδατικών απαιτήσεων των φυτών ικανοποιείται από το πάνω $\frac{1}{4}$ του ριζοστρώματος, το 30% ικανοποιείται από το 2ο $\frac{1}{4}$, το 20% ικανοποιείται από 3ο $\frac{1}{4}$ και το 10% από το υπόλοιπο $\frac{1}{4}$. Έτσι η επιφανειακή υγρασία θα εξαντληθεί πολύ γρήγορα και στη συνέχεια θα αρχίσει να εξαντλείται η υγρασία των υπόλοιπων στρωμάτων, και κατόπιν μεταξύ δύο αρδεύσεων, η εξάντληση λόγω πρόσληψης νερού θα είναι περίπου ίδια. Τα ανωτέρω θα αξιοποιηθούν στον προγραμματισμό των αρδεύσεων.

1.4 Υπολογισμός Υδατικών Απαιτήσεων

Οι υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών ή της καλλιέργειας σε νερό εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας, ο ρυθμός των απαιτήσεών τους, ποσοτικά και χρονικά, καθορίζει το μέγεθος της βλάστησης που αναγκαστικά δεν ανταποκρίνεται στη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Όμως η μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος και οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας πρέπει πάντα να συνάδουν με την προστασία του περιβάλλοντος. Οι υδατικές απαιτήσεις των φυτών εκφράζονται καλύτερα με αυτό που λέγεται ισοζύγιο νερού στο ριζικό σύστημα του φυτού, που στην ουσία απεικονίζει την ισορροπία μεταξύ εισροών και εκροών νερού.

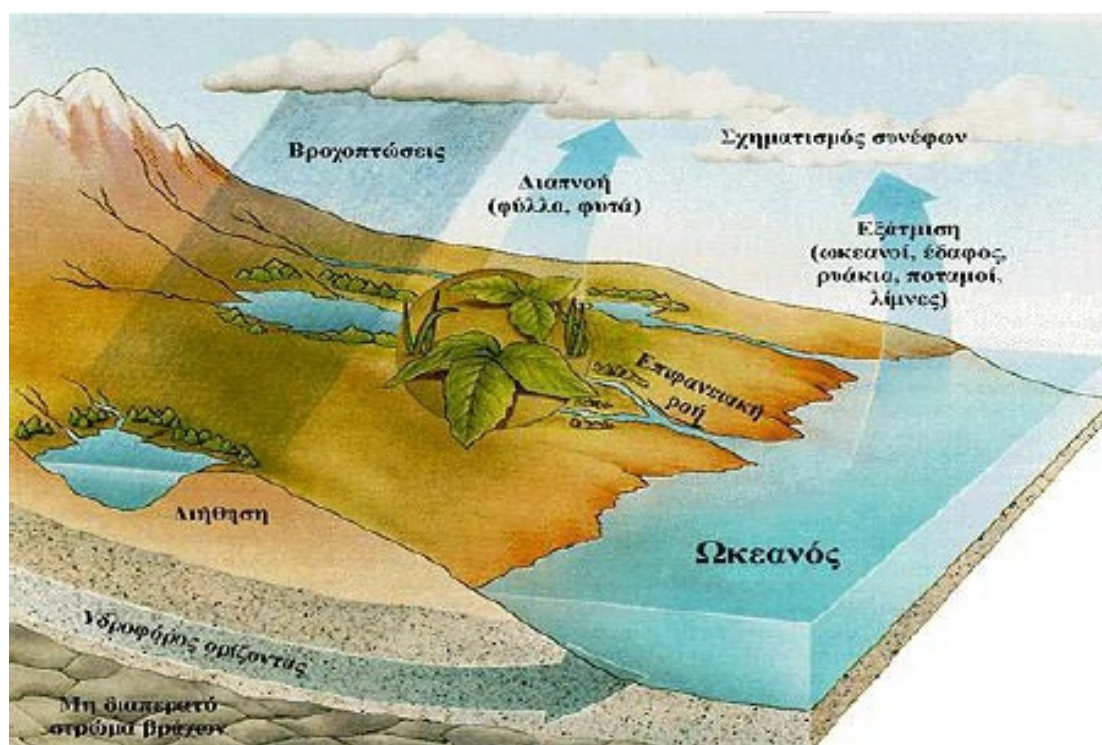
Εισροές νερού είναι :

Η βροχόπτωση της οποίας η ένταση και η διάρκεια έχει σχέση με την ποσότητα νερού που θα εισέλθει μέσω της επιφανείας του εδάφους στη ριζόστρωμα. Η άρδευση που σχετίζεται με το ρυθμό εφαρμογής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, την υγρασιακή του κατάσταση, την ταχύτητα διήθησης και την αρδευτική δόση. Η τριχοειδής ανύψωση του νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και μόνο στις περιπτώσεις που αυτός είναι σχετικά κοντά στο ριζόστρωμα.

Εκροές νερού είναι:

Η επιφανειακή απορροή που δυνατό να προκύψει από μια έντονη βροχόπτωση υψηλής έντασης και μεγάλης διάρκειας, όπως επίσης και από μία υπεράρδευση, και το πρόβλημα επιτείνεται στην περίπτωση που το χωράφι έχει κάποια κλίση. Η βαθιά διήθηση, μία μορφή εκροής ή απώλειας που συμβαίνει ούτως ή άλλως, μετά από μια καλή βροχή ή άρδευση, με έντονους ρυθμούς τις 2-3 πρώτες ημέρες και αρκετές ημέρες μετά με χαμηλούς ρυθμούς. Η εξατμισοδιαπνοή (ETc), είναι το σύνθετο φαινόμενο της απώλειας νερού από το φυτό με την διαπνοή (από τους ιστούς του φυτού), μέσω των στοματίων του φυλλώματος με τη μορφή υδρατμών και ανταλλαγής αερίων, της εξατμίσσης υγρασίας από την επιφάνεια του φυλλώματος, και της εξατμίσσης νερού από την γυμνή επιφάνεια του εδάφους. Η εξατμισοδιαπνοή (ETc) είναι ένας δείκτης του πόσο νερό χρειάζονται οι καλλιέργειες για την άριστη ανάπτυξη και παραγωγικότητα. Άρα η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (ETc), αντιστοιχεί με την εκτίμηση των υδατικών αναγκών των φυτών, για την απόληψη θρεπτικών από το έδαφος, την φωτοσύνθεση, τη δέσμευση ηλιακής ενέργειας και άνθρακα ως CO₂ από την ατμόσφαιρα και την διαπνοή υδρατμών. Η ένταση της ροής του νερού από το φύλλωμα

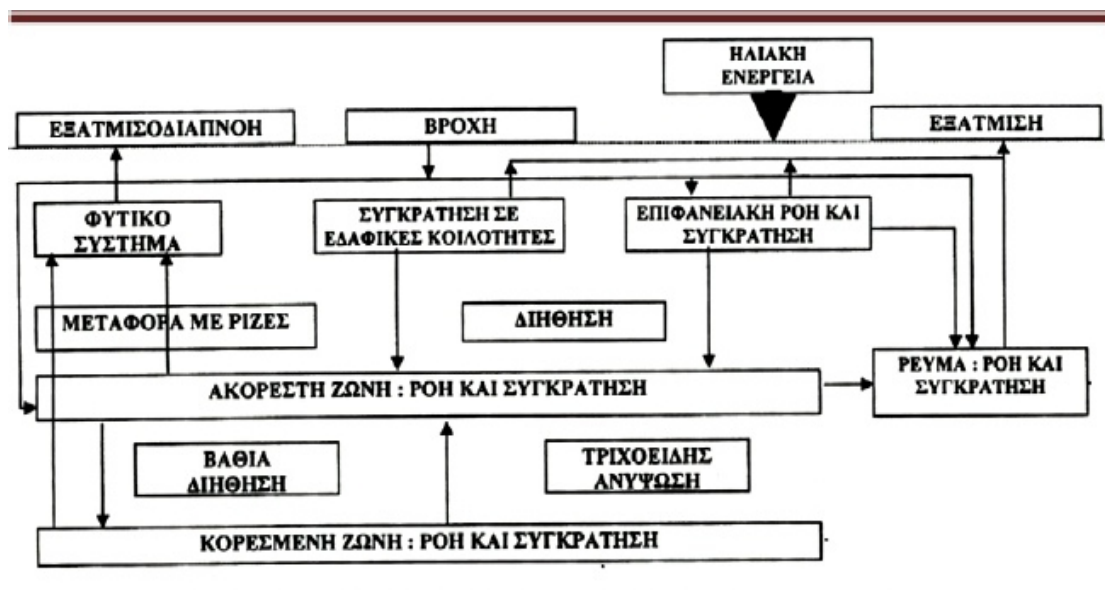
ή από το έδαφος (εξάτμιση) προς την ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κινητικότητα των υδρατμών, την υγρασία, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου πλησίον της κόμης του φυτού. Η επιφανειακή απορροή θα μπορούσε να μας απασχολήσει μόνο στην περίπτωση χωραφιών με σχετική κλίση και εκεί θα ήταν δύσκολο να μετρηθεί, παρά μόνο με ειδικές κατασκευές και αυτό για σκοπούς έρευνας (μέτρηση επιφανειακής απορροής και διάβρωσης του εδάφους). Οι παράμετροι βαθιά διήθηση και τριχοειδής ανύψωση είναι διαδικασίες πολύπλοκες και ως εκ τούτου δύσκολη η εκτίμησή τους. Εξάλλου όταν η υπόγεια στάθμη είναι σε μεγάλο βάθος η τριχοειδής ανύψωση, είναι πρακτικά ανύπαρκτη. Επομένως τα μετρήσιμα και σημαντικά μεγέθη που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη σχεδίαση και τον υπολογισμό των υδατικών απαιτήσεων των φυτών είναι η βροχόπτωση, η άρδευση και η εξατμισοδιαπνοή.



Ε1

κόνα 1,2:Γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου.

(Πηγή : <http://www.scribd.com/>)



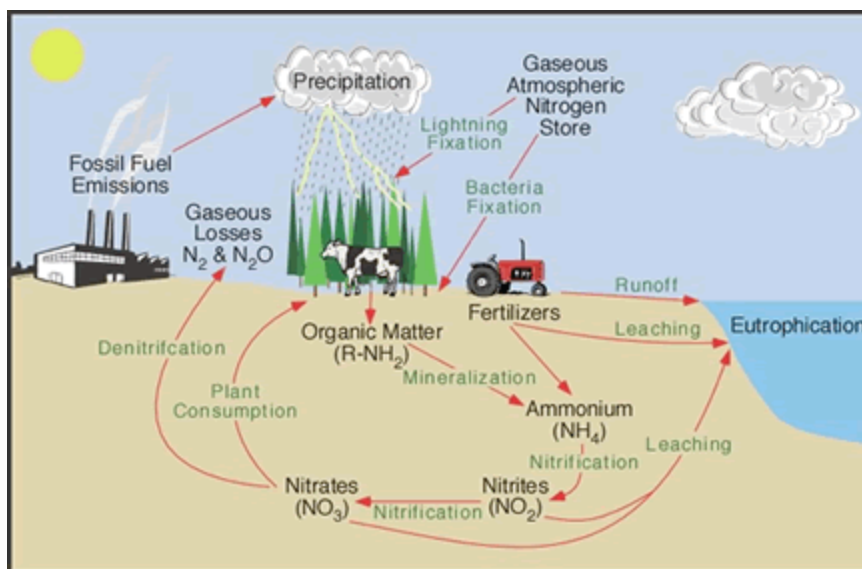
Σχήμα 1.1 : Διαγραμματική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου

(Πηγή : <http://www.scribd.com>)

1.5 Παραγωγή Βιομάζας από Ενεργειακές Καλλιέργειες

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί κατά 17 φορές τον 20ο αιώνα, ενώ οι εκπομπές CO₂, SO₂, και NO_x από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι τα πρωταρχικά αίτια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου (1,3 & 1,4). Μέχρι σήμερα, περισσότερο από το 85 % των ενεργειακών απαιτήσεων παγκοσμίως ικανοποιείται από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα οι εκπομπές CO₂ από τις πηγές αυτές έχουν αυξηθεί στο 4πλάσιο τα τελευταία 40 χρόνια (Türe *et al.*, 1997). Παράλληλα εντείνονται οι ανησυχίες για τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων εφόσον αυτά λόγω της συνεχείς και αυξανόμενης εξόρυξης κάποια στιγμή θα τελειώσουν. Σύμφωνα με ένα σενάριο του 2004 που αναλύει την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων από το 1889 έως το 2050 φαίνεται ότι το 2050 θα υπάρξει πρόβλημα έλλειψης των ορυκτών καυσίμων. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η περιεκτικότητα σε CO₂ της ατμόσφαιρας έχει αυξηθεί κατά 27 %. Κάτω από την απειλή της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος, οι βιομηχανικές χώρες

δεσμεύτηκαν μέσω της Συμφωνίας στο Κυότο (Δεκέμβριος 1997) να περιορίσουν τις εκπομπές CO₂ και άλλων θερμοκηπιακών αερίων κάτω από τα επίπεδα 2 του 1990 πριν το 2012 (Hall *et al.*, 1998 , Woods J., Kazuhisa Miyamoto 1997).



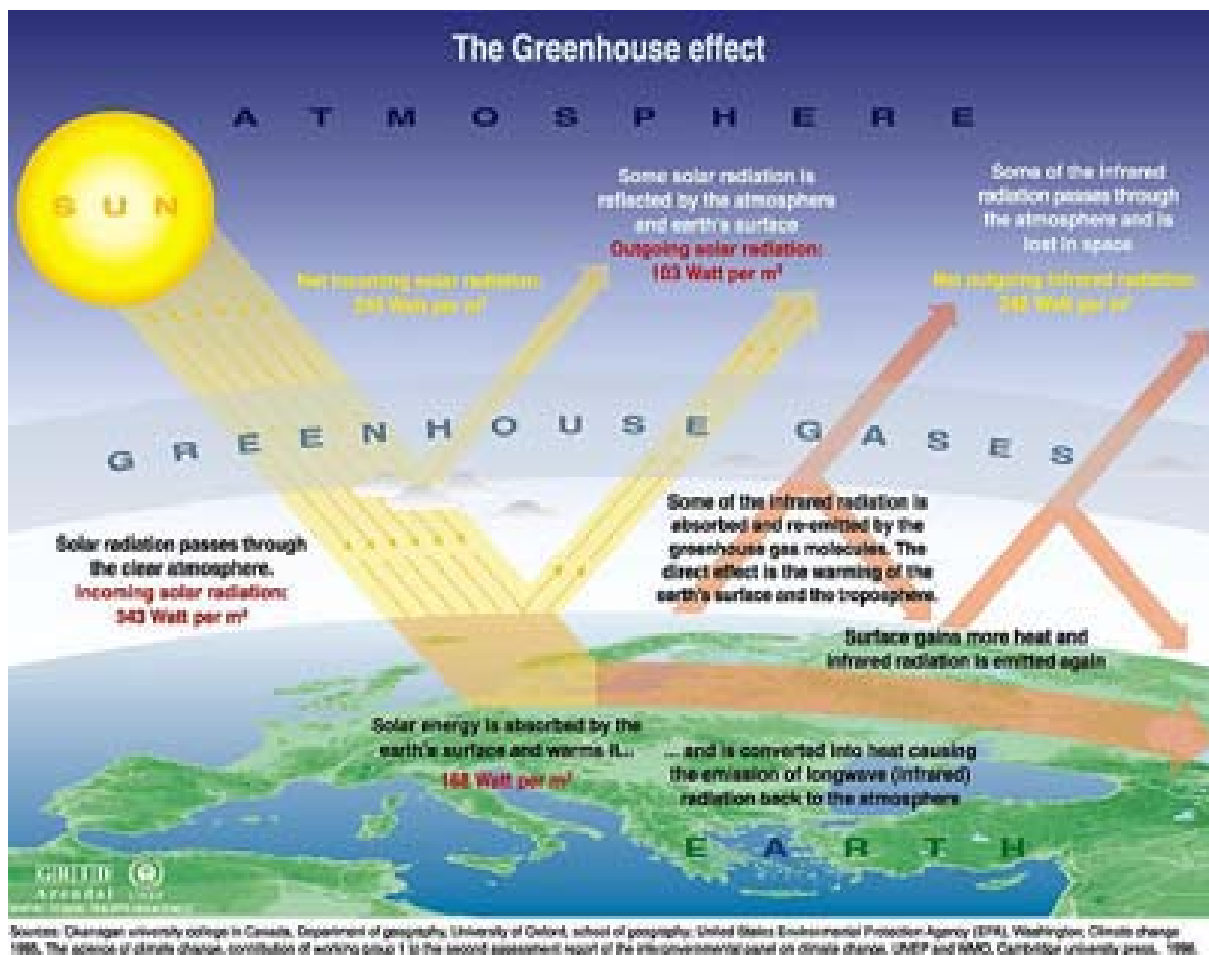
Εικόνα 1.3: Μορφές ρύπανσης από ορυκτά καύσιμα

(Πηγή : <http://www.scribd.com>)

Με τον όρο « βιομάζα » εννοούμε όλες οι μορφές οργανικής ουσίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας (Biomass guide, ΚΑΠΕ, 2005). Οι ενεργειακές καλλιέργειες, συγκεκριμένα, στις οποίες περιλαμβάνονται τόσο ορισμένα ήδη καλλιεργούμενα είδη όσο και μια σειρά αυτοφυή, έχουν ως σκοπό την παραγωγή βιομάζας, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως την παραγωγή σπορέλαιων για την παραγωγή «βιολογικού» πετρελαίου (biodiesel), ζυμώσιμα σάκχαρα υδατάνθρακες για την παραγωγή βιοαιθανόλης, ή ξηρά ουσία για καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση κ.τ.λ. (Monti and Venturi 2003).

Η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα, η οποία ήταν η πρωταρχική μορφή ενέργειας για εκατομμύρια χρόνια, βρέθηκε σήμερα να ξανακερδίζει τη σπουδαιότητά της. Η βιομάζα είναι διαθέσιμη σχεδόν παντού, και πέρα της σημαντικής συμβολής της

στον ενεργειακό τομέα, μπορεί να αυξήσει τα οφέλη για την κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη, ειδικά στις γεωργικές περιοχές (Roman et al., 1998), αλλά και για το περιβάλλον, συμβάλλοντας σε μεγάλο βαθμό στην επίτευξη των στόχων του Πρωτοκόλλου του Κυότο.



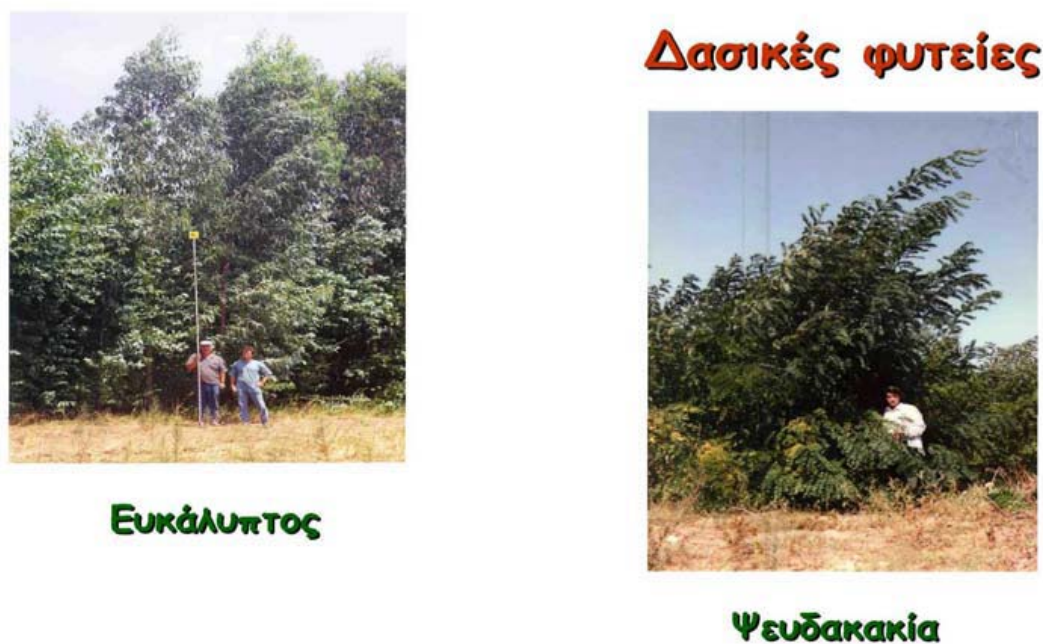
Εικόνα1.4: Επιπτώσεις της ρύπανσης του περιβάλλοντος

Ειδικότερα στην Ελλάδα, εξαιτίας των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών, πολλές καλλιέργειες προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση και δίνουν υψηλές στρεμματικές αποδόσεις. Μερικές από αυτές είναι του καλαμιού, της αγριαγκινάρας (Atundo donax L.), του γλυκού σόργου, του μίσχανθου, του ευκαλύπτου και της

ψευδοακακίας, για τις οποίες, τα τελευταία χρόνια, γίνεται εντατική μελέτη εφαρμογής τους στις ελληνικές συνθήκες.



Εικόνα 1.5: Ενεργειακές καλλιέργειες



Εικόνα 1.6: Ενεργειακές Δασικές Καλλιέργειες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 Σόργο

2.1 Γλυκό και Ινώδες Σόργο

Η καταγωγή του εντοπίζεται στην Αιθιοπία πριν από 5000 – 7000 χρόνια. Παράγεται σήμερα σε 99 χώρες ανά τον κόσμο σε σύνολο 44 εκατομμυρίων εκταρίων, κυρίως σε φτωχές και άνυδρες περιοχές που είναι σχετικά μη συμβατές και αφιλόξενες στην καλλιέργεια του αραβόσιτου. Έχει μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα και μικρές απαιτήσεις σε χημική λίπανση, διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα όπως η χρήση του σε διάφορα προγράμματα αμειψισπορών και επιτυγχάνει υψηλές αποδόσεις σε χλωρή και ξηρή βιομάζα με αποτέλεσμα να τύχει ιδιαίτερης προσοχής τα τελευταία κυρίως χρόνια ως εναλλακτικής πηγής για την παραγωγή βιοκαυσίμων.

Το Σόργο (Εικ. 2.1) είναι ετήσια καλλιέργεια μικρής φωτοπεριόδου με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα (Mastorilli et al., 1995). Ανήκει στην κατηγορία των C_4 φυτών, διαθέτει δηλαδή δικαρβοξυλικές φωτοσυνθετικές ικανότητες. Γι αυτό το λόγο ευδοκίμει και σε περιβάλλοντα αλατούχα έως ελαφρώς νατριομένα. Βάσει των Mass και Hoffman (1977) το σόργο είναι 100% αποδοτικό σε τιμές $EC_{iw} = 4.5 \text{ mS cm}^{-1}$ και σε τιμές $EC_e = 6.8 \text{ mS cm}^{-1}$. Μπορεί να αναπτυχθεί σε μεγάλο εύρος εδαφών και είναι ανθεκτικό σε τιμές pH 5,5 – 8,5.



