

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΝΤΑΚΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΟΣΗΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΑ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ ΣΟΡΓΟΥ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ – ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

Καθηγήτρια Π.Θ.

ΧΑΛΚΙΔΗΣ ΗΡΑΚΛΗΣ

Λέκτορας Π.Θ.

ΑΛΕΞΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

Διδάσκοντας Π.Θ.



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

Αριθ. Εισ.: 9123/1
Ημερ. Εισ.: 15-11-2010
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2010
ΝΤΑ

Σε όλους αυτούς που βοήθησαν στην
εκπόνηση αυτής της διατριβής καθώς
και στον πρωτοπόρο αγωνιστή και
γεωπόνο Κλάρα Αθανάσιο (Άρης),

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Το θέμα της πτυχιακής μου δόθηκε από την καθηγήτρια του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και πρόεδρο του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κυρία Μαρία Σακελαρίου – Μαρκαντωνάκη στα πλαίσια των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή.

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κυρία Μαρία Σακελαρίου – Μαρκαντωνάκη για την οργάνωση και παρακολούθηση της διατριβής μου σε ολόκληρη τη πορεία της, καθώς επίσης και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή της στην επίλυση των θεωρητικών και πειραματικών προβλημάτων που παρουσιάστηκαν κατά καιρούς. Επίσης την ευχαριστώ για την ηθική της υποστήριξη και την κριτική που άσκησε πριν την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Τον λέκτορα του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής κύριο Ηρακλή Χαλκίδη, ευχαριστώ θερμά για τον χρόνο που αφιέρωσε στα διάφορα στάδια της διατριβής μου, για τις σημαντικές του υποδείξεις και την εποικοδομητική κριτική που άσκησε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Τον διδάσκοντα του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής κύριο Ιωάννη Αλεξίου, ευχαριστώ για τις ουσιαστικές του υποδείξεις και τις χρήσιμες συμβουλές που μου παρείχε στα διάφορα στάδια της διατριβής μου.

Ευχαριστώ επίσης την προπτυχιακή φοιτήτρια του τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κυρία Μπότα Βασιλική για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε στη συγγραφή της παρούσας διατριβής.

Τους γεωπόνους και υποψήφιους διδάκτορες της Γεωπονικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κύριο Χρήστο Παπανικολάου και κύριο Δημήτρη Δημάκα, ευχαριστώ για την σημαντική τους βοήθεια στην συγκέντρωση μερικών εκ των βασικών στοιχείων της έρευνας.

Τέλος, η παρούσα διατριβή ήλθε εις πέρας, χάρις στο πνεύμα συνεργασίας και στη φιλική διάθεση που έδειξαν οι κύριοι: Νίκος Παπανίκος, Σπύρος Σουίπας και οι εργαζόμενοι και εργαζόμενες στο πειραματικό αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα πτυχιακή διατριβή μελετήσαμε την επίδραση της άρδευσης ποιοτικά και ποσοτικά στην ανάπτυξη δυο σημαντικών παραγωγικών χαρακτηριστικών σε καλλιέργεια φυτού σόργου, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2007 στο πειραματικό αγρό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο του Νομού Μαγνησίας. Χρησιμοποιήθηκε πρώιμο υβρίδιο ποικιλίας γλυκού σόργου *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Τα παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που μετρήθηκαν, επεξεργάστηκαν στατιστικά και παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία είναι το ύψος και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.). Οι μετρήσεις έγιναν σε μία περίοδο ενδιάμεσα της σποράς έως την φυσική γήρανση της καλλιέργειας για την καλλιεργητική περίοδο του 2007. Συγκεκριμένα μελετήσαμε την επίδραση της υπόγειας και επιφανειακής στάγδην άρδευσης, σε δύο διαφορετικές δόσεις αρδεύσεις, στην εξέλιξη της ανάπτυξης των παραγωγικών χαρακτηριστικών που προαναφέραμε. Η πρώτη δόση άρδευσης αντιστοιχεί στο 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής και εφαρμόστηκε μόνο με το δίκτυο των επιφανειακών σταγόνων για λόγους σκοπιμότητας, ενώ η δεύτερη που αντιστοιχεί στο 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής εφαρμόστηκε τόσο με το δίκτυο των επιφανειακών σταγόνων όσο και με αυτό των υπόγειων. Επίσης υπήρχε και η μεταχείριση του μάρτυρα η οποία δεν αρδεύτηκε καθόλου. Συνολικά είχαμε 4 μεταχειρίσεις και δύο παράγοντες εκ των οποίων ο ένας ήταν η δόση άρδευσης και ο άλλος η μέθοδο άρδευσης (επιφανειακή στάγδην – υπόγεια στάγδην). Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 37 αρδεύσεις με κύριο γνώμονα την διατήρηση της εδαφική υγρασίας πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας (21,2% κ.ο.) καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Η ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε σε κάθε άρδευση είναι άμεσα συνυφασμένη με την υγρασία του εδάφους και τις τιμές εξάτμισης που παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος το έτος 2007. Στη παρακάτω διατριβή ακολουθεί η παρουσίαση των μετρήσεων με πίνακες και διαγράμματα καθώς και η στατιστική ανάλυσή τους που πιστοποιεί την εμπιστοσύνη των αποτελεσμάτων. Όπως φαίνετε στην επεξεργασία των αποτελεσμάτων η υπόγεια στάγδην άρδευση υπερτερεί σαν μέθοδο από την επιφανειακή στάγδην τόσο στην εξοικονόμηση αρδευτικού νερού όσο και στην καλύτερη ανάπτυξη της καλλιέργειας γεγονός που πιστοποίησε τις αρχικές μας προσδοκίες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ενεργειακές καλλιέργειες – Σόργο

1.1 Ενεργειακές καλλιέργειες	1
1.2 Γενικά για το σόργο	3
1.2.1 Ιστορική αναδρομή	3
1.2.2 Γεωγραφική κατανομή παραγωγής	4
1.2.3 Κατηγορίες σόργου	6
1.2.4 Συστηματική κατάταξη	7
1.2.5 Προϊόντα παραγωγής από την καλλιέργεια σόργου	8
1.3 Είδη σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια	10
1.3.1 Ινώδες σόργο	10
1.3.2 Γλυκό σόργο	11
1.4 Στάδια ανάπτυξης του σόργου	12
1.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά σόργου	24
1.5.1 Φύλλα	24
1.5.2 Βλαστός	25
1.5.3 Ριζικό σύστημα	26
1.5.4 Καρπός	27
1.5.5 Άνθος	27
1.6 Προσαρμοστικότητα σόργου	28
1.6.1 Θερμοκρασία	28
1.6.2 Υγρασία εδάφους	29
1.6.3 Έδαφος	30
1.6.4 Αμειψισπορά	30
1.6.5 Σπορά	31
1.6.6 Λίπανση	32

1.6.7 Ζιζανιοκτονία	33
1.6.8 Άρδευση	33
1.6.9 Ασθένειες	34
1.6.10 Εχθροί	35
1.6.11 Σημασία του σόργου για την Ελλάδα	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέθοδοι άρδευσης

2.1 Γενικά	38
2.2 Συστήματα άρδευσης	39
2.3 Επιφανειακή στάγδην άρδευση	41
2.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα επιφανειακής στάγδην άρδευσης	44
2.4.1 Τα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης	44
2.4.2 Τα μειονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης	45
2.5 Υπόγεια στάγδην άρδευση	45
2.6 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης	50
2.6.1 Τα πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης	50
2.6.2 Τα μειονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εγκατάσταση του πειράματος – Τεχνολογικός εξοπλισμός

3.1 Γενικά – Οριοθέτηση – Σχέδιο	53
3.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά	56
3.3 Υλικά άρδευσης	59
3.4 Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος	64
3.5 Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης	66
3.5.1 Θεωρητικός τρόπος υπολογισμών	66
3.5.2 Πρακτικός τρόπος υπολογισμών	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Εδαφοκλιματικά δεδομένα

4.1 Κλιματικά δεδομένα	72
4.1.1 Συμπεράσματα	79
4.2 Υγρασία εδάφους	79

4.2.1 Συμπεράσματα	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Ύψος φυτών	
5.1 Αποτελέσματα – Συζήτηση	84
5.2 Συμπεράσματα	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (L.A.I.)	
6.1 Αποτελέσματα – Συζήτηση	89
6.2 Συμπεράσματα	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
Εξοικονόμηση νερού	
7.1 Αποτελέσματα – Συζήτηση	95
7.2 Συμπεράσματα	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
Τελικά συμπεράσματα	
8.1 Υγρασία εδάφους	98
8.2 Ύψος φυτών	98
8.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.)	99
8.4 Εξοικονόμηση νερού	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
Πίνακες στατιστικής ανάλυσης	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία	114
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	115
Ηλεκτρονική βιβλιογραφία	117

Κεφάλαιο 1

Ενεργειακές καλλιέργειες – Σόργο

1.1 Ενεργειακές καλλιέργειες

Τα φυτά χρησίμευαν από την αρχή της δημιουργίας του ανθρώπινου πολιτισμού ως ζωτικής σημασίας πηγή τροφής, πρώτων υλών και ενέργειας. Τον ρόλο τους αυτό τον οφείλουν στην ικανότητά τους να μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια που δέχονται σε μορφή οργανικής ύλης. Με την λειτουργία της φωτοσύνθεσης, το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας δεσμεύεται από τα φυτά και μετατρέπεται σε σάκχαρα. Η μετατροπή αυτή αποτελεί τη βάση για τη σύνθεση μιας μεγάλης ποικιλίας φυσικών οργανικών πρώτων υλών όπως το άμυλο, η λιγνίνη, η κυτταρίνη, τα φυτικά έλαια κ.τ.λ. Ο στόχος της αυξημένης συνεισφοράς της βιομάζας, στην παραγωγή ενέργειας στις βιομηχανικές χώρες με όρους ανταγωνιστικούς μέσα στο πλαίσιο του σχεδιασμού μιας βιώσιμης ανάπτυξης, μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή καλλιεργούμενων, για ενεργειακούς σκοπούς, φυτικών ειδών τα οποία έχουν υψηλές αποδόσεις ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Τα είδη αυτά θα πρέπει να μελετηθούν προκειμένου να προσδιοριστούν οι συνθήκες και οι καλλιεργητικές πρακτικές κάτω από τις οποίες επιτυγχάνεται η βέλτιστη αποδοτικότητά τους όσον αφορά την δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και την μετατροπή της σε οργανική ύλη. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά με βάση τα οποία κρίνεται η καταλληλότητα των φυτικών ειδών για την καλλιέργειά τους με στόχο την παραγωγή ενέργειας είναι σε γενικές γραμμές τα εξής:

- Υψηλή απόδοση στην μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οργανική ύλη.
- Όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ικανότητα αξιοποίησης της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη περίοδο της ανάπτυξής τους.

- Ελάχιστη απαίτηση εξωτερικών παρεμβάσεων και εισροών στο στάδιο της παραγωγής και της συγκομιδής.
- Θετικό ενεργειακό ισοζύγιο, το οποίο θα πρέπει να ικανοποιεί τις προϋποθέσεις βιώσιμης ανάπτυξης του οικοσυστήματος στο οποίο εντάσσονται.
- Υψηλή απόδοση σε ξηρή βιομάζα κατά τη περίοδο της συγκομιδής.
- Υψηλή ενεργειακή αξία της παραγόμενης ξηρής βιομάζας, που σημαίνει φυτικό σώμα πλούσιο σε έλαια, σάκχαρα, άμυλο, λιγνοκυτταρίνη κ.τ.λ.
- Η παραγωγή και η χρήση τους να έχουν τις ελάχιστες δυνατές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Με βάση τα κριτήρια αυτά ως καταλληλότερα θεωρούνται τα είδη που αποθηκεύουν άμεσα ζυμώσιμα σάκχαρα (ζαχαροκάλαμο, γλυκό σόργο, ζαχαρότευτλα κτλ.) ή άμυλο που μπορεί να μετατραπεί σε σάκχαρα (καλαμπόκι κτλ.) καθώς και είδη που αποθηκεύουν έλαια ή και υδρογονάνθρακες (βαμβάκι Jojoba, Euphorbia, Ηλιάνθος κτλ). Πολλά από αυτά τα φυτά, παρόλο που έχουν υψηλές αποδόσεις και η χημική σύσταση της βιομάζας τους είναι τέτοια που επιτρέπει την εύκολη μετατροπή της σε καύσιμα, αποκλείονται από την χρησιμοποίησή τους ως ενεργειακά φυτά επειδή το προϊόν τους έχει υψηλή διατροφική αξία και συνεπώς χρησιμοποιούνται κατά προτεραιότητα ως τροφή. Ένα φυτό το οποίο πληρεί όλες τις προϋποθέσεις για την χρησιμοποίησή του στην παραγωγή βιομάζας (υψηλή απόδοση, ανθεκτικότητα, αποθήκευση άμεσα ζυμώσιμων σακχάρων, μη χρησιμοποίησή του για τροφή) είναι το γλυκό σόργο [*Sorghum bicolor* L. (Moench)] το οποίο έχει άριστη προσαρμογή στις εδαφοκλιματικές συνθήκες που επικρατούν στη χώρα μας και στην ευρύτερη περιοχή της Νότιας Ευρώπης και για το οποίο γίνεται τα τελευταία χρόνια εκτεταμένη έρευνα σε πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκειμένου να εκτιμηθεί η δυνατότητα εισαγωγής του ως ενεργειακή καλλιέργεια.

1.2 Γενικά για το Σόργο

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

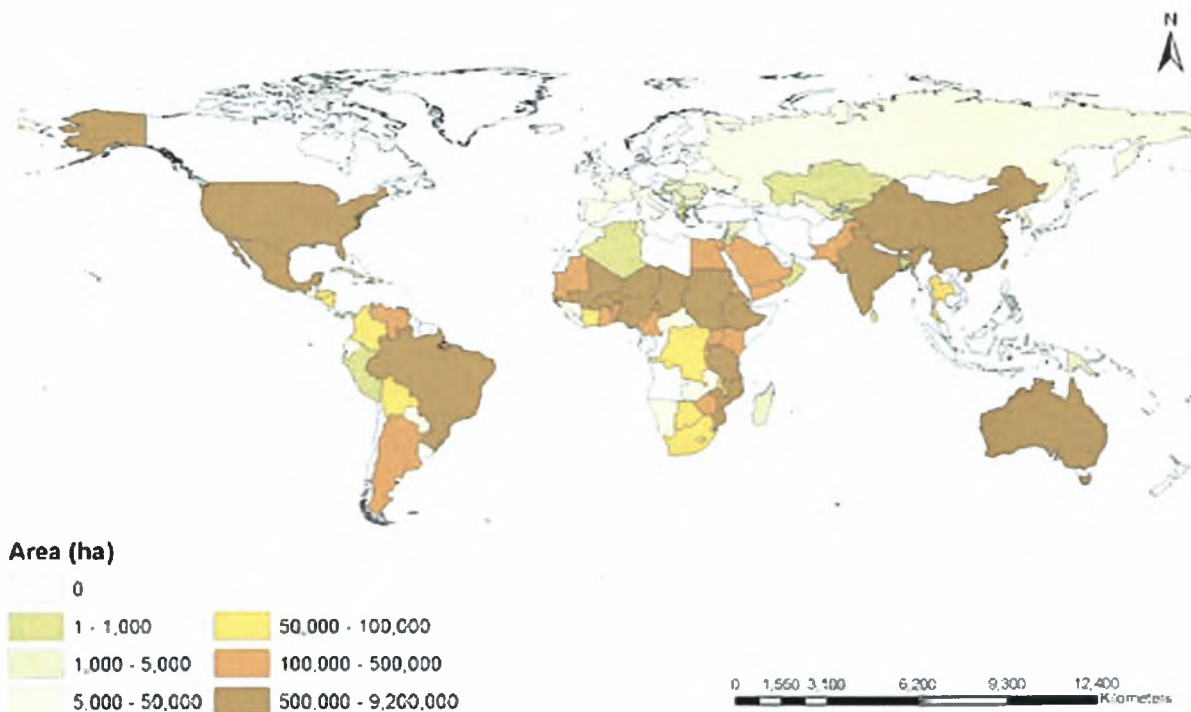
Σύμφωνα με τους Mann et al. (1983) και Doggett (1988) ο πρόγονος των καλλιεργουμένων τύπων σόργου είναι το άγριο είδος *S. bicolor* ssp. *arundinaceum* (= *S. b. Verticilliflorum*) το οποίο εξημερώθηκε στην αφρικανική Ήπειρο. Η μεγαλύτερη ποικιλομορφία εντοπίζεται στην βορειοανατολική Αφρική και ιδιαίτερα στις περιοχές τις Αιθιοπίας και του Σουδάν, σε ένα μεγάλο εύρος οικολογικών συνθηκών. Κατά τον Dogget (1965 – 1988) η νοτιοδυτική Αιθιοπία είναι μια πιθανή περιοχή για πρώτη εξημέρωση του σόργου η οποία θα έπρεπε να έλαβε χώρα γύρω στο 5000 π.Χ. και από εκεί εξαπλώθηκε στην υπόλοιπη Αφρική και στην Ινδία μέσω της αραβικής χερσονήσου μέχρι το 2000 π.Χ. Η εξάπλωση στην Κίνα θα πρέπει να τοποθετείται την ίδια περίοδο δεδομένης της γειτονίας των δυο χωρών αλλά και της ανταλλαγής γεωργικών προϊόντων. Αντίθετα η εξάπλωση του σόργου προς τη δύση φαίνεται ότι καθυστέρησε. Για παράδειγμα η καλλιέργεια στην Αίγυπτο ξεκίνησε κατά την ρωμαϊκή εποχή αλλά στο νέο δυτικό κόσμο η συστηματική του καλλιέργεια άρχισε από το (1853 – 1857) και εξαπλώθηκε σημαντικά όταν οι τροπικές ποικιλίες μετά από βελτίωση προσαρμόστηκαν στα εύκρατα κλίματα με τις μεγάλες φωτοπεριόδους (Καραμάνος 1999). Το 1850 με την εισαγωγή από τη Γαλλία μιας ποικιλίας σόργου, χρησιμοποιείται για την παρασκευή ζάχαρης και σιροπιού και του δίνεται το προσωνύμιο «Κινέζικο ζαχαροκάλαμο». Το 1950 εμφανίζονται 5 ποικιλίες σόργου.

- Το Grain sorghum με νάνες ποικιλίες (2 – 5 ft)
- Το σόργο χορτονομής με περισσότερη ξηρά ουσία (6 – 12 ft)
- Το Sudan – grass ως θερινή λιβαδική καλλιέργεια
- Τα υβρίδια σόργου Sudan – grass με ενδιάμεση χρήση (λιβαδική – χορτονομής)
- Το σόργο Almun ή νέγρο σόργο

Οι ποικιλίες αυτές καλλιεργούνται σε περιοχές της δύσης και του νότου όπως το Κάνσας, το Τέξας, η Νεμπράσκα και η Ουισκόνσιν, υπερτερώντας δηλαδή σε κλιματικές περιοχές όπου η καλλιέργεια του καλαμποκιού είναι προβληματική εξαιτίας ξηρών κλιματικών συνθηκών (υψηλές θερμοκρασίες - χαμηλή βροχόπτωση). Ειδικότερα την τελευταία δεκαπενταετία μεγάλη σημασία έχει δοθεί στην παραγωγή και εκμετάλλευση του ενεργειακού φυτού σόργου *Sorghum bicolor* L. Σήμερα η συνολική έκταση που καλλιεργείται με σόργο το κατατάσσει στην πέμπτη θέση μεταξύ των οκτώ πιο διαδεδομένων σιτηρών και μάλιστα σε ποσοστό 7 % επί του συνόλου.

1.2.2 Γεωγραφική κατανομή παραγωγής

Πίνακας 1.1. Γεωγραφική κατανομή παραγωγής σόργου το έτος 2004 ([http://www.icrisat.org/...](http://www.icrisat.org/)).

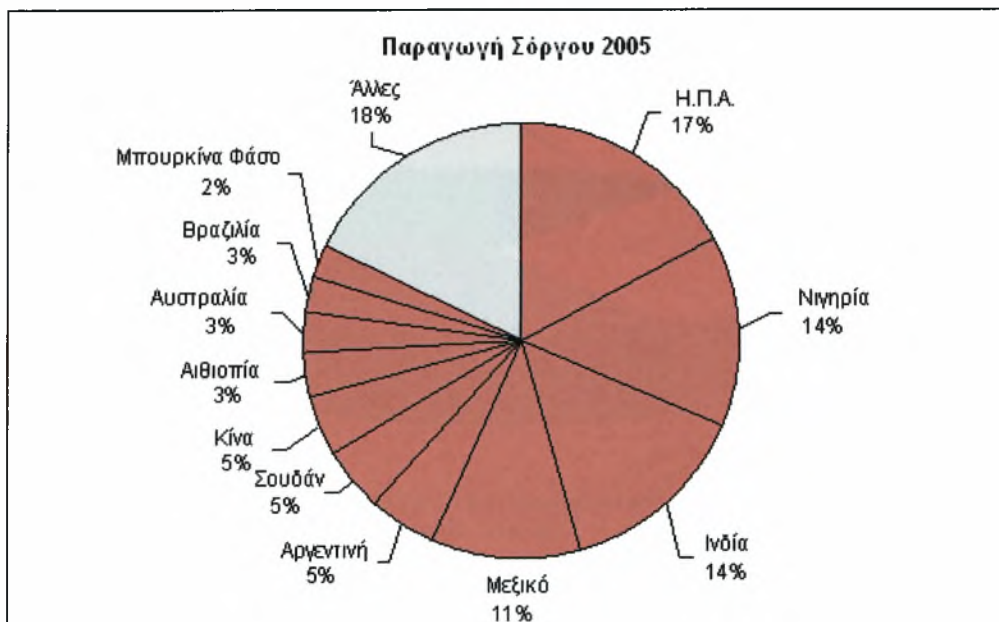


Οι χώρες με τις μεγαλύτερες παραγωγές ανήκουν γεωγραφικά στην Ασία και είναι η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν, η Κορέα και άλλες. Σημαντικές επίσης παραγωγές εμφανίζουν οι ΗΠΑ, η Αυστραλία και αρκετές χώρες της κεντρικής και Νοτίου Αφρικής με την Βραζιλία να έχει μεταξύ αυτών την σπουδαιότερη θέση. Ειδικότερα στις χώρες τις Ασίας (Ινδία), Αφρικής αλλά και της κεντρικής Αμερικής το σόργο

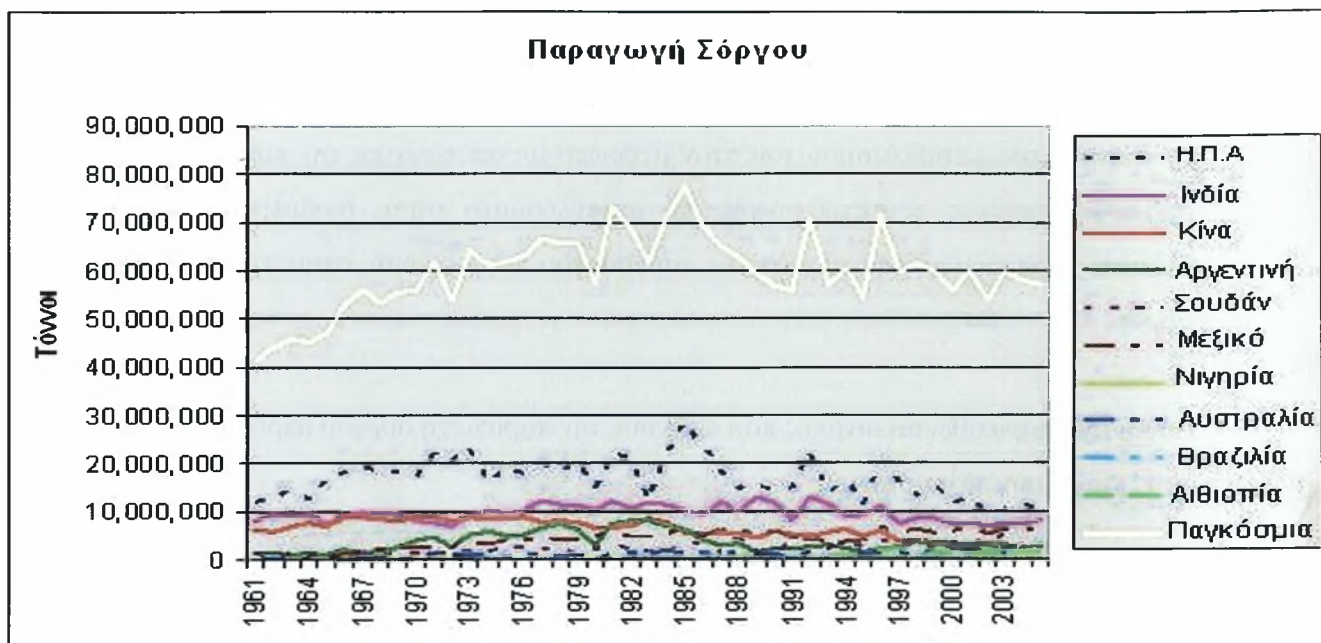
καταναλώνεται από μεγάλο μέρος του πληθυσμού καθώς περιέχει υψηλά ποσοστά υδατανθράκων και αμύλου γεγονός που του δίνει την δυνατότητα υποκατάστασης του αραβόσιτου και του σιταριού στην παραγωγή άρτου και άλλων προϊόντων. Η τροφική ωφέλεια του σόργου κινεί και κάποιο ιατρικό ενδιαφέρον λόγω της βραδύτητας του μεταβολισμού του στον άνθρωπο με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της πέψης γεγονός που έχει ευεργετικά αποτελέσματα στους διαβητικούς. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα η καλλιέργεια του σόργου περιορίζεται στην περιοχή του Έβρου.

Παρακάτω παρατίθενται πίνακες που δείχνουν την παραγωγή σόργου μερικών χωρών που ξεχωρίζουν παγκοσμίως.

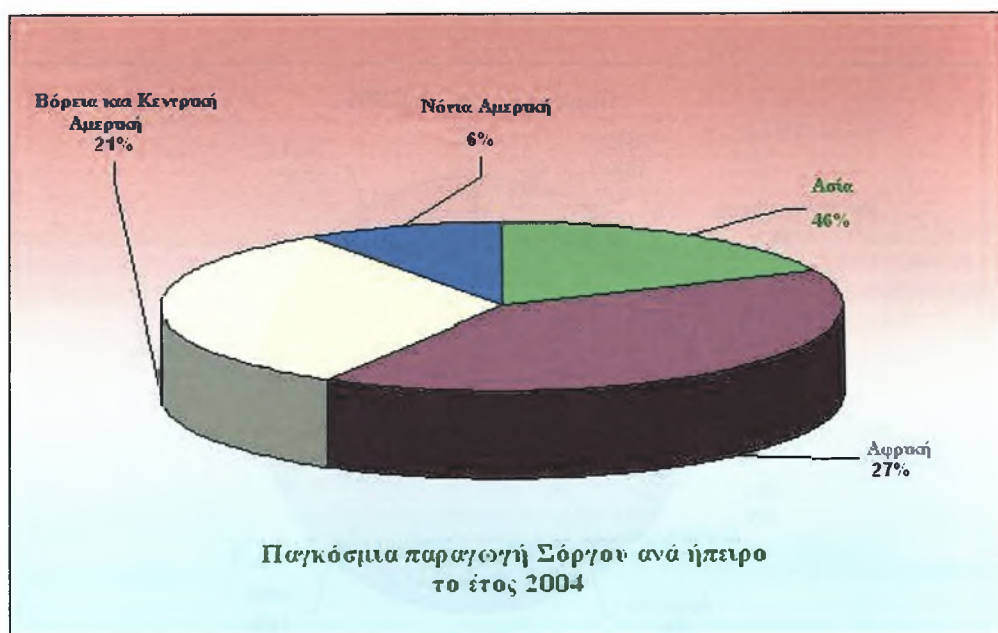
Πίνακας 1.2. Ποσοστά παραγωγής σόργου διάφορων χωρών σε σχέση με την παγκόσμια παραγωγή το έτος 2005 ([http://gramene.agrinome.org/...](http://gramene.agrinome.org/)).



Πίνακας 1.3. Χρονολογική εξέλιξη της παραγωγής σόργου διαφόρων χωρών
([http://gramene.agrinome.org/...](http://gramene.agrinome.org/)).



Πίνακας 1.4. Παγκόσμια παραγωγή σόργου ανά ήπειρο το έτος 2004 ([http://www.icrisat.org/...](http://www.icrisat.org/)).



1.2.3 Κατηγορίες σόργου

Το καλλιεργούμενο είδος σόργου είναι το *Sorghum bicolor* ($2n = 20$) του οποίου η παλαιότερη ονομασία ήταν *Sorghum vulgare*. Οι καλλιεργούμενοι τύποι

κατατάσσονται σε υποείδη όπως *dura*, *sudanense*, κτλ. Οι καλλιεργούμενοι τύποι *Sorghum bicolor* ταξινομούνται γεωργικά στις παρακάτω ομάδες ποικιλιών.

- Καρποδοτικές (*grain sorghum*). Περιλαμβάνονται διάφορες ποικιλίες χονδροστέλεχες, χαμηλόσωμες (τύπος *Kafir*), μετρίου ύψους (τύπος *Dura*) και υψηλόσωμες (τύπος *Milo*). Οι μετρίου ύψους και υψηλόσωμες είναι οψιμότερες από τις χαμηλόσωμες αλλά έχουν πιο ανεπτυγμένο ριζικό σύστημα.
- Χορτοδοτικές. Είναι ποικιλίες λεπτοστέλεχες με πολλά αδέρφια και πλούσιο φύλλωμα. Είναι κατάλληλες για χλωρή ζωοτροφή ή ενσίρωση. Θερίζονται 2 – 4 φορές το έτος, αρδεύονται και λιπαίνονται ισχυρά καθώς είναι απαιτητικές σε άζωτο. Παράγουν μεγάλες ποσότητες εύπεπτου χόρτου οι οποίες είναι πλούσιες σε υδατάνθρακες.
- Ζαχαρούχες (*sorgo*). Στην εντεριόνη του στελέχους τους περιέχουν χυμό με σακχαρούχες ουσίες (17% και πλέον). Είναι τύποι χονδροστέλεχοι, υψηλόσωμοι, όψιμοι και καλλιεργούνται για την εξαγωγή του σακχαρούχου χυμού τους ή για παραγωγή χόρτου που προορίζεται για ενσίρωση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το γλυκό σόργο.
- Σκούπα (*bloom corn*). Στην Ελλάδα καλλιεργούνται για παραγωγή καρπού καθώς και για τη παραγωγή σαρώθρων, ιδίως στο νομό Έβρου (Σφήκας 1991).

1.2.4 Συστηματική κατάταξη

Το σόργο ανήκει στη φυλή *Andropogoneae* και στη υποφυλή *Sorghastrae*. Ο Garber (1950 – 1954) θεώρησε ότι το γένος *Sorghum* είναι ένα από τα δυο που περιλαμβάνει η υποφυλή *Sorghastrae*. Επιπλέον πρότεινε την ύπαρξη υπογενών στο *Sorghum* τα οποία συνέδεσε με τη γεωγραφική προέλευση και εξέλιξη του γένους. Λόγω της μεγάλης ποικιλομορφίας, υπήρξαν στο παρελθόν μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των βοτανολόγων για την ταξινόμηση του γένους. Η επικρατέστερη σήμερα άποψη

(De Wet 1978) υποδιαιρεί το γένος σε τρία διαφορετικά είδη. Τα *Sorghum bicolor*, *Sorghum halepense* και το *Sorghum propinquum*.

Το *Sorghum bicolor* περιλαμβάνει ετήσια φυτά, καλλιεργούμενα και μη και χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλομορφία. Υποδιαιρείται στα υποείδη *bicolor*, *drummondii* και *verticilliflorum* από τα οποία μόνο το πρώτο δίνει καλλιεργούμενα φυτά (Καραμάνος 1999). Το γλυκό σόργο που μας ενδιαφέρει είναι μια συγκεκριμένη ποικιλία του υποείδους *bicolor* του *Sorghum bicolor* και ορίζεται επιστημονικά ως:

Sorghum bicolor (L.) Moench

Πιο αναλυτικά η σύγχρονη ταξινόμηση του ορίζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.5. Συστηματική κατάταξη σόργου.

Βασίλειο	Plantae
Υποβασίλειο	Tracheobionta
Υπερφύλο	Spermatophyta
Φύλο	Magnoliophyta
Κλάση	Liliopsida
Υποκλάση	Commelinidae
Τάξη	Cyperales
Οικογένεια	Poaceae
Γένος	<i>Sorghum</i> Moench
Είδος	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench

1.2.5 Προϊόντα παραγωγής από την καλλιέργεια σόργου

- **Παραγωγή καρπού.** Ο καρπός χρησιμοποιείται για την διατροφή του ανθρώπου (Ινδία, Κίνα, Αφρική), κτηνοτροφική και βιομηχανική χρήση. Το ενδοσπέρμιο του καρπού είναι πλούσιο σε άμυλο, το έμβρυο σε διάφορα διαλυτά σάκχαρα και το περίβλημα σε κυτταρίνες και ημικυτταρίνες. Η πρωτεΐνη του καρπού δεν περιέχει γλουτένη και επομένως το αλεύρι δεν μπορεί

να χρησιμοποιηθεί αυτούσιο για αρτοποιήση. Χρησιμοποιείται όμως σε ανάμιξη με αλεύρι σίτου (σε αναλογία 25% προς 75%) οπότε παράγεται ψωμί ικανοποιητικό με χρώμα ανάλογο του ψωμιού από σίκαλη. Από ποιοτική πλευράς, η πρωτεΐνη παρουσιάζει ανάλογα μειονεκτήματα με εκείνη του αραβόσιτου. Επίσης ο καρπός είναι πλούσιος σε βιταμίνες όπως η ριβοφλαβίνη και η πυριδοξίνη αλλά σε μεγαλύτερα ποσά το παντοθενικό οξύ, νικοτινικό οξύ και η βιοτίνη. Σε γενότυπους με κίτρινο ενδοσπέρμιο υπάρχει και η προβιταμίνη Α. Γενικά η σύσταση του καρπού του σόργου μοιάζει με εκείνη του σκληρού σιταριού αλλά περιέχει λιγότερη λιποπεριεκτικότητα. Ο καρπός του σόργου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για: **(α) Διατροφή του ανθρώπου.** Οι κόκκοι λειοτριβούνται και μαγειρεύονται αυτούσιοι ή ζυμώνονται σε είδος ψωμιού. Επίσης χρησιμοποιούνται για παραγωγή αλκοολούχων ποτών (ένα είδος μπίρας στην Αφρική). **(β) Ως κτηνοτροφή.** Ο καρπός είναι ισοδύναμος του αραβόσιτου από πλευράς θρεπτικής αξίας. Έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λίπη ενώ η περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη είναι υψηλότερη ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη ποικιλία. Η πρωτεΐνη του σόργου είναι ελλειμματική σε αργιλίνη, γλυκίνη, τυροσίνη και μεθειονίνη. Έχει μειωμένη πεπτικότητα όταν τα περιβλήματα είναι πλούσια σε ταννίνες. **(γ) Βιομηχανική χρήση.** Χρησιμοποιείται για παραγωγή αλκοόλης, αμύλου, πηκτίνης (από ποικιλίες με κηρώδες ενδοσπέρμιο), γλυκόζης, σιροπιών, ελαίου κτλ.

