

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ και
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ. 39

Ημερομηνία 10-10-2003

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΡΟΔΙΑΤΗΣ ΑΝΕΣΤΗΣ
Α.Μ.: 0498049

**«Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμογή
ίδιας ποσότητας νερού σε διαφορετικό εύρος
άρδευσης»**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΒΟΛΟΣ 2003



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

Αριθ. Εισ.: 2586/1

Ημερ. Εισ.: 10-10-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ

2003

ΡΟΔ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070487

Εξεταστική Επιτροπή

Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Κ. ΚΙΤΤΑΣ

Καθηγητής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Θ. ΓΕΜΤΟΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πολλές ευχαριστίες προς την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κα. Μ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Τέλος θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στην οικογένειά μου και στους φίλους μου για την συμπαράστασή τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1	9
1. Γενικά για το βαμβάκι	9
1.1 Εξέλιξη και Σημασία για την Ελλάδα	10
1.2 Βοτανική Περιγραφή	11
1.3 Αύξηση και Ανάπτυξη φυτού	11
1.4 Οικολογικές Απαιτήσεις.....	13
1.4.1 Θερμοκρασία	13
1.4.2 Έδαφος	13
1.4.3 Άρδευση.....	14
1.4.3.1 Χρόνος εφαρμογής των αρδεύσεων.....	14
1.4.3.2 Τρόποι αρδεύσεως	16
Κεφάλαιο 2	18
2. Ανάγκες των Καλλιεργειών σε Νερό	18
2.1 Εξατμισοδιαπνοή	18
2.2 Φυτικοί Συντελεστές	20
2.3 Μέθοδοι Υπολογισμού της Εξατμισοδιαπνοής	22
2.3.1 Μέθοδος Εξατμισιμέτρου	22
2.4 Ανάγκες του βαμβακιού σε νερό.....	25
Κεφάλαιο 3	28
3. Υδραυλικές Παράμετροι.....	28
3.1 Υδατοϊκανότητα του εδάφους	28
3.2 Σημείο Μόνιμης Μάρανσης	28
3.3 Φαινόμενο Ειδικό Βάρος.....	29
3.4 Διαθέσιμη και Ωφέλιμη Υγρασία στις καλλιέργειες....	30
3.5 Διάρκεια Δόση και Εύρος Άρδευσης	30
Κεφάλαιο 4	32
4. Άρδευση με Σταγόνες	32
4.1 Πλεονεκτήματα της μεθόδου.....	33
4.2 Μειονεκτήματα της μεθόδου	35
4.3 Περιγραφή Συστήματος στάγδην άρδευσης.....	36
4.4 Διατάξεις Στάγδην Άρδευσης.....	37
4.5 Μονάδα ελέγχου	38

Κεφάλαιο 5	41
5. Υλικά και μέθοδοι.....	41
5.1 Κλιματικά Δεδομένα.....	41
5.2 Σχήμα Αγρού.....	42
5.3 Μεταχειρίσεις	44
5.4 Σπορά	46
5.5 Εγκατάσταση Αρδευτικού Συστήματος – Υλικά	46
5.6 Εφαρμογή Άρδευσης.....	48
5.7 Ημερολόγιο Εργασιών	53
 Κεφάλαιο 6.....	 56
6. Αποτελέσματα	56
6.1 Κλιματικά Δεδομένα.....	56
6.2 Ύψος και Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας των φυτών....	57
6.3 Απόδοση της καλλιέργειας	58
6.4 Συμπεράσματα.....	60
Βιβλιογραφία	61

Περίληψη

Σε πείραμα αγρού που πραγματοποιήθηκε στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) την καλλιεργητική χρονιά 2002, διερευνήθηκε η ανάπτυξη και απόδοση του βαμβακιού ως κλωστικού φυτού (*Gossypium hirsutum* L. ποικιλία OPAL) υπό την επίδραση της στάγδην άρδευσης. Επίσης υπολογίστηκαν οι ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας με τη μέθοδο του εξατμισιμέτρου τύπου άλφα. Εφαρμόστηκαν δυο μεταχειρίσεις η πρώτη με εύρος άρδευσης 2 μέρες (E2) και η δεύτερη με εύρος άρδευσης 10 μέρες (E10). Στις δυο μεταχειρίσεις εφαρμόστηκε η ίδια ποσότητα νερού. Η ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου Α όπου υπολογιζόταν η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας πριν από κάθε άρδευση με σκοπό την πλήρη κάλυψη των αναγκών της καλλιέργειας. Έγινε αυτοματοποίηση της άρδευσης με προγραμματιστή άρδευσης, ο οποίος ήλεγχε τις ηλεκτροβάνες κάθε μεταχείρισης. Μετρήσεις της παραγωγής έδειξαν ότι η απόδοση ήταν μεγαλύτερη για συχνότητα άρδευσης 2 ημερών. Ωστόσο από την στατιστική ανάλυση οι διαφορές στην απόδοση μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν επιβεβαιώθηκαν στατιστικά. Επίσης δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων για το ύψος των φυτών, τον αριθμό καρυδιών και το δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

Εισαγωγή

Το νερό βασικό στοιχείο κάθε βιολογικής διαδικασίας, διαδραματίζει το σημαντικότερο ρόλο στη ζωή του ανθρώπου και αποτελεί έναν από τους βασικότερους παράγοντες της οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης κάθε χώρας. Στην προοπτική των δυο επόμενων δεκαετιών μάλιστα, εκτιμάται ότι το νερό θα αποτελέσει τον πλέον κρίσιμο περιοριστικό παράγοντα για την επιβίωση και την ανάπτυξη των περισσότερων αναπτυσσόμενων, αλλά και πολλών ήδη αναπτυγμένων χωρών στον κόσμο. Οι δυσοίωνες προβλέψεις αυτές, που δεν είναι ούτε άγνωστες, πρέπει επιτέλους να κρούσουν τον κώδωνα του κινδύνου και να μας οδηγήσουν στην αποδοχή της κρίσης τόσο στην επάρκεια όσο και στον τρόπο διαχείρισης του νερού.

Ο κύριος χρήστης νερού είναι η γεωργία, με συμμετοχή που ανέρχεται στο 87,4% των υδάτων της χώρας αρδεύοντας σήμερα 14,5 εκατ. στρ.. Για τον λόγο αυτό έχει ιδιαίτερη βαρύτητα η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης που διαμορφώνει αυτό το επίπεδο ζήτησης με αποτέλεσμα την διερεύνηση δυνατοτήτων εξοικονόμησης νερού μέσα από κατάλληλες ενέργειες και επεμβάσεις. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης νερού για άρδευση άσκησε ισχυρότατη πίεση στους διαθέσιμους υδατικούς πόρους.

Γενική είναι η διαπίστωση ότι τι υφιστάμενο σήμερα καθεστώς στον τομέα των αρδεύσεων οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη νερού. Ένα από τα βασικότερα αίτια της σπατάλης αυτής είναι ο μη ακριβής προσδιορισμός των αναγκών σε νερό άρδευσης των καλλιεργειών. Το ύψος των απωλειών νερού είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη σωστή εφαρμογή της άρδευσης, η οποία προϋποθέτει τον ακριβή υπολογισμό της αρδευτικής δόσης, τον προσδιορισμό του χρόνου εφαρμογής των αρδεύσεων που καθορίζεται από την διακύμανση της εξατμισοδιαπνοής και της βροχής κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, τον προσδιορισμό της διάρκειας της άρδευσης που καθορίζεται από τη διηθητικότητα του εδάφους και την εφαρμοζόμενη μέθοδο.

Η διαθεσιμότητα νερού έχει φθάσει στα όρια της και η μόνη εναλλακτική λύση που απομένει είναι η ανάπτυξη τεχνικών εξοικονόμησης, ώστε η ζήτηση να σταθεροποιηθεί στα σημερινά επίπεδα ή να περιορισθεί κάτω από τα επίπεδα αυτά. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε το πείραμα στον

αγρό του Π.Θ. στο Βελεστίνο. Έγινε υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας βαμβακιού με τη μέθοδο του εξατμισιμέτρου τύπου άλφα και προγραμματισμός των αρδεύσεων. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης του εύρους άρδευσης στην ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας του βαμβακιού εφαρμόζοντας τη σύγχρονη μέθοδο της στάγδην άρδευσης.

Κεφάλαιο 1

1. Γενικά για το βαμβάκι

Το βαμβάκι είναι φυτό τροπικών και υποτροπικών περιοχών και καλλιεργείται από τους προϊστορικούς χρόνους. Υπάγεται στο γένος *Gossypium*. Σύμφωνα με ιστορικά δεδομένα, στην Ινδία πριν από 5,5 χιλιοετηρίδες πρωτοκαλλιεργήθηκαν τα είδη *Gossypium arboreum* και *Gossypium herbaceum*, ενώ κάπως αργότερα, αλλά και ανεξάρτητα, άρχισαν να καλλιεργούνται στον Νέο Κόσμο τα *Gossypium hirsutum* και *Gossypium barbadense*.

Από τα παραπάνω τέσσερα είδη βαμβακιού την πρώτη θέση κατέχει σήμερα το *Gossypium hirsutum* και ακολουθεί με μεγάλη διαφορά το *Gossypium barbadense*. Η επέκταση της βαμβακοκαλλιέργειας στις σημερινές βαμβακοπαραγωγικές χώρες έγινε κυρίως από τον 18^ο αιώνα και μετέπειτα, παράλληλα με τη βελτίωση των μηχανών εκκοκκισμού και βιομηχανοποίησης των ινών αλλά και λόγω των αυξημένων αναγκών σε κλωστικά προϊόντα.

Το βαμβάκι είναι από τα πιο ενδιαφέροντα φυτά και η καλλιέργειά του επηρεάζει την οικονομική ανάπτυξη και ευημερία σε πολλές χώρες του κόσμου. Είναι φυτό που παράγει φυσική ίνα με απaráμιλλες ιδιότητες για πολλές χρήσεις και δίνει παράλληλα τον σπόρο που είναι πλούσια πηγή λαδιού και πρωτεΐνης για τη διατροφή του ανθρώπου και την κτηνοτροφία.

Καλλιεργείται παγκοσμίως σε έκταση 330 εκατομμυρίων περίπου στρεμμάτων, με ετήσια παραγωγή περίπου 19 εκατ. τόνους εκκοκκισμένο και με κύριες χώρες παραγωγής τις Η.Π.Α., Κίνα, Ινδία, Πακιστάν και Ουζμπεκιστάν, οι οποίες παράγουν περίπου το 70% της παγκόσμιας παραγωγής. (2)

Παρόλο τον ανταγωνισμό που δέχεται το βαμβάκι από τις τεχνητές ίνες, η παγκόσμια κατανάλωση βαμβακιού παρουσιάζει συνεχή και σταθερή αύξηση, κυρίως χάρη στη στροφή που παρατηρείται στην προτίμηση της καταναλώσεως από τις ανθυγιεινές τεχνητές ίνες στις φυσικές, που διαθέτουν καλύτερες ιδιότητες.

1.1 Εξέλιξη και Σημασία για την Ελλάδα

Μετά από μια ανοδική πορεία αρκετών χρόνων και αφού έφτασε σε ύψος ρεκόρ το 1995, η καλλιέργεια του βαμβακιού σταθεροποιήθηκε στα 4 εκατ. στρ. Το βαμβάκι καταλαμβάνει κάθε χρόνο τις μισές από τις αρδευόμενες εκτάσεις, καλλιεργείται στους μισούς νομούς της χώρας και απασχολεί πάνω από 100000 καλλιεργητές. Η Ελλάδα συγκαταλέγεται μεταξύ των 10 σημαντικότερων βαμβακοπαραγωγικών χωρών του κόσμου, ενώ κατέχει μια από τις πρώτες θέσεις σε ότι αφορά τις στρεμματικές αποδόσεις. Το βαμβάκι είναι σήμερα η πιο δυναμική καλλιέργεια, ανάμεσα στα φυτά μεγάλης καλλιέργειας και το πρώτο από άποψη συναλλαγματικής αξίας προϊόν. Έγινε εισαγωγή στην Ελλάδα του *Gossypium hirsutum* το οποίο εκτόπισε το *Gossypium arboreum* και *Gossypium herbaceum*. Στην αρχή του 20^{ου} αιώνα, αλλά και αργότερα, έγιναν προσπάθειες να διαδοθεί στην Ελλάδα και το Αιγυπτιακό βαμβάκι, καθώς και ορισμένες μακρόκλωστες ποικιλίες τύπου Sea Island, αλλά δεν είχαν πρακτικό ενδιαφέρον, γιατί τα βαμβάκια αυτά οψιμίζουν πολύ και δίνουν ασύμφορη παραγωγή. (12)

Για την Ελλάδα το βαμβάκι αποτελεί το κορυφαίο αγροβιομηχανικό προϊόν και ο ρόλος του είναι σημαντικός τόσο στον γεωργικό τομέα, όσο και στον τομέα της εθνικής οικονομίας. Το 85% περίπου του ελληνικού βαμβακιού κατατάσσεται στα λευκά βαμβάκια και σχεδόν το σύνολο της παραγωγής έχει μήκος ίνας 28-29mm. Περίπου 150.000 εργάτες σε αστικές περιοχές ασχολούνται με την πρωτογενή και δευτερογενή παραγωγή και χρήση του. Το βαμβάκι στηρίζει την ελληνική κλωστοϋφαντουργία και αποτελεί σημαντική πηγή ξένου συναλλάγματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα, παρόλο που γεωγραφικά είναι οριακή περιοχή για τη βαμβακοκαλλιέργεια, συμπεριλαμβάνεται μεταξύ των πρώτων χωρών παγκοσμίως, τόσο από άποψη αποδόσεων, όσο και από άποψη ποιότητας βαμβακιού. Επιπλέον, είναι η πρώτη βαμβακοπαραγωγός χώρα μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συνεισφέροντας περισσότερο από το 80% της συνολικής παραγωγής της Ένωσης με συνολική παραγωγή 1,2 εκατ. τόνους σύμφωνα με στοιχεία του 2000.

Η ανταγωνιστικότητα της καλλιέργειας ενισχύθηκε τα τελευταία 25 χρόνια με την πλήρη εκμηχάνιση της καλλιέργειας και ειδικότερα την επέκταση της μηχανοσυλλογής που πλησιάζει πλέον, πρακτικώς, το επίπεδο του 100%. Σήμερα παρά τις σημαντικές εισροές που εξακολουθούν να εισρέουν από την Ε.Ε. για τη στήριξη του ελληνικού βαμβακιού, υπάρχει έντονη ανησυχία για το μέλλον της καλλιέργειας, όπως αυτή αναπτύχθηκε ανεξέλεγκτα τα

τελευταία χρόνια. Η καλλιέργεια του βαμβακιού επιβάλλεται να γίνει φιλική προς το περιβάλλον, ώστε να περιορισθεί η ρύπανση που δημιουργήσε, όπως και όλες οι εντατικές καλλιέργειες, με την κατάχρηση των εισροών. (2)

1.2 Βοτανική Περιγραφή

Το βαμβάκι ανήκει στο γένος *Gossypium* της οικογένειας Malvaceae. Το γένος *Gossypium* περιλαμβάνει 49 είδη, από τα οποία ο άνθρωπος εξημέρωσε και καλλιέργησε μόνο τέσσερα, που είναι και τα μόνα με νηματοποιήσιμη ίνα. Δύο διπλοειδή τα *Gossypium arboreum* και *Gossypium herbaceum* και δύο τετραπλοειδή τα *Gossypium hirsutum* και *Gossypium barbadense*.

Υπάρχει πολύ μεγάλη παραλλακτικότητα στο γένος *Gossypium* με φυτά ετήσια και πολυετή. Το άνθος έχει συνήθως τρία βράκτια φύλλα και σπάνια τέσσερα. Ο κάλυκας είναι κυπελλοειδείς, οι στήμονες ενώνονται στη βάση και περιβάλλουν τον στύλο ενώ είναι ελεύθεροι στην κορυφή και φέρουν τους ανθήρες. Ο καρπός είναι κάψα που αποξηραίνεται και γίνεται, όταν ωριμάσει και σχίζεται (ανοίγει) εκεί που ενώνονται τα καρπόφυλλα. Το ριζικό σύστημα αποτελείται από μια πασσαλώδη ρίζα, η οποία αναπτύσσει πολλές δευτερεύουσες ρίζες. Η κύρια ρίζα μπορεί να φθάσει ή και να υπερβεί το βάθος των 2 μέτρων.

Ο βλαστός αποτελείται από το κύριο στέλεχος και τους πλευρικούς κλάδους. Το ύψος του φυτού στα μονοετή βαμβάκια κυμαίνεται συνήθως από 0,6 έως 1,8m αναλόγως της ποικιλίας, των συνθηκών του περιβάλλοντος και της καλλιεργητικής τεχνικής.

Οι ανθοφόροι οφθαλμοί που εξελίσσονται σε άνθη ονομάζονται κτένια. Συνήθως απαιτούνται 21 περίπου ημέρες από την εμφάνιση των κτενιών μέχρι την άνθηση. Η ανθοφορία ακολουθεί κατά κανόνα σπειροειδή γραμμή. (2)

1.3 Αύξηση και Ανάπτυξη φυτού

Το βαμβακόφυτο αναπτύσσεται σύμφωνα με ένα σχετικώς κανονικό χρονοδιάγραμμα. Η διάρκεια των σταδίων αύξησεως και αναπτύξεως του φυτού εξαρτάται από τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής, την ποικιλία και την καλλιεργητική τεχνική και κυμαίνεται μεταξύ 170 και 210 ημερών. Στις 40-45 ημέρες το φυτό σχηματίζει τα πρώτα χτένια, δηλαδή τις

πρώτες ανθικές καταβολές. Ακολουθεί μια περίοδος έντονης ανάπτυξης για 22 μέρες, και στις 65 ημέρες τα πρώτα χτένια γίνονται άνθη. Με την εμφάνιση του άνθους αρχίζει να σχηματίζεται ο σπόρος και η ίνα.