Λόγω της ανθεκτικότητας στην ξηρασία και των υψηλών αποδόσεων σε βιομάζα, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό είδος διατροφής σε πολλές περιοχές της Αφρικής και της Ασίας, για πολλές μάλιστα αγροτικές οικογένειες είναι ένα είδος πρώτης ανάγκης στην καθημερινή τους διαίτα. Φαίνεται λοιπόν ότι το σόργο ως καλλιέργεια έχει έναν πάρα πολύ μεγάλο ρόλο στην παγκόσμια διατροφική οικονομία, όντας σήμερα το 5^ο σημαντικότερο δημητριακό στον κόσμο (μετά το σιτάρι, το ρύζι, το καλαμπόκι και το κριθάρι), με περισσότερο από 35 % να παράγεται για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο (Kangama *et al.*, 2005).

2.2 Είδη και χρήσεις σόργου.

Όλα τα καλλιεργούμενα φυτά σόργου ανήκουν στο υποείδος *Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *bicolor* (Dahlberg 1995), και μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τη χρήση τους σε τέσσερις μεγάλες ομάδες (Νικολάου κ.ά., 2000):

1. Το σποροπαραγωγικό ή καρποδοτικό σόργο (grain sorghum), το οποίο καλλιεργείται για παραγωγή σπόρου, είναι ένα εντατικά καλλιεργούμενο είδος σε πολλές χώρες της Αφρικής, ορισμένες περιοχές της Ινδίας και στις Η.Π.Α.
2. Το σόργο σαρωθροποιΐας (broomcorn), το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή σκούπας από τις μακριές διακλαδώσεις της ταξιανθίας του.
3. Το ινώδες σόργο (fibre sorghum) είναι υβρίδιο μεταξύ του σποροπαραγωγικού και του σόργου σαρωθροποιΐας, με υψηλό ποσοστό κυτταρίνης και χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα .
4. Το σόργο του Σουδάν (Sudangrass), το οποίο καλλιεργείται για ζωοτροφή. Έχει πλούσια φυτική μάζα, ταχεία ανάπτυξη και ευχέρεια στην αναβλάστησης μετά την κοπή. Το γλυκό σόργο του Σουδάν (sweet Sudangrass) που προέρχεται

από τη διασταύρωση του σόργου του Σουδάν με το σακχαρούχο σόργο έχει γλυκύτερα και ταχύτερα στελέχη με λιγότερο πρωσικό οξύ.

5. Το γλυκό ή σακχαρούχο σόργο (sweet sorghum), το οποίο καλλιεργείται για τα γλυκά στελέχη του, κυρίως για την παραγωγή σιροπιού, αλλά και για ζωοτροφή.

Είναι προφανές ότι το σόργο είναι μία πολύ - λειτουργική καλλιέργεια. Ιστορικά, η κύρια χρήση του γλυκού σόργου σε ορισμένες τροπικές και υποτροπικές περιοχές ήταν η παραγωγή σιροπιού. Οι προσπάθειες ανάπτυξης μίας βιομηχανίας ζάχαρης από το γλυκό σόργο δεν έχουν βρει εύφορο έδαφος, καθώς οι διάφορες δυσκολίες και περιορισμοί καθιστούν την παραγόμενη ζάχαρη πιο ακριβή από αυτή που λαμβάνεται από το ζαχαροκάλαμο και τα σακχαρότευτλα (Dalianis, *et al.*, 1996, και Dalianis, *et al.*, 1996b).

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

Ειδικότερα η ποικιλία Keller η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα διαθέτει υψηλές αποδόσεις σε βιομάζα και σε παραγωγή ζάχαρης η οποία εξαρτάται από το χρόνο συγκομιδής. Η ποικιλία Keller του γλυκού σόργου έχει αποδειχθεί ότι είναι η πλέον παραγωγική από πλευράς ενεργειακής απόδοσης για το Μεσογειακό κλίμα. Συγκεκριμένα 8 – 11,5 % επί της συνολικής παραγόμενης χλωρής βιομάζας (Kavadakis *et al.* 2000) ή 9 -14,5 % επί της συνολικής παραγόμενης χλωρής βιομάζας των βλαστών (Dalianis *et al.* 1995 ; Alexopoulou *et al.* 1998) . Σε πειράματα που έγιναν στην Ισπανία (Curt *et al.* 2000) με ύψη φυτών 3,5 μέτρα, παραγωγή σε ξηρή βιομάζα 28,5 Mg/ha και ποσοστό ζυμώσιμων σακχάρων επί του συνολικού βάρους

ξηρής βιομάζας των βλαστών 43%, επίσης διάφορες περιοχές στην Ελλάδα (Dalianis *et al.* 1994), με ύψη φυτών μεγαλύτερα των 3,3 m , μέγιστη απόδοση σε χλωρή βιομάζα 103,4 Mg./ha και ποσοστό ζυμώσιμων σακχάρων επί της συνολικής χλωρής βιομάζας των φυτών 11,1 – 13,2 %. Επίσης σε έρευνα στην Ελλάδα (Alexorouloy *et al.* 2000), μετρήθηκαν ύψη φυτών πλησίον των 3,5 m. Παραγωγής σε ξηρή βιομάζα 30-39 Mg / ha και ποσοστό ζυμώσιμων σακχάρων επί του συνολικού βάρους χλωρής βιομάζας των φυτών 9,5 – 11,4 %. Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα σε πειράματα που διεξήχθησαν στη Ρουμανία (Roman *et al.* 1998), μετρήθηκε η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα 28 Mg/ha και αντίστοιχα σε χλωρή βιομάζα 114 Mg / ha. Τέλος σε πειράματα που έλαβαν χώρα στην Ιταλία (Foti *et al.* 2004) μετρήθηκε η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα 21 -27 Mg / ha. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι 1 Mg ξηρής βιομάζας αντιστοιχεί σε 0,4 Mg ισοδυνάμων πετρελαίου και 1 κιλό σακχαρόζης μπορεί να αποδώσει 538 – 700 gr ή 648 – 843 l αιθανόλης με το ειδικό βάρος αυτής να κυμαίνεται από 0,789 έως τα 0.870 kg / l (Wilhoit and Zwolinski, 1973; Bryan *et al.* 1981; Smith *et al.* 1987; Soldatos and Chatzidaki 1999; U.S. Department of Energy 2005).

Σήμερα η συνολική έκταση που καλλιεργείται το σόργο το κατατάσσει στην Πέμπτη θέση μεταξύ των οκτώ πλέον διαδεδομένων δημητριακών και μάλιστα με ποσοστό 7% επί του συνόλου.

Οι χώρες με τη μεγαλύτερη κατανομή ανήκουν στην Ασία. Σημαντικές παραγωγές εμφανίζονται και στις Η.Π.Α. (85 εκατ. στρεμ.). Στην Ελλάδα η καλλιέργεια του Σόργου κυμαίνεται στα 10.000 στρέμματα κυρίως στις βόρειες περιοχές του Νομού Έβρου.

2.3 Βοτανική Ταξινόμηση

Ανήκει στην οικογένεια των αγρωστωδών (Poaceae ή Graminae). Είναι φυτό μόνικο με άνθη διγενή ή μονογενή (οι καλλιεργούμενες ποικιλίες έχουν μονοκλινή φυτά).

Είναι φυτά μόνικα και μονικλινή ή δίκλινα, ανεμόφιλα καθώς αυτογονιμοποιούνται ή σταυρογονιμοποιούνται σε ανάλογα ποσοστά. Η άνθιση ξεκινά από την κορυφή και προχωρά προς τη βάση λαμβάνοντας χώρα τη νύχτα ή κατά τις πρώτες πρωινές ώρες και διαρκεί 6 – 15 ημέρες. Η ταξιανθία είναι φόβη και ο καρπός καρύοψη σε σχήμα σφαιρικό ή ωοειδές. Τα σταχύδια είναι διανθή με ένα γόνιμο άνθος το οποίο δεν έχει ποδίσκο και ένα άγονο συνήθως με ποδίσκο. Το γόνιμο άνθος αποτελείται από 2 λέπυρα 3 στήμονες, 1 ύπερο με μονόχωρη ωοθήκη, 2 στύλους και 2 γλωχίνες. Η ταξιανθία έχει μήκος 20 – 70 cm. Το σόργο έχει την ικανότητα να αδελφώνει αναπτύσσοντας βλαστούς από τους οφθαλμούς της βάσης.

Τα 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 ,με σκοπό τη μείωση της απώλειας του νερού. Ο ρυθμός θανάτου στα φύλλα εξαρτάται από τη συνολική θερμοκρασία αλλά μπορεί να επηρεαστεί και από τη σκίαση, την έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, την ξηρασία, τον παγετό και τις ασθένειες. Το έλασμα του σόργου διακρίνεται από εκείνο του καλαμποκιού από το ότι φέρει δοντάκια περιφερειακά. Επίσης η περιφέρεια του ελάσματος είναι λεία και έχουν σαφώς μεγαλύτερο μέγεθος. Οι κρίσιμες τιμές της δυνητικής πίεσης στα στόματα των φύλλων για την κανονική εφίδρωσή τους και την ορθή λειτουργία τους κυμαίνονται από -0,9 έως -2,0 MPa ανάλογα και με το στάδιο ανάπτυξης με μ.ο. τιμή -1,2 MPa. (Slabbers,

1980). Επίσης οι κρίσιμες τιμές σε συγκεντρώσεις Na ή Cl, σε αρδευτικό νερό το οποίο χορηγείται με καταιονισμό στα φυτά του γλυκού σόργου χωρίς την σοβαρή καταστροφή του φυλλώματος κυμαίνεται από 10 – 20 mol m⁻³ (Mass, 1990).

Ο βλαστός του σόργου είναι καλάμι και αποτελείται από 7 – 18 μεσογονάτια διαστήματα και το ύψος κυμαίνεται μεταξύ των 1,2 και 5,5 μέτρων ανάλογα με την ποικιλία και την καλλιεργητική τεχνική που εφαρμόζεται (άρδευση – λίπανση).

Διακρίνονται δύο είδη ριζικού συστήματος το εμβρυικό και το μόνιμο ή δευτερογενές. Το πρώτο αποτελείται από μία μόνο ρίζα η οποία μπορεί να φτάσει σε βάθος 1 – 1,5 μέτρο και διατηρείται εν ζωή έως το φυτό να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο. Αντίθετα το δευτερογενές έχει τη μορφή θύσσανου και σε συνθήκες ικανοποιητικής υγρασίας το μεγαλύτερο ποσοστό του (ενεργό ριζόστρωμα) εκτείνεται μεταξύ του 0,9 – 1,2 m., ενώ σε πλήρως ανεπτυγμένα φυτά μπορεί να φτάσει και τα 2,7m.

Το βάρος του σπόρου κυμαίνεται μεταξύ των 20 – 40g (βάρος 1000 καρπών), έχει μήκος 8 – 35mm. Και περιέχει κατά μέσο όρο 12% πρωτεΐνες, 3% έλαια, 70% υδατάνθρακες και μικρή περιεκτικότητα σε βιταμίνες.

2.4 Καλλιεργητικές τεχνικές

Η σπορά γίνεται την άνοιξη και μάλιστα δύο περίπου εβδομάδες μετά τη σπορά του καλαμποκιού. Η ιδανική περίοδος για τις εύκρατες περιοχές θεωρείται αυτή από τα μέσα Μαΐου έως τις αρχές Ιουνίου.

Οι επιδράσεις της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να θεωρηθούν υπεύθυνες για πολλές από τις διαφορές που παρατηρούνται στην παραγωγή της οργανικής ουσίας μεταξύ των καλλιεργειών. Απαιτεί λοιπόν θερμοκρασίες εδάφους 7 – 10 C για επιτυχές φύτρωμα, ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία ανάπτυξης πρέπει να

είναι μεγαλύτερη των 16 C. Είναι γενικότερα θερμοφίλο καθώς οι μεγαλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται σε θερμοκρασίες αέρα μεταξύ 27 και 29 C.

Τα στάδια ανάπτυξης του σόργου είναι :

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)

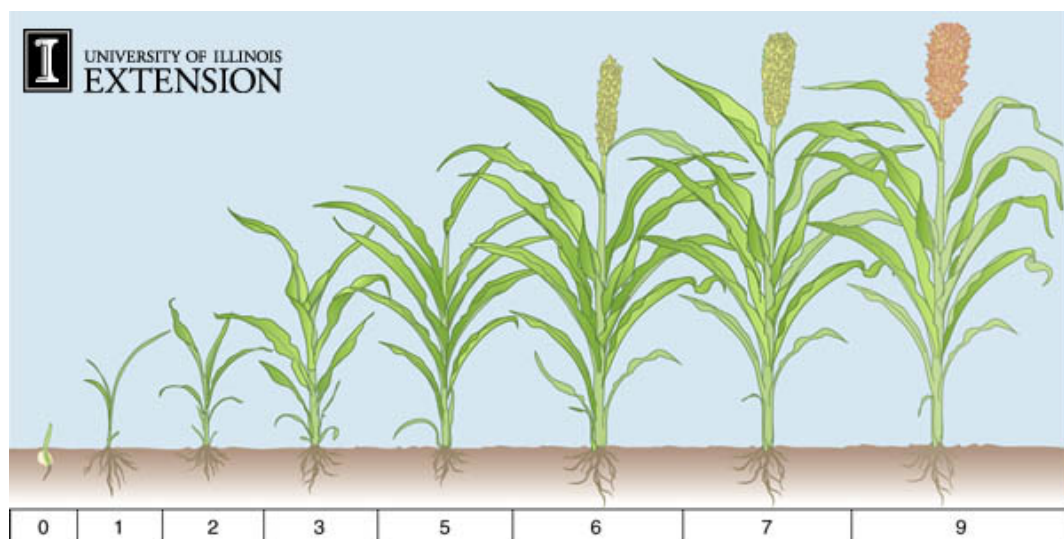
Στάδιο 5 : περιάνθιου

Στάδιο 6 : ημί – άνθησης

Στάδιο 7 : μαλακής ζύμης

Στάδιο 8 : σκληρής ζύμης

Στάδιο 9 : φυσιολογικής ωριμότητας



Εικόνα 2.2: Στάδια Ανάπτυξης Σόργου

(Πηγή: http://www.freewebs.com/sorghum_egyptstagesofsorghum.html)

Οι γραμμές σποράς κυμαίνονται από 40 – 120cm αναλόγως τη χρήση, οι δε αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής εξαρτώνται από την πυκνότητα σποράς και κυμαίνονται από 8 έως 15 cm. Η τοποθέτηση του σπόρου γίνεται με μια απλή σπαρτική σιτηρών σε βάθος 3 – 4 cm .

Τα ο σόργο αντιδρά επιτυχώς στην αζωτούχο και τη φωσφορική λίπανση για παραγωγές σε χλωρή βιομάζα της τάξης των 5 – 7 mg / στρεμ τα φυτά καταναλώνουν περίπου 5 kg/στρεμ. P. Ανάλογα με την εδαφολογική συμπεριφορά του χωραφιού και για παραγωγές της τάξης των 5 – 7 mg/στρεμ. Απαιτούνται περίπου 5 – 7 κιλά N σε εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία, σε μία δόση λίγο πριν ή λίγο μετά τη σπορά, και σε αννώδη 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). Πάντως λόγω του εκτεταμένου ριζικού του συστήματος ο σόργος μπορεί να δεσμεύσει από το έδαφος το φυσικό άζωτο και άλλα θρεπτικά στοιχεία με αποτέλεσμα να θεωρείται σημαντική η συμβολή του στην οικοδόμηση της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του σόργου είναι η αντοχή του σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. Η ανατομική του μορφολογία σε συνδυασμό με την ικανότητά του να αναστέλλει την ανάπτυξή του (λήθαργος) σε περιόδους ξηρασίας του δίνει τη δυνατότητα να ανταπεξέρχεται σε περιοχές με χαμηλές τιμές βροχόπτωσης. Πατρότι θεωρείται από τα φυτά με τις χαμηλότερες απαιτήσεις σε νερό (Mastrorilli *et al.*, 1995) η άρδευση θεωρείται απαραίτητη. Μάλιστα σε συνδυασμό με υψηλής γονιμότητας εδάφη δίνεται να επιτευχθούν πολλές υψηλές παραγωγές. Σε αντιπαράβολή με την λίπανση η οποία δεν διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην παραγωγή βιομάζας ή ζάχαρης,

η επάρκεια αρδευτικού νερού καθιστά σημαντικό παράγοντα 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 480m³/στρεμ. Συνυπολογίζοντας και ενός ποσοστού απωλειών της τάξεως του 20%. (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 1996)

Για την καταπολέμηση των ζιζανίων αποτελεσματική αποδεικνύεται η χρήση των προφυτρωτικών προπαζίνη ή και CDAΑ σε δόσεις 150 – 250 g το στρέμμα.

Οι κυριότεροι εχθροί του φυτού είναι οι σιδηροσκώληκες, το πράσινο σκουλήκι (προσβάλλει τα φύλλα και τους καρπούς), η μύγα του σόργου (καταστροφή του κορυφαίου μεριστώματος) και η σεσάμια (εμποδίζεται η εμφάνιση ταξιανθιών). Οι σπουδαιότερες ασθένειες που μπορεί να εμφανιστούν στη συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι οι σηψηριζίες, νανισμός, η σήψεις του στελέχους (πλάγιασμα – πρόιμη ωρίμανση), οι σκωριάσεις καθώς επίσης και οι άνθρακες (π.χ. *Sphacelotheca sorghi*). Παρόλ' αυτά τα φυτά του σόργου παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα εμφανίζοντας μικρότερες ζημιές από την προσβολή των διαφόρων μυκήτων. Οι μυκητιάσεις κάνουν την εμφάνισή τους μετά το πέρας 60 – 70 ημερών από τη σπορά της καλλιέργειας όταν βέβαια το ευνοούν οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής (βροχοπτώσεις και εν συνεχεία υψηλές θερμοκρασίες).

2.5 Παραγωγικότητα

Η απόδοση σε χλωρό βάρος του γλυκού Σόργου κυμαίνεται από 80 – 100 Mg ha⁻¹ στη Γερμανία, σε 92 Mg ha⁻¹ στην Ισπανία (Curt et al., 1995) και μπορεί να φτάσει και 141 Mg ha⁻¹ στην Ελλάδα (Dalianis et al., 1996). Αντίστοιχα η παραγωγή του

ινώδους σόργου σε χλωρή βιομάζα έφθασε τους 90 Mg ha⁻¹ σε συγκομιδές στις αρχές του Φθινοπώρου στην Ελλάδα (Panoutsou, 1999).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 Άρδευση

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 όμως είναι 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 τα οποία έχουν προκύψει τα τελευταία χρόνια λόγω ανεπάρκειας του αρδευτικού νερού, τα οποία αναμένεται ότι θα ενταθούν ακόμη περισσότερο στα επόμενα χρόνια, κάνουν επιτακτική την ανάγκη για σοβαρές προσπάθειες μείωσης των απωλειών νερού. Γενικά, η μείωση των απωλειών αρδευτικού νερού μπορεί να επιτευχθεί :

- Με τον καλύτερο προγραμματισμό των αρδεύσεων (αποφυγή άσκοπων αρδεύσεων)
- Την ελαχιστοποίηση των διαρροών στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής του νερού
- Με τον περιορισμό των απωλειών κατά την εφαρμογή της άρδευσης στο χωράφι.

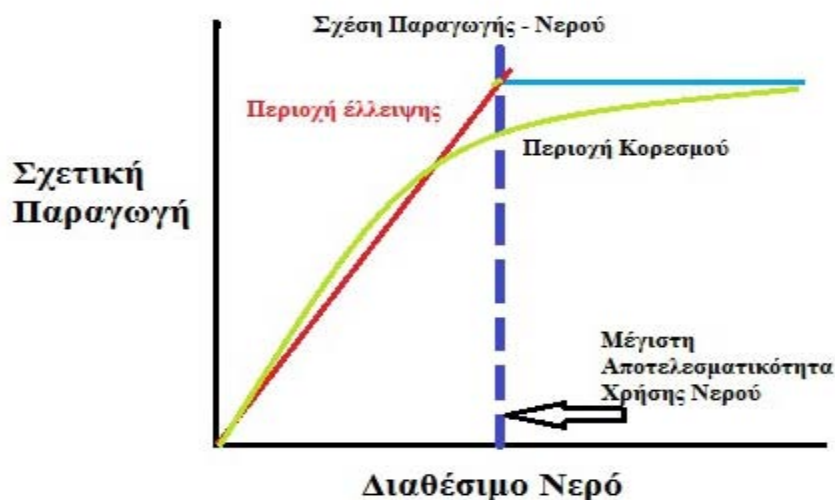
Ιδιαίτερη σημασία για το τελευταίο έχει η μέθοδος άρδευσης. Τέλεια μέθοδος άρδευσης για όλες τις περιπτώσεις, δεν υπάρχει. Θα πρέπει ανάλογα με τις συνθήκες να επιλέγεται η καταλληλότερη. Προϋπόθεση βέβαια για τη μεγιστοποίηση των

δυνατοτήτων κάθε μεθόδου αποτελεί ο άριστος σχεδιασμός, η σωστή εγκατάσταση και η χρήση υλικών καλής ποιότητας.

Ο γεωργικός τομέας είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής νερού. Σύμφωνα με στοιχεία του F.A.O. 70% σε παγκόσμιο επίπεδο και πάνω από 80% σε μεσογειακές χώρες. Για την παραγωγή τροφίμων, πρώτων υλών αλλά και παροχή εργασίας σε εκατομμύρια κατοίκων των αγροτικών περιοχών. Σήμερα το 40% της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων προέρχεται από το 18% της αρδευόμενης γεωργίας. (http://www.fao.org/nr/water/topics_wwf6-t2.html)

Στην Ελλάδα η γεωργία είναι ο μεγάλος καταναλωτής νερού (78,5 % για άρδευση), ακολουθεί η ύδρευση 15.8 % ενώ μόνο το 5,7 % καταναλώνεται από τη βιομηχανία, η ζήτηση νερού άρδευσης στη χώρα μας είναι μεγάλη, ενώ η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης είναι χαμηλή (σε πολλές περιπτώσεις κάτω του 55%) . Σήμερα αρδεύεται το 41,2 % της καλλιεργούμενης έκτασης. (Κ. Χατζουλάκης , Μ. Μπερτάκη 2009)

Η παραγωγή νερού καρπών μιας καλλιέργειας αυξάνει με την αύξηση του νερού άρδευσης μέχρι ενός σημείου κορεσμού. Η επιπλέον ποσότητα νερού δεν αυξάνει την παραγωγή όπως φαίνεται από την εικόνα 3,1 . Η σχέση παραγωγής μιας καλλιέργειας και ποσότητας νερού άρδευσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι κλιματικές συνθήκες, το έδαφος και οι εφαρμοζόμενες τεχνικές καλλιέργειας.