- **Παραγωγή σκούπας.** Τα φυτά αυτής της κατηγορίας εθεωρούντο ότι αποτελούσαν ξεχωριστό είδος (*Sorghum scorparium*). Τα στελέχη είναι ξυλώδη με ξηρή εντεριώνη και αραιό φύλλωμα. Η ταξιανθία έχει βραχύ κεντρικό άξονα και μακρές πλευρικές διακλαδώσεις.
- **Παραγωγή σιροπιού.** Το σιρόπι εξάγεται από τα στελέχη που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη (ο χυμός μιας καλής ποικιλίας περιέχει 10 – 15% ζάχαρη). Ένα μειονέκτημα του σιροπιού είναι η υψηλή περιεκτικότητα του σε άλατα και οργανικά οξέα που του προσδίδουν ιδιάζουσα γεύση. Επίσης η αναλογία ζαχαρόζης / αναγωγικά σάκχαρα διαφέρει μεταξύ των γενοτύπων. Η κατηγορία αυτή αποτελούσε παλιότερα το είδος *Sorghum saccharatum*.

- **Παραγωγή βιομάζας.** Η βιομάζα του σόργου (φύλα, υπολείμματα καρποδοτικών καλλιεργειών ή ολόκληρα φυτά) χορηγείται σε όλες τις κατηγορίες ζώων ως νωπή, ενσιρωμένη ζωοτροφή ή σανός. Ειδικότερα για την παραγωγή βιομάζας καλλιεργείται κυρίως το σόργο του Σουδάν και τα σακχαρούχα σόργα. Σε σύγκριση με τη βιομάζα του αραβόσιτου η βιομάζα του σόργου υστερεί λίγο σε θρεπτικά συστατικά αλλά είναι περισσότερο εύπεπτη. Το ενσιρωμένο προϊόν έχει την ίδια θρεπτική αξία με εκείνο του αραβόσιτου. Ένα μεγάλο πρόβλημα που σχετίζεται με την κατανάλωση βιομάζας σόργου είναι η περιεκτικότητα της στο κυανιούχο γλυκοζίδιο «ντουρίνη». Μετά την υδρόλυση της ντουρίνης εκλύεται υδροκυάνιο που είναι εξαιρετικά τοξικό για τα ζώα εάν ξεπερνά τα 200 ppm.
- **Παραγωγή ενέργειας.** Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των στελεχών του σόργου σε ζάχαρη είναι δυνατή η εξαγωγή αλκοόλης από καλλιέργειες σόργου. Προς τούτο χρησιμοποιούνται ειδικά υβρίδια που συνδυάζουν υψηλή παραγωγή βιομάζας και υψηλή ζακχαροπεριεκτικότητα (Καραμάνος 1999). Σε αυτή τη κατηγορία ανήκει το γλυκό σόργο με το οποίο θα ασχοληθούμε σε αυτή τη διατριβή.

1.3 Είδη Σόργου που χρησιμοποιούνται ως ενεργειακή καλλιέργεια

1.3.1 Ινώδες σόργο

Ανάλογα με την ενεργειακή χρήση του σόργου διακρίνουμε δύο ποικιλίες, το γλυκό σόργο (sweet sorghum) για την παραγωγή βιοαιθανόλης και το ινώδες σόργο (fiber sorghum) για την παραγωγή βιομάζας. Το ινώδες σόργο αποτελεί υβρίδιο του καρποδοτικού σόργου και του σόργου που χρησιμοποιείτε για την κατασκευή σκούπας. Ως ενεργειακό φυτό, το ινώδες σόργο καλλιεργείται σε πολλές ευρωπαϊκές και μη χώρες. Παρόλο που έχει τροπική προέλευση από πρόσφατες έρευνες (Dalianis 1996, Chatziathanassiou et al. 1998) η συγκεκριμένη καλλιέργεια παρουσίασε μια εντυπωσιακή προσαρμοστικότητα τόσο σε εύκρατα όσο και σε υποτροπικά κλίματα.

Κάποια υβρίδια παρουσίασαν μεγάλη απόδοση και σε μεσογειακές συνθήκες. Είναι ετήσιο φυτό με μεγάλη φωτοσυνθετική ικανότητα, μεγάλη παραγωγή σε βιομάζα, με αντοχή στη ξηρασία και μικρές απαιτήσεις σε άζωτο. Έχει μικρή περιεκτικότητα σε ζάχαρη (9 – 12 %) ενώ η υψηλή ενεργειακή του αξία οφείλεται στο υψηλό ποσοστό του σε λινοκυτταρικές ουσίες (περίπου 2 τόνους ανά στρέμμα) που περιέχει. Το ριζικό του σύστημα είναι πολύ ανεπτυγμένο με πολλές πλάγιες ρίζες, κάτι που κάνει το φυτό πολύ ανθεκτικό σε συνθήκες ξηρασίας και ικανό να κινητοποιεί το φυσικό άζωτο και τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Επίσης το εκτεταμένο ριζικό του σύστημα σε συνδυασμό με τους πυκνούς πληθυσμούς μειώνει τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους σε λοφώδεις ή πλάγιες περιοχές. Το ινώδες σόργο μπορεί να φυτρώσει σε μεγάλο εύρος εδαφών (pH 5 – 8) και σε εδάφη με μεγάλη αλατότητα ή αλκαλικότητα. Εδάφη όξινα βαριά θα πρέπει να αποφεύγονται. Σπέρνεται την άνοιξη όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι περίπου 15°C. Οι αποστάσεις μεταξύ των σειρών είναι 70 cm, ενώ τα φυτά σπέρνονται ανά 10 – 20 cm επί της σειράς. Με βάση τις Ελληνικές περιβαλλοντικές συνθήκες απαιτούνται 300 – 700 mm νερού για άρδευση ανάλογα φυσικά με την περιοχή στην οποία καλλιεργείται. Οι απαιτήσεις σε λίπανση είναι μικρές και συνήθως παρέχονται 5 μονάδες N. Η απόδοση σε χλωρό βάρος φτάνει τους 9 τόνους ανά στρέμμα, ενώ σε ξηρό τους 3 τόνους ανά στρέμμα. Γνωστές ποικιλίες ινώδους σόργου είναι η ABF 306, η NK 507, η H 132 και η FS 5 (Panoutsou 2000).

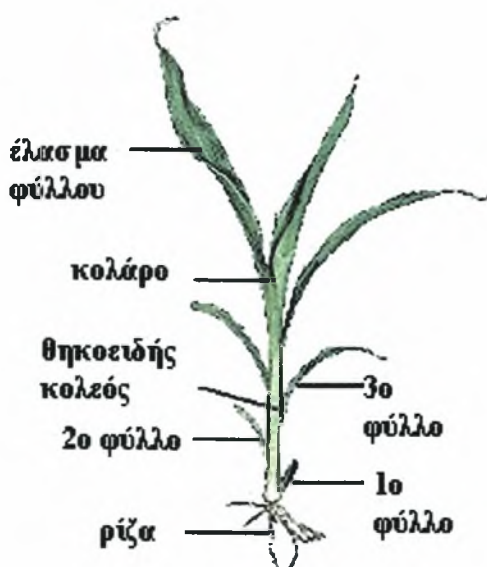
1.3.2 Γλυκό σόργο

Το γλυκό σόργο είναι ένα αγρωστώδες φυτό με C4 μεταβολισμό (τα C4 φυτά παράγουν αρχικά κατά τη φωτοσύνθεση οξαλοξικό οξύ, το οποίο έχει 4 άτομα άνθρακα, γεγονός που τα κάνει να έχουν αυξημένη δέσμευση άνθρακα σε σχέση με τα C3 φυτά) και καταγωγή από την Κεντρική Αφρική το οποίο έχει την ικανότητα να αποθηκεύει μεγάλες συγκεντρώσεις σακχάρων στο στέλεχός του. Για το λόγο αυτό μπορεί να καλλιεργηθεί ως ενεργειακό φυτό με υψηλές αποδόσεις βιοαιθανόλης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για την ανάπτυξή του ενώ το ριζικό του σύστημα είναι θυσανώδες με πλούσια διακλάδωση και τα φύλλα του καλύπτονται από μια κηρώδη ουσία που μειώνει τις απώλειες σε νερό. Το γεγονός αυτό το καθιστά ανθεκτικό στην ξηρασία. Παρά την τροπική

καταγωγή του το σόργο έχει προσαρμοστεί με επιτυχία στα εύκρατα κλίματα και έχει υψηλές αποδόσεις. Μπορεί να αναπτυχθεί με την ίδια επιτυχία σε διάφορους τύπους εδαφών όπως αργιλώδη, πηλώδη, ασβεστολιθικά καθώς και πλούσια σε οργανική ύλη εδάφη. Αντέχει σε pH εδάφους μεταξύ 5,5 και 8,0. Έχει την ικανότητα να επιβιώνει για μεγάλα χρονικά διαστήματα κάτω από συνθήκες ξηρασίας αναστέλλοντας την ανάπτυξή του και παραμένοντας σε λανθάνουσα κατάσταση επανερχόμενο σε φυσιολογικούς ρυθμούς ανάπτυξης όταν οι συνθήκες γίνουν ευνοϊκές (Hayward & Bernstein 1958). Το γλυκό σόργο είναι φυτό βραχείας φωτοπεριόδου και οι περισσότερες ποικιλίες του απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες (περίπου 27 – 30°C) για την καλύτερη ανάπτυξή τους. Πολλαπλασιάζεται με σπέρματα και δύο πολύ διαδεδομένες ποικιλίες στον Ευρωπαϊκό χώρο είναι η (Keller) και η (Korall).

1.4 Στάδια ανάπτυξης του σόργου

Για να κατανοήσουμε τον τρόπο ανάπτυξης του γλυκού σόργου θα πρέπει πρώτα να περιγράψουμε τα βασικά μορφολογικά και ανατομικά του χαρακτηριστικά. Στην Εικόνα 1.1 παρουσιάζεται σχηματικά ένα φυτό νεαρής ηλικίας με τρία πλήρως ανεπτυγμένα φύλλα (ηλικιακό στάδιο των 3 φύλλων) (Kelley 2006). Ένα φύλλο προσμετράται όταν το κολάρο (δηλ. το σημείο επαφής του ελάσματος και του θηκοειδούς κολεός) γίνει εμφανές.

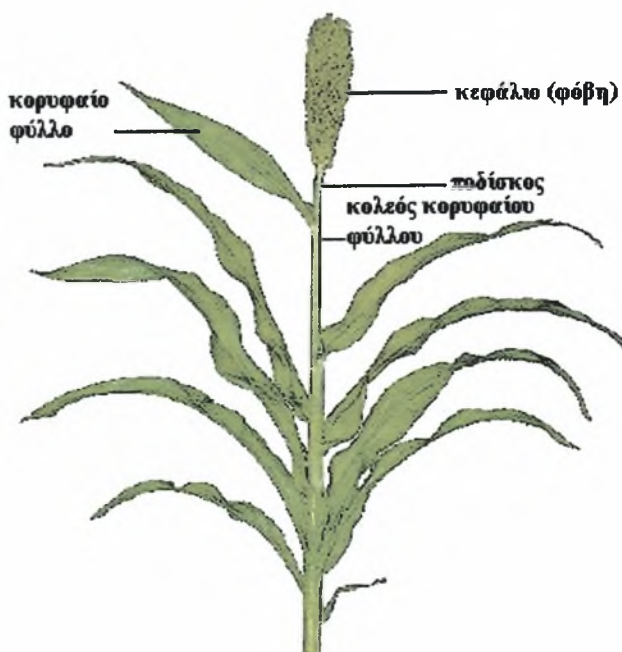


Εικόνα 1.1. Φυτό σόργου στο ηλικιακό στάδιο των 3-φύλλων (Kelley 2006).

Ο προσδιορισμός μεμονωμένων φύλλων νωρίς στην αυξητική περίοδο υποβοηθάτε και από το σχήμα των φύλλων. Το πρώτο φύλλο που εμφανίζεται είναι το φύλλο του κολεόπτρου που έχει αποστρογγυλεμένη άκρη. Έτσι, αν το χαμηλότερο φύλλο είναι οξύληκτο, τότε τουλάχιστον ένα φύλλο έχει αποκοπεί. Η Εικόνα 1.2 δείχνει ένα φυτό στο στάδιο σχηματισμού του περιάνθιου (boot stage). Όλα τα φύλλα έχουν πλήρως εκπτυχθεί και το κορυφαίο φύλλο (φύλλο σημαία – flag leaf) είναι το τελευταίο που εμφανίζεται και έχει σημαντικά μικρότερες διαστάσεις έναντι των άλλων. Το κεφάλαιο της ταξιανθίας (φόβη) εκπτύσσεται από το κολάρο πάνω σε ποδίσκο. Η Εικόνα 1.3 δείχνει ένα φυτό σόργου σε στάδιο πλήρους ωριμότητας με πλήρες σχηματισμένο κεφάλαιο. Κατά την ανάπτυξή του το σόργο διανύει τρία χαρακτηριστικά (βασικά) στάδια ανάπτυξης: α) των αρτιφύτων, β) της ταξιανθίας και γ) της αναπαραγωγής. Ο χρόνος που απαιτείται για τη μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο εξαρτάται από την εποχικότητα του υβριδίου και τις θερμοκρασίες που επικρατούν κατά την αυξητική περίοδο. Για παράδειγμα, στο Αρκάνσας των ΗΠΑ το φυτό χρειάζεται 35 μέρες να διανύσει σε κάθε στάδιο. Όταν το σόργο εγκαθίσταται νωρίς στην αυξητική περίοδο (χαμηλές θερμοκρασίες) διέρχεται των αυξητικών σταδίων αρκετά αργότερα σε σχέση με την όσιμη εγκατάστασή του (υψηλότερες θερμοκρασίες). Παρακάτω περιγράφονται λεπτομερώς τα τρία βασικά στάδια ανάπτυξης κατά τον Kelley 2006:



Εικόνα 1.2. Φυτό σόργου στο ηλικιακό στάδιο του σχηματισμού του περιάνθιου (boot stage) (Kelley 2006).



Εικόνα 1.3. Φυτό σόργου στο ηλικιακό στάδιο πλήρους ωριμότητας (Kelley 2006).

1) **Στάδιο ανάπτυξης αρτιφύτων.** Χαρακτηρίζεται από τη βλαστική αύξηση. Το φυτό αναπτύσσει φύλλα και βλαστούς τα οποία εν τέλει υποστηρίζουν το σχηματισμό των καρπών και την αναπαραγωγή. Η διάρκεια του σταδίου εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την εποχικότητα του υβριδίου (πρώιμο, όψιμο). Όσο περισσότερα φύλλα εκπτύσσει το φυτό τόσο περισσότερο διαρκεί η ωριμότητά του. Υβρίδια όψιμης ωριμότητας συνήθως παράγουν 15 φύλλα ανά φυτό ενώ υβρίδια μέσης ωριμότητας ή πρώιμα παράγουν 17 και 19 φύλλα αντίστοιχα. Στο στάδιο αυτό, το φυτό μπορεί και ανταπεξέρχεται την υδατική καταπόνηση, το χαλάζι ή τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες με λιγοστές συνέπειες στην παραγωγή σπόρων. Ηλιόλουστες μέρες με θερμοκρασίες κάτω από 18,8 °C ευνοούν την έκπτυξη νέων πλάγιων βλαστών (tillers) όταν τα φυτά βρίσκονται μεταξύ των ηλικιακών σταδίων των 4-6 φύλλων. Επίσης μικρές πυκνότητες σποράς ευνοούν την έκπτυξη νέων πλάγιων βλαστών. Οι ταξιανθίες (φόβες) των πλάγιων βλαστών είναι συχνά μικρότερες και ανθίζουν αργότερα από την αντίστοιχη του κύριου βλαστού (στελέχους). Το φαινόμενο της έκπτυξης πλάγιων βλαστών θεωρείται ότι ισοσταθμίζει το μικρό πληθυσμιακό μέγεθος.

2) **Στάδιο ανάπτυξης ταξιανθίας.** Το στάδιο αρχίζει με την έναρξη του σχηματισμού της ταξιανθίας και συνεχίζεται με την άνθηση. Το στάδιο αναφέρεται στην περίοδο σχηματισμού των αναπαραγωγικών δομών της ταξιανθίας και του καθορισμού του

μέγιστου αριθμού σπόρων. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού, τα φυτά είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα σε οποιοδήποτε τύπο καταπόνησης, όπως σε ακραίες θερμοκρασίες, έλλειψη θρεπτικών συστατικών, έλλειψη ή πλεόνασμα νερού και γενικά σε οποιαδήποτε καταπόνηση η οποία τείνει να μειώσει τον αριθμό σπόρων. Θεωρείται η πιο κρίσιμη περίοδος για την παραγωγή σπόρων καθώς ο παράγοντας αριθμός σπόρων ανά φυτό είναι υπεύθυνος για το 70% της σποροπαραγωγής. Επίσης, ο ρυθμός πρόσληψης του νερού αυξάνει κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Αν η καλλιέργεια είναι ποτιστική, είναι σημαντικό να μην υφίσταται υδατική καταπόνηση κατά την αρχή του σταδίου, δηλ. όταν «σχεδιάζεται» ο δυνητικά μέγιστος αριθμός σπόρων. Κατά το επιμέρους ηλικιακό στάδιο του σχηματισμού του περιάνθιου (boot stage) (Εικόνα 1.2) όλα τα φύλλα έχουν πλήρως αναπτυχθεί ώστε να εξασφαλίζουν το μέγιστο της επιφάνειας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων. Το κεφάλιο της ταξιανθίας προσεγγίζει το οριστικό του μέγεθος και εμπεριέχεται εντός του θηκοειδούς κολεού του ανώτερου ελεύθερου φύλλου. Η επιμήκυνση του ποδίσκου της ταξιανθίας αρχίζει και θα καταλήξει στην αποκάλυψη του κεφάλιου εκτός του θηκοειδούς κολεού του ανώτερου ελεύθερου φύλλου. Έτσι, κατά το επιμέρους αυτό ηλικιακό στάδιο καθορίζεται το δυνητικό μέγεθος του κεφάλιου. Υδατική καταπόνηση κατά το στάδιο αυτό μπορεί να αποτρέψει την αποκάλυψη του κεφάλιου, γεγονός που επιφέρει δυσκολίες κατά τη συγκομιδή. Γενικά, η καλλιέργεια του σόργου ανταποκρίνεται θετικά στο πότισμα σε αυτό το στάδιο.

3) Στάδιο αναπαραγωγής. Το τελευταίο στάδιο ανάπτυξης ξεκινά με την άνθηση και συνεχίζει μέχρι τη φυσιολογική ωριμότητα. Η άνθηση αρχίζει όταν αποκαλύπτονται οι κίτρινοι ανθήρες στην άκρη του κεφαλίου της ταξιανθίας 5-7 ημέρες μετά την αποκάλυψή της. Κατά τις επόμενες 4-9 ημέρες η αποκάλυψη των ανθέρων συνεχίζεται προοδευτικά προς τα κάτω και όταν φτάσει στο μέσο του κεφαλίου θεωρείται ότι το φυτό βρίσκεται στο μέσο της άνθησης. Έτσι συνολικά απαιτούνται γύρω στις 75 ημέρες από την εμφάνιση του αρτίφυτου μέχρι το μέσο της άνθησης. Το νερό καθίσταται κρίσιμος παράγοντας 1 εβδομάδα πριν την εμφάνιση του κεφαλίου της ταξιανθίας και συνεχίζει μέχρι 2 εβδομάδες μετά την άνθηση. Η ανίχνευση προσβολής από το δίπτερο *Contarinia sorghicola* είναι πολύ κρίσιμη κατά το στάδιο της άνθησης. Υπολογίζεται ότι 1 άτομο *Contarinia sorghicola* ανά κεφάλιο μπορεί να μειώσει την παραγωγή σπόρων από 10 έως 20%. Μετά την άνθηση η ανάπτυξη των σπόρων ξεκινά και συνεχίζεται κατά το γαλακτώδες αυξητικό στάδιο, όπως και κατά

τα αυξητικά στάδια της μαλακής και σκληρής ζύμης και κατά το στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας για μία περίοδο από 25-45 ημέρες μετά την άνθηση, εξαρτώμενη από την εποχικότητα του υβριδίου και τις συνθήκες αύξεσης. Οι καρποί φτάνουν το μέγιστο όγκο τους περίπου 10 ημέρες μετά την άνθηση κατά τη διάρκεια του γαλακτώδους σταδίου. Ο σπόρος είναι μαλακός και ένα λευκό γαλακτώδες υγρό εμφανίζεται όταν συνθλιβεί. Το στάδιο της μαλακής ζύμης εμφανίζεται σχεδόν 15-25 ημέρες μετά την άνθηση όταν έχει επιτευχθεί το 50% του βάρους των σπόρων και χαρακτηρίζεται από την πολύ μικρή ποσότητα ή και την απώλεια του γαλακτώδους υγρού (όταν συνθλιβεί ο σπόρος). Στο στάδιο αυτό ο σπόρος αποτελεί άριστης ποιότητας τροφή για τα πουλιά και το κεφάλιο για τις κάμπιες. Όταν ο σπόρος βρίσκεται στο στάδιο της σκληρής ζύμης δεν μπορεί να συνθλιβεί με τα δάχτυλα και περίπου το 75% του βάρους του σπόρου έχει επιτευχθεί. Υδατική καταπόνηση κατά το στάδιο της μαλακής και σκληρής ζύμης προκαλεί συρρίκνωση του σπόρου και απώλεια του βάρους του. Το στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας αρχίζει όταν ένα μαύρο στρώμα εμφανίζεται στη βάση του καρπού και συγκεκριμένα στο σημείο που ο καρπός συνδέεται με το άνθος. Η περιεχόμενη υγρασία του σπόρου φτάνει τα 30 - 35 % του βάρους. Στην κατάσταση αυτή ο σπόρος προσεγγίζει το δυνητικό του βάρος. Όταν η υγρασία μειωθεί και λάβει τιμές γύρω στο 20 % του βάρους, ο σπόρος μπορεί να συλλεχθεί χωρίς (μηχανικές) ζημιές.

Ο Vanderlip (1993) διακρίνει 10 στάδια ανάπτυξης του σόργου:

Στάδιο 1. Εμφάνιση. Το σόργο εμφανίζεται όταν το κολεόπτιλο γίνει ορατό πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, περίπου 3 – 10 ημέρες μετά τη σπορά (Εικόνα 1.4).



Εικόνα 1.4. Εμφάνιση του κολεόπτιλου του σόργου πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (Vanderlip 1993).

Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού, η αύξηση εξαρτάται από τη θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους, το βάθος σποράς και τη ζωτικότητα του σπόρου. Ψυχρές και

υγρές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών που εμποδίζουν την ανάπτυξη των κολεοπτύλων. Επομένως, η σπορά πρέπει να προγραμματιστεί ώστε η φύτευση και τα πρώτα στάδια ανάπτυξης να συμπίσουν με υψηλές θερμοκρασίες, ενώ το στάδιο της αναπαραγωγής να ολοκληρωθεί πριν το θερμοκρασιακό μέγιστο της θερμής περιόδου. Κατά το στάδιο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν μυκητοκτόνα και να προγραμματιστούν μέτρα για τη μείωση της δραστηριότητας των ζιζανίων. Προτείνεται η χρήση μίγματος atrazine και 2,4-D μέχρι και το αυξητικό στάδιο των 4-φύλλων, όταν δηλ. το ύψος των φυταρίων είναι μέχρι 20 εκ., ενώ απευθείας ψεκασμός προτείνεται όταν τα ύψη των φυταρίων κυμαίνονται από 20 – 30 εκ.

Στάδιο 2. Στάδιο 3-φύλλων. Αρχίζει όταν τα κολάρα των τριών πρώτων φύλλων γίνουν ορατά χωρίς να τα αποκολλήσουμε.



Εικόνα 1.5. Σόργο στο στάδιο των 3-φύλλων (Vanderlip 1993).

Το στάδιο συνήθως αρχίζει περίπου 10 ημέρες μετά την εμφάνιση και εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία. Είναι σημαντικό η ημερομηνία σποράς να γίνει αρκετά αργά για να διασφαλιστεί η ταχεία ανάπτυξη του σόργου κατά το στάδιο αυτό. Αργή ανάπτυξη και φτωγή καταπολέμηση των ζιζανίων κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου μπορεί να μειώσει σημαντικά την παραγωγή, καθώς το φυτό είναι ακόμα μικρό για να αντεπεξέλθει τον ανταγωνισμό. Λόγω ότι το αυξητικό κέντρο του σόργου βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, τυχούσα απομάκρυνση του φυλλώματός του δεν αναμένεται να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στη ζωτικότητα του φυτού, αν και ο ρυθμός επανάκαμψης είναι μάλλον μικρός έναντι άλλων αγρωστωδών (π.χ. καλαμπόκι). Στο στάδιο αυτό η χημική καταπολέμηση περιλαμβάνει buctril και atrazine (από αυτό το στάδιο μέχρι όταν τα φυτάρια αποκτήσουν ύψος γύρω στα 35 εκ). Χρήση του marksman προτείνεται να γίνει από το στάδιο αυτό μέχρι το στάδιο των 5-φύλλων.

Στάδιο 3. Στάδιο 5-φύλλων. Αρχίζει όταν τα κολάρα των πέντε πρώτων φύλλων γίνουν ορατά (χωρίς να τα αποκολλήσουμε) περίπου 3 εβδομάδες μετά την εμφάνιση.



Εικόνα 1.6. Σόργο στο στάδιο των 5-φύλλων (Vanderlip 1993).

Το ριζικό σύστημα αναπτύσσεται ταχύτατα κατά το στάδιο αυτό. Με ευνοϊκές συνθήκες ο καταμερισμός και η συσσώρευση των προϊόντων της αφομοίωσης συμβαίνουν με σταθερούς ρυθμούς. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου καθορίζεται η δυνατότητα για ανάπτυξη του φυτού. Καταπονήσεις από ανταγωνισμό των ζιζανίων, έλλειψη θρεπτικών, νερού ή προσβολή από έντομα μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παραγωγή αν δεν ληφθούν μέτρα αντιμετώπισής τους. Μετά τη διέλευση αυτού του σταδίου δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται το marksman, ενώ το atrazine και το paramount δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται σε φυτά σόργου ύψους πάνω από 35 εκ.

Στάδιο 4. Στάδιο διαφοροποίησης της ανάπτυξης. Στο στάδιο αυτό διαφοροποιείται η ανάπτυξη του σόργου από βλαστική σε αναπαραγωγική.



Εικόνα 1.7. Σόργο στο στάδιο διαφοροποίησης της ανάπτυξης (Vanderlip 1993).

Ο συνολικός αριθμός των φύλλων έχει πια καθοριστεί, ενώ σταδιακά αρχίζει ο καθορισμός του δυνητικού μεγέθους του κεφάλιου. Η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και νερού γίνεται με ταχείς ρυθμούς καθώς το φυτό απαιτεί σημαντικές ποσότητες για την ολοκλήρωση της αύξησής του. Στο στάδιο αυτό τα φυτά παρουσιάζουν αυξημένη ανταγωνιστικότητα έναντι των ζιζανίων και τη διατηρούν σε όλα τα επόμενα στάδια. Το στάδιο της διαφοροποίησης εμφανίζεται περίπου 30 ημέρες μετά την εμφάνιση του φυτού και μέχρι την ολοκλήρωσή του το φυτό έχει διανύσει το 1/3 περίπου του συνολικού χρόνου που απαιτείται από τη φύτευση μέχρι τη φυσιολογική ωριμότητα.

Στάδιο 5. Στάδιο εμφάνισης του τελευταίου φύλλου στον κορυφαίο σπόνδυλο.

Στο στάδιο αυτό, με εξαίρεση τα κορυφαία 3 – 4 φύλλα, έχουν πλήρως σχηματιστεί τα φύλλα και η φυλλική επιφάνεια αντιπροσωπεύει το 80 % της δυνητικής. Τα χαμηλότερα 2 – 5 φύλλα έχουν αποκοπεί και η οποιαδήποτε προσπάθεια καταμέτρησης του αριθμού φύλλων πρέπει να γίνεται από την κορυφή του φυτού μετρώντας από το κορυφαίο ελεύθερο φύλλο ως το πρώτο φύλλο.

Στάδιο 6. Στάδιο περιάνθιου. Στο στάδιο αυτό έχουν πλήρως σχηματιστεί όλα τα φύλλα παρέχοντας τη μέγιστη δυνατή φωτοσυνθετική επιφάνεια διαθέσιμη για την εκμετάλλευση του ηλιακού φωτός.



Εικόνα 1.8. Σόργο στο στάδιο περιανθίου (Vanderlip 1993).

Το κεφάλιο είναι πλήρες σε μέγεθος (δηλ. το δυνητικό του μέγεθος έχει πλήρως καθοριστεί) και περικλείεται εντός του θηκοειδούς κολεού του ανώτερου ελεύθερου φύλλου. Οι ταχείς ρυθμοί πρόσληψης θρεπτικών συνεχίζονται. Υδατική καταπόνηση ή

βλάβες από ζιζανιοκτόνα μπορεί να καθυστερήσουν την εμφάνιση του κεφαλίου εκτός του θηκοειδούς κολεού και κατ' επέκταση εμποδίζουν την επικονίαση στο στάδιο της άνθησης.

Στάδιο 7. Στάδιο ημι – άνθησης. Το στάδιο καθορίζεται έμμεσα ως εκείνο κατά το οποίο τα μισά φυτά μίας καλλιέργειας σόργου έχουν κατά κάποιο τρόπο αναπτύξει τις ανθικές τους δομές (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9. Σόργο στο στάδιο ημι - άνθησης (Vanderlip 1993).

Τα άνθη εμφανίζονται διαδοχικά από την κορυφή του κεφαλίου προς τη βάση σε χρονική περίοδο 4 – 9 ημερών. Στο στάδιο αυτό το μισό από το ξηρό (τελικό) βάρος του φυτού έχει επιτευχθεί. Το στάδιο αυτό διαρκεί τα 2/3 του χρόνου που μεσολαβεί από τη σπορά ως το στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας. Έντονη υδατική καταπόνηση μπορεί να οδηγήσει σε ελλιπή σχηματισμό ανθέων. Πάντως, υπό ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες, το σόργο μπορεί να αντισταθμίσει το μικρό μέγεθος του φυτού, τη μικρή φυλλική επιφάνεια, ή το μικρό πληθυσμιακό μέγεθος, με την αύξηση του αριθμού σπόρων ανά κεφάλιο ή του βάρους των σπόρων.

Στάδιο 8. Στάδιο της μαλακής ζύμης. Στο στάδιο αρχίζει η καρπόδεση και η σύσταση του σπόρου μοιάζει με ζύμη.



Εικόνα 1.10. Στάδιο της σκληρής ζύμης (Vanderlip 1993).

Το μισό περίπου ξηρό βάρος του σπόρου συσσωρεύεται μεταξύ των σταδίων 7 (ημι-άνθησης) και 8 (της μαλακής ζύμης). Τα χαμηλότερα φύλλα εξακολουθούν να γερνούν με αποτέλεσμα στο φυτό να παραμένουν συνολικά 8 – 12 ενεργά φύλλα

Στάδιο 9. Στάδιο της σκληρής ζύμης. Στο στάδιο έχουν επιτευχθεί τα 3/4 του ξηρού βάρους του σπόρου. Η πρόσληψη θρεπτικών ουσιαστικά ολοκληρώνεται. Έντονη υδατική καταπόνηση που πριν ο σπόρος ωριμάσει φυσιολογικά μειώνει σημαντικά το βάρος του.

Στάδιο 10. Στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας. Στο στάδιο αυτό έχει επιτευχθεί το μέγιστο συνολικό βάρος του φυτού.



Εικόνα 1.11. Σόργο στο στάδιο της φυσιολογικής ωριμότητας (Vanderlip 1993).

Το στάδιο αυτό προσδιορίζεται από τα μαύρα στίγματα που παρατηρούνται στη βάση του καρπού. Η περιεχόμενη υγρασία του σπόρου στο στάδιο της φυσιολογικής

ωριμότητας εξαρτάται από τον τύπο του υβριδίου και μπορεί να φτάσει τα 25-30 % του συνολικού βάρους του σπόρου. Ο τύπος του υβριδίου και οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν το χρόνο μεταξύ του σταδίου της φυσιολογικής ωριμότητας και της συγκομιδής.

Ειδικότερα για το γλυκό σόργο (*Sorghum bicolor* var. *sweet*) ο Woods (2003) διακρίνει τα παρακάτω 4 επιμέρους αυξητικά στάδια:

A. Στάδιο αρτιφύτων. Αναφέρεται στο χρονικό στάδιο μεταξύ της φύτευσης και του σχηματισμού των οφθαλμών. Κατά τη διάρκεια της φύτευσης των σπόρων πρέπει να υπάρχει επαρκής υγρασία, οξυγόνο και ευνοϊκές θερμοκρασίες. Όταν το γλυκό σόργο σπέρνεται την άνοιξη, δηλ. κάτω από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, το αρτίφυτο εμφανίζεται μετά από 7 – 10 ημέρες ενώ όταν σπέρνεται κατά το θέρος, που οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες, εμφανίζεται μετά από 2 – 3 ημέρες. Πλάγιοι βλαστοί εμφανίζονται συνήθως μετά τη διέλευση των πρώτων 30 ημερών κάτω από τις μασχάλες των 3 – 5 πρώτων φύλλων. Γενικά οι ποικιλίες του γλυκού σόργου παράγουν μεγαλύτερο αριθμό βλαστών έναντι των ποικιλιών του σποροπαραγωγικού σόργου. Συγκεκριμένα η ποικιλία Brandes παράγει το μεγαλύτερο αριθμό βλαστών (4 - 7) έναντι των άλλων ποικιλιών γλυκού σόργου. Γενικά οι ποικιλίες με μεγάλη δυνατότητα έκπτυξης πλάγιων βλαστών θεωρούνται ως κτηνοτροφικές ποικιλίες καθώς βοσκούνται. Πάντως οι πολλοί πλάγιοι βλαστοί θα πρέπει να αποκόπτονται για να ευνοηθεί η ανάπτυξη του κύριου βλαστού. Αν το γλυκό σόργο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για την παραγωγή ζάχαρης ή κρασιού αφήνονται 1 – 2 βλαστοί και οι υπόλοιποι αποκόπτονται. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως κτηνοτροφικό φυτό ο σχηματισμός πλάγιων βλαστών αφήνεται να λάβει χώρα καθώς είναι το επιθυμητό παραγωγικό χαρακτηριστικό. Στο στάδιο των αρτιφύτων το γλυκό σόργο αναπτύσσεται με βραδείς ρυθμούς και οι απαιτήσεις του σε νερό και θρεπτικά (λίπανση) είναι αυξημένες. Για παράδειγμα, η εφαρμογή οργανικού λιπάσματος (κοπριάς) πριν τη σπορά δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για το νεαρό φυτό. Επίσης, μέριμνα θα πρέπει να ληφθεί για την αντιμετώπιση του ανταγωνισμού από ζιζάνια.