Παρόλη την πρόοδο που έγινε, ώστε από φυτό τροπικών και υποτροπικών περιοχών να καλλιεργείται σήμερα κυρίως στην εύκρατη ζώνη, συχνά η βραχεία καλλιεργητική περίοδος των εύκρατων περιοχών δεν επιτρέπει την κανονική συμπλήρωση του μεγάλου βιολογικού κύκλου του φυτού, με αποτέλεσμα την ποσοτική και ποιοτική μείωση της παραγωγής. Για χώρες όπως η Ελλάδα, που βρίσκονται στα όρια της ζώνης βαμβακιού, κάθε παράγοντας που συντελεί στο να ωριμάσουν τα καρύδια, πριν τις βροχές και παγωνιές του φθινοπώρου, είναι πρωταρχικής σημασίας.

Το φυτό του βαμβακιού είναι φυτό συνεχούς αυξήσεως, ώστε συνεχίζει τη βλαστική του ανάπτυξη και όταν εισέρχεται στο στάδιο της ανθοφορίας. Η βλαστική ανάπτυξη του φυτού προχωρεί με την αύξηση των μόνιμων φύλλων στον κεντρικό βλαστό και την ανάπτυξη φυλλοφόρων μονοποδίων και συμποδιακών κλάδων. Η φυλλική επιφάνεια συνεχίζει να αυξάνει ακολουθώντας ένα σιγμοειδές πρότυπο.

Η συνολική φυλλική επιφάνεια εκφράζεται ως δείκτης φυλλικής επιφάνειας Δ.Φ.Ε. Ο Δ.Φ.Ε. (Leaf Area Index : L.A.I.) είναι η συνολική επιφάνεια μιας πλευράς φύλλων που αντιστοιχεί στη μονάδα επιφάνειας του εδάφους. Ο Δ.Φ.Ε. αυξάνει βραδέως τις πρώτες 6-7 εβδομάδες μετά το φύτευμα, αλλά πολύ γρηγορότερα στη συνέχεια, κατά το πρώιμο στάδιο της καρποφορίας, οπότε επιτυγχάνεται η πλήρης φυλλοκάλυψη του εδάφους. Η φυλλική επιφάνεια μπορεί να συνεχίσει να αυξάνεται και ένα μήνα μετά την εμφάνιση του πρώτου άνθους. (2)

Για να μεγιστοποιηθεί η βιολογική απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας, χρειάζεται πρώιμη ανάπτυξη του φυλλώματος, ώστε το φυτό να εκμεταλλευτεί τον υψηλό ρυθμό καθαρής φωτοσύνθεσης που παρατηρείται με τις ευνοϊκές συνθήκες της ανοίξεως. Όταν υπάρχει πλήρης φυλλοκάλυψη του εδάφους, το φως που πέφτει στη φυλλοστιβάδα δεσμεύεται από τη στέγη της και επομένως τα φύλλα που βρίσκονται χαμηλά μπορεί να μετατραπούν σε παρασιτικά όργανα του φυτού. Η αύξηση επομένως της φυλλικής επιφάνειας πάνω από μια ορισμένη τιμή δεν φαίνεται να συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης γιατί τα κατώτερα φύλλα σκιάζονται. Υπάρχει σημαντική καμπυλόγραμμη σχέση μεταξύ L.A.I. και απόδοσης στο βαμβάκι. Ο άριστος Δ.Φ.Ε. δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά εξαρτάται από τον γενότυπο, από τη διάταξη των φυτών στο χώρο, από την αρχιτεκτονική του φυτού (γωνία έκπτυξης φύλλων, ύπαρξη λοβών στα φύλλα), από τις κλιματολογικές

συνθήκες και την παροχή εισροών, όπως η λίπανση και άρδευση.

1.4 Οικολογικές Απαιτήσεις

Οι κλιματολογικές συνθήκες ασκούν αποφασιστικό ρόλο στη διαμόρφωση της παραγωγής του βαμβακιού και αποτελούν αιτία της διακύμανσης που παρουσιάζουν οι αποδόσεις σε μια περιοχή από χρόνο σε χρόνο. Σε χώρες όπως η Ελλάδα και ειδικότερα στις ψυχρότερες και οψιμότερες περιοχές, οι συνθήκες ανάπτυξης κυρίως στην αρχή και το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου είναι συχνά λιγότερο ευνοϊκές για μια καλή καρποφορία και ωρίμανση της παραγωγής. Βασικός περιοριστικός παράγοντας είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν συχνά κατά την περίοδο βλαστήσεως του σπόρου και αρχικής αναπτύξεως του φυτού, καθώς και οι απρόβλεπτες καιρικές μεταβολές, με πρώιμες βροχές και πτώση της θερμοκρασίας, κατά την ωρίμανση και συγκομιδή.

1.4.1 Θερμοκρασία

Θεωρείται ο σπουδαιότερος κλιματικός παράγοντας που διαμορφώνει το μέγεθος και την ποιότητα της παραγωγής. Θερμοκρασία κάτω των 10°C κατά το φύτευμα είναι επιζήμια για την όλη συμπεριφορά των βαμβακοφύτων. Η ελάχιστη θερμοκρασία εδάφους για τη βλάστηση και φύτευμα του σπόρου είναι 15°C και αέρος $10-12^{\circ}\text{C}$. Η άριστη θερμοκρασία για το φύτευμα αλλά και για τα μετέπειτα στάδια του φυτού είναι 33°C .

1.4.2 Έδαφος

Το βαμβάκι δεν έχει μεγάλες εδαφικές απαιτήσεις. Τα καλύτερα εδάφη θεωρούνται τα μέσης συστάσεως με επαρκή στράγγιση και αερισμό, αλλά και μεγάλη υδατοϊκανότητα. Για τις ελληνικές όμως συνθήκες, των πτωχών σε οργανική ουσία εδαφών, καταλληλότερα είναι τα πλούσια εδάφη. Ανέχεται επίσης μέτρια περιεκτικότητα αλάτων. Το βαμβάκι για να αξιοποιήσει το πλεονέκτημά του, ως βαθύρριζου φυτού, πρέπει το έδαφος να μην είναι πολύ συνεκτικό ή να έχει αδιαπέραστο στρώμα.

1.4.3 Άρδευση

Η επέκταση των αρδεύσεων ήταν για τη χώρα μας ένας από τους βασικότερους συντελεστές της αύξησης των στρεμματικών αποδόσεων. Αποδείχθηκε ότι η άρδευση ήταν προϋπόθεση για να εκδηλωθεί η ωφελιμότητα της λίπανσης, καθώς και ο δυναμισμός των βελτιωμένων ποικιλιών. Σήμερα στη χώρα μας το σύνολο σχεδόν της βαμβακοκαλλιέργειας (~95%) αρδεύεται. (2)

Για την οργάνωση των ποτισμάτων της καλλιέργειας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το κλίμα, το έδαφος, η επάρκεια ή έλλειψη νερού στην περιοχή, σε συνδυασμό με τις καιρικές συνθήκες κατά τη βλαστική περίοδο. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η καλλιεργούμενη ποικιλία, καθώς η κάθε μια έχει τις δικές της απαιτήσεις. Οι πρώιμες ποικιλίες με φτωχότερο ριζικό σύστημα, χρειάζονται νωρίτερα και συχνότερα πότισμα. Επίσης, τα ποτίσματα επηρεάζονται από την εφαρμοζόμενη καλλιεργητική τεχνική και το ύψος των αποδόσεων που επιδιώκεται.

1.4.3.1 Χρόνος εφαρμογής των αρδεύσεων

Εφόσον επικρατήσουν κανονικές καιρικές συνθήκες και έχουν σημειωθεί βροχοπτώσεις στην περίοδο του χειμώνα, μετά τη σπορά γίνονται 1 ή 2 ποτίσματα για το φύτεμα και την πρώτη ανάπτυξη των φυτών. Τα ποτίσματα αυτά πρέπει να γίνονται μόνο σε περιπτώσεις που είναι τελείως απαραίτητα. Το πότισμα για το φύτεμα γίνεται πριν ή μετά τη σπορά, είναι ελαφρύ και γίνεται συνήθως με τεχνητή βροχή.

Μετά το φύτεμα και μέχρι τη συγκομιδή, το βαμβάκι έχει μεγάλες ανάγκες σε νερό. Στο στάδιο ανάπτυξης του βαμβακιού και ιδιαίτερα την εποχή εμφάνισης των πρώτων ανθέων, οι απαιτήσεις των βαμβακοφύτων σε νερό είναι αυξημένες. Τα ποτίσματα αναπτύξεως είναι απαραίτητα σε περιπτώσεις που γίνονται επιφανειακές λιπάνσεις και εφόσον η άρδευση γίνεται με τεχνητή βροχή ή στάγδην, μπορεί το λίπασμα να προστεθεί σε δεξαμενή η οποία τροφοδοτεί το νερό, υπό μορφή υδρολίπανσης. (7)

Το στάδιο της ανθοφορίας θεωρείται το πλέον κρίσιμο για τη βαμβακοφυτεία. Οι μεγάλες ανάγκες των φυτών σε νερό την περίοδο αυτή οφείλονται στην παραγωγή ανθέων, στη θρέψη των καρυδιών και στο σχηματισμό σπόρων και ινών. Η ανάγκη για άρδευση προσδιορίζεται κυρίως από την εμφάνιση των φυτών και την κατάσταση του εδάφους. Τα φύλλα των βαμβακοφύτων που διψούν αποκτούν κυανοπράσινο χρωματισμό και δείχνουν τα σημεία μαράνσεως, ενώ οι βλαστοί αποκτούν κοκκινωπό χρώμα. Επίσης, σταματάει η

ανάπτυξη των φυτών και η ανθοφορία ανεβαίνει πρόωρα στην κορυφή του φυτού με δυσμενείς επιπτώσεις στην απόδοση.

Από πολλά πειράματα βρέθηκε ότι η πρόωρη έναρξη των ποτισμάτων καρποφορίας (πρώτο πότισμα) καθώς και το υπερβολικό πότισμα αργότερα ευνοούν την ανεπιθύμητη βλαστική ανάπτυξη των φυτών, οψιμίζουν και μειώνουν την παραγωγή και υποβαθμίζουν την ποιότητα του προϊόντος, ιδιαιτέρως όταν επικρατήσουν αντίξοες συνθήκες ωρίμανσης και παραγωγής. Εξίσου όμως ζημιογόνος για την ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής μπορεί να αποβεί, ιδιαίτερα για πρώιμη ποικιλία και φυτεία, η καθυστερημένη έναρξη του ποτίσματος. Κατάλληλη εποχή για το πρώτο πότισμα καρποφορίας είναι η έναρξη ανθοφορίας για τις πρώιμες ποικιλίες και περιοχές και λίγο αργότερα, όταν το φυτό δέσει τα πρώτα καρύδια, για τις οψιμότερες ποικιλίες και περιοχές. Συνήθως το πρώτο πότισμα καρποφορίας είναι πιο ελαφρύ από τα επόμενα. Κατά την υπόλοιπη διάρκεια της περιόδου καρποφορίας το βαμβάκι δεν πρέπει να διψάσει. Ο αριθμός των αρδεύσεων εξαρτάται από την ποικιλία, τον πληθυσμό φυτών, την ανάπτυξη και καρποφορία της φυτείας, τις καιρικές συνθήκες και βέβαια από την ποσότητα αρδεύσεως. Συνήθως ο αριθμός των ποτισμάτων καρποφορίας πρέπει να είναι 2-5, λαμβάνοντας υπόψη ότι το βαμβάκι ως βαθύρριζο φυτό θέλει αραιότερες αρδεύσεις αλλά με περισσότερη ποσότητα νερού. Οι αρδεύσεις καρποφορίας περατώνονται συνήθως, αναλόγως της προωμότητας της φυτείας και των καιρικών συνθηκών, περί τα μέσα Αυγούστου. (12)

Αρδεύσεις παραγωγής. Μετά τα μέσα Αυγούστου, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών κυρίως, οι ανάγκες του φυτού σε νερό περιορίζονται. Όταν όμως συνεχίζονται οι υψηλές θερμοκρασίες και ιδιαίτερα σε σχετικώς όψιμες φυτείες, που ένας μεγάλος αριθμός καρυδιών απέχει πολύ από την ολοκλήρωση της ωρίμανσής τους, επιβάλλεται να δίνονται 1-2 ποτίσματα μέχρι τα τέλη Σεπτεμβρίου, ακόμη και μετά το άνοιγμα των πρώτων καρυδιών. Τα ποτίσματα αυτά αποδεικνύονται σε πολλές περιπτώσεις πολύ ωφέλιμα για την αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας των όψιμων καρυδιών. Ειδικότερα για τη νοτιότερη Ελλάδα, όπου ο κίνδυνος της οψιμότητας είναι μικρότερος από τα βορειότερα διαμερίσματα, η πρόωρη περάτωση των αρδεύσεων, πολλές φορές και πριν τις 15 Αυγούστου είναι αιτία για την ποσοτική και ποιοτική μείωση της παραγωγής.

1.4.3.2 Τρόποι αρδεύσεως

Η κατάκλυση δεν συνιστάται στο βαμβάκι, γιατί εκτός από τη σπατάλη ύδατος δημιουργεί συνθήκες ασφυξίας στο ριζικό σύστημα του φυτού. Συνήθως οι αρδεύσεις γίνονται με αυλάκια, με τεχνητή βροχή και με στάγδην άρδευση που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και σήμερα επεκτείνεται όλο και περισσότερο.

Η άρδευση με τεχνητή βροχή είναι πολύ διαδεδομένη και μπορεί να εφαρμοστεί και σε αγρούς που δεν έχουν ισοπεδωθεί ή έχουν μεγάλη κλίση. Τα βασικά μειονεκτήματά της είναι το αυξημένο κόστος προμήθειας, αλλά και λειτουργίας του συγκροτήματος, το ότι η ομοιομορφία άρδευσης επηρεάζεται από την πνοή ανέμου, ότι οι απώλειες ύδατος από εξάτμιση είναι μεγαλύτερες και το ότι με τη διαβροχή των φυτών συμβάλλει στην εκδήλωση ορισμένων ασθενειών.

Τελευταία, η στάγδην άρδευση κερδίζει ταχύτητα έδαφος στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στην Θεσσαλία, όπου εφαρμόζεται στο 50% περίπου των καλλιεργειών βαμβακιού. Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιοχές με έντονα προβλήματα έλλειψης νερού. Το νερό σταλάζει από την οπή των σταλακτήρων που είναι ενσωματωμένοι σε σωλήνες πολυαιθυλενίου, χωρίς να διαβρέχεται το φυτό. Οι σταλακτηφόροι σωλήνες απλώνονται ανά δεύτερη γραμμή βαμβακιού. Παρά το υψηλό κόστος προμήθειας του συστήματος και της περιορισμένης διάρκειας ζωής του δικτύου, το σύστημα αυτό άρχισε να επεκτείνεται ακόμη και σε μη παραδοσιακές βαμβακοπαραγωγικές περιοχές, γιατί έχει πολλά πλεονεκτήματα. Η στάγδην άρδευση εφαρμόζεται στον αγρό συνήθως μετά το τελευταίο σκάλισμα. Όταν αρχίζουν τα ποτίσματα καρποφορίας, ενώ για τα προηγούμενα στάδια η μέθοδος δεν θεωρείται αποτελεσματική. Απαιτείται επίσης ικανοποιητικό φιλτράρισμα του νερού προς αποφυγή εμφράξεων των σταλακτήρων.

Η εξοικονόμηση αρδευτικού νερού, σε συνδυασμό με το συνεχώς αυξανόμενο πρόβλημα της λειψυδρίας, καθιστά τη μέθοδο αυτή πολύ ελκυστική στα πλαίσια της νέας γεωργίας των μειωμένων εισροών, για αυτό, σύμφωνα και με τους Κώδικες Ορθής Γεωργικής Πρακτικής, συνιστάται η χρήση της σε επιδοτούμενα περιβαλλοντικά προγράμματα βαμβακιού. (4)

Τα τελευταία χρόνια γίνονται εφαρμογές υπόγειας στάγδην άρδευσης στις ΗΠΑ και το Ισραήλ, ενώ το σύστημα, για το οποίο αναφέρονται πολλά πλεονεκτήματα, αρχίζει να προκαλεί ενδιαφέρον και στην Ελλάδα. Το 1995 από τα 4.224.000 στρ. βαμβακιού που αρδεύτηκαν στη χώρα μας η τεχνητή βροχή εφαρμόστηκε σε ποσοστό 82,8% (28,4 με

χειρομετακινούμενους αγωγούς και 54,4 με αυτοκινούμενα καρούλια ή καρούλια-μπάρες), η στάγδην άρδευση σε ποσοστό 14,8% και η μέθοδος με αυλάκια περιορίστηκε στο 2,4% (Οργανισμός Βάμβακος: Έκθεση καλλιέργειας βαμβακιού). (12)

Η ανάγκη για περιορισμό του αρδευτικού ύδατος και για μείωση γενικώς των εισροών επιβάλλουν την εντατικοποίηση των προσπαθειών για δημιουργία ποικιλιών με περιορισμένες ανάγκες, όπως αυτές που ισχυρίζονται τελευταία ότι δημιούργησαν στο Ισραήλ. Επιβάλλεται επίσης ορθή διαχείριση των καλλιεργειών με ορθολογική χρήση του νερού. Πειράματα που έγιναν στην Ελλάδα με χρηματοδότηση από την Ε.Ε. αποδεικνύουν ότι είναι εφικτή η μείωση της συνολικής ποσότητας άρδευσης, που δίνεται σήμερα στο βαμβάκι, χωρίς να μειωθεί η απόδοση. Εξάλλου, η υπερβολική άρδευση, εκτός του ότι εξαντλεί τον πολύτιμο φυσικό πόρο, αυξάνει και τη νιτρορύπανση, για αυτό και η ΕΕ κατευθύνει τα κράτη μέλη στην επιβολή προστίμων στους γεωργούς που υπερβαίνουν το άριστο επίπεδο άρδευσης από οικονομική και περιβαλλοντική άποψη. (2)

Κεφάλαιο 2

2. Ανάγκες των Καλλιεργειών σε Νερό

Οι καλλιέργειες όταν έχουν στην διάθεσή τους νερό χωρίς κανένα περιορισμό, καταναλώνουν ποσότητες οι οποίες ρυθμίζονται από τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που τις περιβάλλει. Αποτέλεσμα αυτού είναι αύξηση της βλάστησης που δεν σημαίνει κατ' ανάγκη αύξηση της παραγωγής. Οι ανάγκες σε νερό μιας καλλιέργειας πρέπει να προσδιορίζονται σαν αυτές που φέρουν το μέγιστο οικονομικό αποτέλεσμα. Οι ανάγκες αυτές εκφράζονται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αυτή βασίζεται στον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και στους φυτικούς συντελεστές που αντιπροσωπεύουν τις ιδιαιτερότητες της κάθε καλλιέργειας. (6)

2.1 Εξατμισοδιαπνοή

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του το νερό μαζί με τα διαλυμένα σ' αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοικτά το νερό κινείται παραπέρα με τη μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα του φυλλώματος. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με τη διαδικασία της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με τις διαδικασίες αυτές αποτελεί την *εξατμισοδιαπνοή*. Το μέγεθος και ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά της.