Εικόνα 3.1: Συσχέτιση Παραγωγής – Διαθέσιμου Νερού
(Πηγή : Αρχείο Συγγραφέα)

Εκτιμάται ότι από το νερό άρδευσης που εφαρμόζεται μόνο το 65% χρησιμοποιείται από την καλλιέργεια ενώ το 8% χάνεται κατά τη μεταφορά. Το 7% κατά την εφαρμογή του στον αγρό και το 20% χάνεται λόγω υπερ – άρδευσης.



Εικόνα 3.2: Απώλειες Νερού άρδευσης (http://www.nagref-cha.gr/files/Ardeuseis_1.pdf)

Καλλιεργητικές πρακτικές όπως η εφαρμογή της άρδευσης, η κατεργασία του εδάφους, η διαχείριση της καλλιέργειας είναι άμεσα συνδεδεμένες με την αειφόρο διαχείριση των υδάτινων πόρων τόσο στη γεωργία όσο και στη διαχείριση του περιβάλλοντος. Η αειφόρος διαχείριση του νερού στη γεωργία μπορεί να επιτευχθεί με

A. Εφαρμογή Ορθής Αρδευτικής Πρακτικής

- Μείωση των απωλειών νερού με τη βελτίωση ή αντικατάσταση του δικτύου μεταφοράς και διανομής του νερού.
- Εγκατάσταση σύγχρονων συστημάτων άρδευσης που εξοικονομούν νερό μετά από σχετική μελέτη
- Σχεδιασμό της άρδευσης με βάση τις συνθήκες κάθε περιοχής και τις ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας
- Ενημέρωση για τις ανάγκες της καλλιέργειάς μας σε νερό από τους ειδικούς των γραφείων γεωργικής ανάπτυξης
- Εφαρμογή τεχνικών ελλειμματικής άρδευσης όταν υπάρχει έλλειψη νερού
- Άρδευση συνήθως κατά τις βραδινές ώρες για να μειώσουμε τις απώλειες λόγω εξάτμισης
- Καταγραφή με τη χρήση υδρομέτρου της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιήσαμε και ενημέρωση για το κόστος του νερού.
- Χρησιμοποίηση του συστήματος υδρολίπανσης για την εφαρμογή των λιπασμάτων
- Αποτελεσματική συντήρηση του αρδευτικού δικτύου στο τέλος κάθε αρδευτικής περιόδου

B. Εφαρμογή Ορθής Διαχείρισης του Εδάφους

- Επιφανειακή καλλιέργεια του εδάφους για μείωση της απορροής
- Καλλιέργεια κατά τις ισουψείς για συγκράτηση νερού και μείωση της διάβρωσης
- Ελαχιστοποίηση της καλλιέργειας ή μη καλλιέργεια του εδάφους ώστε να διατηρήσουμε σε υψηλά επίπεδα την οργανική ουσία του εδάφους.
- Εφαρμογή της φυτοκάλυψης του εδάφους για μείωση των απωλειών νερού με εξάτμιση
- Αύξηση της οργανικής ουσία του εδάφους στα επιφανειακά στρώματα για αύξηση της υδατοικανότητας.
- Έλεγχος της οξύτητας του εδάφους με εφαρμογή γύψου
- Εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου καταστροφής των ζιζανίων ώστε να μειωθεί ο ανταγωνισμός για το νερό και οι απώλειες λόγω διαπνοής από τα ζιζάνια

C. Εφαρμογή Ορθής Διαχείρισης της Καλλιέργειας

- Επιλογή καλλιέργειας λαμβάνοντας υπόψιν τη βροχόπτωση, τη διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης και την απόδοση της καλλιέργειας
- Επιλογή ποικιλιών που αντέχουν στην έλλειψη νερού
- Επιλογή καλλιεργειών ή ποικιλιών που ολοκληρώνουν τον κύκλο τους σε όσο το δυνατό μικρότερο διάστημα
- Ορθολογική χρήση των λιπασμάτων σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Συνιστάται η χρήση λιπασμάτων βραδείας αποδέσμευσης,

μείωση της ποσότητας των λιπασμάτων σε χρονιές που αναμένεται μειωμένη παραγωγή.

- Ορθολογική χρήση των φυτοφαρμάκων σύμφωνα με τις οδηγίες των ειδικών
- Εφαρμογή των φυτοφαρμάκων την κατάλληλη χρονική περίοδο για να αποφευχθούν οι δυσμενείς συνέπειες στους ωφέλιμους οργανισμούς.
- Εφαρμογή μεθόδων ολοκληρωμένης ή βιολογικής καταπολέμησης των εχθρών και ασθενειών όταν είναι δυνατόν.

3.2 Τα διάφορα συστήματα άρδευσης

Υπάρχουν τρία βασικά συστήματα άρδευσης σε καθένα από τα οποία μπορεί να υπάρχουν διάφορες παραλλαγές (Εικ. 3.3)

1. Τα συστήματα άρδευσης με φυσική ροή:

- Άρδευση με αυλάκια. Το νερό εφαρμόζεται σε αυλάκια που κατασκευάζονται μεταξύ των γραμμών των φυτών τα οποία έχουν τη διεύθυνση της κλίσης ή ακολουθούν την ισοϋψή. Συνίσταται να εφαρμόζονται σε χωράφια επίπεδα με κλίση όχι μεγαλύτερη από 1% και σε χωράφια που δεν είναι πολύ ελαφρά ή σε γραμμικές καλλιέργειες όπως πατάτες, καλαμπόκι, βαμβάκι, αμπέλι, λαχανικά, οπωροφόρα. Οι δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας είναι σχετικά μικρές. Η αξιοποίηση του διαθέσιμου νερού επιτυγχάνεται σε βαθμό 65% στα βαριά και 40% στα ελαφρά εδάφη ενώ εάν δεν έχει υπάρξει καλή ισοπέδωση 55% και 30% αντίστοιχα.
- Άρδευση μεταξύ παράλληλων αναχωμάτων.
 - Θα πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτίμηση

- ❖ όταν υπάρχουν επίπεδες εκτάσεις με κλίση όχι μεγαλύτερη του 1% και επιθυμητή 0,2 % .
- ❖ σε καλλιέργειες με πυκνή φύτευση
- ❖ σε εδάφη βαθιά με μικρή έως πολύ μικρή διηθητικότητα
- ❖ όταν διαθέτουμε μεγάλη παροχή νερού
- ❖ όταν θέλουμε να ξεπλύνουμε τα άλατα του εδάφους
- Δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας
 - ❖ Μικρές σχετικά είναι οι δαπάνες εγκατάστασης
 - ❖ Μεσαίες έως υψηλές οι δαπάνες εργατικών για πότισμα
 - ❖ Μικρές έως καθόλου οι δαπάνες άντλησης
- Αξιοποίηση διαθέσιμου νερού
 - ❖ Εάν έχει πολύ καλή ισοπέδωση 70% σε βαριά και 60% σε ελαφρά εδάφη
 - ❖ Εάν η ισοπέδωση δεν είναι ικανοποιητική 60% σε βαριά και 65% σε ελαφρά εδάφη

2. Συστήματα τεχνητής βροχής

- Άρδευση με καρούλι
 - Προβλήματα στα συλλογικά αρδευτικά δίκτυα : οι αυξημένες απαιτήσεις των καρουλιών σε παροχή και πίεση οδηγεί σε :
 - ❖ Επεμβάσεις των παραγωγών στις υδροληψίες
 - ❖ Απορύθμιση της λειτουργίας των δικτύων
 - ❖ Δαπανηρές τροποποίησης στα κατασκευασμένα δίκτυα με όχι πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα

- ❖ Αύξηση του κόστους κατασκευής των νέων έργων που τείνουν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις των καρουλίων
- Προβλήματα στους παραγωγούς
 - ❖ Πιθανή καταστροφή της δομής του εδάφους
 - ❖ Πιθανές ζημιές στα νεαρά φυτά
 - ❖ Ανάγκη μεγάλης πίεσης και παροχής
 - ❖ Ανομοιομορφία στην κατανομή της βροχής
 - ❖ Μικρότερο ύψος βροχής στην αρχή και στο τέλος του αγροτεμαχίου
 - ❖ Αυξημένο κόστος προμήθειας και λειτουργίας
 - ❖ Μεγάλο βάρος του μηχανήματος
- Πλεονεκτήματα των καρουλίων
 - ❖ Οικονομία αρδευτικού νερού
 - ❖ Οικονομία εργατικών
 - ❖ Διευκόλυνση της άρδευσης των πυκνών καλλιεργειών όπου η χρήση της κλασσικής τεχνητής βροχής είναι δύσκολη και κοπιαστική
 - ❖ Έλεγχος της αρδευτικής δόσης
 - ❖ Σε κάθε διαδρομή αρδεύεται μεγάλη έκταση
 - ❖ Μικρές ανάγκες συντήρησης
 - ❖ Δυνατότητα εφαρμογής σχεδόν σε κάθε καλλιέργεια
 - ❖ Αυτόματη διακοπή με το τέλος της άρδευσης ή ακόμη και στη περίπτωση κακής περιτύλιξης του εύκαμπτου σωλήνα

- Άρδευση με τεχνητή βροχή
 - Που θα πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτίμηση
 - ❖ Προσαρμόζεται στις περισσότερες τοπογραφικές συνθήκες όταν το χωράφι έχει κλίση μέχρι και 35%
 - ❖ Σε ανώμαλα χωράφια με μικρό βάθος χώματος που δεν επιδέχονται ισοπέδωση
 - ❖ Όταν θέλουμε να προστατεύσουμε δέντρα από τον παγετό
 - ❖ Όταν έχουμε πάρα πολύ ελαφρά εδάφη
 - ❖ Όταν θα πρέπει να εφαρμόσουμε ελαφρές αρδεύσεις
 - ❖ Όταν οι ετήσιες ανάγκες μιας καλλιέργειας είναι μικρές
 - ❖ Όταν έχουμε συνεχή παροχή όλο το 24ωρο
 - Δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας
 - ❖ Μεγάλη σχετική δαπάνη για αγορά υλικών
 - ❖ Πολύ μεγάλη δαπάνη λειτουργίας για εργατικά και ενέργεια 200 - 300Watt/m³
 - Πόσο καλά αξιοποιεί το διαθέσιμο αρδευτικό νερό
 - ❖ Εάν ποτίζουμε κατά την ημέρα με αέρα 60%
 - ❖ Εάν ποτίζουμε κατά τη νύχτα χωρίς αέρα 70%
 - Ζημιές κατά την εφαρμογή
 - ❖ Μειώνεται σημαντικά η διανομή του νερού με αέρα
 - ❖ Εάν η ποιότητα του νερού δεν είναι καλή προκαλεί καψίματα στα φύλλα
 - ❖ Ξεπλένει τα φάρμακα από τα φύλλα

- ❖ Δεν αποδίδει τα αναμενόμενα αποτελέσματα εάν δεν σχεδιαστεί και δεν λειτουργεί σωστά
- Άρδευση με σταγόνες
 - Εφαρμογή κατά προτίμηση
 - ❖ Όταν έχουμε μικρή διαθέσιμη παροχή
 - ❖ Σε γραμμικές καλλιέργειες κυρίως όμως οπωροφόρα ή καλλιέργειες με μεγάλη πρόσοδο
 - ❖ Όταν το διαθέσιμο νερό έχει άλατα
 - ❖ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιεσδήποτε τοπογραφικές συνθήκες
 - ❖ Επιδέχεται αυτοματισμό στην άρδευση
 - ❖ Μειώνει την ανάπτυξη ζιζανίων και επιτρέπει την προσπέλαση στο χωράφι
 - Δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας
 - ❖ Μεγάλες έως πολύ μεγάλες δαπάνες εγκατάστασης
 - ❖ Μέση δαπάνη λειτουργίας, διότι λειτουργεί με μικρή πίεση
 - ❖ Μικρές απαιτήσεις σε εργατικά χέρια
 - Αξιοποίηση αρδευτικού νερού
 - ❖ Έχει μεγάλο βαθμό αξιοποίησης που κυμαίνεται από 80 – 90%
 - Ζημιές από την εφαρμογή του
 - ❖ Εάν δεν γίνει καλό καθαρισμός του νερού φράζουν οι σταλλακτήρες
 - ❖ Εάν το νερό έχει ανθρακικά και άλατα φράζουν οι σταλλακτήρες

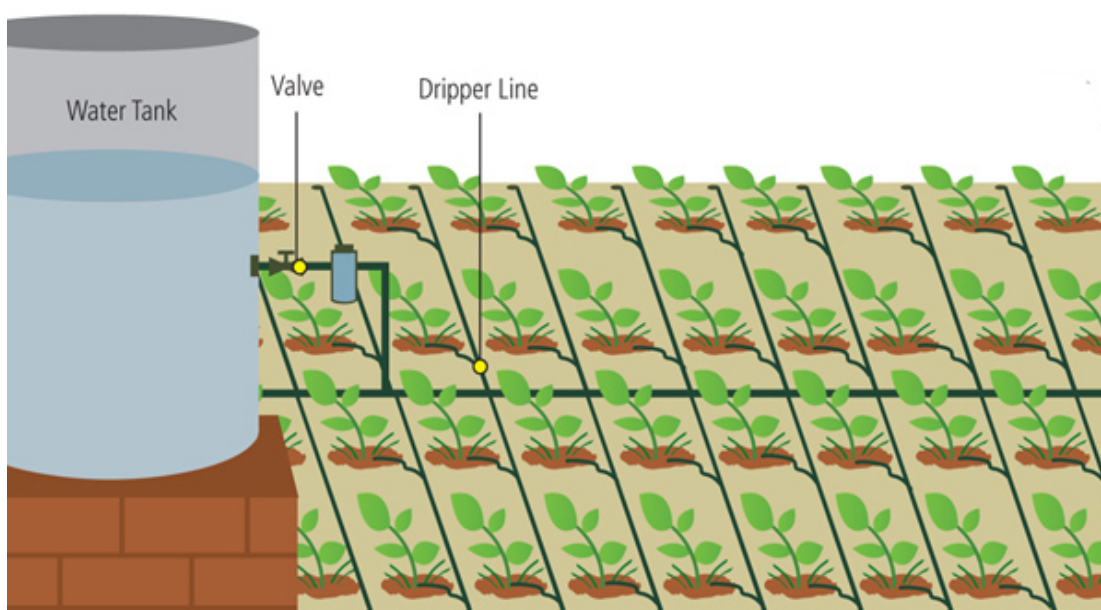
❖ Δημιουργεί αλατότητα και για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνεται

έκπλυση του εδάφους

Πίνακας 3.1: Ενδεικτικές τιμές αποδοτικότητας διανομής, E_d , που αναφέρονται σε οργανωμένα αρδευτικά δίκτυα και αποδοτικότητας εφαρμογής, E_f μεθόδων άρδευσης

Τύπος Δικτύου	Συντήρηση και Λειτουργία	Αποδοτικότητα διανομής, E_d
Επιφανειακά Δίκτυα	Πολύ καλή μέχρι άριστη	0,6 – 0,75
	Ικανοποιητική	0,5 – 0,6
	Ελλιπής	0,35 – 0,5
	Κακή	0,20 – 0,35
Υπό Πίεση Δίκτυα	Ικανοποιητική μέχρι άριστη	0,8 – 0,95
Μέθοδος άρδευσης		Αποδοτικότητα εφαρμογής, E_f
Κατάκλυση (λεκάνες)		0,60-0,80
Περιορισμένη διάχυση (λωρίδες)		0,60-0,75
Αυλάκια		0,50-0,75
Καταιονισμός		0,60-0,80
Μικροάρδευση		0,80-0,95

(Ζ. Παπαζαφειρίου 1999)



Εικ. 3.3: Διάφορα συστήματα άρδευσης
α) με αυλάκια β) με κανόνι γ) στάγδην

Πίνακας 3.2: Σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης
(Πηγή : Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων)

Σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης			
	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 βαθιά	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 εγκαταστάσεις	Μέσες	Υψηλές	Υψηλές έως πολύ υψηλές
Εξοικονόμηση νερού	Μικρή	Μέση έως υψηλή	Υψηλή έως πολύ υψηλή
Δαπάνες εργατικών	Μέση έως υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Απαιτούμενη για πότισμα ενέργεια	Λίγη	Πολύ έως πάρα πολύ	Μέση έως πολύ
Ζημιές από τη μέθοδο εφαρμογής	Διάβρωση, ανύψωση υπόγειας στάθμης	Ασθένειες, βλάβες στο φύλλωμα	Αλατότητα, φράξιμο σταλακτήρων
Ειδική παροχή	Ισοπέδωση του χωραφιού, εκπαίδευση παραγωγού	Άνεμος, ανταλλακτικά, εκπαίδευση παραγωγού	Ανταλλακτικά, εκπαίδευση παραγωγού

3.3 Υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών

3.3.1 Προσδιορισμός Υδατικών Απαιτήσεων

Οι υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών αποτελούν πολύ σημαντικό παράγοντα και ο προσδιορισμός τους αποτέλεσε αντικείμενο πολλών ερευνητικών προσπαθειών. Γενικότερα οι υπάρχουσες σήμερα μέθοδοι προσδιορισμού των υδατικών απαιτήσεων βασίζονται είτε σε κλιματικές παραμέτρους, είτε σε χαρακτηριστικά του εδαφικού νερού, είτε τέλος σε φυτικές παραμέτρους.

Μέθοδοι βασιζόμενες σε κλιματικές παραμέτρους

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε κλιματικά στοιχεία (Howell et al. 1986) χρησιμοποιούν τέσσερις βασικά παράγοντες:

I. Μια εκτίμηση της δυνατής εξατμισοδιαπνοής ($E\Delta_{\delta}$) ή μιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ($E\Delta_a$) για τυπικές καλλιέργειες (γρασίδι ή μηδική) που γίνεται με βάση κυρίως τα κλιματικά στοιχεία.

I. Ένα συντελεστή καλλιέργειας (K_c) ο οποίος περιγράφει τη δυνατή συμμεταβολή της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας ($E\Delta_k$) ως προς την $E\Delta_a$ σε σχέση με την εποχή ή την ανάπτυξη των φυτών.

II. Ένα συντελεστή διαπνοής (K_1) της καλλιέργειας, ο οποίος περιγράφει την ικανότητα της να διαπνέει ανάλογα με τη διαθεσιμότητα σε υγρασία του εδάφους και σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας όπως η ευαισθησία των ριζών, των στομάτων κλπ.

III. Ένα συντελεστή εξάτμισης (K_2) ο οποίος περιγράφει την αύξηση της εξάτμισης του εδάφους, όταν η υγρασία του μεταβάλλεται.

Έτσι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας δίνεται από τη γενική εξίσωση:

$$E\Delta_k = E\Delta_a [K_c K_1 + K_2]$$

Τέτοιες μέθοδοι είναι η μέθοδος Blaney – Griddle και η μέθοδος της εξάτμισης,.

Εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration) ή υδατοκατανάλωση (water consumption) είναι το νερό που αναλώνεται με διαπνοή από τα φυτά και με εξάτμιση από το έδαφος κάτω από ορισμένες συνθήκες υγρασίας εδάφους, κλίματος και ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή εξαρτάται όχι μόνο από την καλλιέργεια αλλά και από πολλούς άλλους εδαφοκλιματικούς παράγοντες και επομένως μεταβάλλεται ανάλογα μ' αυτούς.

Δυνατή εξατμισοδιαπνοή (potential evapotranspiration) είναι κατά τον Penman (1948) η υδατοκατανάλωση μιας εδαφικής έκτασης πλήρως καλυμμένης από βλάστηση, που βρίσκεται συνεχώς σε συνθήκες απεριόριστης διαθέσιμης υγρασίας, ώστε να μπορεί να πραγματοποιήσει τη μέγιστη δυνατή εξατμισοδιαπνοή.

Υδατικές απαιτήσεις (water requirements) μιας καλλιέργειας είναι οι συνολικές ποσότητες νερού που απαιτεί η καλλιέργεια αυτή, για να αναπτυχθεί και να παράγει οικονομικά, ανεξάρτητα από την προέλευσή τους (βροχή, άρδευση, αποθέματα εδάφους). Οι υδατικές απαιτήσεις είναι επομένως ίσες με την εξατμισοδιαπνοή εκείνη που επιτρέπει στην καλλιέργεια να αναπτυχθεί και να παράγει οικονομικά.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή μπορούν να διακριθούν σε εδαφικούς κλιματικούς και διαφόρους (Salter & Goode 1967).

- Στους εδαφικούς περιλαμβάνονται η υδατοπεριεκτικότητα, η υφή, η δομή, το βάθος, η αλατότητα, ο αερισμός, η θερμοκρασία και η δυνατότητα στράγισης του εδάφους.
- Στους φυτικούς περιλαμβάνονται ο τύπος της καλλιέργειας, η πυκνότητα και το βάθος του ριζοστρώματος, ο ρυθμός της ριζικής ανάπτυξης, η

αεροδυναμική ταχύτητα της καλλιέργειας, η αντοχή στην ξηρασία, το είδος και η ποικιλία της καλλιέργειας.

- Στους κλιματικούς περιλαμβάνονται η ηλιοφάνεια, η υγρασία, ο άνεμος, η θερμοκρασία, η βροχή και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Τέλος στους διάφορους μπορούν να περιληφθούν ο διαθέσιμος εδαφικός όγκος και η διάταξη των φυτών, η γονιμότητα του εδάφους, οι καλλιεργητικές φροντίδες και μεταξύ αυτών, ειδικότερα, η μέθοδος άρδευσης.

Γίνεται φανερό ότι το είδος της φυτικής επιφάνειας διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Η όποια σχέση υπολογισμού της ET πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της φυτοκόμης. Επειδή το γεγονός αυτό θα οδηγούσε σε μια ποικιλία σχέσεων, αλλά και σε μεγάλες δυσκολίες ή και αδυναμία για την πειραματική επιβεβαίωσή τους, η τάση που επικρατεί σήμερα είναι η διαμόρφωση και η σχέσεων που αναφέρονται σε καλλιέργειες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά οι οποίες αναφέρονται σαν καλλιέργειες αναφοράς. Η ET που υπολογίζεται στις καλλιέργειες αυτές ονομάζεται εξατμισοδιαπνοή αναφοράς, ET_r . Τον όρο αυτό τον εισήγαγαν ερευνητές όπως οι Wright και Jensen (1972), Jensen (1974), Doorenbos και Pruitt (1977) και Perrier (1978) με σκοπό την αποφυγή των ασαφειών που περιέχονταν στον προηγούμενο όρο της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής.

Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι υπολογισμού της ET_r . Από τις μεθόδους του προσφάτου παρελθόντος, κάποιες χρησιμοποιούν σαν κύρια παράμετρο τη θερμοκρασία του αέρα άλλες την ηλιακή ακτινοβολία, μερικές πιο πρόσφατες, βασίζονται σε συνδυασμό παρατηρήσεων της ακτινοβολίας και όλων εκείνων των

παραμέτρων, φυτικών και κλιματικών που ρυθμίζουν την κίνηση των υδρατμών και τέλος άλλες χρησιμοποιούν παρατηρήσεις εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού.

3.3.2 Μέθοδοι Blaney – Criddle

Σε πρώτη φάση οι Blaney και Morin (1942) ανέπτυξαν μια πρώτη εμπειρική σχέση που βασίστηκε στη συσχέτιση της εξατμισοδιαπνοής με τη μέση θερμοκρασία του αέρα, το μέσο ποσοστό ωρών ημέρας και τη μέση σχετική υγρασία. Στη συνέχεια η σχέση τροποποιήθηκε από τους Blaney και Criddle (1950, 1962) και Blaney et al. (1952) με απαλοιφή του όρου της σχετικής υγρασίας και πήρε την τελική της μορφή.

Η πλήρης σχέση των Blaney-Criddle έχει τη μορφή:

$$U = \sum_{i=1}^n (0.46T_i + 8.13)p_i$$

Όπου U είναι η εποχιακή αναγκαία κατανάλωση σε mm πάχους υδάτινου στρώματος, T_i είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία για κάθε μήνα βλαστικής περιόδου σε $^{\circ}\text{C}$ και p_i είναι το μηνιαίο ποσοστό των ωρών ημέρας του έτους για κάθε μήνα της βλαστικής περιόδου.

3.3.3 Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά SCStc

Η Soil Conservation Service των ΗΠΑ (USDA, 1970) εισήγαγε μια συνθετική σχέση για τον υπολογισμό μηνιαίων τιμών του συντελεστή αναγκαίας κατανάλωσης που περιλαμβάνει έναν κλιματικό, k_t , και έναν φυτικό k_c συντελεστή. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή,

$$K = k_t * k_c$$

όπου το k_t είναι η συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και δίνεται από τη σχέση,

$$k_t=0,03114T+0,240$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του αέρα σε ° C. Τιμές του k_t δόθηκαν από την SCS για διάφορες καλλιέργειες με την μορφή διαγραμμάτων.

Οι Doorenbos και Pruitt (1977) τροποποίησαν ριζικά την αρχική σχέση των Blaney- Criddle και της έδωσαν νέα μορφή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς από χλοοτάπητα. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται σαν τροποποιημένη μέθοδος Blaney – Criddle κατά FAO – 24 και βασίζεται στην γραμμική σχέση που παρατηρήθηκε μεταξύ μετρήσιμων τιμών της ET_r και του παράγοντα f των Blaney – Criddle σε διάφορες πειραματικές θέσεις σε πολλά μέρη του κόσμου. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή $ET_r = a + bf$.

3.3.4 Μέθοδος MAKKINK

Ο Makkink (1957) παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής που εκφράζεται από τη σχέση :

$$ET_p = a + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_s$$

Όπου ET_p είναι η δυναμική εξατμισοδιαπνοή σε mm/d , Δ είναι η κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών – θερμοκρασίας σε kPa /C°. R_s είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης εκφρασμένη σε ισοδύναμο πάχος εξατμιζόμενου νερού σε mm/d, a είναι ένας ειδικός συντελεστής που έχει διαστάσεις mm/d, b είναι ένας διορθωτικός παράγοντας που εξαρτάται από τη μέση σχετική υγρασία, RH_{mean} , και την ταχύτητα του ανέμου κατά τη διάρκεια της ημέρας, U_d .

3.3.5 Μέθοδος του εξατμισιμέτρου

Οι Doorendos και Pruitt (1977) παρουσίασαν μια μέθοδο υπολογισμού της ET_r χορτοτάπητα χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις εξάτμισης από το εξατμισίμετρο τύπου λεκάνης E_p , και συντελεστών εξατμισιμέτρου k_p . Η μέθοδος αυτή που αναφέρεται σαν μέθοδος εξατμισιμέτρου κατά FAO – 24 έχει τη γενική μορφή

$$ET_r = k_p * E_p$$

Όπου ET_r και E_p είναι σε $mm * d^{-1}$ και k_p είναι συντελεστής του εξατμισιμέτρου που δίνεται από πίνακα σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.

3.3.6 Μέθοδοι Penman – Monteith

Αναφορά στην εισαγωγή ενός όρου αντίστασης σε συνδυασμένη εξίσωση υπολογισμού της ET έγινε το πρώτο από τους Monteith (1945) και Rijtema (1965). Αργότερα ο Monteith (1981) παρουσίασε μία τροποποιημένη σχέση του Penman με την εισαγωγή ενός όρου επιφανειακής αντίστασης στη μεταφορά υδρατμών, R_s , και ενός όρου αεροδυναμικής αντίστασης στη μεταφορά αισθητής θερμότητας και υδρατμών r_a . Με την εισαγωγή των όρων αυτών η σχέση που πρότεινε ο Monteith (1981) έχει τη μορφή :

$$\lambda ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_1 \frac{0.622 p}{P} \frac{1}{r_a} (e_s^0 - e_a) \quad (1)$$

η οποία είναι γνωστή με σαν συνδυασμένη εξίσωση Penman – Monteith.

Στη σχέση αυτή η αεροδυναμική αντίσταση r_a δίνεται από τη σχέση

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_w - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_p - d}{z_{ov}} \right]}{(0.41)^2 u_z}$$

και ο παράγοντας γ^* από τη σχέση

$$\gamma^* = \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)$$

όπου z_w είναι το ύψος στο οποίο μετράται η ταχύτητα του ανέμου, z_p είναι το ύψος που μετράται η υγρασία και η θερμοκρασία του αέρα και u_z είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z_w . K_1 είναι ένας διαδραστικός συντελεστής που εξασφαλίζει ώστε τα δύο μέρη της εξίσωσης να έχουν τις ίδιες μονάδες. $K_1 = 8,64 * 10^4$ και το u_z εκφράζεται σε $m * s^{-1}$. Η ποσότητα $h = 1/r_a$ αναφέρεται σαν συντελεστής μεταφοράς ανοδικής θερμότητας. Το z_{om} εκφράζει το ύψος τραχύτητας για τη μεταφορά της ζώσας δύναμης. Το z_{0m} εκφράζει το ύψος τραχύτητας για τη μεταφορά υδρατμών. Το d εκφράζει το ύψος μετατόπισης του μηδενικού επιπέδου.

Σχετικά με τον παράγοντα επιφανειακής αντίστασης στη μεταφορά υδρατμών r_s , πειραματικές εργασίες των Monteith et al. (1965), van Bavel και Ehrler (1968) και Chadhury και Idso (1984) έδειξαν ότι οι ωριαίες τιμές που τείνουν να μεταβάλλονται με τη καθαρή ακτινοβολία R_v . Οι Monteith et al. (1965) υπολόγισαν μέσες ημερήσιες τιμές του R_s , σταθμίζοντας τις ωριαίες τιμές με την αντίστοιχη ωριαία R_n και διαπίστωσαν ότι οι μέσες αυτές τιμές κυμαίνονταν κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου αντιστρόφως ανάλογα με το δείκτη της φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας, LAI. Οι Monteith (1965) και Szeicz Long (1969) διαπίστωσαν ότι μόνο το πάνω μισό μέρος μιας πυκνής καλλιέργειας ήταν ενεργό σε σχέση με τη μεταφορά θερμότητας και υδρατμών. Τέλος οι Allen et al. (1989, 1994), για τον υπολογισμό του r_s πρότειναν τη σχέση

$$r_s = \frac{100}{0,5 LAI}$$

όπου το LAI υπολογίσθηκε σαν συνάρτηση του μέσου ύψους της φυτοκόμης, h_c . Για την περίπτωση ενός καλά συντηρούμενου χορτοτάπητα που το ύψος του διατηρείται σε επίπεδο χαμηλότερο από 15 cm δίνουν τη σχέση

$$LAI = 0.24h_c$$

Και γενικά για χορτοτάπητα και μηδική που το ύψος τους είναι πάνω από 3cm και οι κοπές τους γίνονται περιοδικά, δίνουν τη σχέση

$$LAI = 1,5 \ln(h_c) - 1,4$$

Στην εξίσωση 1 η πυκνότητα ρ και η πίεση του αέρα, P , ελαττώνονται όσο το υψόμετρο μεγαλώνει. Επίσης η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης λ , αλλά και η πυκνότητα του αέρα ρ ελαττώνονται με άνοδο της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό η ποσότητα $K_1 = (0,622\lambda\rho/P)$ ελαττώνεται με άνοδο της θερμοκρασίας. Η ποσότητα αυτή όταν R_n και G δίνονται σε $Mj * m^{-2}*d^{-1}$, P σε kPa και u_2 σε $m*s^{-1}$, μπορεί να προσεγγιστεί από τη σχέση

$$K_1 = \frac{0,622\lambda\rho}{P} = 1710 - 6,85T$$

Όπου T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα σε °C. Κάνοντας χρήση αυτής της σχέσης η εξίσωση τροποποιείται στην:

$$\lambda ET_r = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} (1710 - 6,85T) \frac{1}{r_a} (e_s^0 - e_a)$$

Πολλές εργασίες συνηγορούν για τη χρήση της συνδυασμένης εξίσωσης Penman – Monteith στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Ο Sharma (1985) Hatfield και Fucks (1990) θεωρούν ότι είναι η πιο κατάλληλη εξίσωση για τον υπολογισμό της ET_c και ET_r . Οι Watts και Hancock (1985) χρησιμοποίησαν την εξίσωση για απευθείας υπολογισμούς της ET_c . Οι Perreira και Smith (1989), Smith et al. (1991) και Allen et al.

(1994) , εργαζόμενοι στα πλαίσια Επιτροπής ειδικών του FAO για την αναθεώρηση των μεθοδολογιών υπολογισμού των απαιτήσεων των καλλιεργειών σε νερό συνιστούν τη συνδυασμένη μέθοδο Penman – Monteith σαν την κύρια μέθοδο υπολογισμού της ET_r από χορτοτάπητα και για τον προσδιορισμό των φυτικών συντελεστών των καλλιεργειών.

Κατά την παραπάνω επιτροπή ειδικών του FAO η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα, ET_r ορίζεται σαν η εξατμισοδιαπνοή από μια υποθετική καλλιέργεια αναφοράς που έχει σταθερό ύψος 12cm. επιφανειακή αντίσταση στη μεταφορά υδρατμών $r_s = 70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ και ανακλαστικότητα επιφάνειας (albedo) $\alpha = 0,23$, που παρομοιάζει απόλυτα την εξατμισοδιαπνοή από μια εκτεταμένη επιφάνεια χορτοτάπητα με ομοιόμορφο ύψος, που αναπτύσσεται δυναμικά, που σκιάζει πλήρως το έδαφος και έχει επάρκεια νερού. Στην περίπτωση αυτή, που $r_s = 70 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1}$ και το r_a υπολογίζεται από τη σχέση (2) για σταθερό ύψος $h_c = 0,12 \text{ m}$, η εξίσωση Penman Monteith παίρνει την πιο απλοποιημένη μορφή

$$ET_r = [0,408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_a^s - e_a)] [\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)]^{-1}$$

Η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται σαν συνδυασμένη μέθοδος Penman – Monteith κατά FAO

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 Υλικά και Μέθοδοι

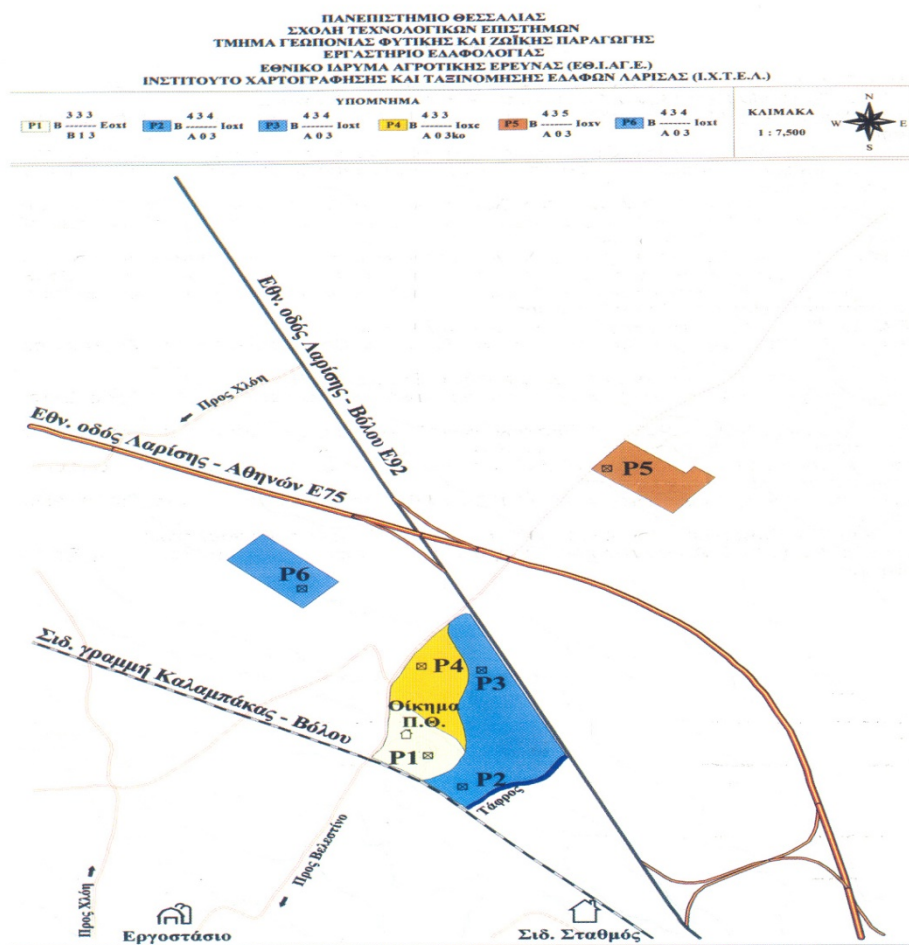
4.1 Γενικά – Οριοθέτηση – Σχέδιο πειραματικού Αγρού

Η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα του Γλυκού Σόργου (Sorghum Bicolor L. Moench) Sugargraze μελετήθηκε σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό τεμάχιο του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο (Εικ. 4.1 & Εικ.4.2) την καλλιεργητική περίοδο 2011. Οι συντεταγμένες του αγροκτήματος είναι $39^{\circ} 23' 38,06''$ το γεωγραφικό του πλάτος και $22^{\circ} 45' 23,64''$ το γεωγραφικό μήκος και βρίσκεται σε υψόμετρο 50m από την επιφάνεια της θάλασσας. Το κλίμα της περιοχής είναι τυπικό μεσογειακό χαρακτηριζόμενο από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες. Οι σπορές της πραγματοποιήθηκαν στις 6 Ιουνίου . Η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ελαφρού καλλιεργητή και σπορέα 3 θέσεων. Οι γραμμές σποράς συμβάδιζαν με τις γραμμές άρδευσης και ελαχιστοποιήθηκε η συμπίεση του εδάφους.

Η συνολική επιφάνεια που περιελάμβανε ο συγκεκριμένος αγρός ήταν 192 τ.μ. χωρίς να συμπεριλαμβάνονται ο κεντρικός και οι πλευρικοί διάδρομοι. Η επιφάνεια του κάθε τεμαχίου ήταν 32 τετραγωνικών μέτρων.

Εικόνα 4.1: Δορυφορική απεικόνιση του πειραματικού αγροτεμαχίου





Εικόνα 4.2: Οριοθέτηση του αγροκτήματος στο Βελεστίνο

Αισθητήρας (Α100)	Διάδρομος	Penman – Montieth (Ε100)
Penman – Montieth (Ε100)		Αισθητήρας (Α100)
Αισθητήρας (Α100)		Penman – Montieth (Ε100)

Σχήμα 4.1 : Πειραματικός αγρός για την ανάπτυξη του γλυκού σόργου με δύο μεθόδους άρδευσης

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)

4.2 Ευφυές Σύστημα Στάγδην Άρδευσης

Σύστημα ευφυούς άρδευσης χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση της μεταχείρισης A100. Το σύστημα περιελάμβανε τους ίδιους 3 τύπους αγωγών που χρησιμοποιήθηκαν και στις άλλες μεταχειρίσεις. Δηλαδή, τους κύριους αγωγούς μεταφοράς νερού, τους δευτερεύοντες αγωγούς μεταφοράς και τους αγωγούς εφαρμογής. Ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού ήταν κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 32mm και μετέφερε νερό από τη δεξαμενή έως την υδροληψία του πειραματικού τεμαχίου. Η διαφορά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις έγκειται στο γεγονός ότι, ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού τροφοδοτεί έναν (αντί για δύο) δευτερεύοντα αγωγό τροφοδοσίας (κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο και διάμετρο 25mm) και αυτός με τη σειρά του δώδεκα επιφανειακούς (3 για κάθε επανάληψη).

Για την άρδευση της μεταχείρισης A100 χρησιμοποιήθηκε άλλη δεξαμενή, χωρητικότητας 50m³, και όχι η ίδια που χρησιμοποιήθηκε για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις του πειράματος. Η δεξαμενή αυτή τροφοδοτούνταν με νερό από την ίδια γεώτρηση με την άλλη. Λόγο ύπαρξης αυτής της ξεχωριστής – δεύτερης δεξαμενής αποτελούσε το γεγονός ότι, ήταν εφοδιασμένη με ειδικό σύστημα αντλίας και πιεστικό δοχείο που εξασφάλιζε συνεχή παροχή νερού στο σύστημα, ολόκληρο το 24ώρο.

Εκτός από την ύπαρξη αποκλειστικής δεξαμενής για την μεταχείριση A100, χρησιμοποιήθηκε και αποκλειστική κεφαλή ελέγχου για την μεταχείριση αυτή. Χρησιμοποιήθηκε δηλαδή μία κεφαλή ελέγχου αποκλειστικά για την μεταχείριση A100 και μία δεύτερη για τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η κεφαλή ελέγχου της μεταχείρισης A100 περιελάμβανε τα ακόλουθα μέρη:

- Αντλητικό συγκρότημα, το οποίο είχε τη δυνατότητα άντλησης νερού από βάθος 3m, το οποίο εξασφάλιζε σταθερή πίεση 2,5 atm.

- Φίλτρο σήτας για την κατακράτηση των φερτών υλικών που τυχόν μεταφέρονταν με τον αγωγό μεταφοράς.
- Ειδικά μανόμετρα, τοποθετημένα πριν και μετά το φίλτρο για τον έλεγχο τυχόν έμφραξής του.
- Ειδική βαλβίδα αντεπιστροφής. Σκοπός της, η αποφυγή φαινομένων αναρρόφησης κατά τη διακοπή της άρδευσης και επομένως αποφυγή εισρόφησης φερτών υλικών στους σταλακτήρες του υπόγειου συστήματος.
- Έναν κεντρικό υδρομετρητή για τον έλεγχο της ποσότητας νερού που διέρχονταν από αυτό και κατέληγε στους κύριους αγωγούς μεταφοράς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση της ποσότητας αυτής, με την ποσότητα νερού που κατέγραφε καθένας από τους υδρομετρητές στην είσοδο κάθε πειραματικού τεμαχίου.
- Φίλτρο συγκράτησης φερτών υλικών τοποθετημένο πριν την ηλεκτροβάννα.
- Μία ηλεκτροβάννα, η οποία διέφερε από τις υπόλοιπες των άλλων έξι μεταχειρίσεων, διότι η συγκεκριμένη ήταν εναλλασσόμενου ρεύματος 24 Volt.
- Αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους συνδεδεμένο με data logger για τον έλεγχο της ηλεκτροβάννας.

4.3 Όργανα Μέτρησης

4.3.1 Ποσότητα Νερού

Μέσω υδρομετρητών ελέγχονταν και καταγράφονταν η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού άρδευσης, σε κάθε άρδευση. Χρησιμοποιήθηκε ένας υδρομετρητής για κάθε επανάληψη, δηλαδή 3 υδρομετρητές συνολικά για την μεταχείριση A100. Η καταγραφή των ποσοτήτων νερού που χορηγούνται, γινόταν πριν και μετά το τέλος της κάθε άρδευσης. Επιπλέον, πραγματοποιούνταν σύγκριση της συνολικής ποσότητας νερού που κατέγραψαν οι υδρομετρητές, με την ποσότητα που κατέγραψε ο κεντρικός υδρομετρητής στην κεφαλή ελέγχου.

Με τη διενέργεια τακτικού ελέγχου των υδρομετρητών, εξασφαλίστηκε η έγκαιρη διαπίστωση και αποκατάσταση τυχόν δυσλειτουργιών ή αστοχία του συστήματος. Κατ' αυτό τον τρόπο, κατέστη δυνατός ο έλεγχος της ομοιομορφίας εφαρμογής του νερού άρδευσης και των τυχόν αποκλίσεων από την επιθυμητή δόση άρδευσης.

4.3.2 Εδαφική Υγρασία

Βασική παράμετρο των αρδεύσεων αποτελεί τόσο η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, όσο και η μέτρηση των μεταβολών της. Η εδαφική υγρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις μεθόδους άρδευσης, οι οποίες στοχεύουν στη διατήρησης της σε ένα ορισμένο εύρος τιμών, καθορίζοντας έτσι το χρόνο και την ποσότητα νερού που θα εφαρμοσθεί σε κάθε άρδευση.

Έχουν χρησιμοποιηθεί και άμεσες και έμμεσες μέθοδοι, για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Λήψη εδαφικών δειγμάτων, στα οποία εφαρμόζονται χημικές τεχνικές ή τεχνικές θέρμανσης για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου νερού, απαιτούν

οι άμεσες μέθοδοι. Η κυριότερη από τις άμεσες μεθόδους είναι η θερμοβαρυμετρική.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των άμεσων μεθόδων είναι τα εξής:

- Είναι χρονοβόρες, διότι για την πραγματοποίησή τους απαιτούνται τουλάχιστον 2 ημέρες.
- Η λήψη δειγμάτων διαταράσσει το έδαφος στο σημείο δειγματοληψίας.
- Για την αποφυγή της χωρικής παραλλακτικότητας απαιτείται η λήψη πολλών δειγμάτων.

