

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 348
Ημερομηνία 11-3-2011

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΕΛΛΕΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΓΙΑ ΤΗ
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ»**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΟΥΝΤΡΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΒΟΛΟΣ 2011

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«ΕΛΛΕΙΜΑΤΙΚΗ ΑΡΔΕΥΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ ΓΙΑ ΤΗ
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ»**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΚΟΥΝΤΡΙΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ-ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη	Καθηγήτρια Π.Θ.	Επιβλέπουσα
Μ. Δημήρκου Α.	Καθηγήτρια Π.Θ.	Μέλος
Χαλκίδης Η .	Λέκτορας Π.Θ.	Μέλος

ΒΟΛΟΣ 2011



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

Αριθ. Εισ.: 9478/1
Ημερ. Εισ.: 01-04-2011
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξίθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2011
ΚΟΥ

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.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου κ. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, για την συνεχή της παρακολούθηση και καθοδήγηση στο έργο μου, την υποστήριξή της κατά την διάρκεια τόσο των προπτυχιακών μου σπουδών όσο και κατά την ολοκλήρωση της τελικής μορφής του κειμένου της διατριβής μου.

Επίσης, τους κα. Δημήτρου Ανθή, Καθηγήτρια της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, και κο. Χαλκίδη Ηρακλή Λέκτορα της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις πολύτιμες υποδείξεις τους, που συνέβαλαν ουσιαστικά στην διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για την συμμετοχή τους στην Τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον κ. κ. Παπανίκο Νικόλαο, Μέλος Ε.Ε.Δ.Ι.Π. στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του οποίου η συμβολή στην ενασχόλησή μου με το συγκεκριμένο αντικείμενο ήταν καθοριστική και η βοήθεια του σημαντική σε όλη την διάρκεια του πειράματος.

Τον υπεύθυνο Γεωπόνο του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Σουίπα Σπύρο για την άψογη συνεργασία του και όλους του εργαζομένους του αγροκτήματος.

Ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου και τους φίλους μου για την απεριόριστη ηθική συμπαράσταση καθ'όλη την διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΗΛΙΑΝΘΟΥ	2
1.1 Ιστορία του ηλίανθου.....	2
1.2 Ο ηλίανθος στην Ελλάδα.....	3
1.3 Γενικά χαρακτηριστικά.....	5
1.3.1 Βοτανική περιγραφή.....	5
1.3.2 Στάδια ανάπτυξης.....	7
1.3.3 Κλιματολογικές απαιτήσεις.....	10
1.4 Σπορά Ηλίανθου.....	11
1.5 Προϊόντα ηλίανθου.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ	16
2.1 Γενικά.....	16
2.2 Ανάγκες ηλίανθου σε νερό.....	17
2.3 Φυτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.....	19
2.3.1 Το είδος του φυτού.....	19
2.3.2 Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος.....	19
2.3.3 Το ποσοστό καλύψεως του εδάφους απο το φύλλωμα.....	20
2.3.4 Το ύψος των φυτών.....	20
2.3.5 Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.....	20
2.3.6 Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.....	21
2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής.....	21
2.4.1 Γενικά στοιχεία.....	21

2.4.2 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής.....	22
2.5 Μέθοδοι προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής.....	23
2.5.1 Άμεσοι μέθοδοι.....	23
2.5.1.1 Μέτρηση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας στο ροζόστρωμα.....	23
2.5.1.2 Μέθοδος των λυσίμετρων.....	23
2.5.1.3 Άλλες μέθοδοι.....	24
2.5.2 Έμμεσοι μέθοδοι.....	24
2.5.2.1 Μέθοδος μεταφοράς της μάζας ή αερδοδυναμική μέθοδος.....	25
2.5.2.2 Μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας ή μέθοδος ακτινοβολίας.....	26
2.5.2.3 Μέθοδος Penman ή μέθοδος συνδυασμού.....	26
2.5.2.4 Εμπειρικές μέθοδοι – μεθοδος Blaney –Criddle.....	27
2.5.2.5 Μέθοδος της λεκάνης.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ.....	29
3.1 Άρδευση με σταγόνες (Στάγδην άρδευση).....	29
3.1.1 Γενικά.....	29
3.1.2 Μέρη του συστήματος στάγδην άρδευσης.....	30
3.1.3 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα στάγδην άρδευσης.....	31
3.2 Ελλειματική άρδευση.....	32
3.2.1 Γενικά.....	32
3.2.2 Καμπύλη παραγωγικότητας νερού.....	34
3.2.3 Προγραμματισμός D1.....	36
3.2.4 Πλεονεκτήματα και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειματικής άρδευσης.....	38
3.2.5 Εφαρμογές της ελλειματικής άρδευσης.....	40

3.2.6 Ελλειμματική άρδευση του ηλίανθου.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	44
4.1 Χάραξη του πειραματικού αγρού.....	44
4.2 Εγκατάσταση της καλλιέργειας.....	45
4.3 Υλικά άρδευσης.....	45
4.4 Εξατμισόμετρο τύπου Α.....	46
4.5 Μηχανισμός ελέγχου άρδευσης απο απόσταση.....	46
4.6 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	48
4.7 Μετρήσεις χαρακτηριστικών καλλιέργειας.....	48
4.8 Στατιστική επεξεργασία.....	49
4.9 Υπολογισμοί δόσεων , εύρους και διάρκεια άρδευσης.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	53
5.1 Κλιματικά δεδομένα.....	53
5.2 Ύψος φυτών.....	54
5.3 Στοιχεία απόδοσης καλλιέργειας.....	57
5.4 Αποδοτικότητα χρήσης νερού.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	70

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή διατριβή μελετάται η επίδραση της ελλειμματικής άρδευσης στο ύψος των φυτών του ηλίανθου, στη διάμετρο δίσκων των φυτών, στην αξιολόγηση της απόδοσης σε σπόρο και στην αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού.

Ο ηλίανθος ανήκει στην οικογένεια Asteraceae της τάξης Compositae και στο είδος *Helianthus annuus*. Είναι μία από τις πιο σημαντικές ελαιοδοτικές καλλιέργειες στον κόσμο, επίσης χρησιμοποιείται ως τροφή για ανθρώπους και ζώα και στη βιομηχανία.

Το πείραμα έγινε σε πειραματικό αγρό στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και αφορούσε τη μελέτη της επίδρασης της εφαρμογής διαφορετικών ποσοτήτων αρδευτικού νερού με τη χρήση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ηλίανθου. Μελετήθηκαν επίσης οι επιπτώσεις της επιφανειακής στάγδην άρδευσης η οποία ελέγχεται από μεγάλες αποστάσεις, αυτόματα, σε σύγκριση με τα συμβατική επιφανειακή στάγδην άρδευση. Το πείραμα διενεργήθηκε το καλλιεργητικό έτος 2008.

Χρησιμοποιώντας το πειραματικό σχέδιο των Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων (R.C.B.), πραγματοποιήθηκαν τέσσερις μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 7m x 4m , δηλαδή εμβαδόν 28 m². Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA). Έγινε εκτίμηση του μέσου όρου των μεταχειρίσεων και του τυπικού σφάλματος (Std. Error). Η συλλογή, η ομαδοποίηση και η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excell. Επίσης λαμβάνονταν μετρήσεις μετεωρολογικών δεδομένων (βροχόπτωση, θερμοκρασία αέρα κλπ.) από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.

Τους υψηλότερους μέσους όρους στις μετρήσεις ύψους βλαστού, διάμετρο δίσκων και απόδοση σπόρου τους έδωσε η DI100%, δηλαδή η μεταχείριση εκείνη στην οποία εφαρμόστηκαν οι συνθήκες της πλήρους άρδευσης. Τους χαμηλότερους μέσους όρους τους έδωσαν οι δυο μεταχειρίσεις οι οποίες αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 50% των αναγκών τους σε νερό. Τη μεγαλύτερη όμως αποδοτικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού όμως έδωσαν οι μεταχειρίσεις DI50% και ADI50%, ακολουθούμενες από την DI80% και τελευταία είναι τη DI100%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΑΝΘΟΥ

1.1 Ιστορία του Ηλίανθου

Ο ηλίανθος πήρε το όνομά του από τις λέξεις ήλιος και άνθος. Όπως υπολογίζεται, το φυτό χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά γύρω στα 2.600 π.Χ. από τους ιθαγενείς της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής. Οι Αζτέκοι του Μεξικού, οι Ίνκας του Περού και οι Οτόμι λάτρευαν τις εικόνες του ηλίανθου που για αυτούς συμβόλιζαν τον Θεό Ήλιο. Οι πολεμιστές των ιθαγενών έπαιρναν μαζί τους ένα προσεκτικά δεμένο βύλο φτιαγμένο από σπόρους του φυτού για να τρώνε όταν είναι κουρασμένοι, ώστε να επανακάμπτουν γρήγορα. (Škorić, 1992).



Εικόνα 1.1 Vase with Twelve Sunflowers
by Vincent van Gogh

Οι πρώτοι που καλλιέργησαν τον ηλίανθο στην Ευρώπη ήταν οι Ισπανοί το 1550. Για πολλά χρόνια ήταν καλλωπιστικό φυτό, αν και υπάρχουν αναφορές για φαρμακευτική χρήση του ηλιελαίου στην Αγγλία. Μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα η καλλιεργούμενη έκταση ηλίανθου στη Ρωσία ήταν πάνω από 2 εκατομμύρια στρέμματα, ενώ στα τέλη του 19ου αιώνα παρατηρείται η καλλιέργεια του ηλίανθου και στην Αμερική, για ζωοτροφή και παραγωγή ηλιελαίου (<http://www.sunflowernsa.com/all-about/history>).

Με την εξάπλωση της καλλιέργειας του ηλίανθου ως ελαιοδοτικό φυτό ξεκίνησαν και οι πρώτες απόπειρες βελτίωσης του φυτού. Εξαιτίας των ερμαφρόδιτων ανθέων, η επίτευξη της ετέρωσης στα υβρίδια ηλίανθου έγινε εφικτή μετά την ταυτοποίηση των κατάλληλων πηγών αρρενοστεριότητας. Τα υβρίδια ηλίανθου συνέβαλλαν στην αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής ηλίανθου, στην αποτελεσματική αντιμετώπιση διαφόρων ασθενειών και στην επίτευξη αυξημένων αποδόσεων, σε σχέση με τη χρήση ποικιλιών ή φυσικών πληθυσμών (Škorić, 1992).

Σήμερα το φυτό καλλιεργείται σε όλο τον κόσμο και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές ελαιοδοτικές καλλιέργειες παγκοσμίως (Schneiter, 1997). Το 2007 η ποσότητα ηλιόσπορου που παράχθηκε παγκοσμίως ήταν 26.841.965 τόνοι από καλλιέργεια 214.916.830 στρεμμάτων. Η μεγαλύτερη παραγωγή παρατηρείται στη Ρωσία και την Ουκρανία, ενώ μεγάλες εκτάσεις με ηλίανθο καλλιεργούνται στην Αργεντινή και σε μεγάλες ασιατικές χώρες όπως Κίνα και Ινδία. Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζονται οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλίανθου για το

καλλιεργητικό έτος 2007. Το 81% της παγκόσμιας παραγωγής ηλιόσπορου παράγεται στις δέκα αυτές χώρες.

Πίνακας 1.1. Οι δέκα χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ηλιόσπορου κατά το καλλιεργητικό έτος 2007 (FAOSTAT, 2008)

Χώρα	Παραγωγή ηλιόσπορου (τόνοι)	Έκταση (στρέμματα)	Απόδοση (kg/στρ)
Ρωσία	5,656,500	50,025,300	113.1
Ουκρανία	4,174,400	34,114,000	122.4
Αργεντινή	3,497,732	23,513,480	148.8
Κίνα	1,800,000	10,200,000	176.5
Ινδία	1,463,000	18,800,000	77.8
Γαλλία	1,376,000	5,340,000	257.7
Η.Π.Α.	1,318,225	8,132,150	162.1
Ουγγαρία	1,032,300	5,049,000	204.5
Τουρκία	854,407	5,521,940	154.7
Ισπανία	703,000	6,010,000	117.0

1.2 Ο Ηλίανθος στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα ο ηλίανθος καλλιεργείται σε σχετικά περιορισμένη έκταση λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική καλλιεργήσιμη έκταση και τη δυνατότητα που δίνεται στη χώρα μέσω της οδηγίας 2003/30/ΕΚ. Οι επίσημοι οργανισμοί δείχνουν ότι καλλιεργείται μια έκταση 150.000 στρεμμάτων και παράγονται 19.000 τόνοι, δίνοντας μια μέση παραγωγή 127 κιλά το στρέμμα (Πηγή: FAOSTAT, 2007). Σύμφωνα με την 2003/30/ΕΚ θα έπρεπε ήδη να προσεγγίζονται τα 1.500.000 στρέμματα. Οι περιοχές στις οποίες καλλιεργείται ο ηλίανθος, εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της χώρας και ειδικότερα στις περιοχές της Θράκης (Ν. Έβρου), ενώ πιο αραιά στην κεντρική και ανατολική Μακεδονία.

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, παρατηρείται μια αυξομείωση όσον αφορά την καλλιέργεια του ηλίανθου στον ελλαδικό χώρο (περίοδος 1961-1998). Την περίοδο 1983- 1989 υπάρχει ένα έντονο ενδιαφέρον από την πλευρά των παραγωγών το οποίο με τον καιρό φθίνει, ενώ από το 1994 και ύστερα τόσο οι καλλιεργούμενες εκτάσεις όσο και η παραγωγή ακολουθούν μια σχετικά σταθερή ανοδική πορεία.

Πίνακας 1.2 Φαίνεται η εξέλιξη της καλλιέργειας ηλιάνθου στην Ελλάδα από το 1990 έως το 2007 (FAOSTAT).

Έτος	Παραγωγή ηλιόσπορου (τόνοι)	Έκταση (στρέμματα)	Απόδοση (kg/στρ)
1990	40,970	272,360	150.4
1991	34,719	212,850	163.1
1992	50,748	279,450	181.6
1993	29,134	193,530	150.5
1994	29,143	214,260	136.0
1995	33,049	227,880	145.0
1996	31,234	232,610	134.3
1997	36,000	268,860	133.9
1998	40,413	313,360	129.0
1999	49,000	359,000	136.5
2000	31,000	232,000	133.6
2001	22,808	174,570	130.7
2002	24,000	170,760	140.5
2003	15,000	99,000	151.5
2004	7,640	47,450	161.0
2005	8,784	49,370	177.9
2006	15,865	90,570	175.2
2007	19,273	121,000	159.3

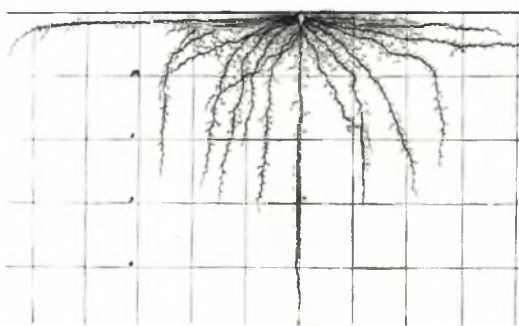
Στην Ελλάδα, ο ηλιάνθος καλλιεργείται κυρίως ως πηγή φυτικού ελαίου διατροφής, συνήθως ως μη αρδευόμενη καλλιέργεια σε αμειψισπορά με σιτηρά. Τα τελευταία χρόνια και μετά την έκδοση της οδηγίας 2003 / 30 / EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης σχετικά με την προώθηση των βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τις μεταφορές, σκοπός της καλλιέργειας ηλιάνθου είναι και η παραγωγή βιοντίζελ. Σύμφωνα με την 2003/30/EC τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να αυξήσουν μέχρι το 2010 το ελάχιστο μερίδιο βιοκαυσίμων στην αγορά στα επίπεδα τουλάχιστον του 5,75%. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα το κομμάτι της έρευνας γύρω από τα ενεργειακά φυτά. Μελέτες που έχουν γίνει, όπως αυτή των Danalatos et al (2007), δείχνουν ότι οι υψηλές αποδόσεις της καλλιέργειας ηλιάνθου που μπορούν να επιτευχθούν στα ελληνικά εδάφη με την ελάχιστη εισροή αζώτου και λίγο συμπληρωματική άρδευση σε κρίσιμα στάδια ανάπτυξης, κάνουν την καλλιέργεια ηλιάνθου την καλύτερη και ίσως τη μόνη δυνατή λύση για τη συμμόρφωση της Ελλάδας στην συγκεκριμένη κοινοτική οδηγία.

1.3 Γενικά χαρακτηριστικά

Ο καλλιεργούμενος ηλίανθος γνωστός και ως ήλιος ή ηλιοτρόπιο είναι δικοτυλήδονο φυτό και ανήκει στην οικογένεια Asteraceae της τάξης Compositae και στο είδος *Helianthus annuus*. Τα είδη *H. annuus* και *H. tuberosus* χρησιμοποιούνται ως είδη διατροφής, ενώ τα είδη *H. argophyllus*, *H. debilis*, *H. decapetalus*, *H. maximiliani* και *H. Salisifolius* καλλιεργούνται ως καλλωπιστικά. Έχει αριθμό χρωμοσωμάτων $x = 17$, $2x = 34$. Ο ηλίανθος είναι ετήσιο, σταυρογονιμοποιούμενο φυτό, καθώς τα άνθη του είναι πρώτανδρα και υπέργυνα και πολλαπλασιάζεται με σπέρματα. Η επικονίαση γίνεται με έντομα, κυρίως μέλισσες, γιατί η γύρη είναι βαριά και δε μεταφέρεται εύκολα με τον αέρα, μάλιστα θεωρείται ένα από τα πιο παραγωγικά μελισσοκομικά φυτά (Αυγουλάς, 2008, Βαρδαβάκης, 1994). Χαρακτηριστικό γνώρισμα του ηλίανθου είναι ο ηλιοτροπισμός που παρουσιάζουν οι αναπτυσσόμενες ταξιανθίες και τα νεαρά φύλλα. Ακολουθούν την πορεία του ήλιου και ως εκ τούτου ο προσανατολισμός τους αλλάζει από την ανατολή στη δύση κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ τη νύχτα ανορθώνονται. Το φαινόμενο σταματάει μετά το τέλος της άνθησης όποτε οι ταξιανθίες μένουν στραμμένες προς την ανατολή. Με τον ηλιοτροπισμό υπολογίζεται ότι αυξάνει η φωτοσύνθεση κατά 10-30% αναλόγως της κατανομής των φύλλων (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

1.3.1. Βοτανική περιγραφή

Ριζικό σύστημα



Εικόνα 1.2 ριζικό σύστημα ηλίανθου 2,5 μηνών
(<http://www.soilandhealth.org/01aglibrary>

Το ριζικό σύστημα του ηλίανθου (εικόνα 1.2) είναι βαθύ και πασσαλώδες. Οι πρωτογενείς ρίζες του φυτού μπορούν να φτάσουν και να ξεπεράσουν τα 2m, ενώ οι δευτερογενείς διακλαδίζονται σε πολλές πλάγιες ρίζες, οι οποίες είναι πυκνές και λεπτές και αναπτύσσονται σε βάθος περίπου 30cm (Sandras et al., 1989). Αν και παρουσιάζει μικρή διεισδυτικότητα, έρευνες έχουν δείξει ότι, έχει την ικανότητα να

απορροφά μεγαλύτερη ποσότητα νερού και να αντλεί αζωτο και υγρασία από από χαμηλότερα στρώματα του εδάφους σε σχέση με άλλα φυτά, με αποτέλεσμα να μπορεί να αναπτύσσεται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται πολύ ξηρές για άλλες καλλιέργειες και έχουν περιορισμένες βροχοπτώσεις (Bremmer και Preston, 1990).

Βλαστός

Ο ηλιάνθος είναι κατά κανόνα ευθύγραμμο μονοστέλεχος, το οποίο σπάνια διακλαδίζεται



Εικόνα 1.3 Βλαστός ηλιάνθου

και καλύπτεται από σκληρά τριχίδια, τα οποία προστατεύουν το φυτό από τα φυτοφάγα ζώα. Ο βλαστός (εικόνα 1.3) είναι πώδης, σε βρώσιμες ποικιλίες το ύψος κυμαίνεται από 1,5 έως 3m, ενώ μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 3,5m και σε ελαιούχες ποικιλίες κυμαίνεται από 0,8 έως 2,5m. Οι ποικιλίες διακρίνονται σε υψηλόσωμες, μετριόσωμες και χαμηλόσωμες

Φύλλα

Τα φύλλα (εικόνα 1.4) είναι αντικριστά, ωσειδή, με στρώματα, έχουν 3 κύρια νεύρα μήκους 10-30 cm και πλάτους 5-20 cm, ενώ τα χαμηλότερα φύλλα είναι καρδιόσχημα. Περιφερειακά είναι οδοντωτά ή πριονωτά και φέρουν πολλές νευρώσεις. Η έκφυση των πρώτων πέντε ζευγαριών γίνεται



Εικόνα 1.4 Φύλλα ηλιάνθου

αντίθετα, ενώ στα επόμενα κυλινδρικά. Ο αριθμός τους κυμαίνεται από 8-70 με μέσο όρο 20-30 φύλλα/φυτό (Βαρδαβάκης, 1994).

Ταξιανθία

Ο ηλιάνθος δεν έχει ένα μόνο άνθος αλλά υπάρχουν πολλά μικρά άνθη συγκεντρωμένα μαζί σε ένα, που είναι γνωστό ως κεφαλή (εικόνα 1.5). Η κεφαλή του κεντρικού άνθους έχει διάμετρο 10-40cm, ενώ τα άνθη στα πλαϊνά κλαδιά είναι μικρότερα.

Τα άνθη της διατάσσονται σε ομόκεντρα τόξα και η άνθηση ξεκινάει περιφερειακά και συνεχίζει προς το κέντρο της ταξιανθίας. Εξωτερικά της κεφαλής υπάρχει μια σειρά ελαφρώς πράσινων μικροσκοπικών φύλλων. Δίπλα σ' αυτά, βρίσκονται τα ακτινωτά άνθη,



Εικόνα 1.5 Ταξιανθία ηλιάνθου

τα οποία είναι συνήθως κίτρινα, άγονα και έχουν σκοπό την προσέλκυση των εντόμων. Τα άνθη στο κέντρο της κεφαλής λέγονται δίσκοι, είναι μικρότερα και αρκετά διαφορετικά σε σχήμα και χρώμα. Οι δίσκοι αποτελούνται από μία αυλακωτή στεφάνη με πέντε λοβούς, που αντιπροσωπεύουν πέντε θρυαλλίδες πετάλων. Κάτω από τη στεφάνη βρίσκεται η χαμηλότερη

ωοθήκη. Από την άλλη πλευρά, πάνω από την ωοθήκη, υπάρχουν δύο μικρά pappi (τεχνική ονομασία). Το pappus χρησιμεύει στη σωστή κατανομή του καρπού, στον ηλίανθο δεν έχει προφανή λειτουργία ή αυτή μειώνεται όσο ωριμάζει ο καρπός. Τα δισκοειδή άνθη είναι τέλεια, τοποθετημένα ελικοειδώς στην κεφαλή, είναι σταυρεπικονιαζόμενα και προσαρμόζονται καλά στην γονιμοποίηση που γίνεται με τη βοήθεια των εντόμων.

Το πλήθος των ανθέων είναι σε συνάρτηση με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (θερμοκρασία), τις καλλιεργητικές φροντίδες (νερό, λίπασμα) και την καλλιεργούμενη ποικιλία. Καθημερινά ανοίγουν από 1 έως 4 σειρές και η περίοδος αυτή διαρκεί από 7 έως 17 ημέρες αναλόγως των θερμοκρασιών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες αυξάνουν την περίοδο της ανθοφορίας, ενώ οι πολύ υψηλές την επιταχύνουν. Η ταξιανθία των ελαιούχων ποικιλιών ηλίανθου περιέχει από 700 έως 4.000 άνθη, και των ποικιλιών που προορίζονται για πασατέμπο μπορούν να περιέχουν έως 8000 άνθη.