B. Στάδιο επιμήκυνσης. Περίπου 47 – 55 ημέρες (αναλόγως της ποικιλίας) μετά την εμφάνιση του αρτιφύτου τα φυτά εισέρχονται στο στάδιο της επιμήκυνσης κατά το οποίο παρατηρείται σημαντική και ταχεία αύξηση της φυλλικής επιφάνειας και του

ύψους του φυτού. Στις πρώιμες ποικιλίες όπως η Italian το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 30 ημέρες ενώ στις όψιμες όπως τη MN 1500 διαρκεί από 74 έως 90 ημέρες. Επίσης η διαφοροποίηση του αρτιφύτου γίνεται νωρίτερα στις πρώιμες παρά στις όψιμες ποικιλίες. Γενικά όσο πιο πολύ διαρκεί το στάδιο αυτό τόσο πιο ψηλό και παραγωγικό γίνεται το φυτό. Το στάδιο αυτό απαιτεί αποτελεσματικές καλλιεργητικές πρακτικές καθώς είναι πολύ κρίσιμο για τη συνολική πορεία της αύξησης του φυτού με άμεσο αντίκτυπο στην τελική παραγωγή σπόρου και ταξιανθιών. Το τέλος του σταδίου σηματοδοτείται με την ανάπτυξη της φόβης.

Γ. Στάδιο άνθησης. Με την εμφάνιση του τελευταίου ελεύθερου (κορυφαίου) φύλλου αρχίζει η ανάπτυξη της φόβης και μετά από την πάροδο 2 – 5 ημερών το φυτό εισέρχεται στο στάδιο της άνθησης. Τα άνθη εμφανίζονται βαθμιαία από την κορυφή προς τη βάση και από το εξωτερικό προς το εσωτερικό τμήμα της φόβης. Το ανοιγοκλείσιμο των πετάλων των ανθέων διαρκεί μία ώρα. Το γλυκό σόργο είναι ένα ετερο – γονιμοποιούμενο είδος. Επομένως κατά τις προσπάθειες γενετικής βελτίωσης και παραγωγής βελτιωμένων ποικιλιών τα άνθη των ποικιλιών θα πρέπει να απομονωθούν για την αποφυγή αλλοίωσης του γενετικού υλικού. Κατά την άνθηση απαιτούνται επαρκείς ποσότητες νερού ιδιαίτερα για τις όψιμες ποικιλίες που ανθίζουν σε ζεστές και ξηρές καλοκαιρινές ημέρες.

Δ. Στάδιο «γάλακτος» και ωρίμανσης. Το στάδιο αυτό διακρίνεται σε τρία επιμέρους στάδια: **(α) γάλακτος**. Μετά την ολοκλήρωση της επικονίασης, τμήμα των θρεπτικών αποθηκεύεται στον ανθικό μίσχο και το υπόλοιπο μεταφέρεται στο σπόρο, αυξάνοντας σταδιακά το βάρος του. Το επιμέρους αυτό στάδιο πήρε την ονομασία του από την έκκριση γαλακτώδους παχύρευστου λευκού υγρού που παρατηρείται όταν ο σπόρος συνθλιβεί γεγονός που οφείλεται στην έκκριση του ενδοσπερμίου το οποίο περιβάλλει το έμβρυο. **(β) κηρού**. Βαθμιαία, η περιεχόμενη υγρασία του σπόρου μειώνεται, το περίβλημα του σπόρου σκληραίνει και το βάρος του σπόρου μειώνεται. Όταν ο σπόρος συνθλιβεί, δεν εξέρχεται λευκό υγρό αλλά παχύρευστη κηρώδης πάστα. **(γ) στάδιο ωριμότητας**. Ο σπόρος γίνεται εντελώς ξηρός και σκληρός, η συσσώρευση ξηρής ύλης αυξάνει στο μέγιστο και ο σπόρος παρουσιάζει το τυπικό χρώμα και ποιότητα της ποικιλίας. Από την άνθηση στην ωρίμανση απαιτούνται (αναλόγως της ποικιλίας) περίπου 30 ημέρες.

1.5 Μορφολογικά χαρακτηριστικά σόργου

1.5.1 Φύλλα

Μόλις βλαστήσουν τα σπέρματα του φυτού αναπτύσσονται τα πρώτα φύλλα. Αυτά αρχίζουν να φωτοσυνθέτουν και να στηρίζουν πλέον ενεργειακά το φυτό. Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του σόργου, η ενέργεια που παράγεται από την φωτοσύνθεση των πρώιμων φύλλων αποσκοπεί στην σύνθεση νέων φύλλων. Ο σχηματισμός της κορυφής των φύλλων δίνει την αρχή για τον σχηματισμό τους άνθους (Sharman, 1945, Bunting και Derrnan, 1966). Η εμφάνιση των φύλλων σχετίζεται με την θερμοκρασία, ιδιαίτερα με εκείνη των επιφανειακών στρωμάτων του εδάφους. Η θερμοκρασία ελέγχει τον ρυθμό ξεδιπλώματος των φύλλων από τον βλαστό. Έχει αποδειχτεί ότι ο ρυθμός επέκτασης των φύλλων μειώνεται με το ξεδίπλωμα, κάτι το οποίο καθορίζει τον ρυθμό αύξησης της φωτοσυνθετικής φυλλικής επιφάνειας. Τα φύλλα του σόργου ποικίλουν σε αριθμό από 7 έως 18 ανά φυτό. Το κάθε φύλλο προσθέτει 3 – 4 ημέρες στην περίοδο της ανάπτυξης. Τα φύλλα μοιάζουν με του αραβόσιτου αλλά φέρουν οδοντώσεις στις παρυφές του ελάσματος και είναι μικρότερα κατά 50 – 60%. Τα φύλλα έχουν χαρακτηριστικά που φανερώνουν αντοχή στην ξηρασία. Συγκεκριμένα φέρουν εφυμενίδα με κηρώδες ουσίες και πολλά μηχανικά κύτταρα στην άνω επιδερμίδα που προσδίδουν ικανότητα συστροφής του ελάσματος σε περιόδους ξηρασίας και μειώνουν έτσι τις απώλειες νερού. Επίσης μπορεί να φέρουν τρίχωμα το οποίο προσδίδει αντοχή σε ορισμένους εχθρούς. Το μεσόφυλλο έχει την «πανικοειδή» μορφολογία τύπου C4. Το γήρας των φύλλων περιλαμβάνει την μείωση στην φωτοσυνθετική δραστηριότητα και την κινητοποίηση έκκριση οργανικού αζώτου στα φύλλα. Ο ρυθμός θανάτου των φύλλων εξαρτάται από την συνολική θερμοκρασία αλλά μπορεί να επηρεαστεί από την σκίαση, την έλλειψη θρεπτικών στοιχείων ή την ξηρασία, τον παγετό και τις φυτικές ασθένειες.



Εικόνα 1.12. Φύλλα Σόργου.

1.5.2 Βλαστός

Είναι κατακόρυφος, με ύψος από 4 έως 5 m στο γλυκό σόργου. Το ύψος κάθε φυτού καθορίζεται ανάλογα με το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων. Ο βλαστός περιέχει την εντεριόνη που είναι χυμώδης και υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρα. Στο κεντρικό στέλεχος του φυτού αναπτύσσονται 7 – 18 κόμβοι ή και περισσότεροι, με οφθαλμούς κατ' εναλλαγή. Από τους οφθαλμούς της βάσης του φυτού δημιουργούνται οι πλάγιοι βλαστοί και τα αδέρφια, όπως ονομάζονται, που αναπτύσσονται με ανεξάρτητο ριζικό σύστημα. Ο αριθμός των αδελφών εξαρτάται από την ποικιλία του φυτού αλλά και από το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται. Όταν οι θερμοκρασίες που επικρατούν είναι χαμηλές, το αδελφωμα ευνοείται. Οι βλαστοί των εύκρατων καλλιεργειών συμπιέζουν ή δεν συμπιέζουν τους κόμβους (χωρίς να επιτυγχάνεται η επιμήκυνση αυτών), οι οποίοι μέχρι την επιμήκυνση μετά την άνθηση, βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά την άνθηση, τέσσερις με πέντε από τους κόμβους της κορυφής επιμηκώνονται και αραιώνονται κάθετα προς τα φύλλα της κορυφής. Ένας μικρός αριθμός μεσογονατίων διαστημάτων παραμένει κοντά και περιορισμένος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (αναφέρονται ως «κορώνα»). Μερικά διαστήματα παραμένουν χωρίς έκφυση μέχρι την άνθηση. Απ' την άλλη στα τροπικά κλίματα μπορεί να παραχθούν

βλαστάρια τα οποία αναπτύσσονται χωρίς ν' ανθίζουν. Τρεις τύποι βλαστών περιγράφηκαν από τον Arber:

- **Ανοδικός ή απογεωτροπικός.** Αυτοί οι βλαστοί είναι παρόμοιοι με την εμφάνιση του αρχικού βλαστού αλλά έχουν 1 ή 2 λιγότερα φύλλα που συνήθως παραμένουν σε πρώιμο στάδιο ακόμα και για τον αρχικό βλαστό αλλά και για τα αδέρφια που αναπαράγονται. Αυτοί οι εσωτερικοί βλαστοί εμφανίζονται από τους ζωντανούς κολεούς των φύλλων.
- **Οριζόντιος ή διαγεωτροπικός.** Σ' αυτό τον τύπο ανήκουν τα ριζώματα. Οι διαφορές τους απ' τον ανοδικό είναι κυρίως μορφολογικές λεπτομέρειες. Γενικότερα τα ριζώματα εμφανίζονται από τους νεκρούς κολεούς και από τους πιο κοντινούς στη βάση κόμβους. Μεγαλώνουν οριζοντίως πάνω από το έδαφος και παράγουν φυσιολογικούς κολεούς και φύλλα. Τα ριζώματα μεγαλώνουν κάτω από το έδαφος και παράγουν μεταλασσόμενα φύλλα χωρίς πέταλα (καταφυλλάδες) ενώ έχουν φυσιολογικούς κολεούς, κόμβους και μεσογονάτια διαστήματα.
- **Καθοδικός ή γεωτροπικός.** Αυτοί οι τύποι κολεών δεν είναι συνηθισμένοι να εμφανίζονται.



Εικόνα 1.13. Βλαστοί Σόργου.

1.5.3 Ριζικό σύστημα

Αποτελείται από μια δευτερογενή εμβρυακή ρίζα με κατακόρυφη διεύθυνση και πολλές πλευρικές ρίζες κατά μήκος. Οι ρίζες του είναι μόνιμες και εναέριες. Το βάθος

του ενεργού ριζοστρώματος κυμαίνεται από 0,3 – 0,6 m ενώ είναι πιθανό σε πλήρως ανεπτυγμένα φυτά να φτάσει και τα 2,7 m. Έχει λεπτότερες και πιο ινώδεις ρίζες από τον αραβόσιτο ενώ οι μόνιμες ρίζες του κατά μονάδα μήκους και οι δευτερογενούς εμβρυακής μορφής είναι διπλάσιες του αραβόσιτου. Αυτό επιτρέπει στο σόργο να έχει μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού. Αυτό αποτελεί ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα του σόργου έναντι του αραβόσιτου αν ληφθεί υπ' όψιν ότι η φυλλική επιφάνεια του σόργου είναι μισή από εκείνη του αραβόσιτου (Weaver, 1926).

1.5.4 Καρπός

Έχει μήκος από 8 μέχρι 35 mm. Το βάρος 1000 καρπών είναι 20 – 40 gr. αναλόγως της ποικιλίας. Ο καρπός περιβάλλεται από δυο λέπυρα που αποχωρίζονται στην κορυφή και αποκαλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα του. Τα λέπυρα απομακρύνονται δύσκολα στο γλυκό σόργο. Οι καρποί έχουν χρώμα κόκκινο, λευκό, κίτρινο ή καφέ. Οι χρωστικές βρίσκονται στο περικάρπιο ή την testa. Το σκοτεινό χρώμα δηλώνει ύπαρξη τανίνης που μειώνει την πεπτικότητα του καρπού. Το ενδοσπέρμιο αποτελείται από άμυλο (22 – 24% αμυλόζη και 75 – 78% αμυλοπηκτίνης). Το κίτρινο ενδοσπέρμιο δηλώνει μεγάλη περιεκτικότητα σε καροτίνη συνεπώς μεγάλη θρεπτική αξία. Ο σπόρος απαιτεί θερμοκρασίες 7 – 10 °C για να βλαστήσει και τα ανεπτυγμένα φυτά δίνουν την μέγιστη απόδοση σε μέσες θερμοκρασίες, όπως 27 – 29 °C.

1.5.5 Άνθος

Η ταξιανθία είναι φόβη, συμπαγής ή αραιή, ποικίλου μεγέθους. Η ταξικαρπία περιλαμβάνει 800 – 3000 κόκκους που είναι συνήθως μικρότεροι από εκείνους του σιταριού. Ο κεντρικός άξονας φέρει πλάγιους βραχίονες πάνω στους οποίους βρίσκονται τα σταχύδια κατά ζεύγη, ένα άμισχο (γόνιμο) κι ένα έμισχο (άγονο). Το γόνιμο περιέχει 2 άνθη, ένα γόνιμο (το άνω) κι ένα στείρο (το κάτω). Το γόνιμο άνθος αποτελείται από 3 στήμονες, μια ωοθήκη με δύο στύλους που καταλήγουν σε περοειδή στίγματα και δυο γλωχίνες στην βάση της ωοθήκης. Το σταχύδιο περικλείεται από δυο δερματοειδή λέπυρα. Το γόνιμο άνθος έχει έναν στενό χιτώνα με βραχύ συνήθως άγανο και μια μικρή λεπίδα. Και τα δυο λεπυρίδια είναι συνήθως

διαφανή. Το στείρο άνθος συνήθως αντιπροσωπεύεται μόνο από το χιτώνα επειδή έχουν εκφυλιστεί όλα τα άλλα μέρη του. Συνήθως υπάρχουν 1000 – 5000 γόνιμα άνθη ανά φυτό. Όταν η ταξιανθία είναι βαριά και συμπαγής η τάση της προς την έξοδο από του κολεού, που συνήθως είναι στενή, προκαλεί την παραμόρφωση του κολεού. Άρα με την ύπαρξη του σκληρού μίσχου συνεπάγεται η ύπαρξη κατακόρυφης ταξιανθίας. Αυτό είναι προτιμότερο από τους επιμήκεις κολεούς που δυσκολεύουν την μηχανική συγκομιδή του σόργου. Ο χρόνος συγκομιδής του σόργου κυμαίνεται μεταξύ 8 με 10 εβδομάδες.



Εικόνα 1.14. Ταξιανθία Σόργου.

1.6 Προσαρμοστικότητα σόργου

1.6.1 Θερμοκρασία

Παρά την αρχική του προέλευση από τους τροπικούς τόπους το σόργο μπορεί να καλλιεργείται σήμερα και στις εύκρατες ζώνες με τις κατάλληλες ποικιλίες και υβρίδια. Η καλλιέργειά του στους τροπικούς τόπους μπορεί να γίνεται όλο τον χρόνο αλλά καθορίζεται κυρίως από τις βροχοπτώσεις ενώ στις εύκρατες ζώνες καθορίζεται από τη θερμοκρασία και περιορίζεται κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι.

1.6.2 Υγρασία εδάφους

Το σόργο θεωρείται ως ένα από τα ανθεκτικότερα και παραγωγικότερα φυτά ακόμη και σε ημίξηρες περιοχές με ελάχιστο ετήσιο ύψος βροχής 350 – 400 mm. Η καλλιέργειά του είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές όπου η υψηλή θερμοκρασία και η ξηρασία είναι απαγορευτικές για την καλλιέργεια του αραβοσίτου. Λόγω της αντοχής του στην ξηρασία ο Arnon (1972) το αποκαλεί «**καμήλα του φυτικού βασιλείου**». Η μεγάλη αντοχή του σόργου στην ξηρασία οφείλεται σε πολλούς παράγοντες:

- Το πολύ ανεπτυγμένο ριζικό του σύστημα σε σχέση με το υπέργειο τμήμα.
- Τα στόματα κλείνουν σε τιμές του υδατικού δυναμικού των φύλλων αρνητικότερες από άλλα φυτά, γεγονός που επιτρέπει στα φυτά να φωτοσυνθέτουν ακόμη και όταν το νερό είναι πολύ περιορισμένο.
- Σε μορφολογικά χαρακτηριστικά των φύλλων που μειώνουν τις απώλειες νερού (παχιά εφυμενίδα με κηρώδες υδρόφοβο επίχρισμα και μηχανικά κύτταρα που προκαλούν τύλιγμα των φύλλων για μείωση της διαπνοής).
- Το οσμωτικό δυναμικό του κυτταρικού χυμού είναι πολύ αρνητικό και επιτρέπει απορρόφηση νερού και σε περιόδους έντονης εδαφικής ξηρασίας. Επίσης διαθέτει μηχανισμούς μείωσης του οσμωτικού δυναμικού σε περιόδους που το νερό είναι περιορισμένο (ωσμωρυθμιστική ικανότητα).

Ελάχιστη προϋπόθεση για να αποδώσει το σόργο επαρκώς υπό ξηρικές συνθήκες είναι η επάρκεια υγρασίας μέχρι ένα βάθος περίπου 100 cm κατά τη σπορά. Εάν η υγρασία είναι επαρκής μέχρι τα 150 cm υπάρχουν δυνατότητες για αξιόλογη παραγωγή, ενώ αν ξεπερνά τα 150 cm πρέπει να αναμένονται υψηλές αποδόσεις. Εκτός από την αντοχή του στην ξηρασία, το σόργο αντέχει και στην περίσσεια νερού περισσότερο από τον αραβόσιτο (Doggett & Jowett, 1966), αλλά υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των γονοτύπων.

1.6.3 Έδαφος

Δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις. Αποδίδει εξίσου καλά σε αργιλώδη, πηλώδη, αμμώδη, οργανικά, κ.ά. εδάφη. Ευδοκμεί σε μεγάλο εύρος pH (5.5 – 8.5). Το σόργο συμπεριλαμβάνεται στα σχετικά ανθεκτικά στην αλατότητα φυτά. Λόγω των απαιτήσεών του σε θερμοκρασία και φωτοπερίοδο η καλλιέργεια του σόργου δεν επεκτείνεται σε γεωγραφικά πλάτη μεγαλύτερα των 40°.

1.6.4 Αμειψισπορά

Το σόργο μπορεί να ακολουθήσει οποιοδήποτε φυτό. Συνήθως προηγούνται χειμερινά σιτηρά και ψυχανθή. Έχει παρατηρηθεί ότι σανοδοτικό ψυχανθές έχει πιο ευεργετικά αποτελέσματα από καρποδοτικό σιτηρό στο σόργο επειδή εξοικονομείται εδαφική υγρασία τουλάχιστο κατά 30 – 50 % και το έδαφος έχει υψηλότερο επίπεδο γονιμότητας. Τα ψυχανθή, ιδίως τα σανοδοτικά, αποτελούν άριστο προηγούμενο για το σόργο αυξάνοντας σημαντικά την απόδοσή του μέσω του αζώτου που προσφέρουν. Εναλλαγή σόργου με σόγια για τέσσερα χρόνια αύξησε τις αποδόσεις του σόργου κατά 190 kg/στρ. συγκριτικά με τετραετή μονοκαλλιέργεια σόργου. Επίσης σε ξηρές περιοχές, μπορεί το σόργο να αποδώσει ικανοποιητικά μετά από αγρανάπαυση. Με βάση αυτά παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα αμειψισπορών όπου θα μπορούσε να συμπεριληφθεί το σόργο:

- σανοδοτικό ψυχανθές – σόργο – αραβόσιτος
- χειμερινό σιτηρό – σόργο – χειμερινό ψυχανθές
- σανοδοτικό ψυχανθές – σόργο – χειμερινό σιτηρό (με προσθήκη αζώτου στη βασική λίπανση).

1.6.5 Σπορά

Από πειράματα έχει βρεθεί ότι μεγάλες αποστάσεις μεταξύ φυτών στη γραμμή προκαλούν μεγάλη βλαστητική ανάπτυξη και πρόωρη εξάντληση της εδαφικής υγρασίας με δυσμενείς επιπτώσεις στις αποδόσεις. Αντίθετα, μικρές αποστάσεις στη γραμμή και μεγαλύτερες μεταξύ των γραμμών έχουν ευεργετικές επιδράσεις. Ο ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών στη γραμμή καθυστερεί την έντονη βλαστητική τους ανάπτυξη και οι ρίζες τους αναπτύσσονται πλάγια σε ανεκμετάλλευτο έδαφος όπου υπάρχει διαθέσιμη εδαφική υγρασία. Έτσι, οι αποδόσεις είναι αυξημένες και η ωρίμανση πιο ομοιόμορφη. Οι αποστάσεις μεταξύ των γραμμών υπό ξηρικές συνθήκες σε ξηρές περιοχές πρέπει να είναι 100 – 110 cm, σε ποτιστικά εδάφη ή υγρές περιοχές 40 – 50 cm ενώ μπορούν να φθάσουν και τα 35 cm υπό πολύ ευνοϊκές συνθήκες. Οι αποστάσεις στη γραμμή καθορίζονται από τον τρόπο ανάπτυξης της ποικιλίας, την ικανότητά της για αδελφωμα, και τις συνθήκες υγρασίας. Γενικά, ο άριστος πληθυσμός υπό ξηρικές συνθήκες πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 5000 – 6500 φυτών/στρ. ενώ υπό ποτιστικές μεταξύ 10.000 – 20.000 φυτών/στρ.. Οπωσδήποτε, το σόργο έχει με το αδελφωμα ικανότητα ρύθμισης της πυκνότητας της φυτείας, αλλά υπό ποτιστικές συνθήκες βρέθηκε ως ελάχιστη πυκνότητα τα 10.000 φυτά και ως μέγιστη τα 50.000 φυτά/στρ.. Σε υψηλές πυκνότητες τα φυτά παρουσιάζουν τάση πλαγιάσματος. Το σόργο στις εύκρατες περιοχές σπέρνεται την άνοιξη, ενώ στις τροπικές όλο τον χρόνο, ανάλογα με την περίοδο των βροχοπτώσεων. Συνιστάται η προτιμότερη δυνατή σπορά για έντονη πρώτη ανάπτυξη, καλύτερη εκμετάλλευση της εδαφικής υγρασίας και μείωση των απωλειών νερού από την επιφάνεια του εδάφους καθώς και αποφυγή βλαβών από υψηλές θερμοκρασίες κατά την άνθηση. Η ιδανική περίοδος για την Ελλάδα θεωρείται από τα μέσα Μαΐου έως και αρχές Ιουνίου. Η σπορά πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία του εδάφους έχει σταθεροποιηθεί στους 16 °C.

Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες επέρχεται καθυστέρηση του φυτρώματος και έκθεση των φυταρίων σε κινδύνους προσβολών από εχθρούς και παθογόνα. Η ταχύτερη ανάπτυξη (σε 5 ημ.) επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία εδάφους κυμαίνεται από 18 – 21 °C. Η σπορά γίνεται κυρίως μηχανικά με σπαρτικές μικρών σιτηρών ή βαμβακιού και αραβοσίτου. Εάν το έδαφος έχει αρκετή υγρασία, η σπορά γίνεται χωρίς

πρόβλημα με οποιονδήποτε από τους δύο τύπους σπαρτικών μηχανών που προαναφέρθηκαν. Οι σπαρτικές βαμβακιού και αραβοσίτου (μηχανικές ή πνευματικές) επιτρέπουν ακριβή έλεγχο της ποσότητας του σπόρου, περισσότερο ομοιόμορφο βάθος σποράς και καλύτερη συμπίεση του εδάφους, οπότε βελτιώνονται και οι συνθήκες υγρασίας στη σποροκλίνη. Εάν το έδαφος είναι πολύ ξηρό θα πρέπει οι σπαρτικές να εφοδιάζονται με αυλακωτήρες που απομακρύνουν το επιφανειακό ξηρό έδαφος και σπέρνουν στον πυθμένα των αυλακιών όπου η υγρασία είναι οπωσδήποτε υψηλότερη. Εάν είναι δύσκολη η προσθήκη αυλακωτήρων στη σπαρτική, συνιστάται να προηγηθεί το αυλάκωμα του αγρού και να ακολουθήσει η σπορά μέσα στα αυλάκια. Η συγκομιδή γίνεται με θεριζοαλωνιστικές μηχανές μικρών σιτηρών.

1.6.6 Λίπανση

Σε ξηρικές συνθήκες το σόργο σπάνια αντιδρά στην προσθήκη θρεπτικών στοιχείων υπό οποιαδήποτε μορφή. Εφαρμογή λιπασμάτων ή κόπρου έχει προσωρινή επίδραση στα πρώτα στάδια ανάπτυξης όταν το επιφανειακό στρώμα εδάφους είναι ακόμα υγρό. Η ξήρανση του επιφανειακού στρώματος ουσιαστικά αδρανοποιεί τα θρεπτικά στοιχεία. Αντίθετα, σε αρδευόμενες καλλιέργειες το σόργο αντιδρά στη λίπανση, αλλά λιγότερο εντυπωσιακά από τον αραβόσιτο στις ίδιες συνθήκες. Αυτό πιθανόν συμβαίνει λόγω της μικρότερης βλαστητικής του ανάπτυξης και του περισσότερο εκτεταμένου ριζικού του συστήματος. Το σόργο αντιδρά θετικά στην προσθήκη αζώτου δεδομένου ότι εξαντλεί εδάφη (ακόμη και υψηλής γονιμότητας) μέσα σε 3 – 5 χρόνια συνεχούς καλλιέργειας.

Το άζωτο αυξάνει την παραγωγή ξηρής ουσίας και την περιεκτικότητα των φυτών σε αζωτούχες ουσίες, την παραγωγή καρπού και τον συντελεστή εκμετάλλευσης νερού. επειδή η παραγωγή καρπού αυξάνεται αναλογικά περισσότερο από τη διαπνοή. Επίσης, επάρκεια αζώτου αυξάνει την πρωίμιση. Η αντίδραση σε άζωτο εξαρτάται από το πρόγραμμα αρδεύσεων. Αν έχει γίνει προσπαρτική άρδευση ή το έδαφος είναι υγρό κατά τη σπορά, τότε το φυτό αντιδρά στο άζωτο που χορηγείται με τη βασική λίπανση και όχι με τις μεταγενέστερες λιπάνσεις. Αντίθετα, όταν η υγρασία είναι συνεχής σε όλη την ανάπτυξη, το σόργο αντιδρά στην προσθήκη του αζώτου μέχρι τα

13 kg/στρ. Γενικά οι δόσεις του αζώτου πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 6 – 22 kg/στρ. ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας. Στις περιπτώσεις που χορηγούνται 2 δόσεις η δεύτερη τοποθετείται όταν τα φυτά έχουν ύψος 50 – 70 cm. Σε περίσσεια ασβεστίου, αναπτύσσεται χλώρωση λόγω έλλειψης σιδήρου. Αναστέλλεται με ψεκασμό διαλύματος FeSO_4 4 % ή χηλικών ενώσεων του σιδήρου. Συνήθως δεν προκαλούν σημαντική αύξηση της παραγωγής. Όπου παρίσταται ανάγκη συνιστώνται 4,5 – 10 kg P_2O_5 και K_2O .

1.6.7 Ζιζανιοκτονία

Το σόργο είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στον ανταγωνισμό των ζιζανίων τα οποία μπορούν να μειώσουν την παραγωγή κατά 8 – 41 %. Αυτό συμβαίνει λόγω της βραδείας πρώτης του ανάπτυξης. Επομένως για τους λόγους που προαναφέρθηκαν και στον αραβόσιτο τα σκαλίσματα πρέπει να γίνονται όταν τα ζιζάνια είναι μικρά. Τα σκαλίσματα πρέπει να είναι επιφανειακά για να μη βλάπτονται οι ρίζες.

1.6.8 Άρδευση

Συνιστάται μία πλήρης άρδευση πριν από τη σπορά με στόχο τον κορεσμό του εδάφους μέχρι το βάθος των 200 cm. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την άρδευση αυτή είναι πολλά: καλή εγκατάσταση των φυτών και δημιουργία εκτεταμένου ριζικού συστήματος, εύκολο φύτερωμα λόγω επάρκειας νερού και έλλειψης εδαφικής κρούστας, έδαφος καθαρό από ζιζάνια, αφού της σποράς προηγείται η τελευταία κατεργασία του εδάφους. Ανάλογα με την επάρκεια νερού άρδευσης ακολουθούνται δύο εναλλακτικές λύσεις. Εάν το νερό είναι περιορισμένο εκτός από την προσπαρτική άρδευση δίνονται 1 – 2 ακόμη αρδεύσεις από τις οποίες η μία οπωσδήποτε λίγο πριν από την εμφάνιση της ταξιανθίας και η δεύτερη στα πρώτα στάδια γειμίσματος των καρπών. Δεν συνιστάται άρδευση στο πρώτο στάδιο ανάπτυξης επειδή και περιττή είναι (η προσπαρτική εξακολουθεί να επιδρά θετικά) και ζημιογόνος (προάγεται η βλαστητική ανάπτυξη και εξαντλείται ταχύτερα το νερό ενώ παράλληλα το ριζικό σύστημα δεν εκτείνεται σε βάθος). Εάν υπάρχει επάρκεια νερού εκτός από την προσπαρτική συνιστώνται ακόμη 3 – 4 αρδεύσεις. Η πρώτη

δίνεται 35 – 40 ημ. από το φύτευμα η τρίτη λίγο πριν από την εμφάνιση των ταξιανθιών και η τέταρτη περίπου 10 ημ. αργότερα. Η συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για υψηλές αποδόσεις κυμαίνεται από 400 mm σε κανονικές συνθήκες μέχρι 600 mm σε πολύ ξηρές περιόδους.

1.6.9 Ασθένειες

- **Τήξεις φυταρίων** (μύκητες των γενών *Aspergillus*, *Rhizoctonia*, *Penicillium*, *Pythium*, *Fusarium*). Είναι ιδιαίτερα έντονες σε χαμηλές θερμοκρασίες. Αντιμετωπίζονται με προστασία του σπόρου με διάφορα μυκητοκτόνα.
- **Σηψιριζία** (*Pythium arthenomanes*). Ο μύκητας προσβάλλει και άλλα αγροστόδη (ζαχαροκάλαμο, σιτάρι, αραβόσιτο). Προκαλεί νανισμό και θάνατο των φυτών. Μεταδίδεται με το νερό της άρδευσης κυρίως. Αντιμετωπίζεται με αμειψισπορές. Παράλληλα υπάρχουν και ανθεκτικές ποικιλίες.
- **Σήψεις στελέχους** (μύκητες *Colletotrichum* spp., *Macrophomina phaseoli*, *Giberella fujikuroi*). Προσβάλλουν στελέχη που παρουσιάζουν πρωτογενείς προσβολές από έντομα και άλλα αίτια. Προκαλούν πλάγιασμα και πρόωμη ωρίμανση. Αντιμετωπίζονται με ανθεκτικές ποικιλίες.
- **Ασθένειες φύλλων. Ελμινθοσπορίωση** (*Helminthosporium turcicum*), **Κηλίδωση των φύλλων** (*Phoma insidiosa*), **Σκωρίαση** (*Puccinia purpurea*). Όλες αντιμετωπίζονται με αμειψισπορές, καταστροφή των υπολειμμάτων της καλλιέργειας και απολυμάνσεις των σπόρων.



Εικόνα 1.15. Σκωρίαση (*Puccinia purpurea*) σε φύλλα σόργου (<http://www.infonet-biovision.org/...>).

- **Επενδεδυμένος άνθρακας** (*Sphacelotheca sorghi*). Στη θέση των καρπών υπάρχουν σωροί από σπόρια του μύκητα που περιβάλλονται από λεπτή μεμβράνη μέχρι περίπου τον θερισμό.
- **Ημικαλυμμένος άνθρακας** (*S. cruenta*). Η λεπτή μεμβράνη σπάζει όταν οι σωροί φθάσουν τον μέγιστο όγκο τους, οπότε η ταξιανθία γίνεται άμορφη.
- **Γυμνός άνθρακας** (*S. reiliana*). Η ταξιανθία μεταβάλλεται σε μαύρη μάζα από πολύ νωρίς. Αντιμετωπίζονται με απολύμανση του σπόρου με μυκητοκτόνα, ανθεκτικές ποικιλίες και καταστροφή των προσβεβλημένων ταξιανθιών.

1.6.10 Εχθροί

- **Διάφορα έντομα εδάφους**, όπως κολεόπτερα (*Tenebrionidae*, σιδηροσκώληκες (*Agriotes spp.*)), μυρμήγκια, κτλ.



Εικόνα 1.16. Έντομο (stinkbug ή clown beetle) που προσβάλλει το σόργο
([http://www.desertusa.com/...](http://www.desertusa.com/)).

- **Σεσάμια** (*Sesamia cretica*, *S. calamistis*). Οι κάμπιες προσβάλλουν το στέλεχος και παρεμποδίζουν την εμφάνιση των ταξιανθιών. Σε όψιμες προσβολές οι ταξιανθίες σπάζουν. Συνιστάται καταστροφή των προσβεβλημένων φυτειών. Η χημική καταπολέμηση είναι αρκετά δύσκολη, όπως και στον αραβόσιτο.