Ωστόσο, οι άμεσες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας σε πολλές περιπτώσεις και ειδικά στη βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων λόγω της ακρίβειάς τους.

Σε μετρήσεις φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους που σχετίζονται με την εδαφική υγρασία βασίζονται οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού αυτής. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από αισθητήρες που είναι μόνιμα εγκατεστημένοι στο έδαφος και οι οποίοι συνδέονται με μονάδα μέτρησης, κάθε φορά που απαιτείται να γίνει καταγραφή της εδαφικής υγρασίας. Σε κάποιες περιπτώσεις η μέτρηση πραγματοποιείται με φορητούς αισθητήρες, οι οποίοι διεισδύουν απευθείας στο έδαφος ή σε ειδικούς προεγκατεστημένους σε αυτό σωλήνες. Η δυνατότητα καταγραφής της εδαφικής υγρασίας στο ίδιο σημείο σε διαδοχικές χρονικές περιόδους, είναι αυτή που έχει κάνει τις έμμεσες μεθόδους να πλεονεκτούν έναντι των άμεσων. Η πιο διαδεδομένη έμμεση μέθοδος είναι αυτή της T.D.R. Η μέθοδος T.D.R. είναι γνωστή ως μέθοδος μέτρησης ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικού παλμού ή χρονικής ανακλασιμετρίας. Είναι μία μη πυρηνική μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους

(Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.α., 1997) και βασίζεται στη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους.

4.3.3 Μετεωρολογικά δεδομένα

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής ο οποίος βρίσκεται στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Μετεωρολογικός σταθμός του Αγροκτήματος

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα υγρό και ξηρό θερμόμετρο, βροχόμετρο (Εικόνα (4.1), πυρανόμετρο και ανεμόμετρο.



Εικόνα 4.2: Βροχόμετρο

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

Ο μετεωρολογικός σταθμός έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει αυτόματα την εξατμισοδιαπνοή με τη μέθοδο Penman – Monteth που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

4.3.4 Ευφύες σύστημα άρδευσης



Εικόνα 4.4 : Ο αισθητήρας EnviroSMART και η κεφαλή ελέγχου με τα φίλτρα, την ηλεκτροβάννα και τον data logger

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, ήδη αναφέρθηκε ότι στη μεταχείριση A100 χρησιμοποιήθηκε το EnviroSMART σύστημα της εταιρείας SENTEK. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας, αλλά και για την ευφυή εφαρμογή της στάγδην άρδευσης στη μεταχείριση A100. Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα υπάρχοντα συστήματα, διότι μπορεί να συνδεθεί με επιπλέον τεχνολογικό εξοπλισμό σε επίπεδο αγρού. Αυτό το γεγονός, το κάνει να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων υπάρχοντων συστημάτων.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από έξι λειτουργικά μέρη τα οποία είναι:

- Το κύριο μέρος αποτελεί ο επεξεργαστής (EnviroSMART) και τα 3 ηλεκτρόδια παραγωγής ηλεκτρικού πεδίου, τα οποία είναι προσαρμοσμένα πάνω σε κυματοδηγό.

- Το δευτερεύον μέρος αποτελεί ο καταγραφέας δεδομένων (data logger), ο σωλήνας εισόδου του αισθητήρα στο έδαφος το προστατευτικό κάλυμμα και το καλώδιο τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος.

Η γενική αρχή λειτουργίας του συστήματος έγκειται στην παραγωγή κυμάτων ραδιοσυχνότητας, χάρη στα οποία μετράτε η χωρητικότητα του εδάφους. Ως μέσο για την αποκατάσταση κλειστού κυκλώματος πυκνωτή το οποίο αποτελεί μέρος βρόγχου ανατροφοδότησης ενός ταλαντωτή υψηλής συχνότητας, δρα το έδαφος. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται γύρω από κάθε ηλεκτρόδιο του αισθητήρα, η χωρητικότητα του εδάφους μετατρέπεται σε τιμές διηλεκτρικής σταθεράς. Εν συνέχεια, η διηλεκτρική σταθερά μετατρέπεται σε εδαφική υγρασία %κ.ο. ακολουθώντας τη μέθοδο T.D.R. Όμως, με τη διαφορά ότι αντί για την καταγραφή του χρόνου υστέρησης μεταξύ της εκπομπής και λήψης ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού καταγράφεται η διαφορετική συχνότητα ενός ραδιοκύματος. Το σύστημα Envirosmart είναι ένας αισθητήρας ηλεκτρικού δυναμικού, ο οποίος μετατρέπει ένα αναλογικό ηλεκτρικό σήμα σε % κ.ο. υγρασία εδάφους. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από ένα αισθητήρα ή από περισσότερους επιλεγμένους αισθητήρες, αποδίδοντας μία τιμή η οποία και προκύπτει από το σύνολο των μετρήσεων κάθε αισθητήρα. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται μία σάρωση όλων των αισθητήρων οι τιμές που συλλέγονται μετατρέπονται σε pins και αποθηκεύονται έως ότου πραγματοποιηθεί νέα σάρωση. Αμέσως μετά την τροφοδοσία του αισθητήρα με ηλεκτρική ενέργεια αρχίζει η σάρωση και η καταγραφή γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το εύρος αυτών των χρονικών διαστημάτων επιλέγεται από το χρήστη, και για όσο υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για τη λειτουργία του.

Το σύστημα Envirosmart έχει τη δυνατότητα είτε συνεχούς λειτουργίας, είτε διακοπτόμενης. Στη πρώτη περίπτωση, ο αισθητήρας είναι σε λειτουργία συνεχώς καταγράφοντας δεδομένα και διατηρώντας στη μνήμη του μόνο αυτά που καταγράφονται στο χρόνο που έχει προεπιλεγεί. Αντιθέτως, στη δεύτερη περίπτωση, αμέσως μετά την καταγραφή των δεδομένων και την αποθήκευσή τους, τίθεται εκτός λειτουργίας και επαναλειτουργεί όταν ο data logger τον τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ικανή για την επανέναρξη της λειτουργίας του. Στην δεύτερη περίπτωση, απαιτείται ως προϋπόθεση η σύνδεση του αισθητήρα με data logger. Το λογισμικό που διαθέτει του δίνει τη δυνατότητα να συνδέει το ηλεκτρικό δυναμικό με το βάθος, τις κανονικοποιημένες τιμές υγρασίας και περιεχόμενου όγκου αέρα στο έδαφος καθώς και άλλων πληροφοριών όπως είναι η ημερομηνία, το εύρος μέτρησης και το ηλεκτρικό δυναμικό εξόδου. Οι πληροφορίες αυτές καθορίζουν το ποσοστό % κ.ο. της περιεχόμενης στο έδαφος υγρασίας. Ο αισθητήρας είναι εφοδιασμένος με πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας, στον οποίο αποθηκεύεται ενέργεια ικανή να διατηρήσει σε λειτουργία τον αισθητήρα για ακριβώς 2 εβδομάδες από τη στιγμή που διακοπεί κάθε είδους παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τροφοδοσία του συστήματος Envirosmart γινόταν από το δίκτυο της ΔΕΗ και επικουρικά υποστηρίζονταν από χημική πηγή ενέργειας (μπαταρία) 9V. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει έως 8 αισθητήρες. Από αυτούς, οι 4 μπορούν να καταγράφουν δεδομένα και αυτά με τη σειρά τους, να μετατρέπονται σε κατάλληλα pins εξόδου. Επιπροσθέτως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρεις ανεξάρτητοι αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτών των αισθητήρων μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μια έξοδο.

Το σύστημα Envirosmart, από τεχνολογικής άποψης, παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι τα εξής:

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

Οι πρακτικές ωφέλειες από την εφαρμογή αυτού του συστήματος είναι εξίσου σημαντικές με τα τεχνολογικά πλεονεκτήματά του. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι πρακτικές ωφέλειες του συστήματος:

Το κόστος μειώνεται διότι δεν απαιτείται επιπλέον άχρηστος εξοπλισμός (όπως επιπλέον data loggers).

Το κέρδος του παραγωγού αυξάνεται εξαιτίας της αύξησης της παραγωγής και της βελτίωσης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Είναι ένα ευέλικτο σύστημα καταγραφής της εδαφικής υγρασίας. Μπορεί να συνδυαστεί με τον ιδιαίτερο εξοπλισμό που μπορεί να διαθέτει ο εκάστοτε παραγωγός.

Αποτελεί αξιόπιστο και ακριβές σύστημα σύγχρονης τεχνολογίας, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περισσότερες από 100 διαφορετικές καλλιέργειες.

Είναι ικανό να αξιοποιεί τον εξοπλισμό που ήδη διαθέτει ο παραγωγός (εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σύστημα άρδευσης κ.α.) για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, ενέργειας και χημικών.

Μπορεί να μεγιστοποιεί τις επιστροφές χρημάτων.

Μειώνει τις απώλειες νερού άρδευσης λόγω βαθιάς διήθησης και την έκπλυση θρεπτικών ουσιών.

Ο GP1 της εταιρείας Delta-T devices ήταν ο data logger που χρησιμοποιήθηκε. Περιλαμβάνει επτά κανάλια, δύο διαφορικά αναλογικά κανάλια (κανάλι 1 και 2), δύο κανάλια θερμοκρασίας/αντίστασης (κανάλι 3 και 4), δύο κανάλια ανάγνωσης (κανάλι 5 και 6) και ένα κανάλι για το διακόπτη (Relay). Οι αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους συνδέονται στα δύο πρώτα κανάλια, τα θερμόμετρα συνδέονται στα κανάλια 3 και 4 και το εύρος του σήματος πρέπει να είναι -2,8 έως +3,6V. Συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα και συχνότητα (ροόμετρα) συνδέονται στο κανάλι 5, ενώ στο κανάλι 6 συνδέονται συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μικρή συχνότητα (βροχόμετρα). Το κανάλι του Relay δεν είναι τίποτα περισσότερο από έναν διακόπτη ανοίγματος/κλεισίματος (On/Off). Ο GP1 λειτουργεί με μπαταρία 9V, η οποία πρέπει να αντικαθίσταται όταν το ηλεκτρικό δυναμικό που δίνει πέφτει κάτω από τα 5,5V. Τα δεδομένα που έχουν ήδη καταγραφεί στη μνήμη του GP1 δεν χάνονται κατά την αντικατάσταση της μπαταρίας, αλλά δεν είναι δυνατή η καταγραφή νέων. Ο GP1 συνοδεύεται από:

Το Delta-Link που είναι το κατάλληλο λογισμικό, είναι συμβατό με το περιβάλλον εργασίας Windows 98, Me, 2000, XP ή κάποια νεότερη έκδοση.

Το ειδικό καλώδιο USB και RS232 για την σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Τον σκληρό δίσκο χωρητικότητας 10MB.

Το λογισμικό μεταφοράς των δεδομένων σε φύλλο εργασίας (Microsoft Excel 97 ή νεότερο).

Το λογισμικό ανάγνωσης κειμένου (Acrobat Reader) (Delta – T Devices, 2007, Sentek Pty Ltd, 2006).

Ανεξάρτητα από το σύστημα άρδευσης των υπολοίπων μεταχειρίσεων λειτουργούσε το ευφύες σύστημα στάγδην άρδευσης της μεταχείρισης. Η αρχή λειτουργίας του βασίζονταν στην καταγραφή της μέσης % κ.ο. υγρασίας εδάφους, σε βάθος 90cm, από τον αισθητήρα Envirosmart ενώ οι διάφορες τιμές της καταγράφονταν σε data logger ανά 30 λεπτά της ώρας. Ο συγκεκριμένος data logger διέθετε ειδικό relay (διακόπτη on-off) στον οποίο συνδέθηκε ηλεκτροβάννα εναλλασσόμενου ρεύματος 24V. Επιλέχθηκε ένα ανώτατο όριο και ένα κατώτατο όριο εδαφικής υγρασίας, μέσω του ειδικού λογισμικού του συστήματος, τα οποία όταν καταγράφονταν από τον αισθητήρα και αποθηκεύονταν στον data logger καθόριζαν την λήξη και έναρξη της άρδευσης, αντίστοιχα. Ως ανώτατο όριο επελέγη η μέση τιμή της εδαφικής υγρασίας σε βάθος 0-60cm όταν το έδαφος βρισκόταν στην υδατοικανότητα ($FC=35\%$ κ.ο.) και ως κατώτατο όριο το 75% αυτής ($USM=28\%$ κ.ο.). Το ποσοστό αυτό προέκυψε από την ωφέλιμη υγρασία εδάφους (Useful Soil Moisture, USM) (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999).

Το έδαφος, θεωρητικά, μπορεί να εφοδιάσει με νερό τα φυτά μιας καλλιέργειας έως ότου η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης (Permanent Wilt Point, PWP). Η συνολική αυτή ποσότητα νερού αποτελεί τη διαθέσιμη υγρασία εδάφους (Available Soil Moisture, ASM). Ωστόσο, όσο η υγρασία του εδάφους μειώνεται τόσο πιο ισχυρά συγκρατείται το περιεχόμενο νερό στα κολλοειδή του εδάφους και επομένως τα φυτά δυσκολεύονται να απορροφήσουν τις απαραίτητες ποσότητες για την κάλυψη των αναγκών τους. Έτσι, όταν η περιεχόμενη υγρασία εδάφους πέφτει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο τότε τα φυτά υφίστανται υδατική καταπόνηση. Το κλάσμα της ASM που μπορεί εύκολα να απορροφήσει ένα φυτό από

το έδαφος χωρίς να υποστεί υδατική καταπόνηση ισούται με την USM (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999).

Δηλαδή:

$$USM = F \times ASM \quad (\text{σε mm})$$

και

$$ASM = \frac{(FC - PWP)}{100} \times RD \quad (\text{σε mm})$$

όπου:

ASM είναι η μέγιστη διαθέσιμη υγρασία εδάφους (mm),

USM είναι η άμεσα διαθέσιμη υγρασία εδάφους (mm),

FC είναι η υγρασία στην υδατοϊκανότητα (% κ.ο.),

PWP είναι η υγρασία στο σημείο μόνιμης μάρανσης (% κ.ο.),

RD είναι το βάθος ριζοστρώματος (mm)

F είναι ο συντελεστής εξάντλησης υγρασίας της καλλιέργειας (για το σόργο $p=0,55$) (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999). Οι Rogers et al. (1998) αναφέρουν ότι για την καλλιέργεια του σόργου ο συντελεστής εξάντλησης υγρασίας της καλλιέργειας μπορεί να φτάσει το 0,4 ή ακόμη και το 0,3 χωρίς η καλλιέργεια να παρουσιάσει σημάδια υδατικής καταπόνησης. Ο συντελεστής εξάντλησης υγρασίας της καλλιέργειας, στην παρούσα εργασία, θεωρήθηκε ίσος με 0,55, ενώ το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος ήταν ίσο με 60cm μετά από σχετικές μετρήσεις.

Το σύστημα ενεργοποιούσε την ηλεκτροβάνα (έναρξη άρδευσης) όταν καταγράφονταν εδαφική υγρασία ίση με 28% κ.ο. ($USM=28\% \kappa.ο.$) και την απενεργοποιούσε (λήξη της άρδευσης) όταν καταγράφονταν εδαφική υγρασία ίση με 35% κ.ο. ($FC=35\% \kappa.ο.$). Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι ακέραιες τιμές πλησίον των υπολογισμένων τιμών ($USM=28\% \kappa.ο.$ και $FC=35\% \kappa.ο.$, αντίστοιχα) λόγω

του γεγονότος ότι ο αισθητήρας ήταν προρυθμισμένος να διαβάζει και να αποδίδει ακέραιες τιμές εδαφικής υγρασίας.

4.4 Υλικά άρδευσης

Για την άρδευση του πειραματικού αγρού, επιλέχθηκε η μέθοδος της επιφανειακής στάγδην άρδευσης..

Οι κύριοι και οι δευτερεύοντες αγωγοί μεταφοράς του επιφανειακού ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 25 και 20 mm αντίστοιχα με ονομαστική πίεση λειτουργίας τις 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 1,56 m και η τοποθέτηση τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας. Η ισαποχή των σταλακτήρων (emitters) επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,8 m. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι (της εταιρίας Netafim), παροχής $2,3 \text{ l h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 3,5 atm. Πραγματοποιήθηκε επίσης η τοποθέτηση ηλεκτροβανών (μία για 3 πειραματικά τεμάχια της ίδιας μεταχείρισης), με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης, και υδρομετρητές, αντίστοιχα με τις ηλεκτροβάνες, για τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης. Οι ηλεκτροβάνες ήταν τύπου netafim, με τάση λειτουργίας 9 V. Ένα από τα υδρόμετρα που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα φαίνεται στην Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Υδρόμετρο

Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή Miracle DC της εταιρίας Netafim (Εικόνα 4,6).



Εικόνα 4.6.: Προγραμματιστής άρδευσης

Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC 6, που λειτουργεί με μπαταρία, έχει τη δυνατότητα προγραμματισμού άρδευσης μέχρι και 6 ηλεκτροβανών, σε 3 διαφορετικά προγράμματα. Ο προγραμματιστής αποτελείται από τα εξής : Την οθόνη,

τα τρία πλήκτρα εντολών, μια μπαταρία λιθίου 9 V, το άνοιγμα για τα καλώδια, τον πίνακα ελέγχου, το τερματικό τμήμα των καλωδίων και το πλαίσιο στήριξης.

Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα συνεχούς άρδευσης για 9 h και 59 min, μπορεί να προγραμματισθεί με βάση ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα άρδευσης, διαθέτει την ικανότητα καθυστέρησης της άρδευσης έως και 99 ημέρες, παρέχει τη δυνατότητα μείωσης ή αύξησης των δόσεων άρδευσης μέχρι ποσοστού 100% σε βήματα του 10%, δίνει τη δυνατότητα της ανεξάρτητης ακύρωσης ενός ή περισσότερων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα, επίσης σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά τη προβληματική στάση και συνεχίζει την άρδευση στην επόμενη χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της κεντρικής βάνας και τέλος διαθέτει πρόγραμμα ασφαλείας 10 min για την κάθε ημέρα.

Για τη συγκέντρωση και διάθεση του προς άρδευση καθαρού ύδατος χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50m³ (Εικόνα 4,7)



Εικόνα 4.7.: Τσιμεντένια δεξαμενή

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 Αποτελέσματα – Συζήτηση

5.1 Κλιματικά Δεδομένα

Στο διάγραμμα 5,1 παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση), που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου στο Βελεστίνο. Παράλληλα πραγματοποιείται η σύγκριση τους με τις μέσες κλιματικές τιμές θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης της τελευταίας 25τίας για την υπό μελέτη περιοχή.

Από το παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ότι το 2011 είχαμε περίπου τις ίδιες βροχοπτώσεις τους μήνες του καλοκαιριού, σε σύγκριση με τις προηγούμενες χρονιές, ότι οι θερμοκρασίες ήταν περίπου ίδιες με τον μέσο όρο των τελευταίων ετών. Η καλλιεργητική περίοδος του 2011 χαρακτηρίστηκε από κανονικές τιμές βροχόπτωσης τον Ιούνιο 28.4 mm (παρεμφερείς δηλαδή με τις προηγούμενης 25ετίας 27 mm), μηδενικές τιμές τον Ιούλιο και υψηλές τιμές βροχόπτωσης για τον μήνα Αύγουστο 42,6 mm και 23,8 mm τον μήνα Σεπτέμβριο, μέχρι τις 19/9 δηλαδή ημέρα που πραγματοποιήθηκε η τελική κοπή . Σε γενικά επίπεδα πάντως όπως προαναφέρθηκε, το σύνολο των κατακρημνισμάτων 130,6 mm (0.1 mm d^{-1}) ήταν παρεμφερές με το μέσο όρο της 25ετίας. Οι ικανοποιητικές τιμές βροχόπτωσης που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου επέδρασαν θετικά στην αναπτυξιακή διαδικασία της φυτείας προάγοντας παράλληλα την ορυκτοποίηση και απορρόφηση μεγαλύτερων ποσοτήτων αζώτου (μεγάλο ριζικό σύστημα).

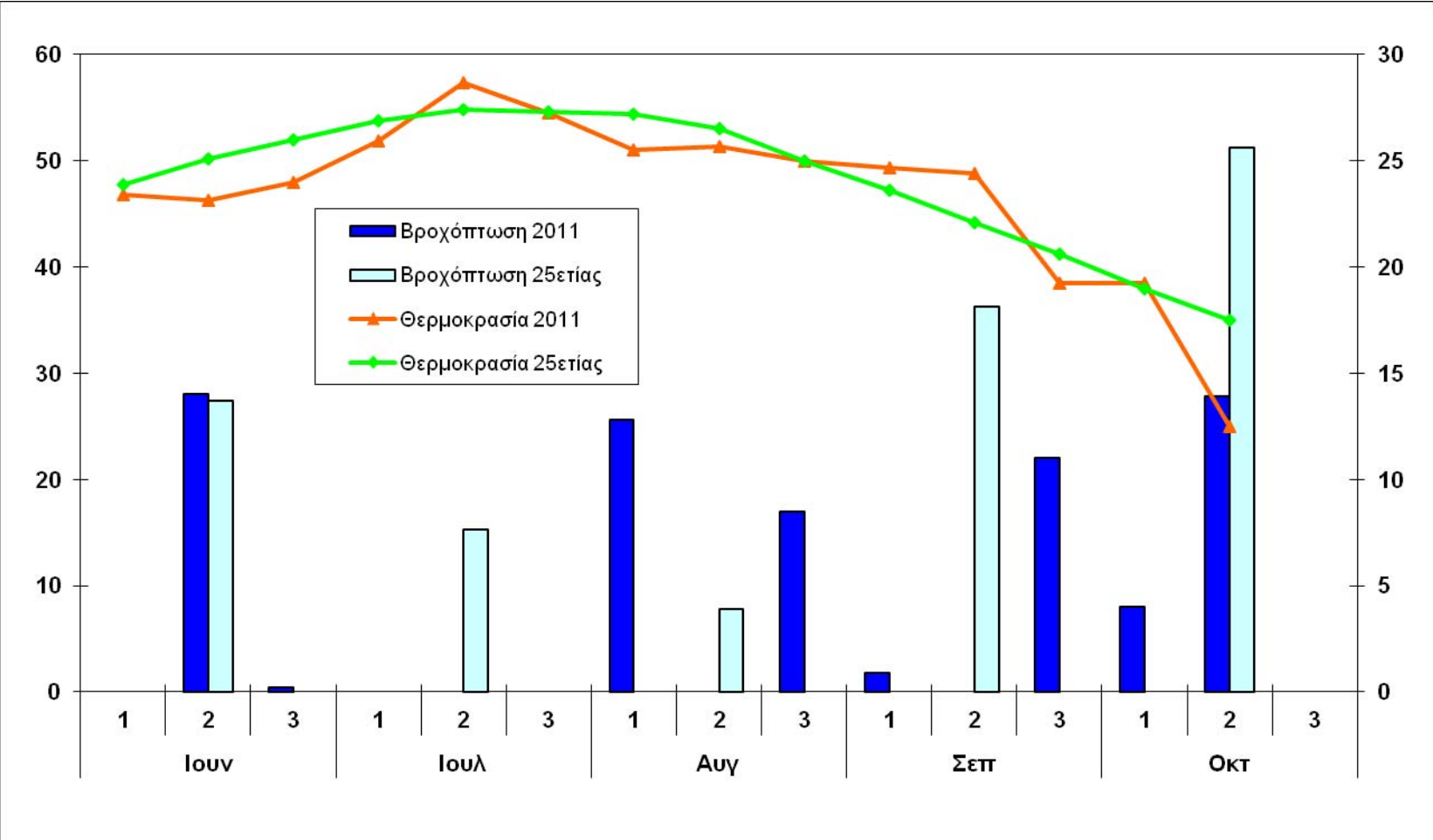
Αντίστοιχα με τις τιμές των βροχοπτώσεων, οι θερμοκρασίες του αέρα κυμάνθηκαν σε λογικά πλαίσια όντας ηπιότερες σε σχέση με την προηγούμενη 25ετία. Έτσι

παρατηρήθηκαν μειωμένες ποσοστιαία αποκλίσεις της θερμοκρασίας από τις μέσες τιμές της προηγούμενης 25ετίας της τάξης 2 – 5 %.