Καρπός

Ο καρπός (εικόνα 1.6) είναι αχάινιο, έχει χρώμα μαύρο, σταχτί ή γκρι, κηλιδωτό μέχρι άσπρο. Το σχήμα του είναι επίμηκες και μοιάζει με ρόμβο, ενώ το μέγεθος του ποικίλλει. Ο καρπός του ηλίανθου συνήθως καλείται «σπόρος». το βάρος των σπόρων αποτελεί το μισό βάρος του ξηρού δίσκου. Συγκεκριμένα, το βάρος των 1000 σπόρων κυμαίνεται από 40 έως 100 gr. Οι σπόροι των



Εικόνα 1.6 Καρπός ηλίανθου

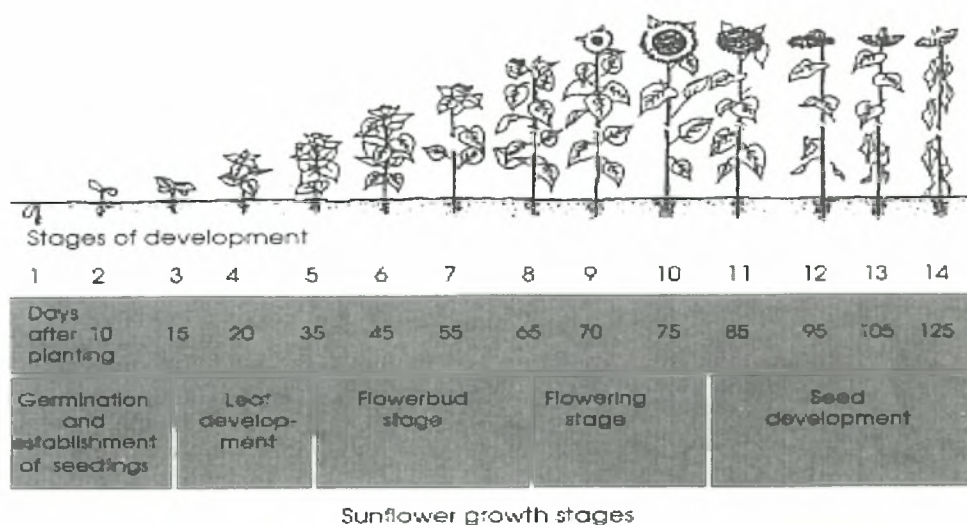
ποικιλιών για λάδι συνήθως είναι πιο μικροί, στρογγυλοί και συμπαγείς, ενώ οι σπόροι των ποικιλιών για πασατέμπο είναι πιο μεγάλοι και επιμήκεις (Αυγουλάς 2008).

1.3.2. Στάδια ανάπτυξης

Ο συνολικός χρόνος για την ανάπτυξη του φυτού του ηλίανθου και ο χρόνος μεταξύ των διάφορων φάσεων ανάπτυξης, εξαρτάται από το γενετικό υπόβαθρο του φυτού και τις συνθήκες κατά την καλλιεργητική περίοδο. Ο βιολογικός κύκλος των φυτών του ηλίανθου χωρίζεται σε διάφορα στάδια τα οποία ανταποκρίνονται σε μορφολογικές μεταβολές του φυτού και οι οποίες γίνονται εύκολα διακριτές. Το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η καλλιέργεια καθορίζεται από το στάδιο που βρίσκεται το 50% των φυτών της (Ξανθόπουλος, 1993).

Ο ηλίανθος έχει σχετικά μικρή περίοδο ανάπτυξης. Γενικά απαιτούνται 100-150 ημέρες από την σπορά μέχρι την ωρίμανση, ανάλογα με το υβρίδιο, την καλλιέργεια και τη χρήση

(σποροπαραγωγή, αποθήκευση για ζωοτροφή). Κατά μέσο όρο απαιτούνται 6–10 ημέρες από τη σπορά έως το φύτερωμα, 30–40 ημέρες από το φύτερωμα έως την εμφάνιση της ταξιανθίας, 20–30 ημέρες από την εμφάνιση ταξιανθίας έως την έναρξη της ανθοφορίας, 7–12 ημέρες από την έναρξη έως την λήξη της ανθοφορίας και τέλος άλλες 30 ημέρες από τη λήξη της ανθοφορίας έως τη φυσιολογική ωρίμανση. Κατά τη φυσιολογική ωρίμανση το πίσω μέρος των ταξιανθιών αποκτά χρώμα καστανό-κίτρινο με υγρασία περίπου 60–70%, ενώ οι σπόροι έχουν υγρασία 30–40%. Σε αυτό το στάδιο οι σπόροι έχουν τη μέγιστη τιμή σε ξηρό βάρος και τη μέγιστη περιεκτικότητα σε λάδι και αναλογία λινολεϊκού οξέος.



Εικόνα 1.7. Σχηματική αναπαράσταση σταδίων ανάπτυξης ηλίανθου

<http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>

Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα διαχωρισμού των σταδίων ανάπτυξης είναι αυτό του Arnaud (1986), σύμφωνα με το οποίο η καλλιέργεια χωρίζεται σε πέντε κύρια στάδια, καθένα από τα οποία χωρίζεται σε επιμέρους φάσεις (Πίνακας 1.3):

Πίνακας 1.3**Σύστημα διαχωρισμού σταδίων ανάπτυξης**

A	Φύτρωμα	B	Βλαστικό στάδιο
0	Σπόρος	2.1	Το πρώτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.1	Ο σπόρος είναι ακόμη ξηρός	2.2	Το πρώτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων διακρίνεται καλά
0.2	Τέλος απορρόφησης νερού απ' το σπόρο	2.3	Το δεύτερο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.3	Έναρξη εξόδου του ριζιδίου	2.4	Το δεύτερο ζευγάρι αντίθετων φύλλων διακρίνεται καλά
0.4	Μήκος βλαστιδίου ίσο με το μισό του σπόρου	2.5	Το πέμπτο ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
0.5	Βλαστίδιο διπλάσιο σε μήκος από το σπόρο	2.v	Το νιοστό ζευγάρι αντίθετων φύλλων έχει μήκος 4cm
1.0	Εμφάνιση κοτηλυδόνων		
1.1	Εμφάνιση πρώτων φύλλων		
E	Εμφάνιση ανθικής καταβολής	F	Άνθιση
3.1	Εμφάνιση της ανθικής καταβολής ανάμεσα στα φύλλα	4.1	Τα περιφερειακά άνθη διακρίνονται καλά
3.2	Διάμετρος ταξιανθίας ίση με 0,5-2cm	4.2	Οι πρώτοι τρεις κύκλοι γόνιμων άνθεων έχουν ανοίξει
3.3	Η ταξιανθία έχει ξεχωρίσει από τα φύλλα και έχει διάμετρο 3-5cm	4.3	Οι επόμενοι τρεις κύκλοι άνθεων έχουν ανοίξει
3.4	Διάμετρος ταξιανθίας 5-8cm	4.4	Οι πρώτοι τρεις κύκλοι άνθεων έχουν γονιμοποιηθεί, οι επόμενοι τρεις έχουν ακόμη το στίγμα ανοιχτό και οι τελευταίοι τρεις μόλις ανοίγουν
3.5	Ταξιανθία ακόμη κλειστή και τα περιφερειακά άνθη μόλις που διακρίνονται	4.5	Όλα τα άνθη έχουν ανοίξει, τα περιφερειακά άνθη έχουν μαραθεί
M	Ωρίμανση		
5.0	Τα περιφερειακά άνθη έχουν πέσει, ενώ ακόμη η πίσω πλευρά της ταξιανθίας είναι πράσινη		
5.1.1	Η πίσω πλευρά της ταξιανθίας αρχίζει να κιτρινίζει, οι σπόροι έχουν υγρασία 50% και η υπόλοιπη κεφαλή 80%		
5.1.2	Η πίσω πλευρά της κεφαλής και τα βράκτια έχουν κιτρινίσει, η υγρασία των σπόρων είναι περίπου 40% και τα κάτω έχουν ξεραθεί		
5.1.3	Η πίσω πλευρά της κεφαλής είναι κίτρινη, τα βράκτια αρχίζουν να γίνονται καστανά, η υγρασία των σπόρων μειώνεται στο 30%		
5.2	Τα βράκτια της κεφαλής έχουν γίνει κατά 75% καστανά, η υγρασία των σπόρων είναι περίπου 20-25% , το 2/3 των κατώτερων φύλλων έχει ξεραθεί		
5.3	Όλο το πίσω μέρος της κεφαλής έχει γίνει καστανό, η υγρασία κυμαίνεται στο 15%, όλα σχεδόν τα φύλλα έχουν ξεραθεί		
5.4	Όλα τα μέρη του φυτού έχουν γίνει καστανά, η υγρασία των σπόρων κυμαίνεται στο 10%		

1.3.3.Κλιματολογικές Απαιτήσεις

Θερμοκρασία

Ανάλογα με το γενότυπο ποικίλλει η βασική θερμοκρασία ανάπτυξης του ηλίανθου από 4°C έως 8°C. Η βλάστηση των σπόρων αρχίζει στους 4°C, γίνεται με ικανοποιητική ταχύτητα στους 8-10°C και με μέγιστη στους 15°C. Τα νεαρά φυτά αντέχουν πολύ στο κρύο, έως -8°C, αλλά μετά το στάδιο των 6-7 φύλλων, θερμοκρασίες κάτω του μηδενός προκαλούν σημαντικές ζημιές στην καλλιέργεια ενώ κατά το στάδιο της ωρίμανσης θερμοκρασία 2°C καταστρέφει ολόκληρα φυτά. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες για την παραγωγή του ηλιόσπορου είναι 21-24°C, ενώ άριστες θερμοκρασίες για τη φωτοσύνθεση είναι 30-35°C. Η φωτοσύνθεση μπορεί να συνεχιστεί και μέχρι 45°C, όμως υψηλότερες θερμοκρασίες από τα βέλτιστα επίπεδα έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αναπνοής με αποτέλεσμα την επιταχυνόμενη ανάπτυξη και την δραματική μείωση της παραγωγής (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

Στην Ελλάδα η σπορά μπορεί να γίνει από αρχές Μαρτίου αρκεί οι συνθήκες να είναι ευνοϊκές, αν δηλαδή η θερμοκρασία έχει σταθεροποιηθεί πάνω από τη βασική θερμοκρασία. Για τη Β. Ελλάδα κατάλληλη εποχή σποράς είναι από μέσα Μαρτίου ως μέσα Απριλίου (Danalatos et al., 2004). Ο ηλίανθος θα πρέπει να σπέρνεται όσο το δυνατόν νωρίτερα γίνεται. Η πρώιμη σπορά είναι σημαντική καθώς το φυτό μπορεί να εκμεταλλευτεί τις ανοιξιάτικες βροχοπτώσεις και να δώσει καλές αποδόσεις κάτω από ξηροθερμικές συνθήκες που συνήθως επικρατούν το καλοκαίρι. Χαρακτηριστικό της σημασίας της πρώιμης σποράς είναι αυξάνεται η περίοδος ανάπτυξης (120-140 ημέρες) σε σχέση με την όψιμη σπορά (90-110 ημέρες). Όσο πιο όψιμη είναι η σπορά, τόσο περισσότερο μειώνεται η παραγωγή, ενώ παράλληλα αυξάνονται οι ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας (Lopez-Bellido et al., 2003).

Έδαφος

Ο ηλίανθος έχει ικανοποιητική προσαρμοστικότητα σε διάφορα είδη εδαφών, με pH 5,6-8,2, ενώ το άριστο βρίσκεται μεταξύ 6 και 7,2. Αναπτύσσεται καλύτερα σε ελαφρά οργανικά εδάφη με καλή αποστράγγιση ενώ δεν αντέχει σε αλατούχα εδάφη, όπου και παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε λάδι (Γαλανοπούλου – Σενδουκά, 2002).

Φώς

Όσον αφορά το φως, ο ηλίανθος έχει μεγάλες απαιτήσεις. Μειωμένος φωτισμός σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, μπορεί να μειώσει σημαντικά την απόδοση. Είναι συνήθως φυτό ουδέτερο στον φωτοπεριοδισμό καθώς ανθίζει σε μεγάλο μήκος ημέρας (Αυγουλάς, 2008).

Υγρασία

Στο στάδιο του φυτρώματος είναι απαραίτητη η υγρασία του εδάφους για ομοιόμορφο και άριστο φύτευμα. Το κρίσιμο στάδιο αναγκών της καλλιέργειας σε νερό είναι η περίοδος της ανθοφορίας. Γενικά τα φυτά είναι ανθεκτικό στην ξηρασία.

1.4 Σπορά ηλίανθου

Η σπορά γίνεται νωρίς την άνοιξη και όταν η θερμοκρασία εδάφους σταθεροποιηθεί στους 8°C. Με την πρώιμη σπορά αυξάνονται οι στρεμματικές αποδόσεις και η περιεκτικότητα του σπόρου σε έλαιο. Επίσης δίνεται η δυνατότητα στο φυτό να αξιοποιήσει τις βροχές το Μάιο και Ιούνιο, μια που το κρίσιμο στάδιο για την παραγωγή του ηλίανθου είναι το τελείωμα της ανθοφορίας. Η κατάλληλη εποχή σποράς είναι το διάστημα μεταξύ 20 Μαρτίου και 20 Απριλίου, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει μέχρι και το πρώτο δεκαήμερο του Μαΐου.

Η σπορά γίνεται γραμμικά με πνευματικές μηχανές (εικόνα 1.8) ή και με το χέρι σε αυλάκια, όταν η έκταση που θα καλλιεργηθεί είναι περιορισμένη. Οι αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των γραμμών είναι 75cm και επί της γραμμής σποράς 20-22cm για γόνιμα και αρδευόμενα εδάφη, ενώ σε πιο φτωχά και αδύνατα εδάφη όπου επικρατούν ξηρές συνθήκες η απόσταση επί της γραμμής γίνεται 25cm. Τα επιθυμητά επίπεδα του αριθμού των φυτών ανά στρέμμα για μια καλλιέργεια ηλίανθου κυμαίνονται μεταξύ 4500- 5000 για ξηρικές καλλιέργειες και 5500- 6000 για ποτιστικές. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται μια ποσότητα σπόρου περίπου 350-500 gr / στρ., δηλαδή ένας σάκος 150.000 σπόρων όπως πωλείται στο εμπόριο καλύπτει περίπου 22-28 στρέμματα.



Εικόνα 1.8 Σπορά ηλίανθου με τετράσειρη σπαρτική μηχανή

Η πυκνότητα των φυτών επηρεάζει το μέγεθος του σπόρου και της κεφαλής. Σε χαμηλότερες πυκνότητες αυξάνει το μέγεθος. Οι ελαιοδικές ποικιλίες σπέρνονται πυκνότερα από τις μη ελαιοδικές, διότι δεν ενδιαφέρει το μέγεθος του σπόρου αλλά η απόδοση σε σπόρο που επηρεάζεται από τον αριθμό των φυτών ανά μονάδα επιφάνειας, τον αριθμό σπόρων ανά κεφαλή και το μέσο βάρος του σπόρου. Ο ηλίανθος όμως έχει τη δυνατότητα να εξισορροπεί τον μειωμένο αριθμό φυτών με αύξηση του μεγέθους των κεφαλών και του βάρους του σπόρου (Andrade 1995).

Ο μέσος αριθμός φυτών ανά στρέμμα κυμαίνεται από 5000-6000. Μείωση του αριθμού των φυτών σε ποσοστό 10-15% δεν επηρεάζει σημαντικά τις αποδόσεις (Ξανθόπουλος 1993).

Σε πειράματα ξηρικού ηλίανθου στην νότια Πορτογαλία, διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των σπόρων ανά κεφαλή καθώς και το μέσο βάρος του σπόρου μειωνόταν σημαντικά με την αύξηση της πυκνότητας (από 1.700 σε 4.600 φυτά/στρ). Η χαμηλή πυκνότητα μείωσε σημαντικά την διάρκεια ζωής των φύλλων. Ιδανική πυκνότητα για τις μεσογειακές συνθήκες θεωρούνται τα 3.500 φυτά/στρ, διότι δίδει τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε σπόρο, αντισταθμίζοντας τον μικρότερο αριθμό σπόρων με την αύξηση του βάρους του (Barros et al. 2003). Οι Ferreira, Abreu (2001) διαπίστωσαν μεγαλύτερο LAI (2,5-3,0 m² m⁻²) στις υψηλότερες πυκνότητες (11.400 φυτά/στρ), από τις χαμηλότερες (1,6-2,0 m² m⁻² με 4.000 φυτά/στρ) και μεγαλύτερη συνολική βιομάζα (1,0 t/στρ έναντι 0,66 t/στρ), ενώ ο αριθμός των φύλλων και ο συντελεστής πρόσληψης του φωτός από τη φυλλοστοιβάδα δεν επηρεάστηκαν από την πυκνότητα των φυτών. Το Πανεπιστήμιο της Β. Ντακότα (ΗΠΑ) αναφέρει πυκνότητες σποράς από 3.700-6.100 φυτά/στρ ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τις βροχοπτώσεις και τις τελικές αποδόσεις, και μικρότερες πυκνότητες σε εδάφη με μικρότερη υδατοϊκανότητα και ανεπαρκείς βροχοπτώσεις. Δυστυχώς δεν υπάρχουν καθόλου πειραματικά δεδομένα στην Ελλάδα που να αφορούν στην πυκνότητα των φυτών.

Η καθυστέρηση της σποράς επισπεύδει την ανάπτυξη λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών (Cirilo, Andrade 1994, Bange et al. 1997). Συντόμηση του σταδίου αύξησης μειώνει το ποσοστό της δεσμευόμενης ακτινοβολίας και επομένως και την τελική βιομάζα (De la Vega, Hall 2002a,b), ενώ πρωιμότερες σπορές δίδουν σημαντική αύξηση στη διάρκεια ζωής των φύλλων (Barros et al. 2003) και στον αριθμό των φύλλων (Ferreira, Abreu 2001).

Παρατηρήθηκε ότι συγκριτικά πρωιμότερες σπορές από Μάιο σε Μάρτιο (D' Amato, Giordano 1992), από Απρίλιο σε Μάρτιο (Fragella et al. 2002) και από Μάρτιο σε Φεβρουάριο (Sarno et al. 1992, Barros et al. 2003) προκάλεσαν αύξηση των αποδόσεων, ενώ από Ιούλιο σε Ιούνιο δεν παρατηρήθηκαν διαφορές, ίσως λόγω των βροχοπτώσεων του Φθινοπώρου (στάδιο

γεμίσματος του σπόρου) (Cilardi et al. 1990). Οι Cilardi et al. (1990) και Fragella et al. (2002) παρατήρησαν μείωση στην συγκέντρωση του ελαϊκού και αντίστροφα αύξηση του λινολεϊκού καθώς καθυστερούσαν οι ημέρες γεμίσματος του σπόρου. Οι Roberston, Green (1981) κατέληξαν ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε ελαϊκό οξύ επιτυγχάνονται με σπορές Απριλίου και οι χαμηλότερες σε πιο όψιμες σπορές. Όλοι οι συγγραφείς συμφωνούν ότι οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε ελαϊκό οξύ προκύπτουν όταν οι μέσες θερμοκρασίες στο στάδιο γεμίσματος του σπόρου είναι υψηλές και αντιστρόφως.

Ο ηλίανθος μπορεί να σπαρεί όταν η θερμοκρασία εδάφους φθάσει τους 8οC. Για τις περισσότερες περιοχές της πεδινής Ελλάδας η θερμοκρασία αυτή εξασφαλίζεται περί τα μέσα Μαρτίου. Κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου, εάν το εύρος θερμοκρασιών κυμαίνεται από 24-26οC την ημέρα έως 18-20οC τη νύχτα θα παραχθούν οι μεγαλύτερες αποδόσεις σε σπόρο (Ξανθόπουλος 1993).

Σε πειράματα της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης στη Σίνδο Θεσσαλονίκης τα έτη 2002-2003, φάνηκε ότι η καθυστέρηση της σποράς από τον Μάιο στον Ιούνιο και η ελλειμματική άρδευση προκάλεσαν χαμηλότερες αποδόσεις (κατά 6,5%), μικρότερο βάρος 1000 σπόρων (κατά 6,2%) και χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λάδι (κατά 23%) (Σκαράκης 2002, 2003).

Σε πειράματα που έγιναν από το 1985-1987 στη Σίνδο από το Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών με τις ποικιλίες ελεύθερης επικονίασης GK-70 και δύο συνθετικές ποικιλίες αυτής, φάνηκε ότι οι θερμοκρασίες την περίοδο γεμίσματος του σπόρου επηρέασαν το ποσοστό των δύο λιπαρών οξέων και την μεταξύ τους σχέση (ελαϊκό / λινοελαϊκό), που κυμάνθηκε από 0,64 - 0,69 (χαμηλές θερμοκρασίες) έως 1,02 σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

1.5 Προϊόντα ηλίανθου

Σήμερα αξιοποιούνται όλα τα τμήματα του φυτού (Burton et al., 2004). Το προϊόν της καλλιέργειας είναι ο σπόρος, ο οποίος και αποτελεί το 25% της ξηράς ουσίας του φυτού. Υπάρχουν δυο είδη σπόρων: οι μεγάλοι, που προορίζονται για άμεση κατανάλωση (πασατέμπο) και οι μικροί, που είναι κατάλληλοι για εξαγωγή ελαίου. Οι σπόροι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και ως πτηνοτροφή (Αυγουλάς et al., 2001). Η απόδοση σε λάδι του σπόρου είναι συνήθως 20-25%. Το υπόλοιπο λάδι παραμένει στον πλακούντα ο οποίος περιέχει επιπλέον περίπου 35% πρωτεΐνη ώστε αποτελεί εξαιρετική συμπυκνωμένη ζωοτροφή (Δαναλάτος, 2005).

Οι φλοιοί των σπόρων, μετά από ειδική επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία υποστρωμάτων διαφόρων ενζύμων (Friedt, 1992). Κατά μέσο όρο 100kg σπόρων δίνουν 40kg φλοιούς και 60kg ψίχα. Η αποφλοιώση των σπόρων γίνεται με το πέρασμα των

σπόρων ανάμεσα σε δίσκους που περιστρέφονται κατ' αντίθετη φορά. Η μεταξύ του απόσταση ρυθμίζεται έτσι ώστε να σπάζει μόνο ο φλοιός. Ακολουθεί διαχωρισμός με κοσκίνισμα. Η κατεργασία των σπόρων γίνεται με πίεση σε πιεστήρια, όπου η απόδοση των αποφλοιωμένων σπόρων φτάνει το 38% κατά βάρος ή με εκχύλιση, όπου η απόδοση των σπόρων φτάνει το 44-45% κατά βάρος (Μπαλατσούρας, 1995). Τα αποξηραμένα στελέχη χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαστικού, ινών και χαρτιού και σε φτωχές χώρες ως πρώτη ύλη (Ξανθόπουλος, 1993). Οι ξηροί βλαστοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως καύσιμη ύλη (Αυγουλάς et al., 2001). Το ηλιέλαιο έχει μεγάλο ενεργειακό περιεχόμενο και είναι πλούσιο σε πολυακόρεστα και μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατροφή του ανθρώπου, για παρασκευή μαργαρίνης, σαπουνιών, αλλά και ως βιοντίζελ μετά από κατάλληλη επεξεργασία.

Ο ηλιάνθος είναι μια από τις πιο σημαντικές ελαιοδοτικές καλλιέργειες παγκοσμίως κυρίως λόγω της υψηλής προσαρμοστικότητάς του στις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες αλλά και της εύκολης μηχανοποίησης της καλλιέργειας (Tolga et al., 2001). Εξαιτίας των μέτριων καλλιεργητικών αναγκών της καλλιέργειας, αλλά και της υψηλής ποιότητας ελαίου που παράγει, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με ηλιάνθο έχουν αυξηθεί τόσο στις ανεπτυγμένες, όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Με αποτέλεσμα ο ηλιάνθος να αποτελεί το τέταρτο σε σημασία φυτό παραγωγής φυτικού ελαίου σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ τα τελευταία χρόνια προσελκύει σημαντικό ενδιαφέρον από την Ε.Ε. για την παραγωγή βιοντίζελ, ιδιαίτερα μετά τη συνθήκη του Κιότο (2005) όπου οι μεγαλύτερες βιομηχανικές χώρες αποφάσισαν τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κάνοντας χρήση βιοκαυσίμων (Flagella et al, 2002). Το ηλιέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιοκαύσιμο μετά από κατάλληλη επεξεργασία και όχι κατευθείαν καθώς έχει αριθμό ιωδίου μεγαλύτερο από το όριο που έχει θεσπίσει η ΕΕ (130 αντί για 120-125). Για τη χρήση του ως βιοντίζελ πρέπει πρώτα να αναμιχθεί με λάδια που έχουν χαμηλότερο αριθμό ιωδίου ή με ζωικά λίπη (Δαναλάτος, 2005). Ως βιοντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί έλαιο του οποίου η περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ να υπερβαίνει το 40%. Για το λόγο αυτό θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα high-oleic και mid-oleic υβρίδια, με πιο κατάλληλα τα high-oleic υβρίδια, των οποίων η σύνθεση δεν επηρεάζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Skoric, 1982).