- **Πράσινο σκουλήκι** (*Heliothis zea*, *H. obsoleta*). Οι κάμπιες προσβάλλουν τα φύλλα ή τους αναπτυσσόμενους καρπούς. Αντιμετωπίζεται όπως και στον αραβόσιτο.
- **Μόγα του σόργου** (*Atherigona* spp.). Αποτελεί πρόβλημα ιδίως στη Μ. Ανατολή, Αφρική και Ινδία. Οι προνύμφες τρώνε τα φύλλα, διεισδύουν στο στέλεχος και καταστρέφουν το κορυφαίο μερίστωμα. Τα φυτά αδελφώνουν και παράγουν ατροφικές ταξιανθίες. Υπάρχουν ανθεκτικές ποικιλίες αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και διασυστηματικά εντομοκτόνα.
- **Πουλιά** που αποτελούν σοβαρότατο πρόβλημα (καταναλίσκουν περίπου 20 g σπόρου/ημ. το καθένα) και η αντιμετώπισή τους είναι εξαιρετικά δύσκολη (Καραμάνος 1999).

1.6.11 Σημασία του Σόργου για την Ελλάδα

Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα όσα γράψαμε για το σόργο είναι ότι το φυτό αυτό προσαρμόζεται σε περιβάλλοντα με καλοκαιρινή βροχόπτωση, τα οποία όμως έχουν ύψος βροχής μικρότερο απ' ό τι χρειάζεται το καλαμπόκι ή έχουν θερμοκρασία υψηλότερη απ' αυτή που είναι ευνοϊκή γι' αυτό. Στις περιοχές όπου η βροχόπτωση και η θερμοκρασία είναι ευνοϊκές για το καλαμπόκι, το σόργο δεν καλλιεργείται, γιατί το καλαμπόκι έχει μεγαλύτερο δυναμικό αποδόσεως. Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από βροχόπτωση που πέφτει κυρίως το φθινόπωρο και το χειμώνα. Επομένως τα χειμωνιάτικα σιτηρά βρίσκονται σε πλεονεκτικότερη θέση έναντι του σόργου, όταν αυτό δεν αρδεύεται. Σε χωράφια γόνιμα και με αφθονία νερού αρδεύσεως το καλαμπόκι πλεονεκτεί έναντι του σόργου, γιατί δίνει μεγαλύτερες αποδόσεις. Εκεί όμως που τα εδάφη είναι μετρίου γονιμότητας ή φτωχά και το αρδεύσιμο νερό περιορισμένο, πρώιμα και παραγωγικά υβρίδια σόργου θα μπορούσαν να συναγωνιστούν το καλαμπόκι, ιδίως το επίσπορο, που σπέρνεται και αναπτύσσεται στην πιο θερμή περίοδο του καλοκαιριού. Όπως είδαμε, η θερμοκρασία κατά το θέρος στην Ελλάδα, ενώ είναι οριακή για το καλαμπόκι, για το σόργο είναι ευνοϊκή. Εκτός αυτού, το σόργο παρουσιάζει το πλεονέκτημα να είναι ανθεκτικότερο στην ξηρασία, σε ορισμένα έντομα, στα άλατα και αλκάλια και να συγκομίζεται με τις

θεριζοαλωνιστικές που χρησιμοποιούνται για τη συγκομιδή του σιταριού. Θα μπορούσε λοιπόν να πει κανείς ότι το καλαμπόκι και το σόργο είναι δύο φυτά που το ένα συμπληρώνει το άλλο στην αξιοποίηση του περιβάλλοντος. Το πρώτο αξιοποιεί γόνιμα χωράφια και άφθονο νερό, ενώ το δεύτερο φτωχότερα χωράφια και περιορισμένη βροχή ή άρδευση. Για την ώρα το σόργο ελάχιστα καλλιεργείται στην Ελλάδα. Κατά το 1962 η καλλιέργειά του κατέλαβε μόνο 10.000 στρ. Για καρπό και 52.000 στρ. για σκούπες. Το σόργο για καρπό καλλιεργήθηκε κυρίως στο νομό Καρδίτσας, ενώ το σόργο για σκούπες στο νομό Έβρου. Πάντως, επειδή και στο σόργο έχει ήδη προχωρήσει πολύ η εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων της ετερώσεως με τη δημιουργία νάνων υβριδίων, φαίνεται πως το σόργο υπό άρδευση μπορεί να καλλιεργηθεί και στον τόπο μας με επιτυχία (Φασούλας και Φωτιάδης 1984).

Κεφάλαιο 2

Μέθοδοι άρδευσης

2.1 Γενικά

Η προσπάθεια για την επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη πολλών και ποικίλων μεθόδων άρδευσης. Μέθοδοι άρδευσης ονομάζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος. Οι μέθοδοι αυτοί εξαρτώνται από τις εδαφικές, κλιματικές και υδρολογικές συνθήκες, την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους, το είδος της καλλιέργειας, την ποιότητα του αρδευτικού νερού και γενικά από την γεωργοτεχνική ανάπτυξη στον τομέα των αρδεύσεων.

Για να είναι επιτυχής μια άρδευση πρέπει:

- Να εφοδιάζει το χωράφι με τόσο νερό ώστε η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος να φθάσει στην υδατοϊκανότητα, δηλαδή να εφοδιάσει το έδαφος με νερό ίσο με την ωφέλιμη υγρασία
- Να περιορίσει στο ελάχιστο τις επιφανειακές απώλειες από την επιφανειακή απορροή, ώστε η αποδοτικότητα εφαρμογής να φθάνει τη μονάδα (100%)
- Να εφαρμόζεται το νερό ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού επί όσο χρόνο χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε την βαθιά διήθηση (Σακελλαρίου 2003, Παπαζαφειρίου 1984, U.S.D.A. 1956).

Το σόργο είναι καλλιέργεια πολύ ανθεκτική στην ξηρασία. Αυτό οφείλεται τόσο στην φυσιολογία του όσο και σε κάποιους μηχανισμούς που διαθέτει. Συγκεκριμένα έχει

ευρύ ριζικό σύστημα που του επιτρέπει να εκμεταλλεύεται στο μέγιστο την εδαφική υγρασία, τα φύλλα και ο βλαστός του είναι προστατευμένα με κηρώδεις ουσίες, που μειώνουν τις απώλειες σε νερό λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών του καλοκαιριού. Σε συνθήκες στρεσαρίσματος του φυτού από ξηρασία τα φύλλα του καρουλιάζουν για να μειωθεί η διαπνοή του φυτού. Χαρακτηριστικό επίσης του σόργου είναι ο λήθαργος που πέφτει σε συνθήκες έλλειψης νερού σταματώντας τις φυσιολογικές του λειτουργίες για να αντέξει τις αντίξοες συνθήκες (υδατικό στρες). Μετά από την αποκατάσταση των ευνοϊκών συνθηκών οι φυσιολογικές του λειτουργίες επανέρχονται.

Το στρεσάρισμα του σόργου στην ξηρασία, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης, μπορεί να προκαλέσει όμως σοβαρή μείωση της παραγωγής. Ανάλογα, η καλή άρδευση του σόργου στα κατάλληλα στάδια ανάπτυξης έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην παραγωγή. Το σόργο όπως κάθε εαρινή καλλιέργεια για να αποδώσει τα μέγιστα στην παραγωγή πρέπει να αρδεύεται για να αναπληρώνεται η χαμένη υγρασία λόγω διαπνοής του φυτού και να βρίσκεται συνεχώς υπό το καθεστώς ικανοποιητικών τιμών εδαφικής υγρασίας.

Λόγω των προβλημάτων που δημιουργήθηκαν από τους παραδοσιακούς τρόπους άρδευσης (κατάκλιση, άρδευση με αυλάκια, καταιονισμός) είναι ανάγκη σήμερα να χρησιμοποιηθούν νέοι μέθοδοι άρδευσης για το σόργο. Με την επιφανειακή άρδευση με σταγόνα (surface drip irrigation) και την υπόγεια άρδευση με σταγόνα (subsurface drip irrigation) αποφεύγονται προβλήματα όπως οι μεγάλες απώλειες λόγω επιφανειακής εξάτμισης, το «κάψιμο» των φύλλων που εμφανίζεται κυρίως στην άρδευση με τεχνητή βροχή και η συσσώρευση αλάτων στη ζώνη της ριζόσφαιρας που δημιουργείται στην άρδευση με αυλάκια. Παράλληλα με καλή χρήση του αρδευτικού νερού έχουμε αύξηση της παραγωγής και μείωση του κόστους παραγωγής.

2.2 Συστήματα άρδευσης

Υπάρχουν τρία βασικά συστήματα άρδευσης:

- Με φυσική ροή

- Με τεχνητή ροή
- Με σταγόνες.

Σε καθένα από τα οποία υπάρχουν διάφορες παραλλαγές.

Πίνακας 2.1. Σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης.

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

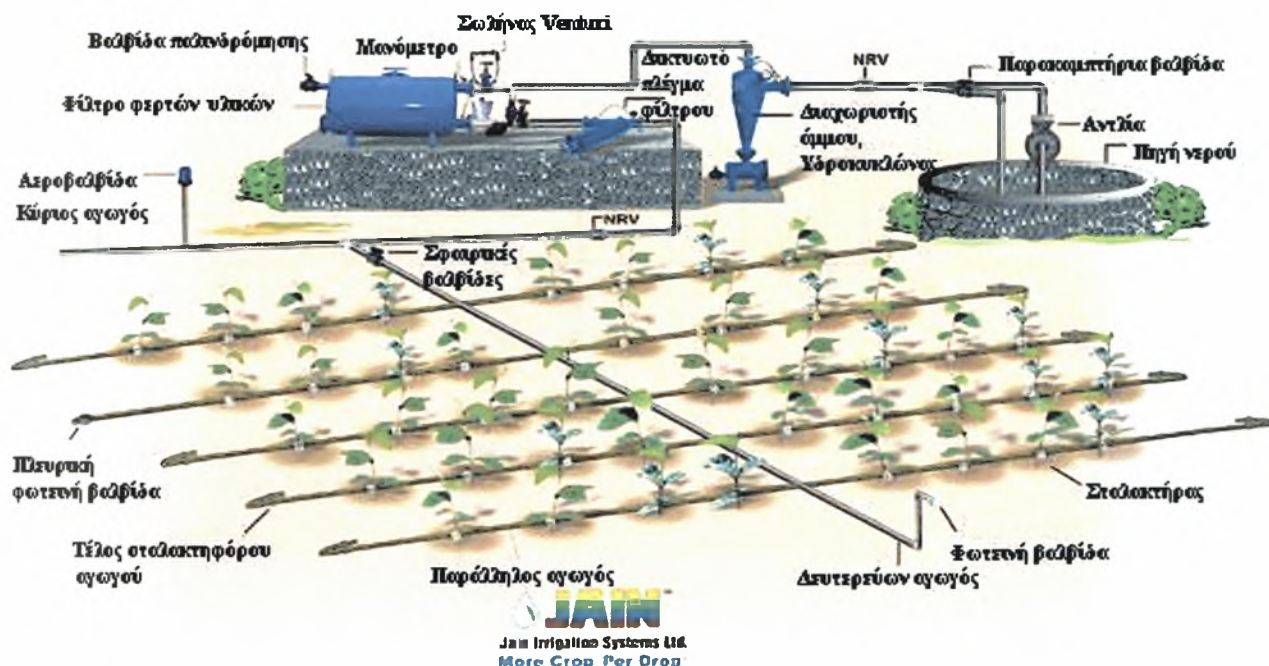
Πηγή: Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων

- **Συστήματα άρδευσης με φυσική ροή**
 - Άρδευση με αυλάκια.
 - Άρδευση μεταξύ παράλληλων αναχωμάτων.
- **Συστήματα άρδευσης με τεχνητή βροχή**
 - Άρδευση με καρούλι.
 - Άρδευση με τεχνητή βροχή.

- Άρδευση με σταγόνες
 - Επιφανειακή άρδευση.
 - Υπόγεια άρδευση.

2.3 Επιφανειακή στάγδην άρδευση

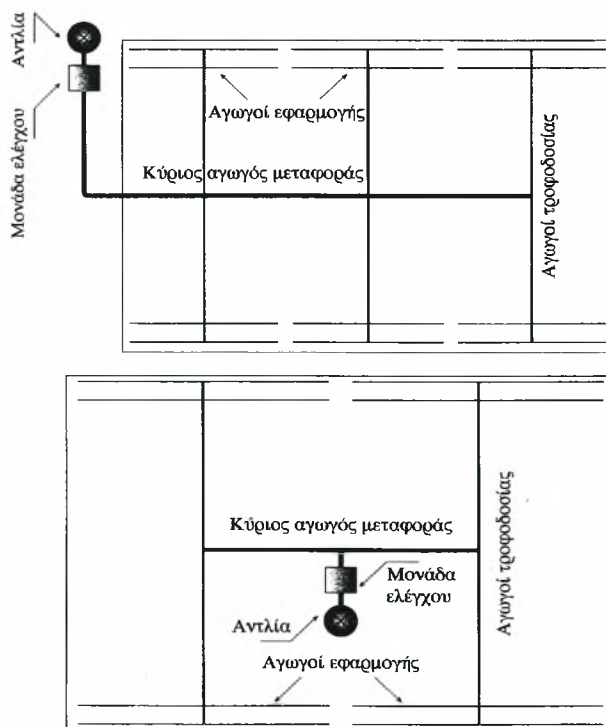
Η άρδευση με σταγόνες ή στάγδην άρδευση είναι μια μέθοδος κατά την οποία νερό εφαρμόζεται στο χωράφι σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων έτσι που κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία. Η μέθοδος είναι πολύ αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σωστά και προσφέρεται για περιπτώσεις όπου το διαθέσιμο νερό είναι περιορισμένο με αποτέλεσμα να μην μπορούν να εφαρμοστούν άλλες μέθοδοι (κατάκλιση, περιορισμένη διάχυση, άρδευση με αυλάκια και καταιονισμός).



Εικόνα 2.1. Τυπικό σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα 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 P.V.C. διαμέτρου 12 – 25 mm 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 – 16 mm, που σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φτάσει και τα 25 mm, 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. Τα φίλτρα κάνουν μηχανικό και όχι χημικό ή άλλου είδους καθαρισμό του νερού. Στο παρακάτω σχήμα δίνονται δύο τυπικές διατάξεις δικτύων.



Σχήμα 2.1. Διατάξεις δικτύων άρδευσης με σταγόνες.

Τα φίλτρα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τα φίλτρα σίτας (για λεπτόκοκκα υλικά)
- Τους υδροκυκλώνες (για στερεά υλικά μεγάλης σχετικά διαμέτρου) και
- Τα φίλτρα χαλικών ή άμμου (για περιπτώσεις όπου το νερό περιέχει σημαντική ποσότητα από οργανικές ύλες και μικροφύκη).

Βάση του συστήματος της επιφανειακής 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 αποφράζεται εύκολα, να είναι κατασκευασμένος από υλικό που να μην επηρεάζεται σημαντικά και να μην παθαίνει μόνιμες αλλοιώσεις από τις έντονες μεταβολές της θερμοκρασίας κατά την έκθεσή του στο χωράφι, να είναι ευκολόχρηστος και να έχει μικρό κόστος.

Οι σταλακτήρες διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Έτσι ανάλογα με το είδος ροής του νερού διακρίνονται σε:

- Σταλακτήρες με στρωτή ροή
- Σταλακτήρες με μερικά στροβιλώδη ροή
- Σταλακτήρες με στροβιλώδη ροή.

Ανάλογα με την ικανότητα αυτοκαθαρισμού χωρίζονται σε **(α) αυτοκαθαριζόμενοι** και **(β) μη αυτοκαθαριζόμενοι** και ανάλογα με τον τρόπο απόσβεσης ή στραγγαλισμού της πίεσης διακρίνονται σε **(1) σταλακτήρες με μακρύ διάδρομο ροής** και **(2) σταλακτήρες με επιστόμιο ή οπή**. Η σωστή λειτουργία ενός δικτύου άρδευσης με σταγόνες απαιτεί ορισμένους χειρισμούς όπως η αυτοματοποιημένη έναρξη και παύση λειτουργίας του συστήματος, η διαδοχική υδροδότηση των

διαφόρων μονάδων και η ρύθμιση της απαιτούμενης παροχής και φορτίου στην αρχή του δικτύου και στους αγωγούς τροφοδοσίας (Τερζίδης, Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997).

Η μέθοδος της επιφανειακής στάγδην άρδευσης άρχισε να εξαπλώνεται στην Ελλάδα στις αρχές της δεκαετίας του 80' και η μεγάλη εξάπλωσή της οφείλεται κυρίως στις καλλιέργειες των οπωροφόρων δένδρων και της αμπέλου. Οι Bravdo και Herper (1987) απέδειξαν ότι με την επιφανειακή στάγδην άρδευση επιτυγχάνεται ικανοποιητικότερη χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων στη καλλιέργεια της αμπέλου και ειδικότερα του φωσφόρου. Σήμερα στη χώρα μας χρησιμοποιείται σε συντριπτικό ποσοστό για την άρδευση του βαμβακιού. Ενδεικτικά αναφέρεται η αύξηση της καλλιεργήσιμης έκτασης στη χώρα μας με βαμβάκι από 160.000 ha στα τέλη της δεκαετίας του 80' σε άνω των 400.000 ha το 2001 (Οργανισμός Βάμβακος, 2001).

2.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα επιφανειακής στάγδην άρδευσης

2.4.1 Τα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης

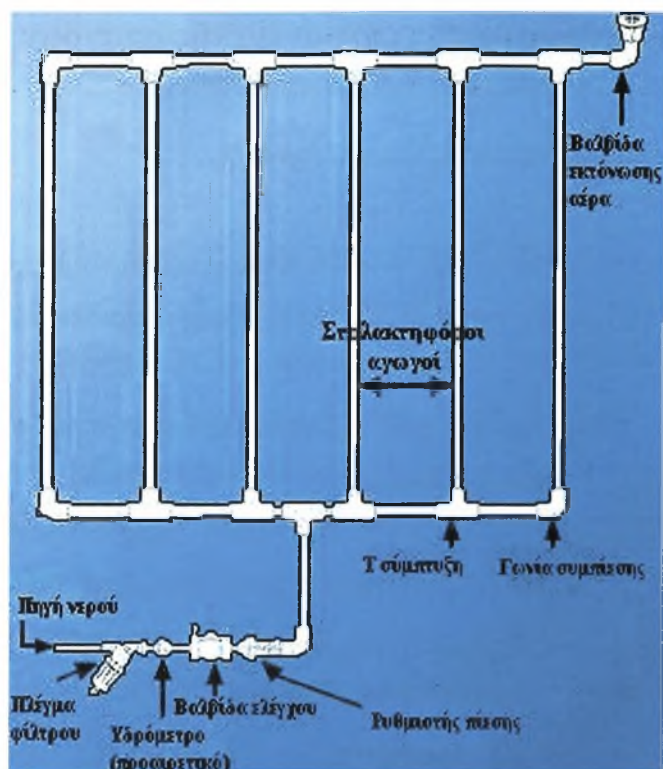
- Η χαμηλή πίεση λειτουργίας του συστήματος
- Η εξοικονόμηση αρδευτικού νερού
- Η ταυτόχρονη χορήγηση λιπασμάτων σε υδατοδιαλυτή μορφή
- Η μείωση των απωλειών νερού εξαιτίας της απουσίας επιφανειακής απορροής
- Η πλήρης αυτοματοποίηση της μεθόδου και
- Η εφαρμογή του σε περιοχές με εξαιρετικά ανώμαλη τοπογραφία χωρίς την ανάγκη ισοπέδωσης.

2.4.2 Τα μειονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης
- Η ανάγκη απομάκρυνσης των δευτερευόντων αγωγών άρδευσης λίγο πριν και μετά την εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας (σε μονοετείς καλλιέργειες)
- Η αδυναμία άμεσης προσέγγισης του νερού στο ενεργό ριζόστρωμα των φυτών (ειδικά σε βαριάς σύστασης εδάφη)
- Η φθορά των υλικών λόγω των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέρχειας πανίδας
- Η αποφυγή χρήσης αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα (έμφραξη σταλακτιών και αύξηση αλατότητας στη ριζόσφαιρα) και
- Η ανάγκη χρήσης άλλης μεθόδου για το φύτεμα των καλλιεργειών.

2.5 Υπόγεια στάγδην άρδευση

Μια παραλλαγή της επιφανειακής άρδευσης με σταγόνα είναι αυτή της υπόγειας στάγδην άρδευσης. Η μέθοδος αυτή γίνεται όλο και περισσότερο γνωστή ανά το κόσμο και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσει στο άμεσο μέλλον την επιφανειακή στάγδην άρδευση σε μεγάλο ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων. Η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι η συχνή εφαρμογή μικρών ποσοτήτων νερού στο έδαφος διαμέσου σταλακτιών που είναι τοποθετημένοι σε αγωγό εφαρμογής που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 2.2. Τυπικό σύστημα υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Η υπόγεια στάγδην άρδευση εμφανίστηκε πριν 50 περίπου χρόνια στις Η.Π.Α και τη Μεγάλη Βρετανία με τη λήξη του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, εξαιτίας της χαμηλής τιμής των υλικών P.E. και PVC. Η εφαρμογή της μεθόδου στη δυτική ακτή των Η.Π.Α για την άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών δίπλα σε λεωφόρους, είχε ως συνέπεια την ταχεία εξάπλωση αυτής σε ολόκληρο το κόσμο.

Χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε μεγάλης αξίας καλλιέργειες όπως τα οπωροφόρα δέντρα, τα λαχανικά, τα καρύδια, το ζαχαροκάλαμο, το βαμβάκι, η πατάτα, τα εσπεριδοειδή και το γλυκό καλαμπόκι. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε και σε καλλιέργειες αμπέλου. Ήδη από το 1959 χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μεγάλες εκτάσεις της Καλιφόρνιας, της Χαβάης και του Τέξας των Η.Π.Α. εξαιτίας του σημαντικού ελλείμματος σε αρδευτικό νερό των περιοχών αυτών (Phene et al., 1992). Το 1986 ο Phene σε πειράματα τομάτας αυξάνει τη μέση παραγωγή από 30 Mg acre⁻¹ με τη χρήση παραδοσιακών μεθόδων επιφανειακής άρδευσης σε 50 – 60 Mg acre⁻¹ με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Σε σχετική έρευνα (Phene et al., 1992) τα περισσότερα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης έχουν αποδώσει απολύτως ικανοποιητικά για 8 – 11 χρόνια με μικρές

ενδείξεις υποβάθμισης. Αναφέρεται επίσης ότι η απαίτηση σε αρδευτικό νερό μειώθηκε μέχρι και σε ποσοστό 40 % έναντι των υπολοίπων παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης. Στο ίδιο πείραμα την μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (WUE), μεταξύ οκτώ πλέον γνωστών μεθοδολογιών, είχε η υπόγεια στάγδην άρδευση.

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

Σε πείραμα που πραγματοποίησαν οι Phene et al. (1992) σε αργιλοπηλώδες έδαφος παρατήρησαν ότι η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης στα 45 cm βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας κοντά στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος σε απολύτως ικανοποιητικά ποσοστά (πλησίον της υδατοϊκανότητας). Μάλιστα το εδαφικό νερό σε καμία περίπτωση δεν χανόταν με διήθηση στα βαθύτερα στρώματα της εδαφοτομής, καθώς η κλίση του υδραυλικού φορτίου στο συγκεκριμένο κομμάτι είχε ανοδική κατεύθυνση. Σε πείραμα τους σε γυμνό έδαφος το 1992 οι Phene et al. διαπίστωσαν απώλεια αρδευτικού νερού λόγω εξάτμισης στην υπόγεια στάγδην άρδευση σε ποσοστό μόνο 6 % επί του συνόλου εφαρμογής, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθοδολογίες όπου το ποσοστό απωλειών (λόγω εξάτμισης) κυμαίνεται από 12 έως 24 %.

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

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

Οι Solomon και Jorgensen από το 1989 έως και το 1993 αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι το προϊόν αντιστέκεται απολύτως ικανοποιητικά στην αποκαλούμενη παρείσφρησης της ρίζας, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται ομοιομορφία της άρδευσης σε ποσοστό 70 – 97 %.

Το 2000 οι Sakellariou – Makrantonaki et al., παρατηρούν αύξηση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων και αύξηση ζαχαρικού τίτλου αυτών συγκρίνοντας την υπόγεια με την επιφανειακή στάγδην άρδευση.

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

Οι Αλεξίου κ.α. (2003) σε πείραμα σύγκρισης της υπόγειας και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού διαπίστωσαν ότι η ομοιομορφία κατανομής του νερού είναι μεγαλύτερη στην υπόγεια στάγδην άρδευση λόγω της μικρότερης ισαποχής των σταλακτηφόρων αγωγών. Επίσης, η εφαρμογή της υπόγειας στάγδην άρδευσης μπορεί να βελτιώσει την αποδοτικότητα του νερού κατά 20% σε σύγκριση με την αντίστοιχη επιφανειακή μέθοδο. Ακόμη, η υπόγεια στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε αργιλώδη εδάφη, τα οποία συνήθως παρουσιάζουν μικρή υδραυλική αγωγιμότητα.

Σε έρευνα που διεξήχθη τον Φεβρουάριο του 2003 (USDA – ARS Conservation and Production Research Laboratory) σε καλλιέργεια Grain Sorghum σε αργιλοπηλώδες έδαφος με τη χρήση τριών διαφορετικών μεθοδολογιών άρδευσης, της υπόγειας στάγδην άρδευσης (SDI), της χαμηλής ενέργειας άρδευση ακριβείας με καταιονισμό

(LEPA) και των αρδεύσεων με ψεκασμό (LESA – 1 ft πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και MESA – 5 ft πάνω) κοινώς pop-up, παρατηρήθηκαν τα παρακάτω, πρώτον η αποδοτικότητα του νερού εφαρμογής στην υπόγεια άρδευση έφτασε το 100 % και ακολούθησαν η LEPA σε ποσοστά μεταξύ των 95 – 98 % και των αρδεύσεων με ψεκασμό σε ποσοστό 90 %, και δεύτερον για ποσοστά άρδευσης έως και το 70 % του συνόλου της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής η υπόγεια άρδευση είχε τη μεγαλύτερη αποδοτικότητα σε χλωρή βιομάζα. Το συμπέρασμα που βγαίνει από τα παραπάνω είναι ότι με την υπόγεια άρδευση επιτυγχάνεται καλύτερη διάθεση του αρδευτικού νερού και υψηλότερη παραγωγικότητα με την μικρότερη δυνατή κατανάλωση.

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

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

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

με το 100 % της δόσης άρδευσης και σε βάρος ριζών όταν αρδεύονταν με το 80% της δόσης άρδευσης.

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

2.6 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης

2.6.1 Τα πλεονεκτήματα της υπόγειας στάγδην άρδευσης

- Αποδοτική διανομή του νερού.
- Σοβαρή μείωση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού λόγω μείωσης των απωλειών.
- Είναι το σύστημα που πετυχαίνει την μεγαλύτερη ομοιομορφία άρδευσης.
- Οι ανάγκες σε πιέσεις λειτουργίας είναι μικρότερες της τάξης 15 – 20 PSI (Gushiken, E., 1993).
- Μειώνεται η απορροή από το άκρο του χωραφιού, καθώς και η εδαφολογική διάβρωση.
- Μειώνει μέγιστα τις απώλειες νερού εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων ανέμου.

- Μειώνει τις απώλειες λόγω εξάτμισης (από 40 – 45 % στις παραδοσιακές επιφανειακές μεθόδους, σε 25 % στην επιφανειακή στάγδην άρδευση και σε 5 με 10 % στην υπόγεια άρδευση) και της διήθησης ειδικότερα στα ελαφρά εδάφη (εντοπισμένη άρδευση).
- Είναι δυνατή η χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα και η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων ως το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος (Devitt, D. et al., 1988).
- Μείωση της έκπλυσης του νερού στη ζώνη του ριζώματος.
- Η μεταφορά των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος είναι καλύτερη κι επίσης παρατηρείται αποδοτικότερη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων όπως ο φώσφορος, το κάλιο και των απαραίτητων για τα φυτά ιχνοστοιχείων (Solomon, K., 1993).
- Ελαχιστοποιείται η διάβρωση του εδάφους (ειδικότερα στα επικλινή εδάφη).
- Η μεταβολή της παροχής μπορεί να ρυθμιστεί με ρύθμιση των βαλβίδων και των σταλακτήρων.
- Πλήρης αυτοματισμός της άρδευσης βάση των ημερήσιων αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (Sakellariou, 2000).
- Μείωση των αναγκών σε ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος, ειδικότερα με τη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας (I – Pai Wu, 1994).
- Η εξάλειψη της ανάπτυξης των ζιζανίων (διατήρηση στεγνής εδαφικής επιφάνειας), των ασθενειών και του σαπίσματος της ρίζας σε συνδυασμό με τον καλύτερο αερισμό, την αποφυγή σχηματισμού επιφανειακής κρούστας και τη καλύτερη διήθηση του νερού της βροχής (Phene et al, 1983).
- Προώμιση και αύξηση της παράγωγης χρόνο με τον χρόνο.

- Μείωση της φθοράς των υλικών άρδευσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέργεια πανίδας.
- Τα γεωργικά μηχανήματα διευκολύνονται για τις εργασίες τους, γιατί ευνοούνται από την ξηρότητα της επιφανείας του εδάφους (Αλεξίου κ.α., 2003).
- Χαμηλό εργατικό κόστος καθώς δεν γίνεται εγκατάσταση και απεγκατάσταση του συστήματος σε κάθε καλλιεργητική περίοδο, αφού γίνεται σε μόνιμη εγκατάσταση κάτω από το βάθος άρωσης.
- Επιτυγχάνεται αύξηση του οικονομικού οφέλους μακροπρόθεσμα από τη χρήση της μεθόδου και το μειωμένο κόστος συντήρησης.

2.6.2 Τα μειονεκτήματα της υπόγεια στάγδην άρδευσης

- Μεγάλο κόστος εγκατάστασης, απώλειες ύδατος, χρόνου και παράγωγης όταν δεν γίνεται σωστός σχεδιασμός εγκατάστασης.
- Δυσκολία ελέγχου του υπόγειου δικτύου.
- Η απόφραξη των σταλακτήρων από τις ρίζες και άλλα φερτά υλικά οδηγεί στην κακή λειτουργία του συστήματος (Phene et al., 1983).
- Το υπόγειο σύστημα είναι δύσκολο να συντηρηθεί και να επιδιορθωθεί.
- Κίνδυνος καταστροφής του δικτύου από ζώα που ζούνε στο έδαφος και κυρίως τα τρωκτικά (Αλεξίου, κ.α., 2003).
- Όταν τα ζιζανιοκτόνα και τα λιπάσματα διατίθενται στην επιφάνεια του εδάφους η υπόγεια άρδευση δεν βοηθά την ενεργοποίησή τους.

Κεφάλαιο 3

Εγκατάσταση του πειράματος – Τεχνολογικός εξοπλισμός

3.1 Γενικά – Οριοθέτηση – Σχέδιο

Η ανάπτυξη και παραγωγικότητα του γλυκού σόργου *Sorghum bicolor* (L) Moench cv. Keller μελετήθηκε σε πείραμα αγρού στο πειραματικό αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2007. Το συγκεκριμένο αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 39°23', γεωγραφικό μήκος 22°45' και σε υψόμετρο 50 m από το επίπεδο της θάλασσας. Στην περιοχή επικρατεί ένα τυπικό μεσογειακό κλίμα χαρακτηριζόμενο από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς και υγρούς χειμώνες. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 6 Μαΐου του 2007. Η συνολική επιφάνεια που καταλαμβάνει ο συγκεκριμένος πειραματικός αγρός είναι 1 στρέμμα και η συνολική επιφάνεια όλων των πειραματικών τεμαχίων 800 m².

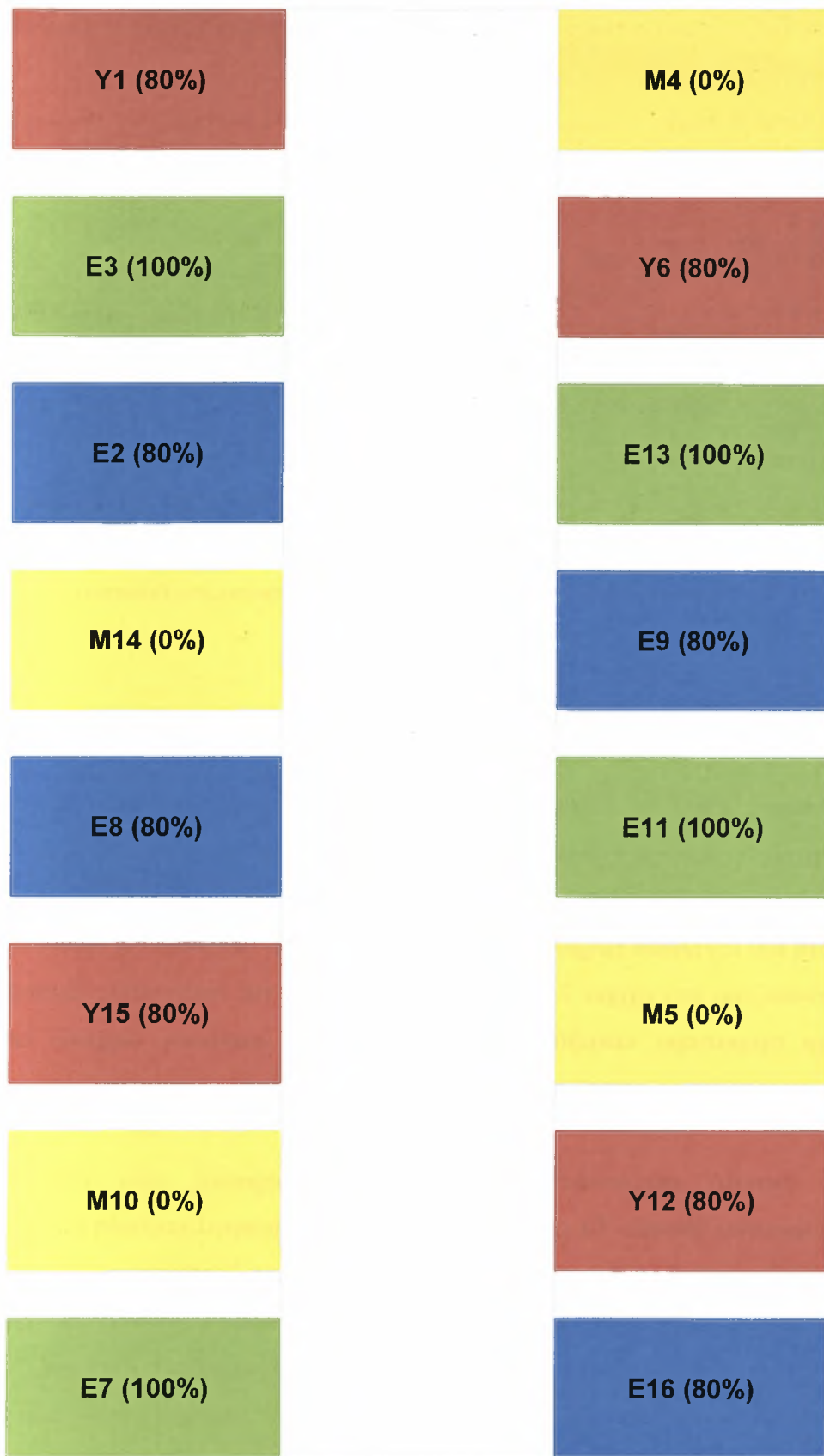
Χρησιμοποιήθηκε τυχαίοποιημένο σχέδιο συγκροτημάτων με τέσσερις μεταχειρίσεις σε τέσσερις επαναλήψεις η κάθε μία (συνολικά 16 πειραματικά τεμάχια). Η διαφοροποίηση των τεμαχίων έγινε με βάση τη μέθοδο άρδευσης και την ποσότητα αρδευτικού νερού στο 80 % ή 100 % της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής. Έτσι τέσσερα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση (εφαρμογή 100% της δόσης άρδευσης), τέσσερα πειραματικά αρδεύτηκαν με επιφανειακή στάγδην άρδευση (εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης), τέσσερα με υπόγεια στάγδην άρδευση (εφαρμογή 80% της δόσης άρδευσης), ενώ τέσσερα πειραματικά τεμάχια χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες και δεν αρδεύτηκαν καθόλου. Η συνολική επιφάνεια του κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν 50 m² (κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε μήκος 10 m και πλάτος 5 m). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο εγκαταστάθηκαν έξι σειρές φυτών. Η απόσταση μεταξύ των σειρών αυτών στο κάθε πειραματικό τεμάχιο ήταν 0,8 m. Οι σταλακτηφόροι αγωγοί (τρεις ανά πειραματικό τεμάχιο) μπήκαν σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς ακριβώς στη μέση του πλάτους που αυτές

ορίζουν και η ισαποχή αυτών από κάθε γραμμή σποράς είναι 0,4 m και μεταξύ τους 1,6 m. Η απόσταση των ακραίων γραμμών σποράς από τα όρια του πλάτους του πειραματικού τεμαχίου κατέληξε τελικά στα 0,5 m. Η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς υπολογίστηκε στα 0,143 m (πληθυσμιακή πυκνότητα σποράς 8.400 φυτά στρ.).