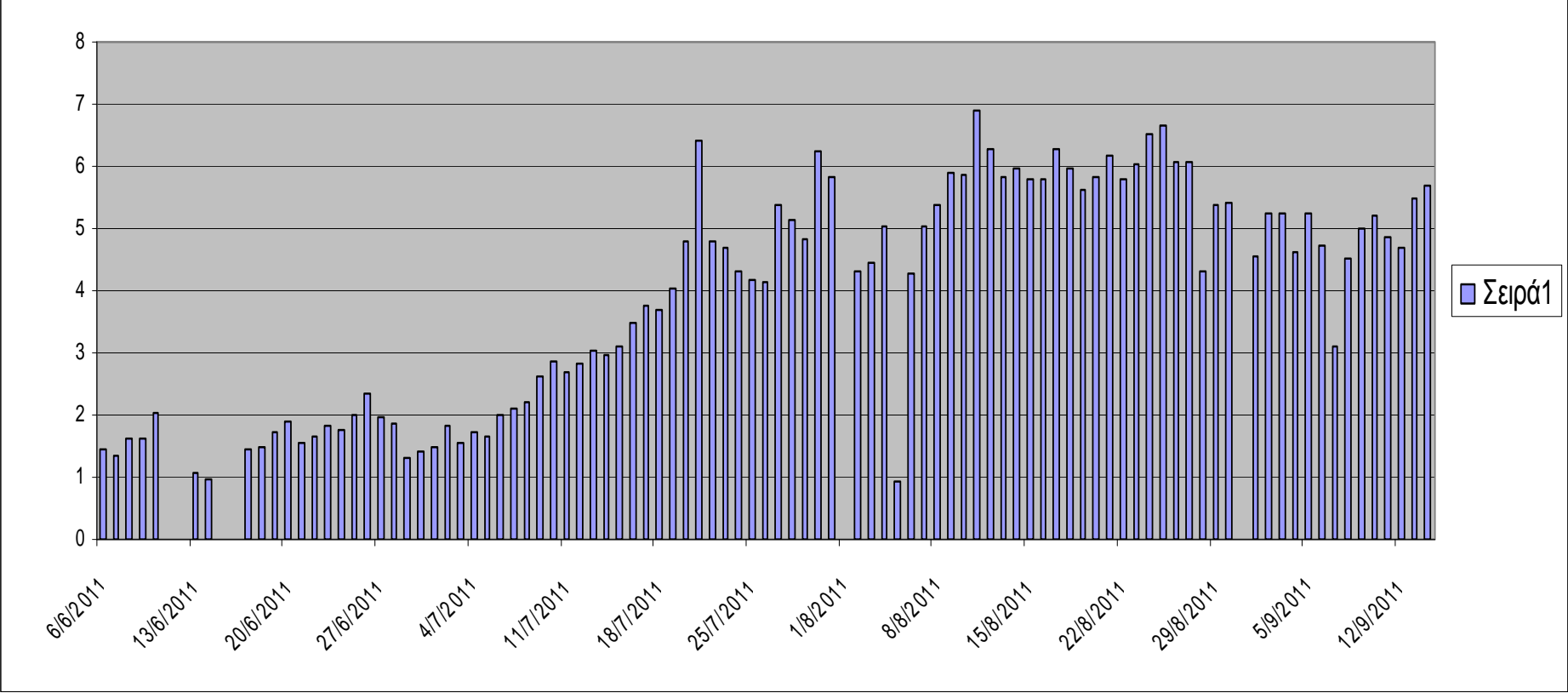
Στο διάγραμμα 5,2 και στον πίνακα 5,2 παρουσιάζονται οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του σόργου στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011, οι οποίες υπολογίστηκαν με βάση τον μετεωρολογικό σταθμό. Μπορούμε να παρατηρήσουμε εύκολα ότι οι μεγαλύτερες τιμές εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκαν κατά το μέσο του Ιουλίου και του Αυγούστου.

Μήνας	Μ.Ο. Εξατμισοδιαπνοής (mm * d ⁻¹)
ΙΟΥΝΙΟΣ	1,63
ΙΟΥΛΙΟΣ	3,55
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5,51
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4,87

Πίνακας 5.2: Μέσος όρος εξατμισοδιαπνοής του σόργου για το έτος 2011



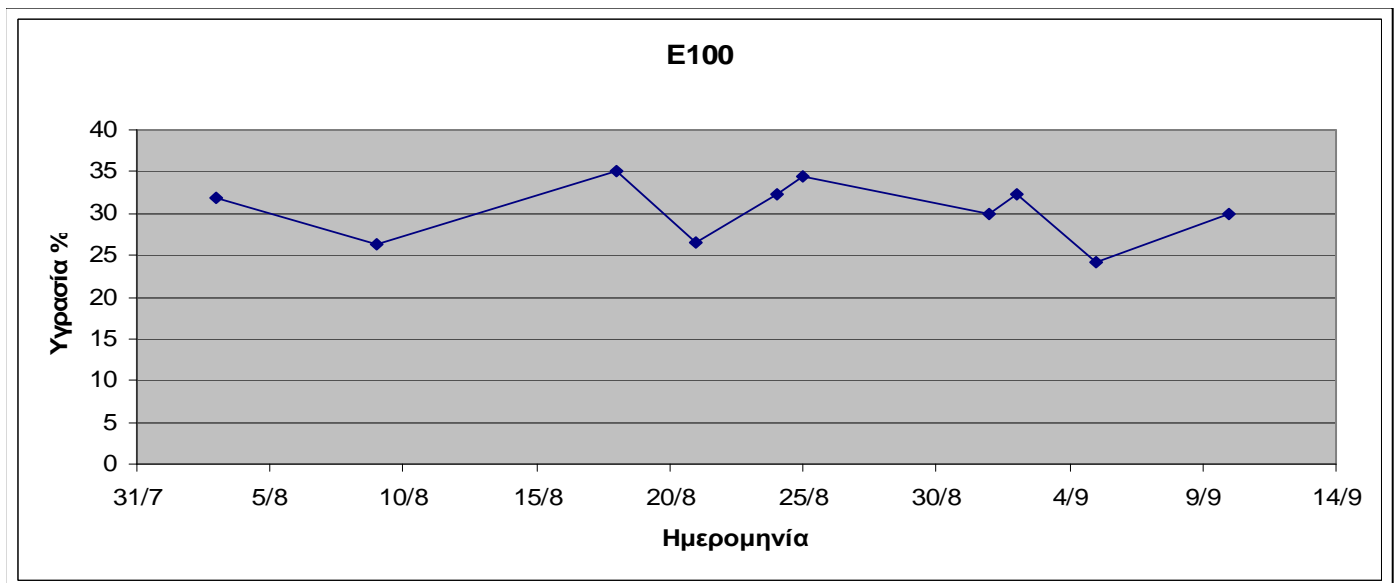
Διάγραμμα 5.1: Κλιματικά δεδομένα πειραματικού αγρού



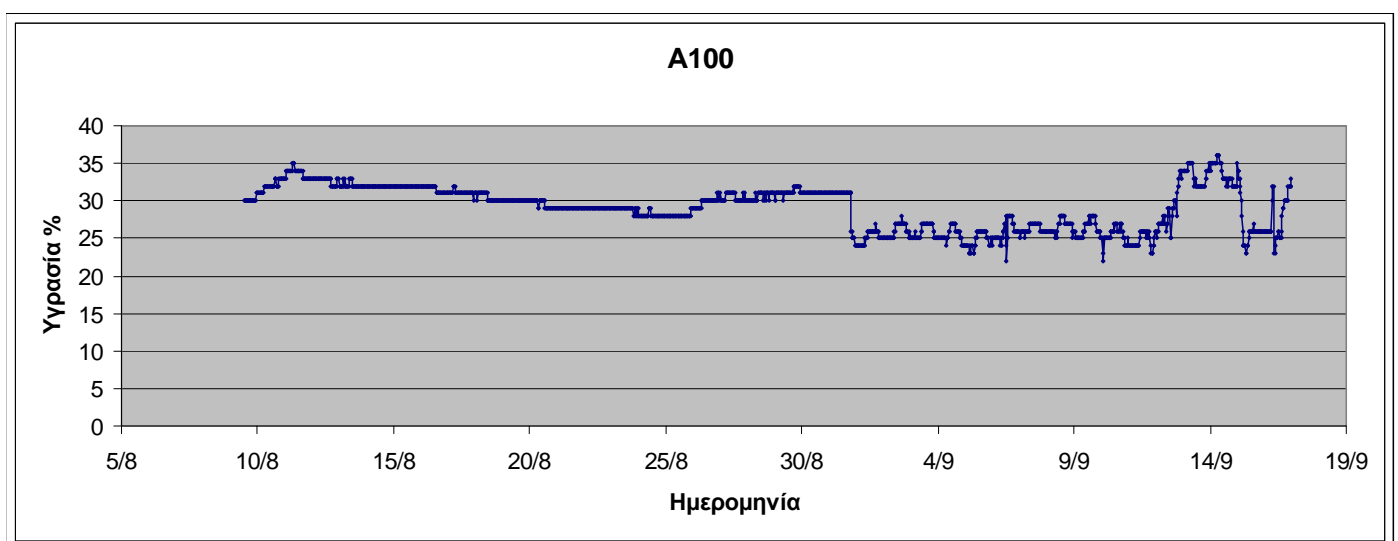
Διάγραμμα 5.2 : Ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του σόργου στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011.

Υγρασίες εδάφους

Στα διαγράμματα 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται οι υγρασίες του εδάφους όπως καταμετρήθηκαν και στις δύο μεταχειρίσεις. Στην περίπτωση του αισθητήρα η καταμέτρηση της υγρασίας γινόταν αυτόματα με τον logger και στην περίπτωση της Penman – Montieth η καταμέτρηση γινόταν με το F.D.R. (Frequency Domain Reflectometry).



Διάγραμμα 5.3: Υγρασία εδάφους στη μεταχείριση Penman - Montieth



Διάγραμμα 5.4 : Υγρασία εδάφους στη μεταχείριση με αισθητήρα

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 μετρήσεις με σκοπό την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και τις διακυμάνσεις αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατατομής (0-70 cm) για το σύνολο των μεταχειρίσεων στον πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο για την αρδευτική περίοδο του 2011. Στην περίπτωση της μεταχείρισης με αυτόματο αισθητήρα οι μετρήσεις ήταν σαφώς περισσότερες αφού γινόταν αυτόματα.

Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα οι τιμές της εδαφικής υγρασίας κυμάνθηκαν πλησίον της υδατοϊκανότητας (26% κ.ο.) στην περίπτωση του αισθητήρα και ειδικότερα για το κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών που καλύπτει η εδαφική ζώνη των 30 έως 60 cm. Στην περίπτωση της Penman – Montieth κυμάνθηκαν στα επίπεδα του 30%. Επιδίωξη άλλωστε των συνεχών μετρήσεων ήταν η εδαφική υγρασία να μην υποπέσει πλησίον του σημείου μόνιμης μάρανσης (14% κ.ο.), αλλά ούτε και να υπερβεί το σημείο κορεσμού του εδάφους με νερό (44% κ.ο.). Σαφής υπεροχή στη διατήρηση της υγρασίας στα επίπεδα πλησίον της υδατοϊκανότητας έδειξε η μέθοδος του αισθητήρα.

5.2 Ανάπτυξη της καλλιέργειας

Ύψος Φυτών

Στο διάγραμμα 5.3 και στον πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της καλλιέργειας του σόργου όπως φαίνεται από το ύψος των φυτών. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 5 κοπές προκειμένου να περιγραφεί η καθ' ύψος ανάπτυξη των φυτών. Όπως λοιπόν παρουσιάζεται τόσο από το διάγραμμα 5.3 και τον πίνακα 5.1 οι αναπτυξιακοί δείκτες τόσο της μεταχείρισης με αυτόματο αισθητήρα όσο και της μεταχείρισης με τη μέθοδο Penman – Montieth ήταν παρεμφερείς. Ειδικότερα μέχρι την 18 ημέρα μετά τη σπορά ήτοι 20/6/2011 μετά από δύο κοπές που πραγματοποιήθηκαν στις 18 Ιουνίου και

20 Ιουνίου οι μεταχειρίσεις αναπτύσσονταν με τον ίδιο ρυθμό φθάνοντας σε ύψη 0,4 και 0,8 μέτρα αντίστοιχα χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Την 77 ημέρα μετά τη σπορά δηλαδή στις 22 Αυγούστου παρουσιάστηκε διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων με αυτή του αυτόματου αισθητήρα να υπερτερεί κατά 0,28 m κατά μέσο όρο. Συγκεκριμένα η μεταχείριση με αισθητήρα (A100) ήταν στα 2,19 m και η αντίστοιχη με την Penman – Montieth στα 1,91 m χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Ο ρυθμός ανάπτυξης τη δεδομένη περίοδο κυμάνθηκε στα $2,3 \text{ cm} * \text{d}^{-1}$ για την μεταχείριση με τον αισθητήρα και σε $1,8 \text{ cm} * \text{d}^{-1}$ για τη μεταχείριση με τη μέθοδο Penman – Montieth. Στις 5 Σεπτεμβρίου δηλαδή 91 ημέρες πριν τη σπορά και 14 ημέρες πριν την τελική κοπή τα δεδομένα ανατράπηκαν με τη μεταχείριση με Penman – Montieth να υπερτερεί παρουσιάζοντας ρυθμό ανάπτυξης $4,2 \text{ cm} * \text{d}^{-1}$ και ύψος φυτών στα 2,69 m και η μεταχείριση με αισθητήρα αναπτυξιακό ρυθμό $3,5 \text{ cm} * \text{d}^{-1}$ στα 2,5 m. Στατιστικώς σημαντικές διαφορές δεν παρατηρήθηκαν ανάμεσα στις 2 μεταχειρίσεις (άρδευση με τη μέθοδο του αισθητήρα – άρδευση με τη μέθοδο Penman - Montieth), εκτός από μια μικρή απόκλιση που είχαν οι δυο μεταχειρίσεις 77 ημέρες μετά τη σπορά όπου και η μεταχείριση με τον αισθητήρα υπερείχε αυτής της Penman - Montieth. Τελικά το σόργο έφτασε το ύψος των 3,3 μέτρων στην περίπτωση της μεταχείρισης με αισθητήρα σε σχέση με τη μεταχείριση με Penman – Montieth όπου τα φυτά έφτασαν το ύψος των 3,07 μέτρων παρουσιάζοντας το τελευταίο δεκαπενθήμερο αυξησιακούς ρυθμούς 4,3 και $4 \text{ cm} * \text{d}^{-1}$. Παρατηρείται δηλαδή υπεροχή στην μεταχείριση με αισθητήρα σε σχέση με αυτή της Penman – Montieth χωρίς όμως να προκύπτει στατιστικώς σημαντική διαφορά μετά από επεξεργασία των δεδομένων, με το πρόγραμμα SPSS σε επίπεδο σημαντικότητας 95% σε τελικούς μέσους όρους υψών. Οι ρυθμοί ανάπτυξης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2

. Γενικά, τα φυτά του γλυκού σόργου cv. Keller σε καλλιέργεια μπορούν να φτάσουν σε ύψος 2,8-3,8m (Dalianis *et al.* 1996). Οι τιμές ύψους που καταγράφηκαν στο παρόν πείραμα είναι σχετικά μικρότερες έναντι αντίστοιχων που καταγράφηκαν σε καλλιέργειες γλυκού σόργου στον Πύργο Ηλείας και στην Κωπαΐδα (Dalianis *et al.* 1996, Νικολάου κ.ά., 2000), αν και οι θεωρητικά μέγιστες τιμές του ύψους (ασύμπτωτες τιμές κατά Boltzman) προσεγγίζουν τις τιμές των προαναφερόμενων πειραμάτων. Πάντως καθοριστικός παράγοντας φαίνεται να είναι η πυκνότητα σποράς. Έτσι, σε πείραμα που διεξήχθη στη θέση Βάγια της κεντρικής Ελλάδας το 1995, το μέσο ύψος φυτών της ποικιλίας Keller που αναπτύχθηκαν σε στενούς φυτευτικούς συνδέσμους (απόσταση θέσεων σποράς στη γραμμή 5cm) έφτασε τα 285cm, ενώ σε αραιούς (απόσταση θέσεων σποράς στη γραμμή 20cm) τα 374cm (Dalianis *et al.* 1996). Το ύψος εξαρτάται από τη γενετική σύσταση των φυτών, τις καλλιεργητικές επεμβάσεις και τους παράγοντες του περιβάλλοντος. Το ύψος των φυτών είναι χαρακτηριστικό της ποικιλίας, ωστόσο επηρεάζεται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου καλλιέργειας και τις καλλιεργητικές πρακτικές όπως η άρδευση (Dalianis *et al.* 1996).

<u>Μεταχειρίσεις</u>	<u>Ημερομηνίες</u>				
	<u>18/6/2011</u>	<u>24/6/2011</u>	<u>22/8/2011</u>	<u>5/9/2011</u>	<u>19/9/2011</u>
A100 (m)	0,4 ± 0,0068	0,8 ± 0,0029	2,19 ± 0,26	2,69 ± 0,08	3,3 ± 0,17
E100 (m)	0,4 ± 0,007	0,8 ± 0,0026	1,91 ± 0,18	2,5 ± 0,2	3,07 ± 0,06

Πίνακας 5.1 : Διακύμανση ύψους φυτών κατά τη διάρκεια του πειράματος

Περίοδοι Μέτρησης	5/6 – 18/6	19/6 – 24/6	25/6 – 22/8	23/8 – 5/9	6/9 – 19/9
Μεταχειρίσεις	Μεταβολή Ύψων (cm * d ⁻¹)				
A100	3,3	6,6	2,3	3,5	4,3
E100	3,3	6,6	1,8	4,2	4

Πίνακας 5.2 : Ρυθμοί μεταβολής ύψους φυτών

Παραγωγή χλωρής βιομάζας

Στο διάγραμμα 5,4 αποτυπώνεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών για το σύνολο των μεταχειρίσεων των φυτών του σόργου. Όπως αναδεικνύεται και από τα διαγράμματα οι επαναλήψεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ως προς την παραγωγή.

Ειδικότερα μετά την ολοκλήρωση δύο και πλέον μηνών από τη σπορά (συγκεκριμένα 77 ημέρες) στις 12/8/2011 η μεταχείριση με αυτόματο αισθητήρα υπερείχε ελαφρώς της μεταχείρισης με τη μέθοδο Penman – Montith με χλωρό βάρος 11.960 kgr/στρ. και 10960 kgr/στρ. αντίστοιχα παρουσιάζοντας μια υπεροχή της τάξεως του 9% χωρίς κάποια στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Την επόμενη περίοδο κοπής δηλαδή στις 5/9 (91 ημέρες από τη σπορά) αντιστράφηκαν τα δεδομένα, με τη μεταχείριση Penman – Montith να υπερτερεί, με χλωρή βιομάζα 13.080 kgr/στρ. και τη μεταχείριση με τον αισθητήρα να υπολείπεται με βάρος 12.840 kgr/στρ. Κατά την τελική κοπή στις 19/9, δηλαδή 105 ημέρες μετά τη σπορά η χλωρή βιομάζα της μεταχείρισης με αισθητήρα ανήλθε στα 15.000 kgr /στρ. και η μεταχείριση με αισθητήρα στα 16.240 kgr/στρ. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με το SPSS σε ποσοστό 95% χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους.

Οι ρυθμοί παραγωγικότητας ήταν $1,6 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ και $1,4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ για την μεταχείριση με αισθητήρα και με τη μέθοδο Penman – Montith αντίστοιχα στις 22/8, αντιστράφηκαν στις 5/9 με την μέθοδο Penman – Montith να υπερτερεί με τιμή ρυθμού παραγωγικότητας $1,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ σε σχέση με τη μεταχείριση με αισθητήρα που παρουσίαζε ρυθμό μόλις $0,6 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$.

Κατά την τελική περίοδο πριν την κοπή δηλαδή την περίοδο από 6/9 έως 19/9 οι ρυθμοί παραγωγικότητας εμφάνισαν τιμές $2,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ και $1,5 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ για την E100 (Penman – Montith) και A100 (αισθητήρα εδάφους) αντίστοιχα. Η περίοδος από αρχές Σεπτεμβρίου έως και την κοπή (19/9) παρουσίασε τον υψηλότερο ρυθμό παραγωγικότητας $2,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ και αφορούσε τη μεταχείριση Penman – Montith και ο χαμηλότερος αφορούσε και πάλι τη μεταχείριση Penman – Montith την περίοδο από τη σπορά μέχρι και την 77^η ημέρα από την κοπή. Τα στοιχεία παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα 5.3.