Τα είδη των φυτών που απαρτίζουν τις διάφορες καλλιέργειες διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά τη βλαστική τους περίοδο, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα, την έκταση και την

ανακλαστικότητα του φυλλώματος και τον τρόπο που καλλιεργούνται. Οι διαφορές αυτές συνεπάγονται αντίστοιχες διαφοροποιήσεις της εξατμισοδιαπνοής από καλλιέργεια σε καλλιέργεια. (6)

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή είναι ένα φαινόμενο εξάτμισης που γίνεται κάτω από ειδικές συνθήκες. Για να υπάρξει εξάτμιση χρειάζεται ενέργεια και, συγκεκριμένα, για την εξάτμιση ενός γραμμαρίου νερού χρειάζεται ενέργεια ίση περίπου με 590 cal. Στη φύση η πηγή που προμηθεύει την ενέργεια αυτή στις καλλιέργειες είναι ο ήλιος. Όταν οι υδρατμοί εγκαταλείψουν την καλλιέργεια γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες ανάμιξης που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση σε ότι αφορά την πυκνότητα, τη σύνθεση και τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση της κινητικότητας των υδρατμών που, κατά κύριο λόγο, διαμορφώνεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας διαμορφώνεται : α) από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμα της και β) από κλιματικούς παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Κάθε σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, για να είναι αξιόπιστη, πρέπει να βασίζεται στην ποσοτική εκτίμηση των παραμέτρων που έχουν σχέση με την καλλιέργεια και το κλίμα.

Το νερό που χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοση μιας καλλιέργειας εκφράζεται με τον όρο *ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας* και αντιπροσωπεύεται από την *εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας* (ET_c). Αυτή είναι το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια που είναι ελεύθερη από κάθε είδους φυτικές ασθένειες, αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Κατά τον ορισμό αυτό η ET_c είναι ισοδύναμη με τη *μέγιστη εξατμισοδιαπνοή* (ET_{max}). Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες ενός χωραφιού αναφέρεται σαν *πραγματική εξατμισοδιαπνοή* (ET_a) της οποίας το άνω όριο της είναι η ET_{max} . (18)

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας εξαρτάται από το κλίμα και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η επίδραση του κλίματος στην ET_c εκφράζεται από την *εξατμισοδιαπνοή αναφοράς* ή *βασική εξατμισοδιαπνοή* (ET_r), η οποία ορίζεται

σαν η εξατμισοδιαπνοή από μια καλλιέργεια “αναφοράς ή βάσης” που αναπτύσσεται δυναμικά κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού. Σαν καλλιέργεια βάσης συνήθως θεωρείται ένας εκτεταμένος χορτοτάπητας που σκιάζει πλήρως το έδαφος και έχει ομοιόμορφο ύψος από 8 μέχρι 15cm. Άλλοι θεωρούν σαν καλλιέργεια βάσης τη μηδική. Η βασική εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ότι διαμορφώνεται από τους κλιματικούς και μόνο παράγοντες μιας περιοχής. Η εξατμισοδιαπνοή κάθε άλλης καλλιέργειας διαφέρει από τη βασική εξατμισοδιαπνοή σαν συνέπεια των διαφόρων που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της, μορφολογικά και φυσιολογικά, από αυτά της καλλιέργειας βάσης. Η διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας ET_c από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ET_r εκφράζεται από το φυτικό συντελεστή k_c έτσι που να διαμορφώνεται η γενική σχέση $ET_c = ET_r k_c$.

Ο υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής γίνεται με διαδικασίες που βασίζονται σε μετρήσιμες κλιματικές παραμέτρους. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό και το είδος των κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούν και τον τρόπο διασύνδεσής τους. Μια από τις μεθόδους αυτές που σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα, γιατί θεωρείται ότι δίνει καλή προσέγγιση της ET_r , είναι η τροποποιημένη μέθοδος του Penman. Μια άλλη, πιο απλή από την προηγούμενη και, για το λόγο αυτό, λιγότερο ακριβής, είναι η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney-Criddle. Πιο πρόσφατα, παρουσιάστηκε η συνδυασμένη μέθοδος των Penman-Monteith, πιο σύνθετη από όλες και, από τη μέχρι τώρα εφαρμογή της, δείχνει να είναι ακριβέστερη όλων. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί και η κλασική μέθοδος των Blaney-Criddle που ουσιαστικά χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σαν τη μόνη κλιματική παράμετρο, έχει σήμερα ξεπεραστεί, δεν παύει όμως να είναι η πρώτη μέθοδος που από το 1950 χρησιμοποιήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα για την κατά προσέγγιση εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής. (18)

2.2 Φυτικοί Συντελεστές

Η βασική εξατμισοδιαπνοή, αντιπροσωπεύει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς. Οι φυτικοί συντελεστές αντιπροσωπεύουν τη διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής μιας οποιασδήποτε άλλης καλλιέργειας από αυτή της καλλιέργειας αναφοράς. Οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την

ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακύμανση κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Οι τιμές τους διαμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που αναπτύσσεται, την καλλιεργητική πρακτική και τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Για τις ετήσιες καλλιέργειες, επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν το k_c είναι ο χρόνος σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης και η συχνότητα των βροχών και αρδεύσεων κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξής τους. Ο συντελεστής k_c αντιπροσωπεύει το συνδυασμένο αποτέλεσμα τριών κύριων χαρακτηριστικών που διακρίνουν την ET_c από την ET_r . Το ύψος της καλλιέργειας, την αντίσταση της μικτής επιφάνειας εδάφους-καλλιέργειας, το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα, την ηλικία και την κατάσταση των φύλλων.

Οι ετήσιες καλλιέργειες παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους, κυρίως σε ότι αφορά το ποσοστό κάλυψης του εδάφους κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής τους και, κατ' επέκταση, στις τιμές των φυτικών συντελεστών. Η βλαστική περίοδος κάθε καλλιέργειας χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια ανάπτυξης. (18)

Στάδιο 1^ο: *Περίοδος εγκατάστασης της καλλιέργειας*. Το στάδιο αυτό αρχίζει με τη σπορά ή μεταφύτευση και φθάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας, κατά την οποία τα φυτά έχουν αναπτυχθεί τόσο που να καλύπτουν το έδαφος σε ποσοστό όχι μεγαλύτερο από 10%.

Στάδιο 2^ο: *Περίοδος κύριας βλάστησης*. Το στάδιο αυτό αρχίζει από εκεί που τελειώνει το προηγούμενο και περιλαμβάνει όλη την περίοδο της έντονης ανάπτυξης του φυλλώματος μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια (ποσοστό κάλυψης από 70% μέχρι 100%). Χαρακτηρίζεται από την έντονη ανάπτυξη των φυτών..

Στάδιο 3^ο: *Περίοδος διαμόρφωσης της παραγωγής*. Περιλαμβάνει την περίοδο ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών, η τιμή του k_c παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του σταδίου.

Στάδιο 4^ο: *Περίοδος ωρίμανσης*. Κατά το στάδιο αυτό συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με τη συγκομιδή. Η τιμή του k_c κατά το στάδιο αυτό μειώνεται όσο πλησιάζει προς το χρόνο συγκομιδής. (6), (18)

Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια αλλά επηρεάζεται και από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο. Έτσι, πρώτο μέλημα στη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών είναι ο καθορισμός

της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων για κάθε εδαφικό διαμέρισμα.

Ο φυτικός συντελεστής κατά το 1^ο στάδιο ανάπτυξης διαμορφώνεται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά το στάδιο αυτό, όπου κύριο χαρακτηριστικό είναι το πολύ μικρό ποσοστό φυτοκάλυψης. Όπως έχει οριστεί, η εξατμισοδιαπνοή είναι το άθροισμα της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους.

2.3 Μέθοδοι Υπολογισμού της Εξατμισοδιαπνοής

Η εξάτμιση του νερού απαιτεί μεγάλες σχετικά ποσότητες ενέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή ET, είναι μια διαδικασία που κυριαρχείται από την ανταλλαγή ενέργειας στην φυτική επιφάνεια και έχει σαν περιοριστικό παράγοντα την ποσότητα της διαθέσιμης ενέργειας. Από αυτό τον περιορισμό είναι δυνατό να γίνει πρόγνωση της έντασης της ET από το καθαρό ισοζύγιο των ροών της ενέργειας στο σύστημα που αποκαλούμε καλλιέργεια. (6)

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς ET_r. Από τις μεθόδους αυτές κάποιες χρησιμοποιούν σαν κύρια παράμετρο τη θερμοκρασία του αέρα, άλλες την ηλιακή ακτινοβολία και οι πιο πρόσφατες, βασίζονται σε συνδυασμό παρατηρήσεων ακτινοβολίας και όλων εκείνων των παραμέτρων, φυτικών και κλιματικών που ρυθμίζουν την κίνηση των υδρατμών. Τέλος άλλες χρησιμοποιούν παρατηρήσεις εξάτμισης από ελεύθερη επιφάνεια νερού. Στην παρούσα εργασία, επειδή για την άρδευση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε το εξατμισόμετρο τύπου άλφα (A), θα περιγραφεί αυτή η μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής.

2.3.1 Μέθοδος Εξατμισιμέτρου

Πολλά μοντέλα βασίζονται σε μια ή περισσότερες μετεωρολογικές μεταβλητές και εκτιμούν την εξατμισοδιαπνοή με διάφορους βαθμούς επιτυχίας. Οι απαιτήσεις σε μετεωρολογικά δεδομένα είναι μικρές, οι μέθοδοι είναι απλές και κατά συνέπεια έχουν ευρύτατη χρήση. Αυτά τα μοντέλα κυρίως βασίζονται σε συσχετίσεις και γι' αυτό η χρήση τους είναι αρκετά τοπική. Η ακρίβεια τους ελαττώνεται αισθητά, εάν χρησιμοποιηθούν έξω από την περιοχή βαθμονόμησής τους.

Με μοντέλα που βασίζονται σε μετρήσεις εξατμισιμέτρων, μετριέται η εξάτμιση από σταθερές επιφάνειες γνωστών διαστάσεων και συσχετίζεται με την δυνητική εξατμισοδιαπνοή με ένα συντελεστή. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην υπόθεση ότι η E_T ελέγχεται αποκλειστικά από την ατμόσφαιρα. Μια τέτοια μέθοδος είναι αυτή του εξατμισιμέτρου λεκάνης. (19)

Εξ αιτίας της απλότητάς τους τα εξατμισίμετρα λεκάνης χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία σχεδίων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως και περιλαμβάνουν “βυθισμένα” ή “πάνω στο έδαφος” εξατμισίμετρα λεκάνης. Ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι τα “εξατμισίμετρα λεκάνης τύπου Α”.

Η εξάτμιση από ένα εξατμισίμετρο, E_p αντιπροσωπεύει την δυνατότητα της ατμόσφαιρας να εξάγει νερό από ένα εξατμισίμετρο συγκεκριμένης μορφής, μεγέθους και χρώματος στο δεδομένο περιβάλλον. Γι’ αυτό, οι ρυθμοί εξάτμισης από διάφορα εξατμισίμετρα σε μια δεδομένη τοποθεσία αναμένονται να είναι διαφορετικά. Τα “βυθισμένα” στο έδαφος εξατμισίμετρα δίνουν χαμηλότερη εξάτμιση από τα εξατμισίμετρα που είναι “πάνω στο έδαφος”. Η τοποθέτηση του εξατμισιμέτρου σε κάποιο σημείο είναι κρίσιμο στοιχείο καθώς η περιβάλλουσα περιοχή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. (6), (18)

Η έκθεση ενός εξατμισιμέτρου λεκάνης είναι επίσης σημαντική. Ο λόγος E_p προς την υπολογιζόμενη E_T κυμαίνεται από 0,6 έως 2,0 ανάλογα με την έκθεση του εξατμισιμέτρου. Οι μικρότερες τιμές συμβαίνουν όταν το εξατμισίμετρο είναι εν μέρει σκιασμένο ή είναι τοποθετημένο μέσα σε ένα αρδευόμενο χωράφι. Η στάθμη του νερού μέσα στη λεκάνη πρέπει διατηρείται σε απόσταση 5-7,5cm κάτω από το άνω χείλος του. Το νερό πρέπει να διατηρείται καθαρό και να μην είναι δυνατή η πρόσβαση στα πουλιά και τα ζώα. Για να μην αναπτύσσονται μύκητες και διάφορα άλγη απαιτείται η χρήση γαλαζόπετρας σε πολύ μικρή δόση και για προστασία το εξατμισίμετρο καλύπτεται από μεταλλικό πλέγμα. Όταν χρησιμοποιείται προστατευτικό πλέγμα στα εξατμισίμετρα λεκάνης (για να μην πίνουν τα πουλιά το περιεχόμενο νερό τους) η εξάτμιση ελαττώνεται. Η εξάτμιση ελαττώνεται κατά 13% με τη χρησιμοποίηση προστατευτικού πλέγματος.

Τα δεδομένα των εξατμισιμέτρων λεκάνης έχει γίνει προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη δυο κυρίως προβλημάτων. Το πρώτο είναι η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής από μια καλά αρδευόμενη φυτοκαλυμμένη επιφάνεια και το δεύτερο ο προσδιορισμός της εξάτμισης από λίμνη.

Σαν φυσικό φαινόμενο, η εξάτμιση από οποιοδήποτε τύπο εξατμισιμέτρου είναι αρκετά διαφορετική από την εξατμισοδιαπνοή από μια φυτοκαλυμμένη επιφάνεια. Πειράματα στα χωράφια έχουν δείξει ότι για μακρές χρονικές περιόδους η εξάτμιση από τα εξατμισίμετρα λεκάνης έχει υψηλή συσχέτιση με την εξατμισοδιαπνοή από την περιβάλλουσα καλλιέργεια υπό συνθήκες πλήρους κάλυψης και πλήρους παροχής νερού. Στις υγρές περιοχές τα εξατμισίμετρα μπορούν να οδηγήσουν σε ρεαλιστικές εκτιμήσεις της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Συνήθως χρησιμοποιείται μια σχέση της μορφής: $ET_r = k_p E_p$ όπου k_p είναι ο συντελεστής εξατμισιμέτρου που ορίζεται ως ο λόγος της εξατμισοδιαπνοής προς την εξάτμιση από το εξατμισίμετρο. Παράδειγμα μιας τέτοιας συσχέτισης μηνιαίων δεδομένων εξατμισοδιαπνοής πάνω από γρασίδι και εξάτμισης από εξατμισίμετρα λεκάνης τύπου A, από διάφορες τοποθεσίες ο “συντελεστής εξατμισιμέτρου” βρίσκεται να προσεγγίζει την τιμή 0,8. Στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί πολλοί “συντελεστές εξατμισιμέτρου”. (18)

Ο λόγος της ET_r από καλαμπόκι με επαρκή παροχή νερού προς την E_p μεταβαλλόταν συναρτήσει του σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας και για τον περισσότερο χρόνο ο “συντελεστής εξατμισιμέτρου” ήταν περίπου 0,9. Όλα αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν μια σημαντική μεταβολή ανάλογα με τον τύπο της καλλιέργειας, το περιβάλλον του εξατμισιμέτρου και τις κλιματικές συνθήκες. Γι’ αυτό η βαθμονόμηση και η χρήση ενός προτύπου εξατμισιμέτρου είναι στοιχεία απαραίτητα για να καταστούν τα δεδομένα των εξατμισιμέτρων χρήσιμα στην εκτίμηση της μέσης δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.

Πολλές προσπάθειες έχουν επίσης γίνει για τη συσχέτιση της εξάτμισης από εξατμισίμετρο λεκάνης με την εξάτμιση λίμνης. Η απλούστερη μεθοδολογία είναι επίσης η χρήση ενός “συντελεστή εξατμισιμέτρου” που ορίζεται ως ο λόγος της εξάτμισης από λίμνη προς την εξάτμιση του εξατμισιμέτρου. Τυπικές τιμές των συντελεστών εξατμισιμέτρου σε ετήσια βάση είναι περίπου 0,80 για το εξατμισίμετρο λεκάνης τύπου Colorado και 0,70 για το εξατμισίμετρο τύπου A. Όταν ο συντελεστής είναι γνωστός, γενικά τα μεγαλύτερα εξατμισίμετρα και αυτά που είναι εγκατεστημένα στο έδαφος είναι τα πιο αξιόπιστα. Όμως ειδικότερα στα μικρότερα εξατμισίμετρα, ο συντελεστής εξαρτάται όχι μόνο από τον τύπο του εξατμισιμέτρου αλλά επίσης από το πόσο εκτεθειμένο είναι όπως και από τις κλιματολογικές συνθήκες. (19)



Φωτογραφία 1. Το εξατμισόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.

2.4 Ανάγκες του βαμβακιού σε νερό

Αναφερόμενοι σε μια τόσο μεγάλη έκταση που καλλιεργείται το βαμβάκι στην Ελλάδα, γίνεται σαφές ότι η γνώση της *πραγματικής εξατμισοδιαπνοής* ET_c του βαμβακιού και κατ' επέκταση του όγκου του νερού που καταναλώνεται από αυτό κατά την αρδευτική περίοδο παίζει σπουδαίο ρόλο στην ορθολογική χρήση του αρδευτικού νερού.

Ακριβής πρόβλεψη των απαιτούμενων αναγκών του βαμβακιού σε νερό δεν είναι δυνατό να γίνει. Μπορεί όμως να εκτιμηθεί η αναμενόμενη μέση μηνιαία τιμή εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς ET_r σε mm/ημέρα και κατ' επέκταση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ET_c για το παραπάνω χρονικό διάστημα, με βάση τον μέσο όρο των ανά μήνα μέσω ημερήσιων τιμών μιας χρονοσειράς ιστορικών κλιματικών δεδομένων.