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

Τα πειραματικά τεμάχια με τις μεταχειρίσεις είναι:

- Y1, Y6, Y15, Y12 που αρδεύτηκαν με δόση άρδευσης που αντιστοιχεί στο 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με εγκατάσταση υπόγειων σταγόνων.
- E3, E13, E11, E7 που αρδεύτηκαν με δόση άρδευσης που αντιστοιχεί στο 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με εγκατάσταση επιφανειακών σταγόνων.
- E2, E9, E8, E16 που αρδεύτηκαν με δόση άρδευσης που αντιστοιχεί στο 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής με εγκατάσταση επιφανειακών σταγόνων.
- M4, M14, M5, M10 που δεν αρδευτήκαν καθόλου (0% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής).



Σχεδιάγραμμα 3.1. Πειραματικά τεμάχια με τις μεταχειρίσεις



Εικόνα 3.1. Μετεωρολογικός σταθμός του Αγροκτήματος στο Βελεστίνο.

3.2 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

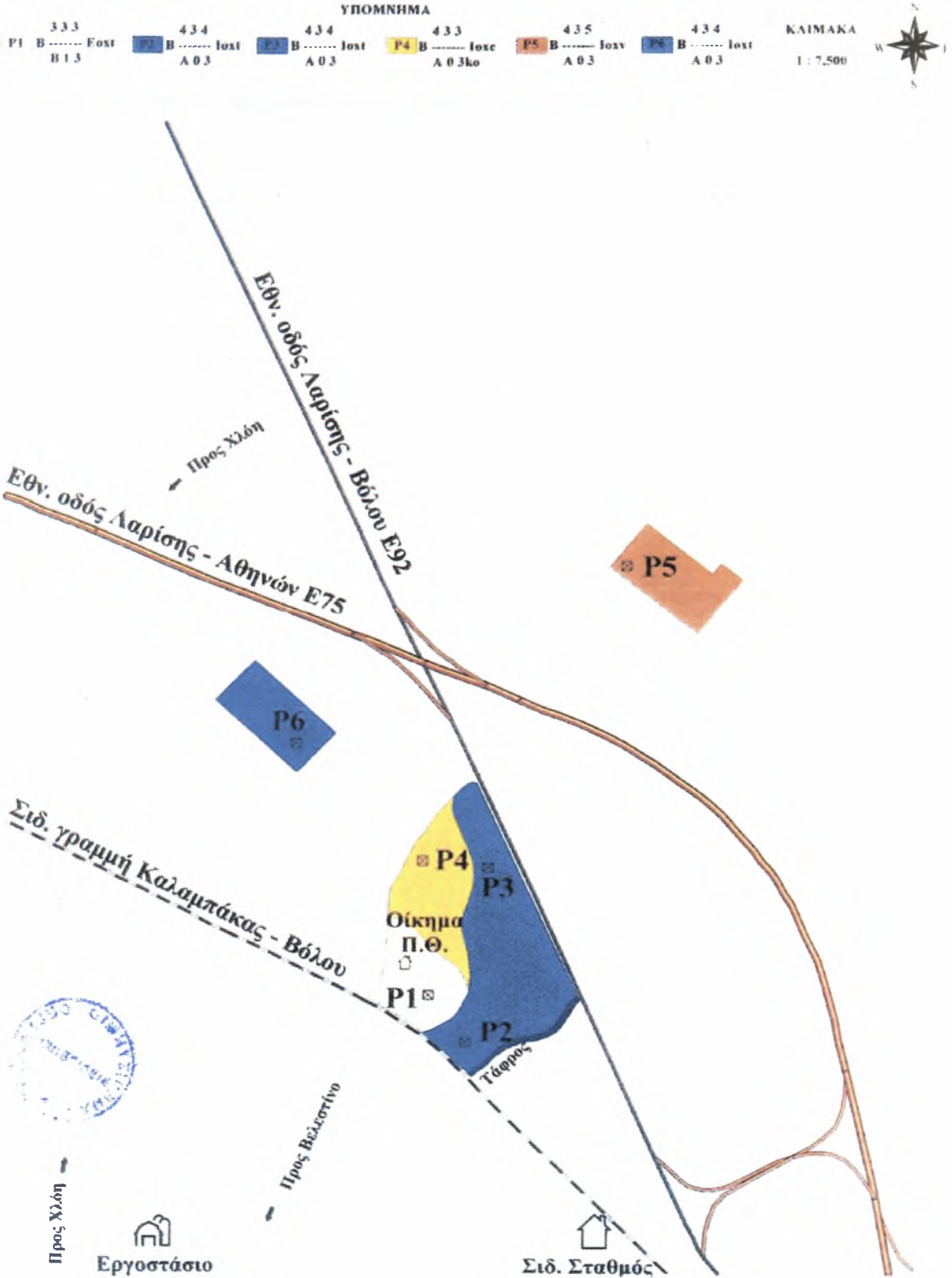
Το έδαφος, όπου το πείραμα πραγματοποιήθηκε, είναι καλά αποστραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυσιαργιλοπηλώδους υφής και ανήκει στην υποομάδα των *Tyric Xerochrepts* (USDA, 1975). Η εδαφοτομή P2 αντιπροσωπεύει τη μισή περίπου έκταση του κεντρικού τμήματος του αγροκτήματος στο Βελεστίνο. Η οριοθέτηση του παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1. Παρατηρείται έναρξη της διαδικασίας εδαφογένεσης με το σχηματισμό «καμβικού» ορίζοντα και την εμφάνιση «ωχρού» επιπέδου υπεράνω του διαγνωστικού ορίζοντα.

Στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας *xeric* και εδαφικής θερμοκρασίας *thermic*. Τα εδάφη αυτά έχουν υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη. Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με Β βαθμό αποστράγγισης ο οποίος βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους, εξαιτίας της πετρώδους σύστασής του. Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή και σε επίπεδα μετρίως χαμηλά και εμφανίζουν μία σαφή τάση μετακίνησης και έκπλυσης προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Το pH βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα (7,9 – 8,2) χωρίς όμως να είναι προβληματικό. Το πορώδες είναι καλά αναπτυγμένο αποτελούμενο κυρίως από

μικρού και μεσαίου μεγέθους πόρους. Ο διαθέσιμος φώσφορος είναι 20 ppm. Η οργανική ουσία είναι επαρκής μέχρι το βάθος των 60 cm και σε πολύ χαμηλά επίπεδα βαθύτερα. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Na, Mg, K και η C.E.C. γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα. Η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Fe, Zn και Mn βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα σε αντίθεση με το Cu.

Στο σχήμα 3.1 παρουσιάζεται το τοπογραφικό διάγραμμα του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και στον πίνακα 3.1 οι φυσικές και οι χημικές ιδιότητες της εδαφοτομής P2 (Μήτσιος και συνεργάτες, 2000).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
 ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
 ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΑΦΟΛΟΓΙΑΣ
 ΕΘΝΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)
 ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ ΛΑΡΙΣΣΑΣ (Ι.Χ.Τ.Ε.Α.)



Σχήμα 3.1. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού στο Βελεσίτινο.

Εδαφοτομή: P2

Τάξη: Inceptisol

Υποομάδα: Typic xerochrept

Χαρτογραφική μονάδα: B $\frac{434}{A03}$ Iox

Πίνακας 3.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P2.

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

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

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

3.3 Υλικά άρδευσης



Κατ' αρχήν έγινε η τοποθέτηση του υπόγειου δικτύου άρδευσης στα 45 cm βάθος με την χρήση ειδικού μηχανήματος (υπεδαφοθέτη). Οι αγωγοί μεταφοράς τόσο του επιφανειακού όσο και του υπόγειου δικτύου άρδευσης ήταν από πολυαιθυλένιο (PE), διατομής 32 mm με πίεση λειτουργίας στις 6 Atm. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο της επιφανειακής και της υπόγειας στάγδην άρδευσης τοποθετήθηκαν τρεις αγωγοί

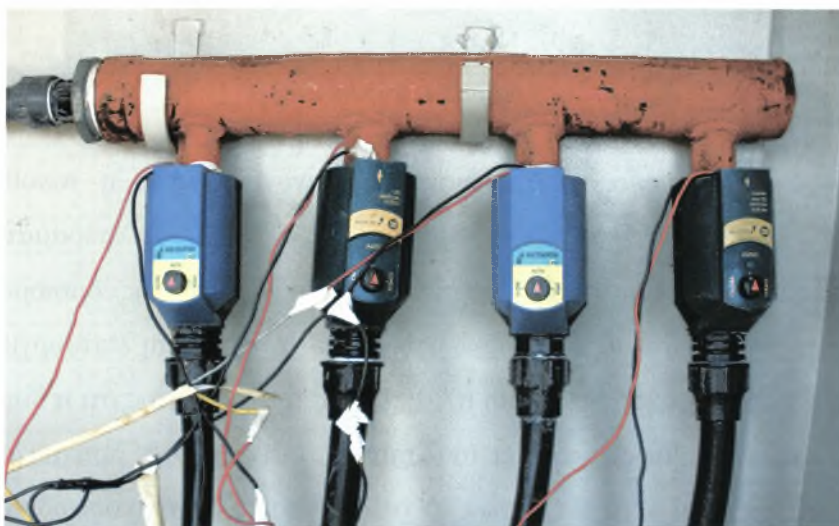
εφαρμογής των 20 mm. Η απόσταση των αγωγών εφαρμογής μεταξύ τους ήταν 1.6 m και η τοποθέτηση τους έγινε σειρά παρά σειρά μεταξύ των γραμμών σποράς της καλλιέργειας. Η ισαποχή των σταλακτήρων (emitters) επί των γραμμών άρδευσης ήταν 0,6 m. Οι σταλάκτες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, παροχής $3,6 \text{ l h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 3,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής $3,78 \text{ mm h}^{-1}$. Πραγματοποιήθηκε επίσης η τοποθέτηση τεσσάρων ηλεκτροβανών (μία για κάθε δύο πειραματικά τεμάχια της ίδιας μεταχείρισης) με σκοπό την αυτόματη έναρξη και λήξη της άρδευσης και τέσσερις υδρομετρητές, αντίστοιχα με τις ηλεκτροβάνες, για τον έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων από τις επιθυμητές τιμές των δόσεων άρδευσης. Οι ηλεκτροβάνες ήταν τύπου Aquanet II, με τάση λειτουργίας 9 – 40 V. Ειδικότερα, για το υπόγειο δίκτυο τοποθετήθηκε ειδική βαλβίδα εκτόνωσης κενού (vacuum breaker valve), για την αποφυγή εμφράξεων στο δίκτυο καθώς επίσης και φίλτρο δίσκων (teck filter) εμπλουτισμένο με Trifluralin – 5 (ζιζανιοκτόνο της ομάδας των δινιτροανιλινών), ως ριζοαπωθητικό. Όλες οι ηλεκτροβάνες συνδέθηκαν με ειδικό προγραμματιστή (miracle) της εταιρίας Netafim με σκοπό την αυτοματοποίηση της άρδευσης.



Εικόνα 3.2. Προγραμματιστής αρδεύσεων (miracle).

Ο προγραμματιστής παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας τεσσάρων ηλεκτροβανών ταυτοχρόνως σε τρία διαφορετικά προγράμματα και αποτελείται από την ψηφιακή οθόνη προγραμματισμού, τα πλήκτρα εντολών (καθορισμός ημέρας, ώρας, δόσης και

διάρκειας άρδευσης), την μπαταρία λιθίου (9 V), τον πίνακα ελέγχου, τα καλώδια με τις συνδέσεις τους και το πλαίσιο στήριξης. Ειδικότερα παρέχει τη δυνατότητα της συνεχούς άρδευσης για 9 h 59 min, μπορεί να προγραμματιστεί με βάση ένα εβδομαδιαίο πρόγραμμα άρδευσης, διαθέτει την ικανότητα καθυστέρησης της άρδευσης έως και 99 ημέρες, παρέχει τη δυνατότητα μείωσης ή και αύξησης των δόσεων άρδευσης μέχρι ποσοστού 100 % σε βήματα του 10 %, δίνει τη δυνατότητα της ανεξάρτητης ακύρωσης ενός ή περισσότερων προγραμμάτων με την αυτόματη επιστροφή στο αρχικό πρόγραμμα, επίσης σε περιπτώσεις βλαβών προσπερνά την προβληματική στάση και συνεχίζει την άρδευση στην επόμενη χωρίς τη διακοπή της λειτουργίας της κεντρικής βάνας και τέλος διαθέτει πρόγραμμα ασφαλείας 10 min για την κάθε ημέρα.



Εικόνα 3.3. Ηλεκτροβάνες.

Χρησιμοποιήθηκε επίσης τσιμεντένια ορθογώνια δεξαμενή χωρητικότητας 50 m³ με σκοπό τη συγκέντρωση και διάθεση του απαιτούμενου προς άρδευση ύδατος. Η πλήρωση της δεξαμενής πραγματοποιούνταν από παρακείμενη γεώτρηση με τη χρήση αντλίας μέσης παροχής 60 – 80 m³ νερού ανά ώρα με άξονα και σωλήνα 4". Τοποθετήθηκαν επίσης η αντλία προώθησης του νερού στα δίκτυα, οι ηλεκτροβάνες, τα διάφορα φίλτρα, η βαλβίδα κενού, ο αγωγός των επιστρεφόμενων, το πιεζόμετρο και ο υπόλοιπος μηχανολογικός εξοπλισμός της άρδευσης.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τριανταεπτά (37) αρδεύσεις και χορηγήθηκαν 727,60 mm νερού στρ.⁻¹ και 588 mm νερού στρ.⁻¹ στις επιφανειακές στάγδην επαναλήψεις στο 100% της δόσης άρδευσης και στις επιφανειακές και υπόγειες στάγδην

επαναλήψεις στο 80 % της δόσης άρδευσης αντίστοιχα (Πίνακας 3.2). Στις ποσότητες αυτές δεν συμπεριλαμβάνεται η ποσότητα των κατακρημνισμάτων (βροχή) και το νερό φυτρώματος.



Εικόνα 3.4. Υδρόμετρο.

Όσον αφορά την μέθοδο της άρδευσης με κανόνι βροχής, η τοποθέτηση του εκτοξευτή έγινε σε σταθερό σημείο πλησίον των πειραματικών και χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικοί σωλήνες για τον έλεγχο της ομοιομορφίας της άρδευσης. Η παροχή αυτού μετρήθηκε στα $34 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ σε πίεση λειτουργίας 4,5 Atm και ωριαίου ύψους βροχής τα 18 mm h^{-1} . Εξαιτίας του γεγονότος ότι η διηθητικότητα του συγκεκριμένου εδάφους αγγίζει τα 7 mm h^{-1} , οι εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν με ενδιάμεσες διακοπές της τάξης των 40' με 45', όταν ο συνολικός χρόνος άρδευσης ξεπερνούσε το ένα τέταρτο (ανάλογα και με τις τιμές της εδαφικής υγρασίας). Η άρδευση με κανόνι βροχής έγινε μία φορά μια μέρα μετά την σπορά ώστε να αυξηθεί η φυτρωτική ικανότητα των σπόρων και για να φτάσει το έδαφος στην υδατοϊκανότητα.

Πίνακας 3.2. Δόσεις άρδευσης και διάρκεια άρδευσης των μεταχειρίσεων.

A/A	Ημέρες του έτους 2007	Δόση άρδευσης Στο 100% της ETm (mm)	Δόση άρδευσης Στο 80% της ETm (mm)	Ημερομηνία Έτους 2007	Διάρκεια άρδευσης Στο 100% της ETm	Διάρκεια άρδευσης Στο 80% της ETm
1	129	15,00	12,00	9/5	3h 57min 36sec	3h 10min 12sec
2	132	12,00	9,60	12/5	3h 10min 12sec	2h 32min 24sec
3	139	12,00	9,60	19/5	3h 10min 12sec	2h 32min 24sec
4	155	16,00	12,80	4/6	4h 13min 48sec	3h 22min 48sec
5	163	20,00	16,00	12/6	5h 17min 24sec	4h 13min 48sec
6	169	16,70	13,40	18/6	4h 24min 36sec	3h 32min 24sec
7	172	20,20	16,20	21/6	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
8	175	23,60	18,90	24/6	6h 14min 24sec	5h 0min 0sec
9	177	19,90	15,90	26/6	5h 15 min 26sec	4h 12min 0sec
10	180	26,40	21,10	29/6	6h 58min 48sec	5h 34min 48sec
11	183	19,10	15,30	2/7	5h 30min 0sec	4h 24min 0sec
12	186	18,00	14,40	5/7	4h 45min 36sec	3h 48min 0sec
13	188	18,20	14,60	7/7	4h 48min 36sec	3h 51min 36sec
14	191	23,20	18,60	10/7	6h 7min 48sec	4h 55min 12sec
15	194	24,00	19,20	13/7	6h 20min 24sec	5h 48min 0sec
17	197	25,00	20,00	16/7	6h 36min 36sec	5h 17min 24sec
18	200	27,80	22,20	19/7	7h 21min 0sec	5h 52min 12sec
19	202	21,60	17,30	21/7	5h 42min 36sec	4h 34min 12sec
20	205	31,20	25,00	24/7	8h 15min 0sec	6h 36min 36sec
21	207	20,20	16,20	26/7	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
22	210	20,20	16,20	29/7	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
23	213	22,10	17,70	1/8	5h 50min 24sec	4h 40min 48sec
24	217	15,20	12,20	5/8	4h 1min 12sec	3h 13min 12sec
25	221	21,10	16,90	9/8	5h 34min 48sec	4h 28min 12sec
26	224	23,00	18,40	12/8	6h 4min 48sec	4h 51min 36sec
27	227	19,20	15,40	15/8	5h 4min 48sec	4h 4min 12sec
28	230	20,20	16,20	18/8	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
29	233	20,20	16,20	21/8	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
30	236	24,00	19,20	24/8	6h 21min 0sec	5h 48min 0sec
31	239	22,00	17,60	27/8	5h 49min 12sec	4h 39min 0sec
32	242	17,00	13,60	30/8	4h 30min 0sec	3h 35min 24sec
33	245	15,00	12,00	2/9	3h 57min 36sec	3h 10min 12sec
34	249	20,20	16,20	6/9	5h 20min 24sec	4h 16min 48sec
35	255	19,80	15,80	12/9	5h 13min 48sec	4h 10min 48sec
36	260	21,10	16,90	17/9	5h 34min 48sec	4h 28min 12sec
37	267	17,20	13,80	24/9	4h 33min 0sec	3h 39min 0sec
37 Άρδεύσεις	ΣΥΝΟΛΑ	727,60	588,00	Συνολικές ώρες άρδευσης	192h 47min 50sec	155h 47min 24sec

3.4. Εξοπλισμός για τη συλλογή βασικών δεδομένων του πειράματος

Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας έγιναν μια μέρα πριν την άρδευση και μια ημέρα μετά από αυτήν, με την μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry), με αισθητήρες μήκους 75 cm και διαστημάτων μέτρησης: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm.

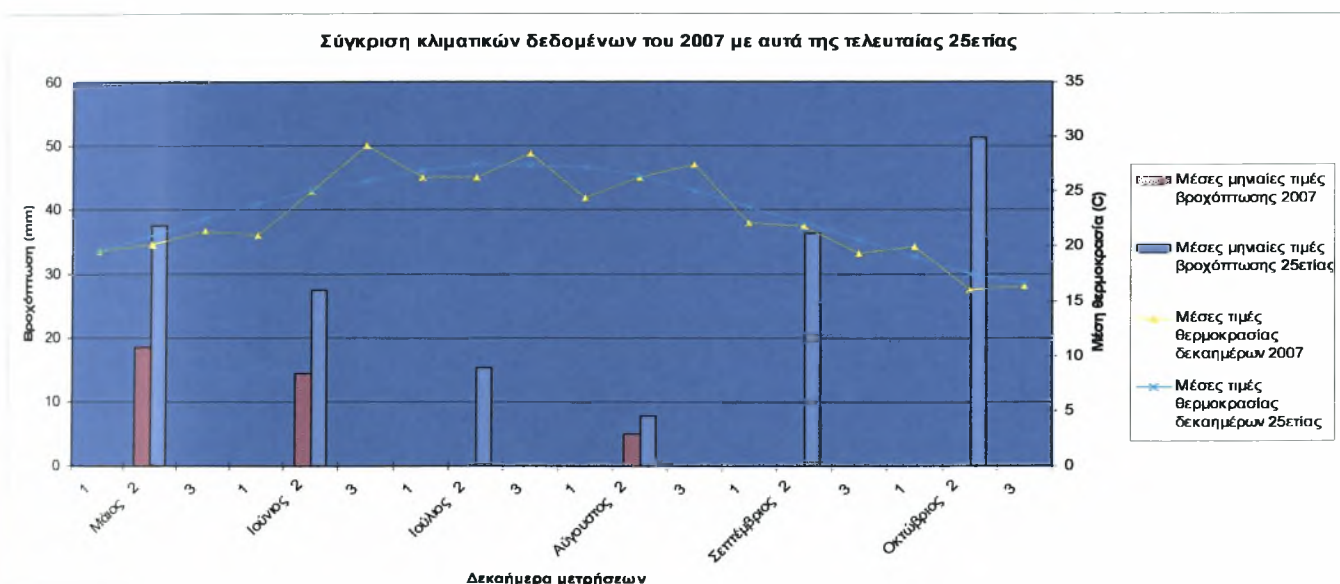
Η αρχή λειτουργίας της μεθόδου βασίζεται στην απευθείας μέτρηση της φαινόμενης διηλεκτρικής σταθεράς του υπό μέτρηση εδάφους και την αναγωγή αυτής σε κατ' όγκο περιεκτικότητα νερού. Η διηλεκτρική σταθερά επιδρά και καθορίζει την ταχύτητα κίνησης ενός υψηλής συχνότητας σήματος το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος μέσω κατάλληλου κυματοδηγού (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη και συνεργάτες, 1997). Με άλλα λόγια η αρχή λειτουργίας του TDR βασίζεται στην χρονομετρημένη απόκριση του ηλεκτρομαγνητικού σήματος της πηγής του οργάνου για διάφορα βάθη από 0 – 75 cm και την αναγωγή του χρόνου καθυστέρησης σε μονάδες εδαφικής υγρασίας (% κ.ο.), με την χρήση πολυωνυμικών εξισώσεων. Το όλο σύστημα περιλαμβάνει τη συσκευή T.D.R. με ενσωματωμένο επεξεργαστή μετατροπής και την οθόνη προβολής των τιμών εδαφικής υγρασίας, τον αισθητήρα του οργάνου (probe), τον φορτιστή των μπαταριών του οργάνου, τα καλώδια επικοινωνίας της συσκευής με τον αισθητήρα και τον υπολογιστή, και την ομάδα εργαλείων για την εισαγωγή και εξαγωγή των αισθητήρων. Το συγκεκριμένο όργανο δεν απαιτεί βαθμονόμηση, καθώς είναι βαθμονομημένο από τον κατασκευαστή. Τοποθετήθηκαν συνολικά τέσσερις αισθητήρες ένας για κάθε διαφορετική μεθοδολογία άρδευσης.



Εικόνα 3.5. Αισθητήρας υγρασίας T.D.R..

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

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής (ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα, καταγραφή της ημερήσιας βροχόπτωσης και ημερήσια εξάτμιση) χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του αγροκτήματος ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 25 μέτρων από το κέντρο του πειραματικού αγρού.



Διάγραμμα 3.1. Σύγκριση κλιματικών δεδομένων της αρδευτικής περιόδου του 2007 με αυτά της τελευταίας 25ετίας.

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το υγρό και ξηρό θερμόμετρο, βροχόμετρο και ανεμόμετρο. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα Excel της Microsoft. Τονίζεται ότι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων έγινε σε ωριαία βάση καθ' όλη τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Η μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) έγινε στον αγρό αλλά και στο εργαστήριο. Χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις του εργαστηρίου για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων για το σύνολο των μεταχειρίσεων. Αυτό έγινε διότι οι μετρήσεις στον αγρό επηρεάζονται καταρχήν από τον χειρισμό του οργάνου και κατά δεύτερον από την κατάσταση του ουρανού (π.χ. μικρή διάρκεια ηλιοφάνειας – νεφοσκεπής ουρανός).

Όσον αφορά τις μετρήσεις στον πειραματικό αγρό, επιλέχθηκαν 11 τυχαία φυτά από το κάθε πειραματικό τεμάχιο για τη μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και του ύψους. Για την γραφική απεικόνιση της εξέλιξης του δείκτη φυλλικής επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε το σύνολο των μέσων όρων των μετρήσεων. Οι μετρήσεις στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν με το ειδικό όργανο εμβαδομέτρησης LI-COR που είναι αρκετά ακριβές και απόλυτα αξιόπιστο. Παράλληλα προσδιορίστηκε και το σφάλμα μέτρησης του οργάνου σε μία τιμή 5,8 % πέραν της πραγματικής. Η υπερτίμηση της τιμής του L.A.I. οφείλεται στην συνεχή εγγραφή του οργάνου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Τέλος, τονίζεται ότι στα πλαίσια της νέας αειφορικής γεωργίας των χαμηλών εισροών δεν πραγματοποιήθηκε κανενός είδους λιπαντική αγωγή ή άλλου είδους προσθήκη θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος των πειραματικών.

3.5 Υπολογισμοί δόσεων άρδευσης και χρόνου άρδευσης

3.5.1 Θεωρητικός τρόπος υπολογισμών

Για τον υπολογισμό της άρδευσης με σταγόνα χρησιμοποιούνται συνήθως δυο τρόποι, ο θεωρητικός και ο πρακτικός (εξατμισόμετρο). Ο θεωρητικός τρόπος περιλαμβάνει τους παρακάτω υπολογισμούς:

Υπολογισμός της θεωρητικής δόσης άρδευσης (I_d):

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

Όπου:

FC = Υδατοικανότητα = 21,2% κ.ο.

PWP = Σημείο Μόνιμης Μάρανσης = 11,64% κ.ο.

H = Βάθος ριζοστρώματος = 1 m

C = Όριο εξάντλησης υγρασίας = 0,55

P = Ποσοστό διαβροχής = 100%

ASW = Φαινόμενο Ειδικό Βάρος = 1,23 g m⁻³

Επομένως $I_d = 64,67$ mm

Στη συνέχεια υπολογίζεται η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}):

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

Όπου: 0,95 το ποσοστό ωφελιμότητας του νερού άρδευσης

Επομένως $I_{da} = 68$ mm

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

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

Όπου:

Q = Παροχή σταλάκτη = 3,6 h⁻¹

S_r = Ισαποχή των γραμμών σποράς = 0,143 m

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

n = Ο αριθμός σταλακτήρων ανά φυτό

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

Όπου:

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

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

Επομένως $n = 0,12$ σταλάκτες ανά φυτό

και $Idh = 3,78 \text{ mm h}^{-1}$

Η διάρκεια άρδευσης (It) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$It(h) = Ida / Idh$$

άρα $It = 17\text{h } 59'22''$

Για τον υπολογισμό του εύρους άρδευσης χρησιμοποιούμε τη παρακάτω σχέση:

$$Ir(d) = Id/Etd$$

Όπου:

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

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

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

3.5.2 Πρακτικός τρόπος υπολογισμών

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την άρδευση της καλλιέργειας ήταν αυτή του εξατμισιμέτρου τύπου Α (Εικόνα 3.6). Το εξατμισόμετρο Α τάξης αποτελείται από μία κυλινδρική λεκάνη από γαλβανισμένη λαμαρίνα και έχει διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm. Η τοποθέτηση αυτής γίνεται επάνω σε ειδική ξύλινη βάση σε ύψος 15

cm από την επιφάνεια του εδάφους και οριζοντιώνεται. Εντός της λεκάνης βρίσκεται γυάλινος ογκομετρικός σωλήνας μήκους 28,5 cm και διαμέτρου 1,2 cm. Η χωρητικότητα του σωλήνα είναι 50 ml με διακριτικότητα 0,1 ml και σφάλμα ανάγνωσης τα 0,05 ml.



Εικόνα 3.6. Εξατμισόμετρο τύπου Α.

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

Η σχέση που διέπει τη βασική εξάτμιση είναι η :

$$E_{Tp} = K_{εξ} \times E_{pan}$$

Ο παράγοντας E_{pan} εκφράζει τη μέση εξάτμιση του εικοσιτετραώρου σε $mm \text{ day}^{-1}$ και $K_{εξ}$ είναι ο συντελεστής διόρθωσης του εξατμισομέτρου. Εν συνεχεία η εν λόγω ημερήσια τιμή εξάτμισης πολλαπλασιάστηκε με το φυτικό συντελεστή του γλυκού σόργου ($K_c = 1$) με σκοπό τον προσδιορισμό της ημερήσιας τιμής εξατμισοδιαπνοής της φυτείας. Για τα κλιματικά δεδομένα του υποτροπικού μεσογειακού θέρους της Θεσσαλίας η τιμή του αποφασίστηκε να διατηρηθεί σταθερή ($K_c = 1$) καθ' όλη τη καλλιεργητική περίοδο του 2007 (FAO, 1977). Με τον τρόπο αυτό υπολογιζόταν σε

ημερήσια βάση η τιμή της πρακτικής δόσης άρδευσης για την επιφανειακή στάγδην μέθοδο.

$$I_{daep} \text{ (mm)} = E_{pan} \times E_{εξ} \times K_e$$

Όλες οι μεταχειρίσεις έλαβαν, ανά τακτά χρονικά διαστήματα και για την περίοδο από 9 Μαΐου έως 24 Σεπτεμβρίου την ποσότητα νερού που τους αναλογούσε με σκοπό την κάλυψη των αναγκών της φυτείας σε mm εξάτμισης (Πίνακας 3.2).

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου A, με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση, λαμβάνοντας υπόψη και τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής (για παράδειγμα δεν πραγματοποιήθηκαν αρδεύσεις μετά από περίοδο υψηλών βροχοπτώσεων ή πριν η υγρασία του εδάφους βρεθεί σε τιμές πλησίον και κάτω της τιμής της υδατοϊκανότητας για το κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών). Στην υπόγεια στάγδην άρδευση επειδή ελαχιστοποιούνται οι απώλειες λόγω εξάτμισης και πραγματοποιείται άμεσα η εφαρμογή του αρδευτικού νερού στο ενεργό ριζόστρωμα των φυτών, μειώθηκε η χορηγούμενη δόση άρδευσης κατά 20% έναντι των υπολοίπων μεθόδων άρδευσης (επιφανειακή στάγδην άρδευση). Έτσι η πρακτική δόση άρδευσης για την υπόγεια μέθοδο υπολογίστηκε με βάση την αντίστοιχη της επιφανειακής, μειωμένη σε ποσοστό 20 %.

$$I_{dauπ} \text{ (mm)} = I_{daep} \times 80 \%$$

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

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

Όπου:

I_t = Διάρκεια άρδευσης σε h

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

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

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

Κεφάλαιο 4

Εδαφοκλιματικά Δεδομένα

4.1 Κλιματικά δεδομένα

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 σε σύγκριση με τις αντίστοιχες της τελευταίας 25ετίας καθώς και η ποσοστιαία επί τοις εκατό απόκλισή τους. Στον πίνακα 4.2 καθώς και στο διάγραμμα 4.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2007. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των θερμοκρασιών των τριών δεκαημέρων για κάθε μήνα της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους της τελευταίας 25ετίας. Στο διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων βροχόπτωσης ανά μήνα του 2007 με την τελευταία 25ετία. Στο διάγραμμα 4.3 παρουσιάζονται τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία αέρα και βροχόπτωση), που επικράτησαν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (από 1/5/2007 έως και 31/10/2007) στο Βελεστίνο. Παράλληλα πραγματοποιείται η σύγκριση τους με τις μέσες κλιματικές τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της τελευταίας 25ετίας για την υπό μελέτη περιοχή. Στο διάγραμμα 4.4 απεικονίζεται η χρονική εξέλιξη της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007. Στο διάγραμμα 4.5 παρουσιάζονται οι δόσεις άρδευσης για την επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100 % της ETm και στο διάγραμμα 4.6 οι δόσεις άρδευσης για την υπόγεια και επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80 % της ETm που προέκυψαν από υπολογισμούς με βάση την μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή. Τέλος στο διάγραμμα 4.7 γίνεται σύγκριση των δόσεων άρδευσης στο 100 % και στο 80 % της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής.