Έχουν προκύψει πολλές ποικιλίες ηλιάνθου, διαφοροποιούμενες ως προς την ποιότητα λαδιού που παράγουν, με τη χρήση συγκεκριμένων μεθόδων γενετικής βελτίωσης. Το αυθεντικό ηλιέλαιο (high linoleic) είχε υψηλή περιεκτικότητα σε λινελαϊκό οξύ. Τα ακόρεστα λιπαρά οξέα, όπως το ελαϊκό και το λινελαϊκό οξύ είναι χρήσιμα για τον ανθρώπινο οργανισμό (Burton et al., 2004). Η σταθερότητα στην οξείδωση του ηλιελαίου, που καθυστερεί την απώλεια της θρεπτικής του αξίας και τη δημιουργία δυσσάρεστων γεύσεων, εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε

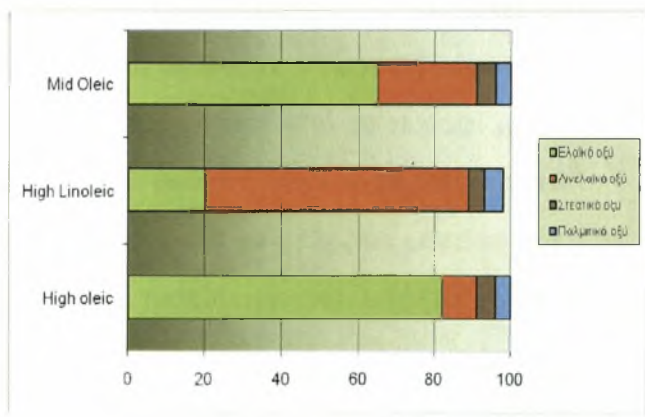
ελαϊκό οξύ και σε αντιοξειδωτικά. Εναλλακτικά, η σταθερότητα στην οξείδωση μπορεί να επιτευχθεί με υδρογόνωση, μειονέκτημα της οποίας είναι η παραγωγή βλαβερών για ανθρώπινη υγεία λιπαρών οξέων. Στα τέλη του εικοστού αιώνα αναπτύχθηκε ένα στέλεχος με αυξημένη περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (high oleic) και στις αρχές του εικοστού πρώτου αιώνα εμφανίστηκε στην αγορά και ένα ηλιέλαιο, κατάλληλο για τηγάνισμα, το οποίο έχει χαμηλά επίπεδα κορεσμένων λιπαρών οξέων χωρίς να έχει προηγηθεί υδρογόνωση (mid oleic). Τα τρία αυτά στελέχη παρουσιάζουν διαφορές στην περιεκτικότητά τους σε κορεσμένα, μονοακόρεστα και πολυακόρεστα λιπαρά οξέα (http://en.wikipedia.org/wiki/Sunflower_oil).

Υπάρχουν τρεις τύποι ηλιελαίου (γράφημα 1.1) :

Mid Oleic : Είναι σταθερό στην οξείδωση και παράγεται χωρίς τη χρήση υδρογόνωσης. Επισκιάζει τα άλλα λάδια που προορίζονται για εμπορική χρήση, παρέχοντας υπέροχη γεύση και κορυφαία απόδοση, καθώς και τα βέλτιστα για την υγεία οφέλη. Έχει λιγότερα από 10% κορεσμένα λιπαρά, 55-75% ελαϊκό οξύ και 15-35% λινελαϊκό οξύ.

High Linoleic : Είναι το αυθεντικό ηλιέλαιο και μέχρι πρόσφατα ο πιο κοινός τύπος. Είναι κατά κύριο λόγο (68%) πολυακόρεστο έλαιο με χαμηλά επίπεδα κορεσμένων λιπαρών (λιγότερο από 11%), καθαρή και απαλή γεύση και πλούσιο σε Βιταμίνη Ε. Περιέχει περίπου 21% μονοακόρεστα λιπαρά οξέα (ελαϊκό) και είναι γενικά μια υγιής και “νόστιμη” επιλογή.

High Oleic : Έχει πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ (περισσότερο από 80%), δηλαδή σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα. Χαρακτηριστικά του η ουδέτερη γεύση και η παροχή άριστης σταθερότητας χωρίς υδρογόνωση. Όπως συνέβη και με όλα τα υβρίδια που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ελαϊκό οξύ, οι ποικιλίες που δίνουν το συγκεκριμένο τύπο λαδιού προήλθαν από βελτιώσεις μέσα από συμβατικές μεθόδους αναπαραγωγής (National Sunflower Association, 2010).



	High oleic	High Linoleic	Mid Oleic
Ελαϊκό οξύ	82	20	65
Λινελαϊκό οξύ	9	69	26
Στεατικό οξύ	5	4	5
Παλμιτικό οξύ	4	5	4

Γράφημα 1.1. Κύριοι τύποι ηλιελαίου και η περιεκτικότητά τους σε οξέα(National Sunflower Association, 2010)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

2.1 Γενικά

Στην αναπτυσσόμενη γεωργία, οι απώλειες της παραγωγής λόγω μη σωστής θρέψης ή φυτο-υγείας έχουν μειωθεί σημαντικά, ενώ αυτές που έχουν σχέση με την διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης συνεχίζουν να είναι μεγαλύτερες από τις απώλειες που προκαλούνται από όλες τις άλλες αιτίες συνολικά. Γι αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σημαντικές προσπάθειες προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης μέσω καλύτερης διαχείρισης. Εξαιτίας της έλλειψης σχεδιασμού της άρδευσης (πότε και πόσο νερό να βάλουμε), οι αγρότες αρδεύουν εμπειρικά και για να αισθάνονται ασφαλείς τείνουν να αυξάνουν την ποσότητα του νερού άρδευσης, ιδιαίτερα όταν το κόστος του είναι χαμηλό. Σαν αποτέλεσμα 20% περίπου του εφαρμοζόμενου νερού χάνεται, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται ανταγωνισμοί και διαμάχες με άλλους τομείς κατανάλωσης (ύδρευση, βιομηχανία, τουρισμός). Για να μπορέσουμε να ξεφύγουμε από την εμπειρική άρδευση, ώστε να γίνει η όσον το δυνατόν ορθολογικότερη χρήση του νερού για άρδευση, πρέπει να μπούμε στην λογική του επιστημονικού και ακριβή υπολογισμού των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό. Έτσι πρέπει να γίνουν υπολογισμοί και τα αποτελέσματά τους εφαρμοσθούν στην πράξη.

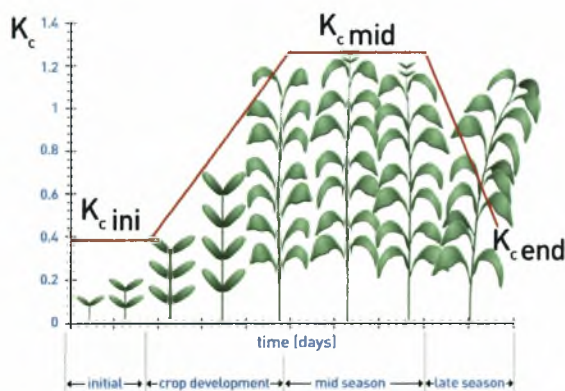
Αντικειμενικός σκοπός της αρδεύσεως είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της αποδόσεως τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του νερό μαζί με τα διαλυμένα σ' αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά από μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοικτά, το νερό κινείται παραπέρα με τη μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα το φύλλωμα ατμόσφαιρα. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με τη διαδικασία της εξατμίσεως από την επιφάνεια του εδάφους όταν αυτή είναι υγρή. Τέλος μετά από βροχή ή άρδευση με καταιονισμό το νερό που συγκρατείται από τα υπέργεια μέρη του φυτού εξατμίζεται και αυτό προς την ατμόσφαιρα. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με όλες αυτές τις διαδικασίες αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που, μαζί με την ωφέλιμη υγρασία, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για το σωστό προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το τελικό μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τα ιδιαίτερα

χαρακτηριστικά των φυτών και τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά τους.

2.2 Ανάγκες Ηλίανθου σε Νερό

Οι ανάγκες σε νερό του ηλίανθου κυμαίνονται από 600 έως 1000mm, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και την έκταση της καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνεται από τη σπορά έως το στάδιο της ανθοφορίας και μπορεί να φτάσει μέχρι τα 12 με 15mm/ημέρα. Το ποσοστό του συνολικού αρδευτικού νερού καταναμεμημένο στα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι περίπου 20% κατά τη βλαστική περίοδο, 55% κατά την ανθοφορία και το υπόλοιπο 20% μέχρι την ωρίμανση. Ο συντελεστής (K_c) της καλλιέργειας είναι ίσος με 0,3-0,4 κατά το αρχικό στάδιο (20-25 ημέρες), 0,7-0,8 κατά τις επόμενες 35-40 ημέρες, 1,05-1,2 στη μέση περίπου της ανάπτυξης της καλλιέργειας (40-50 ημέρες) και 0,7-0,8 στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης (25-30 ημέρες). Από εκεί και μέχρι τη συγκομιδή ο συντελεστής είναι 0,4



Εικόνα 2.1. Τιμές του συντελεστή K_c κατά την εξέλιξη της καλλιέργειας ηλίανθου

(<http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sunflower.stm#requirements>)

Ο ηλίανθος έχει χαμηλή αποδοτικότητα χρήσης νερού (Water Use Efficiency), οπότε για τη συνολικά παραχθείσα παραγωγή, οι απαιτήσεις σε νερό του ηλίανθου είναι συγκριτικά μεγαλύτερες σε σχέση με τις περισσότερες καλλιέργειες. Ιδιαίτερα σε εδάφη με χαμηλή υγρασία έχει αποδειχθεί ότι η άρδευση έχει συνεισφέρει στην αύξηση της παραγωγής έως και 100% (Goksoy et al., 2004).

Η μεγαλύτερη αποδοτικότητα της άρδευσης επιτυγχάνεται όταν παράλληλα εφαρμόζεται και N-ούχος λίπανση. Αυτό γιατί με την κατάλληλη χρήση λιπάσματος αυξάνεται η παραγωγή της καλλιέργειας και συνεπώς η αποδοτικότητα χρήσης νερού. Η θετική αλληλεπίδραση N-ούχου λίπανσης και άρδευσης έχει παρατηρηθεί σε πρόσφατη μελέτη των Sumathi and Koteswara

(2008) στην Ινδία.

Αν και η συμβολή της άρδευσης στην αύξηση της παραγωγής είναι καταλυτική, ο ηλίανθος μπορεί να ανέχεται ικανοποιητικά σύντομες περιόδους υδατικού στρες σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Η έλλειψη νερού δεν έχει τα ίδια αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, όμως μεγάλες περίοδοι υδατικού στρες, σε οποιοδήποτε στάδιο ανάπτυξης, θα έχουν ως αποτέλεσμα την ξήρανση των φύλλων με δραματικές συνέπειες στην παραγωγή (Demir et al., 2006).

Υδατικό στρες εφαρμοζόμενο στην αρχική βλαστική περίοδο έχει ως συνέπεια το χαμηλό ύψος φυτών, αλλά και το μεγαλύτερο βάθος του ριζικού συστήματος. Κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης απαιτείται επαρκές νερό για την κατάλληλη ανάπτυξη των οφθαλμών. Το στάδιο της ανθοφορίας είναι και το πιο ευαίσθητο όσον αφορά στην έλλειψη νερού, καθώς υδατικό στρες θα σημάνει σημαντική μείωση στην παραγωγή διότι λιγότερα άνθη θα αναπτυχθούν κανονικά. Το γέμισμα των σπόρων είναι το δεύτερο πιο ευαίσθητο στάδιο στην έλλειψη νερού καθώς προκαλείται σοβαρή μείωση και στην παραγωγή, αλλά και στην περιεκτικότητα σε έλαιο (Doorenbos and Kassam, 1979).

Σε παλαιότερες έρευνες εφαρμογή υδατικού στρες σε διάφορα στάδια ανάπτυξης έχει επηρεάσει σημαντικά την παραγωγή. Η μέγιστη παραγωγή παρατηρείται με εφαρμογή πλήρους άρδευσης. Όμως σχεδόν μέγιστη παραγωγή, αλλά και αύξηση της WUE (water use efficiency) υπήρχε όταν η άρδευση είχε σχεδιαστεί έτσι ώστε μόνο κατά τα δυο πιο ευαίσθητα στο υδατικό στρες στάδια της καλλιέργειας (ανθοφορία και γέμισμα σπόρων) να υπάρχει πλήρης κάλυψη των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας (Tolga et al., 2006).

Επίσης το επίπεδο άρδευσης επηρεάζει σημαντικά την συνολική παραγωγή. Οι Patel and Singh (1983) έδειξαν ότι υπήρχε μεγιστοποίηση της παραγωγής όταν η άρδευση είχε σχεδιαστεί ώστε να σταθεροποιεί την υγρασία του εδάφους πάνω από το 70-80% της υδατοϊκανότητας. Σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα υγρασίας, όμως, η περιορισμένη άρδευση είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της WUE (Unger, 1982).

Στην βόρεια Ελλάδα ο ηλίανθος καλλιεργείται συνήθως ως ξηρικός κάνοντας χρήση των ανοιξιάτικων βροχοπτώσεων. Το ριζικό σύστημα του ηλίανθου, που μπορεί να φτάσει σε μήκος έως και τα 3m, δίνει στο φυτό τη δυνατότητα να αντλήσει νερό από μεγαλύτερο βάθος σε σχέση με άλλες καλλιέργειες. Επωφελείται όμως από την άρδευση τόσο ώστε να υπερδιπλασιάζεται πολλές φορές η απόδοση. Έχει παρατηρηθεί αύξηση της απόδοσης από 60-90 kg/στρ. σε 250-300 kg/στρ. σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας. Με την εφαρμογή της άρδευσης έχουμε και καλύτερη αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων. Τέλος αυξάνεται η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι και

βελτιώνεται η ποιότητα των πρωτεϊνών γιατί αυξάνονται τα απαραίτητα αμινοξέα (Δαναλάτος και Αρχοντούλης, 2008).

2.3 Φυτικοί Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εξατμισοδιαπνοή

2.3.1. Το είδος του φυτού

Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την εποχή που αναπτύσσονται, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα και έκταση του φυλλώματος, το ύψος και όταν αυτά καλλιεργούνται ομαδικά, τον τρόπο σποράς και τις μεταξύ τους αποστάσεις. Οι διαφορές αυτές σε συνδυασμό με τις συνθήκες του περιβάλλοντος μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής από είδος σε είδος. Λόγω της σοβαρότητάς του, το θέμα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολύχρονης εντατικής έρευνας.

Βασισμένος στα πορίσματα αυτής της έρευνας, ο Penman έκανε τις ακόλουθες δύο γενικές διαπιστώσεις: καλλιέργειες που διαμορφώνουν το φύλλωμά τους σε χαμηλά επίπεδα, με παραπλήσια χαρακτηριστικά, που καλύπτουν πρακτικά όλη την επιφάνεια του εδάφους, που αναπτύσσονται σε χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου, έχουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα απ' το φυτικό είδος που ανήκουν και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο καλλιεργούνται.

Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες της ατμόσφαιρας στην περιοχή του φυλλώματος και μόνο απ' αυτές. Εκτεταμένες μεταγενέστερες μελέτες που έγιναν σε πολλά μέρη του κόσμου επιβεβαιώνουν, με μικρές μόνο παρεκκλίσεις, την ορθότητα των διαπιστώσεων αυτών

2.3.2. Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος

Η ανακλαστικότητα (albedo) του φυλλώματος, αλλά και του εδάφους καθορίζει το ύψος της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις επιφάνειες που τη δέχονται και επηρεάζει κατά ανάλογο τρόπο το ύψος τα εξατμισοδιαπνοής. Η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από το χρώμα και την τραχύτητα της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία. Εκτεταμένες παρατηρήσεις που έγιναν από τους Monthieth και Haise et al. έδειξαν ότι για τις περισσότερες πυκνά φυτεμένες καλλιέργειες το albedo κυμαίνεται από 20-30% και για το γυμνό έδαφος, ανάλογα με τη σύστασή του και την περιεχόμενη υγρασία, από 11-23%. Παρατηρήσεις σε μεμονωμένα φυτά έδειξαν ότι σαν συνέπεια της διαφορετικής ανακλαστικότητάς τους, η εξατμισοδιαπνοή επηρεάστηκε σε ποσοστό μέχρι 25%. Όταν τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν σε πυκνή διάταξη, η διαφορά περιορίστηκε στο ελάχιστο.

2.3.3. Το ποσοστό καλύψεως του εδάφους από το φύλλωμα

Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα των καλλιεργειών ασκεί σημαντική επίδραση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Προηγούμενα αναφέρθηκε ότι η ανακλαστικότητα του γυμνού εδάφους γενικά είναι μικρότερη από αυτή του φυλλώματος. Αυτό σημαίνει ότι το έδαφος απορροφά μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που είναι διαθέσιμο για εξάτμιση. Με βάση την ανακλαστικότητα και μόνο, αν η επιφάνεια του εδάφους είναι υγρή, η εξατμισοδιαπνοή θα είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερο είναι το ποσοστό καλύψεως από τα φύλλα της επιφάνειας του εδάφους.

2.3.4. Το ύψος των φυτών

Γενικά από τα δεδομένα που υπάρχουν δεν φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από το ύψος των φυτών μιας καλλιέργειας. Σε πειράματα όμως που έγιναν σε θερμοκήπια, πράγματι παρατηρήθηκε ότι ψηλά φυτά παρουσίασαν πιο έντονη διαπνοή από χαμηλά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα ψηλά μεμονωμένα φυτά, πέρα από την άμεση, δέχονται περισσότερη έμμεση ανοδική ακτινοβολία από το έδαφος που χρησιμοποιείται για διαπνοή. Στην περίπτωση αυτή όμως όχι μεμονωμένων φυτών αλλά καλλιεργειών που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του εδάφους δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην ακτινοβολία κάθε προελεύσεως που δέχονται με συνέπεια να μη παρατηρείται διαφοροποίηση στην εξατμισοδιαπνοή.

2.3.5. Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος

Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή κατά έμμεσο, σε σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Σε υγρά εδάφη με ανοιχτή δομή όπου τα φυτά έχουν άφθονη υγρασία στην διάθεση τους, φυτά με αβαθές και αραιό ριζικό σύστημα μπορούν να αντλούν το ίδιο εύκολα τις απαραίτητες ποσότητες νερού για την ικανοποίηση της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής τους όπως και τα φυτά με βαθιές και πυκνές ρίζες. Σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και συνεκτικά εδάφη, φυτά με βαθύ και πυκνό ριζικό σύστημα εκμεταλλεύονται εύκολα όλη την εδαφική υγρασία σε αντίθεση με φυτά που έχουν επιπόλαιο και αραιό ριζικό σύστημα με συνέπεια τα πρώτα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή από τα δεύτερα.

2.3.6. Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας

Ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι καθ' όλη τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει με γρήγορο ρυθμό από το φύτευμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή για ένα χρονικό διάστημα και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο αναπτύξεως οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους που ξεκινάει από μηδέν και φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται σε φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών.

2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής

2.4.1. Γενικά στοιχεία εξατμισοδιαπνοής

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοσή τους. Η ποσοτική εκτίμηση του νερού αυτού αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για τη σωστή εφαρμογή και τον προγραμματισμό των αρδεύσεων, όπως επίσης και για τη μελέτη και σχεδιασμό των αρδευτικών δικτύων (Παπαζαφειρίου, 1999).

Για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας χρησιμοποιείται η μέθοδος του φυτικού συντελεστή που απαιτεί τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς και του φυτικού συντελεστή (Doorenbos and Pruitt, 1977, Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999) ενώ λαμβάνεται υπόψη η διαθεσιμότητα της εδαφικής υγρασίας στο βάθος του ριζοστρώματος και η εξάτμιση από την εδαφική επιφάνεια. Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία, ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής των καλλιεργειών υπολογίζεται σε τρία βήματα:

- 1) Αρχικά υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς (ETo).
- 2) Ακολούθως, μέσω της ETo και του φυτικού συντελεστή της καλλιέργειας υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ETc).
- 3) Τέλος, υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας υπό πραγματικές συνθήκες (Allen et al., 1998) οι οποίες αποκλίνουν από τις ιδεατές αφού υπεισέρχονται παράγοντες όπως η έλλειψη εδαφικής υγρασίας, μικρή γονιμότητα εδάφους, τοξικότητα αλάτων, ασθένειες, προσβολές από έντομα, κακή στράγγιση, παρουσία σκληρών ή αδιαπέρατων εδαφικών οριζόντων στο βάθος του ριζοστρώματος, καθώς και η παρουσία αλάτων (ETc ACT).

2.4.2. Υπολογισμός της Εξατμισοδιαπνοής

Ένας καλλιεργούμενος αγρός χάνει νερό με τη διαδικασία της διαπνοής από τα φυτά και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Ακόμη, μετά από βροχή ή άρδευση με καταιονισμό, το νερό που συγκρατείται από το υπέργειο μέρος των φυτών εξατμίζεται προς την ατμόσφαιρα. Αθροιστικά, το νερό που χάνεται από έναν καλλιεργημένο αγρό με διαπνοή από τα φυτά, εξάτμιση από το έδαφος και εξάτμιση από το φύλλωμα, όταν αυτό είναι υγρό, αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή (Evapotranspiration, ET) και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φυτών και του εδάφους, τη διαθέσιμη ενέργεια και τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα (Παπαζαφειρίου, 1999).

ΕΞΑΤΜΙΣΗ (E)

Εξάτμιση, E, (evaporation) είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς και απομακρύνεται από μια επιφάνεια. Το νερό εξατμίζεται από μια ποικιλία επιφανειών, όπως οι λίμνες, οι ποταμοί, τα εδάφη και η υγρή βλάστηση. Για να μεταβληθεί η κατάσταση των μορίων του νερού από την υγρή στην αέρια φάση απαιτείται ενέργεια. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία και σε μικρότερη έκταση η θερμοκρασία του αέρα, παρέχουν αυτήν την ενέργεια. Η κατευθυντήρια δύναμη για την αφαίρεση των υδρατμών από την επιφάνεια εξάτμισης είναι η διαφορά μεταξύ της πίεσης υδρατμών στην επιφάνεια εξάτμισης και αυτής της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας. Καθώς διεξάγεται η εξάτμιση, ο περιβάλλον αέρας γίνεται βαθμιαία κορεσμένος και η διαδικασία επιβραδύνεται και μπορεί να διακοπεί εάν ο κορεσμένος αέρας δεν μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα. Η αντικατάσταση του κορεσμένου αέρα με ξηρότερο εξαρτάται πολύ από την ταχύτητα του ανέμου. Ως εκ τούτου, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του και η ταχύτητα του ανέμου είναι κλιματικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά την μελέτη της διαδικασίας εξάτμισης.

Όταν η επιφάνεια εξάτμισης είναι η επιφάνεια του εδάφους, ο βαθμός σκίασης του θόλου του φυτού και η ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμη στην εδαφική επιφάνεια είναι παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία της εξάτμισης. Συχνές βροχές, άρδευση και νερό που μεταφέρεται προς τα πάνω σε ένα έδαφος από την υπόγεια στάθμη, υγραίνουν την εδαφική επιφάνεια. Όπου το έδαφος είναι σε θέση να παρέχει το νερό αρκετά γρήγορα για να ικανοποιήσει τη ζήτηση εξάτμισης, η εξάτμιση από αυτό καθορίζεται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες (Allen et al., 1998).

Εντούτοις, αν το χρονικό διάστημα μεταξύ των βροχών ή/και των αρδεύσεων είναι μεγάλο και η συνεισφορά της υπόγειας στάθμης μηδενική, η περιεκτικότητα σε νερό στο επιφανειακό

έδαφος μειώνεται και η εδαφική επιφάνεια ξηραίνεται. Κάτω από αυτές τις περιστάσεις, η περιορισμένη διαθεσιμότητα του νερού ασκεί μίαν ελεγχόμενη επίδραση στην εξάτμιση: ελλείπει οποιοδήποτε ανεφοδιασμό της εδαφικής επιφάνειας με νερό, η εξάτμιση μειώνεται γρήγορα και μπορεί να πάψει σχεδόν εντελώς μέσα σε μερικές ημέρες (Allen et al., 1998).