Η γνώση των απαιτήσεων του βαμβακιού σε νερό τους μήνες αιχμής αλλά και σε όλη την αρδευτική περίοδο θα δώσει τη δυνατότητα στους αρμόδιους φορείς διοίκησης και λειτουργίας των εγχειοβελτιωτικών έργων να βελτιώσουν το σχεδιασμό της χρήσης του αρδευτικού νερού και να προτείνουν την αλλαγή της κατανομής των καλλιεργειών, σε

περίπτωση μείωσης των διαθέσιμων υδατικών αποθεμάτων.
(12)

Οι Doorenbos και Kassam 1979, εκτιμούν τις μέσες συνολικές ανάγκες του βαμβακιού σε 700mm περίπου. Στη βλαστική περίοδο οι ανάγκες είναι μικρές και ίσες με το 10% των συνολικών. Στην περίοδο της άνθησης είναι υψηλές και ίσες με 50-60% των συνολικών. Από εκεί και πέρα οι ανάγκες μειώνονται.

Είναι γνωστό ότι η εφαρμογή του αρδευτικού νερού σε διάφορα κριτικά στάδια των καλλιεργειών διαφοροποιεί την απόδοση της καλλιέργειας. Η έλλειψη επαρκούς εδαφικής υγρασίας κατά τη βλαστική περίοδο και την περίοδο της ωρίμανσης, προκαλεί μικρότερη μείωση της παραγωγής από εκείνη που προκαλείται όταν η έλλειψη υγρασίας συμπίπτει με την περίοδο της ανθοφορίας και της δημιουργίας των καρυδιών. (5)

Γενικά, το βαμβάκι χρειάζεται αρκετή εδαφική υγρασία για να έχει σωστή ανάπτυξη και καλή παραγωγή. Επάρκεις εδαφική υγρασία είναι απαραίτητη πριν και κατά τη διάρκεια του σχηματισμού των χτενιών. Αρδεύσεις που συνεχίζονται κατά τη διάρκεια του ανοίγματος των ανθέων και του σχηματισμού των καρυδιών οδηγούν σε υπερβολική ανάπτυξη και παραγωγή, με ταυτόχρονη καθυστέρηση στο χρόνο συγκομιδής. Έντονη έλλειψη υγρασίας κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας αναστέλλει την ανάπτυξη των φυτών. Μεταγενέστερες όμως αρδεύσεις μπορούν να αναπληρώσουν τη δυσμενή αυτή επίδραση.

Κατά τη βλαστική περίοδο η διαθέσιμη υγρασία σε βάθος 75cm δεν πρέπει να εξαντλείται περισσότερο από 50%. Μεγαλύτερη εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (75%) θα μειώσει την ανάπτυξη του φυτού. Αν αργότερα χορηγηθούν άφθονες ποσότητες νερού θα προκύψει έντονη βλαστική ανάπτυξη που θα οψιμίσει την παραγωγή. (2)

Έλλειμμα υγρασίας από την αρχή έως την πλήρη ανθοφορία έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις στη μείωση της παραγωγής απ' ό,τι έχει μετά την πλήρη ανθοφορία. Αν το έλλειμμα υγρασίας μεταξύ της ανθοφορίας και της αρχής του σχηματισμού των καρυδιών είναι μεγάλο, τότε η πτώση των καρυδιών είναι υπερβολική. Μέτριο έλλειμμα υγρασίας κατά την ανθοφορία σε σημείο που δεν εμποδίζει την βλαστική ανάπτυξη του φυτού, οδηγεί σε υψηλές παραγωγές παρά τη μείωση του αριθμού των ανθέων.

Κατά την περίοδο του σταδίου των καρυδιών, το έδαφος πρέπει να είναι επαρκώς εφοδιασμένο με νερό. Υπερβολική όμως υγρασία κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού καθυστερεί το άνοιγμα των καρυδιών και ευνοεί τις σήψεις αυτών.

Η διακοπή των αρδεύσεων πρέπει να γίνεται πριν από την ωρίμανση. Ο χρόνος διακοπής εξαρτάται από την ικανότητα συγκράτησης του νερού στο έδαφος, την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και τις απαιτήσεις εξάτμισης.

Όταν το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό είναι περιορισμένο, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη παραγωγή, όταν καλύπτονται οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό μερικά και όχι όταν μειώνεται η έκταση για να καλυφθούν οι ανάγκες ολικά. Πρέπει να τονισθεί ότι, πέρα από την παραπάνω γενική πληροφόρηση σε σχέση με το χρόνο εφαρμογής του νερού στο βαμβάκι, είναι αναγκαία η μελέτη της σχέσης νερού-παραγωγής βαμβακιού σε συνδυασμό με τα κριτικά του στάδια, για τις συγκεκριμένες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας. (14)

Κεφάλαιο 3

3. Υδραυλικές Παράμετροι

3.1 Υδατοϊκανότητα του εδάφους

Στην πρακτική των αρδεύσεων είναι βασικό να γνωρίζουμε την ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευθεί σε ένα χωράφι και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευχέρεια από τις καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση τους. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αυτής είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν ορισμένες εδαφικές παράμετροι που αναλύονται παρακάτω.

Σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Σε περίπτωση ενός εδάφους που αρχικά είναι κορεσμένο, όταν αρχίσει η στράγγιση, η υγρασία του εδάφους ελαττώνεται και μαζί της και η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας. Σε κάποια στιγμή η τιμή αυτή γίνεται πολύ μικρή με συνέπεια η κίνηση του νερού στο έδαφος να περιοριστεί τόσο που πρακτικά να θεωρηθεί ανύπαρκτη, έστω και αν η υφιστάμενη υδραυλική κλίση είναι πολύ μεγάλη. Αυτό είναι το καθοριστικό όριο που ονομάζεται υδατοϊκανότητα. Έτσι, σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Συνήθως, η υγρασία του εδάφους θεωρείται ότι φτάνει στην υδατοϊκανότητα τρεις με πέντε μέρες μετά από βροχή ή άρδευση, ανάλογα με την υφή και τη δομή του. Η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης στα φυτά εδαφικής υγρασίας. Η μέτρηση της υδατοϊκανότητας γίνεται με μια συσκευή που λέγεται δίσκος πίεσεως. (6)

3.2 Σημείο Μόνιμης Μάρανσης

Ενώ η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της χρήσιμης για τα φυτά υγρασίας, το αντίστοιχο κάτω όριο της είναι το

σημείο μόνιμης μάρανσης. Όταν η εδαφική υγρασία φθάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και για το λόγο αυτό αρχίζουν να μαραίνονται. Το σημείο μόνιμης μάρανσης δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την υφή και τη δομή του εδάφους, το είδος και την κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά, τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Για τους λόγους αυτούς, η τάση της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό κυμαίνεται από 7 μέχρι 32 bar. Η διαφορά όμως αυτή σε τάση δε σημαίνει ανάλογη διαφορά και σε περιεχόμενη υγρασία. Είναι παρατηρημένο ότι, στα χαμηλά αυτά επίπεδα, μεγάλες μεταβολές της τάσης ελάχιστες συνεπάγονται μεταβολές της υγρασίας. Σήμερα, σαν αντιπροσωπευτική του σημείου μόνιμης μάρανσης όλων των εδαφών, έχει γίνει δεκτή η τάση των 15 bar. (18)

Όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης η ανάπτυξη των φυτών σταματά. Τα φυτά εξακολουθούν να παίρνουν νερό από το έδαφος και κάτω από το σημείο αυτό, αυτό όμως είναι μόλις αρκετό να τα κράτα στη ζωή. Αν η υγρασία ελαττωθεί ακόμη περισσότερο θα προκληθεί ξήρανση των φυτών. Το όριο της εδαφικής υγρασίας κάτω από το οποίο τα φυτά ξεραίνονται λέγεται έσχατο σημείο μάρανσης. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι 60 bar.

3.3 Φαινόμενο Ειδικό Βάρος

Ένα έδαφος, που έχει ξεραθεί σε κλίβανο, αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με αέρα. Το ειδικό βάρος των στερεών σωματιδίων, που αναφέρεται σαν πραγματικό ειδικό βάρος του εδάφους, είναι σχετικά σταθερό για όλα τα ορυκτά εδάφη με διακύμανση από 2,6 μέχρι 2,7 g/cm³. Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με τους γεμάτους με αέρα πόρους του αναφέρεται σαν φαινόμενο ειδικό βάρος και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υφή και τη δομή του.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος ASW και το πραγματικό ειδικό βάρος SWS ενός εδάφους συνδέονται με τη σχέση

$$ASW=(1-n) \cdot SWS$$

όπου n είναι το πορώδες του εδάφους. Επειδή το πραγματικό ειδικό βάρος είναι σχετικά σταθερό, η σχέση δείχνει ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος μικραίνει όσο το πορώδες του εδάφους μεγαλώνει. Επειδή το πορώδες των ελαφρών



(αμμωδών) εδαφών είναι μικρότερο από αυτό των βαρέων (αργιλικών), τα πρώτα έχουν μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος από τα δεύτερα. (6)

3.4 Διαθέσιμη και Ωφέλιμη Υγρασία στις καλλιέργειες

Στην άρδευση δεν μας ενδιαφέρει οποιαδήποτε εδαφική υγρασία και βάθος εδάφους, αλλά συγκεκριμένα η υγρασία ανάμεσα την υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης στο βάθος της ζώνης του ριζοστρώματος. Η υγρασία αυτή λέγεται *διαθέσιμη υγρασία* και υπολογίζεται από τη σχέση

$$ASM = \frac{FC - PWP}{100} * ASW * RD \text{ σε mm ή m}^3/\text{στρέμμα}$$

όπου ASM είναι η διαθέσιμη υγρασία σε mm πάχους υδάτινου στρώματος, FC και PWP είναι αντίστοιχα η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης εκφρασμένα σαν ποσοστά % ξηρού βάρους, ASW είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος που παίρνεται αδιάστατο και RD είναι το βάθος του ριζοστρώματος σε mm ή σε κυβικά μέτρα νερού ανά στρέμμα γης.

Η διαθέσιμη υγρασία διαμορφώνεται ανάλογα με την υφή και τη δομή των εδαφών. Γενικά, αμμώδη εδάφη που στραγγίζονται καλά έχουν μικρή διαθέσιμη υγρασία, ακολουθούν τα ιλυώδη και μετά τα αργιλώδη που έχουν πολύ μεγάλη διαθέσιμη υγρασία.

Στο παρελθόν επικρατούσε η αντίληψη ότι οι καλλιέργειες μπορούσαν αποδοτικά να αντλήσουν όλη τη διαθέσιμη υγρασία, δηλαδή όλο το νερό από την υδατοϊκανότητα μέχρι το σημείο μόνιμης μάρανσης. Αυτό αποδείχθηκε ότι δεν είναι σωστό. Η υγρασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών είναι κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από τον συνδυασμό των φυτικών, εδαφικών και κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή. Το κλάσμα αυτό της υγρασίας λέγεται *ωφέλιμη υγρασία*.(18)

3.5 Διάρκεια Δόση και Εύρος Άρδευσης

Η ωφέλιμη υγρασία του εδάφους αντιπροσωπεύει το νερό που μπορεί με ευχέρεια να αντλήσει από το έδαφος μια καλλιέργεια. Όταν η ωφέλιμη υγρασία ενός χωραφιού

εξαντληθεί πρέπει να αναπληρωθεί με άρδευση, εφόσον σκοπός μας είναι η κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Η θεωρητική δόση άρδευσης δίνεται από τη σχέση

$$I_d = \Delta Y * h * c * p$$

όπου ΔY είναι η διαθέσιμη υγρασία, c το όριο εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας, p το ποσοστό διαβροχής του εδάφους και h το βάθος του ριζοστρώματος. Η πρακτική δόση άρδευσης δίνεται από τη σχέση

$$I_{d_a} = \frac{I_d}{E_a}$$

όπου E_a είναι ο βαθμός εφαρμογής του νερού. Το εύρος άρδευσης είναι το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ δυο διαδοχικών αρδεύσεων και είναι συνάρτηση του βάθους άρδευσης και της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, ET_d . Το εύρος άρδευσης δίνεται από τη σχέση

$$I_i = \frac{I_d}{ET_d}$$

όπου I_d η θεωρητική δόση άρδευσης και ET_d η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή.

Η διάρκεια άρδευσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να εφαρμοσθεί στο χωράφι νερό ίσο με τη δόση άρδευσης. Υπολογίζεται από τη σχέση

$$I_t = \frac{I_{d_a} * S_c * S_r}{q * n}$$

όπου I_{d_a} η πρακτική δόση άρδευσης, S_c η απόσταση μεταξύ των φυτών επί της σειράς, S_r η απόσταση μεταξύ των σειρών των φυτών, q η παροχή του σταλακτήρα και n ο αριθμός των σταλακτῆρων ανά φυτό. (6), (18)

Κεφάλαιο 4

4. Άρδευση με Σταγόνες

Η μέθοδος της άρδευσης με σταγόνες ή στάγδην άρδευσης (drip irrigation), έχει παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια σε παγκόσμια κλίμακα μια αυξανόμενη τάση εφαρμογής. Η μέθοδος συνιστάται στην εφαρμογή νερού σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών έτσι που κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία, με τη βοήθεια ειδικών σταλακτήρων που είναι τοποθετημένοι σε ορισμένες αποστάσεις πάνω σε σωλήνες από πολυαιθυλένιο, μικρής διαμέτρου, οι οποίοι είναι απλωμένοι στο έδαφος κατά μήκος των γραμμών φύτευσης.

Η μέθοδος είναι σχετικά πρόσφατη, είναι πολύ αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σωστά και προσφέρεται κατ' εξοχή για αυτοματισμούς. Ιδιαίτερα, η μέθοδος προσφέρεται για περιπτώσεις που η διαθέσιμη παροχή άρδευσης είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εφαρμοστούν άλλοι μέθοδοι όπως κατάκλυση ή καταιονισμός. Αρχικά, εφαρμόστηκε για την άρδευση λαχανικών, οπωρώνων και αμπελώνων αλλά στη συνέχεια επεκτάθηκε στην άρδευση των περισσότερων γραμμικών καλλιεργειών. Ένα άλλο πλεονέκτημά της είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές με εξαιρετικά ανώμαλη τοπογραφία χωρίς την ανάγκη ισοπέδωσης.

Η πίεση του νερού στους σταλακτήρες είναι 0,2–2 ατμόσφαιρες και η παροχή τους πολύ μικρή γύρω στα 1-10 l/h/σταλακτήρα. Στο νερό πολλές φορές προσθέτονται λιπάσματα ή φάρμακα, η δε πίεσή του εξασφαλίζεται από κάποια αντλία. Τα ποτίσματα γίνονται με πολλή μικρή παροχή ανά σταλακτήρα έτσι ώστε να μην έχουμε επιφανειακό λίμνασμα ή απορροή και με μεγάλη συχνότητα ώστε να διατηρείται η τάση του νερού στο έδαφος σε πολύ χαμηλά επίπεδα. (18)

Η στάγδην άρδευση εφαρμόζεται σε ποικίλα εδάφη κάτω από ποικιλόμορφες τοπογραφικές συνθήκες. Το νερό κινείται κάτω από το έδαφος δημιουργώντας μια υγρή ζώνη γύρω από το ριζικό σύστημα. Το μέγεθος και το σχήμα της ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τον ρυθμό με τον οποίο το φυτό προσλαμβάνει νερό με τις ρίζες του, τον

αριθμό και την θέση των σταλακτήρων ανά φυτό. Από τους μεγαλύτερους πόρους του εδάφους το νερό της άρδευσης κινείται προς τα κάτω με τη βαρύτητα, ενώ από τους μικρότερους πόρους απλώνεται προς όλες τις διευθύνσεις με τα τριχοειδή. Γενικά το σχήμα του εδαφικού όγκου που διαβρέχει κάθε σταλακτήρας είναι από λίγο έως πολύ ακανόνιστο και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που είναι: μηχανική σύσταση του εδάφους, πορώδες, καλλιεργητική κατάσταση, συμπίεση, παρουσία ή όχι λίθων, παρουσία ή όχι εδαφικών στρώσεων, κλίση, παροχή σταλακτήρων, ισαποχή σταλακτήρων. (15)

Η άρδευση με σταγόνες κερδίζει συνεχώς όλο και περισσότερο έδαφος στην εφαρμογή της σε βάρος της τεχνητής βροχής και της επιφανειακής άρδευσης, η οποία περιορίζεται ακόμα περισσότερο εφαρμοζόμενη μόνο σε καλλιέργειες που δεν μπορούν να ποτιστούν με άλλο τρόπο. Στη χώρα μας η μέθοδος χρησιμοποιείται σε όλα σχεδόν τα διαμερίσματά της. Στην αρχή επεκτάθηκε στα θερμοκήπια ή σε εξαιρετικά αποδοτικές καλλιέργειες, αλλά λόγω της μείωσης του κόστους εξαιτίας της βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και των διαφόρων εξαρτημάτων της, εφαρμόζεται και σε άλλες καλλιέργειες όπως αμπέλια, εσπεριδοειδή, ελαιώνες, λαχανικά. Η μικρή απαίτηση της μεθόδου σε εργατικά ημερομίσθια τα οποία έχουν σημειώσει μεγάλη άνοδο και οι υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών όπου χρησιμοποιείται, τείνουν να καλύψουν το υψηλό κόστος της εγκατάστασης και συντελούν στην περαιτέρω εξάπλωσή της.

4.1 Πλεονεκτήματα της μεθόδου

Η άρδευση με σταγόνα έχει διαδοθεί αρκετά τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει. Τα κυριότερα από αυτά είναι στα συστήματα επιφανειακής άρδευσης και άρδευσης με καταιονισμό, το νερό εφαρμόζεται ανά σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα με αποτέλεσμα ανάμεσα στις αρδεύσεις η εξατμισοδιαπνοή και η απορρόφηση του νερού από τα φυτά να δημιουργεί υδατικό έλλειμμα.