Πίνακας 4.1. Ποσοστιαία απόκλιση των τιμών της βροχόπτωσης για την καλλιεργητική περίοδο του 2007.

Μήνας	Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης του 2007 (mm)	Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης 25ετίας (mm)	Ποσοστιαία απόκλιση για την καλλιεργητική περίοδο του 2007 (%)
ΜΑΙΟΣ	18,5	37,5	- 50,67
ΙΟΥΝΙΟΣ	14,5	27,4	- 47,08
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	15,3	- 100
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5	7,8	- 35,89
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	36,3	- 100
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	51,2	- 100

Πίνακας 4.2. Βροχόπτωση της καλλιεργητικής περιόδου του 2007.

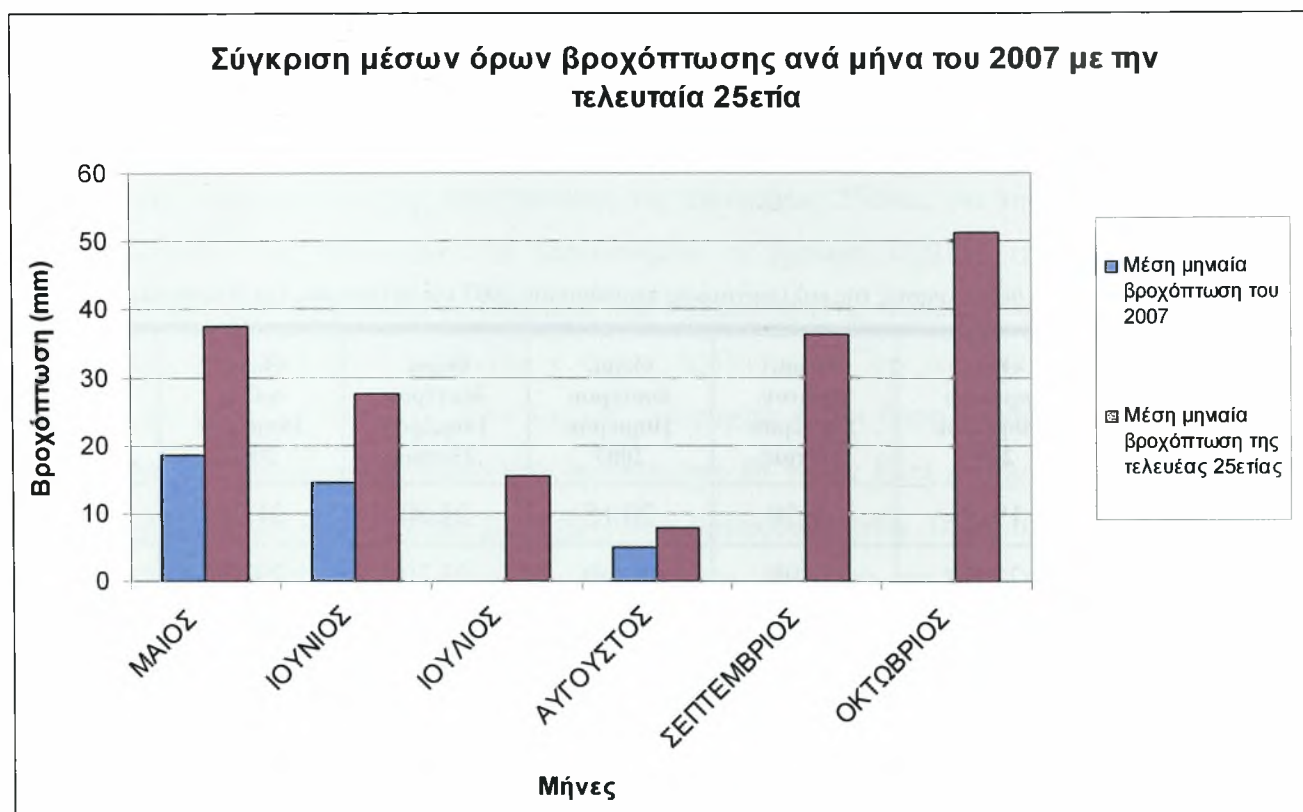
Βροχόπτωση του 2007 (mm)	Ημέρες από 1/1/2007
23,50	141
13,50	144
21,00	157
8,00	167
5,00	217
71,00	Σύνολο

Πίνακας 4.3. Μέσες θερμοκρασίες της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 και αντίστοιχες της τελευταίας 25ετίας.

Μήνας	Θερμ. πρώτου 10ημέρου 2007	Θερμ. πρώτου 10ημέρου 25ετίας	Θερμ. δευτέρου 10ημέρου 2007	Θερμ. δευτέρου 10ημέρου 25ετίας	Θερμ. τρίτου 10ημέρου 2007	Θερμ. τρίτου 10ημέρου 25ετίας
Μάιος	19,50	19,50	20,15	21,00	21,39	22,50
Ιούνιος	21,00	23,90	25,00	25,10	29,15	26,00
Ιούλιος	26,25	26,90	26,25	27,40	28,45	27,30
Αύγουστος	24,45	27,20	26,25	26,50	27,41	25,00
Σεπτέμβριος	22,10	23,60	21,85	22,10	19,35	20,60
Οκτώβριος	19,95	19,00	15,95	17,50	16,32	16,60

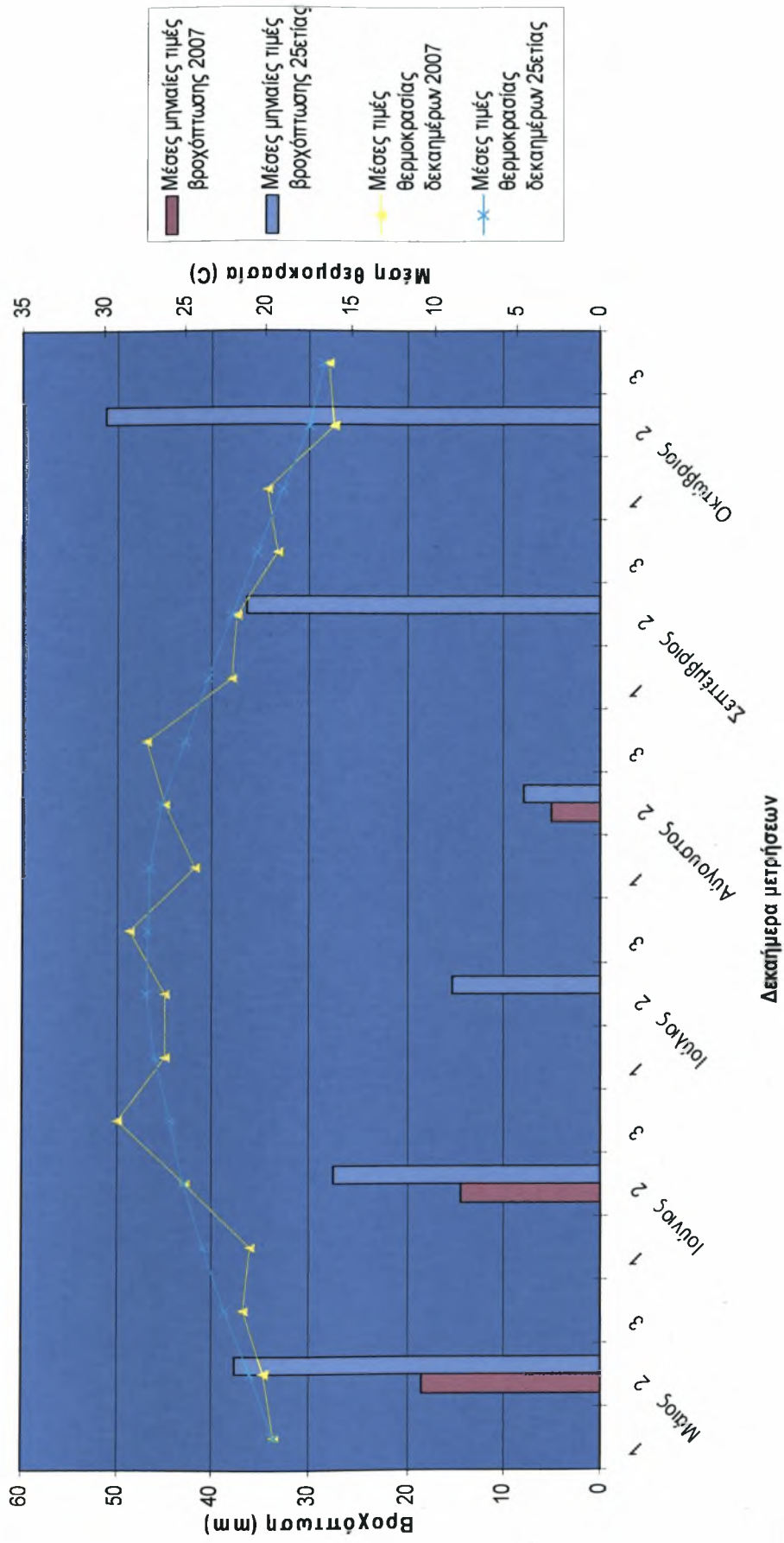


Διάγραμμα 4.1. Βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου 2007.



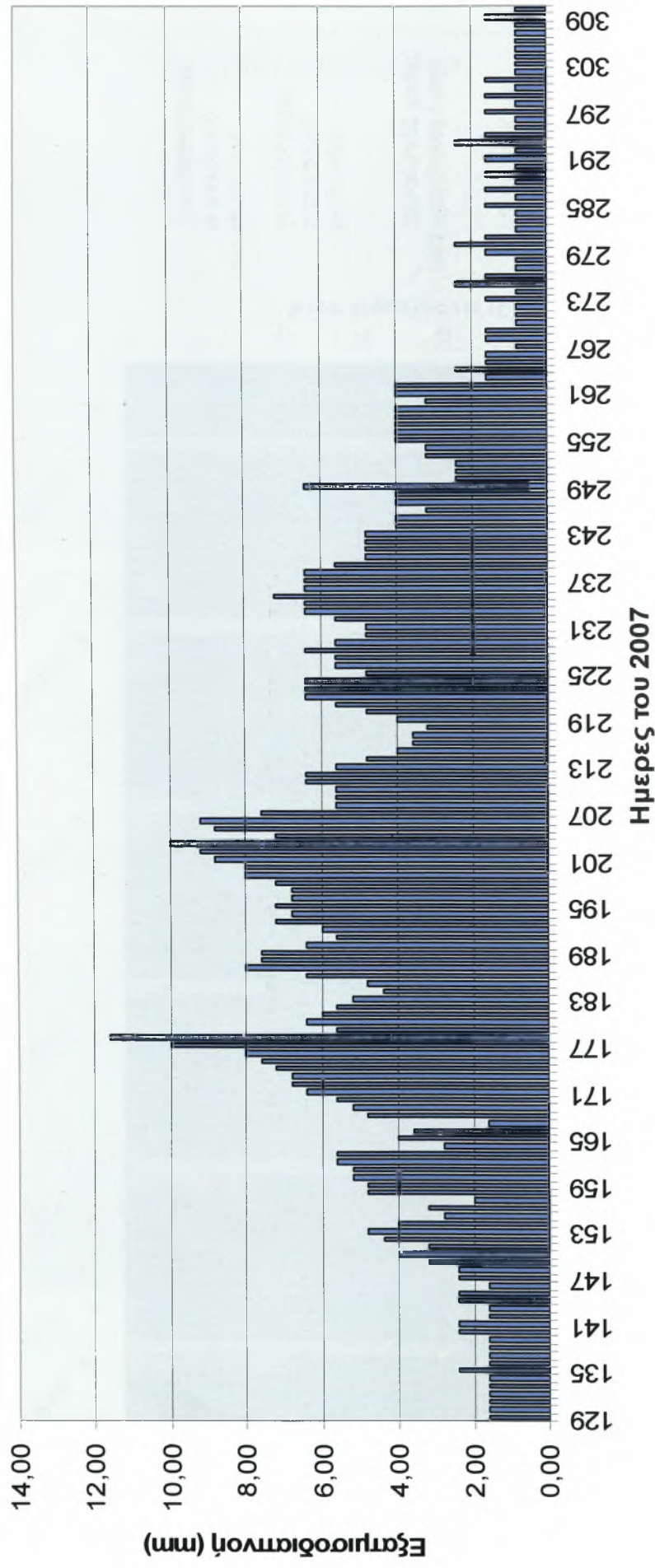
Διάγραμμα 4.2. Σύγκριση μέσων όρων βροχόπτωσης της καλλιεργητικής περιόδου 2007 με αυτών της τελευταίας 25ετίας.

Σύγκριση κλιματικών δεδομένων του 2007 με αυτά της τελευταίας 25ετίας



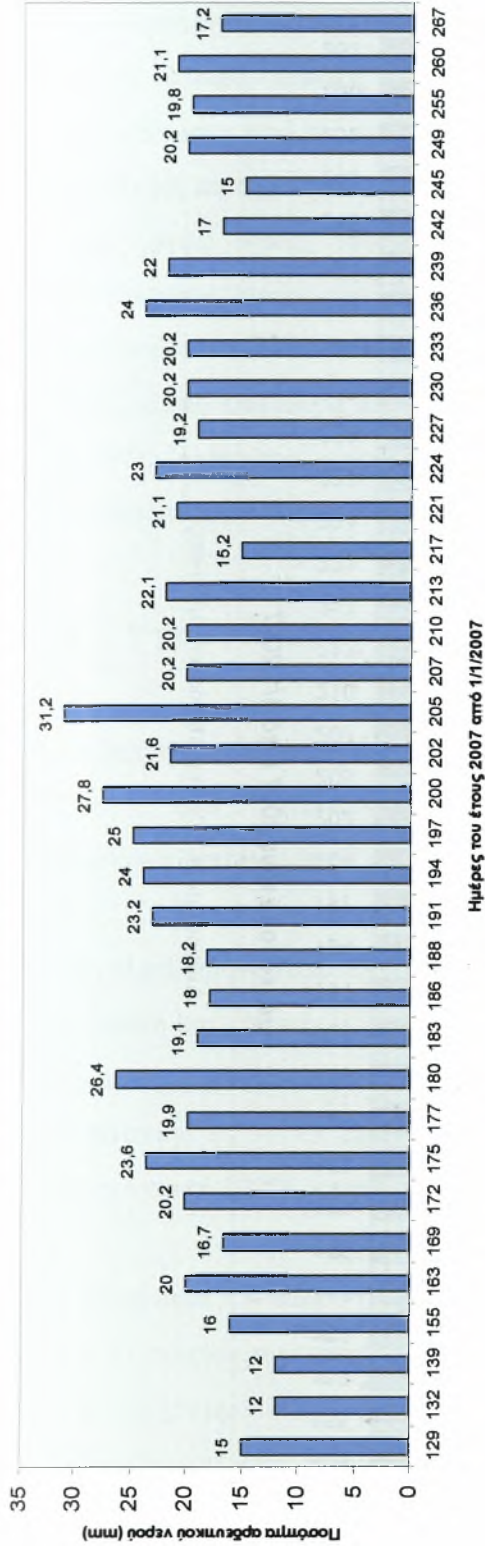
Διάγραμμα 4.3. Κλιματικά δεδομένα πειραματικού αγρού.

Χρονική εξέλιξη της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής την καλλιεργητική περίοδο του 2007



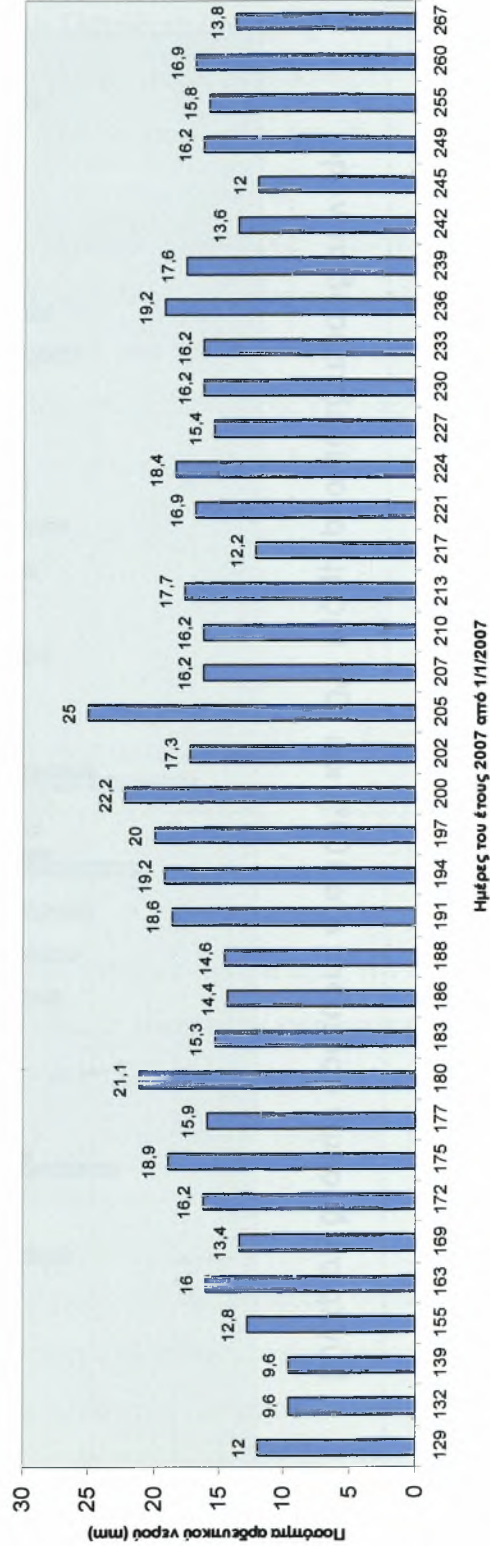
Διάγραμμα 4.4. Διακύμανση της εξάτμισης κατά τη διάρκεια του περιόδου.

Δόσεις άρδευσης στο 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής



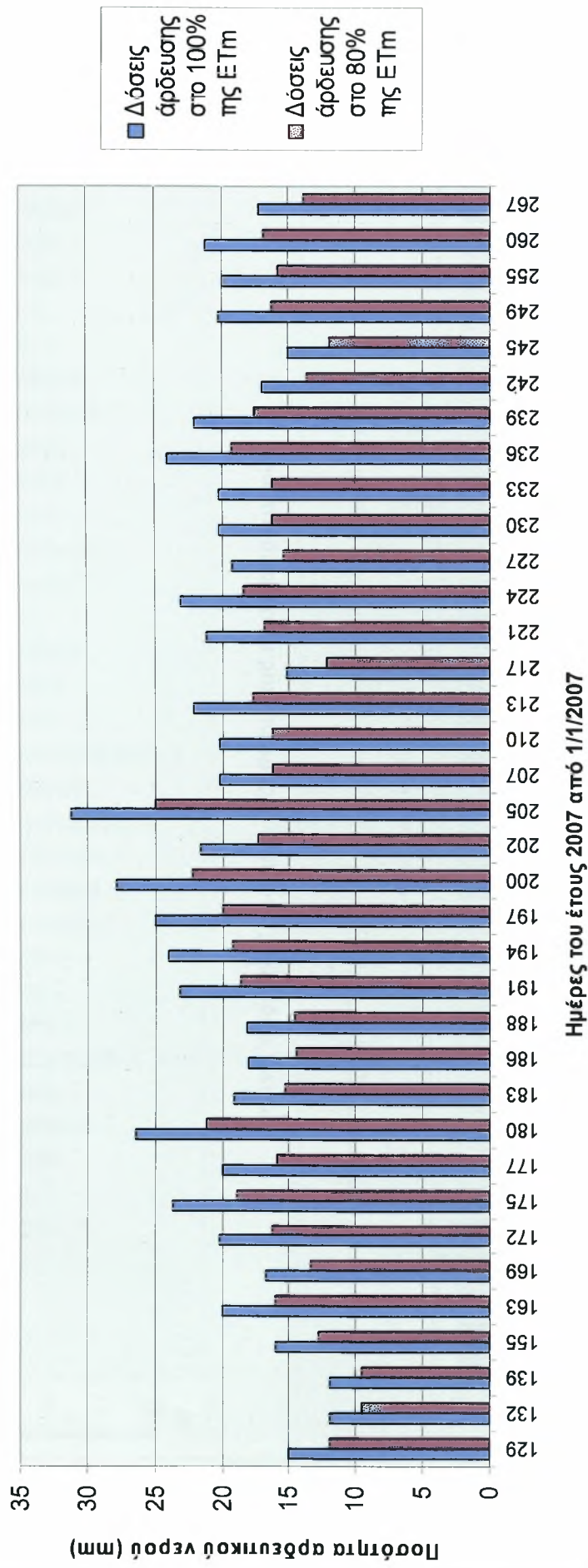
Διάγραμμα 4.5. Δόσεις άρδευσης στην επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100% της ΕΤμ.

Δόσεις άρδευσης στο 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής



Διάγραμμα 4.6. Δόσεις άρδευσης στην υπόγεια και επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80% της ΕΤμ.

Σύγκριση δόσεων άρδευσης στο 100% και 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής



Διάγραμμα 4.7. Σύγκριση δόσεων άρδευσης.

4.1.1 Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 δεν υπήρχε καθόλου βροχόπτωση για τους μήνες Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο ενώ τους υπόλοιπους μήνες (Μάιος, Ιούνιος και Αύγουστος) παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης από τις αντίστοιχες τιμές της 25ετίας. Οι θερμοκρασίες του αέρα ήταν ηπιότερες σε σχέση με την τελευταία 25ετία. Επίσης οι τιμές των βροχοπτώσεων για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Αύγουστο ήταν αρκετά μικρότερες έναντι των αντίστοιχων τιμών των βροχοπτώσεων της 25ετίας. Όπως προκύπτει λοιπόν το καλοκαίρι του 2007 ήταν πιο ξηρό σε σχέση με το μέσο όρο της τελευταίας 25ετίας. Κάτι τέτοιο επιβάλλει ακόμα περισσότερο την εφαρμογή επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης, μέθοδοι που ωφελούν την εξοικονόμηση και τη σωστή διαχείριση του αρδευτικού νερού.

4.2 Υγρασία εδάφους

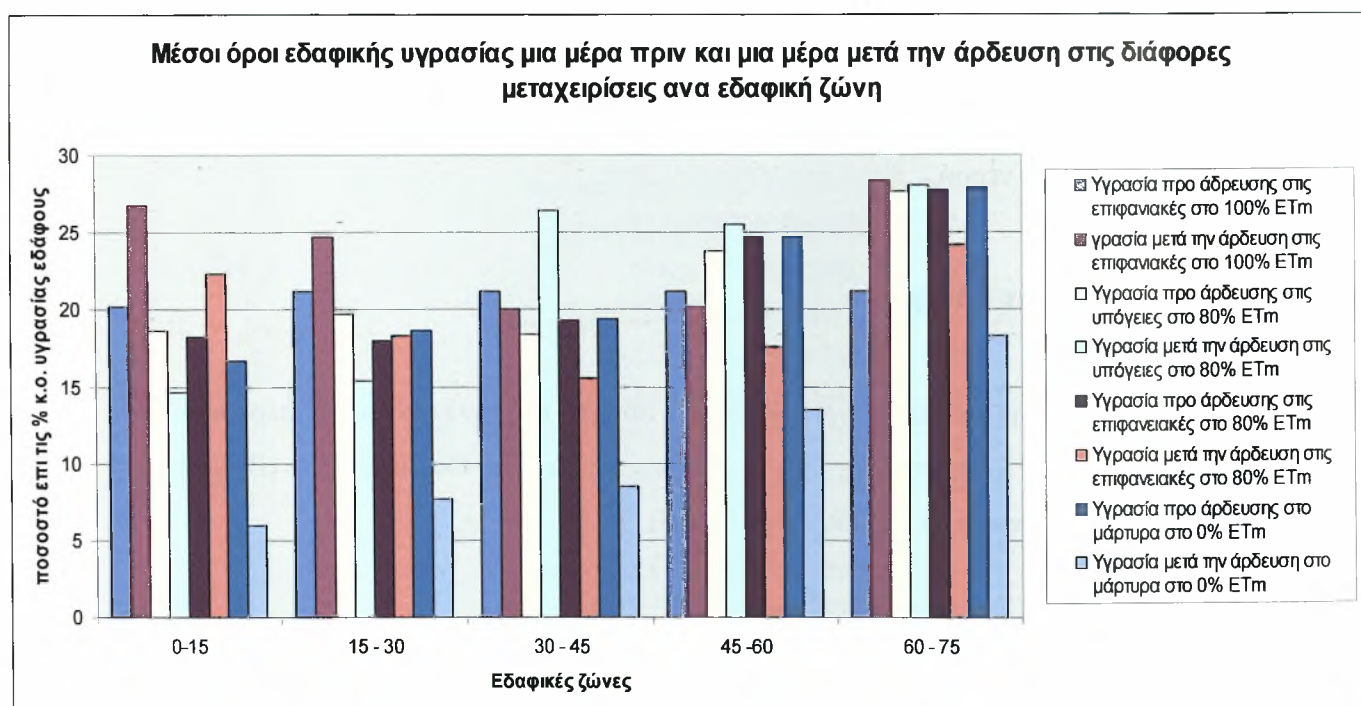
Οι μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας για το σύνολο της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Βελεστίνο) πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο του T.D.R..

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 68 μετρήσεις. Κάποιες ήταν μια ημέρα πριν την κάθε άρδευση και κάποιες άλλες μία ημέρα μετά από αυτήν, με σκοπό την καταγραφή της εδαφικής υγρασίας και τις διακυμάνσεις αυτής σε ολόκληρο το εύρος της εδαφικής κατατομής (0 – 75 cm) και για το σύνολο των μεταχειρίσεων (υπόγεια 80%, επιφανειακή 100%, επιφανειακή 80% και μάρτυρας).

Στον πίνακα 4.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των επαναλήψεων που έτυχαν διαφορετικής μεθοδολογίας άρδευσης. Στο διάγραμμα 4.8 απεικονίζονται οι μέσοι όροι όλων των μετρήσεων εδαφικής υγρασίας μια μέρα πριν και μια μέρα μετά την άρδευση στις διάφορες μεταχειρίσεις ανά εδαφική ζώνη. Στον πίνακα 4.5 απεικονίζονται όλες οι μετρήσεις υγρασίας που πραγματοποιήθηκαν την καλλιεργητική περίοδο του 2007 στο Βελεστίνο.

Πίνακας 4.4. Διακύμανση εδαφικής υγρασίας για το σύνολο των μεταχειρίσεων πριν την άρδευση και δύο ημέρες μετά από αυτήν.

Εδαφικές Ζώνες	Επιφανειακή 100% της ETm Πριν (% κ.ο.)	Επιφανειακή 100% της ETm Μετά (% κ.ο.)	Υπόγεια 80% της ETm Πριν (% κ.ο.)	Υπόγεια 80% της ETm Μετά (% κ.ο.)	Επιφανειακή 80% της ETm Πριν (% κ.ο.)	Επιφανειακή 80% της ETm Μετά (% κ.ο.)	Μάρτυρας 0% της ETm Πριν (% κ.ο.)	Μάρτυρας 0% της ETm Μετά (% κ.ο.)
0-15	20,20	26,70	18,60	14,60	18,20	22,30	16,70	6,00
15 - 30	21,20	24,70	19,70	15,40	18,00	18,30	18,60	7,70
30 - 45	20,8	20,00	18,4	26,40	19,30	15,50	19,40	8,5
45 -60	25,8	20,20	23,80	25,50	24,70	17,60	24,70	13,50
60 - 75	29,40	28,40	27,60	28,00	27,70	24,20	27,90	18,30



Διάγραμμα 4.8. Μέσοι όροι εδαφικής υγρασίας μια μέρα πριν και μια μετά την άρδευση στις διάφορες μεταχειρίσεις ανά εδαφική ζώνη.

Στο διάγραμμα 4.8 παρατηρούμε ότι στη ζώνη 30 – 60 cm (περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος του σόργου) η υπόγεια άρδευση στο 80 % της ETm έχει καλύτερες τιμές υγρασίας εδάφους πλησίον της υδατοϊκανότητας σε σχέση με την επιφανειακή στο 100 % της ETm παρόλο που είναι μειωμένη κατά 20 % στη ποσότητα αρδευτικού νερού. Αυτό δείχνει την αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου στη διατήρηση επαρκούς υγρασίας στο ριζικό σύστημα των φυτών με ταυτόχρονη εξοικονόμηση μεγάλης ποσότητας αρδευτικού νερού. Η μειωμένη εξάτμιση λόγω της υπόγειας εφαρμογής του αρδευτικού νερού αλλά και της απευθείας εφαρμογής αυτού στο ενεργό ριζόστρωμα των φυτών είναι οι λόγοι αυτού του αποτελέσματος.

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

Σκοπός άλλωστε των μετρήσεων ήταν η ορθολογική χρήση του νερού άρδευσης. Δηλαδή πέραν των αναγκών της καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό εξαιτίας της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής η αναγκαία συνθήκη για την απαρχή μιας νέας άρδευσης ήταν η διατήρηση της εδαφικής υγρασίας πλησίον της υδατοϊκανότητας στο κομμάτι του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών (μεταξύ των 30 και 60 cm).

Κάτι τέτοιο βέβαια δεν ήταν εφικτό να γίνει σε καμία άλλη μεταχείριση πέραν της υπόγειας στάγδην άρδευσης, διότι μία τέτοια προσπάθεια θα είχε ως αποτέλεσμα τη διατήρηση υψηλών τιμών εδαφικής υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής άρα και σημαντικές απώλειες νερού λόγω εξάτμισης. Για το σκοπό αυτό άλλωστε το υπόγειο δίκτυο τοποθετήθηκε στα 45 cm βάθος.

4.2.1 Συμπεράσματα

Οι τιμές υγρασίας του εδάφους στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών (30 – 60 cm) έδειξαν μια σαφή ποιοτική υπεροχή της υπόγειας άρδευσης έναντι των υπολοίπων μεθόδων, εξαιτίας της διατήρησης των τιμών υγρασίας πλησίον της υδατοϊκανότητας πριν και μετά το πέρας της κάθε άρδευσης, με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω επιφανειακής εξάτμισης. Επιβεβαιώθηκε έτσι και η ορθή πρακτική της τοποθέτησης του υπόγειου δικτύου σε βάθος 45 cm για τη συγκεκριμένη μορφή και λειτουργία του πειράματος. Η διατήρηση των τιμών της εδαφικής υγρασίας στις υπόγειες στάγδην επαναλήψεις πλησίον της τιμής της υδατοϊκανότητας ($FC = 21,2 \%$), παράλληλα με την ικανοποίηση των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό σε ποσοστό 80% και σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές παραγωγικότητας όπως θα δούμε παρακάτω (ύψος και δείκτης φυλλικής επιφάνειας), επιβεβαιώνει τον κανόνα της ορθολογικής διαχείρισης του αρδευτικού νερού με τη χρήση αυτής της μεθόδου.

Κεφάλαιο 5

Ύψος Φυτών

5.1 Αποτελέσματα – Συζήτηση

Στον πίνακα 5.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων του ύψους για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης. Στα διαγράμματα 5.1, 5.2 και 5.3 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων του ύψους της καλλιέργειας για όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 στο Βελεστίνο.

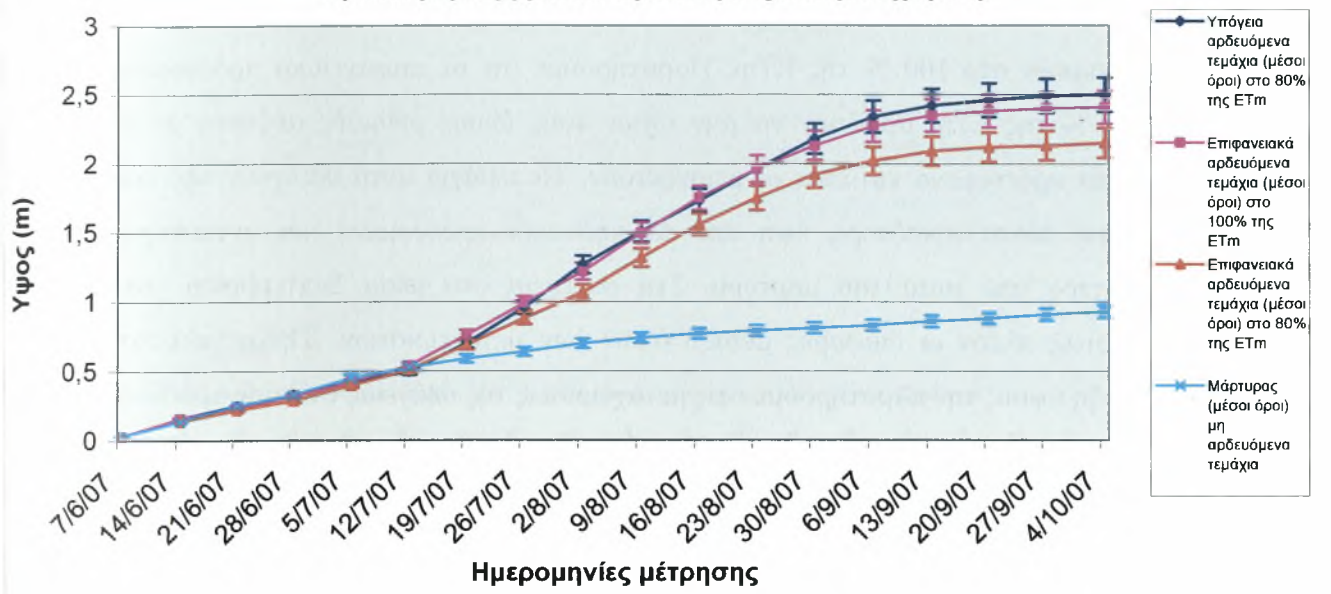
Πίνακας 5.1. Μέσοι όροι και μέγιστες τιμές των μετρήσεων του ύψους.