2.5 Μέθοδοι Προσδιορισμού της Εξατμισοδιαπνοής

2.5.1. Άμεσοι Μέθοδοι

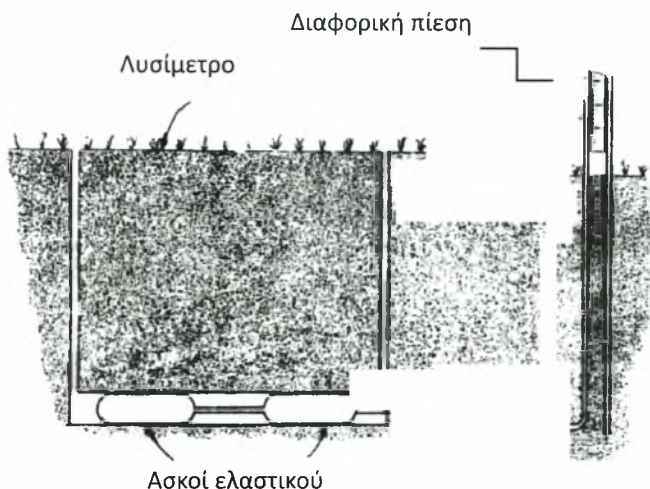
2.5.1.1. Μέτρηση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα

Η παρακολούθηση της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τους τρόπους και μεθόδους προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας δηλ. με απ' ευθείας προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας των εδαφικών δειγμάτων στο εργαστήριο ή τα τασίμετρα, πορώδη σώματα ή τη συσκευή Νετρονίων.

Κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι α) η δυσκολία στο διαχωρισμό της ποσότητας που καταναλώθηκε από τα φυτά και αυτής που απομακρύνθηκε από τη ζώνη του ριζοστρώματος λόγω βαθιάς διηθήσεως και β) η δυσκολία επιλογής αντιπροσωπευτικών θέσεων λήψεως δειγμάτων.

2.5.1.2. Μέθοδος των Λυσιμέτρων

Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση μιας εγκαταστάσεως που λέγεται λυσίμετρο η οποία παρέχει τη δυνατότητα της μετρήσεως της εκροής λόγω βαθιάς διηθήσεως καθώς και της απ' ευθείας μετρήσεως της μεταβολής της εδαφικής υγρασίας. Το κύριο σώμα του λυσιμέτρου είναι ένα μεγάλο, κατά προτίμηση κυλινδρικό δοχείο, από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό που, τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το ελεύθερο άκρο του να ταυτίζεται με την επιφάνεια του. Το δοχείο είναι γεμάτο με χώμα και καλλιεργείται με τα φυτά των οποίων πρόκειται να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Το βάθος του δοχείου πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί ανεμπόδιστα το ριζικό σύστημα της καλλιέργειας και να έχει αρκετή επιφάνεια, όχι μικρότερη από $4m^2$. Η εξατμισοδιαπνοή προκύπτει από το ισοζύγιο νερού στο λυσίμετρο. Ανάλογα με τον τρόπο εκτίμησης της διαφοράς της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας διακρίνονται τρεις τύποι λυσιμέτρων α) υδραυλικό β) ζυγιστικό και γ) ισοσταθμιστικό. Ένα τυπικό λυσίμετρο φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχ. 2.1. Ένα τυπικό Λυσίμετρο (Λυσίμετρο υδραυλικού τύπου)

Βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι α) οι συνθήκες στα λυσίμετρα δεν μπορούν να αναπαραστήσουν ακριβώς τις φυσικές συνθήκες β) προκειμένου για μεγάλη περιοχή τα αποτελέσματα του λυσιμέτρου έχουν μόνο σχετική ισχύ.

2.5.1.3. Άλλες μέθοδοι

Άλλες άμεσες μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι η μέθοδος του ισοζυγίου του νερού μιας λεκάνης με μετρήσεις των υδρολογικών της στοιχείων. Δηλαδή η εξατμισοδιαπνοή εκτιμάται με τη μέτρηση των βροχοπτώσεων της εισροής και της εκροής μέσω των υδατορευμάτων καθώς και της μεταβολής της στάθμης του υπόγειου νερού. Όπως είναι φανερό μια τέτοια μέθοδος δεν δίνει τη ζητούμενη ακρίβεια γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην προκαταρκτική φάση της μελέτης ενός αρδευτικού έργου. Αν υπάρχουν και άλλες άμεσες μέθοδοι εκτιμήσεως της εξατμισοδιαπνοής αυτές δεν είναι πρόσφορες για τη χρησιμοποίησή τους κατά τη μελέτη και τη λειτουργία των αρδευτικών έργων.

2.5.2. Έμμεσοι Μέθοδοι

Οι έμμεσες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής κατατάσσονται σε θεωρητικές, ημιθεωρητικές και εμπειρικές. Κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι προσπαθούν να προσδιορίσουν την εξατμισοδιαπνοή χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα. Η θεωρητική ανάλυση των θεωρητικών μεθόδων είναι συνήθως αρκετά αξιόλογη και αρκετά περίπλοκη για να παρουσιαστεί σ' αυτό το τεύχος. Συνήθως οι θεωρητικές μέθοδοι δίνουν εκτιμήσεις της εξατμισοδιαπνοής μικρών χρονικών διαστημάτων (π.χ. διάστημα 1 hr) με στοιχεία που λίγοι σχετικά μετεωρολογικοί σταθμοί στον κόσμο μπορούν να προσφέρουν. Σχετικά με το σχεδιασμό και τη λειτουργία των αρδευτικών έργων αυτό που ενδιαφέρει άμεσα

είναι η πρόγνωση της εξατμισοδιαπνοής σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά 10 ημέρες, ανά 15 ημέρες ή ανά μήνα) με τη χρησιμοποίηση όσο το δυνατόν λιγότερων κλιματικών δεδομένων αφού η συγκέντρωση στοιχείων για μια υπό μελέτη έκταση διαρκεί συνήθως πολύ μικρό διάστημα και σε ελάχιστες περιπτώσεις προϋπάρχουν αξιόλογα κλιματικά δεδομένα σειράς ετών. Έτσι από τις θεωρητικές απλοποιήσεις προκύψαν οι ημιθεωρητικές. Τέλος η εύκολη συσχέτιση της εξατμισοδιαπνοής με βασικά κλιματικά δεδομένα, που μπορούν να βρεθούν σε κάθε περιοχή (π.χ. η θερμοκρασία), ήταν η κύρια αιτία της δημιουργίας πολλών εμπειρικών τύπων - μεθόδων-προγνώσεως της εξατμισοδιαπνοής. Από ένα μεγάλο αριθμό ημιθεωρητικών και εμπειρικών μεθόδων εδώ θα αναπτυχθεί το λογιστικό μέρος των λεγόμενων "ορθολογικών μεθόδων" που περιλαμβάνουν την αεροδυναμική, τη μέθοδο ακτινοβολίας και τη μέθοδο συνδυασμού. Επίσης από τις εμπειρικές η χρησιμοποιούμενη σε πολλά μέρη του κόσμου (και στην Ελλάδα) μέθοδος Blaney- Criddle συγκεντρώνει ενδιαφέρον μια που προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιείται για τις μελέτες αρδευτικών έργων και στα επόμενα χρόνια. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι αντιμετωπίζονται σύμφωνα με τις νέες απόψεις στο θέμα (Doorenbos & Pruitt, 1977).

2.5.2.1. Μέθοδος μεταφοράς της μάζας ή αεροδυναμική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή ότι η αιτία της εξατμισοδιαπνοής είναι η τυρβώδης κίνηση του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και η υφιστάμενη κλίση της πίεσεως των υδρατμών. Η μέθοδος αυτή θεωρεί ότι με την κίνηση του αέρα η ύπαρξη αρνητικής κλίσεως συγκεντρώσεως των υδρατμών (ή της μερικής πίεσεως των υδρατμών) διατηρείται και έτσι εξασφαλίζεται η συνέχιση της ανοδικής μετακινήσεως του νερού από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα.

Οι περισσότερες από τις εξισώσεις που έχουν προταθεί έχουν την ακόλουθη γενική μορφή:

$$PET = c(a+bu)(ea-ed)$$

όπου:

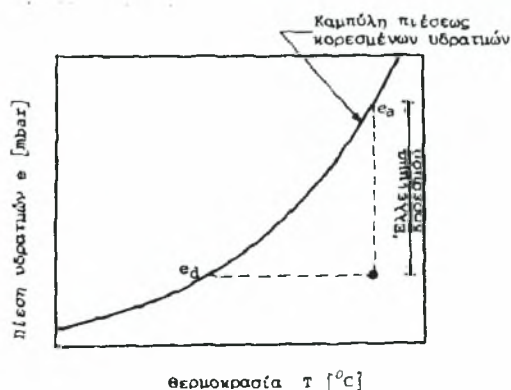
PET η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς

a,b,c οι σταθερές που προσδιορίζονται εμπειρικά

ea-ed το έλλειμμα κορεσμού του αέρα πάνω από την & υγρή επιφάνεια για την αντίστοιχη θερμοκρασία (Σχήμα 2.2.)

u η ταχύτητα του ανέμου σε ένα ορισμένο ύψος πάνω από την επιφάνεια (συνήθως παίρνεται η ταχύτητα σε ύψος 2m).

Σοβαρό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι οι σταθερές a,b και c μεταβάλλονται με το χρόνο και τόπο (ακόμα και μέσα στην ίδια περιοχή).



Σχ.2.2. Το έλλειμμα κορεσμού από την καμπύλη πίεσεως των κορεσμένων υδρατμών.

2.5.2.2. Μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας ή μέθοδος ακτινοβολίας

Η μέθοδος του ισοζυγίου της ενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους ή μέθοδος της ακτινοβολίας στηρίζεται στην αρχή ότι η κύρια αιτία της εξατμισοδιαπνοής είναι η καθαρή ενέργεια που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης υπό μορφή ακτινοβολίας.

Επειδή η σχέση του ισοζυγίου της ενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους περικλείει ποσότητες που μετρώνται σχετικά δύσκολα, δίνεται η απλοποιημένη μέθοδος της ακτινοβολίας με την ακόλουθη σχέση:

$$PET = W \cdot RS \text{ (mm/ημέρα)}$$

όπου:

RS η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γήινη επιφάνεια εκφρασμένη σε ισοδύναμη εξάτμιση, mm/ημέρα. Για τη μετατροπή της ενέργειας σε ισοδύναμη εξάτμιση χρησιμοποιείται η σχέση $1 \text{ cal/cm}^2 = 1/59 \text{ mm}$.

K ο όρος που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το υψόμετρο.

W ισούται με $W = \Delta / (\Delta + \gamma)$ όπου Δ είναι η κλίση της καμπύλης πίεσεως των κορεσμένων υδρατμών για τη μέση θερμοκρασία αέρος στην περίοδο που εξετάζουμε και γ είναι η ψυχομετρική σταθερά.

2.5.2.3. Μέθοδος Penman ή μέθοδος συνδυασμού

Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων της ακτινοβολίας και της αεροδυναμικής αποτελεί τη βάση της θεωρίας του Penman ή της μεθόδου συνδυασμού. Θεωρείται δηλαδή ότι για την εξήγηση του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής εκτός του συστήματος ανεφοδιασμού και της επάρκειας νερού για εξάτμιση χρειάζεται:

- a. μια διαθέσιμη ενέργεια για τη μετατροπή του νερού σε υδρατμό, που στην προκείμενη

περίπτωση προέρχεται από την καθαρή ακτινοβολία, όπως προκύπτει από την εξίσωση του ισοζυγίου της ενέργειας στην επιφανειακή ζώνη εδάφους.

- b. ένας μηχανισμός διατηρήσεως της αρνητικής κλίσεως συγκεντρώσεως των υδρατμών που στην προκείμενη περίπτωση προέρχεται από την κίνηση του αέρα.

Αρχικά η μέθοδος εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό της εξατμίσεως από ανοικτές επιφάνειες νερού (π.χ. λίμνες). Εδώ η μέθοδος Penman είναι προσαρμοσμένη για να χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς. Η μέθοδος δίνει γενικά καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις έμμεσες μεθόδους και ισχύει με την κατάλληλη προσαρμογή σε οποιεσδήποτε συνθήκες.

Για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής η εξίσωση Penman γράφεται:

$$PET = W \cdot R_n + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)$$

όπου:

PET η δυναμική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς mm/ημέρα)

W ο ίδιος όρος όπως προηγούμενα

R_n η καθαρή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμη εξάτμιση (mm/ημέρα)

e_a-e_d το έλλειμμα κορεσμού (mbar) για τη μέση θερμοκρασία του αέρα

f(u) μια συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου (αδιάστατη). Η συνάρτησα f(u) εκφράζεται συνήθως ως γραμμική συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 2m, u₂ (km/24ωρο) γνωστής στη διεθνή βιβλιογραφία ως wind travel.

2.5.2.4. Εμπειρικές Μέθοδοι - Μέθοδος Blaney-Criddle

Από τις πιο διαδεδομένες εμπειρικές μεθόδους είναι και αυτή που προτάθηκε από τους Blaney-Criddle (1950) και χρησιμοποιείται για μελέτες αρδευτικών έργων σε πολλές χώρες μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα. Η εξίσωση των Blaney-Criddle για μηνιαίο διάστημα γράφεται:

$$f = p \cdot (0.46T + 8)$$

όπου:

f ο κλιματικός παράγοντας σε mm/ημέρα

p το μέσο ημερήσιο ποσοστό της συνολικής ετήσιας διάρκειας των ωρών ημέρας. Δίνεται ως συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής,

T η μέση θερμοκρασία του μήνα σε °C.

Για τον υπολογισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της κάθε καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς διάφοροι φυτικοί συντελεστές οι οποίοι έχουν εντελώς τοπικό

χαρακτήρα μια που επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που δεν περιγράφονται από τις παραμέτρους της εξίσωσης Blaney-Criddle. Έτσι οι φυτικοί συντελεστές που υπολογίστηκαν για μια ορισμένη περιοχή δεν πρέπει να μεταφέρονται και να χρησιμοποιούνται σε άλλες περιοχές.

2.5.2.5. Μέθοδος της λεκάνης

Η λεκάνη εξατμίσεως αποτελεί ένα από τα βασικά όργανα των αγροτομετεωρολογικών σταθμών. Συχνές και προσεκτικές μετρήσεις της εξάτμισης από τη λεκάνη (με ταυτόχρονη προστασία της από τα πουλιά μπορεί να δώσει σειρά από αξιόπιστα δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$PET = K_p \cdot E_p$$

όπου:

E_p η εξάτμιση από τη λεκάνη (mm / ημέρα),

K_p ένας αδιάστατος συντελεστής της λεκάνης.

Συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τύποι λεκανών, η λεκάνη τύπου A (U.S Class A Pan) και η λεκάνη του Colorado (Colorado Sunken Pan) . Η λεκάνη τύπου A έχει διάμετρο 121 cm, βάθος 25.5cm και κατασκευάζεται από γαλβανισμένο χάλυβα. Τοποθετείται σε ξύλινη βάση και οριζοντιώνεται σε ύψος 15cm πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Η επιφάνεια του νερού παραμένει από 5 έως 7.5cm κάτω από το χείλος της λεκάνης. Οι μετρήσεις στο βάθος του νερού στη λεκάνη γίνονται με σταθμήμετρο με ακίδα και σύστημα βερνιέρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

3.1 Άρδευση με σταγόνες (Στάγδην Άρδευση)

3.1.1. Γενικά

Ο ραγδαία αυξανόμενος πληθυσμός παγκοσμίως απαιτεί αύξηση της γεωργικής παραγωγής αν και η διάθεσιμότητα νερού για αρδευτικούς σκοπούς (72% της συνολικής ποσότητας νερού) ολοένα και μειώνεται (Cai and Rosegrand, 2003). Άρα ιδιαίτερη σημασία αποκτά η εύρεση στρατηγικών βελτιστοποίησης της αποδοτικότητας χρήσης νερού κυρίως σε ξηρές ή ημίξηρες περιοχές. Πολλές μέθοδοι αναπτύχθηκαν με σκοπό την επίτευξη μικρότερου κόστους και μεγαλύτερης αποτελεσματικότητας κατά την εφαρμογή του νερού στις αρδεύσεις. Η άρδευση με σταγόνες ή στάγδην άρδευση είναι μια μέθοδος κατά την οποία το 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 αποδόση υγρασία. Αρχικά εφαρμόστηκε για την άρδευση λαχανικών, σπρωρώνων και αμπελώνων, αλλά μετά επεκτάθηκε στην άρδευση των περισσότερων γραμμικών καλλιεργειών (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

Η στάγδην άρδευση ανήκει στις μεθόδους της τοπικής ή μερικής άρδευσης. Έτσι χαρακτηρίζονται οι μέθοδοι εκείνες που χορηγούν το νερό κατευθείαν στη ζώνη της μεγαλύτερης ριζικής δραστηριότητας των φυτών και μόνο εκεί, σε αντίθεση με τις διάφορες παραδοσιακές μεθόδους, που χορηγούν το νερό σε όλη (καταιονισμός, κατάκλυση) ή σχεδόν όλη (αυλάκια) την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τις τοπικές αρδεύσεις είναι:

1. Μικρή παροχή του σταλλάκτη (σε μερικές περιπτώσεις και μικρότερη από 1,2lt/h).
2. Μερική διαβροχή του εδάφους.
3. Υψηλή συχνότητα αρδεύσεων.
4. Υψηλή περιεκτικότητα και χαμηλή τάση εδαφικής υγρασίας.
5. Τρισδιάστατη κίνηση του νερού στο έδαφος.

(Μιχελάκης, 1998)

3.1.2. Μέρη του συστήματος Σταγδην Άρδευσης

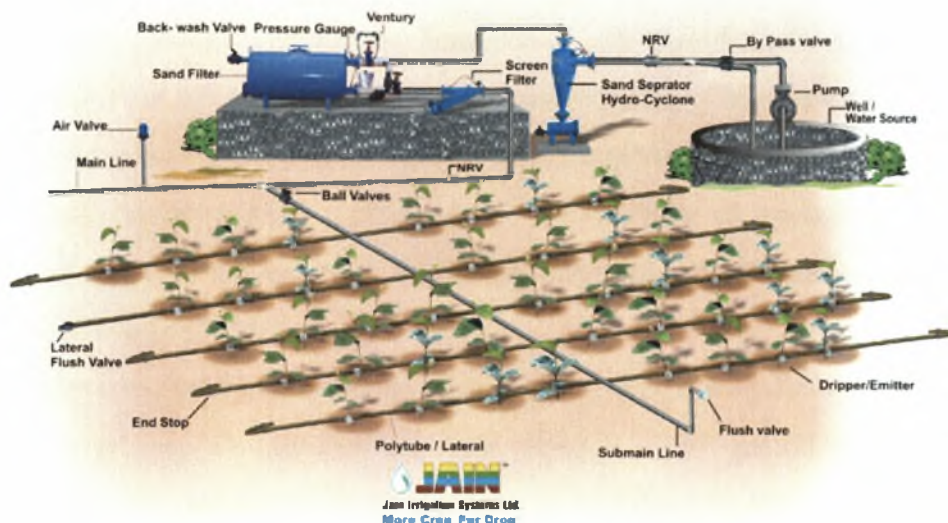
Ένα ολοκληρωμένο σύστημα στάγδην άρδευσης αποτελείται από τη μονάδα ελέγχου, το δίκτυο μεταφοράς και το δίκτυο εφαρμογής.

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 (υδρόμετρο), φίλτρα, ρυθμιστές πίεσης και συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Το υδρόμετρο καταγράφει την ποσότητα του νερού που ξοδεύεται για την χρέωση και μπορεί να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε το συγκρότημα να διακόπτει την παροχή ύστερα από τη διέλευση της επιθυμητής ποσότητας νερού. Κύριο στοιχείο της μονάδας ελέγχου αποτελούν τα φίλτρα, ο ρόλος των οποίων είναι να καθαρίζουν το νερό που προμηθεύεται στο δίκτυο από φερτά υλικά, ακόμη και πολύ μικρών διαστάσεων που είναι δυνατό να φράξουν τους σταλακτήρες. Τα φίλτρα χρειάζονται καθαρίσμα γιατί βουλώνουν. Καλό είναι να υπάρχουν μετρητές πιέσεων πριν και μετά το φίλτρο ώστε να εκτιμάται μέχρι ποιο σημείο το φίλτρο έχει βουλώσει. Βέβαια στο εμπόριο υπάρχουν πλέον και φίλτρα αυτοκαθαριζόμενα. Τέλος η μονάδα ελέγχου μπορεί να είναι εφοδιασμένη και με δοχείο λίπανσης μέσα στο οποίο τοποθετείται η ποσότητα του λιπάσματος, από το οποίο το νερό που περνάει μέσα από το δίκτυο παίρνει την επιθυμητή ποσότητα λιπάσματος (υδρολίπανση).

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 συνύθως από άκαμπτο PVC και πρέπει να τοποθετούνται υπόγεια, τόσο για την προστασία τους, όσο και για την διευκόλυνση της κυκλοφορίας στον αγρό των γεωργικών μηχανημάτων.

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από εύκαμπτους σωλήνες πολυαιθυλενίου με διάμετρο 12-25 mm, στους οποίους, σε προκαθορισμένες θέσεις τοποθετούνται ή ενσωματώνονται οι σταλακτήρες μέσω των οποίων το νερό φθάνει στο έδαφος με τη μορφή σταγόνων.

Βασικό στοιχείο του συστήματος άρδευσης με σταγόνες αποτελούν οι σταλακτήρες. Συνδέονται με το δίκτυο εφαρμογής και διοχετεύουν το νερό υπό μορφή σταγόνων στο έδαφος. Αυτό επιτυγχάνεται με την εκμηδένιση της πίεσης του νερού που ρέει στον αγωγό εφαρμογής λόγω των απωλειών ενέργειας κατά τη διέλευση του από το σταλακτήρα. Με τη χρήση των σταλακτάρων δίνεται η δυνατότητα σε κάθε θέση να διηθούνται στο έδαφος λίγα λίτρα νερού την ώρα (1-10 l/h σε πίεση 0,2-2 atm) (Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, 2004).



Εικ. 3.1. Μέρη συστήματος στάγδην άρδευσης

Έχουν σχεδιαστεί πολλών ειδών σταλακτήρες οι οποίοι με βάση τα χαρακτηριστικά τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Ανάλογα με τον είδος ροής του νερού, διακρίνονται σε σταλακτήρες με στρωτή ροή, με μερικά στροβιλώδη ροή και με στροβιλώδη ροή. Μια άλλη διάκριση γίνεται με βάση τον τρόπο απόσβεσης ή στραγγαλισμού της πίεσης. Έτσι έχουμε τους σταλακτήρες με μακρύ διάδρομο ροής και αυτούς με επιστόμιο ή οπή. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι αυτορυθμιζόμενοι που διατηρούν σταθερή παροχή ανεξάρτητα από το φορτίο με κάποιο μηχανισμό αυτόματης ρύθμισης. Ανάλογα με την ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους διακρίνονται σε αυτοκαθαριζόμενους και μη αυτοκαθαριζόμενους. Οι αυτορυθμιζόμενοι σταλακτήρες είναι κατά κανόνα και αυτοκαθαριζόμενοι (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

3.1.3. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα στάγδην άρδευσης

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης είναι τα εξής:

α) Η μέθοδος της στάγδην άρδευσης έχει εξαιρετικά αποτελέσματα όταν εφαρμοστεί σωστά καθώς αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού, ειδικά σε περιοχές όπου η διαθέσιμη παροχή άρδευσης είναι μικρή ή το κόστος νερού είναι πολύ υψηλό.

β) Το σύστημα της στάγδην άρδευσης προσφέρεται κατ' εξοχή για αυτοματισμούς. Δίνεται η δυνατότητα διατήρησης της υγρασίας στο ριζόστρωμα στο σημείο της υδατοϊκανότητας με τον ακριβή υπολογισμό των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας και την εφαρμογή της αντίστοιχης ποσότητας νερού (Burt and Styles, 2007).

γ) Η εφαρμογή της στάγδην άρδευσης μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε τύπο εδάφους και σε περιοχές με ιδιαίτερη μορφή ή ανώμαλη τοπογραφία χωρίς να είναι απαραίτητη η ισοπέδωση

του εδάφους (Τερζίδης και Παπαζαφειρίου, 1997).