- Στην άρδευση με σταγόνες το νερό εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες μόνο σε ένα ορισμένο ποσοστό της επιφάνειας του αγρού. Επειδή η άρδευση με σταγόνες γίνεται δια μέσου ενός σταθερού συστήματος αγωγών, είναι ευκολότερος ο έλεγχος του νερού που δίδεται σε κάθε άρδευση. Δεν

υπάρχουν διακοπές των αρδεύσεων λόγω ανέμου όπως συμβαίνει στον καταιονισμό. Επίσης δεν αρδεύεται ολόκληρη η έκταση του αγρού αλλά μόνο λωρίδες κοντά στα φυτά και έτσι μπορούν να γίνουν καλλιεργητικές εργασίες όπως ψεκασμοί ή συγκομιδή, χωρίς να διακόπτεται η άρδευση. Επί πλέον η αυτοματοποίηση της είναι εφικτή διότι μια μόνο βαλβίδα μπορεί να ελέγξει μια σχετικά μεγάλη αρδευόμενη περιοχή. Ο βαθμός απόδοσής της φθάνει εύκολα το 90% συγκρινόμενη με το 60-80% του καταιονισμού και το 50-60% της επιφανειακής άρδευσης.

- Η υγρασία στο έδαφος κατά την εφαρμογή της άρδευσης με σταγόνες παραμένει σχεδόν σταθερή γιατί το νερό διοχετεύεται σε μικρές ποσότητες και πολύ συχνά. Με την στάγδην άρδευση ο παραγωγός μπορεί να ρυθμίσει την παροχή έτσι ώστε η υγρασία να βρίσκεται διαρκώς στο βέλτιστο επίπεδο. Έτσι τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς stress σε ένα ιδανικό περιβάλλον υγρασίας. Έτσι επιτυγχάνεται πρωίμηση και αύξηση των αποδόσεων.
- Το σύστημα παρουσιάζει τον μικρότερο βαθμό απωλειών τόσο κατά την μεταφορά του νερού όσο και κατά την εφαρμογή του. Η εξοικονόμηση νερού είναι κατά 25% μεγαλύτερη από την άρδευση με καταιονισμό και 50% από τις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης. Σ' αυτό συντελεί η μείωση των απωλειών από επιφανειακή απορροή και από βαθεία διήθηση.
- Κατά την άρδευση με υφάλμυρο νερό με τις άλλες μεθόδους, η συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος αυξάνει καθώς το έδαφος ξηραίνεται μεταξύ των διαδοχικών ποτισμάτων. Με την στάγδην άρδευση η συγκέντρωση των αλάτων ελέγχεται λόγω της διαρκούς εκπλύσεως. Τα άλατα απωθούνται προς την περιφέρεια της διαβρεχόμενης περιοχής. Τα φυτά μπορούν να πάρουν νερό από το κέντρο της ζώνης διαβροχής όπου η τάση είναι χαμηλή.
- Με την στάγδην άρδευση το νερό εφαρμόζεται τοπικά στην καλλιέργεια με αποτέλεσμα μόνο ένα τμήμα το εδάφους να διαβρέχεται, έτσι περιορίζεται σημαντικά η εξάτμιση από έδαφος, περιορίζεται η ανάπτυξη των ζιζανίων, διευκολύνεται η μετακίνηση

στις ξηρές λωρίδες των μηχανημάτων για ψεκασμούς, συγκομιδή και άλλες καλλιεργητικές εργασίες.

- Το ξηρό φύλλωμα καθυστερεί την ανάπτυξη πολλών παθογόνων μικροοργανισμών και μυκήτων στα φυτά. Η στάγδην άρδευση δεν διαβρέχει τα φύλλα και έτσι δεν εκπλύνονται τα φυτοφάρμακα από την επιφάνεια τους. Είναι δυνατόν να προστεθούν στο νερό άρδευσης λιπάσματα, διαδικασία η οποία έχει διάφορα προτερήματα έναντι των άλλων μεθόδων ως προς την οικονομία χρήματος και εργατικών χεριών. Επί πλέον η εφαρμογή τους είναι πιο ακριβής διότι γίνεται απ' ευθείας στη ζώνη διαβροχής και έτσι απορροφάται γρήγορα από τα φυτά. Η στάγδην άρδευση ενδείκνυται ιδιαίτερα για προσθήκη φυτοφαρμάκων κατά των ασθενειών εδάφους διότι αυτά είναι πιο αποδοτικά σε μικρές δοσολογίες.

4.2 Μειονεκτήματα της μεθόδου

- Το κόστος της πρώτης εγκατάστασης είναι υψηλό, οι παρατηρούμενες όμως υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών σε συνδυασμό με το μικρό ποσοστό εργατικών χεριών που απαιτεί η μέθοδος και χάρη στη μείωση του κόστους λόγω της βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων, τείνουν να εμφανίσουν αμελητέο το εν λόγω μειονέκτημα.
- Άλλο πρόβλημα της μεθόδου είναι οι εμφράξεις των σταλακτιήρων. Αυτές μπορεί να οφείλονται στην παρουσία στερεών σωματιδίων στο νερό άρδευσης όπως άμμος. Ένα ακόμη πρόβλημα που δημιουργείται είναι από τη συσσώρευση των αλάτων στην περιφέρεια της υγρής ζώνης. Αυτά μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στις επόμενες καλλιέργειες εάν αρδευτούν με μια άλλη μέθοδο άρδευσης κυρίως σε ξηρές περιοχές όπου οι βροχές δεν είναι αρκετές για να εκπλύνουν τα άλατα. Το πρόβλημα δεν υφίσταται στην Ελλάδα και ελαττώνεται αν γίνει άρδευση με καταιονισμό ή επιφανειακή άρδευση.(15), (18), (4)

4.3 Περιγραφή Συστήματος στάγδην άρδευσης

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα δίκτυα μεταφοράς, εφαρμογής και από τη μονάδα ελέγχου. Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους αγωγούς μεταφοράς που μεταφέρουν το νερό στους αγωγούς τροφοδοσίας οι οποίοι εξασφαλίζουν την απαιτούμενη παροχή και φορτίο στις υδροληψίες των αγωγών εφαρμογής. Οι αγωγοί του δικτύου μεταφοράς είναι συνήθως από άκαμπτο PVC και πρέπει να τοποθετούνται υπόγεια, τόσο για την προστασία τους όσο και για την διευκόλυνση της κυκλοφορίας στο χωράφι των καλλιεργητικών μηχανημάτων.

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από εύκαμπτους σωλήνες πολυαιθυλενίου με συνηθισμένη διάμετρο 12-16mm, που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και τα 25mm και έχουν αντοχή 4 ή 6 atm, στους οποίους, σε προκαθορισμένες θέσεις, τοποθετούνται ή ενσωματώνονται οι σταλακτήρες μέσω των οποίων το νερό φτάνει στο έδαφος με τη μορφή σταγόνων.

Η μονάδα ελέγχου τοποθετείται στην αρχή του δικτύου αμέσως μετά το αντλητικό συγκρότημα ή την υδροληψία αν το δίκτυο είναι συλλογικό και περιλαμβάνει μετρητή ροής, φίλτρα, ρυθμιστές πίεσης και συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Κύριο στοιχείο της μονάδας ελέγχου αποτελούν τα φίλτρα γιατί το νερό που παροχετεύεται στο δίκτυο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά, ακόμη και πολύ μικρών διαστάσεων, για να μην αποφράσσονται οι σταλακτήρες. (15)

Βάση του συστήματος στάγδην άρδευσης είναι οι σταλακτήρες. Το νερό εμφανίζεται στην έξοδο των σταλακτάρων με τη μορφή σταγόνων κατά τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε σε κάθε θέση να διηθούνται στο έδαφος λίγα λίτρα νερού την ώρα. Για να μπορεί να εκπληρώσει σωστά την αποστολή του, ένας σταλακτήρας πρέπει να εξασφαλίζει μικρή και ομοιόμορφη παροχή που να μην επηρεάζεται από περιορισμένες μεταβολές της πίεσης στον αγωγό εφαρμογής, να έχει σχετικά μεγάλη διατομή ροής ώστε να μην επηρεάζεται σημαντικά και να μην παθαίνει αλλοιώσεις από τις έντονες μεταβολές της θερμοκρασίας κατά την έκθεσή του στο χωράφι, να είναι ευκόλοχρηστος και να έχει μικρό κόστος. (4)

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια έχει σχεδιαστεί μια μεγάλη ποικιλία σταλακτάρων που, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες. Έτσι, ανάλογα με το είδος ροής του νερού, διακρίνονται σε

σταλακτῆρες με στρωτή ροή, με μερικά στροβιλώδη ροή και με στροβιλώδη ροή. Ανάλογα με τον τρόπο απόσβεσης ή στραγγαλισμού της πίεσης διακρίνονται σε σταλακτῆρες με μακρύ διάδρομο ροής και με επιστόμιο ή οπή. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι αυτορυθμιζόμενοι που διατηρούν σταθερή παροχή ανεξάρτητα από το φορτίο με κάποιο μηχανισμό αυτόματης ρύθμισης. Ανάλογα με την ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους διακρίνονται σε αυτοκαθαριζόμενους και μη αυτοκαθαριζόμενους. Οι αυτορυθμιζόμενοι σταλακτῆρες είναι κατά κανόνα και αυτοκαθαριζόμενοι.

Αν η ροή ενός σταλακτῆρα είναι στρωτή, η παροχή του επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Επειδή οι διακυμάνσεις αυτές είναι σημαντικές κατά τη διάρκεια της ημέρας στα χωράφια, η ενστάλαξη του νερού γίνεται ανομοιόμορφα. Για το λόγο αυτό στα δίκτυα με σταγόνες πρέπει να χρησιμοποιούνται σταλακτῆρες με στροβιλώδη ροή.

4.4 Διατάξεις Στάγδην Άρδευσης

Όπως αναφέρθηκε, οι σταλακτῆρες είναι τοποθετημένοι στους αγωγούς εφαρμογής. Οι αγωγοί αυτοί τοποθετούνται στο έδαφος με διάφορες διατάξεις ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσουν. Η πιο κοινή διάταξη είναι η απλή ευθύγραμμη στην οποία οι αγωγοί εφαρμογής ακολουθούν τις γραμμές των φυτών της καλλιέργειας και σχεδιάζονται έτσι που κατά την άρδευση να σχηματίζεται μια συνεχής ζώνη διαβροχής του εδάφους με το επιθυμητό κατά περίπτωση πλάτος. Η συνέχεια της υγρής ζώνης εξασφαλίζεται αν τοποθετηθούν οι σταλακτῆρες σε απόσταση μεταξύ τους κατά τι μικρότερη από τη διάμετρο διαβροχής. Η απόσταση αυτή, κατά κοινή πρακτική, παίρνεται ίση με 0,8 της διαμέτρου. (4)

Η αποδοτικότητα στη στάγδην άρδευση υπολογίζεται με τη σχέση

$$E_r = TR * EU$$

όπου TR είναι το μέρος εκείνο του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης του νερού. Οι τιμές του TR κυμαίνονται από 0,9 σε ξερά κλίματα με μικρό ποσοστό ύγρανσης και αυξημένη περιεκτικότητα του νερού σε άλατα, μέχρι 1 σε υγρά κλίματα που η άρδευση είναι καθαρά συμπληρωματική και η αλατότητα του εδάφους δεν αποτελεί πρόβλημα. Γενικά, σε ένα σύστημα που λειτουργεί

σωστά κάτω από συνθήκες παρόμοιες με τις ελληνικές, η τιμή του TR είναι περίπου 0,95. Η ομοιομορφία ενστάλαξης EU έχει σχέση με την καλή λειτουργία των σταλακτών και τη σταθερότητα της παροχής τους κάτω από τα φορτία του δικτύου. Σε ένα δίκτυο που λειτουργεί ικανοποιητικά, η EU κυμαίνεται από 0,90 μέχρι 0,95 και μπορεί να φτάσει τη μονάδα αν στο δίκτυο χρησιμοποιούνται αυτορυθμιζόμενοι σταλακτές υψηλής απόδοσης. (18)

Όπως έχει αναφερθεί, μια τυπική αρδευτική μονάδα σε ένα σύστημα άρδευσης με σταγόνες αποτελείται από τους αγωγούς εφαρμογής που φέρουν τους σταλακτές και τον αγωγό τροφοδοσίας που εφοδιάζει με νερό τους αγωγούς εφαρμογής. Το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό του δικτύου της μονάδας είναι ο καθορισμός των μέγιστων επιτρεπόμενων απωλειών. Οι απώλειες αυτές για ολόκληρη τη μονάδα, όταν οι αγωγοί έχουν μηδενική κλίση (έδαφος οριζόντιο), δεν πρέπει να υπερβαίνουν το 20% του λειτουργικού φορτίου των σταλακτών. Στην περίπτωση που οι σταλακτές του δικτύου είναι αυτορυθμιζόμενοι, όπου η παροχή τους είναι ανεξάρτητη του φορτίου όταν αυτό κυμαίνεται μέσα σε κάποια όρια που καθορίζονται από τους κατασκευαστές, οι μέγιστες επιτρεπόμενες απώλειες μπορεί να φτάσουν μέχρι το άνω όριο του φορτίου αυτού.

4.5 Μονάδα ελέγχου

Βασικό στοιχείο ενός συστήματος στάγδην άρδευσης αποτελεί η μονάδα ελέγχου που εγκαθίσταται αμέσως μετά την υδροληψία του συστήματος. Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει τα φίλτρα νερού, συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, ρυθμιστές φορτίου, μετρητές ροής και διάφορα άλλα εξαρτήματα.

Σκοπός της τοποθέτησης των φίλτρων είναι η πρόληψη των πιθανών φθορών και δυσλειτουργιών του δικτύου που μπορεί να προκληθούν από τα μεταφερόμενα με το νερό φερτά υλικά. Ανάλογα με τη φύση και το μέγεθός τους τα φερτά υλικά μπορεί να προκαλέσουν πλήρη ή μερική απόφραξη του συστήματος ή τμημάτων αυτού, φθορά ευαίσθητων εξαρτημάτων και ελάττωση της ροής. (15)

Τα φίλτρα γενικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, τα *φίλτρα σίτας*, τους *υδροκυκλώνες* και τα *φίλτρα χαλίκων ή άμμου*. Τα φίλτρα σίτας έχουν σα διηθητικό μέσο ένα πλέγμα σίτας κατασκευασμένο από μεταλλικά ή πλαστικά νήματα. Χρησιμοποιούνται συνήθως όταν το νερό περιέχει λεπτόκοκκα υλικά. Οι υδροκυκλώνες χρησιμοποιούνται όταν το νερό

περιέχει στερεά υλικά μεγάλης σχετικά διαμέτρου, όπως είναι η άμμος που παρατηρείται συνήθως στο νερό των γεωτρήσεων. Τα φίλτρα χαλικιών ή άμμου προσαρμόζονται καλύτερα σε περιπτώσεις που το νερό περιέχει σε σημαντική ποσότητα οργανικές ύλες και μικροφύκη.

Τα λιπάσματα ή ακόμα και διάφορα φυτοφάρμακα εδάφους εισάγονται στα συστήματα της στάγδην άρδευσης με τους υδρολιπαντήρες, που λειτουργούν είτε με διαφορετική πίεση είτε με αντλία. Οι υδρολιπαντήρες με διαφορετική πίεση αποτελούνται από ένα δοχείο που κλείνει υδατοστεγώς στο οποίο τοποθετείται το λίπασμα σε διάλυση. Το δοχείο συνδέεται με τον κύριο αγωγό νερού του συστήματος με δύο πλαστικούς σωλήνες με συνήθη διάμετρο 12 ή 16 mm. Η χωρητικότητα των υδρολιπαντήρων που διατίθενται στο εμπορικό κυμαίνεται από 50 μέχρι 250 l. (4)

Στην κεφαλή του δικτύου μπορεί να περιλαμβάνονται και άλλοι μηχανισμοί που δίνουν διάφορους βαθμούς αυτοματοποίησης του συγκροτήματος. Αυτοί οι μηχανισμοί βοηθούν στην έναρξη και παύση της λειτουργίας του συγκροτήματος και στη διαδοχική χορήγηση του νερού σε διάφορες στάσεις του δικτύου. Στην φωτογραφία 2 απεικονίζονται ο προγραμματιστής άρδευσης και η ηλεκτροβάννα που χρησιμοποιήθηκαν ενώ στην φωτογραφία 3 η διάταξη της μονάδας ελέγχου.



Φωτογραφία 2. Ο προγραμματιστής άρδευσης και οι ηλεκτροβάννες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.



Φωτογραφία 3. Η μονάδα ελέγχου όπως ήταν τοποθετημένη στο πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο όπου φαίνονται ο προγραμματιστής, οι ηλεκτροβάνες με τους υδρομετρητές και το φίλτρο σίτας.