Ημερ/νια μέτρησης	Μέγιστες τιμές υψών και αντίστοιχοι μέσοι όροι ανά μεταχείριση (m)								
	Υπόγεια 80%		Επιφανειακή 100%		Επιφανειακή 80%		Μάρτυρας		Μέγιστη τιμή ανεξαρτήτου μεταχείρισης
	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	
7/6/2007	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,5
14/6/2007	0,23	0,16	0,24	0,16	0,20	0,14	0,20	0,14	0,24
21/6/2007	0,32	0,25	0,42	0,24	0,28	0,22	0,37	0,25	0,42
28/6/2007	0,47	0,33	0,52	0,32	0,38	0,29	0,46	0,33	0,52
5/7/2007	0,57	0,42	0,62	0,42	0,56	0,40	0,61	0,45	0,62
12/7/2007	0,78	0,50	0,78	0,54	0,75	0,51	0,74	0,53	0,78
19/7/2007	0,93	0,70	0,94	0,76	0,98	0,69	0,81	0,59	0,98
26/7/2007	1,24	0,96	1,47	0,99	1,29	0,88	0,93	0,64	1,47
2/8/2007	1,59	1,27	1,73	1,22	1,61	1,07	1,12	0,70	1,73
9/8/2007	1,80	1,51	2,01	1,50	1,78	1,32	1,13	0,74	2,10
16/8/2007	1,98	1,73	2,27	1,75	1,93	1,56	1,14	0,77	2,27
23/8/2007	2,32	1,96	2,48	1,96	2,12	1,75	1,16	0,79	2,48
30/8/2007	2,54	2,18	2,56	2,13	2,33	1,92	1,18	0,81	2,56
6/9/2007	2,64	2,34	2,74	2,27	2,39	2,02	1,20	0,83	2,64
13/9/2007	2,74	2,42	2,85	2,35	2,42	2,09	1,22	0,86	2,85
20/9/2007	2,77	2,46	2,89	2,38	2,45	2,12	1,25	0,88	2,89
27/9/2007	2,79	2,49	2,92	2,40	2,47	2,13	1,29	0,91	2,92
4/10/2007	2,80	2,5	2,94	2,41	2,49	2,15	1,33	0,93	2,94

Παρατηρούμε ότι ο τελικός μέσος όρος ύψους στο μάρτυρα δεν ξεπέρασε τα 93 cm με μέγιστη τιμή τα 133 cm. Στην υπόγεια στάγδην άρδευση ο τελικός μέσος όρος ήταν 250 cm με μέγιστη τιμή τα 280 cm. Στην επιφανειακή στάγδην άρδευση στο

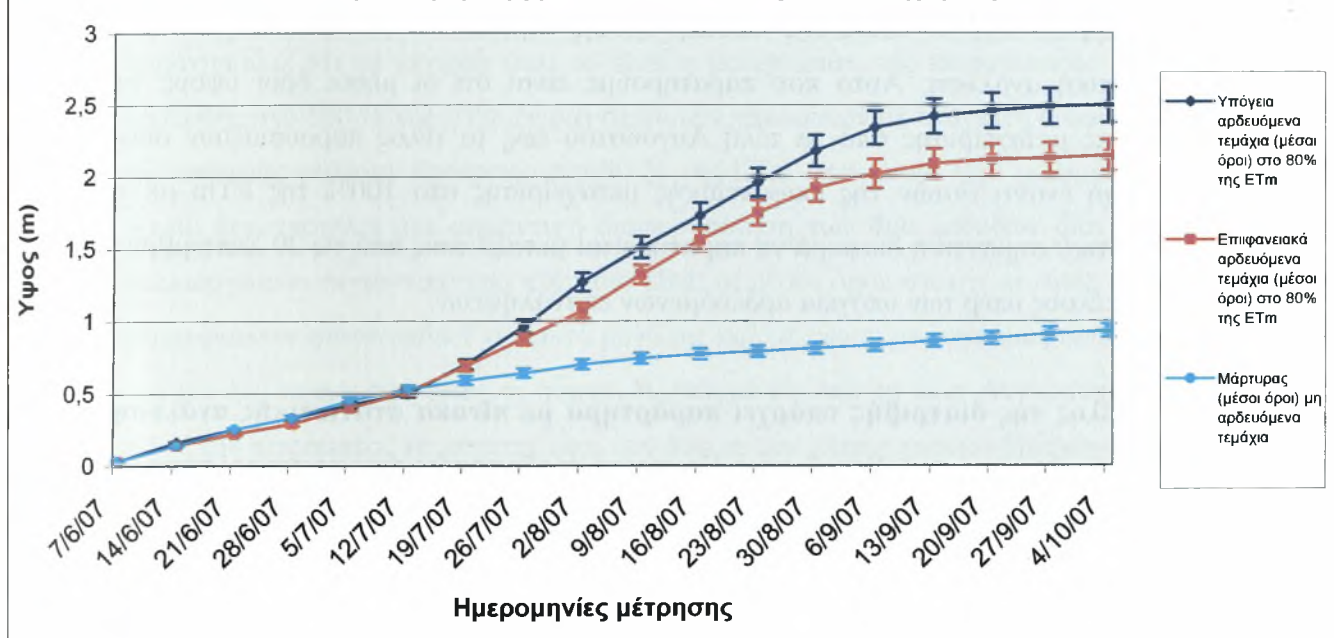
100% της ETm ο τελικός μέσος όρος ήταν 241 cm με μέγιστη τιμή τα 294 cm ενώ στην επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80 % της ETm ο τελικός μέσος όρος ήταν 215 cm με μέγιστη τιμή τα 249 cm.

Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανα μεταχείριση



Διάγραμμα 5.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανά μεταχείριση.

Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανά μεταχείριση

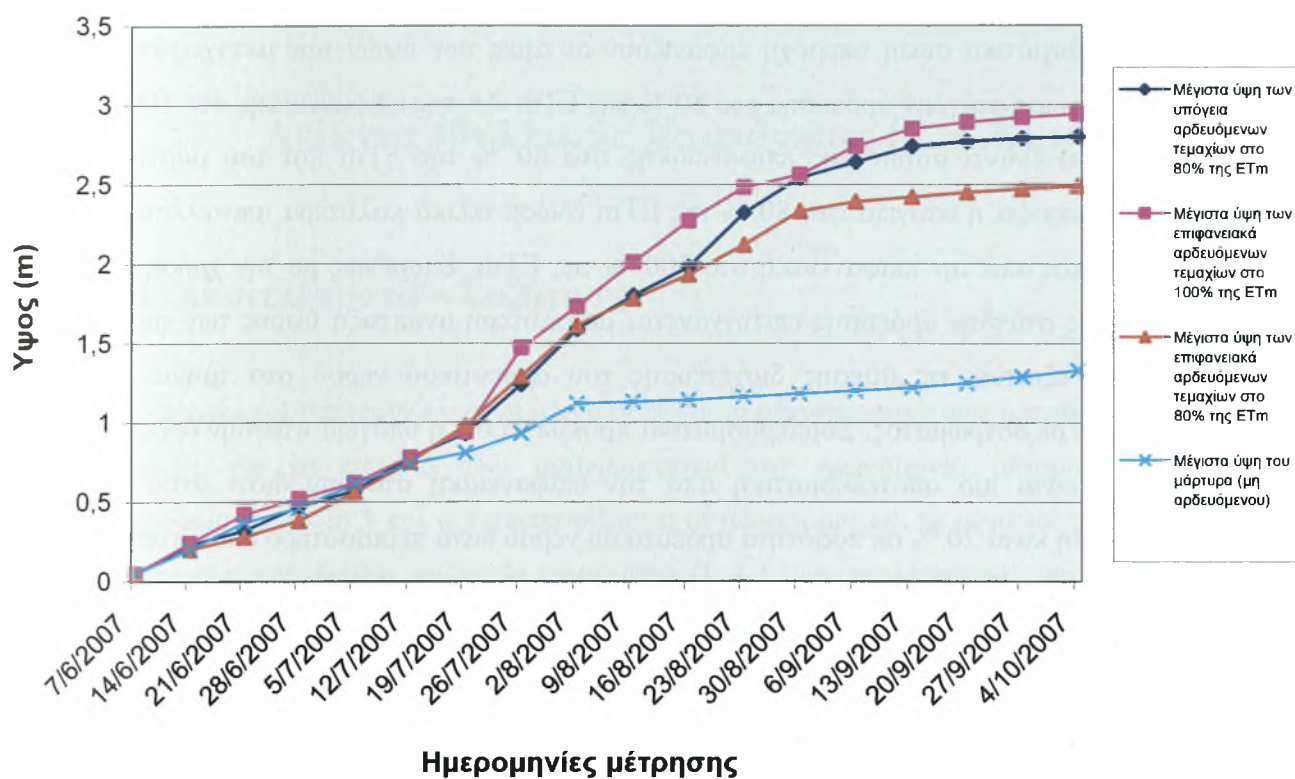


Διάγραμμα 5.2. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων ύψους ανά μεταχείριση.

Από τα διαγράμματα 5.1 και 5.2 φαίνεται ότι μέχρι και τα μέσα Ιουλίου του 2007 όλες οι μεταχειρίσεις δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Από τις 19 Ιουλίου όμως παρατηρούμε ότι όλες οι αρδευόμενες μεταχειρίσεις εμφανίζουν μια διαφοροποίηση έναντι του μάρτυρα. Στη συνέχεια βλέπουμε ότι από τα τέλη Ιουλίου έχει αρχίσει και η διαφοροποίηση των τιμών του ύψους στα επιφανειακά αρδευόμενα τεμάχια στο 80 % της ETm από εκείνα των υπόγειων στο 80 % της ETm και των επιφανειακών στο 100 % της ETm. Παρατηρούμε ότι τα επιφανειακά αρδευόμενα στο 80 % της ETm αρχίζουν να μην έχουν τους ίδιους ρυθμούς αύξησης με τα υπόλοιπα αρδευόμενα και έτσι να μειονεκτούν. Τα τεμάχια αυτά θα έχουν από εδώ και πέρα πάντα μικρότερα ύψη από τα υπόλοιπα αρδευόμενα και αντιστοίχως μεγαλύτερα από αυτά του μάρτυρα. Στη συνέχεια στα μέσα Σεπτεμβρίου είναι ευδιάκριτες πλέον οι διαφορές μεταξύ όλων των μεταχειρίσεων. Την μεγαλύτερη ανάπτυξη ύψους την παρατηρούμε στις μεταχειρίσεις της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm. Ακολουθεί η μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm και τελευταία έρχεται η μεταχείριση του μάρτυρα. Από τα μέσα Σεπτεμβρίου και μέχρι το τέλος παρατηρείται μια σταθεροποίηση του ύψους σε όλες συνολικά τις μεταχειρίσεις. Τα υπόγεια αρδευόμενα τεμάχια στο 80 % της ETm και τα επιφανειακά στο 100 % της ETm διαφέρουν στατιστικά σημαντικός από τις 20 Σεπτεμβρίου έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 όπως έδειξε η στατιστική ανάλυση. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι οι μέσοι όροι ύψους της υπόγειας μεταχείρισης από τα τέλη Αυγούστου έως το τέλος παρουσιάζουν σαφή υπεροχή έναντι αυτών της επιφανειακής μεταχείρισης στο 100% της ETm με τη στατιστικά σημαντική διαφορά να παρατηρείται μεταξύ τους από τις 20 Σεπτεμβρίου μέχρι τέλους υπέρ των υπόγεια αρδευόμενων επαναλήψεων.

Στο τέλος της διατριβής υπάρχει παράρτημα με πίνακα στατιστικής ανάλυσης που αναφέρει τις σημαντικότητες όλων των συνδυασμών των μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης ξεχωριστά όσον αφορά τον παράγοντα «ύψος φυτών».

Χρονική εξέλιξη των μέγιστων υψών ανά μεταχείριση



Διάγραμμα 5.3. Χρονική εξέλιξη των μέγιστων υψών ανά μεταχείριση.

Στο διάγραμμα 5.3 βλέπουμε την εξέλιξη των μέγιστων υψών ανά μεταχείριση και παρατηρούμε ότι τα μέγιστα ύψη τα δίνει η μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm έναντι όλων των υπολοίπων με ελάχιστη διαφορά αυτή της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm όπου είναι λίγο μειωμένα. Κάτι τέτοιο δεν αποτελεί μια σημαντική διαφοροποίηση των δυο μεθόδων διότι σε μια καλλιέργεια το σημαντικότερο κριτήριο είναι οι μέσοι όροι και όχι οι τιμές κάποιων μεμονωμένων φυτών ειδικά για φυτά μεγάλης καλλιέργειας με μεγάλους πληθυσμούς ανά μονάδα επιφάνειας όπως το σόργο. Βλέπουμε ότι από τα τέλη Αυγούστου έως το τέλος του πειράματος τα μέγιστα ύψη των δύο αυτών μεταχειρίσεων βρίσκονται πολύ κοντά σαν τιμές και η υπεροχή της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm έναντι της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm όσον αφορά τα μέγιστα ύψη είναι αμελητέα.

5.2 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά σαφή υπεροχή εμφανίζουν οι τιμές των υψών των μεταχειρίσεων της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm και της επιφανειακής στο 100 % της ETm έναντι αυτών της επιφανειακής στο 80 % της ETm και του μάρτυρα. Προκύπτει ότι η υπόγεια στο 80 % της ETm έδωσε τελικά καλύτερα αποτελέσματα ακόμα και από την επιφανειακή στο 100 % της ETm. Επομένως με την χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ανάπτυξη ύψους των φυτών κυρίως εξαιτίας τις άμεσης διοχέτευσης του αρδευτικού νερού στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος. Συμπερασματικά προκύπτει ότι η υπόγεια στάγδην άρδευση τελικά είναι πιο αποτελεσματική από την επιφανειακή στάγδην διότι έστω και μειωμένη κατά 20 % σε ποσότητα αρδευτικού νερού είναι περισσότερο αποδοτική με αποτέλεσμα να πλεονεκτεί σαν μέθοδο.

Κεφάλαιο 6

Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (L.A.I.)

6.1 Αποτελέσματα – Συζήτηση

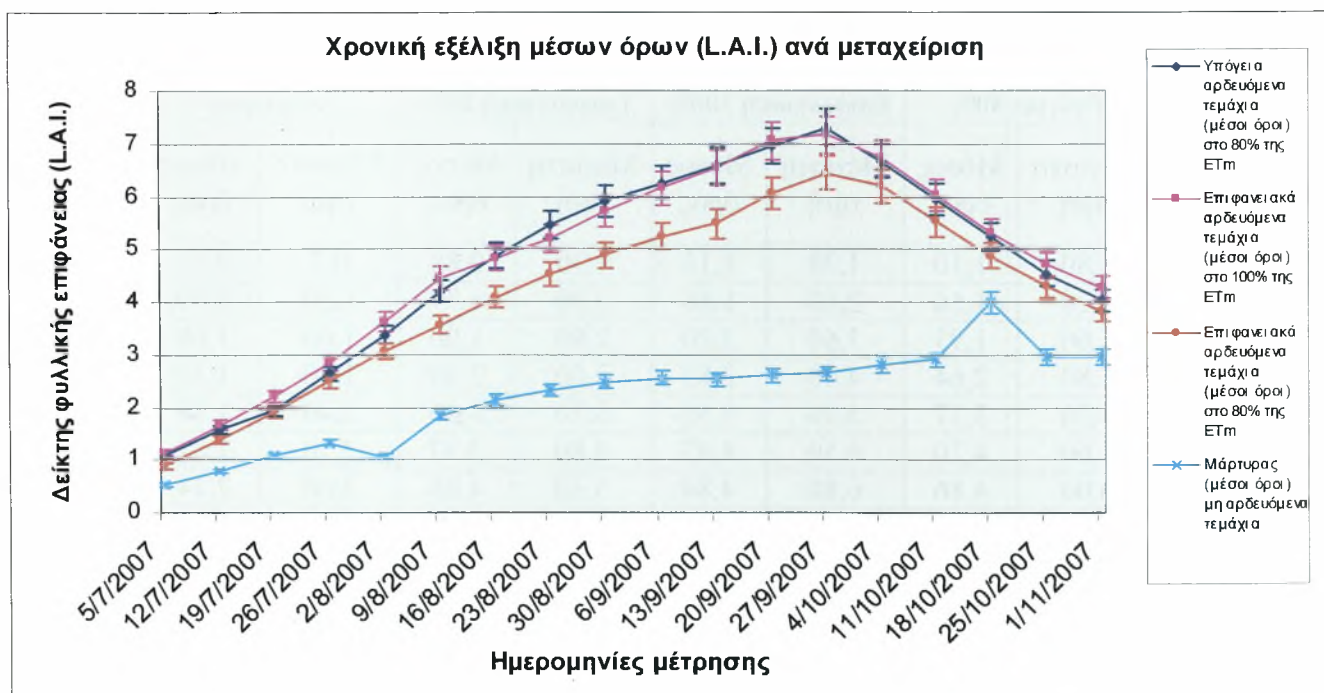
Στο πίνακα 6.1 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων του (L.A.I.) για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης. Στα διαγράμματα 6.1, 6.2 και 6.3 απεικονίζονται οι μέσοι όροι και οι μέγιστες τιμές των μετρήσεων του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) της καλλιέργειας για όλες τις μεταχειρίσεις καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 στο Βελεστίνο.

Πίνακας 6.1. Μέσοι όροι και μέγιστες τιμές των μετρήσεων του L.A.I. για το σύνολο των μεταχειρίσεων ανά ημερομηνία μέτρησης.

Ημερ/νια μέτρησης	Μέγιστες τιμές (L.A.I.) και αντίστοιχοι μέσοι όροι ανά μεταχείριση								
	Υπόγεια 80%		Επιφανειακή 100%		Επιφανειακή 80%		Μάρτυρας		Μέγιστη τιμή ανεξαρτήτου μεταχείρισης
	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	
5/7/2007	1,80	1,10	1,70	1,13	1,30	0,88	0,7	0,52	1,80
12/7/2007	2,20	1,56	2,60	1,66	2,00	1,39	1,20	0,79	2,60
19/7/2007	2,60	1,93	3,60	2,20	2,80	1,90	1,60	1,08	3,60
26/7/2007	3,80	2,64	4,40	2,83	3,00	2,49	1,80	1,32	4,40
2/8/2007	4,30	3,37	5,30	3,62	3,70	3,06	2,40	1,06	5,30
9/8/2007	5,60	4,20	6,50	4,45	4,80	3,57	2,70	1,84	6,50
16/8/2007	6,00	4,86	6,80	4,84	5,30	4,08	3,00	2,14	6,80
23/8/2007	6,70	5,46	7,30	5,21	5,90	4,53	3,30	2,33	7,30
30/8/2007	7,00	5,90	7,80	5,72	6,20	4,89	3,70	2,48	7,80
6/9/2007	7,40	6,25	8,20	6,15	6,60	5,23	4,10	2,56	8,20
13/9/2007	7,80	6,58	8,60	6,54	6,80	5,48	3,70	2,53	8,60
20/9/2007	8,20	6,96	9,00	7,05	7,40	6,05	3,60	2,60	9,00
27/9/2007	8,50	7,30	8,80	7,16	7,60	6,44	3,50	2,65	8,80
4/10/2007	8,20	6,67	8,10	6,72	7,60	6,19	3,80	2,81	8,10
11/10/2007	7,50	5,93	7,50	6,03	7,20	5,52	3,70	2,90	7,5
18/10/2007	6,70	5,24	6,90	5,30	6,30	4,87	3,80	3,99	6,90
25/10/2007	6,20	4,54	6,30	4,70	5,70	4,29	3,80	2,97	6,30
1/11/2007	5,60	4,02	6,20	4,27	5,20	3,81	3,80	2,94	6,20

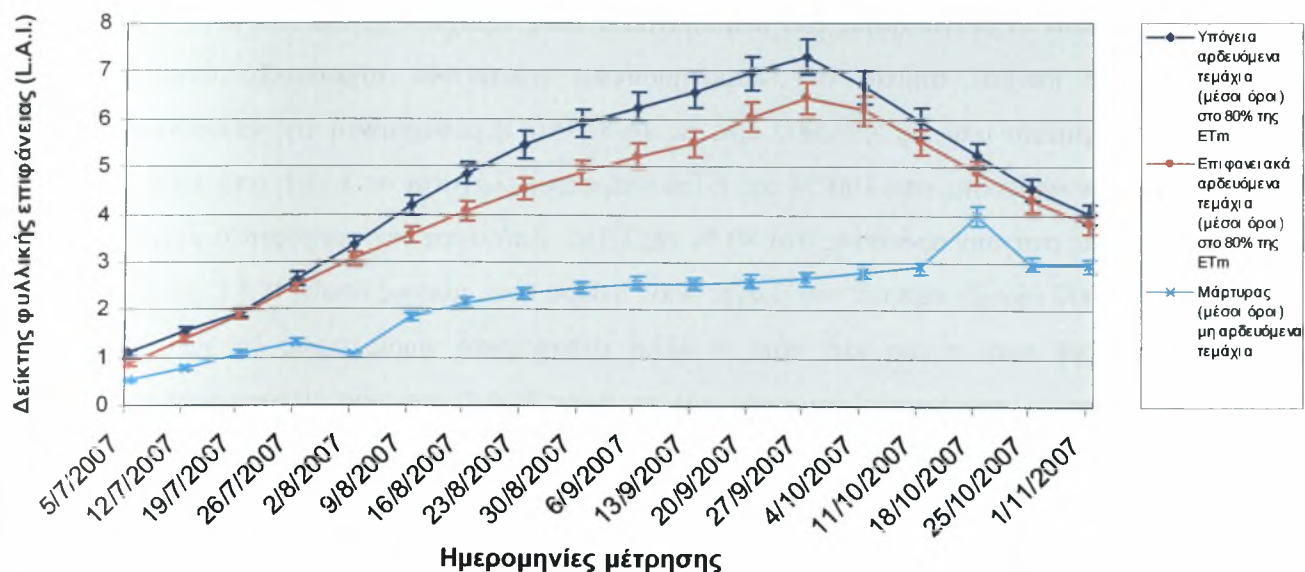
Η τιμή πέντε (5) για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας έχει να κάνει με την αναγκαία και ικανή συνθήκη φυτοκάλυψης. Έτσι η τιμή πέντε (5) αντιστοιχεί στο 90 % της φυτοκάλυψης. Η τιμή τρία (3) αντιστοιχεί στο 50 % της φυτοκάλυψης και η τιμή (6) για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας έχει να κάνει με την αναγκαία και ικανή συνθήκη φυτοκάλυψης της επιφάνειας του εδάφους από το σύνολο των φύλλων της καλλιέργειας που υποστηρίζει (σε ποσοστό 99 %), ώστε να ενεργοποιείται πλήρως η φωτοσυνθετική δραστηριότητα αυτής. (Dercas, N., Liakatas A, 1999).

Το ποσοστό φυτοκάλυψης μίας καλλιέργειας επί του εδάφους που την αναλαμβάνει δίνεται από τη σχέση: ποσοστό φυτοκάλυψης (%) = $1 - e^{-0.6 * L.A.I.}$



Διάγραμμα 5.1. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων L.A.I. ανά μεταχείριση.

Χρονική εξέλιξη μέσων όρων (L.A.I.) ανά μεταχείριση

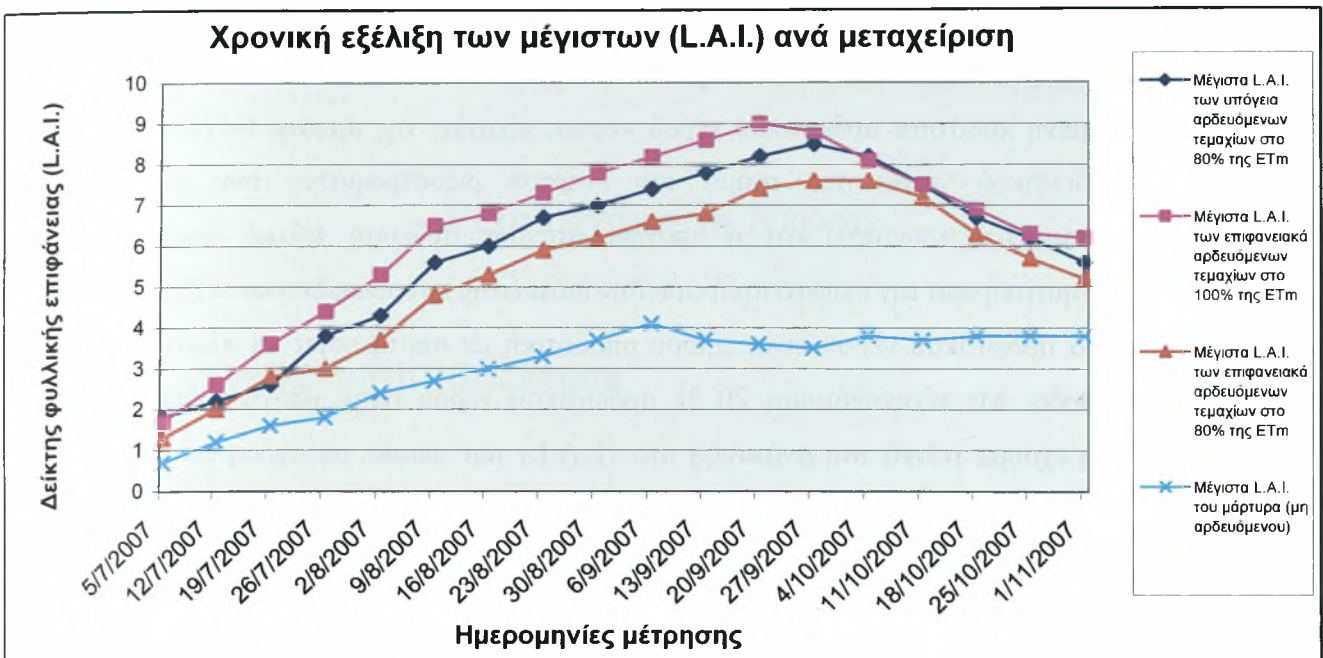


Διάγραμμα 5.2. Χρονική εξέλιξη μέσων όρων L.A.I. ανά μεταχείριση.

Όπως βλέπουμε από τα γραφήματα στην πρώτη μέτρηση στις 5/7/07 ήδη υπάρχει διαφοροποίηση των αρδευόμενων μεταχειρίσεων με αυτή του μάρτυρα και θα συνεχιστεί μέχρι και το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου του 2007. Ο μάρτυρας καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων θα εμφανίζει χαμηλές τιμές L.A.I. κάτω του (3) δηλαδή κάτω της αναγκαίας και ικανής συνθήκης φυτοκάλυψης. Μόνο για ένα διάστημα λιγότερο των 15 ημερών ανάμεσα στις ημερομηνίες 11/10/2007 έως 25/10/2007 ο μάρτυρας θα καταφέρει να ξεπεράσει την τιμή (3) χωρίς να ξεπερνά και πάλι την τιμή της αναγκαίας και ικανής συνθήκης φυτοκάλυψης δηλαδή το (5) (90 % της φυτοκάλυψης εδάφους). Όσον αφορά την μεταχείριση της υπόγειας στάγδην στο 80 % της ETm αυτή αρχίζει να διαφοροποιείται από τις υπόλοιπες αρδευόμενες από τις αρχές Αυγούστου και καθ' όλη την υπόλοιπη διάρκεια θα έχει σαφώς χαμηλότερες τιμές από αυτές. Την μεγαλύτερη τιμή θα την δώσει στις 27/9/2007 προσεγγίζοντας το 6,50. Από εκεί και πέρα θα παρουσιάζει αρνητικούς ρυθμούς αύξησης όπως και οι υπόλοιπες αρδευόμενες μεταχειρίσεις. Όπως προκύπτει από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων τόσο ο μάρτυρας όσο και η επιφανειακά αρδευόμενη μεταχείριση στο 80 % της ETm θα υποχωρούν καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων έναντι των άλλων μεταχειρίσεων. Επίσης και η επιφανειακά αρδευόμενη μεταχείριση στο 80 % της ETm θα υπερτερεί στατιστικά σημαντικός έναντι του μάρτυρα καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm και επιφανειακής στάγδην άρδευσης

στο 100 % της ETm βλέπουμε ότι καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων οι μέσοι όροι που δίνουν οι επαναλήψεις των πειραματικών τους τεμαχίων βρίσκονται πολύ κοντά και σε κανένα σημείο δεν παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Συγκεκριμένα από τις 5/7/2007 έως τις 16/8/2007 η μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm υπερτερεί ελάχιστα σε L.A.I. από αυτή της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm. Από αυτή την ημερομηνία μέχρι τις 27/9/2007 έχουμε κάποιες εναλλαγές όσον αφορά τους μέσους όρους L.A.I. με το να υπερτερεί πότε η μία και πότε η άλλη μεταχείριση χωρίς όμως να υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές και οι τιμές L.A.I των δύο μεταχειρίσεων να βρίσκονται πολύ κοντά. Από τότε όμως έως και την τελευταία μέτρηση στις 1/11/2007 παρατηρείται μια μικρή έως αμελητέα υπεροχή της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm έναντι της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm χωρίς να διαφέρει όμως στατιστικώς σημαντικά. Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι οι μεταχειρίσεις της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm δεν παρουσίασαν καμία στατιστική σημαντικότητα όσον αφορά την υπεροχή σε L.A.I. πότε της μίας και πότε της άλλης καθώς και ότι οι τιμές τους ήταν πάντα κοντά. Σε σχέση με τις άλλες δύο όμως μεταχειρίσεις εμφάνισαν σαφή υπεροχή καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Τέλος οι δύο αυτές μεταχειρίσεις εμφάνισαν υψηλές τιμές (L.A.I.) πάνω από (5) για μεγάλο χρονικό διάστημα (23/8/2007 έως 18/10/2007) γεγονός που υποδεικνύει την σημασία της άρδευσης στο συγκεκριμένο αυτό παραγωγικό χαρακτηριστικό.

Στο τέλος της διατριβής υπάρχει παράρτημα με πίνακα στατιστικής ανάλυσης που αναφέρει τις σημαντικότητες όλων των συνδυασμών των μεταχειρίσεων για κάθε ημερομηνία μέτρησης ξεχωριστά όσον αφορά το παράγοντα «L.A.I.».



Διάγραμμα 5.3. Χρονική εξέλιξη των μέγιστων τιμών L.A.I. ανά μεταχείριση.

Σε αυτό το διάγραμμα βλέπουμε την χρονική εξέλιξη των μέγιστων (L.A.I.) μεμονωμένων φυτών που μετρήθηκαν σε πειραματικά τεμάχια (επαναλήψεις) στο σύνολο των μεταχειρίσεων. Εδώ βλέπουμε ότι η μεταχείριση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης στο 100 % της ETm υπερτερεί όλων των άλλων ακόμα και της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εκτός δύο μετρήσεων (4/10 και 11/10). Όπως είπαμε όμως και στο κεφάλαιο των υψών κάτι τέτοιο δεν αποτελεί μια σημαντική διαφοροποίηση των δυο μεθόδων διότι σε μια καλλιέργεια το σημαντικότερο κριτήριο είναι οι μέσοι όροι και όχι οι τιμές κάποιων μεμονωμένων φυτών ειδικά για φυτά μεγάλης καλλιέργειας με μεγάλους πληθυσμούς ανά μονάδα επιφάνειας όπως το σόργο.

6.2 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά σαφή υπεροχή εμφανίζουν οι τιμές των (L.A.I) των μεταχειρίσεων της υπόγειας στάγδην άρδευσης στο 80 % της ETm και της επιφανειακής στο 100 % της ETm έναντι αυτών της επιφανειακής στο 80 % της ETm και του μάρτυρα. Προκύπτει ότι η υπόγεια στο 80 % της ETm είναι εξίσου σημαντική με την επιφανειακή στο 100 % της ETm όσον αφορά στο (L.A.I.) όπως έδειξε και η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Επομένως με την χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης, επιτυγχάνεται ίση ανάπτυξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών σε σχέση με την επιφανειακή, έστω και με μειωμένη ποσότητα αρδευτικού νερού κυρίως εξαιτίας της άμεσης διοχέτευσης του αρδευτικού νερού στο τμήμα του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών. Συμπερασματικά προκύπτει ότι η υπόγεια στάγδην άρδευση τελικά είναι πιο αποτελεσματική από την επιφανειακή στάγδην διότι έστω και μειωμένη κατά 20 % σε ποσότητα αρδευτικού νερού είναι εξίσου αποδοτική με αποτέλεσμα να πλεονεκτεί σαν μέθοδο. Με εξοικονόμηση 20 % αρδευτικού νερού στην υπόγεια στάγδην άρδευση έχουμε τελικά ίση ανάπτυξη στο (L.A.I.) των φυτών σε σχέση με το αν εφαρμόσουμε επιφανειακή στάγδην άρδευση.