δ) Δίνεται η δυνατότητα εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι απώλειες στην απορρόφηση των θρεπτικών στοιχείων ελαχιστοποιούνται λόγω της εντοπισμένης λίπανσης αλλά και της μειωμένης έκπλυσης (Μιχελάκης, 1998).

ε) Είναι δυνατό με κατάλληλο σχεδιασμό του συστήματος να παραμένουν στον αγρό αρκετά ξηρές λωρίδες γης, όπου μπορούν να κινηθούν πιο εύκολα τα γεωργικά μηχανήματα όποτε χρειαστεί (Σακελλαρίου, 2004).

στ) Ως συνέπεια του προηγούμενου θα μπορούσε να θεωρηθεί η δυνατότητα καλύτερου ελέγχου των ζιζανίων μιας και καταπολεμούνται έγκαιρα όταν χρειάζεται με εφαρμογή ζιζανιοκτόνων, αφού το ψεκαστικό μηχάνημα μπορεί να κινηθεί εύκολα όποια στιγμή και να απαιτηθεί (Σακελλαρίου et al., 1999).

Τα μειονεκτήματα της στάγδην άρδευσης μπορούν να συγκεντρωθούν στα ακόλουθα:

α) Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα άρδευσης (άρδευση με αυλάκια, με καταιονισμό, με κατάκλυση).

β) Πιθανότητα φραξίματος των σταλακτήρων. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος θα πρέπει το αρδευτικό νερό να είναι καλά φιλτραρισμένο και επίσης να χρησιμοποιούνται διάφορες χημικές ουσίες για τον καθαρισμό του συστήματος.

γ) Υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος. Τα περισσότερα συστήματα στάγδην άρδευσης σχεδιάζονται με στόχο την επίτευξη της όσο το δυνατόν υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού, που σημαίνει ελάχιστη έκπλυση νερού. Χωρίς όμως έκπλυση υπάρχει ο κίνδυνος συγκέντρωσης αλάτων, περιεχόμενα στο νερό, στη ριζόσφαιρα (Sakellariou et al., 2002).

3.2 Ελλειμματική Άρδευση

3.2.1. Γενικά

Παραδοσιακά η γεωργική έρευνα είχε ως πρωταρχικό στόχο τη μεγιστοποίηση της συνολικής παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια, όμως, έχει δοθεί έμφαση στους περιοριστικούς παράγοντες παραγωγής, κυρίως στη διαθεσιμότητα εδαφικών ή υδάτινων πόρων. Στο πλαίσιο αυτό η ελλειμματική άρδευση (DI) έχει μελετηθεί ευρέως ως πολύτιμη στρατηγική κυρίως για ξηρές περιοχές, όπου το νερό είναι ο περιοριστικός παράγοντας της καλλιέργειας (Fereres and Soriano, 2007; Pereira et al., 2002).

Η DI είναι μια στρατηγική άρδευσης κατά την οποία η καλλιέργεια εκτίθεται σε υδατικό στρες είτε κατά τη διάρκεια μιας μεμονωμένης αυξητικής περιόδου, είτε κατά τη διάρκεια όλης της αύξησης με μικρές μόνο συνέπειες στην παραγωγή. Είναι ένα αποτελεσματικό σύστημα

διαχείρισης νερού, καθώς η επίδρασή της στην απόδοση των καλλιεργειών μπορεί να είναι αμελητέα, αρκεί το υδατικό στρες να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, όπου δηλαδή η καλλιέργεια θα είναι λιγότερο ευαίσθητη στην έλλειψη νερού (FAO, 2002).

Σε ξηρές περιοχές ειδικότερα κάνοντας χρήση της DI η άρδευση εφαρμόζεται μόνο στα ευαίσθητα στο υδατικό στρες στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Στα υπόλοιπα στάδια εφαρμόζεται ελάχιστη ή και καθόλου άρδευση. Κατά συνέπεια η συνολικά εφαρμοζόμενη άρδευση δεν είναι ανάλογη των απαιτήσεων της καλλιέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού της κύκλου. Αν και αυτό οδηγεί αναπόφευκτα στην απώλεια της παραγωγής, η DI αυξάνει την αποδοτικότητα χρήσης νερού, μεγαλώνοντας την παραγωγή ανα μονάδα νερού που εφαρμόζεται και οδηγώντας έτσι σε μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη (English, 1990).

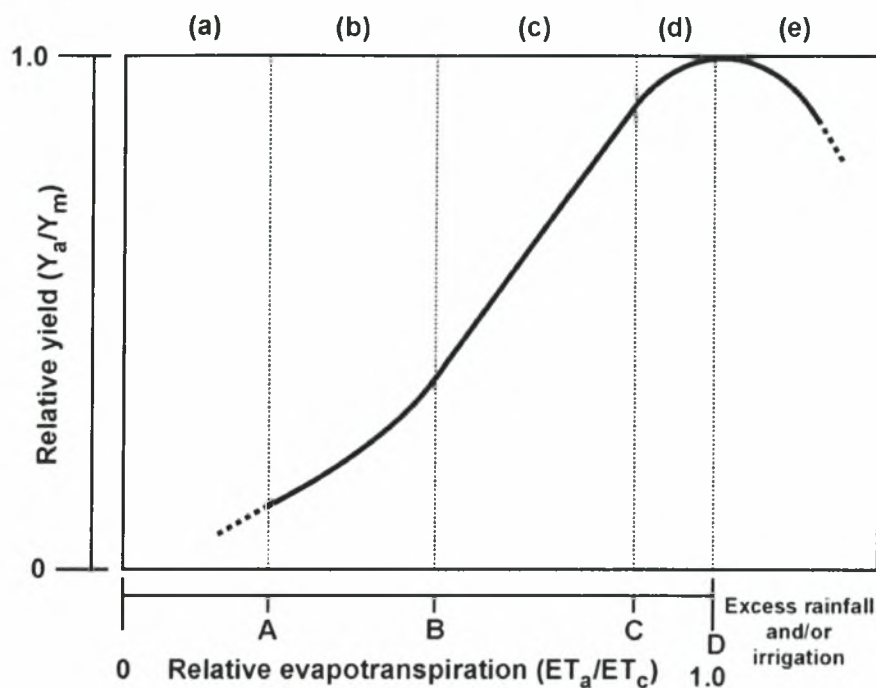
Η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE) είναι ο βασικός όρος για την αξιολόγηση των στρατηγικών DI. Η WUE είναι ο λόγος της μάζας του εμπορεύσιμου προϊόντος (Y_a) προς την εξατμισοδιαπνοή (ET_a), την ποσότητα δηλαδή νερού που καταναλώνεται από την καλλιέργεια (Molden, 2003).

$$WUE = \frac{Y_a}{ET_a}$$

Σε περιοχές με έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας θα πρέπει γενικά να προτιμώνται οι καλλιέργειες με υψηλή WUE. Αυτός βέβαια δεν είναι ο μόνος παράγοντας, καθώς σε περιπτώσεις όπως αυτές των φρούτων ή των σιτηρών, μπορεί η WUE να είναι χαμηλότερη όμως η θρεπτική τους αξία είναι μεγαλύτερη και αυτό λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό της DI (Geerts and Raes, 2009).

3.2.2. Καμπύλη Παραγωγικότητας Νερού

Η καμπύλη παραγωγικότητας νερού (Crop Water Production function) έχει γενικά τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 3.1. (Geerts et Raes, 2009)



Σχ. 3.1. Καμπύλη Παραγωγικότητας Νερού (CWP)

Η CWP καμπύλη εκφράζει τη σχέση του εμπορικά εκμεταλλεύσιμου παραγόμενου προϊόντος (Y_a) προς τη συνολική εξατμισοδιαπνοή (ET_a). Δίνει μια πρώτη ένδειξη αν η WUE παρουσιάζεται μέγιστη σε συνθήκες υψηλής ET_a ή χαμηλότερης. Λόγω μεγάλης διασποράς τα συμπεράσματα θα είναι προσεγγιστικά (Geerts et Raes., 2009).

Στα πλαίσια της λειτουργίας της CWP διακρίνονται 5 τμήματα που μπορεί από καλλιέργεια σε καλλιέργεια να διαφέρουν σε πλάτος ή ακόμη και να απουσιάζουν (Doorenbos and Kassam, 1979):

Τμήμα a : Η WUE είναι πολύ χαμηλή και ο μόνος τρόπος να αυξηθεί η παραγωγή ή η WUE είναι να προστεθεί μια σημαντική ποσότητα νερού μέχρι το τμήμα b (Geerts et Raes., 2009).

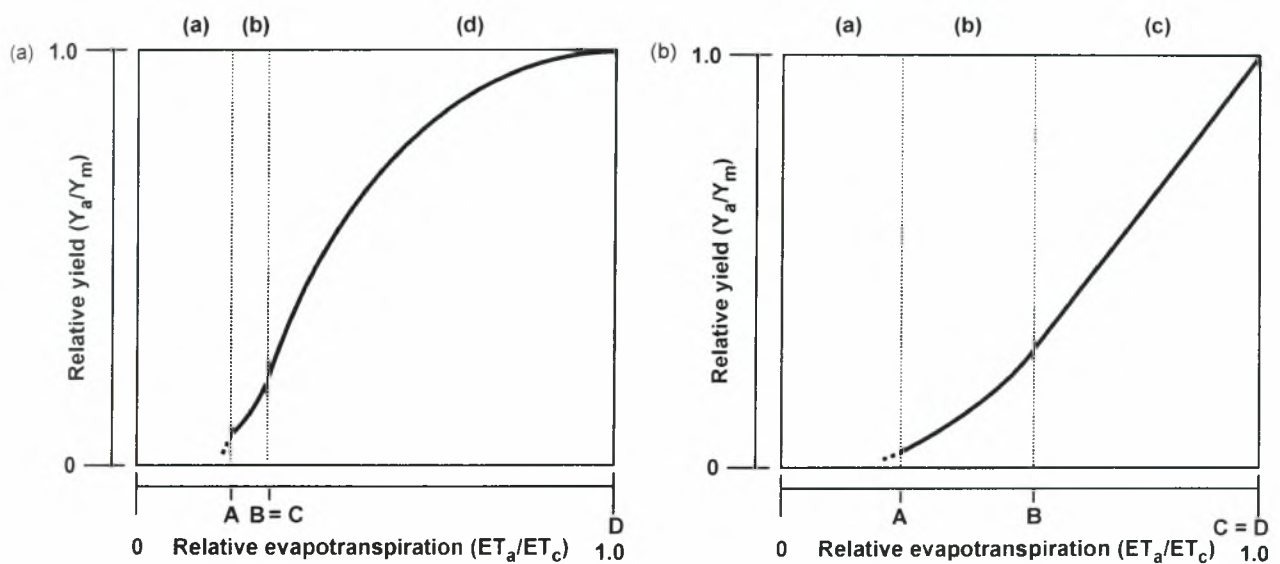
Τμήμα b: Η καμπύλη έχει ένα κοίλο σχήμα: οποιαδήποτε αύξηση της δόσης άρδευσης οδηγεί σε ανάλογη αύξηση της WUE.

Τμήμα c: Με συμπληρωματική άρδευση η CWP γίνεται σχεδόν γραμμική με κλίση που κυμαίνεται από ήπια ως έντονη. Σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1979) υπάρχει ένα κατώτερο όριο (σημείο B στην εικόνα που αντιστοιχεί σε $ET_{rel}=0,5$), όπου η σχέση σχετικής παραγωγής (Y_{rel}) και σχετικής εξατμισοδιαπνοής (ET_{rel}) ξεκινάει να είναι γραμμική.

Τμήμα d: Η κλίση της CWP μειώνεται όσο η τιμή της ET_{rel} πλησιάζει στο 1 (σημείο D). Στο τμήμα αυτό παρατηρείται αύξηση της παραγωγής με παράλληλη όμως μείωση της WUE. Το τμήμα αυτό για ορισμένες καλλιέργειες μπορεί να είναι σχετικά μεγάλο, π.χ. σιτάρι (Zhang et al., 2008) ή βαμβάκι (DeTar, 2008). Για καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι, το τμήμα D μπορεί να απουσιάζει (Payero et al., 2006).

Τμήμα e: Στο τμήμα αυτό εφαρμόζεται νερό περισσότερο από τις ανάγκες της καλλιέργειας με αποτέλεσμα πολλές φορές ακόμη και να πέφτει παραγωγή ως αποτέλεσμα έκπλυσης των θρεπτικών στοιχείων (Sun et al., 2006). Στο τμήμα αυτό η άρδευση δεν είναι απαραίτητη εκτός και αν αποσκοπεί στην έκπλυση αλάτων από το ριζικό σύστημα (Geerts et Raes, 2009).

Στο σχήμα 3.2. φαίνεται η διαφοροποίηση της καμπύλης CWP για ανθεκτικές ή μη καλλιέργειες στην ξηρασία.



Σχ 3.2. Μορφή της καμπύλης CWP για a) σχετικά ανθεκτικές και b) ευαίσθητες στην ξηρασία καλλιέργειες

Στο πρώτο σχέδιο το τμήμα d της καμπύλης έχει ένα κοίλο σχήμα και αυτό μαρτυρά την ανοχή της καλλιέργειας σε συνθήκες ξηρασίας και άρα το όφελος από την εφαρμογή της DI. Έχουν παρατηρηθεί τέτοια σχήματα σε καλλιέργεια σιταριού (Zhang, 2003), αλλά σε πειράματα με καλλιέργεια σόγιας (Sincic et al., 2008).

Στο δεύτερο σχέδιο φαίνεται ότι το τμήμα d της καμπύλης απουσιάζει και η καμπύλη είναι γραμμική μέχρι και το σημείο όπου το παρεχόμενο νερό ισοδυναμεί με τις απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας. Η γραμμική μορφή της καμπύλης σημαίνει με απλά λόγια ότι η WUE αυξάνεται

αναλογικά με την αύξηση της ποσότητας του αρδευτικού νερού μέχρι και την ολική κάλυψη των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε νερό, οπότε από αγρονομικής άποψης η εφαρμογή της τεχνικής της πλήρους άρδευσης είναι πιο συμφέρουσα από την DI (Geerts et Raes., 2009). Τέτοιας μορφής καμπύλη παρατηρήθηκαν σε καλλιέργεια καλμποκιού (Payero et al., 2006) και μελιτζάνας (Lovelli et al., 2007)

3.2.3. Προγραμματισμός DI

Οι πρακτικές της DI διαφέρουν από τις παραδοσιακές πρακτικές αποθήκευσης νερού. Ο διαχειριστής πρέπει να είναι άριστος γνώστης της αντίδρασης της καλλιέργειας στο υδατικό στρες είτε κατά τη διάκεια καθορισμένων σταδίων αύξησης, είτε σε όλη την αυξητική περίοδο (Kirda et al., 1999). Βέβαια η τεχνική της DI δεν έχει ευεργετικά αποτελέσματα σε όλες τις καλλιέργειες. Καλλιέργειες ανθεκτικές στο υδατικό στρες, όπως το βαμβάκι, το καλαμπόκι, το σιτάρι, ο ηλίανθος, και το ζαχαρότευτλο μπορούν να ενσωματωθούν επιτυχώς στις πρακτικές της DI. Για πιο ευαίσθητες καλλιέργειες, όπως η πατάτα, η DI αποδείχθηκε λιγότερο οικονομική (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw>). Επίσης θα πρέπει να επιλέγονται οι κατάλληλες καλλιέργειες με καταλληλότερες εκείνες με μικρό βιολογικό κύκλο αλλά και ανθεκτικότητα στην ξηρασία. Τέλος θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ικανότητα συγκράτησης του νερού του εδάφους. Έχει βρεθεί πως τα εδάφη με λεπτή υφή είναι τα πλέον κατάλληλα για εφαρμογή DI (Stewart and Musick, 1982).

Σκοπός της DI είναι η αύξηση της WUE μιας καλλιέργειας εξαλείφοντας τις αρδεύσεις που έχουν ελάχιστο αντίκτυπο στην παραγωγή. Η μείωση της παραγωγής που προκύπτει είναι μικρή, συγκρινόμενη με τα οφέλη που αποκομίζονται εκτρέποντας το αποθηκευμένο νερό για άρδευση άλλων καλλιεργειών για τις οποίες το νερό θα ήταν ανεπαρκές με τις παραδοσιακές πρακτικές άρδευσης (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw>).

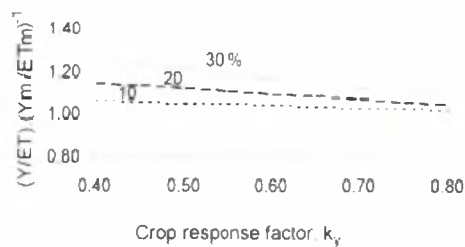
Για να καθοριστούν οι σχέσεις μεταξύ απόδοσης και εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιείται το μοντέλο Stewart (1977):

Όπου Y και ET_a είναι η παραγωγή και η εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα κάτω από συνθήκες DI και Y_m και η ET_m η μέγιστη παραγωγή και εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα σχετικές με πλήρως αρδευόμενη καλλιέργεια, ky είναι ένας παράγοντας αντίδρασης της καλλιέργειας που ποικίλλει ανάλογα με το είδος, την ποικιλία, την αρδευτική μέθοδο και διαχείριση και το στάδιο αύξησης όταν υπάρχει ελλιπής εξατμισοδιαπνοή. Οι υπολογισμοί των Y_m , ET_a και ET_m τεκμηριώνονται καλά και η βιβλιογραφία έχει δώσει τιμές για το ky (FAO, 1998). Από τις 4 αυτές παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε την Y_a όπου το διαθέσιμο απόθεμα νερού δεν καλύπτει τις υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας. Ο παράγοντας ky αποτελεί μια ένδειξη της ανθεκτικότητας της καλλιέργειας στο υδατικό στρες.

Με τη χρήση της εξίσωσης Stewart μπορεί να γραφεί και ως:

$$E_c = \frac{Y}{ET_a} = \left[K_v - \frac{K_v - 1}{ET_a - ET_m} \right] \cdot \left(\frac{Y_m}{ET_m} \right)$$

Καθώς ο παράγοντας της αντίδρασης παραγωγής K_y αυξάνεται, η WUE μειώνεται πράγμα το οποίο σημαίνει ότι το όφελος από την DI είναι απίθανο. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.3 το οποίο δείχνει τη σχέση μεταξύ της εξωτερικής WUE, του K_y και του σχεδιασμένου ελλείμματος ET.



Σχ 3.3. Σχέση μεταξύ του βαθμού αποδοτικότητας της άρδευσης (WUE), του παράγοντα αντίδρασης K_y και του σχεδιασμένου ελλείμματος ET (%).

Ένας παράγοντας αντίδρασης μεγαλύτερος από τη μονάδα δείχνει ότι η αναμενόμενη σχετική παραγωγή μειώνεται για δεδομένη εξατμισοδιαπνοή και η μείωση αυτή είναι αναλογικά μεγαλύτερη από τη σχετική μείωση στην εξατμισοδιαπνοή (Kirda et al., 1999). Στην περίπτωση αυτή δεν παρουσιάζονται οφέλη από τη χρήση της DI. Στον πίνακα 3.1. παρουσιάζονται κάποιες τιμές κατά FAO του k_y για διάφορες καλλιέργειες. Γενικά τέσσερα φυσιολογικά στάδια αύξησης για κάθε καλλιέργεια είναι αρκετά για να περιγράψουν την ευαισθησία των καλλιεργειών στο στρες.

- Αρχικό (καλλιέργεια ως το 10% της κάλυψης του εδάφους),
- Ανάπτυξη (από το 10% της κάλυψης μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια και την άνθηση),
- Μέση περίοδος (από την πλήρη κάλυψη μέχρι την ωρίμανση),
- Τελικό στάδιο (από την ωρίμανση μέχρι τη συγκομιδή).

Πίνακας 3.1. Τιμές κατά FAO του συντελεστή αντίδρασης Ky για 7 καλλιέργειες

Καλλιέργεια	Tr ₀₀₀₀	Tr ₀₁₁₁	Tr ₁₀₁₁	Tr ₁₁₀₁	Tr ₁₁₁₀
Βαμβάκι	0,85	0,20	0,50		0,25
Φασόλι	1,15	0,20	1,10	0,75	0,2
Καλαμπόκι	1,25				
Πατάτα	1,10	0,60		0,70	0,20
Σόγια	0,85	0,20	0,80	1,00	
Ηλίανθος	0,95	0,4	1	0,8	
Σιτάρι	1,00	0,20	0,60	0,50	

Tr0000 αναφέρεται σε συνεχή DI, ενώ οι υπόλοιπες μεταχειρίσεις αφορούν περιορισμένη παροχή νερού σε συγκεκριμένα μόνο στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (οι δείκτες 0 και 1 ανταποκρίνονται στα στάδια κατά τα οποία το αρδευτικό νερό περιορίστηκε ή όχι).

Παρατηρούμε ότι για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι πιθανό σε ορισμένα σταδια να είναι μεγαλύτερος, ενώ σε κάποια άλλα όχι. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το φασόλι: από τον πίνακα διαπιστώνουμε ότι στέρση νερού της καλλιέργειας φασολιού κατά το δεύτερο στάδιο ανάπτυξης δε συμφέρει, όπως επίσης ούτε εφαρμογή DI σε όλη την αυξητική περίοδο. Αντίθετα επιβολή υδατικού στρες κατά τη διάρκεια του πρώτου, του τρίτου ή του τέταρτου σταδίου αύξησης θα αποφέρει μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη.

3.2.4. Πλεονεκτήματα και προϋποθέσεις εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης

Η DI είναι μια στρατηγική άρδευσης που μεγιστοποιεί την WUE. Αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημά της. Αν και παρουσιάζεται συνήθως μια αρκετά σημαντική απώλεια παραγωγής, η ποιότητα του παραχθέντος προϊόντος είναι καλύτερη, με αποτέλεσμα η διαφορά αυτή να ισοσταθμίζεται (Cui et al, 2008, Hueso and Cuevas, 2008). Ειδικά σε μέρη που υπάρχει έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας, η DI σταθεροποιεί την παραγωγή, δίνοντας έτσι εγγυησεις στους παραγωγούς για ένα σταθερό εισόδημα, επιτρέποντας τους κατ' αυτόν τον τρόπο έναν καλύτερο οικονομικό σχεδιασμό (Geerts and Raes, 2009).

Σημαντική θεωρείται και η εφαρμογή της DI στον περιορισμό διάφορων μυκητολογικών ασθενειών. Με άλλα λόγια το περιβάλλον που δημιουργείται γύρω από την καλλιέργεια είναι λιγότερο υγρό από ότι σε συνθήκες πλήρους άρδευσης, περιορίζοντας έτσι το ρίσκο προσβολής από μύκητες (Cicogna et al., 2005).

Ένα ακόμη θετικό στοιχείο της DI έχει να κάνει με τη λίπανση της καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα με τη χρήση μικρότερης ποσότητας νερού υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στη χρήση των λιπασμάτων. Αυτό γιατί περιορίζεται η έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα της λιπαντικής ουσίας στο εδαφικό διάλυμα (Garabet et al., 1998).

Καθοριστική είναι η εφαρμογή της DI σε περιοχές όπου η διαθέσιμη προσφορά νερού είναι ανεπαρκής για την άρδευση όλων των εκτάσεων. Σε τέτοιες περιοχές η μεγιστοποίηση της WUE είναι συνήθως πιο προσοδοφόρα για τους παραγωγούς από ότι η μεγιστοποίηση της παραγωγής (English, 1990). Με τη χρήση της στρατηγικής της DI δίνεται προτεραιότητα στο κοινόχρηστο όφελος και όχι στον κάθε παραγωγό ξεχωριστά. Αντί να χρησιμοποιείται η πρακτική της πλήρους άρδευσης, εφαρμόζοντας την DI το αποθηκευμένο νερό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση επιπλέον εκτάσεων στην περιοχή (Kirkorir et al., 2001).

Τέλος βελτιώνει τον έλεγχο της ημερομηνίας σποράς και τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ανεξάρτητα από την έναρξη των βροχοπτώσεων και ως εκ τούτου βελτιώνει τον αρδευτικό σχεδιασμό (Geerts et al., 2008).