Σε άλλες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για το σόργο έχουν καταγραφεί παραγωγές $80 - 100 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ στη Γερμανία και $92 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ στην Ισπανία από τους Curt *et al* 1995. Ο Dailianis (1996) μέτρησε $141 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ στον Ελλαδικό χώρο. Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται διάφορες άλλες μελέτες που αφορούν τη παραγωγικότητα χλωρής βιομάζας.

	Ημερομηνίες (ημέρες από σπορά)					
Μεταχειρίσεις	22/8 (77)		5/9 (91)		19/9 (105)	
	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $Mg*ha^{-1}*d^{-1}$	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $Mg*ha^{-1}*d^{-1}$	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $Mg*ha^{-1}*d^{-1}$
A100	11.960	1,6	12.840	1,6	15.000	1,54
E100	10.960	1,4	13.080	1,5	16.240	2,3

Πίνακας 5.3 : Παραγωγή χλωρής βιομάζας και ρυθμός παραγωγικότητας

Πηγή	Περιοχή Μελέτης	Χαρακτηριστικά Πειράματος	Παραγωγή Χλωρής Βιομάζας ($tn\ ha^{-1}$)
Ζαχαρίας 2012	Θεσσαλία	Άρδευση με αισθητήρα	150
		Άρδευση με Penman - Montith	162
Dailianis 1996	Ελλάδα	Παραγωγικότητα σόργου	141
Curt et al. 1995	Γερμανία	Παραγωγικότητα σόργου	80 – 100
	Ισπανία		92
Roman et al. 1998	Ρουμανία	Χωρίς περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης	114
Παπαλέξης 2011	Θεσσαλία	Υπόγεια στάγδην (2007)	101
		Επιφανειακή στάγδην (2007)	95,69

Πίνακας 5.4: Παραγωγή χλωρής βιομάζας

Παραγωγή ξηρής βιομάζας

Αντίστοιχα με τη χλωρή βιομάζα και τα αποτελέσματα της ξηρής βιομάζας των βλαστών της καλλιέργειας του γλυκού σόργου αναφέρονται στον παράγοντα που τέθηκε προς εξέταση και χαρακτηρίζεται με τον όρο « παραγωγικότητα της καλλιέργειας ».

Έτσι η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των βλαστών των φυτών των μεταχειρίσεων που έτυχαν διαφορετικής μεθοδολογίας άρδευσης απεικονίζονται στο διάγραμμα 5.5.

Όπως αποτυπώνεται λοιπόν στο διάγραμμα 5.5 υπάρχει μία υπεροχή της μεταχείρισης που αρδεύτηκε με τη μέθοδο Penman – Montith η οποία αρχίζει να διαφαίνεται μετά τις 22/8 δηλαδή την 77^η ημέρα σποράς.

Ειδικότερα σε κοπή που πραγματοποιήθηκαν στις 22/8/2011 (77 ημέρες από τη σπορά α) οι δύο μεταχειρίσεις παρουσίαζαν τις ίδιες τιμές παραγωγής ξηρής βιομάζας η οποία ήταν 1840 kg/στρ (18,4 Mg*ha⁻¹). Ο ρυθμός παραγωγικότητας κυμάνθηκε σε 0,2 Mg*ha⁻¹*d⁻¹.

Διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων άρχισε να εμφανίζεται 91 ημέρες μετά τη σπορά (5/9/2011) όπου αυτή της Penman – Montith υπερείχε με τιμές παραγωγής σε ξηρή βιομάζα 3.440kg/στρ. (34,4 Mg*ha⁻¹) ενώ η αντίστοιχη παραγωγή της μεταχείρισης του αισθητήρα έδωσε 2.960 kg/στρ (29,6 Mg * ha⁻¹). Στη δεδομένη περίοδο άρχισε να παρατηρείται μία υπεροχή της μεθόδου άρδευσης με τη μέθοδο Penman – Montith της τάξεως των 480 kg/στρεμ . Οι ρυθμοί παραγωγικότητας την συγκεκριμένη περίοδο κυμάνθηκαν σε 1,1 Mg*ha⁻¹*d⁻¹ και 0,8 Mg*ha⁻¹*d⁻¹ αντίστοιχα για τις δύο μεταχειρίσεις.

Κατά την τελική κοπή στις 19/9/2011 και πάλι η μεταχείριση της Penman – Montith υπερείχε με τιμές παραγωγής ξηρής βιομάζας 3.600kg/στρ. (36 Mg*ha⁻¹) ενώ η αντίστοιχη παραγωγή της μεταχείρισης του αισθητήρα έδωσε 3.300 kg/στρ (33 Mg * ha⁻¹). Όπως παρατηρείται η υπεροχή της άρδευσης με τη μέθοδο Penman – Montith συνεχίζεται να υφίσταται χωρίς όμως τα αποτελέσματα να παρουσιάζουν στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους σε ποσοστό 95% μετά από επεξεργασία με τη μέθοδο

SPSS. Αντίστοιχα οι ρυθμοί παραγωγής για τη δεδομένη χρονική περίοδο κυμάνθηκαν σε $0,2 \text{ Mg*ha}^{-1}\text{*d}^{-1}$ και $0,1 \text{ Mg*ha}^{-1}\text{*d}^{-1}$. Συνοπτικά οι τιμές παραγωγής και οι ρυθμοί παραγωγικότητας παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

	Ημερομηνίες (ημέρες από σπορά)					
Μεταχειρίσεις	22/8 (77)		5/9 (91)		19/9 (105)	
	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $\text{Mg*ha}^{-1}\text{*d}^{-1}$	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $\text{Mg*ha}^{-1}\text{*d}^{-1}$	Παραγωγή (Kgr/στρεμ)	Ρυθμός Παρ. $\text{Mg*ha}^{-1}\text{*d}^{-1}$
A100	184	0.2	2.960	0.8	3.300	0.2
E100	184	0.2	3.440	1,1	3.600	0.1

Πίνακας 5,5: Παραγωγή ξηρής βιομάζας και ρυθμός παραγωγικότητας

Οι αποδόσεις σε ξηρά ουσία ανάλογα με την περιοχή, την ποικιλία και τις καλλιεργητικές πρακτικές κυμαίνονται από 12 t/ha στο Βέλγιο, 35 t/ha στη Ν. Ισπανία, έως και 45 t/ha στη Ν. Ελλάδα και Ν. Ιταλία (Dalianis, 1996).

Η ξηρή βιομάζα αυξάνονταν με ρυθμό $34,28 \text{ g/m}^2\text{/ημέρα}$ στην μεταχείριση με την μέθοδο Penman – Montith και με $31,42 \text{ g/m}^2\text{/ημέρα}$. Οι Foti *et al.* (1996) σε πειράματα που διεξάχθηκαν στην Ιταλία υπολόγισαν τον κατά μέσο ρυθμό αύξησης της καλλιέργειας ίσο με $28,9 \text{ g/m}^2\text{/ημέρα}$ σε καλλιέργεια με μεγαλύτερη πυκνότητα φυτών αυτής του παρόντος πειράματος και με πλήρη άρδευση. Οι Dolciotti *et al.* (1998) υπολόγισαν τους ρυθμούς αύξησης του γλυκού σόργου της ποικιλίας Wray ($42.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) και του υβριδίου “H173” ($27.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Οι Καβαδάκης *et al.* (2000) αναφέρουν ρυθμούς αύξησης της καλλιέργειας ίσο με $240 \text{ kg/στρέμμα/ημέρα}$ για υψηλό επίπεδο λίπανσης και πλήρης άρδευση καθώς και $170 \text{ kg/στρέμμα/ημέρα}$ για τον μάρτυρα του πειράματος με μηδενική λίπανση και πλήρης άρδευση.

Με τη μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας να αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά τόνο ξηρής βιομάζας (Dolcioti *et al.*, 1996), οπότε η μέγιστη παραγωγή που παρατηρήθηκε στα πειραματικά τεμάχια 3.5 t στρ.⁻¹, αντιστοιχεί σε 1,4 ΤΙΠ.

Στον Ελλαδικό χώρο οι Dercas και Liakatas (2007) παρατήρησαν ξηρή βιομάζα που κυμαίνονταν μεταξύ 3100 – 1700 gr m⁻² με 680 και 450 mm ετήσια εξατμισοδιαπνοής αντίστοιχα καθώς επίσης και 3250 – 3170 gr m⁻² σε παρόμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες με ετήσια εξατμισοδιαπνοή ίση με 580 και 526 mm αντίστοιχα. Οι Garafalo *et al.* (2011) στη Νότια Ιταλία αναφέρουν 34,6 t/ha ξηρής βιομάζας με 830 mm διαθέσιμου ύδατος έως 19,8 t/ha με 589mm διαθέσιμου ύδατος.

Επίσης σε συμπεράσματα πειράματος που πραγματοποιήθηκαν στη νότια Ρουμανία (Roman *et al.* 1998a) αναφέρεται ότι η μέγιστη παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού σόργου έφτασε τους 28,0 Mg * ha⁻¹ χωρίς περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης (κάλυψη αναγκών στο 100 % της εξατμισοδιαπνοής).

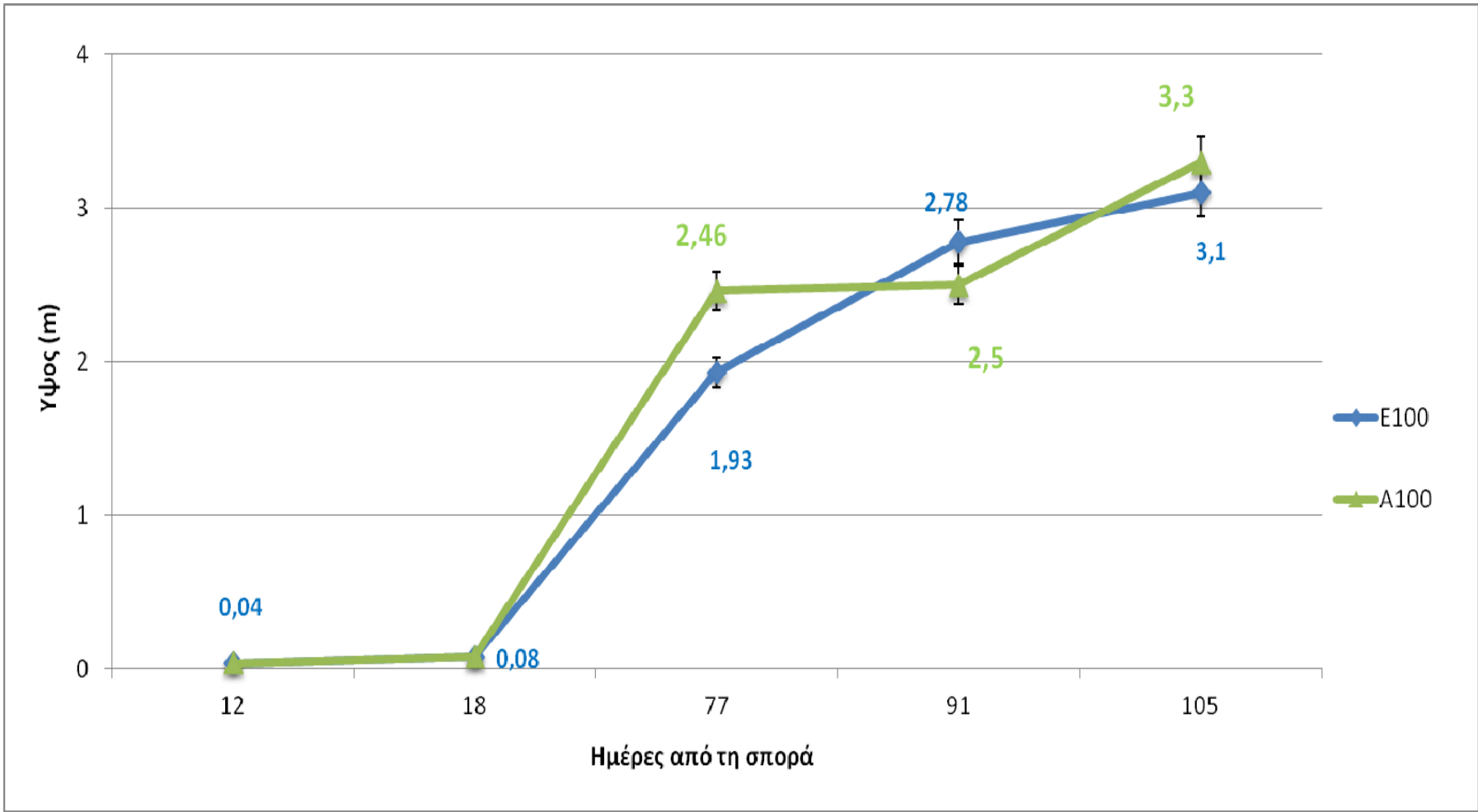
Αντίστοιχα ήταν τα αποτελέσματα πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στην Ισπανία (Curt 1998), όσον αφορά την παραγωγή σε ξηρή βιομάζα του γλυκού και ινώδους σόργου εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά επίπεδα λιπαντικής αγωγής (0,60,120 kg N ha⁻¹) με την ποικιλία Keller να φτάνει τους 28,0 Mg * ha⁻¹.

Δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε παραγωγή ξηρής βιομάζας σε πείραμα που διεξήχθη στην Ιταλία (Venturi, 1999), εφαρμόζοντας τρία διαφορετικά προγράμματα λίπανσης (0,100,200 kg N ha⁻¹). Οι μέγιστες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκαν στα επίπεδα των 21,0 με 24,0 Mg * ha⁻¹ και μάλιστα στις επαναλήψεις που εφαρμόστηκε η μέγιστη δόση αζωτούχας λίπανσης.

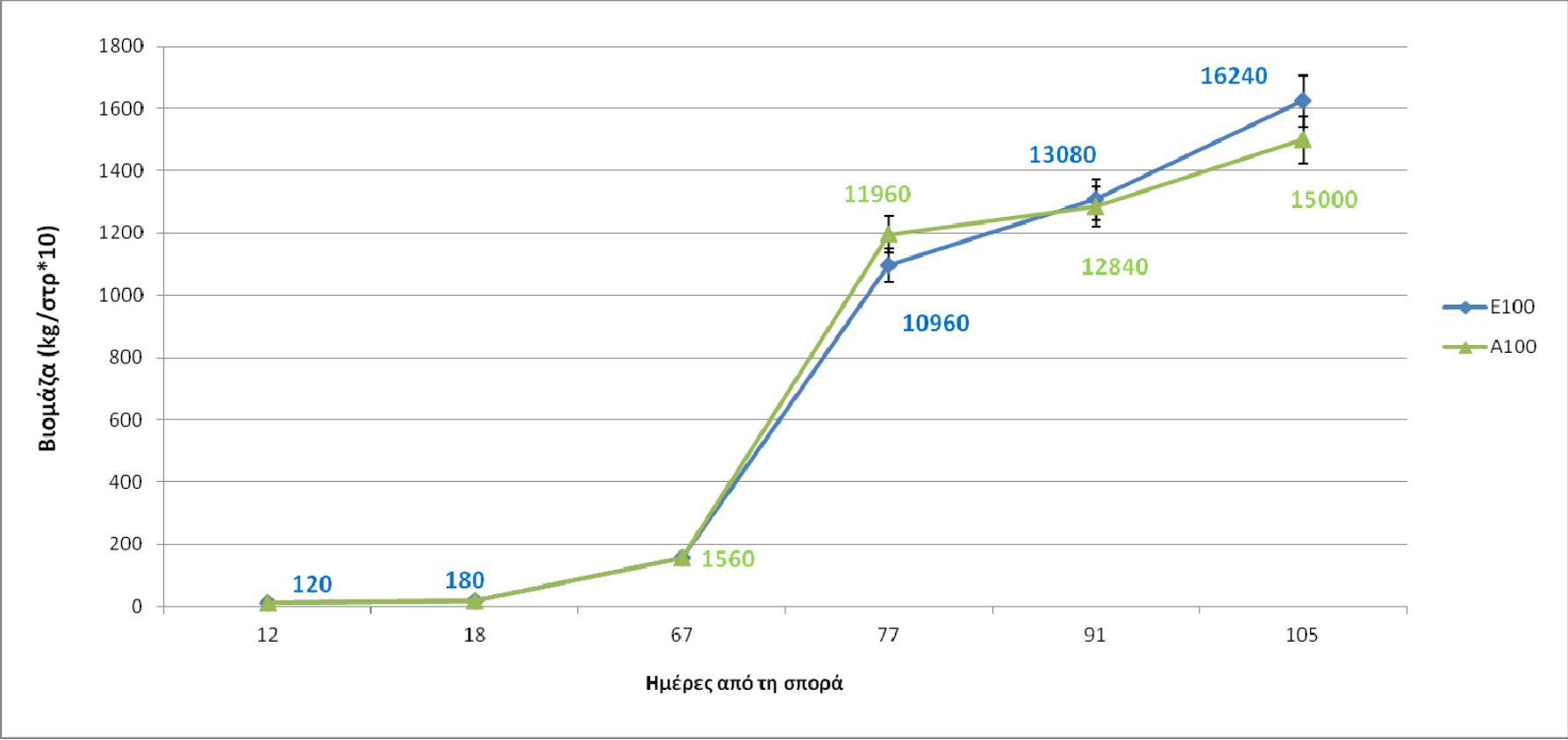
Βάση πειραματικών αποτελεσμάτων (Νικολάου και συνεργάτες ,2000) προέκυψε ότι η πλέον παραγωγική ποικιλία για τα Ελληνικά δεδομένα σακχαρούχου σόργου είναι η Keller με (38 Mg * ha⁻¹ ξηρής βιομάζας) .Στον πίνακα 5.6 παρουσιάζονται συνοπτικά διάφορες μελέτες που αφορούν την παραγωγή ξηρής βιομάζας.

Πηγή	Περιοχή Μελέτης	Χαρακτηριστικά Πειράματος	Παραγωγή Ξηρής Βιομάζας (tn ha ⁻¹)
Ζαχαρής 2012	Θεσσαλία	Άρδευση με αισθητήρα	33
		Άρδευση με Penman - Montith	36
Νικολάου και συν. 2000	Ελλάδα	Μελέτη διάφορων ποικιλιών	38
Dailianis 1996	Βέλγιο	Παραγωγικότητα Σόργου	12
	Νότια Ισπανία		35
	Νότια Ελλάδα		45
	Νότια Ιταλία		45
Derca & Liankatas 1997	Ελλάδα	680 mm άρδευσης	31
		450 mm άρδευσης	17
Garafalo et al. 2009	Νότια Ιταλία	830 mm άρδευσης	34,6
		589 mm άρδευσης	19,8
Curt 1998	Ισπανία	Keller πλήρης λίπανση	28
Venturi 1999	Ελλάδα		38
Roman et al. 1998a	Ρουμανία	Χωρίς περιορισμούς στις δόσεις άρδευσης	28

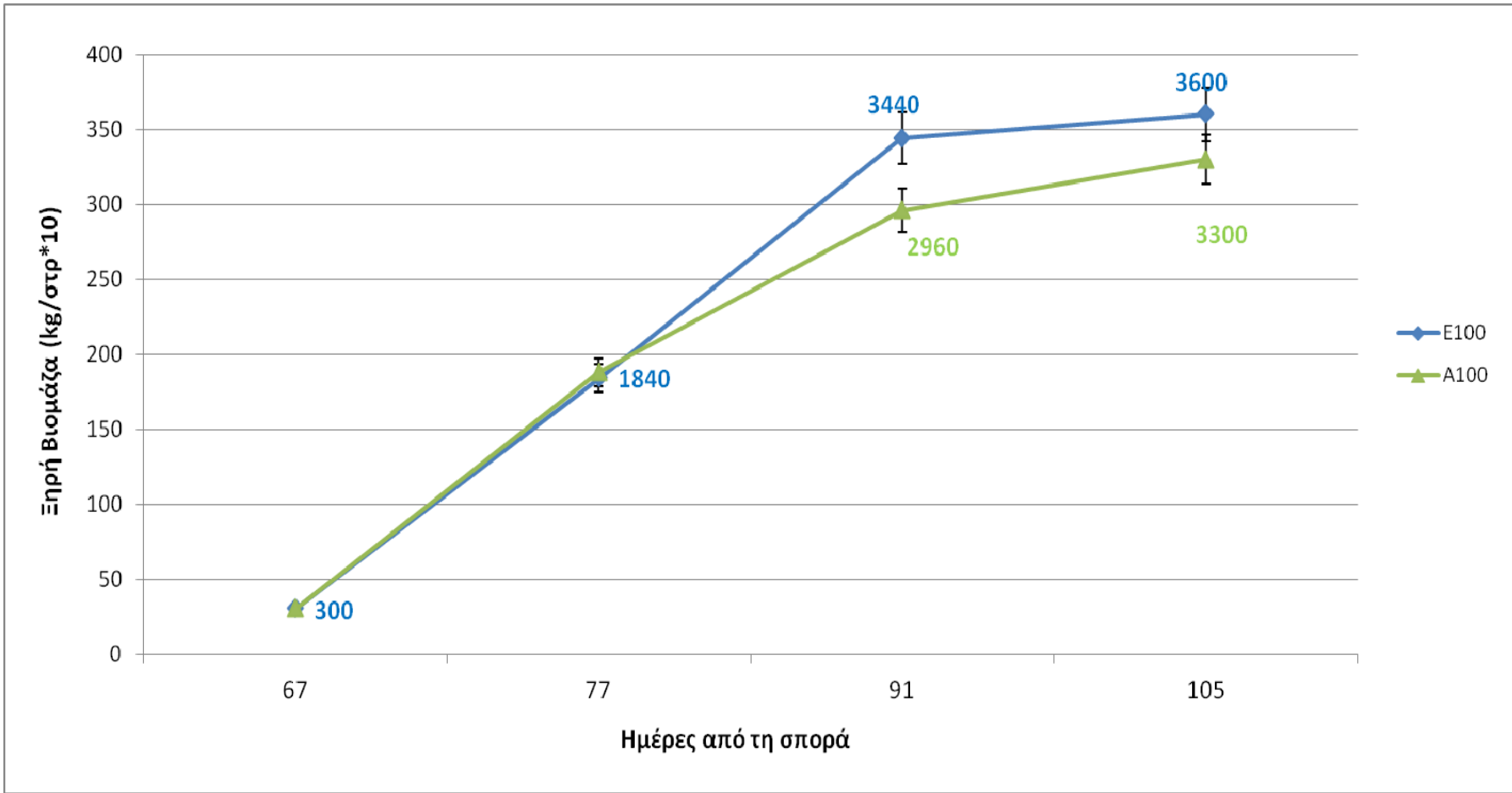
Πίνακας 5.6 : Παραγωγή ξηρής βιομάζας



Διάγραμμα 5.5 : Ύψος φυτών (m) κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011



Διάγραμμα 5.6: Βιομάζα φυτών (t/στρ.) κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011



Διάγραμμα 5.7 : Ξηρή βιομάζα φυτών (t/στρ.) κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2011

Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) χρησιμοποιείται ευρέως για να περιγράψει την αποτελεσματικότητα της άρδευσης όσον αφορά την παραγωγή των καλλιεργειών. Η αποδοτικότητα χρήσης νερού ορίζεται από τον Bos (Howell, 2001) ως:

$$WUE = \frac{Y_g}{IRR}$$

όπου WUE η αποδοτικότητα χρήσης νερού (kg m^{-3}), Y_g η οικονομική παραγωγή (ξηρή βιομάζα) (g m^{-2}) και IRR το συνολικό νερό που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια..