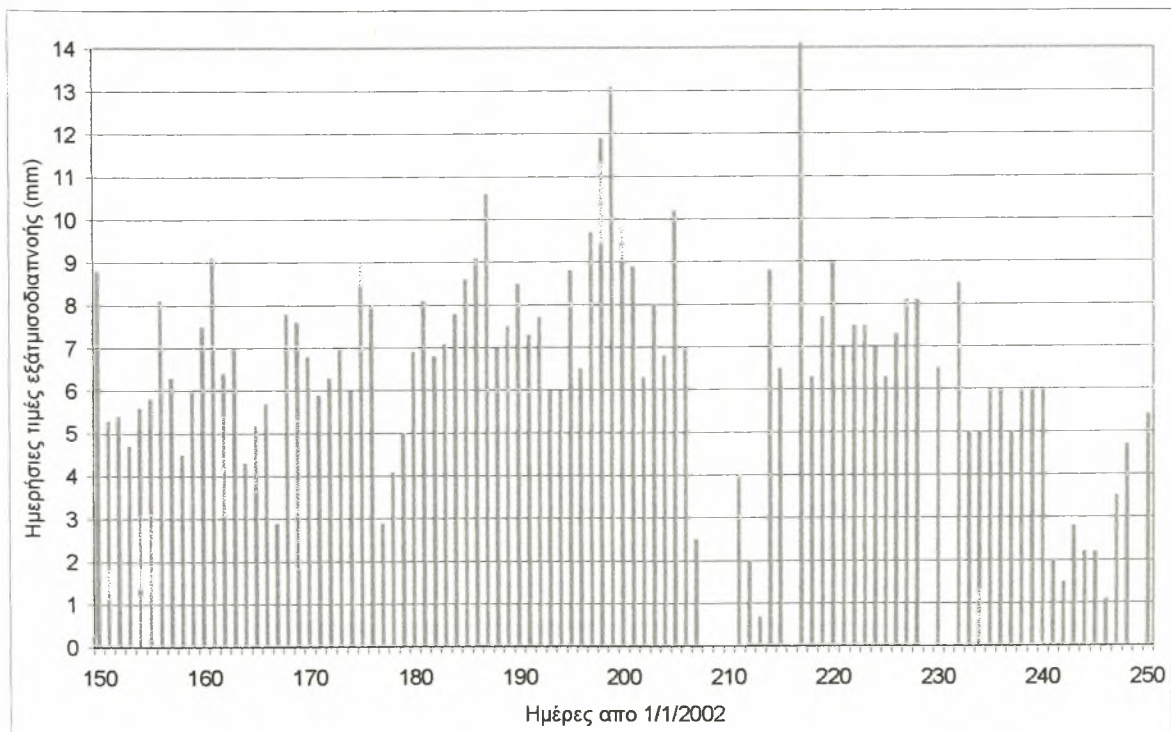
Κεφάλαιο 5

5. Υλικά και μέθοδοι

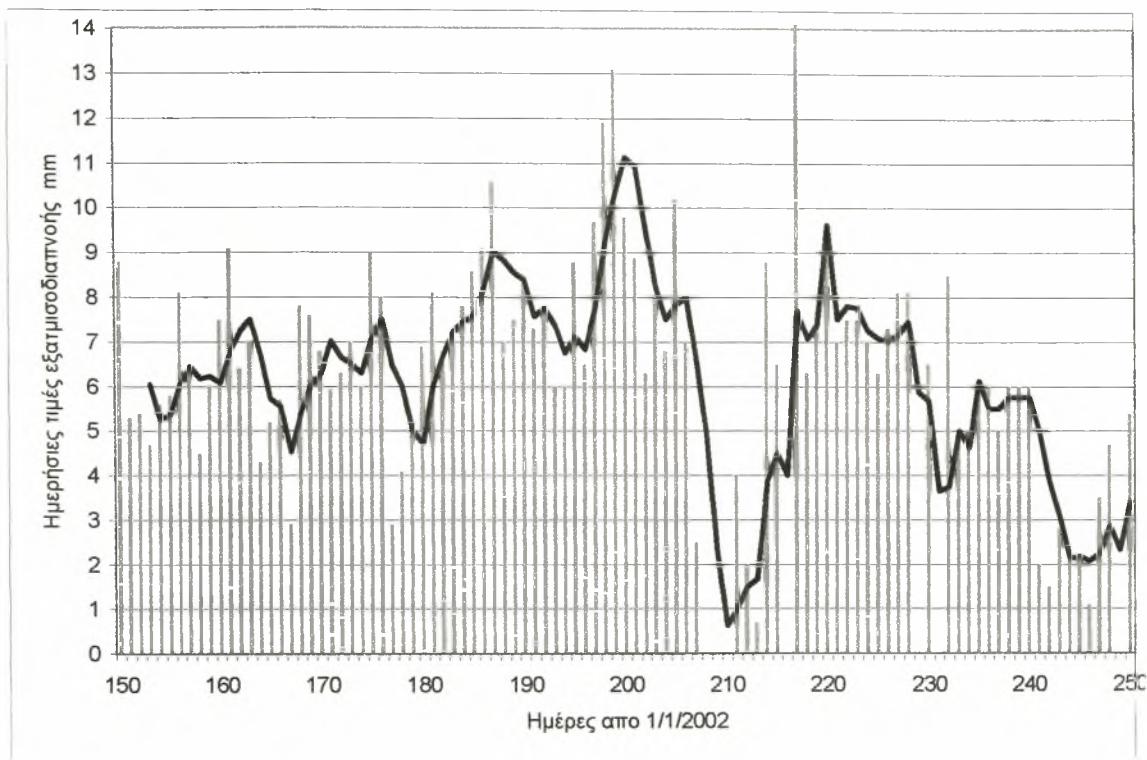
5.1 Κλιματικά Δεδομένα

Μελετήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης στην αύξηση και απόδοση του βαμβακιού. Το πείραμα έγινε στον πειραματικό αγρό του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, με γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ}23'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ}45'$, την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2002. Τα μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση) καταγράφηκαν σε ωριαία βάση σε πλήρως αυτοματοποιημένο μετεωρολογικό σταθμό που υπήρχε σε απόσταση 50 μέτρων από τον πειραματικό αγρό.

Στο σχήμα 1 απεικονίζονται οι ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του βαμβακιού κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου όπως διαμορφώθηκαν από τις καιρικές συνθήκες. Επίσης στο σχήμα 2 φαίνεται η διαμόρφωση του μέσου όρου της εξατμισοδιαπνοής.



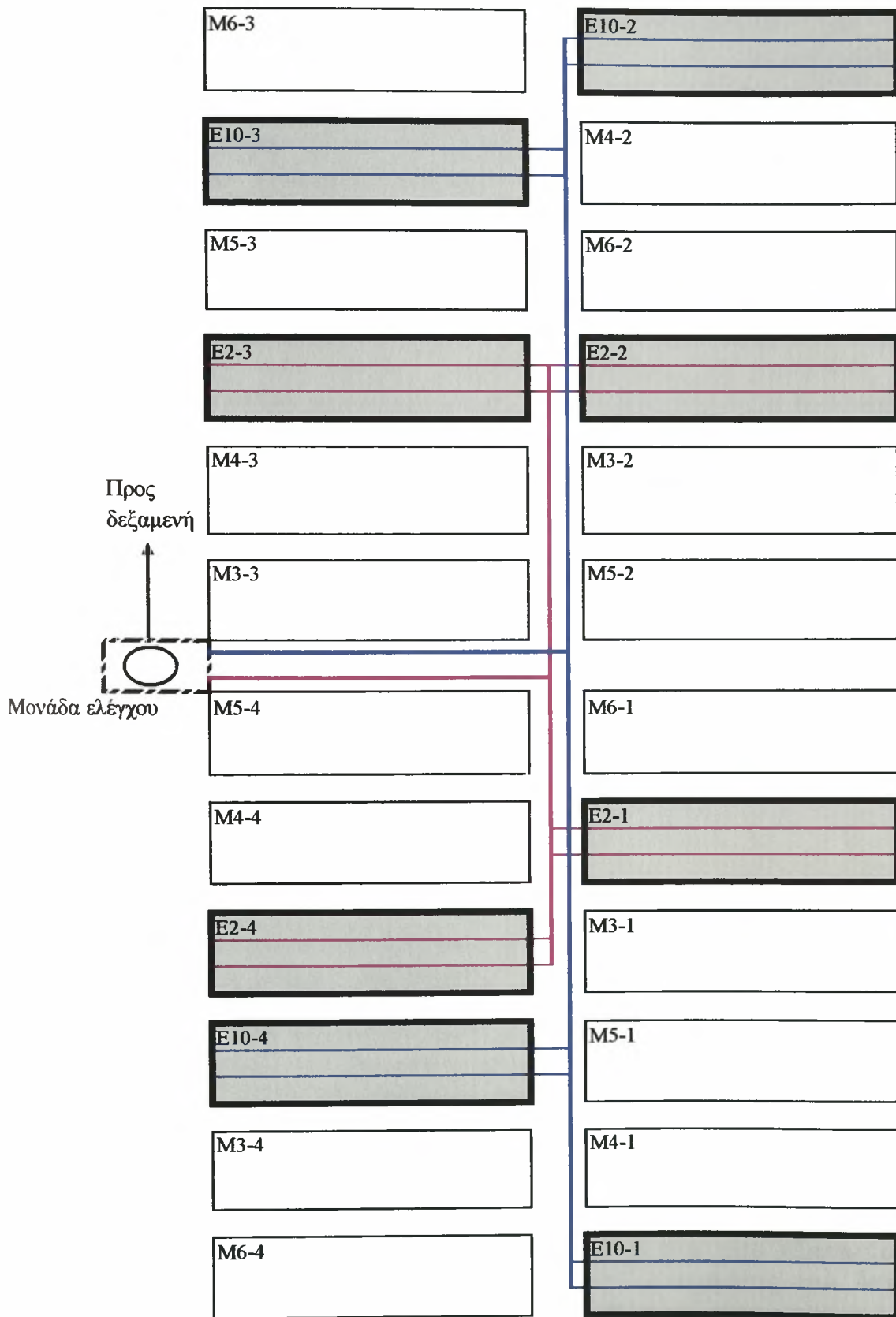
Σχήμα 1. Ημερήσιες τιμές εξατμισοδιαπνοής του βαμβακιού στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2002.



Σχήμα 2. Η εξέλιξη του μέσου όρου της εξατμισοδιαπνοής του βαμβακιού τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2002.

5.2 Σχήμα Αγρού

Χρησιμοποιήθηκε τυχαιοποιημένο σχέδιο συγκροτημάτων RCB με δυο μεταχειρίσεις (εύρος άρδευσης 10 μέρες και 2 μέρες) σε τέσσερις επαναλήψεις. Η τυχαιοποίηση έγινε με τη μέθοδο των στατιστικών πινάκων. Τα πειραματικά τεμάχια είχαν σχήμα ορθογώνιο με διαστάσεις 14 μέτρα μήκος και 4 μέτρα πλάτος. Επίσης υπήρχαν διάδρομοι ανάμεσα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο πλάτους 2 μέτρων. Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων όπως ήταν στον πειραματικό αγρό στο Βελεστίνο. Στο πείραμα υπήρχαν επίσης και άλλες τέσσερις μεταχειρίσεις από τις οποίες οι δυο ήταν με υπόγεια στάγδην άρδευση. Στο σχήμα 3 M3 είναι η μεταχείριση 3 με τέσσερις επαναλήψεις όπως όλες οι μεταχειρίσεις, η οποία είχε εύρος άρδευσης δυο μέρες και διαφορετική ισαποχή και παροχή σταλάκτη στα 40 cm και παροχή 1,2 l/h. M4 η 4^η μεταχείριση με εύρος άρδευσης δυο μέρες αλλά με εφαρμογή του 80% της δόσης άρδευσης που προέκυπτε από τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής. Η 5^η μεταχείριση M5 ήταν υπόγεια στάγδην άρδευση όπως και η 6^η μεταχείριση M6 αλλά με εφαρμογή του 80% της δόσης άρδευσης.



Σχήμα 3. Διάταξη των επαναλήψεων στον πειραματικό αγρό

Η μονάδα ελέγχου περιελάμβανε ένα φίλτρο σίτας, υδρομετρητές έναν για κάθε μεταχείριση, 6 ηλεκτροβάνες μια για κάθε μεταχείριση οι οποίες συνδεόταν με τον προγραμματιστή άρδευσης *Miracle AC 6*. Η τροφοδοσία με νερό της μονάδας ελέγχου γινόταν με σωλήνα Φ25 από υποβρύχια αντλία που βρισκόταν σε δεξαμενή 60 m³.

Το πείραμα έγινε σε έδαφος καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστόχο, ιλυοαργίλοπηλώδους υφής που ανήκει στην τάξη των Inceptisols και υπο-ομάδα Typic Xerochrept. Το έδαφος αυτό έχει κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη. Ο βαθμός οξύτητας του βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (pH 7,9-8,2) χωρίς ακόμα να είναι προβληματικός. Έχει πολύ καλά αναπτυγμένο πορώδες αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους. Η οργανική του ουσία βρίσκεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα αλλά είναι επαρκής και μέχρι το βάθος των 60 cm.(9) Οι υδραυλικές παράμετροι του εδάφους φαίνονται στον πίνακα 1.

Πίνακας 1. Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους.

Βάθος (cm)	CaCO ₃ (%)	pH (1:1H ₂ O)	ΦαινόμενοΕιδικό Βάρος (gr/cm ³)	Υδατοϊκανότητα (%w)	ΣημείοΜόνιμης Μάρανσης (%w)
0-20	5.50	7.6	1.25	20.9	11,48
20-40	6.38	7.9	1.23	21.2	11,64
40-60	5.72	7.9	1.21	21.5	11,81

5.3 Μεταχειρίσεις

Στο πείραμα εφαρμόστηκαν δυο διαφορετικές μεταχειρίσεις ως προς το εύρος άρδευσης. Η μια μεταχείριση αφορούσε εύρος άρδευσης 10 μέρες (E10) σύμφωνα με την καλλιεργητική πρακτική που ακολουθείται από τους αγρότες της Θεσσαλίας. Η δεύτερη μεταχείριση είχε εύρος άρδευσης δυο μέρες (E2). Οι ανάγκες σε νερό προσδιοριζόταν από το εξατμισόμετρο τύπου A που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες του πειράματος. Για κάθε μεταχείριση υπήρχαν από τέσσερις επαναλήψεις. Κάθε επανάληψη είχε τέσσερις σειρές βαμβακιού όπου μετρήσεις γινόταν μόνο από τις δυο μεσαίες.

Γινόταν καθημερινά μετρήσεις του νερού που εξατμιζόταν από το εξατμισόμετρο. Επίσης γινόταν μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ύψους των φυτών, των καρποφόρων οργάνων καθώς και στο τέλος μετρήθηκε η απόδοση της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις του ύψους των φυτών γινόταν από

συγκεκριμένα φυτά των δυο μεσαίων σειρών μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας.

Οι μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) γινόταν τυχαία από τις μεσαίες σειρές και λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις από κάθε επανάληψη. Οι μετρήσεις του LAI έγιναν με το όργανο SunScan της εταιρείας Delta-T. Αποτελείται από μια φορητή σειρά αισθητήρων ενός μέτρου κατάλληλοι για να μετρούν την ακτινοβολία που παρεμποδίζεται από τα φυτά και να υπολογίζουν το δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Ένα άλλο γνώρισμα του SunScan είναι ένας προαιρετικός αισθητήρας αναφοράς που ενσωματώνεται για να μετράει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία. Έχει αισθητήρες τύπου BF3 που χρησιμοποιούν μια σειρά φωτοδιόδων και ενός σχεδίου σκίασης για να υπολογίζει εάν ο ήλιος λάμπει. Έτσι αποφεύγετε εντελώς η ανάγκη για τις ενοχλητικές ρυθμίσεις δαχτυλιδιών σκιάς που απαιτούνται με τους συμβατικούς διάχυτους αισθητήρες.



Φωτογραφία 4. Ο αισθητήρας ηλιοφάνειας BF3.

Τέλος η απόδοση μετρήθηκε επίσης από τις δυο μεσαίες σειρές από δυο μέτρα καλλιέργειας από κάθε σειρά όπου επιλέχθηκαν τυχαία. Το σύσπορο ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας. Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκε το πακέτο Mstat-C και η ανάλυση έγινε με one-Way Anova για την εύρεση διαφορών σημαντικών στατιστικώς.

5.4 Σπορά

Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 25 Απριλίου του 2002 με την ποικιλία *OPAL* της *Delta and Pine*. Προηγήθηκε λιπαντική αγωγή με 15 μονάδες άζωτο και 10 μονάδες φώσφορο, ενώ δεν έγινε καλιούχος λίπανση. Η σπορά έγινε με ποσότητα σπόρου 2 kg το στρέμμα με πνευματική μηχανή. Οι γραμμές απείχαν 95 cm και τα φυτά πάνω στη γραμμή είχαν απόσταση 7 cm. Η ποικιλία αυτή είναι μη καθορισμένης ανάπτυξης, μέσου έως μεγάλου βιολογικού κύκλου, με βραχίονες μέσου μήκους υπό γωνία 45 μοιρών ως προς το κορμό. Απαιτεί αραιή σπορά και τα φύλλα έχουν λίγο χνούδι. Η ποιότητα της ίνας της βρίσκεται στην κορυφή μεταξύ των ποικιλιών του τύπου Upland με άριστα μήκος, αντοχή και μικροναίρ ίνας. Είναι κατάλληλη για περιοχές, όπου καλλιεργούνται ποικιλίες μέσου και μεγάλου βιολογικού κύκλου όπως η Θεσσαλία. Αναπτύσσει υψηλή ανθεκτικότητα στην ξηρασία, λόγω της πολύ γρήγορης πρώτης ανάπτυξης και καρποφορίας. Γενικά είναι ανθεκτική σε όλες τις μυκητολογικές και βακτηριολογικές ασθένειες, ιδιαίτερα στην αδρομύκωση.

5.5 Εγκατάσταση Αρδευτικού Συστήματος – Υλικά

Έγινε υπεδαφοκαλλιέργεια με υπεδαφοκαλλιεργητή για να σπάσει το σκληρό στρώμα κάτω από το βάθος οργώματος, σε βάθος 40 cm και ισοπέδωση του αγρού. Αργότερα έγινε όργωμα με αναστρεφόμενο άροτρο σε βάθος 20 cm. Μετά το όργωμα έγινε καλλιέργεια με καλλιεργητή, σε μικρό βάθος για καταστροφή των ζιζανίων.

Η τοποθέτηση του δικτύου άρδευσης έγινε στις 18 Ιουνίου. Οι αγωγοί άρδευσης ήταν από μαλακό πολυαιθυλένιο διατομής 20 mm αντοχής 6 atm. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, ισαποχής 0,8 m επί των αγωγών και παροχής 2,3 l/h (2,41 mm/h). Οι σταλακτηφόροι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε κάθε δεύτερη γραμμή βαμβακιού. Έγινε επίσης τοποθέτηση ηλεκτροβανών, υδρομετρητών και ενός φίλτρου σίτας. Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή άρδευσης. Ο προγραμματιστής που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο *Miracle AC 6* της εταιρείας *Motorola*, με σκοπό την αυτοματοποίηση της άρδευσης. Μπορούσε να ελέγξει μέχρι 6 ηλεκτροβάνες και

ρυθμιζόταν ως προς την ώρα που άνοιγε και έκλεινε μια ηλεκτροβάννα ώστε να ποτίζει.