Οι προϋποθέσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή της DI μπορούν να συνοψιστούν στις εξής:

- Είναι επιτακτική η γνώση της αντίδρασης της καλλιέργειας στο υδατικό στρες.
- Πρέπει να υπάρχει επαρκής πρόσβαση στο νερό κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης (ευαίσθητα στην ξηρασία στάδια της καλλιέργειας) κάτι εξαιρετικά δύσκολο για τις ξηρές περιοχές.
- Πρέπει να εξασφαλίζεται μια ελάχιστη ποσότητα νερού κάτω από την οποία η DI δεν έχει σημαντική θετική επίδραση (Zhang, 2003).
- Ο κάθε μεμονωμένος παραγωγός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα οφέλη για το σύνολο των παραγωγών που χρησιμοποιούν το αρδευτικό νερό στην περιοχή (επιπλέον γη μπορεί να αρδεύεται με το αποθηκευμένο νερό), όταν η δική του καλλιέργεια παρουσιάζει μειωμένη παραγωγή.
- Τέλος οι παραγωγοί θα πρέπει να αναμένουν αύξηση της αλατότητας τους εδάφους κάτω από συνθήκες DI σε σχέση με την εφαρμογή πλήρους άρδευση (Geerts et al., 2009).

3.2.5. Εφαρμογές της ελλειμματικής άρδευσης

Πειράματα σε διάφορες καλλιέργειες επιβεβαιώνουν πως η DI μπορεί να αυξήσει την WUE χωρίς σημαντική μείωση της παραγωγής. Για παράδειγμα, σε καλλιέργεια χειμερινού σιταριού στην Τουρκία, η DI διπλασίασε την WUE σε σχέση με συνθήκες πλήρους άρδευσης (libeyi et al., 2006). Το ίδιο είχε παρατηρηθεί και σε καλλιέργεια βαμβακιού (Geerts et al., 2008). Ορισμένες καλλιέργειες κηπευτικών, επίσης, ανταποκρίνονται θετικά στη DI (Raes et al., 2008).

Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι η DI μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της WUE του σιταριού χωρίς σημαντική ελάττωση της παραγωγής. Σε πείραμα που διενεργήθηκε το 2006-07 στη βόρεια Κίνα μελετήθηκε η επίδραση του υδατικού στρες σε τρεις ποικιλίες σιταριού εφαρμοζόμενο σε οποιοδήποτε από τα τέσσερα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας και παρατηρήθηκε αύξηση της WUE έως και 12,87% (Du et al., 2009).

Έχουν μελετηθεί επίσης οι επιπτώσεις της DI σε καλλιέργεια ελιάς. Στην Κόρδοβα της Ισπανίας διενεργήθηκε πείραμα από το 2004 έως το 2006 (Iniesta et al., 2008) που αφορούσε στην επιβολή υδατικού στρες σε ποσοστό 75% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας ελιάς και πλήρης διακοπή της άρδευσης από 1 Ιουλίου έως 15 Σεπτεμβρίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη αύξηση της WUE. Η στρατηγική αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στις μεσογειακές χώρες όπου οι χειμερινές και οι ανοιξιόαιτες βροχές προστατεύουν την καλλιέργεια από υδατικό στρες κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας και της ωρίμανσης του καρπού (Iniesta et al., 2008).

Και στα οπωροφόρα δέντρα υπάρχουν αποτελέσματα πολλών ερευνών. Έχει αποδειχθεί ότι με τη χρήση της DI η WUE μπορεί να παρουσιάσει αύξηση έως και 60% χωρίς απώλειες στην παραγωγή ή ουσιαστική μείωση της φυτικής ευρωστίας καλλιέργειας ροδάκινου και αχλαδιάς (Cui et al., 2008). Πείραμα που διενεργήθηκε σε καλλιέργεια φυστικιάς (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw>) απέδειξε πως η εφαρμογή υδατικού στρες κατά το στάδιο της βλαστικής φάσης της καλλιέργειας είχε σαν αποτέλεσμα τη συνολική αύξηση της βιομάζας, της παραγωγής σε καρπούς και της WUE της καλλιέργειας.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει εντατικές έρευνες για την αξιολόγηση της επίδρασης των πρακτικών της DI σε αμπελώνες. Η εφαρμογή του υδατικού στρες πριν την ωρίμανση είχε σαν αποτέλεσμα τον έλεγχο της αύξησης των βλαστών και την αποφυγή συνθηκών υπερβολικής βλαστικής ζωηρότητας που επικρατούν σε συνθήκες πλήρους άρδευσης. Ακόμη μια συμβολή της εφαρμογής DI σε αμπέλια έχει να κάνει με τη βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του κρασιού (Chaves et al., 2007) όπως επίσης και με το μερικό έλεγχο των μυκητολογικών προσβολών (Schreiner et al., 2007).

Πειράματα έχουν γίνει και πάνω σε καλλιέργεια τομάτας. Η τομάτα είναι το πρώτο σε

καλλιεργούμενη έκταση λαχανοκομικό είδος και αυτό κάνει σημαντική τη δυνατότητα εξοικονόμησης νερού για την καλλιέργειά της (Feres και Soriano, 2007). Από πειράματα εφαρμογής της DI πάνω σε καλλιέργεια τομάτας έχουν προκύψει διαφορετικά αποτελέσματα: ο Pulupol et al. (1996) παρατήρησε σημαντική μείωση της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα για θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας, ενώ ο Zegbe-Dominguez et al. (2006) δεν παρατήρησαν ελάττωση της απόδοσης σε ποικιλίες που καλλιεργούνται για μεταποίηση. Ωστόσο αν και οι επιπτώσεις στην απόδοση μπορεί να είναι διαφορετικές, πολλές από τις μελέτες που έχουν γίνει έδειξαν ότι η DI εξοικονομεί μεγάλες ποσότητες νερού και αυξάνει την WUE (Savic et al., 2008).

Όσον αφορά το καλαμπόκι, έχει αποδειχθεί ότι ανταποκρίνεται φτωχά στις πρακτικές της DI και αυτό καθιστά προτιμότερη τη στρατηγική της πλήρους άρδευσης (Pandey et al., 2000).

Σε περιπτώσεις ευρύτερων περιοχών όπου παρουσιάζεται έντονο το φαινόμενο της λειψυδρίας, υπάρχει η δυνατότητα κάνοντας χρήση της DI να πραγματοποιηθεί καλύτερος αρδευτικός σχεδιασμός. Για παράδειγμα στη Νεμπράσκα των ΗΠΑ, όπου οι υδατικοί πόροι είναι περιορισμένοι, οι Payero et al. (2009) αρδεύοντας την καλλιέργεια μόνο με 150mm νερού κατά τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο, προσδιόρισαν την καλύτερη κατανομή του νερού για την επίτευξη της υψηλότερης WUE. Απέδειξαν ότι όταν το ποσοστό διάθεσης των 150mm αυξάνεται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, τότε η WUE μεγαλώνει.

Μια μορφή ελλειμματικής άρδευσης είναι και η Μερική Ξήρανση Ριζών (Partial Rootzone Drying). Η τεχνική αυτή έχει παρουσιάσει μέχρι και 50% εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού (Kang et al., 1998). Αρχή της PRD είναι η εναλλακτική άρδευση στις δυο πλευρές του ριζικού συστήματος των φυτών, με άλλα λόγια η βρεγμένη και η ξηρή πλευρά του ριζικού συστήματος να εναλλάσσονται σε ένα κύκλο 10-14 ημερών (Dry et al, 1996). Η συχνότητα εναλλαγής εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους, τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και την εξάτμιση του νερού (Davies et al., 2000). Οι εναλλακτικοί κύκλοι των αρδεύσεων είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή της καλλιέργειας, αλλά και τη διατήρηση των χημικών σημάτων χωρίς να επηρεάζεται η υδατική κατάσταση των φυτών (Loveys et al., 2000). Η τεχνική της PRD έχει δοκιμαστεί σε μια σειρά καλλιεργειών, όπως οι τομάτες (Savic et al., 2008), τα αμπέλια (Chaves et al., 2007), τις πατάτες. Η πατάτα, ένα ευαίσθητο στην ξηρασία φυτό, παρουσίασε αύξηση της WUE έως και 47% σε σχέση με τη μεταχείριση ελέγχου (πλήρης άρδευση), με χρήση της PRD τεχνικής και κάλυψη του 50% της εξατμισοδιαπνοής (Saeed et al., 2007).

3.2.6. Ελλειμματική άρδευση ηλίανθου

Ο ηλίανθος καλλιεργείται παγκόσμια κυρίως ως ξηρική καλλιέργεια, όμως αντιδρά σημαντικά στην άρδευση. Η άρδευση είναι ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει κατευθείαν την παραγωγή της καλλιέργειας ηλίανθου. Σε πολλές περιοχές, ειδικά σε αυτές της μεσογείου, υπάρχει το μεγάλο πρόβλημα της έλλειψης υδατικών πόρων, έτσι πολλές φορές η πλήρης άρδευση, με το 100% των αναγκών σε νερό, του ηλίανθου είναι ένα δύσκολο εγχείρημα. Η ορθή εφαρμογή όμως νερού σε συγκεκριμένα στάδια της ανάπτυξης αυξάνει σημαντικά την παραγωγή (Ghani et. al., 2002 και Todorovic et. al, 2007).

Έχουν γίνει διάφορες μελέτες για την αξιολόγηση της επίδρασης της ελλειμματικής άρδευσης σε καλλιέργεια ηλίανθου. Ορισμένες από τις οποίες έχουν να κάνουν με εφαρμογή ελλειμματικής άρδευσης σε όλη την καλλιέργεια και άλλες σε ορισμένα μόνο στάδια αυτής. Τα αποτελέσματα σε γενικές γραμμές δείχνουν ότι ναι μεν οι μεγαλύτερες αποδόσεις παρατηρούνται κάτω από συνθήκες πλήρης άρδευσης, όμως όταν εφαρμόζεται σωστά σε συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης, η ελλειμματική άρδευση δίνει αποτελέσματα στατιστικώς μη σημαντικά.

Οι Tolga et al. (2001) διεξήγαγαν πείραμα στην Τουρκία για τρία χρόνια (1998, 1999, 2000), όπου καλλιέργεια ηλίανθου από την αρχή αρδεύτηκε με διάφορα ποσοστά επί των συνολικών αναγκών. Απέδειξαν ότι όσο αυξανόταν το επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης, τόσο αυξανόταν και η WUE της καλλιέργειας. Επίσης παρατηρήθηκε μείωση της παραγωγής σπόρου, της διαμέτρου κεφαλής αλλά και του ύψους, με τις διαφορές να θεωρούνται μη στατιστικώς σημαντικές στα επίπεδα του 1 και 5% αντίστοιχα. Τα συμπεράσματα της έρευνας αυτής έρχονται σε συμφωνία με εκείνα των El-Wakil και Gaafar (1988) και Perniola et al. (1989).

Αντίθετα οι Wahba et al. (1990) απέδειξαν ότι η άρδευση της καλλιέργειας στα επίπεδα του 50 και 75% των αναγκών σε νερό μπορεί να προκαλέσει ακόμη και υποδιπλασιασμό της συνολικής παραγωγής σπόρου, σε σχέση με την εφαρμογή της πλήρους άρδευσης. Όσον αφορά την WUE δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Shinde et al. (1986) και οι Cox και Jalliff (1986).

Έχουν διενεργηθεί και πειράματα όπου το επίπεδο ελλειμματικής άρδευσης διαφοροποιούταν μεταξύ των διαφόρων σταδίων της καλλιέργειας. Σε ένα από αυτά οι Karam et al. (2007) εφαρμόζοντας την μέθοδο της ελλειμματικής άρδευσης σε τρία διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (βλαστικό στάδιο, ανθοφορία και γέμισμα σπόρου) απέδειξαν ότι ο περιορισμός της παροχής νερού στο στάδιο γεμίσματος του σπόρου αυξάνει την WUE χωρίς να προκαλεί στατιστικά σημαντικές διαφορές στην απόδοση της καλλιέργειας, σε αντίθεση με την εφαρμογή

ελλειμματικής άρδευσης στα άλλα δυο στάδια. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στο πείραμα των Todorovic et al. (2007). Όσον αφορά την WUE οι Flenet et al. (1996) βρήκαν ότι αυξάνεται στα στρεσαρισμένα φυτά, σε αντίθεση με τους Goksoy et al. (2004) και Stone et al. (1996) που δεν βρήκαν αξιόλογη μεταβολή στην WUE της καλλιέργειας.

Έχουν διενεργηθεί και πολλά πειράματα για την μελέτη της επίδρασης της DI στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ηλιελαίου. Οι Flagella et al. (2002) παρατήρησαν ότι η κύρια επίπτωση της άρδευσης στην καλλιέργεια ηλίανθου είναι η σημαντική αύξηση κατά 2,8% του λινελαϊκού οξέος και η ταυτόχρονη μείωση κατά 2,6% του ελαϊκού. Όσον αφορά το παλμιτικό και το στεατικό οξύ δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες μεταβολές. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται σε συμφωνία με αυτά των Talha και Osman (1974), οι οποίοι παρατήρησαν την τάση αύξησης του λόγου ελαϊκό προς λινελαϊκό οξύ κάτω από συνθήκες υδατικού στρες, ειδικά όταν αυτό εφαρμόστηκε στο στάδιο εμφάνισης της ανθικής καταβολής. Επίσης σε υψηλές σε παραγωγή ελαίου ποικιλίες, όταν το υδατικό στρες εφαρμοστεί στο στάδιο του γεμίσματος των σπόρων, ο λόγος ελαϊκό προς λινελαϊκό οξύ αυξάνεται σε σχέση με καλύτερες όσον αφορά την παροχή νερού συνθήκες (Baldini et al., 2000).

Αντίθετα, ο Unger (1982), βρήκε πολύ μικρές διαφορές μεταξύ των διαφόρων αρδευτικών εφαρμογών του πειράματός του και μόνο μια θετική συσχέτιση μεταξύ ελαϊκού οξέος και αρδευτικού νερού κατά το βλαστικό στάδιο της καλλιέργειας. Άλλες μελέτες, όπως αυτή των Salera και Baldini (1998) δεν παρατηρήθηκε καμία διαφορά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του λαδιού σε σχέση με την αρδευτική μέθοδο που εφαρμόστηκε.

Τα διαφορετικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις μελέτες οφείλονται μάλλον στις διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες υπό τις οποίες διεξήχθησαν τα πειράματα (Flagella et al., 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

4.1. Χάραξη του πειραματικού αγρού

Το πείραμα έγινε σε πειραματικό αγρό στο αγρόκτημα (εικόνα 4.1) του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (39° 23' γεωγραφικό πλάτος, 22° 45' γεωγραφικό ύψος, 50 m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας) και αφορούσε τη μελέτη της επίδρασης της εφαρμογής διαφορετικών ποσοτήτων αρδευτικού νερού με τη χρήση της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια ηλίανθου. Μελετήθηκαν επίσης οι



Εικόνα 4.1. Ο πειραματικός αγρός

επιπτώσεις της επιφανειακής στάγδην άρδευσης η οποία ελέγχεται από μεγάλες αποστάσεις αυτόματα σε σύγκριση με τα συμβατική επιφανειακή στάγδην άρδευση. Το πείραμα διενεργήθηκε το καλλιεργητικό έτος 2008.

Εφαρμόστηκε το πειραματικό σχέδιο Πλήρως Τυχατοποιημένων Ομάδων με τέσσερις μεταχειρίσεις και τέσσερις επαναλήψεις για κάθε μεταχείριση. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε διαστάσεις 7m x 4m , δηλαδή εμβαδόν 28 m².

Εφαρμόστηκαν οι εξής μεταχειρίσεις:

A. **DI_{100%}** : Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας με βάση την εξατμισοδιαπνοή. Το εύρος άρδευσης ήταν 4 ημέρες και η παροχή των σταλακτήρων 2,3 l/h..

B. **DI_{80%}** : Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 80% των αναγκών της καλλιέργειας και με εύρος άρδευσης και παροχή σταλακτήρων ίδια με DI_{100%} .

Γ. **DI_{50%}** : Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 50% των αναγκών της καλλιέργειας και με εύρος άρδευσης και παροχή σταλακτήρων ίδια με DI_{100%}.

Δ. **ADI_{50%}** : Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 50% των αναγκών της καλλιέργειας βάση της εξατμισοδιαπνοής, η οποία ελέγχεται από μεγάλη απόσταση αυτόματα.

4.2. Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, ασβεστούχο, ιλυο-αργιλοπηλώδες που ανήκει στην υποομάδα των *Tyric Xerotent* (USDA, 1975). Το έδαφος ταξινομήθηκε στα λεγόμενα *Entisols* επειδή είναι έδαφος χωρίς παθογενετικούς ορίζοντες και χωρίς εμφανείς στρώσεις διαφορετικών υλικών απόθεσης, διαφόρουλιθολογικής σύστασης και ηλικίας. Είναι έδαφος A-C κατανομής και οι επικρατούσες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας είναι αντίστοιχα *xeric* και *thermic*.

Η σπορά του πειράματος έγινε στις 23 Απριλίου 2008. Η σπορά έγινε σε γραμμές με τετράσειρη σπαρτική μήχανή. Οι αποστάσεις ήταν 15,4 cm επί της γραμμής σποράς και 0,8 m μεταξύ των γραμμών ώστε, εξαιτίας της πολύ υψηλής φυτρωτικής ικανότητας του ηλιάνθου, το πλήθος φυτών να είναι 8100 ανά στρέμμα. Κάθε πειραματικό τεμάχιο περιελάμβανε 8 σειρές. Λίπανση δεν εφαρμόστηκε.

Χρησιμοποιήθηκε το υβρίδιο PR63A90 της Pioneer. Είναι ένα πρώιμο υβρίδιο, με ισχυρά αγρονομικά χαρακτηριστικά, πολύ διαδεδομένο στις αγορές της κεντρικής Ευρώπης. Έχει ισχυρό ριζικό σύστημα και θεωρείται ως σταθερό φυτό με πλεονέκτημα απόδοσης στα μη αρδευόμενα χωράφια.

4.3. Υλικά άρδευσης

Η τοποθέτηση του επιφανειακού δικτύου άρδευσης έγινε όταν το ύψος των φυτών ήταν περίπου 20 cm. Σε κάθε πειραματικό αγροτεμάχιο τοποθετήθηκαν 4 σταλακτηφόροι αγωγοί (εναλλάξ στις σειρές). Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των σταλακτηφόρων αγωγών ήταν 1,6 m. Έτσι ανάμεσα σε δυο σταλακτηφόρους αγωγούς παρεμβάλλονταν δυο σειρές φυτών.

Το υλικό κατασκευής των αγωγών ήταν πολυαιθυλένιο. Οι 4 κύριοι αγωγοί μεταφοράς νερού είχαν διατομή 25 mm, ενώ οι σταλακτηφόροι ή αγωγοί εφαρμογής ήταν διατομής 20 mm. Οι σταλακτήρες ήταν αυτορυθμιζόμενοι και αυτοκαθαριζόμενοι, με ισαποχή 0,8 m επί των αγωγών και σταθερή παροχή 2,3 l/h σε πίεση λειτουργίας 6 atm.

Στην αρχή του κάθε κύριου αγωγού υπήρχε ένα υδρόμετρο για να ελέγχει την ποσότητα νερού που καταναλώνεται σε κάθεμια από τις τέσσερις μεταχειρίσεις. Για τη διάθεση του αρδευτικού νερού υπήρχε μια τιμμεντένια δεξαμενή χωρητικότητας 50m³ (εικόνα 4.2.).



Εικόνα 4.2. Δεξαμενή νερού γεώτρησης αγροκτήματος Βελεστίου

4.4. Εξατμισόμετρο τύπου A

Η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή υπολογίστηκε με τη μέθοδο του Εξατμισομέτρου A τάξεως (Παπαζαφειρίου 1999). Το Εξατμισόμετρο A Τάξεως (εικόνα 4.3.) είναι μια κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25,4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιωμένος και να απέχει 15 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από τη λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 cm από το χείλος αυτό.



Εικόνα 4.3. Εξατμισόμετρο τύπου A

Οι μετρήσεις στο βάθος του νερού στη λεκάνη γίνονταν με σταθμήμετρο με ακίδα. Οι ενδείξεις πολλαπλασιαζόμενες με το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισομέτρου ($K_{ex} = K_{p0,80}$) και την αντίστοιχη για κάθε περίοδο τιμή του φυτικού συντελεστή K_c , έδιναν την τιμή της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

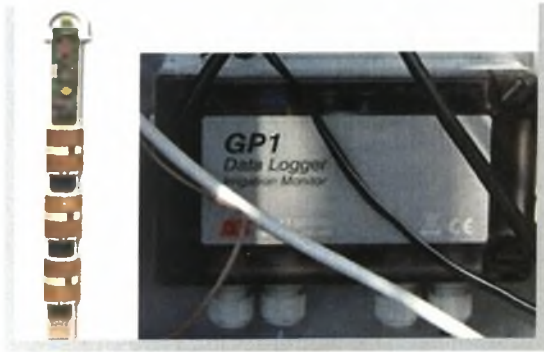
4.5. Μηχανισμός ελέγχου άρδευσης από απόσταση

Στο εξατμισόμετρο βρίσκεται ένας αισθητήρας μέτρησης της στάθμης νερού. Ο αισθητήρας δίνει μια τιμή (σε mV ηλεκτρικού ρεύματος) σε έναν data logger, ο οποίος μετατρέπει με κατάλληλο λογισμικό που διαθέτει τα mV ηλεκτρικού ρεύματος σε mm ύψους νερού, από το άθροισμα των οποίων καθοριζόταν κάθε τέσσερις ημέρες η διάρκεια της άρδευσης. Στη συνέχεια μέσω δικτύου δινόταν η εντολή για άρδευση της καλλιέργειας για το χρόνο που είχε υπολογιστεί. Για το λόγο αυτό υπήρχε στον πειραματικό αγρό μια ηλεκτροβάννα εναλασσόμενου ρεύματος 24V που λειτουργούσε ως διακόπτης (εικόνα 4.4.).



Εικόνα 4.4. Ηλεκτροβάννα ελέγχου άρδευσης από απόσταση

Ο data logger (εικόνα 4.5.) που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο GP1 της εταιρείας Delta-T devices. Ο GP1 περιλαμβάνει επτά κανάλια, δύο διαφορεικά αναλογικά κανάλια (κανάλι 1 και 2), δύο κανάλια



Εικόνα 4.5. Ο data logger GP1 της εταιρείας Delta-T devices

θερμοκρασίας/αντίστασης (κανάλι 3 και 4), δύο κανάλια ανάγνωσης (κανάλι 5 και 6) και ένα κανάλι για το διακόπτη (Relay). Στα δύο πρώτα κανάλια συνδέονται αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους ενώ στα κανάλια 3 και 4 συνδέονται θερμομέτρα. Το εύρος του σήματος πρέπει να είναι -2,8 έως +3,6V.

Στο κανάλι 5 συνδέονται συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα και

συχνότητα (ροόμετρα) ενώ στο κανάλι 6 συνδέονται συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μικρή συχνότητα (βροχόμετρα). Το κανάλι του Relay δεν είναι τίποτα περισσότερο από έναν διακόπτη ανοίγματος/κλεισίματος (On/Off). Ο GP1 λειτουργεί με μπαταρία 9V, η οποία πρέπει να αντικαθίσταται όταν το ηλεκτρικό δυναμικό που δίνει πέφτει κάτω από τα 5,5V. Κατά την αντικατάσταση της μπαταρίας τα δεδομένα που έχουν ήδη καταγραφεί στη μνήμη του GP1 δεν χάνονται, αλλά δεν είναι δυνατή η καταγραφή νέων. Ο GP1 συνοδεύεται:

- από κατάλληλο λογισμικό (Delta-Link), το οποίο είναι συμβατό με το περιβάλλον εργασίας Windows 98, Me, 2000, XP ή νεώτερη έκδοση,
- από ειδικό καλώδιο USB και RS232 για την σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή,
- από σκληρό δίσκο χωρητικότητας 10MB,
- από λογισμικό μεταφοράς των δεδομένων σε φύλλο εργασίας (Microsoft Excel) και
- από λογισμικό ανάγνωσης κειμένου (Acrobat Reader) (Delta-T Devices, 2007, Sentek Pty Ltd, 2006).

4.6. Μετεωρολογικά δεδομένα

Για την καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός του εργαστηρίου της γεωργικής υδραυλικής (εικόνα 4.6.), ο οποίος είναι εγκατεστημένος σε απόσταση 30 m από το κέντρο του πειραματικού αγρού. Η καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων γινόταν κάθε ώρα κατά τη διάρκεια του 24ωρου. Η συλλογή τους έγινε με τη βοήθεια data logger και η επεξεργασία τους με το πρόγραμμα Microsoft Excel.