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού στις μεταχειρίσεις φαίνεται στον Πίνακα 5.3. Εκφράζεται από το λόγο της παραγωγής ξηρής βιομάζας (kg στρ.^{-1}) προς το συνολικό νερό που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια. Οι τιμές της ξηρής βιομάζας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 είναι οι μέγιστες. Η ωφέλιμη βροχόπτωση είναι το γινόμενο της βροχόπτωσης με έναν συντελεστή που για την περιοχή του πειράματος βρέθηκε ίσος με 0,8.

Πίνακας 5.3: Αποδοτικότητα χρήσης νερού στις μεταχειρίσεις.

		Μεταχειρίσεις	
		E100	A100
Y_g	Ξηρή βιομάζα (kg στρ.^{-1})	3600	3300
IRR	Συνολικό νερό (mm)	451	492
WUE	Αποδοτικότητα χρήσης νερού ($\text{kg ξηρής βιομάζας} / \text{m}^3$ συνολικού νερού)	8	6,7

Οι μεταβολές του WUE μπορεί να οφείλονται σε παράγοντες όπως ο ανεπαρκής έλεγχος της γονιμότητας και των παρασίτων. Δεν εξαρτάται από την ημερομηνία φύτευσης της καλλιέργειας. Μεταβολές στο IWUE μπορούν να εμφανιστούν λόγω της

αποθήκευσης του εδαφολογικού νερού, της βαθιάς διείσδυσης, της υπερβολικής εξάτμισης του εδαφολογικού νερού, και της απορροής (Tolk et al., 1997, Tolk et al., 2003).

Η αξιολόγηση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού (WUE) βασίστηκε στη σχέση μεταξύ της εξατμισοδιαπνοής (ET) και της ξηρής βιομάζας. Η σχέση μεταξύ του νερού που χάνεται από τις καλλιέργειες λόγω της εξατμισοδιαπνοής και της βιομάζας που παράγεται επιτρέπει να υπολογιστεί η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού (WUE). Η αναλογία νερού βιομάζας υπολογίστηκε όπως προτείνεται από τους Monteith (1993) και Stanhill (1986). Στην παρούσα εργασία το (WUE) ορίζεται ως mm εξατμισοδιαπνοής από την καλλιέργεια ανά kg ξηρής βιομάζας που παράγεται.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5,1, το συνολικό νερό που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις E100 και A100 ήταν ίσο με 451 mm και 492 mm αντίστοιχα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι τα φυτά στη μεταχείριση E100 χρησιμοποίησαν πιο αποδοτικά το νερό σε σχέση με την άλλη. Κάθε κυβικό μέτρο νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια στην μεταχείριση E100 παρήγαγε 8 kg ξηρής βιομάζας ενώ στη μεταχείριση A100 6,7 kg.. Αντίστροφα, για την παραγωγή 1 kg ξηρής βιομάζας 0,125 m³ και 0,15 m³ χρησιμοποιήθηκαν από την καλλιέργεια για τις μεταχειρίσεις E100 και A100 αντίστοιχα.

Σε πειράματα που διεξήχθησαν από τους Garafalo *et al.* (2011) τα έτη 2008 και 2009 στη Νότια Ιταλία παρατηρήθηκε αποδοτικότητα χρήσης νερού της τάξεως των 6,78 kg m⁻³ με 34,6 t/ha ξηρής βιομάζας με 830 mm διαθέσιμου ύδατος έως 19,8 t/ha με 589mm διαθέσιμου ύδατος. Οι Mastrorilli *et al.* (1995) αναφέρουν ότι οι τιμές της αποδοτικότητας κυμαίνονται μεταξύ 5,6 - 4,1 kg m⁻³ σε μεσογειακά περιβάλλοντα παρά τις μικρές διαφορές σε υδατοκατανάλωση που κυμαίνονται μεταξύ 580mm και 552mm

αντίστοιχα, ενώ γενικά για το γλυκό σόργο (που μελετήθηκε στην παρούσα διατριβή) αναφέρουν τιμές αποδοτικότητας μεταξύ $6,0 - 4,1 \text{ kg m}^{-3}$. Οι Saeed και El – Nadi (1988) βρήκαν τιμές αποδοτικότητας νερού $8,6 - 6,5 \text{ kg m}^{-3}$ ενώ παρατήρησαν και μεταβλητότητα της αποδοτικότητας μεταξύ $8,6 - 6,9 \text{ kg m}^{-3}$ διατηρώντας σταθερή την ποσότητα ύδατος στα 700 mm αλλά μεταβάλλοντας τις συχνότητες και την ποσότητα άρδευσης μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Οι Tolk & Howell (2003) παρατήρησαν μια πτώση της αποδοτικότητας χρήσης νερού σε συνθήκες υπεράρδευσης παρόλο που οι Farre & Facci (2006) έδωσαν αντίθετα αποτελέσματα. Σε διετές πείραμα πάνω στο γλυκό σόργο Garafalo et al. (2011) παρατηρούν ότι μια ελάττωση της χρήσης νερού οδήγησε σε αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης με υψηλότερες τιμές σε καταστάσεις stress ($5,39 \text{ kg m}^{-3}$) με παροχή 325 mm νερού εν αντιθέσει με την κανονική μεταχείριση ($4,6 \text{ kg m}^{-3}$) και παροχή νερού 505 mm.

Οι Dercas *et al.* 1995 παρατήρησαν ότι σε περίπτωση που η καλλιέργεια αρδεύεται είναι πολλά υποσχόμενη έτσι ώστε με μέτρια ποσοστά άρδευσης της τάξης των $250 - 330 \text{ mm year}^{-1}$ έχουν σημειωθεί παραγωγικότητες που υπερβαίνουν τους 35 Mg ha^{-1} .

Ο Παπαλέξης 2011 παρατήρησε ότι απαιτήθηκαν $133 - 183 \text{ m}^3$ στρέμμα⁻¹ αρδευτικού νερού για την παραγωγή ξηρής βιομάζας στις υπόγειες στάγδην επαναλήψεις και αντίστοιχα $155 - 238 \text{ m}^3$ στρέμμα⁻¹ στις επιφανειακές στάγδην στο 100 % των απαιτήσεων σε νερό και $190 - 264 \text{ m}^3$ στρέμμα⁻¹ στις επιφανειακές στάγδην στο 80% των απαιτήσεων σε νερό.

Η πτώση αποδοτικότητας σε συνάρτηση της ελάττωσης της δόσης άρδευσης αναφέρθηκε και σε άλλες καλλιέργειες C_4 όπως το καλαμπόκι (Farre & Facci 2006).

Όπως αναφέρουν υπήρξε μεταβολή (αύξηση) από $2,89 \text{ kg m}^{-3}$ σε $3,57 \text{ kg m}^{-3}$ με αύξηση 100mm στην ποσότητα του νερού άρδευσης.

Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση των Sahnome et al. (2004) οι οποίοι αναφέρουν ότι η εναλλαγή εδαφικής υγρασίας στο στάδιο της σποράς σε επίπεδα 100% - 50% της υδοχωρητικότητας οδηγεί σε μεγαλύτερο μήκος ριζών και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερη χρήση νερού (από 660mm σε 520mm).

Πηγή	Αποδοτικότητα	Ξηρή βιομάζα (tn/ha)	Ποσότητα νερού (mm)
Ζαχαρής 2012	8 – 6,7	33 – 36	492 - 451
Garafalo et al 2011	6,78	34,6 – 19,8	830 – 589
Mastrorilli et al 1995	5,6 – 4,1		580 – 592
Saeed & El – Nadi 1988	8,6 – 6,5		700

Πίνακας 5.4 : Αποδοτικότητα χρήσης νερού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την όλη έρευνα η οποία διεξάχθηκε συμπεραίνεται ότι:

Δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά στις 2 μεταχειρίσεις, δηλαδή μεταξύ της μεθόδου άρδευσης με αισθητήρα enviroSMART και με τη μέθοδο Penman – Montith. Βέβαια αξίζει να σημειωθεί ότι παρά τη μη σημαντικώς στατιστική διαφορά η μεταχειρίσεις με τη μέθοδο Penman – Montith υπερεπέρυσαν σε συνολική παραγωγή βιομάζας σε σχέση με τις μεταχειρίσεις με αισθητήρα. Το συνολικό ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις με αισθητήρα ήταν μεγαλύτερο.

Όσον αφορά την ποσότητα νερού άρδευσης. Δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιοσημείωτη διαφορά στην ποσότητα νερού που εξοικονομήθηκε. Όμως η χρήση του συστήματος αισθητήρα αυτόματης άρδευσης εξοικονομεί στον παραγωγό «χρόνο και χρήμα» καθώς δεν απαιτείται η συνεχής παρουσία του στο χώρο της καλλιέργειας από την πλευρά των αρδευτικών αναγκών της καλλιέργειας

Η έρευνα έδειξε ότι το σόργο είναι πολύ αποδοτικό ως ενεργειακό φυτό αφού με παραγωγή περίπου 3.5t/στρ. και με μέση θερμογόνο δύναμη της βιομάζας σε 0.4 Τόνους Ισοδύναμου Πετρελαίου.

Συνοψίζοντας φαίνεται ότι σε μια γεωργία αειφορικής ανάπτυξης, η καλλιέργεια του σόργου παρουσιάζει εντυπωσιακά αποτελέσματα, ενθαρρύνοντας έτσι τη μελλοντική του χρήση σε προγράμματα αμειψισπορών.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- http://www.fao.org/nr/water/topics_wwf6-t2.html
- http://www.nagref-cha.gr/files/Ardeuseis_1.pdf
- <http://www.scribd.com>
- http://www.freewebs.com/sorghum_egyptstagesof/sorghum.html

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 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.
- Νικολάου Α., Νάματοβ Ε., Καβαδάκης Γ., Τσιώτας Κ., Πανούτσου Κ., Δαναλάτος Ν. (2000). Αξιολόγηση της ανάπτυξης και παραγωγικότητας οκτώ γενοτύπων σόργου για την παραγωγή βιομάζας και ενέργειας. 2ο Εθνικό Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 28-30 Σεπτεμβρίου, 2000, Εταιρεία Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, σελ. 197-204
- Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1996. Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου, Υδροτεχνικά, 6, 62-77.
- Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1990: Προσδιορισμός φυτικών συντελεστών, προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες. Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων, Τμήμα Γεωγονίας Α.Π.Θ., 117 σελ.

- Παπαλέξης, Δ. 2011 : Βελτιστοποίηση της παραγωγής του ενεργειακού φυτού σόργου με σύγχρονα συστήματα άρδευσης. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος
- Χατζουλάκης Κ., Μπερτάκη Μ. 2009 Ορθολογική Διαχείριση του Νερού Άρδευσης. Αναγκαιότητα για Αειφόρο Αγροτική Ανάπτυξη. Πρακτικά 23ου Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών Τεύχος Α

Ξένη Βιβλιογραφία

- Alexopoulou E. *et al.* 1998. Adaptility and productivity of sweet sorghum in northern Greece. In QProceeding of the 10th European Conference on Biomass for Energy and Industry, Wurzburg, Germany, 8 – 11 June, pp. 939 – 942
- Alexopoulou E. *et al.* 2000. Yields and public percerpion of sweet sorghum growth in demonstrative fields of northern Greece. In: Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5 – 9 June, pp. 1638 – 1641.
- Allen, R.G.,M.Smith,L.S. Perreira and A. Perrier, 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. ICID Bull 43(2)Q 1- 34
- Biomass guide. ΚΑΠΕ. (2005). Ανάκτηση από http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf, 11/11/2005.
- Bryan W., Monroe G., Nichols R., Gascho G. 1981. Evaluation of sweet sorghum for fuel alcohol. In : Proceedings of Winter Meeting of ASAE, paper No. 81 – 3571.

- Chadhury, B.J. and S.B. Idso, 1984 and R.J. Reginato, 1987. Analysis of an empirical model for soil heat flux under a growing wheat crop for estimating evaporation by an infra – red temperature based energy balance equation *Agr. For Meteorol* 39Q 283 - 297
- 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
- Curt M.D., Fernandez J. et al. 2000. Comparative Growth Analysis of two sorghum cultivars in Badajoz, Spain. InQ Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla Spain 5 – 9 June, pp.1877 – 1880.
- Dahlberg J. (1995). Dispersal of sorghum and the role of genetic drift. *African Crop Science Journal*, 3: 143-151.
- Dalianis C., Scooter C., Christou M., 1995. Sweet sorghum (*sorghum bicolor* (L.) Moench) biomass productivity sugar yields and ethanol potential in Greece
- 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
- Dalianis, C. D. (1996b) Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions. In: First European Seminar on sorghum for energy and Industry, Toulouse, France - April 1-3, 1996, pp.15-25
- Dercas, N., Panoutsou, C, and Sooter, C, 1995. Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).-Response to four irrigation and two fertilization rates, In: Chartier et al. (Ed.), Biomass for Energy, Environment, Agriculture. Proceedings of the 8th E.C. Conference Vol. 1, Pergamon Press, U.K., 629-639.

- Dercas N., Liakantas A., 2007. Water and Radiation effect on sweet sorghum productivity. *Water Resour. Manag.* 21:1585-1600.
- 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
- Farrè I., Faci J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agr. Water Manage.* 83:135-143.
- Foti et al. 2004. Sweet sorghum in Mediterranean environment, In: *Proceedings of the 2nd world conference on biomass for energy, industry and climate protection*, Rome Italy 10-14 May pp/ 391 – 394.
- Garafalo P., Vittorio Vonella A., Ruggieri S., Rinaldi M. 2011 Water and Radiation use efficiencies of irrigated sorghum in a Mediterranean environment
- Hall O. D., Scrase I. J. (1998). Will biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass and Bioenergy*, 15: 357-367.
- Hansen, V.E., O.W. Israelsen and G. Stringham, 1980. *Irrigation Principles and practices*. Wiley and Sons, N.Y. 4th ed. 417p.
- Hatfield, J.L. and M. Fucks, 1990. Evapotranspiration models. In: Hoff, an et al. (ed.), *Management of farm irrigation systems*. ASAE St. Joseph, MI, p171 - 178
- Howell, T.A., R.L. McCormick and C.J. Phene, 1985. Design and installation of large weighting lysimeters. *Trans Am. Soc. Agr. Engrs.* 28Q 106 – 112, 117
- Howell, T.A., 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agron. J.*, 93: 281-289

- Kangama O. C., Rumei X. (2005). Introduction of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) into China. *African Journal of Biotechnology*, 4: 575-579. Ανάκτηση από <http://www.academicjournals.org/AJB>, 30/9/05.
- Kangama C. O. and X. Rumei (2005). Production of crystall sugar and alkool from sweet sorghum. *African Journal of Food Agriculture and Nutritional Development (AJFAND)*: Volume 5 No 2 2005.
- Kazuhisa Miyamoto Renewable biological systems for alternative systainable energy production 1997. *FAO Agricultural services Bulletin – 128* Fao and Agriculture of the United Nations.
- Kavidakis G. et al. 2000. Growth productivity and sugar yields of sweet sorghum (var Keller) in central Greee. In : *Proceedings of the 2nd National Conference of Agricultural Engineers (HelAgEng)*. Volos, Greece (in Greek) pp. 205 – 212.
- Keller J. 1986. Sprinkle and trickle Irrigation. *Dep. Agric. And Irrig. Engrg.* , Utah State Univ., Logan, Utah, 621 p.
- Mastrorilli M, Katerji N., Rana G., Steduto P. 1995. Sweet Sorhum in Mediterranean climate :radiation use and biomass water use efficiencies. *Industrial crops and products*
- Maas. E.V. & Hoffman, G.J. (1977) *Jlrrig. Drain. Div. ASCE*. 103.115.
- Mass E. V. 1990. Crop salt tolerance. In : *Agricultural salinity and assessment management*
- Monti A., Venturi G. (2003). Comparison of the energy performance of fibre sorghum,sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. *European Journal of Agronomy*,19: 35-43

- Montieth J.L., 1965. Evaporation and environment. 19th Symposia of the society for experimental biology. University Press Cambridge 19Q205 - 234
- Montieth J.L., 1981. Evaporation and surface temperature. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 107:1-27.
- Panoutsou, C., 1999. *Fiber Sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece*. European Energy Crops (BioBase). Document I.D. B10466
- Penman H. L. 1948 Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. Series A. 193
- Pereira, L.S. and M. Smith 1989. Proposed procedures for revision of guidelines for predicting crop water requirements. Land and water Use Div., FAO, Rome, 36p.
- Rijtema, E., 1965. Analysis of actual evapotranspiration, Agric. Res. Report no 69. Centre for Agric. Public And Doc., Wageningen, 111p.
- Roman et al. 1998. Sweet Sorghum an energetical crop of the future in Romania. In: Proceedings of the 10th European Conference on Biomass for energy and industry, C.A.R.M.E.N., Wurzburg, Germany, 8 – 11 June, pp. 1039 – 1041
- Saeed I.A.M., El-Nadi A.H., 1988. Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. Irrigation Sci. 18:67-71.
- Salter D. J. and Goode J. E. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal Bucks
- Sahnoune M., Adda A., Soualem S., Harch M., Merah O., 2004. Early water-deficit effects on seminal roots morphology in barley. C.R. Biol. 327:389-398.
- 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)

- Sharma, M.L. 1985. Estimating evapotranspiration . In: Hillet D. (ed.), Advances in Irrigation, Academic Press, p. 213 - 281
- Slabers P.J. 1980. Practical prediction of actual evapotranspiration. Irrig. Sci. 1 : 185 – 196.
- Smith G.A. , Bagby M.O., Lewellan R.T., Doney D.L., Moore P.H. et al. 1987. Evaluation of sweet sorghum for fermentable sugar production potential. Crop Sci. 27 788 – 793.
- Smith M. RG.Allen J.L. Montieth, A. Perrier L., Pereira and A. Segeren, 1991. Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN. FAO, Rome Italy, 54p.
- Soldatos P., Chatzigaki M. 1999. Economic evaluation of biofuel production in Greece. The case of ethanol. In: Proceedings of ‘AgEnergy 99, vol. 2. Pp.973 – 980.
- Sceitz, G. and I.F. Long, 1969. Surface resistance of crop canopies. Water Resour. Res. 5 622 – 633.
- Tolk J.A., Howell T.A., 2003. Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA Southern Great Plains Soils. Agr. Water Manage. 59:97-111.
- Türe S., Uzun D., Türe E. (1997). The potential use of sweet sorghum as a nonpolluting source of energy. Energy, 22: 17-19.
- 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

- Van Bavel, C.H., C.H.M. and W.L. Ehler, 1968. Water Loss of a sorghum field and stomatal control Agron. J. 60:84-86.
- Wilhoit R.C., Zwolinski B.J. (Eds.) 1973. Physical and thermodynamic properties of aliphatic alcohols. J. Phys. Chem. 2 (Suppl. No. 1) Reference data.
- Brady, N.C. & Weil, R.R. (1996) The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall, New Jersey.
- Woods J., Hall D.O., (1994). Food Agriculture Organization of the United Nations Rome 1994 Bioenergy for development – Technical and environmental dimensions – FAO Environment and energy paper 13 Fao and Agriculture of the United Nations.

Abstract

The growth and yield of sweet sorghum as an energy plant (*Sorghum bicolor* L.), was measured under the influence of drip irrigation and soil-probe method with Penman - Montieth. This experiment was carried out at the farm of University of Thessaly Velestino in 2011. Two treatments of plants were performed, with drip - irrigation under Envirosmart sensor and Penman - Montieth method in 3 iterations. The amount of applied water determined in the case of sensor automatically (based on soil moisture) in the case of the Penman-Montieth through data from the meteorological station which used automatic irrigation program. The growth rate and final yield of dry biomass did not differ statistically significantly in both treatments A100 (sensor) and E100 (Penman - Montieth). Total biomass in A100 treatment reached the levels of $150 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ and in E100 (Penman - Montieth) treatment reached the levels of $162 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dry biomass in case of Penman - Montieth was $33 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1}$ and in the treatment of sensor was $31 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1}$. But it is worth notice that the use of the sensor (the output results in both treatments is the same) is enhanced by offering time saving to the producer.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή	2
1.1	Έδαφος.....	4
1.2	Η Εδαφική υγρασία.....	5
1.3	Ριζόστρωμα.....	6
1.4	Υπολογισμός Υδατικών Απαιτήσεων.....	6
1.5	Παραγωγή Βιομάζας από Ενεργειακές Καλλιέργειες	9
2	Σόργο	13
2.1	Γλυκό και Ινώδες Σόργο	13
2.2	Είδη και χρήσεις σόργου.....	14
2.3	Βοτανική Ταξινόμηση	17
2.4	Καλλιεργητικές τεχνικές.....	18
2.5	Παραγωγικότητα.....	21
3	Άρδευση	23
3.1	Γενικά.....	23
3.2	Τα διάφορα συστήματα άρδευσης.....	28
3.3	Υδατικές απαιτήσεις των καλλιεργειών	36
3.3.1	Προσδιορισμός Υδατικών Απαιτήσεων	36
3.3.2	Μέθοδοι Blaney – Criddle.....	39
3.3.3	Τροποποιημένη μέθοδος Blaney-Criddle κατά SCStc	39
3.3.4	Μέθοδος MAKKINK	40
3.3.5	Μέθοδος του εξατμισιμέτρου	41

3.3.6	Μέθοδοι Penman – Montith	41
4	Υλικά και Μέθοδοι	45
4.1	Γενικά – Οριοθέτηση – Σχέδιο πειραματικού Αγρού	45
4.2	Ευφύες Σύστημα Στάγδην Άρδευσης	48
4.3	Όργανα Μέτρησης	50
4.3.1	Ποσότητα Νερού	50
4.3.2	Εδαφική Υγρασία	50
4.3.3	Μετεωρολογικά δεδομένα	52
4.3.4	Ευφύες σύστημα άρδευσης	54
4.4	Υλικά άρδευσης	61
5	Αποτελέσματα – Συζήτηση	64
5.1	Κλιματικά Δεδομένα	64
5.2	Ανάπτυξη της καλλιέργειας	68
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87