Οι σταλάκτες των σταλακτηφόρων σωλήνων ήταν τύπου *RAM* οι οποίοι είναι αυτοκαθαριζόμενοι και αυτορυθμιζόμενοι, επιτρέποντας έτσι την εφαρμογή μεγάλου μήκους γραμμών άρδευσης, διατηρώντας σταθερή την παροχή σ' όλο το μήκος της γραμμής. Στη φωτογραφία 5 φαίνεται το εσωτερικό του σταλάκτη. Έχει δυνατότητα αυτορρύθμισης της παροχής σ' ένα ευρύ πεδίο πιέσεων (0,5-4,0 bar), εξασφαλίζει εύκολη λειτουργία και ομοιόμορφη άρδευση σε χωράφια με μεγάλες κλίσεις καθώς και σε δίκτυα με αυξομειώσεις της πίεσης. Ο σταλάκτης φέρει στο εσωτερικό του μια ειδική μεμβράνη από σιλικόνη στην οποία βασίζεται η ρύθμιση της παροχής του, έτσι ώστε να παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τις διακυμάνσεις της πίεσης.



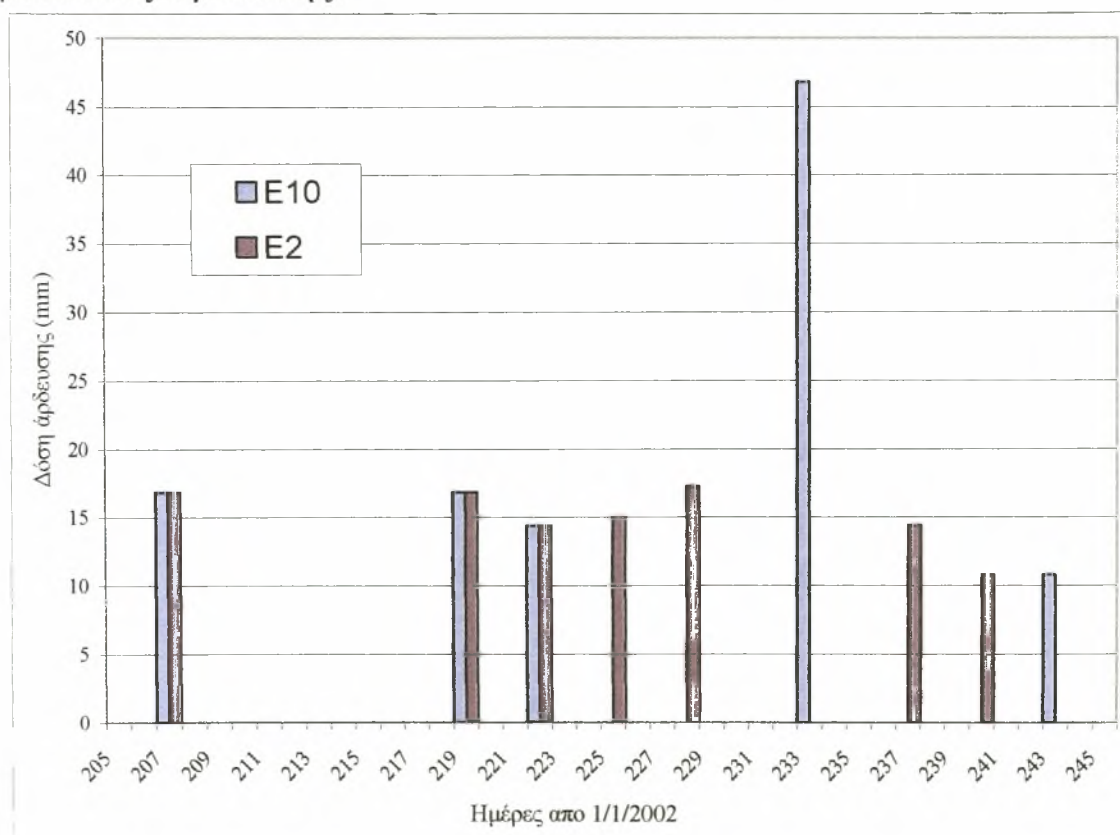
Φωτογραφία 5. Εσωτερικό σταλάκτη τύπου RAM.



Φωτογραφία 6. Ο σταλακτηφόρος σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε.

5.6 Εφαρμογή Άρδευσης

Στις δυο μεταχειρίσεις εφαρμόστηκαν ποσότητες νερού για την πλήρη κάλυψη της εξατμισοδιαπνοής η οποία καθορίστηκε με τη μέθοδο του εξατμισιμέτρου τύπου A. Συνολικά χορηγήθηκαν 100,5 mm νερού στην μεταχείριση 2, με εύρος άρδευσης 2 ημέρες (E2) και 100,5 mm στην μεταχείριση 1 με εύρος άρδευσης 10 ημέρες (E10), χωρίς σε αυτά να συμπεριλαμβάνονται η ποσότητα των κατακρημνισμάτων και του νερού που εφαρμόστηκε για το φύτρωμα της καλλιέργειας (προφυτρωτικά). Έγινε ένα προφυτρωτικό πότισμα και ένα πότισμα μόλις φύτρωσαν το 90% των φυτών για όλες τις επαναλήψεις με αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα με παροχή $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (λειτουργία πίεσης 4,5 atm και ένταση βροχής 18 mm h^{-1}). Έπειτα εφαρμόστηκε η μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής και η άρδευση γινόταν σύμφωνα με τις ανάγκες αυτές των φυτών. Στο σχήμα 4 παρουσιάζονται τα ποσά του χορηγούμενου νερού για τις δυο μεθόδους άρδευσης.



Σχήμα 4. Δόσεις άρδευσης (mm) κατά την εφαρμογή των δυο διαφορετικών μεταχειρίσεων άρδευσης στο Βελεστίνο το 2002.

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού σε κάθε άρδευση υπολογιζόταν από τις μετρήσεις του εξατμισιμέτρου τύπου A. Οι μετρήσεις της εξάτμισης του νερού γινόταν καθημερινά. Η σχέση που συνδέει την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς με την εξάτμιση (μετρήσεις εξατμισιμέτρου) έχει τη μορφή

$$ET_r = k_p \cdot E_p$$

όπου ET_r και E_p είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και η εξάτμιση αντίστοιχα σε $mm d^{-1}$ και k_p ο συντελεστής του εξατμισιμέτρου που υπολογίζεται σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του είδους και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο. Στη συγκεκριμένη θέση η τιμή του k_p ήταν 0,80.

Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή, ET_c υπολογιζόταν από την ET_r και τον φυτικό συντελεστή με τη σχέση

$$ET_c = k_c \cdot ET_r$$

όπου ET_c είναι η πραγματική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σε mm και k_c ο φυτικός συντελεστής όπου για το βαμβάκι είναι για το μήνα Μάιο 0,32, τον Ιούνιο 0,55, τον Ιούλιο 0,85 και τον Αύγουστο 0,90 (Παπαζαφειρίου, 1991).

Το ωριαίο ύψος βροχής Id_h προκύπτει από τον τύπο

$$Id_h = \frac{q \cdot n}{S_r \cdot S_t}$$

όπου q η παροχή του σταλάκτη που είναι $2,3 \text{ l h}^{-1}$, n ο αριθμός των σταλακτήρων ανά φυτό, S_r η απόσταση μεταξύ δυο σειρών φυτών που είναι $0,95 \text{ m}$ και S_t η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών φυτών πάνω στη σειρά που είναι 7 cm .

Ο αριθμός των σταλακτήρων ανά φυτό προκύπτει από τη σχέση

$$n = \frac{S_t}{2S_e}$$

όπου S_e η ισαποχή των σταλακτήρων δηλαδή 80 cm και S_t η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών φυτών πάνω στη σειρά 7 cm , οπότε το n είναι ίσο με $0,044$. Το ωριαίο ύψος βροχής προκύπτει να έχει τιμή ίση με $1,52 \text{ mm h}^{-1}$. Η δόση άρδευσης

ΔA είναι ίση με την ET_c που υπολογίζεται όπως περιγράφηκε πιο πάνω. Έτσι προκύπτει και η διάρκεια άρδευσης I_t

$$I_t = \frac{\Delta A}{I_d h}$$

σε h και ήταν ανάλογη της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Παρακάτω στους πίνακες 2 και 3 αναγράφονται η δόση άρδευσης και η διάρκεια άρδευσης για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο αντίστοιχα, αναλόγως της εξάτμισης.

Πίνακας 2. Δόσης άρδευσης και Διάρκεια άρδευσης για τον μήνα Ιούλιο που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη εξάτμιση.

E_p (mm/day)	Δόση Άρδευσης (mm)	Διάρκεια άρδευσης (hr)
1	0,68	0,44
2	1,36	0,89
3	2,04	1,34
4	2,72	1,78
5	3,4	2,23
6	4,08	2,68
7	4,76	3,13
8	5,44	3,58
9	6,12	4,03
10	6,8	4,47
11	7,48	4,92
12	8,16	5,37
13	8,84	5,81
14	9,52	6,26
15	10,2	6,71
16	10,88	7,16
17	11,56	7,6
18	12,24	8,1
19	12,92	8,5
20	13,6	8,95
21	14,28	9,39
22	14,96	9,84
23	15,64	10,29
24	16,32	10,73

25	17	11,18
26	17,68	11,63
27	18,36	12,08
28	19,04	12,52
29	19,72	12,97
30	20,4	13,42
31	21,08	13,87
32	21,76	14,31
33	22,44	14,76
34	23,12	15,21
35	23,8	15,65
36	24,48	16,1
37	25,16	16,55
38	25,84	17
39	26,52	17,45
40	27,2	17,89
41	27,88	18,34
42	28,56	18,79
43	29,24	19,23
44	29,92	19,68
45	30,6	20,13

Πίνακας 3. Δόση άρδευσης και Διάρκεια άρδευσης για τον μήνα Αύγουστο που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη εξάτμιση.

Er (mm/day)	Δόση Άρδευσης (mm)	Διάρκεια άρδευσης (hr)
1	0,72	0,47
2	1,44	0,95
3	2,16	1,42
4	2,88	1,89
5	3,6	2,36
6	4,32	2,84
7	5,04	3,31
8	5,76	3,78
9	6,48	4,26
10	7,2	4,73
11	7,92	5,21

12	8,64	5,68
13	9,36	6,15
14	10,08	6,63
15	10,8	7,1
16	11,52	7,58
17	12,24	8,05
18	12,96	8,52
19	13,68	9
20	14,4	9,47
21	15,12	9,94
22	15,84	10,42
23	16,56	10,89
24	17,28	11,36
25	18	11,84
26	18,72	12,32
27	19,44	12,79
28	20,16	13,26
29	20,88	13,74
30	21,6	14,21
31	22,32	14,68
32	23,04	15,15
33	23,76	15,63
34	24,48	16,1
35	25,2	16,57
36	25,92	17,05
37	26,64	17,53
38	27,36	18
39	28,08	18,47
40	28,8	18,95
41	29,52	19,42
42	30,24	19,89
43	30,96	20,3
44	31,68	20,84
45	32,4	21,31

5.7 Ημερολόγιο Εργασιών

28/11/2001 Έγινε υπεδαφοκαλλιέργεια σε βάθος 40 cm, για να σπάσει το σκληρό στρώμα κάτω από το βάθος οργώματος και ισοπέδωση του εδάφους.

15/1/2002 Έγινε φθινοπωρινό όργωμα με αναστρεφόμενο άροτρο σε βάθος 20 cm. Μετά το όργωμα έγινε καλλιέργεια με καλλιεργητή σε μικρό βάθος για να στρώσουν οι ανωμαλίες από το όργωμα και να καταστραφούν τα ζιζάνια. Υπήρχαν υπολείμματα προηγούμενης καλλιέργειας σόργου τα οποία ενσωματώθηκαν στο έδαφος.

20/3/2002 Πραγματοποιήθηκε η βασική λίπανση με 15 μονάδες αζώτου και 10 μονάδες φωσφόρου, ενώ δεν έγινε καλιούχος λίπανση.

25/4/2002 Έγινε η σπορά του βαμβακιού με πνευματική σπαρτική μηχανή με απόσταση μεταξύ των γραμμών 0,95 m και απόσταση των φυτών πάνω στη γραμμή 0.07 m. Το βάθος σποράς έγινε στα 4 εκατοστά.

10/5/2002 Ξεκίνησαν οι λήψεις μετρήσεων της εξατμίσου του νερού από το εξατμισόμετρο τύπου A που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν να λαμβάνονται καθημερινώς μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας.

12/6/2002 Πραγματοποιήθηκε άρδευση για την ανάπτυξη με αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα με παροχή $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (λειτουργία πίεσης 4,5 Atm και ένταση βροχής 18 mm h^{-1}). Έγινε πριν την άρδευση και επιφανειακή λίπανση με ουρία. Η άρδευση έγινε για δυο ώρες για όλο το πείραμα το οποίο είχε συνολική έκταση 1,5 στρ. Επίσης έγινε επισήμανση των φυτών όπου θα γινόταν οι μετρήσεις για την εξέλιξη του ύψους τους. Στις δυο μεσαίες σειρές κάθε πειραματικού τεμαχίου επισημάνθηκε ένα μέτρο με φυτά όπου στη συνέχεια γινόταν οι μετρήσεις του ύψους των φυτών. Σε αυτό το μέτρο καλλιέργειας γινόταν επίσης και μετρήσεις των καρποφόρων οργάνων. Οι μετρήσεις γινόταν κάθε 7 μέρες μέχρι το τέλος της καλλιέργειας.

18/6/2002 Έγινε η εγκατάσταση του δικτύου άρδευσης. Χρησιμοποιήθηκαν αγωγοί άρδευσης από πολυαιθυλένιο διατομής 20 mm αντοχής 6 atm. Οι αγωγοί μεταφοράς ήταν διατομής 25 mm όπου συνδέθηκαν στην πηγή που τροφοδοτούσε το δίκτυο. Επίσης τοποθετήθηκαν ένα φίλτρο σίτας, υδρομετρητές και ηλεκτροβάνες για κάθε μεταχείριση οι οποίες συνδέθηκαν με προγραμματιστή άρδευσης.

21/6/2002 Έγινε 2^η άρδευση με τον αυτοκινούμενο εκτοξευτήρα, πάλι για δυο ώρες σε όλο το πείραμα.

7/7/2002 Παρατηρήθηκαν τα πρώτα λουλούδια στην καλλιέργεια.

19/7/2002 Έγινε μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας. Κάθε φορά γινόταν 3 μετρήσεις για κάθε πειραματικό τεμάχιο από τις δυο μεσαίες σειρές μόνο. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μέχρι το τέλος της καλλιέργειας και λαμβάνονταν κάθε εβδομάδα όταν το επέτρεπαν οι καιρικές συνθήκες.

26/7/2002 Έγινε πότισμα της καλλιέργειας και για τις δυο μεταχειρίσεις με τη στάγδην μέθοδο. Αφού υπολογίστηκε η εξατμισοδιαπνοή βρέθηκε η δόση άρδευσης και η διάρκεια άρδευσης. Η δόση άρδευσης και για τις δυο μεταχειρίσεις ήταν 16,866 mm νερού.

7/8/2002 Έγινε πότισμα της καλλιέργειας με δόση άρδευσης 18,866 mm νερού και για τις δυο επεμβάσεις αφού πρώτα έγινε υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

10/8/2002 Έγινε πότισμα για το πείραμα με δόση άρδευσης 14,4 mm σε όλες τις μεταχειρίσεις.

13/8/2002 Η καλλιέργεια ψεκάστηκε με το εντομοκτόνο Confidor, διότι υπήρχε έξαρση από ιασσίδες *Empoasca gossypii* οικ. *Hemiptera*, το οποίο αντιμετωπίστηκε πλήρως μετά τον ψεκασμό. Επίσης πραγματοποιήθηκε και άρδευση για την 2^η μεταχείριση E2, με δόση άρδευσης 15,12 mm.

16/8/2002 Έγινε άρδευση της 2^{ης} μεταχείρισης E2, με δόση άρδευσης 17,28 mm.

18/8/2002 Η καλλιέργεια σκαλίστηκε για αντιμετώπιση των ζιζανίων που αναπτύχθηκαν. Τα ζιζάνια που αναπτύχθηκαν ήταν αγριοντοματιά *Solanum nigrum*, αγριομελιτζάνα *Xanthium strumarium*, αγριοβαμβακιά *Abutilon theophrasti*, βλήτα *Amaranthus* sp. και τριβόλι *Tribulus terrestris*.

21/8/2002 Πραγματοποιήθηκε άρδευση της 1^{ης} μεταχείρισης E10, με δόση άρδευσης 46,8 mm.

25/8/2002 Έγινε άρδευση της 2^{ης} μεταχείρισης E2, με δόση άρδευσης 14,4 mm.

28/8/2002 Έγινε άρδευση της 2^{ης} μεταχείρισης E2, με δόση άρδευσης 10,8 mm.

31/8/2002 Έγινε άρδευση της 1^{ης} μεταχείρισης, με δόση άρδευσης 10,8 mm.

6/9/2002 Παρατηρήθηκαν τα πρώτα ανοικτά καρύδια στο πείραμα, τα οποία βρισκόταν σε τεμάχια της 2^{ης} μεταχείρισης E2.

10/10/2002 Έγινε ψεκασμός με ορμονικό επιταχυντικό της ωρίμανσης σκεύασμα με το Finish, αφού είχαν ανοίξει περίπου το 30% των καρυδιών.

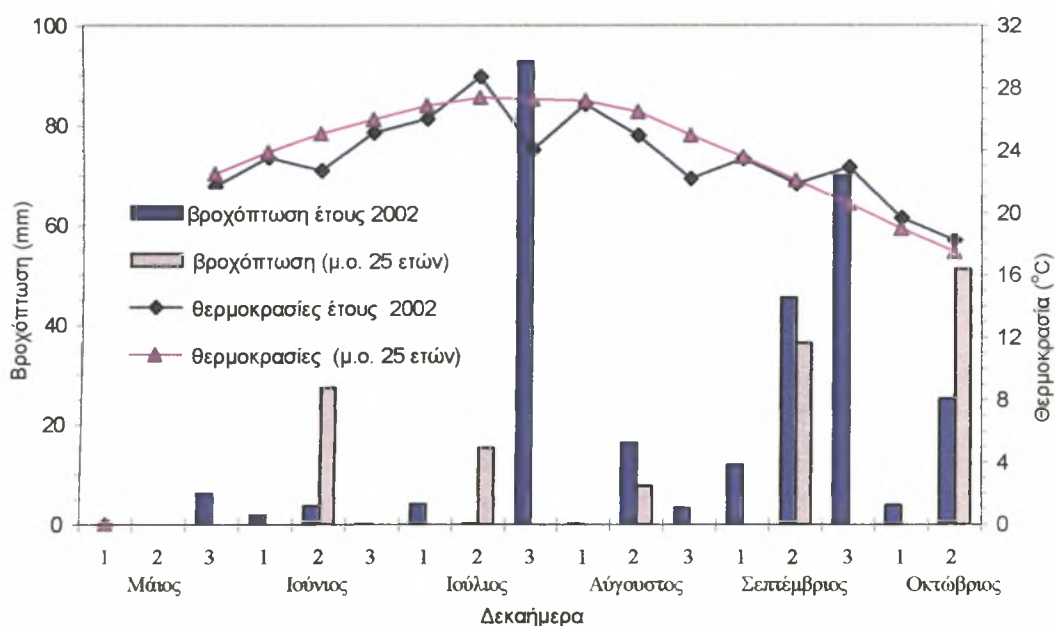
18/10/2002 Έγινε η συγκομιδή του σύσπορου με το χέρι από τις δυο μεσαίες σειρές κάθε τεμαχίου και ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας.