Εικόνα 4.6 Ο μετεωρολογικός σταθμός του Πανεπιστημίου

4.7. Μετρήσεις χαρακτηριστικών της καλλιέργειας

Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της καλλιέργειας πραγματοποιήθηκαν οι εξής μετρήσεις:

1. Μετρήσεις ύψους φυτών. Η πρώτη μέτρηση έγινε είκοσι ημέρες μετά τη σπορά, στις 13/5 και πραγματοποιήθηκαν συνολικά έντεκα μετρήσεις ανά δεκαήμερο μέχρι τις 21/8. Οι μετρήσεις γίνονταν κάθε φορά σε συγκεκριμένα φυτά την ίδια ώρα του 24ώρου. Σαν δείγμα χρησιμοποιήθηκαν τα φυτά που υπήρχαν σε μήκος δυο μέτρων γραμμής σποράς στις δυο μεσαίες σειρές του πειραματικού τεμαχίου. Δηλαδή γινόταν μέτρηση σε 26 συγκεκριμένα φυτά σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, από τα οποία και προήλθε ο μέσος όρος κάθε πειραματικού για κάθε ημερομηνία μέτρησης.

2. Αξιολόγηση της απόδοσης σε σπόρο. Η δειγματοληψία έγινε με το χέρι στις 10/9. Σαν δείγμα πάρθηκε 1m^2 από το κέντρο κάθε plot ($0,8\text{m} \times 1,25\text{m}$). Στη συνέχεια έγινε η αφαίρεση των σπόρων από τις κεφαλές με τη χρήση θεριζοαλωνιστικής μηχανής εκπαιδευτικού τύπου του αγροκτήματος και η ξήρανση των σπόρων στους $70\text{ }^\circ\text{C}$.

3. Μέτρηση διαμέτρου κεφαλής.

4. Αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού. Υπολογίστηκε από το λόγο της παραγωγής προς το νερό που χρησιμοποιήθηκε σε καθεμιά από τις τέσσερις μεταχειρίσεις.

4.8. Στατιστική επεξεργασία

Χρησιμοποιώντας το πειραματικό σχέδιο των Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων (R.C.B.) έγινε ανάλυση παραλλακτικότητας (ANOVA) των αποτελεσμάτων. Έγινε εκτίμηση του μέσου όρου των μεταχειρίσεων και του τυπικού σφάλματος (Std. Error). Η συλλογή, η ομαδοποίηση και η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων έγιναν με το πρόγραμμα Microsoft Excel.

4.9. Υπολογισμοί δόσεων, εύρους και διάρκειας άρδευσης

Ο υπολογισμός της δόσης άρδευσης έγινε με τη χρήση του εξατμισόμετρου τύπου A. Κάθε μέρα παίρνονταν μια ένδειξη εξατμίσματος από το εξατμισόμετρο βάση της οποίας υπολογίστηκαν οι καθαρές ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ETo) ισούται με το γινόμενο της ένδειξης Epan του εξατμισόμετρου επί το συντελεστή διόρθωσης του εξατμισόμετρου Kp. Ο συντελεστής διόρθωσης στη συγκεκριμένη θέση είναι ίσος με 0,77 (FAO, 1998).

$$ETo = Kp \times Epan, \text{ mm/ημέρα}$$

Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ETc) της καλλιέργειας προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με το φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας (Kc).

$$ETc = Kc \times Eto, \text{ mm}$$

Οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό, δηλαδή η ποσότητα αρδευτικού νερού που πρέπει να χορηγηθεί στην καλλιέργεια, προκύπτουν αν από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή αφαιρέσουμε το ωφέλιμο ύψος βροχής. Το οφέλιμο ύψος βροχής (ΩB) ισούται με το ύψος βροχής πολλαπλασιαζόμενο με το συντελεστή βροχόπτωσης. Ο συντελεστής βροχόπτωσης είναι ίσος με 0,8 (Μιχελάκης, 1998). Άρα η πρακτική δόση άρδευσης (I_{da}) για την κάλυψη του 100% των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό θα είναι:

$$I_{da} = I_n = ETc - \Omega B, \text{ mm,}$$

με $\Omega B = 0,8 B$, όπου B το ύψος βροχόπτωσης.

Όταν δεν υπάρχει βροχόπτωση οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας δίνονται στην ουσία από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή ($I_n = ETc$).

Όταν υπάρχει βροχόπτωση, για να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

πρέπει στην τιμή των καθαρών αναγκών που προκύπτει από την ένδειξη του εξατμισόμετρου, να προστεθεί το ωφέλιμο ύψος βροχής. Δηλαδή θα ισχύει:

$$E_{Tc} = I_n + \Omega B, \text{ mm}$$

Ο τρόπος υπολογισμού των καθαρών αναγκών (I_n) και η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας με βάση την ημερήσια ένδειξη εξάτμισης του εξατμισόμετρου παρουσιάζεται αναλυτικά στο Παράρτημα Α, πίνακας Α.1-4.

Η δόση άρδευσης για τις μεταχειρίσεις DI80% και DI50%, όπου η άρδευση γίνεται με ποσοστό μικρότερο κατά 20 και 50% αντίστοιχα, προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της πρακτικής δόσης άρδευσης I_d με 0,8 και 0,5 αντίστοιχα. Δηλαδή:

$$I_d(80\%) = I_d(100\%) \times 0,8 \quad \text{και} \quad I_d(50\%) = I_d \times 0,5$$

Η διάρκεια της άρδευσης (I_t) προκύπτει από τον τύπο:

$$I_t = I_{da} / I_{dh} \text{ σε } h,$$

όπου I_{da} η δόση άρδευσης και I_{dh} το ωριαίο ύψος διαβροχής, ο ρυθμός δηλαδή με τον οποίο η καλλιέργεια αρδεύεται από το εφαρμοζόμενο σύστημα στάγδην άρδευσης.

$$I_{dh} = (q \times n) / (St \times Sr) \text{ σε } \text{mm/h},$$

όπου q (l/h) η παροχή του σταλακτήρα, n ο αριθμός των σταλακτήρων ανά φυτό, St (m) η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής και Sr (m) η ισαποχή των γραμμών σποράς.

Ο αριθμός n δίνεται από τον τύπο $n = St / (2 \times Se)$ με Se (m) την ισαποχή των σταλακτήρων

Στο Παράρτημα Β πίνακας Β.1-4. παρουσιάζονται οι ημερομηνίες, οι δόσεις και η διάρκεια των αρδεύσεων στις διάφορες μεταχειρίσεις.

Στόχος του αρδευτικού σχεδιασμού είναι η δόση και το εύρος άρδευσης να είναι τέτοια, ώστε η περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία να πλησιάζει την υδατοϊκανότητα (FC). Με άλλα λόγια πρέπει να βρεθεί η πρακτική δόση άρδευσης την οποία η αθροιστική ένδειξη του εξατμισόμετρου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει.

Για να βρεθεί η πρακτική δόση άρδευσης θα πρέπει πρώτα να προσδιοριστεί η υδατοϊκανότητα (FC), το σημείο μόνιμης μάρανσης (PWP) και το φαινόμενο ειδικό βάρος (Φ_{EB}) του εδάφους.

Άλλα απαραίτητα μεγέθη, των οποίων οι τιμές θα πρέπει να είναι γνωστές, είναι το βάθος του ριζικού συστήματος των φυτών (h), η τιμή διαβροχής του εδάφους P για τη διάταξη των

σταλακτηφόρων αγωγών που χρησιμοποιήθηκαν στον πειραματικό αγρό για ισαποχή σταλακτών $Se = 0,8 \text{ m}$ (Τερζίδης κ.α., 1997), το όριο εξαντλήσεως της εδαφικής υγρασίας (C) (Σακελλαρίου, 1993), ο συντελεστής που εξαρτάται από την καλλιέργεια (f_1) (FAO, 1998), ο συντελεστής φυτοσκίασης (f_2) (Σακελλαρίου, 1993) και τέλος η ημερήσια κατανάλωση νερού (E_o). Οι τιμές των παραπάνω συντελεστών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Τιμές δεδομένων που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης

	FC (% κ.β.)	PWP (% κ.β.)	ΦΕΒ (g/m^3)	h (m)	C	P1	f_1	f_2	E_o (mm/ημ)
Μάιος	26,08	14,32	1,23	0,5	0,45	1	0,55	0,7	4,35
Ιούνιος	26,08	14,32	1,23	0,6	0,45	1	0,85	0,85	6,13
Ιούλιος	26,08	14,32	1,23	0,8	0,45	1	0,9	1	6,37
Αύγουστος	26,08	14,32	1,23	0,8	0,45	1	0,9	1	5,26

Ο υπολογισμός της πρακτικής δόσης άρδευσης παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2. Υπολογίζεται επίσης η διάρκεια αλλά και το εύρος άρδευσης στάγδην άρδευσης. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στα εδαφολογικά στοιχεία του πειραματικού αγρού.

Για τον υπολογισμό των συγκεκριμένων παραγόντων χρησιμοποιούνται επίσης η παροχή σταλακτήρα ($q=2,3 \text{ l/h}$), η ισαποχή των γραμμών σποράς ($S_r = 0,80 \text{ m}$), η ισαποχή των φυτών επί της γραμμής σποράς ($S_t = 0,154 \text{ m}$), η ισαποχή των σταλακτών ($Se = 0,80 \text{ m}$) και ο αριθμός σταλακτών ανά δυο σειρές φυτών ($n = S_t/(2 \times Se) = 0,1$).

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον υπολογισμό της πρακτικής δόσης άρδευσης που θα πρέπει πάντα να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των καθαρών αναγκών της καλλιέργειας που λαμβάνεται από το εξατμισόμετρο σε κάθε άρδευση. Αυτό διότι η ημερήσια εξάτμιση κατά τη διάρκεια ενός μήνα δεν είναι ποτέ σταθερή αλλά και γιατί απαιτούνται συνήθως πολύ μεγαλύτεροι χρόνοι λειτουργίας του αρδευτικού συστήματος.

Πίνακας 4.2. Θεωρητικός τρόπος υπολογισμού της πρακτικής δόσης, της διάρκειας και του εύρους άρδευσης.

	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ
Διαθέσιμη υγρασία $\Delta.Y.=[(FC-PWP)]*\Phi EB$ % κ.ο.	14,46	14,46	14,46	14,46
Θεωρητική δόση άρδευσης $Id=\Delta.Y.*h*C*P/100$ mm ή m ³ /στρ	32,55	39,05	52,07	52,07
Πρακτική δόση άρδευσης $I_{da}=Id / 0,95$ mm ή m ³ /στρ 0,95 ο βαθμός εφαρμογής νερού	34,26	41,11	54,81	54,81
Ωριαίο ύψος διαβροχής $I_{dh}=(q*n)/(St*Sr)$ (mm/h)	1,12	1,12	1,12	1,12
Μέση ημερήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή $ETd=Eo*f1*f2$ (mm/d)	1,67	4,43	5,73	4,73
Εύρος άρδευσης $I_r=I_{da} / ETd$ (ημέρες)	21	10	10	12
Διάρκεια άρδευσης $I_t=I_{da} / I_{dh}$ (h)	30h 34' 48"	36h 42'	48h 56' 24"	48h 56' 24"

Στον πίνακα 4.6.α., β., γ., δ. έχουν υπολογιστεί η δόση και η διάρκεια της άρδευσης με βάση την ένδειξη του εξατμισόμετρου Epan. Με τον τρόπο αυτό γίνεται πιο εύκολος ο προγραμματισμός της άρδευσης.

Με το σύστημα της στάγδην άρδευσης πραγματοποιήθηκαν συνολικά 19 αρδεύσεις στις μεταχειρίσεις DI50%, ADI50%, DI80% και DI100%.

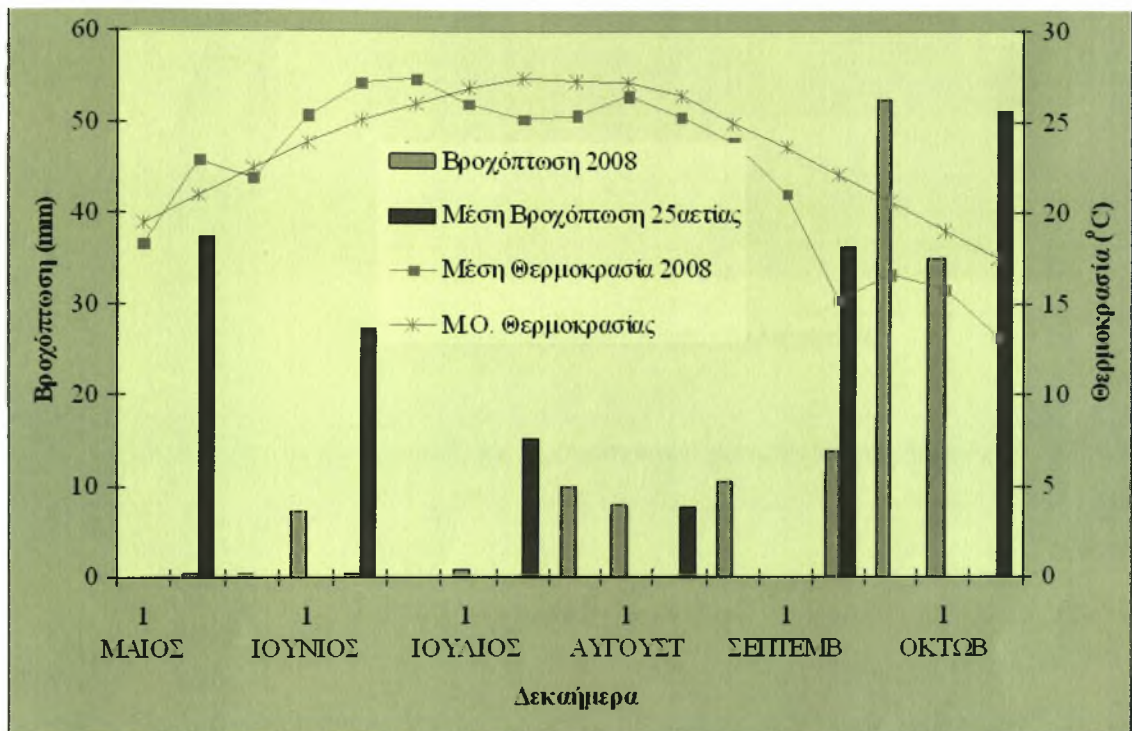
Οι συνολικές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό σε σχέση με την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β πίνακας Β.1-4.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1. Κλιματικά δεδομένα

Στο σχήμα 5.1. παρουσιάζονται οι τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια του έτους 2008 και για τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο στην περιοχή του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στο Βελεστίνο.



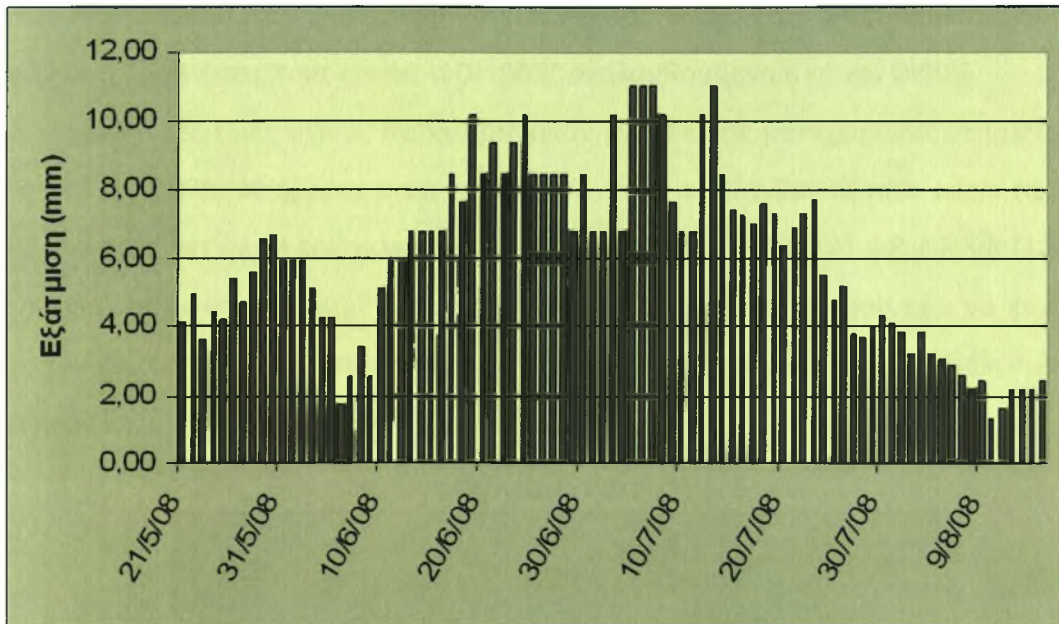
Σχ. 5.1. Μέση θερμοκρασία και βροχόπτωση ανά δεκαήμερο του έτους 2008

Όσον αφορά τη θερμοκρασία από το τρίτο δεκαήμερο του Μαΐου έως και το πρώτο του Ιουλίου ήταν σε υψηλότερα επίπεδα από το μέσο όρο της τελευταίας 25ετίας. Στη συνέχεια έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας (αρχές Σεπτεμβρίου) παρατηρήθηκαν θερμοκρασίες χαμηλότερες από το μέσο όρο.

Σχετικά με τη βροχόπτωση, όπως προκύπτει από το παραπάνω σχήμα, κατά τη διάρκεια της αρδευτικής περιόδου (17 / 5 / 2008 – 9 / 8 / 2008) έγιναν 4 βροχοπτώσεις, συνολικού ύψους 23,60 mm με μεγαλύτερη εκείνη στις 27 / 7 / 2008 (12,5 mm). Εκτός από το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου σημειώθηκαν χαμηλότερες βροχοπτώσεις σε σχέση με το μέσο όρο της προηγούμενης 25ετίας. Αυτό είχε ως συνέπεια να μπορεί να αξιολογηθεί καλύτερα η επίδραση της εφαρμογής

διαφορετικών ποσοτήτων αρδευτικού νερού στις μεταχειρίσεις.

Στο σχήμα 5.2. παρουσιάζεται η ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας.



Σχ. 5.2. Ημερήσια εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας

Η μεγαλύτερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής ήταν 11,0 mm και σημειώθηκε στις 5 και 6/7/2008.

5.2 Ύψος φυτών

Ο έλεγχος της βλαστικής ανάπτυξης της καλλιέργειας έγινε με τη μέτρηση της εξέλιξης του ύψους των φυτών.

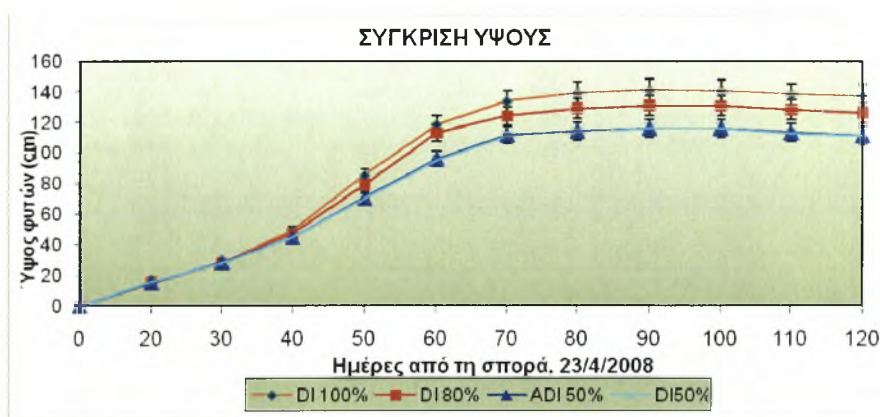
Η εξέλιξη του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου παρουσιάζεται στο σχήματα 5.2. όπου συγκρίνεται η πορεία της εξέλιξης του ύψους στις μεταχειρίσεις της πλήρους άρδευσης (DI100%), της άρδευσης με δόση ίση με το 80% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας (DI80%), της άρδευσης με το 50% των αναγκών της καλλιέργειας όπου η άρδευση ελέγχεται είτε χειροκίνητα (DI50%) είτε με αυτοματοποιημένο σύστημα από απόσταση (ADI50%).

Φαίνεται ότι μέχρι και περίπου 40 ημέρες από τη σπορά τα ύψη των φυτών στις τέσσερις μεταχειρίσεις ήταν σχεδόν ίδια. Από τις 29/5/2008 (36 ημέρες μετά τη σπορά) ξεκίνησε η εφαρμογή της ελλειμματικής άρδευσης. Αποτέλεσμα ήταν να αρχίσουν να φαίνονται διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, κυρίως από το πέμπτο δεκαήμερο από τη σπορά και έπειτα.

Οι μετρήσεις του ύψους έγιναν ανά δεκαήμερο από τις 13 / 5 / 2008 έως τις 21 / 8 / 2008 , συνολικά 11 μετρήσεις. Οι τιμές του ύψους προέκυψαν από το μέσο όρο τεσσαρων

επαναληπτικών μετρήσεων για κάθε μεταχείριση σε κάθε ημερομηνία μέτρησης. Λόγω ομοιομορφίας σποράς και εδάφους δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο ύψος των φυτών μέχρι την έναρξη των αρδεύσεων. Από την έναρξη της άρδευσης και έπειτα τους υψηλότερους μέσους όρους σε όλες τις μετρήσεις τους έδωσε η DI100%, ακολουθούμενη από την DI80%.

Οι μεγαλύτερες τιμές ύψους παρατηρήθηκαν για όλες τις μεταχειρίσεις στη μέτρηση που έγινε στις 22 / 7 / 2008 (90 ημέρες μετά τη σπορά), όπου ο ηλίανθος έφτασε μέχρι τα 141,1 cm (DI100%). Από τότε και μέχρι την τελευταία μέτρηση του ύψους στις 21 / 8 / 2008 (120 ημέρες μετά τη σπορά) το ύψος των φυτών ελαττώθηκε κατά 3-5cm γεγονός που έχει να κάνει με την ωρίμανση του φυτού και την αύξηση του βάρους της κεφαλής που είχε σαν αποτέλεσμα το φυτό να γέρνει προς τη μια πλευρά.



Σχήμα 5.3 Εξέλιξη του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου

Φαίνεται λοιπόν από το γράφημα ότι τους υψηλότερους μέσους όρους τους έδωσε η DI100%, δηλαδή η μεταχείριση εκείνη στην οποία εφαρμόστηκαν οι συνθήκες της πλήρους άρδευσης. Τους χαμηλότερους μέσους όρους τους έδωσαν οι δυο μεταχειρίσεις οι οποίες αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 50% των αναγκών τους σε νερό.

Κάτι άλλο που φαίνεται είναι ότι οι μεταχειρίσεις DI50% και ADI50% έδωσαν σχεδόν ίδιες τιμές ύψους. Αυτό σημαίνει πως το αυτοματοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην ADI100% για τον έλεγχο της άρδευσης από απόσταση είχε πολύ καλά αποτελέσματα.

Η σύγκριση των μέσων όρων των μεταχειρίσεων γίνεται και στον πίνακα 5.1. που προέκυψε μετά από στατιστική ανάλυση για κάθε ημερομηνία μέτρησης του ύψους.

Πίνακας 5.1. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης για κάθε ημερομηνία μέτρησης του ύψους

	Μεταχειρίσεις	Μέσοι όροι ύψους (cm)	Τυπικό σφάλμα
Μέτρηση 1	DI 50%	15,8 ^a	0,536
13 / 05 / 08	ADI 50%	15,3 ^a	
20*	DI 80%	15,7 ^a	
	DI 100%	15,5 ^a	
Μέτρηση 2	DI 50%	27,9 ^a	0,624
23 / 05 / 08	ADI 50%	28,5 ^a	
30*	DI 80%	28,4 ^a	
	DI 100%	28,1 ^a	
Μέτρηση 3	DI 50%	44,8 ^b	1,126
02 / 06 / 08	ADI 50%	44,9 ^b	
40*	DI 80%	47,2 ^{ab}	
	DI 100%	49,4 ^a	
Μέτρηση 4	DI 50%	70,4 ^c	1,339
12 / 06 / 08	ADI 50%	70,5 ^c	
50*	DI 80%	79,2 ^b	
	DI 100%	85,4 ^a	
Μέτρηση 5	DI 50%	95,4 ^c	2,436
22 / 06 / 08	ADI 50%	96,2 ^c	
60*	DI 80%	113,2 ^b	
	DI 100%	118,7 ^a	
Μέτρηση 6	DI 50%	111,1 ^c	2,598
02 / 07 / 08	ADI 50%	111,8 ^c	
70*	DI 80%	124,2 ^b	
	DI 100%	133,9 ^a	
Μέτρηση 7	DI 50%	113,5 ^c	3,110
12 / 07 / 08	ADI 50%	114,1 ^c	
80*	DI 80%	129 ^b	
	DI 100%	139,3 ^a	
Μέτρηση 8	DI 50%	116 ^c	3,123
22 / 07 / 08	ADI 50%	116,2 ^c	
90*	DI 80%	130,8 ^b	
	DI 100%	141,1 ^a	
Μέτρηση 9	DI 50%	116 ^c	3,25
01 / 08 / 08	ADI 50%	116,2 ^c	
100*	DI 80%	130,7 ^b	
	DI 100%	140,7 ^a	
Μέτρηση 10	DI 50%	112,6 ^c	3,49
11 / 08 / 08	ADI 50%	113,3 ^c	
110*	DI 80%	128,3 ^b	
	DI 100%	138,5 ^a	
Μέτρηση 11	DI 50%	111,2 ^c	3,36

21 / 08 / 08	ADI 50%	111,5 ^c	
120*	DI 80%	126,5 ^b	
	DI 100%	137,4 ^a	

* Ημέρες από τη σοδιά.