Κεφάλαιο 7

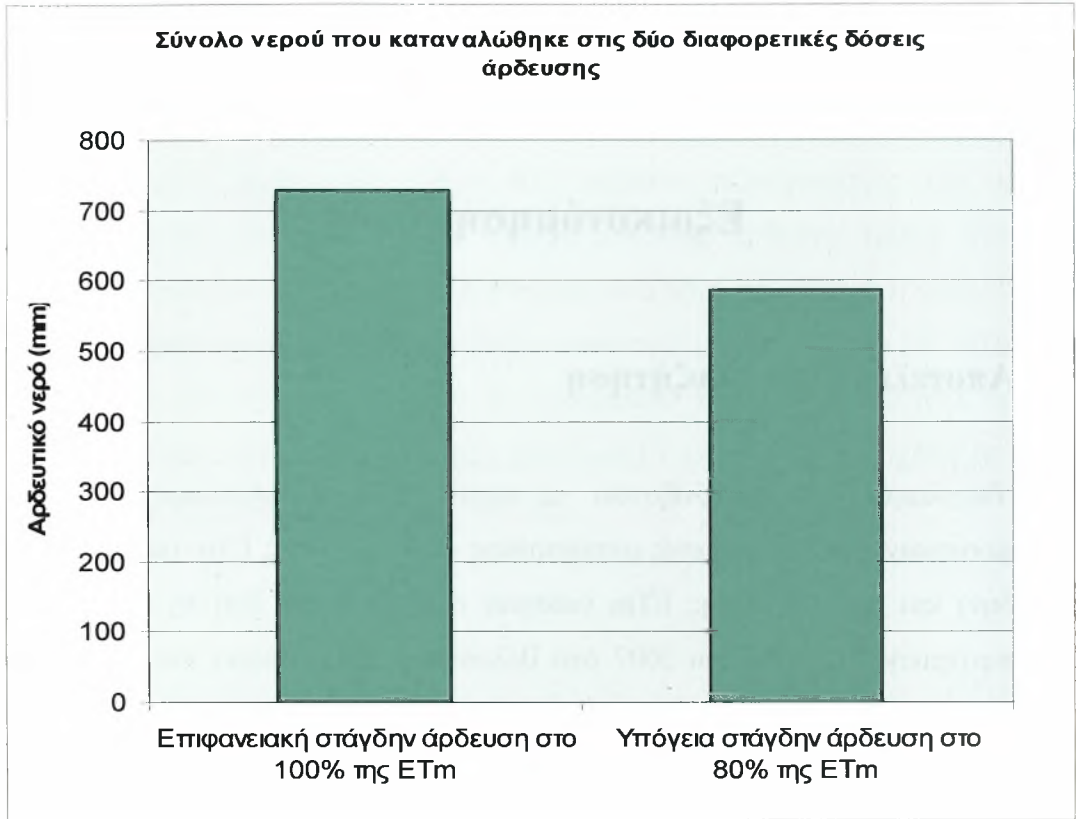
Εξοικονόμηση Νερού

7.1 Αποτελέσματα - Συζήτηση

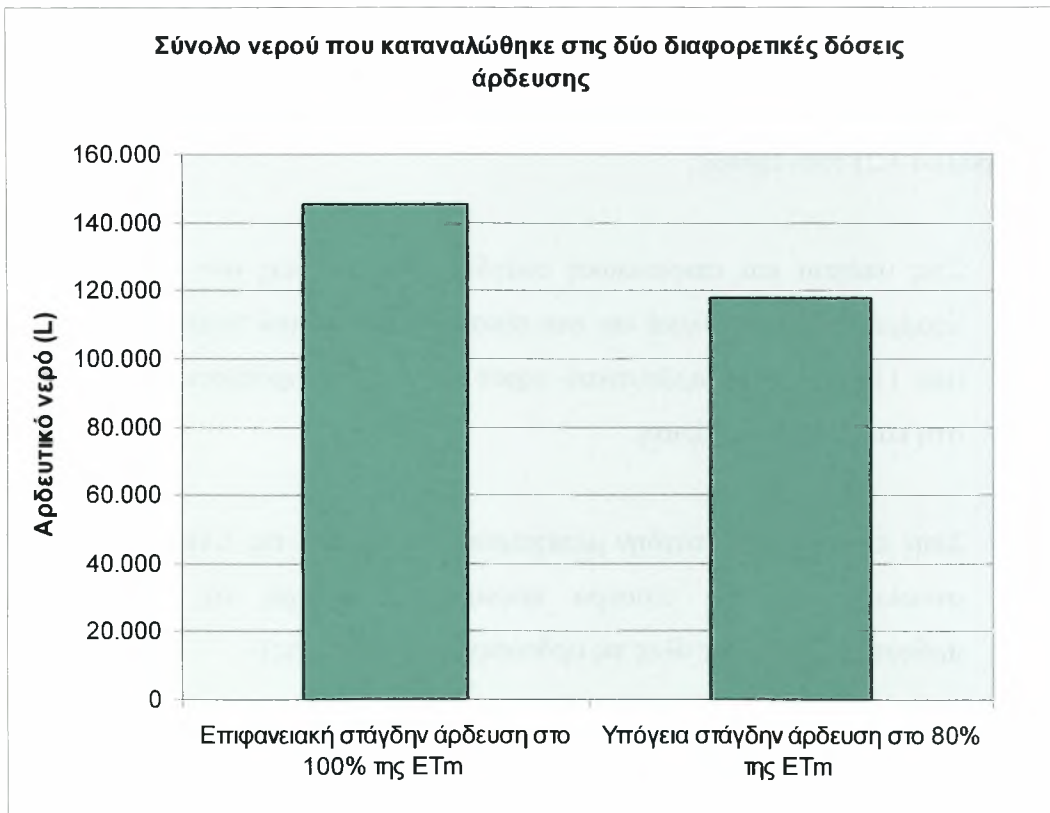
Στο διάγραμμα 7.1 απεικονίζονται τα συνολικά mm αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκαν στις αρδευόμενες μεταχειρίσεις στο 100 % της ETm (επιφανειακή – στάγδην) και στο 80 % της ETm (υπόγεια στάγδην) καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του 2007 στο Βελεστίνο. Στην υπόγεια και επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80 % ETm χορηγήθηκαν συνολικά 588 mm αρδευτικού νερού για την κάθε μία ενώ στην επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100 % της ETm χορηγήθηκαν συνολικά 727,60 mm αρδευτικού νερού. Οι ποσότητες χορηγήθηκαν βάσει υπολογισμών για την κάθε μεταχείριση με κύριο άξονα την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή.

Αν ανάγουμε τα χιλιοστά νερού, που εφαρμόστηκαν σε κάθε μεταχείριση, σε λίτρα (διάγραμμα 7.2) τότε έχουμε:

- Στις υπόγεια και επιφανειακή στάγδην μεταχειρίσεις στο 80 % της ETm εφαρμόστηκαν συνολικά και στα τέσσερα πειραματικά τεμάχια τις κάθε μίας από 117.600 λίτρα αρδευτικού νερού σε όλες τις αρδεύσεις (37 αρδεύσεις) στη κάθε μία μεταχείριση.
- Στην επιφανειακή στάγδην μεταχείριση στο 100 % της ETm εφαρμόστηκαν συνολικά και στα τέσσερα πειραματικά τεμάχια της 145.520 λίτρα αρδευτικού νερού σε όλες τις αρδεύσεις (37 αρδεύσεις).



Διάγραμμα 7.1. Σύνολο αρδευτικού νερού σε (mm).



Διάγραμμα 7.2. Σύνολο αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε στα τέσσερα πειραματικά τεμάχια της κάθε μίας αρδευόμενης μεταχείρισης σε (L).

7.2 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για το ύψος των φυτών, το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.) και την υγρασία εδάφους, για το σύνολο των μεταχειρίσεων σε σχέση με τη συνολική ποσότητα νερού που χορηγήθηκε για την επίτευξη αυτών των τιμών, παρατηρούμε ότι στα πειραματικά τεμάχια της υπόγεια στάγδην άρδευσης επετεύχθησαν οι μέγιστοι μέσοι όροι. Συμπερασματικά η υπόγεια στάγδην άρδευση δίνει καλύτερες αποδόσεις από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο άρδευσης ακόμα και με μικρότερη ποσότητα εφαρμογής αρδευτικού νερού. Μπορούμε έτσι να κατανοήσουμε πόσο σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων θα μπορούσε να επιτύχει ένας παραγωγός χρησιμοποιώντας την υπόγεια στάγδην άρδευση όσον αφορά το κοστολόγιο του αρδευτικού νερού. Η υπεροχή αυτής της μεθόδου στην επίτευξη υψηλών αποδόσεων των διαφόρων παραγωγικών χαρακτηριστικών των φυτών με την ταυτόχρονη εξοικονόμηση αρδευτικού νερού την καθιστά σαν την πιο αποτελεσματική και σύγχρονη μέθοδο άρδευσης.

Κεφάλαιο 8

Τελικά Συμπεράσματα

8.1 Υγρασία εδάφους

- Οι τιμές υγρασίας του εδάφους στην περιοχή του ενεργού ριζοστρώματος των φυτών (30 – 60 cm) έδειξαν μια σαφή ποιοτική υπεροχή της υπόγειας άρδευσης έναντι των υπολοίπων μεθόδων, εξαιτίας της διατήρησης των τιμών υγρασίας πλησίον της υδατοϊκανότητας πριν και μετά το πέρας της κάθε άρδευσης, με την ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των απωλειών λόγω επιφανειακής εξάτμισης. Επιβεβαιώθηκε έτσι και η ορθή πρακτική της τοποθέτησης του υπόγειου δικτύου σε βάθος 45 cm για τη συγκεκριμένη μορφή και λειτουργία του πειράματος.

8.2 Ύψος φυτών

- Η υπόγεια στάγδην άρδευση υπερτερεί της επιφανειακής καθώς έχουμε εξοικονόμηση νερού και διατήρηση μεγάλων αποδόσεων όσον αφορά το ύψος.
- Στην υπόγεια στάγδην αρδευόμενη μεταχείριση στο 80 % της ETm έναντι της επιφανειακής στάγδην αρδευόμενης μεταχείρισης στο 80 % βλέπουμε μεγάλες διαφορές ύψους καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο του 2007 γεγονός που δείχνει την δυνατότητα εξοικονόμησης νερού στην μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης και ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητά της.
- Ο μάρτυρας τελικά δεν παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη ύψους και εδώ επιβεβαιώνετε η ανάγκη χορήγησης αρδευτικού νερού και στις καλλιέργειες

χαμηλών απαιτήσεων όταν επιδιώκεται η γρήγορη ανάπτυξη απουσία λιπαντικής αγωγής.

- Οι μεταχειρίσεις υπόγεια στάγδην άρδευση στο 80 % της ETm και επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100 % της ETm παρουσίασαν στατιστικά σημαντικές διαφορές υπέρ της υπόγειας στάγδην άρδευσης σε ένα μεγάλο χρονολογικό εύρος (από 20/9/2007 έως 4/10/2007) της καλλιεργητικής περιόδου του 2007.

8.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (L.A.I.)

- Η υπόγεια στάγδην άρδευση υπερτερεί της επιφανειακής καθώς έχουμε εξοικονόμηση νερού και διατήρηση μεγάλων αποδόσεων όσον αφορά το (L.A.I.).
- Στην υπόγεια στάγδην αρδευόμενη μεταχείριση στο 80 % της ETm έναντι της επιφανειακής στάγδην αρδευόμενης μεταχείρισης στο 80 % βλέπουμε μεγάλες διαφορές (L.A.I.) καθ' όλη την καλλιεργητική περίοδο του 2007 γεγονός που δείχνει την δυνατότητα εξοικονόμησης νερού στην μέθοδο της υπόγειας στάγδην άρδευσης και ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητά της.
- Ο μάρτυρας τελικά δεν παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη (L.A.I.) και η μέγιστη τιμή του έφτασε το (4,10) με την μεγαλύτερη περίοδο των μετρήσεων η τιμή του να μην ξεπερνά το (3). Εδώ φαίνεται πως επιβεβαιώνεται η ανάγκη χορήγησης αρδευτικού νερού και στις καλλιέργειες χαμηλών απαιτήσεων όταν επιδιώκεται η γρήγορη ανάπτυξη απουσία λιπαντικής αγωγής.
- Οι μεταχειρίσεις υπόγεια στάγδην άρδευση στο 80 % της ETm, επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100 % της ETm και επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80 % της ETm παίρνουν τις μέγιστες τιμές μέσο όρων (L.A.I.) την ίδια περίοδο ενώ αυτή του μάρτυρα 21 μέρες μετά. Αυτό είναι σημαντικό διότι εκείνη την περίοδο έχουμε ταχεία αύξηση στη βιομάζα του σόργου και τότε θέλουμε το φυτό να εμφανίζει μεγάλες τιμές (L.A.I.).

8.4 Εξοικονόμηση νερού

- Η υπόγεια στάγδην άρδευση δίνει καλύτερες αποδόσεις από οποιαδήποτε άλλη μέθοδο άρδευσης ακόμα και με μικρότερη ποσότητα εφαρμογής αρδευτικού νερού. Μπορούμε έτσι να κατανοήσουμε πόσο σημαντική εξοικονόμηση χρημάτων θα μπορούσε να επιτύχει ένας παραγωγός χρησιμοποιώντας την υπόγεια στάγδην άρδευση όσον αφορά το κοστολόγιο του αρδευτικού νερού.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακες στατιστικής ανάλυσης

Στους παρακάτω πίνακες (A1, A2) φαίνονται αναλυτικά οι σημαντικότητες όλων των συνδυασμών των μεταχειρίσεων σε κάθε ημερομηνία μέτρησης ξεχωριστά. Η στατιστική ανάλυση που ακολουθεί κρίθηκε αναγκαία να γίνει, για τα δυο σημαντικά παραγωγικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που μελετήθηκαν σε αυτή τη διατριβή (ύψος φυτών, L.A.I.), προκειμένου να πιστοποιηθεί η εμπιστοσύνη των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων.

Όπου:

SUB_2007 = υπόγεια στάγδην άρδευση στο 80% της ETm

SDI_2007 = επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 100% της ETm

SDIWL_2007 = επιφανειακή στάγδην άρδευση στο 80% της ETm

CON_2007 = μάρτυρας μη αρδευόμενος

Πίνακας Α1. Στατιστική ανάλυση ύψους φυτών για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

		Paired Samples Test										t	df	Sig. (2-tailed)
		Paired Differences					95% Confidence Interval of the Difference							
Ημερομηνία Μέτρησης		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper				
5/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,03500	,32720	,04224	-,11952	,04952	-,11952	,04952	-,829	59	,411		
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,21333	,25343	,03272	,14787	,27880	,14787	,27880	6,520	59	,000		
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,57167	,25650	,03311	,50540	,63793	,50540	,63793	17,263	59	,000		
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,24833	,28374	,03663	,17504	,32163	,17504	,32163	6,779	59	,000		
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,60667	,28156	,03635	,53393	,67940	,53393	,67940	16,690	59	,000		
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,35833	,22345	,02885	,30061	,41606	,30061	,41606	12,422	59	,000		
12/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,10167	,40818	,05270	-,20711	,00378	-,20711	,00378	-1,929	59	,059		
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,17000	,33258	,04294	,08409	,25591	,08409	,25591	3,959	59	,000		
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,76833	,33572	,04334	,68161	,85506	,68161	,85506	17,727	59	,000		
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,27167	,39104	,05048	,17065	,37268	,17065	,37268	5,381	59	,000		
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,87000	,39070	,05044	,76907	,97093	,76907	,97093	17,249	59	,000		
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,59833	,33217	,04288	,51253	,68414	,51253	,68414	13,953	59	,000		
19/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,27500	,52388	,06763	-,41033	-,13967	-,41033	-,13967	-4,066	59	,000		
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,02333	,41797	,05396	-,08464	,13131	-,08464	,13131	,432	59	,667		
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,85333	,39977	,05161	,75006	,95661	,75006	,95661	16,534	59	,000		

	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,29833	,51863	,06696	,16436	,43231	4,456	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,12833	,57493	,07422	,97981	1,27685	15,202	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,83000	,42438	,05479	,72037	,93963	15,149	59	,000
26/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-20000	,67473	,08711	-37430	-02570	-2,296	59	,025
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,14833	,54633	,07053	,00720	,28946	2,103	59	,040
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,32167	,60621	,07826	1,16507	1,47827	16,888	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,34833	,59218	,07645	,19536	,50131	4,556	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,52167	,64469	,08323	1,35513	1,68821	18,283	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,17333	,49638	,06408	1,04510	1,30156	18,310	59	,000
2/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-25500	,74480	,09615	-44740	-06260	-2,652	59	,010
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,30833	,53908	,06959	,16907	,44759	4,430	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,76500	,68019	,08781	1,58929	1,94071	20,100	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,56333	,73137	,09442	,37440	,75227	5,966	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,02000	,75752	,09779	1,82431	2,21569	20,655	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,45667	,59157	,07637	1,30385	1,60949	19,073	59	,000
9/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-25500	,83796	,10818	-47147	-03853	-2,357	59	,022
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,62500	,64562	,08335	,45822	,79178	7,499	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	2,35667	,83876	,10828	2,13999	2,57334	21,764	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,88000	,85088	,10985	,66019	1,09981	8,011	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,61167	,85749	,11070	2,39015	2,83318	23,592	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,73167	,69000	,08908	1,55342	1,90991	19,440	59	,000

16/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,02000	,83864	,10827	-,19664	,23664	,185	59	,854
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,78000	,63106	,08147	,61698	,94302	9,574	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	2,72333	,78273	,10105	2,52113	2,92553	26,950	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,76000	,83305	,10755	,54480	,97520	7,067	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,70333	,90497	,11683	2,46955	2,93711	23,139	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,94333	,72284	,09332	1,75660	2,13006	20,825	59	,000
23/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,24833	,89300	,11529	,01765	,47902	2,154	59	,035
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,93333	,71276	,09202	,74921	1,11746	10,143	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,13167	,74617	,09633	2,93891	3,32442	32,510	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,68500	,88563	,11433	,45622	,91378	5,991	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,88333	,91729	,11842	2,64637	3,12029	24,348	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,19833	,77972	,10066	1,99691	2,39976	21,839	59	,000
30/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,18167	,91030	,11752	-,05349	,41682	1,546	59	,127
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,01167	,70904	,09154	,82850	1,19483	11,052	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,41833	,83311	,10755	3,20312	3,63355	31,783	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,83000	,92815	,11982	,59023	1,06977	6,927	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,23667	,93191	,12031	2,99593	3,47741	26,903	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,40667	,80483	,10390	2,19876	2,61458	23,163	59	,000
6/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,10333	,92369	,11925	-,13528	,34195	,867	59	,390
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,02333	,70069	,09046	,84232	1,20434	11,313	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,69167	,86403	,11155	3,46847	3,91487	33,096	59	,000

	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,92000	,95577	,12339	,67310	1,16690	7,456	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,58833	,96482	,12456	3,33909	3,83757	28,809	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,66833	,86661	,11188	2,44446	2,89220	23,850	59	,000
13/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,03667	,93934	,12127	-,20599	,27932	,302	59	,763
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,09333	,72949	,09418	,90489	1,28178	11,609	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,05000	,86426	,11158	3,82674	4,27326	36,298	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	1,05667	,93417	,12060	,81535	1,29799	8,762	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,01333	1,01972	,13164	3,74991	4,27675	30,486	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,95667	,88094	,11373	2,72910	3,18424	25,997	59	,000
20/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,10000	,90853	,11729	-,33470	,13470	-,853	59	,397
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,90000	,78740	,10165	,69659	1,10341	8,854	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,36167	,94117	,12150	4,11854	4,60480	35,897	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	1,00000	,92039	,11882	,76224	1,23776	8,416	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,46167	1,02347	,13213	4,19728	4,72606	33,767	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	3,46167	,92884	,11991	3,22172	3,70161	28,868	59	,000
27/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,14000	,95300	,12303	-,10619	,38619	1,138	59	,260
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,85500	,79435	,10255	,64980	1,06020	8,337	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,65167	,87923	,11351	4,42454	4,87880	40,981	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,71500	,95097	,12277	,46934	,96066	5,824	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,51167	,93665	,12092	4,26970	4,75363	37,311	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	3,79667	,89138	,11508	3,56640	4,02694	32,992	59	,000

4/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,05667	,88574	,11435	-,28548	,17214	-,496	59	,622
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,47667	,80451	,10386	,26884	,68449	,4,589	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,3,85667	,81996	,10586	,3,64485	,4,06848	,36,433	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,53333	,87946	,11354	,30615	,76052	,4,697	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,3,91333	,89414	,11543	,3,68235	,4,14431	,33,901	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,3,38000	,80439	,10385	,3,17220	,3,58780	,32,548	59	,000
11/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,09333	,91778	,11849	-,33042	,14376	-,788	59	,434
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,41333	,85519	,11040	,19242	,63425	,3,744	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,3,02667	,82521	,10653	,2,81349	,3,23984	,28,410	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,50667	,90664	,11705	,27246	,74088	,4,329	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,3,12000	,95594	,12341	,2,87305	,3,36695	,25,281	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,2,61333	,84160	,10865	,2,39592	,2,83074	,24,053	59	,000
18/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,06667	,93784	,12107	-,30894	,17560	-,551	59	,584
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,37167	,87993	,11360	,14436	,59898	,3,272	59	,002
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,2,25333	,85400	,11025	,2,03272	,2,47394	,20,438	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,43833	,94063	,12143	,19534	,68132	,3,610	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,2,32000	,99776	,12881	,2,06225	,2,57775	,18,011	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,1,88167	,86269	,11137	,1,65881	,2,10462	,16,895	59	,000
25/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,14833	,1,03342	,13341	-,41529	,11863	-,1,112	59	,271
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,25667	,88478	,11422	,02810	,48523	,2,247	59	,028
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,1,57333	,91705	,11839	,1,33644	,1,81023	,13,289	59	,000

	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,40500	,92359	,11924	,16641	,64359	3,397	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,72167	,99815	,12886	1,46382	1,97952	13,361	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,31667	,85155	,10993	1,09669	1,53665	11,977	59	,000
1/11/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,25167	1,06826	,13791	-,52763	,02429	-,1,825	59	,073
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,21167	,89084	,11501	-,01846	,44179	1,840	59	,071
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,07833	,91579	,11823	,84176	1,31491	9,121	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,46333	,97459	,12582	,21157	,71510	3,683	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,33000	1,03846	,13407	1,06174	1,59826	9,921	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,86667	,84886	,10959	,64738	1,08595	7,908	59	,000

Πίνακας Α2. Στατιστική ανάλυση L.A.I. φυτών για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

Paired Samples Test										
		Paired Differences						t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference					
					Lower	Upper				
Ημερομηνία Μέτρησης										
5/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,32720	,04224	-,11952	,04952	-829	59	,411	
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,25343	,03272	,14787	,27880	6,520	59	,000	
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,25650	,03311	,50540	,63793	17,263	59	,000	
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,28374	,03663	,17504	,32163	6,779	59	,000	
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,28156	,03635	,53393	,67940	16,690	59	,000	
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,22345	,02885	,30061	,41606	12,422	59	,000	
12/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,40818	,05270	-,20711	,00378	-1,929	59	,059	
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,33258	,04294	,08409	,25591	3,959	59	,000	
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,33572	,04334	,68161	,85506	17,727	59	,000	
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,39104	,05048	,17065	,37268	5,381	59	,000	
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	,39070	,05044	,76907	,97093	17,249	59	,000	
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,33217	,04288	,51253	,68414	13,953	59	,000	
19/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,52388	,06763	-,41033	-,13967	-4,066	59	,000	
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,41797	,05396	-,08464	,13131	4,32	59	,667	
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	,39977	,05161	,75006	,95661	16,534	59	,000	

	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,29833	,51863	,06696	,16436	,43231	4,456	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,12833	,57493	,07422	,97981	1,27685	15,202	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,83000	,42438	,05479	,72037	,93963	15,149	59	,000
26/7/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-20000	,67473	,08711	-,37430	-,02570	-2,296	59	,025
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,14833	,54633	,07053	,00720	,28946	2,103	59	,040
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,32167	,60621	,07826	1,16507	1,47827	16,888	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,34833	,59218	,07645	,19536	,50131	4,556	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,52167	,64469	,08323	1,35513	1,68821	18,283	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,17333	,49638	,06408	1,04510	1,30156	18,310	59	,000
2/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-25500	,74480	,09615	-,44740	-,06260	-2,652	59	,010
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,30833	,53908	,06959	,16907	,44759	4,430	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,76500	,68019	,08781	1,58929	1,94071	20,100	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,56333	,73137	,09442	,37440	,75227	5,966	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,02000	,75752	,09779	1,82431	2,21569	20,655	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,45667	,59157	,07637	1,30385	1,60949	19,073	59	,000
9/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-25500	,83796	,10818	-,47147	-,03853	-2,357	59	,022
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,62500	,64562	,08335	,45822	,79178	7,499	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	2,35667	,83876	,10828	2,13999	2,57334	21,764	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,88000	,85088	,10985	,66019	1,09981	8,011	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,61167	,85749	,11070	2,39015	2,83318	23,592	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,73167	,69000	,08908	1,55342	1,90991	19,440	59	,000

16/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,02000	,83864	,10827	-,19664	,23664	,185	59	,854
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,78000	,63106	,08147	,61698	,94302	9,574	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	2,72333	,78273	,10105	2,52113	2,92553	26,950	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,76000	,83305	,10755	,54480	,97520	7,067	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,70333	,90497	,11683	2,46955	2,93711	23,139	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,94333	,72284	,09332	1,75660	2,13006	20,825	59	,000
23/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,24833	,89300	,11529	,01765	,47902	2,154	59	,035
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,93333	,71276	,09202	,74921	1,11746	10,143	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,13167	,74617	,09633	2,93891	3,32442	32,510	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,68500	,88563	,11433	,45622	,91378	5,991	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,88333	,91729	,11842	2,64637	3,12029	24,348	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,19833	,77972	,10066	1,99691	2,39976	21,839	59	,000
30/8/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,18167	,91030	,11752	-,05349	,41682	1,546	59	,127
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,01167	,70904	,09154	,82850	1,19483	11,052	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,41833	,83311	,10755	3,20312	3,63355	31,783	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,83000	,92815	,11982	,59023	1,06977	6,927	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,23667	,93191	,12031	2,99593	3,47741	26,903	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,40667	,80483	,10390	2,19876	2,61458	23,163	59	,000
6/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,10333	,92369	,11925	-,13528	,34195	,867	59	,390
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,02333	,70069	,09046	,84232	1,20434	11,313	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,69167	,86403	,11155	3,46847	3,91487	33,096	59	,000

	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,92000	,95577	,12339	,67310	1,16690	7,456	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,58833	,96482	,12456	3,33909	3,83757	28,809	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,66833	,86661	,11188	2,44446	2,89220	23,850	59	,000
13/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,03667	,93934	,12127	-,20599	,27932	,302	59	,763
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	1,09333	,72949	,09418	,90489	1,28178	11,609	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,05000	,86426	,11158	3,82674	4,27326	36,298	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	1,05667	,93417	,12060	,81535	1,29799	8,762	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,01333	1,01972	,13164	3,74991	4,27675	30,486	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,95667	,88094	,11373	2,72910	3,18424	25,997	59	,000
20/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,10000	,90853	,11729	-,33470	,13470	-,853	59	,397
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,90000	,78740	,10165	,69659	1,10341	8,854	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,36167	,94117	,12150	4,11854	4,60480	35,897	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	1,00000	,92039	,11882	,76224	1,23776	8,416	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,46167	1,02347	,13213	4,19728	4,72606	33,767	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	3,46167	,92884	,11991	3,22172	3,70161	28,868	59	,000
27/9/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	,14000	,95300	,12303	-,10619	,38619	1,138	59	,260
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,85500	,79435	,10255	,64980	1,06020	8,337	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	4,65167	,87923	,11351	4,42454	4,87880	40,981	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,71500	,95097	,12277	,46934	,96066	5,824	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	4,51167	,93665	,12092	4,26970	4,75363	37,311	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	3,79667	,89138	,11508	3,56640	4,02694	32,992	59	,000

4/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,05667	,88574	,11435	-,28548	,17214	-,496	59	,622
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,47667	,80451	,10386	,26884	,68449	4,589	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,85667	,81996	,10586	3,64485	4,06848	36,433	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,53333	,87946	,11354	,30615	,76052	4,697	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,91333	,89414	,11543	3,68235	4,14431	33,901	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	3,38000	,80439	,10385	3,17220	3,58780	32,548	59	,000
11/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,09333	,91778	,11849	-,33042	,14376	-,788	59	,434
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,41333	,85519	,11040	,19242	,63425	3,744	59	,000
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	3,02667	,82521	,10653	2,81349	3,23984	28,410	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,50667	,90664	,11705	,27246	,74088	4,329	59	,000
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	3,12000	,95594	,12341	2,87305	3,36695	25,281	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	2,61333	,84160	,10865	2,39592	2,83074	24,053	59	,000
18/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,06667	,93784	,12107	-,30894	,17560	-,551	59	,584
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,37167	,87993	,11360	,14436	,59898	3,272	59	,002
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	2,25333	,85400	,11025	2,03272	2,47394	20,438	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,43833	,94063	,12143	,19534	,68132	3,610	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	2,32000	,99776	,12881	2,06225	2,57775	18,011	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,88167	,86269	,11137	1,65881	2,10452	16,895	59	,000
25/10/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,14833	1,03342	,13341	-,41529	,11863	-,112	59	,271
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,25667	,88478	,11422	,02810	,48523	2,247	59	,028

	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,57333	,91705	,11839	1,33644	1,81023	13,289	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,40500	,92359	,11924	,16641	,64359	3,397	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,72167	,99815	,12886	1,46382	1,97952	13,361	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	1,31667	,85155	,10993	1,09669	1,53665	11,977	59	,000
1/11/2007	Pair 1	SUB_2007 - SDI_2007	-,25167	1,06826	,13791	-,52763	,02429	-1,825	59	,073
	Pair 2	SUB_2007 - SDIWL_2007	,21167	,89084	,11501	-,01846	,44179	1,840	59	,071
	Pair 3	SUB_2007 - CON_2007	1,07833	,91579	,11823	,84176	1,31491	9,121	59	,000
	Pair 4	SDI_2007 - SDIWL_2007	,46333	,97459	,12582	,21157	,71510	3,683	59	,001
	Pair 5	SDI_2007 - CON_2007	1,33000	1,03846	,13407	1,06174	1,59826	9,921	59	,000
	Pair 6	SDIWL_2007 - CON_2007	,86667	,84886	,10959	,64738	1,08595	7,908	59	,000

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

1. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ., 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ.199-206. 2-5 Απριλίου 2003, Θεσσαλονίκη.
2. Βύρλας, Π., Καλφούντζος, Δ. και Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Επίδραση του εδαφικού τύπου στην έμφραξη λόγω εισρόφησης σε υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ.225-232.
3. Καραμάνος, Α.Ι., 1999. Τα σιτηρά των θερμών κλιμάτων. Αραβόσιτος-Σόργο-Ρύζι-Κεχρί. Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα.
4. Οργανισμός Βάμβακος, 2001. Συνολική παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην ελληνική επικράτεια.
5. Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.251.
6. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., Καλφούντζος Δ., Παπανίκος Ν., 2000. Αξιολόγηση της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 2^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, σελ.157-164. 28-30 Σεπτεμβρίου 2000, Βόλος.
7. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Σημειώσεις αρδεύσεων. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
8. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Μ., Παπαλέξης, Δ., Δαναλάτος, Ν., Βουλτσάνης, Π. και Νάκος, Ν., 2003. Επίδραση επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή της ενεργειακής καλλιέργειας του ινώδους Σόργου στην Κεντρική Ελλάδα. Πρακτικά 9^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), 2-5 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, σελ.183-190.

9. Σφήκας, Α.Γ., 1991. Ειδική Γεωργία. Ι. Σιτηρά, ψυχανθή και χορτοδοτικά φυτά. Θεσσαλονίκη.
10. Τερζίδης, Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997. Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.172-172, 200-202.
11. Φασούλας, Α.Κ. και Φωτιάδης, Ν.Α., 1984. Αρχές της επιστήμης των καλλιεργούμενων φυτών. Θεσσαλονίκη.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

12. Bravdo, B.A. & Hepner, Y. 1987. Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. *Acta Horticulture* 206: 49-67.
13. Bunting A.H. and D.S.H. Drennan. (1966) Some aspects of the morphology and physiology of cereals in the vegetative phase. In: *The Growth of Cereals and Grasses*. F.L. Milthroe and J.D. Ivins (eds). Butterworths, pp. 20-38.
14. Chatziathanassiou, A., Christou, M., Alexopoulou, E., Zafiris, C., 1998. Biomass and sugar yields of sweet sorghum in Greece. In: Chartier et al. (Ed.), *Proceedings of the 10th European Conference*. C.A.R.M.E.N. Press, Germany, p.209-212.
15. Dalianis, C., 1996, Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under E.U. conditions. *Proceedings of the first European Seminar on Sorghum for Energy and Industry*, held in France, 1-3 April 1996. p.15-25.
16. Devitt, D. and Miller, W., 1988. Subsurface Drip Irrigation of Bermudagrass with Saline Water. *Applied Agricultural Res.* Vol. 3, No 3, p.133-143.
17. Gushiken, E., 1993. EfQuent Disposal Through Subsurface Drip Irrigation Systems. *Hawaii Water Pollution Control Ass. Proceedings of the 15th Annual Conf.* Honolulu. Hawaii.
18. I-Pai Wu, 1994. Low Energy Subsurface Drip Irrigation (system for Pasture). Department of Animal Sc. Prepared by: Biosystems Engineering Dept. University of Hawaii.

19. Kelley J. 2006. Growth and development. pp. 3-5. In: Grain Sorghum Production Handbook. L. Espinoza and J. Kelley (eds). Cooperative Extension Service, University of Arkansas, USA.
20. Panoutsou, K., 2000. Fiber sorghum, a promising annual crop for biomass production in Greece.
21. Phene, C.J., Blume, M.F., Hile, M.M.S., Meek, D.W. and Re, J.V., 1983. Management of Subsurface Trickle Irrigation Systems. ASAE paper No. 83-2598.
22. Phene, C.J. et al., 1986. Fertilization of high yielding subsurface trickle tomatoes. Proceedings of the 34th Fertilizer Conf. California Fertilizer Ass. Fresno California. pp.33-43.
23. Phene, C.J., R. Yue, I-Pai Wu, J.E. Ayars, R.A. Schoneman, B. Meso. 1992. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems. ASAE Paper No. 92-2569, 14 pp. St. Joseph, Mich.:ASAE.
24. Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Ayars, J.E., Davis, K.R., Mead, R.M., and Schoneman, R.A., 1992. Maximizing water use efficiency with subsurface drip irrigation. International summer meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 922090. St. Joseph Michigan.
25. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D. and Papanikos, N., 2000. Evaluation of surface and subsurface Drip Irrigation Effect on Sugar-Beet Yield. Proc. 2th National Congress. Hell. Soc. Agric. Eng. (HelAgEng), Volos. pp.157-164 (in Greek)
26. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Vyrlas P., 2001. Irrigation Water saving and Yield increase with Subsurface Drip Irrigation. Proc. Of 7th International Conference on Environmental Science and Technology, pp.466-473. Ermoupolis, Syros island, Greece-Sept. 2001.
27. Sakellariou-Makrantonaki M., Kalfountzos D., Vyrlas P., Kapetanios, B., 2002. Water saving using modern irrigation methods. Hydorrama 2002, EYDAP, Athens, Greece.
28. Scheneider, D.A., Howell, T.A., and Evett, S.R., 2003. SDI, LEPA AND SPRAY IRRIGATION OF GRAIN SORGHUM. Soil and Water Manag. Res. Unit Newsletter, U.S.D.A.-ARS Con. And Prod. Res. Lab. Vol. 5, No1.

29. Solomon, K., 1993. Subsurface drip irrigation: Product selection and performance. In: Subsurface Drip Irrigation : Theory, Practices and Application. Jorgensen, G.S. and K.N. Norum (Eds.). CATI.
30. Solomon Kenneth H. and Jorgensen Greg. 1993. Subsurface Drip Irrigation. Center For Irrigation Tech. CATI Publication No 930405.
31. U.S.D.A., Soil conservation service, 1956. Methods of evaluating irrigation systems. Handbook 82. Government Printing Office, Washington D.C.
32. Vanderlip R.L. 1993. How a Grain Sorghum Plant Develops. Kansas State University, USA.
33. Weaver J.E. (ed.) .1926. Root Development of Field Crops. Mc-Graw-Hill, New York
34. Woods J. 2003. Sorghum bicolor var. sweet. Imperial College, UK.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

35. http://gramene.agrinome.org/species/sorghum/sorghum_maps_and_stats.html
36. <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=SOBI2>
37. <http://www.desertusa.com/mag01/may/papr/sbug.html>
38. <http://www.geoflow.com/images/sdidesign.jpg>
39. http://www.icrisat.org/vasat/learning_resources/crops/sorghum/sorghum_prod_practices/html/m211/resources/1846.html
40. <http://www.infonet-biovision.org/print/ct/127/crops>
41. <http://www.jains.com/irrigation/drip%20irrigation%20system%20arrangement.jpg>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000104277