Κεφάλαιο 6

6. Αποτελέσματα

6.1 Κλιματικά Δεδομένα

Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης του βαμβακιού το 2002, και συγκρίνονται με τους αντίστοιχους μέσους όρους 25 ετών για την υπό μελέτη περιοχή.



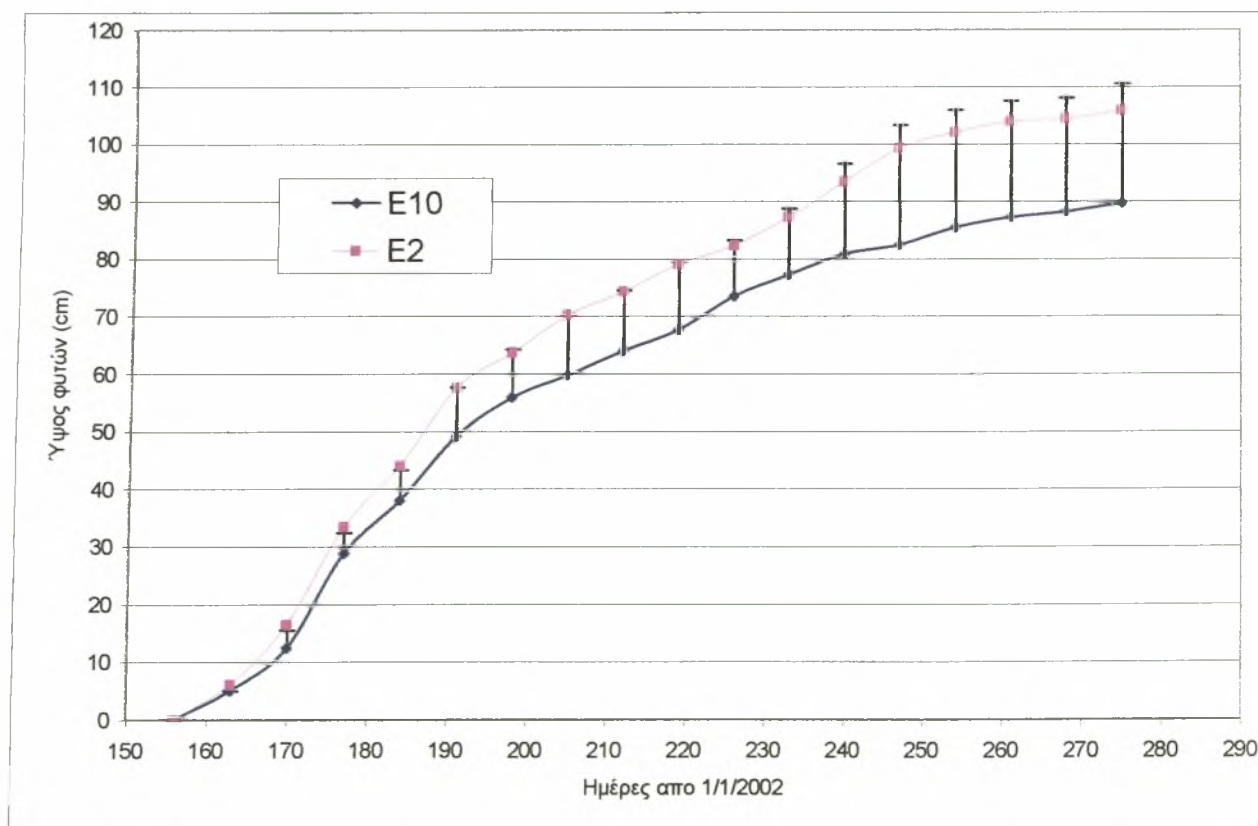
Σχήμα 5. Μέση ημερήσια θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$, μ.ο. δεκαήμερου) και βροχόπτωση (mm ανά δεκαήμερο) στο Βελεστίνο κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2002.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5, το θέρος του 2002 ήταν αρκετά υγρό με διπλάσια περίπου βροχόπτωση (περίπου 250mm από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο) από ένα μέσο θέρος. Ιδιαίτερα βροχεροί ήταν οι μήνες Ιούλιος και Σεπτέμβριος με βροχόπτωση 98 και 127 mm, αντίστοιχα. Επίσης, η καλλιεργητική περίοδος του 2002 χαρακτηρίστηκε από ηπιότερες θερμοκρασίες από ένα μέσο έτος (σχήμα 5). Επομένως το θέρος του 2002 ήταν λιγότερο ξηροθερμικό από

ένα μέσο έτος με καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης για την καλλιέργεια του βαμβακιού.

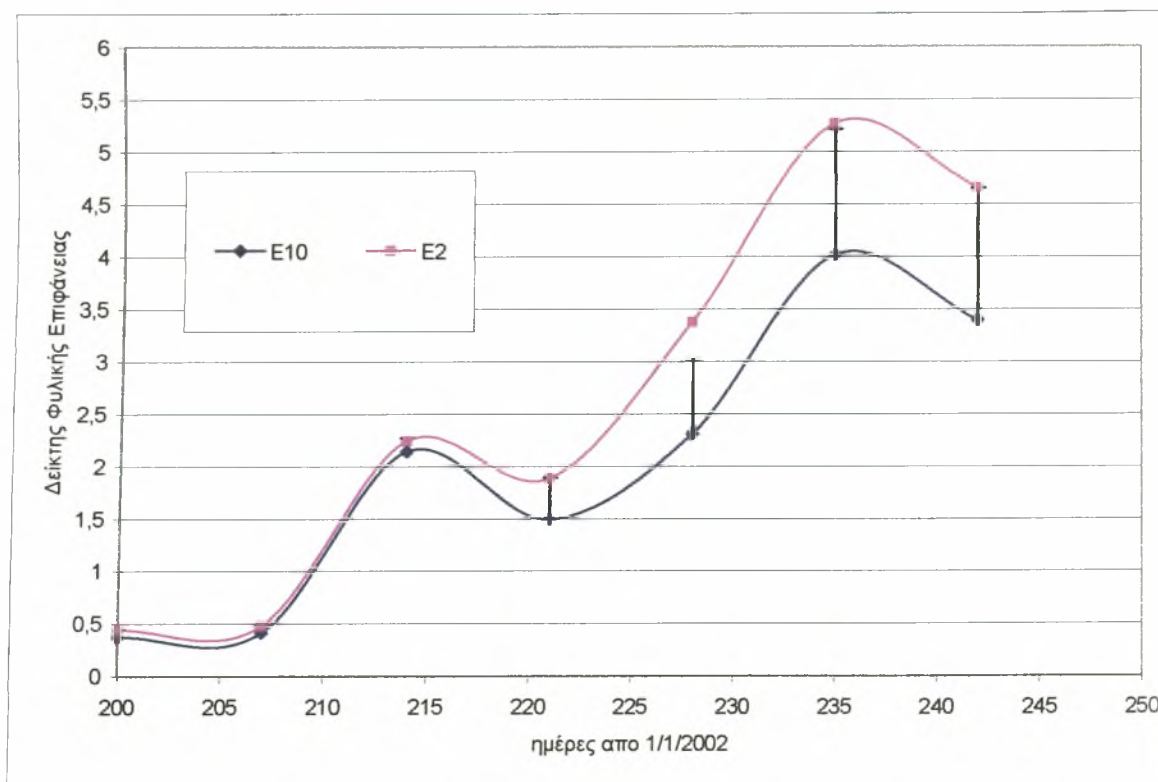
6.2 Ύψος και Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας των φυτών

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η ανάπτυξη της καλλιέργειας όπως φαίνεται από το ύψος των φυτών. Υπάρχει υπεροχή της δεύτερης μεταχείρισης (E2) σε σχέση με το ύψος όπως διαμορφώθηκε αυτό στην διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η μεταχείριση 2 (E2) παρουσίασε τελικό μέσο όρο ύψους 106 cm ενώ ο μέσος όρος της μεταχείρισης 1 (E10) ήταν 89,75 cm. Η διαφορά δεν ήταν αισθητή στην αρχή όμως μετά το τέλος των προφυτρωτικών αρδεύσεων και την εφαρμογή του προγράμματος άρδευσης με τις δυο μεταχειρίσεις έγινε τελικά εμφανής. Όπως φαίνεται από το σχήμα 6 δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές από την ελάχιστη σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων.



Σχήμα 6. Ύψος του βαμβακιού (ποικ. OPAL) κατά το εύρος άρδευσης 2 ημερών (E2) και 10 ημερών (E10) στο Βελεστίνο το έτος 2002.

Στο σχήμα 7 απεικονίζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας του βαμβακιού. Ο ΔΦΕ αυξήθηκε βραδέως μέχρι τις 26 Ιουλίου και για τις δυο μεταχειρίσεις. Στη συνέχεια αυξήθηκε πολύ γρήγορα χωρίς να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων όμως από τις 15 Αυγούστου άρχισε η υπεροχή της δεύτερης μεταχείρισης η οποία συνεχίστηκε μέχρι το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Από το 2^ο δεκαήμερο του Αυγούστου και μετά άρχισε η πτώση της τιμής του ΔΦΕ και για τις δυο επεμβάσεις. Η τελική τιμή του μέσου όρου του ΔΦΕ για την 1^η μεταχείριση (E10) ήταν 3,4 ενώ η αντίστοιχη της 2^{ης} μεταχείρισης (E2) 4,66. Όπως δείχνουν και τα όρια εμπιστοσύνης στο σχήμα οι διαφορές δεν είναι στατιστικώς σημαντικές.



Σχήμα 7. Η εξέλιξη του Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) του βαμβακιού υπό το καθεστώς των δυο διαφορετικών εύρων άρδευσης.

6.3 Απόδοση της καλλιέργειας

Η συγκομιδή έγινε στις 18 Νοεμβρίου με το χέρι αφού πρώτα εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια ορμονικό επιταχυντικό της ωρίμανσης των καρδιών *Finish*, ο ψεκασμός έγινε στις αρχές Νοεμβρίου. Το σύσπορο ζυγίστηκε σε ζυγό ακριβείας, και συγκομίστηκαν δυο τυχαία μέτρα καλλιέργειας από τις

δυο μεσαίες σειρές κάθε πειραματικού τεμαχίου. Η μέση απόδοση για την 1^η μεταχείριση ήταν 377,5 kg/στρ ενώ για τη 2^η μεταχείριση ήταν 398,25 kg/στρ όπως φαίνεται και στον πίνακα 4. Από την στατιστική επεξεργασία για ποσοστό σφάλματος 5% δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές. Στον πίνακα 5 φαίνεται ο συνολικός αριθμός καρυδιών/m² για κάθε επανάληψη, όπου είναι σαφής η υπεροχή της 2^{ης} μεταχείρισης E2, χωρίς να υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές για ποσοστό σφάλματος 5%.

Πίνακας 4. Απόδοση σε σύσπορο ανά τεμάχιο σε kg/στρ.

Μεταχείριση 1 Εύρος Άρδευσης (E10)	Απόδοση Kg/στρ.	Μεταχείριση 2 Εύρος Άρδευσης (E2)	Απόδοση Kg/στρ.
1 ^η Επανάληψη E10-1	341	1 ^η Επανάληψη E2-1	376
2 ^η Επανάληψη E10-2	336	2 ^η Επανάληψη E2-2	318
3 ^η Επανάληψη E10-3	414	3 ^η Επανάληψη E2-3	419
4 ^η Επανάληψη E10-4	419	4 ^η Επανάληψη E2-4	480
M.O.	377,5	M.O.	398,25

Πίνακας 5. Συνολικός αριθμός καρυδιών/m².

Μεταχείριση 1 Εύρος Άρδευσης (E10)	Αριθμός καρυδιών/στρ.	Μεταχείριση 2 Εύρος Άρδευσης (E2)	Αριθμός καρυδιών/στρ.
1 ^η Επανάληψη E10-1	108	1 ^η Επανάληψη E2-1	125,3
2 ^η Επανάληψη E10-2	67,4	2 ^η Επανάληψη E2-2	95,8
3 ^η Επανάληψη E10-3	99	3 ^η Επανάληψη E2-3	96,8
4 ^η Επανάληψη E10-4	100	4 ^η Επανάληψη E2-4	110,5
M.O.	93,6	M.O.	107,1

6.4 Συμπεράσματα

Από τη διερεύνηση της αύξησης και απόδοσης του βαμβακιού (πειραματικά αποτελέσματα του πρώτου έτους), υπό την επίδραση δυο διαφορετικών εύρων άρδευσης, παρότι παρατηρήθηκε υπεροχή της 2^{ης} μεταχείρισης E2 (εύρος άρδευσης 2 μέρες) σε σχέση με την 1^η μεταχείριση E10 (εύρος άρδευσης 10 μέρες) η οποία έγινε εμφανής από τα πρώτα στάδια της καλλιέργειας, δεν επιβεβαιώθηκε και από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τα φυτά της μεταχείρισης E2 ήταν πιο αναπτυγμένα, υψηλότερα, κάλυψαν πιο γρήγορα με φύλλα το έδαφος και έφτιαζαν περισσότερα καρύδια. Η φυτοκάλυψη στα τεμάχια της 2^{ης} μεταχείρισης φάνηκε από την εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Ως προς την απόδοση σε βάρος σύσπορου υπήρξε υπεροχή των τεμαχίων της 2^{ης} μεταχείρισης με μέσο όρο παραγωγής 398,25 kg/στρ. σε σχέση με τον μέσο όρο της παραγωγή της 1^{ης} που ήταν 377,5 kg/στρ όμως η υπεροχή αυτή δεν επιβεβαιώθηκε και από την στατιστική επεξεργασία.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν διαπιστώθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές και για τις άλλες παραμέτρους. Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων στον αριθμό καρυδιών/m² παρότι παρατηρήθηκε υπεροχή της 2^{ης} μεταχείρισης, η υπεροχή αυτή όμως δεν ήταν στατιστικώς σημαντική. Το ίδιο διαπιστώθηκε και από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων του ύψους των φυτών και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, όπου δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε κανένα στάδιο της καλλιέργειας που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις όπως φαίνονται και από τα σχήματα 6 και 7. Αυτό μπορεί να οφείλεται στις αρκετές βροχές που έπεσαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της καλλιεργητικής περιόδου 2002, οι οποίες δεν επέτρεψαν να φανούν πιο ξεκάθαρα οι διαφορές ώστε να είναι στατιστικώς σημαντικές. Τα πειράματα θα συνεχιστούν και σε επόμενες καλλιεργητικές περιόδους, ώστε να προκύψουν περισσότερα συμπεράσματα.

Βιβλιογραφία

1. Αλεξίου Ι., Καλφούντζος Δ. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. Πρακτ. 9^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης, 2003.
2. Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ. Βιομηχανικά Φυτά. Εκδόσεις Σταμούλης, Βόλος 2003.
3. Cetin O., Bilgel L., Effects of different methods on shedding and yield of cotton. *Agricultural Water Management* 54 (2002) 1-15.
4. Διάφοροι, Μέθοδοι Άρδευσης και Αρδευτικά Συστήματα. Μηχανήματα για τη Γεωργία, Γεωργία-Κτηνοτροφία, (1996) 48-57.
5. Doorenbos J. and Kassam A., Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 1979.
6. Καλφούντζος Δ. Υδατοκατανάλωση Καλλιεργειών, Βόλος 2002.
7. Κεχαγιά Ο. Τι είναι και πως επηρεάζεται η ποιότητα του βαμβακιού. Βαμβάκι 2000, Εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία, 1999.
8. Mateos L., Mantovani E., Cotton response to non-uniformity of conventional sprinkler irrigation. *Irrigation Science* 17 (1997) 47-52.
9. Μήτσιος Ι. Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Π.Θ. στο Βελεστίνο. Βόλος 2000.
10. Ντιούδης Π., Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ. Διαφορετικές διατάξεις άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτ. 9^ο Πανελληνίου Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης, 2003.
11. Ντιούδης Π., Φιλίντας Αγ. Επίδραση της συχνότητας άρδευσης με σταγόνες στην απόδοση της

- καλλιέργειας του αραβόσιτου. Πρακτ. 9^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης, 2003.
12. Οργανισμός Βάμβακος. Άρδευση του βαμβακιού, Έκθεση καλλιέργειας βαμβακιού, 1996.
 13. Orgaz F., Mateos L. Responses of four cotton cultivars to irrigation in a Mediterranean environment. SIA and University of Cordoba.
 14. Πανώρας Α. Άρδευση του βαμβακιού, Γεωργία-Κτηνοτροφία 1 (1996) 46-49.
 15. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Σημειώσεις Αρδεύσεων. Βόλος 1993.
 16. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Παπαλέξης Δ. Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. Πρακτ. 9^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Υδροτεχνικής Ένωσης, 2003.
 17. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D. Water saving using modern irrigation methods, 3rd International Forum Integrated Water Management. Hydorama (96-100) 2000.
 18. Τερζίδης Γ.Α., Παπαζαφειρίου Ζ.Γ. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1994.
 19. Τσακίρης Γ. Υδατικοί Πόροι: Υδατική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1995.
 20. Τσουκίδου Μ. Ο σταλακτηφόρος TIRAZ, Γεωργία-Κτηνοτροφία, (1992) 12-13.