Μέσοι όροι που συνοδεύονται από διαφορετικούς δείκτες διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p=0,05$).

Φαίνεται ότι στις δυο πρώτες μετρήσεις δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων μεταχειρίσεων, στην τρίτη μέτρηση (2/6/2008) στατιστικώς σημαντικές διαφορές υπάρχουν μόνο μεταξύ της DI100% και των μεταχειρίσεων που αρδεύτηκαν με το 50% των αναγκών τους (DI50% και ADI50%). Στις υπόλοιπες 7 μετρήσεις υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ DI100% - DI80% - DI50%, ADI50%. Τις υψηλότερες τιμές τις έδωσε η DI100%, η μεταχείριση δηλαδή που δέχτηκε τη μεγαλύτερη ποσότητα νερού, κάτι που σημαίνει πως το νερό ευνοεί την ανάπτυξη του ηλίανθου.

5.3 Στοιχεία απόδοσης καλλιέργειας

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά από στατιστική ανάλυση των παραγωγικών στοιχείων της καλλιέργειας.

Πίνακας 5.2 Στοιχεία απόδοσης καλλιέργειας

	n	Ύψος (cm)	Διάμετρος κεφαλής (cm)	Απόδοση καλλιέργειας (kg/στρ.)	Παραγωγή ελαίου (kg/στρ.)	Περιεκτικότητα σπόρων σε έλαιο (%)
DI50%	4	111,2 ($\pm 3,36$) ^c	11,3 ($\pm 0,36$) ^b	252,3 ($\pm 12,93$) ^b	74,3 ($\pm 4,55$) ^b	29,2 ($\pm 0,41$) ^b
ADI50%	4	111,5 ^c	11,4 ^b	253,4 ^b	74,2 ^b	29,4 ^b
DI80%	4	126,5 ^b	12,6 ^a	302,0 ^a	90,9 ^a	30,1 ^{ab}
DI100%	4	137,4 ^a	13,4 ^a	323,6 ^a	99,1 ^a	30,6 ^a

n ο αριθμός των επαναλήψεων για καθεμιά από τις τέσσερις μεταχειρίσεις.

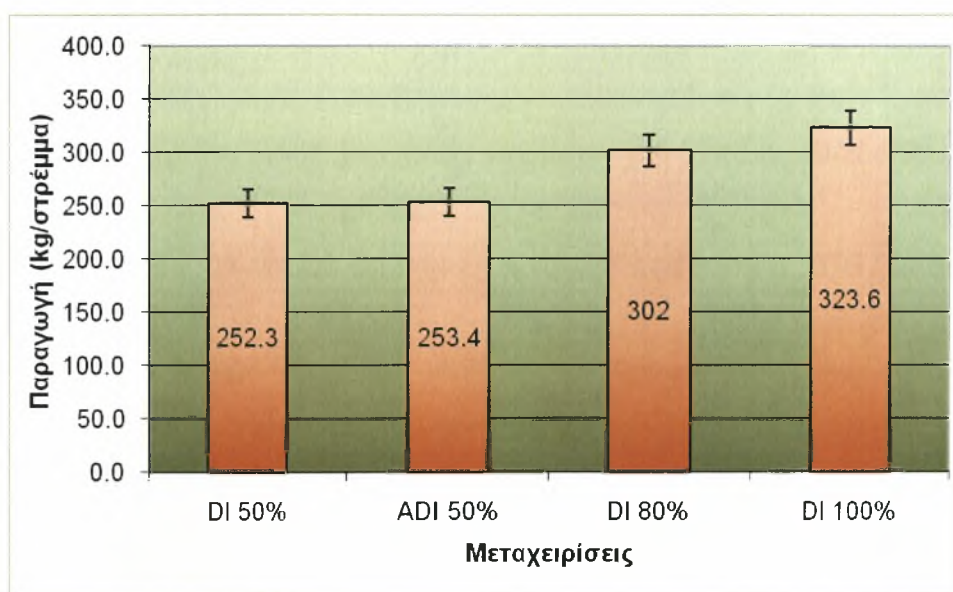
Μέσοι όροι που συνοδεύονται από διαφορετικούς δείκτες διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p=0,05$). Σε παρένθεση σημειώνεται το τυπικό σφάλμα.

Όσον αφορά τη διάμετρο κεφαλής δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων που αρδεύτηκαν με το 50% των καθαρών αναγκών τους σε νερό (DI50% και ADI50%) ($p=0,78$). Επίσης οριακά ($p=0,055$) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της μεταχείρισης της πλήρους άρδευσης (DI100%) και αυτής που ικανοποιεί το 80% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας (DI80%).

Αντίθετα διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ DI100% σε σύγκριση με DI50% και ADI50% ($p=0,001$). Παρομοίως, στατιστικώς σημαντικά διέφεραν και οι μέσοι όροι DI80% με DI50% και ADI50%.

Η αξιολόγηση της παραγωγής σε σπόρο της ποικιλίας έγινε μετά από δειγματοληψία στις 10/9/2008. Σαν δείγμα πάρθηκαν οι κεφαλές των φυτών που υπήρχαν στο κεντρικό 1m^2 ($0,8*1,25$) κάθε πειραματικού αγροτεμαχίου. Η συγκομιδή έγινε με το χέρι και από κάθε πειραματικό τεμαχιο συγκομίστηκαν σύνολο 16 φυτά. Στη συνέχεια έγινε η εξαγωγή των σπόρων από τις κεφαλές με τη βοήθεια θεριζαλωνιστικής μηχανής εκπαιδευτικού τύπου του αγροκτήματος. Ακολούθησε η ξήρανση των σπόρων στους $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ και η αναγωγή της απόδοσης σε κλά/στρέμμα. Η απόδοση για κάθε μεταχείριση προέκυψε από το μέσο όρο τεσσάρων επαναληπτικών μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα της απόδοσης ανά στρέμμα των τεσσάρων μεταχειρίσεων παρουσιάζονται και στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4. Απόδοση σε σπόρο του ηλιάνθου σε kg/στρ. μετά από δειγματοληψία στις 10 /9/2008

Διαπιστώνεται η υπεροχή της DI100% σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις λόγω της μεγαλύτερης παροχής νερού. Η διαφορά της όμως από την DI80% δεν είναι στατιστικώς σημαντική ($p=0,122$).

Οι τιμές των μέσων όρων των μεταχειρίσεων DI50% και ADI50% σχεδόν ταυτίζονται ($p=0,937$), όπως εξάλλου συμβαίνει και για τα υπόλοιπα μεγέθη της καλλιέργειας που μετρήθηκαν.

Η DI100% διαφέρει σημαντικά από τις DI50% και ADI50% ($p=0,001$). Το ίδιο συμβαίνει και με τη DI80% ($p=0,003$).

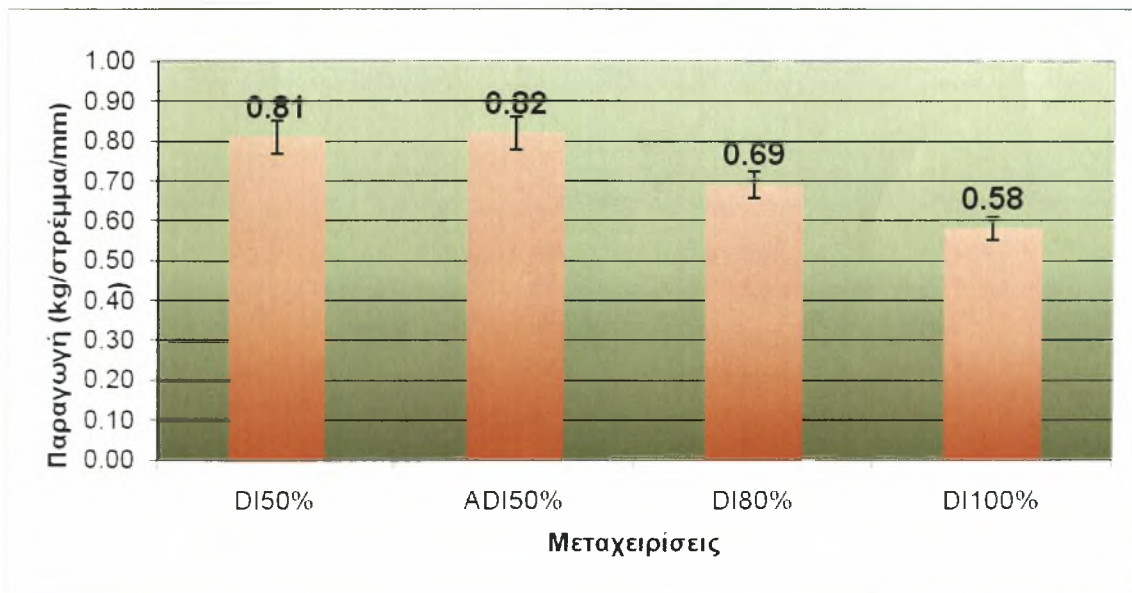
5.4 Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Η συνολική ποσότητα αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε ήταν 495mm για την μεταχείριση που δέχτηκε το 100% των αναγκών της σε νερό (DI100%) , 396mm για εκείνη που δέχτηκε το 80% (DI80%) και 247mm για τις δυο μεταχειρίσεις που αρδεύτηκαν με νερό ίσο με το 50% των καθαρών αναγκών τους (DI50% και ADI50%).

Η συνολική ωφέλιμη βροχόπτωση για το διάστημα 23/4 έως 10/9/2010 είναι 63,6mm.

Η αποδοτικότητα χρήσης του αρδευτικού νερού (Irrigation Water Use Efficiency) για κάθε μεταχείριση υπολογίστηκε από το λόγο της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε (άρδευση και βροχόπτωση) προς την παραγωγή σε σπόρο. Για τις 4 μεταχειρίσεις η αποδοτικότητα χρήσης νερού ήταν (σχήμα 5.5):

- DI50%: $WUE = \text{Παραγωγή (kg/στρ.)} / \text{Συνολικό νερό (mm)} = 252,3 / (248+63,6) = 0,81$ kg/στρ./mm.
- ADI50% : $WUE = \text{Παραγωγή (kg/στρ.)} / \text{Συνολικό νερό (mm)} = 253,4 / (248+63,6) = 0,82$ kg/στρ./mm.
- DI80%: $WUE = \text{Παραγωγή (kg/στρ.)} / \text{Συνολικό νερό (mm)} = 302 / (396+63,6) = 0,69$ kg/στρ./mm.
- DI100%: $WUE = \text{Παραγωγή (kg/στρ.)} / \text{Συνολικό νερό (mm)} = 376 / (495+63,6) = 0,58$ kg/στρ./mm.



Σχήμα 5.5. Αποδοτικότητα χρήσης νερού στις 4 μεταχειρίσεις

Υψηλότερες τιμές WUE δίνουν οι μεταχειρίσεις DI50% και ADI50%, ακολουθούμενες από την DI80% και τελευταία είναι η DI100%. Το συμπέρασμα είναι πως για τις δεδομένες κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, όσο λιγότερο ήταν το αρδευτικό νερό που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια, τόσο υψηλότερος ήταν ο δείκτης WUE.

Μετά από στατιστική ανάλυση, προέκυψε πως οι τιμές της WUE διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης. Για το ίδιο επίπεδο άρδευσης (DI50% και ADI50%) δεν παρατηρήθηκε παρά ελάχιστη διαφορά ($p=0,9$).

Πίνακας 5.3. Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης της αποδοτικότητας χρήσης αρδευτικού νερού

WUE

Μεταχειρίσεις	n	WUE (kg/στρ./mm)	Τυπικό σφάλμα
DI 50%	4	0,81 ^a	0,400
ADI 50%	4	0,82 ^a	
DI 80%	4	0,69 ^b	
DI 100%	4	0,58 ^c	

n ο αριθμός των επαναλήψεων για καθεμιά από τις τέσσερις μεταχειρίσεις.

Μέσοι όροι που συνοδεύονται από διαφορετικούς δείκτες διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά για επίπεδο σημαντικότητας 5% ($p=0,05$)+

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Διαφορές στο ύψος των φυτών δεν παρατηρήθηκαν μέχρι την έναρξη των αρδεύσεων. Από την έναρξη της άρδευσης και έπειτα τους υψηλότερους μέσους όρους σε όλες τις μετρήσεις τους έδωσε η DI100%, ακολουθούμενη από την DI80% , ενώ τους χαμηλότερους μέσους όρους τους έδωσαν οι δυο μεταχειρίσεις οι οποίες αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 50% των αναγκών τους σε νερό. Αυτό καταδεικνύει και το μέγεθος της σημασίας του νερού στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Κάτι άλλο που φαίνεται είναι ότι οι μεταχειρίσεις DI50% και ADI50% έδωσαν σχεδόν ίδιες τιμές ύψους. Αυτό σημαίνει πως το αυτοματοποιημένο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε στην ADI100% για τον έλεγχο της άρδευσης από απόσταση είχε πολύ καλά αποτελέσματα

Όσον αφορά τη διάμετρο κεφαλής δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων που αρδεύτηκαν με το 50% των καθαρών αναγκών τους σε νερό (DI50% και ADI50%) ($p=0,78$). Επίσης οριακά ($p=0,055$) δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της μεταχείρισης της πλήρους άρδευσης (DI100%) και αυτής που ικανοποιεί το 80% των αναγκών σε νερό της καλλιέργειας (DI80%). Αντίθετα διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ DI100% σε σύγκριση με DI50% και ADI50% ($p=0,001$). Παρομοίως, στατιστικώς σημαντικά διέφεραν και οι μέσοι όροι DI80% με DI50% και ADI50%. Η διαφορά της DI100% από την DI80% δεν είναι στατιστικώς σημαντική ($p=0,122$). Οι τιμές των μέσων όρων των μεταχειρίσεων DI50% και ADI50% σχεδόν ταυτίζονται ($p=0,937$), όπως εξάλλου συμβαίνει και για τα υπόλοιπα μεγέθη της καλλιέργειας που μετρήθηκαν. Η DI100% διαφέρει σημαντικά από τις DI50% και ADI50% ($p=0,001$). Το ίδιο συμβαίνει και με τη DI80% ($p=0,003$).

Υψηλότερες τιμές WUE δίνουν οι μεταχειρίσεις DI50% και ADI50%, ακολουθούμενες από την DI80% και τελευταία είναι η DI100%. Οι τιμές της WUE διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων άρδευσης. Για το ίδιο επίπεδο άρδευσης (DI50% και ADI50%) δεν παρατηρήθηκε παρά ελάχιστη διαφορά ($p=0,9$). Το συμπέρασμα είναι πως για τις δεδομένες κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, όσο λιγότερο ήταν το αρδευτικό νερό που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια, τόσο υψηλότερος ήταν ο δείκτης WUE.

Οπότε είναι στο χέρι του παραγωγού να επιλέξει με ποια μέθοδο θα αρδεύσει το χωράφι του, ανάλογα με τους στόχους του (βελτιστοποίηση παραγωγής ή βελτιστοποίηση αποδοτικότητας χρήσης νερού) σε συνδυασμό βέβαια με τη διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων, καθώς επίσης και με τα οικονομικά δεδομένα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής και των καθαρών αναγκών σε νερό της καλλιέργειας

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Πλήρωση Εξατμ/τρου (mm)	Ημερήσια ένδειξη (mm)	Διαφορά ημέρας Epan (mm)	Βροχή B (mm)	Ωφέλιμη βροχή $\Omega B=0,8*B$ (mm)	Εξατμ/πνοή αναφοράς $Eo=kp*Epan$ (mm)	kc	Εξατμ/πνοή Καλλιέργειας $I_n=ETc - \Omega B$ ($ETc=Eo*Kc$) (mm)	Καθαρές ανάγκες $I_{da}=I_n/0,95$ (100%) (11)/(0,95) mm
23/05/2008	143	30	0		5,00		0	3,85	0,94	3,62	3,81
24/05/2008	144	31		5,00	6,00		0	4,62	0,96	4,44	4,67
25/05/2008	145	32		11,00	5,00	0,50	0,4	3,85	0,98	3,37	3,55
26/05/2008	146	33		16,00	7,00		0	5,39	1,00	5,39	5,67
27/05/2008	147	34		23,00	6,00		0	4,62	1,02	4,71	4,96
28/05/2008	148	35		29,00	7,00		0	5,39	1,04	5,61	5,90
29/05/2008	149	36		36,00	8,00		0	6,16	1,06	6,53	6,87
30/05/2008	150	37		44,00	8,00		0	6,16	1,08	6,65	7,00
31/05/2008	151	38	0	52,00	7,00		0	5,39	1,10	5,93	6,24
01/06/2008	152	39		7,00	7,00		0	5,39	1,10	5,93	6,24
02/06/2008	153	40		14,00	7,00		0	5,39	1,10	5,93	6,24
03/06/2008	154	41		21,00	6,00		0	4,62	1,10	5,08	5,35
04/06/2008	155	42		27,00	5,00		0	3,85	1,10	4,24	4,46
05/06/2008	156	43		32,00	5,00		0	3,85	1,10	4,24	4,46
06/06/2008	157	44		37,00	2,00		0	1,54	1,10	1,69	1,78
07/06/2008	158	45		39,00	3,00		0	2,31	1,10	2,54	2,67
08/06/2008	159	46		42,00	4,00		0	3,08	1,10	3,39	3,57
09/06/2008	160	47		46,00	3,00	9,00	7,2	2,31	1,10	-4,66	-4,66
10/06/2008	161	48		49,00	6,00		0	4,62	1,10	5,08	5,35
11/06/2008	162	49	0	55,00	7,00		0	5,39	1,10	5,93	6,24
12/06/2008	163	50		7,00	7,00	0,40	0,32	5,39	1,10	5,61	5,90
13/06/2008	164	51		14,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σορά 23/4/08	Πλήρωση Εξατμ/τρου (mm)	Ημερήσια ένδειξη (mm)	Διαφορά ημέρας Epan (mm)	Βροχή B (mm)	Ωφέλιμη βροχή $\Omega B=0,8*B$ (mm)	Εξατμ/πνοή αναφοράς $Eo=kp*Epan$ (mm)	kc	Εξατμ/πνοή Καλλιέργειας $In=ETc - \Omega B$ ($ETc=Eo*Kc$) (mm)	Καθαρές ανάγκες $I_{da}=In/0,95$ (100%) (11)/(0,95) mm
14/06/2008	165	52		22,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
15/06/2008	166	53		30,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
16/06/2008	167	54		38,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
17/06/2008	168	55		46,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
18/06/2008	169	56	0	56,00	9,00		0	6,93	1,10	7,62	8,02
19/06/2008	170	57		9,00	12,00		0	9,24	1,10	10,16	10,70
20/06/2008	171	58		21,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
21/06/2008	172	59		31,00	11,00		0	8,47	1,10	9,32	9,81
22/06/2008	173	60		42,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
23/06/2008	174	61	0	52,00	11,00		0	8,47	1,10	9,32	9,81
24/06/2008	175	62		11,00	12,00		0	9,24	1,10	10,16	10,70
25/06/2008	176	63		23,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
26/06/2008	177	64		33,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
27/06/2008	178	65		43,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
28/06/2008	179	66	0	53,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
29/06/2008	180	67		10,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
30/06/2008	181	68		18,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
01/07/2008	182	69		28,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
02/07/2008	183	70		36,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
03/07/2008	184	71		44,00	12,00		0	9,24	1,10	10,16	10,70
04/07/2008	185	72	0	56,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
05/07/2008	186	73		8,00	13,00		0	10,01	1,10	11,01	11,59

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Πλήρωση Εξατμ/τρου (mm)	Ημερήσια ένδειξη (mm)	Διαφορά ημέρας Epan (mm)	Βροχή B (mm)	Ωφέλιμη βροχή $\Omega B=0,8*B$ (mm)	Εξατμ/πνοή αναφοράς $Eo=kp*Epan$ (mm)	kc	Εξατμ/πνοή Καλλιέργειας $I_n=ETc - \Omega B$ ($ETc=Eo*Kc$) (mm)	Καθαρές ανάγκες $I_{da}=I_n/0,95$ (100%) (11)/(0,95) mm
06/07/2008	187	74		21,00	13,00		0	10,01	1,10	11,01	11,59
07/07/2008	188	75		34,00	13,00	1,20	0,96	10,01	1,10	10,05	10,58
08/07/2008	189	76		47,00	12,00		0	9,24	1,10	10,16	10,70
09/07/2008	190	77	0	59,00	9,00		0	6,93	1,10	7,62	8,02
10/07/2008	191	78		9,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
11/07/2008	192	79		17,00	8,00		0	6,16	1,10	6,78	7,13
12/07/2008	193	80		25,00	12,00		0	9,24	1,10	10,16	10,70
13/07/2008	194	81		37,00	13,00		0	10,01	1,10	11,01	11,59
14/07/2008	195	82	0	50,00	10,00		0	7,70	1,10	8,47	8,92
15/07/2008	196	83		10,00	9,00		0	6,93	1,07	7,42	7,81
16/07/2008	197	84		19,00	9,00		0	6,93	1,04	7,21	7,59
17/07/2008	198	85		28,00	9,00		0	6,93	1,01	7,00	7,37
18/07/2008	199	86		37,00	10,00		0	7,70	0,98	7,55	7,94
19/07/2008	200	87		47,00	10,00		0	7,70	0,95	7,32	7,70
20/07/2008	201	88	0	57,00	9,00		0	6,93	0,92	6,38	6,71
21/07/2008	202	89		9,00	10,00		0	7,70	0,89	6,85	7,21
22/07/2008	203	90		19,00	11,00		0	8,47	0,86	7,28	7,67
23/07/2008	204	91		30,00	12,00		0	9,24	0,83	7,67	8,07
24/07/2008	205	92		42,00	9,00		0	6,93	0,80	5,54	5,84
25/07/2008	206	93	0	51,00	8,00		0	6,16	0,77	4,74	4,99
26/07/2008	207	94		8,00	9,00		0	6,93	0,74	5,13	5,40
27/07/2008	208	95		17,00	7,00	12,50	10	5,39	0,71	-6,17	-6,17

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Πλήρωση Εξατμ/τρού (mm)	Ημερήσια ένδειξη (mm)	Διαφορά ημέρας Εραν (mm)	Βροχή Β (mm)	Ωφέλιμη βροχή $\Omega B=0,8*B$ (mm)	Εξατμ/πνοή αναφοράς $Eo=kp*Eran$ (mm)	kc	Εξατμ/πνοή Καλλιέργειας $I_n=ETc - \Omega B$ ($ETc=Eo*Kc$) (mm)	Καθαρές ανάγκες $I_{da}=I_n/0,95$ (100%) (11)/(0,95) mm
28/07/2008	209	96		24,00	7,00		0	5,39	0,68	3,67	3,86
29/07/2008	210	97		31,00	8,00		0	6,16	0,65	4,00	4,21
30/07/2008	211	98		39,00	9,00		0	6,93	0,62	4,30	4,52
31/07/2008	212	99		48,00	9,00		0	6,93	0,59	4,09	4,30
01/08/2008	213	100	0	57,00	9,00		0	6,93	0,56	3,88	4,09
02/08/2008	214	101		9,00	8,00		0	6,16	0,53	3,26	3,44
03/08/2008	215	102		17,00	10,00		0	7,70	0,50	3,85	4,05
04/08/2008	216	103		27,00	9,00		0	6,93	0,47	3,26	3,43
05/08/2008	217	104		36,00	9,00		0	6,93	0,44	3,05	3,21
06/08/2008	218	105		45,00	9,00		0	6,93	0,41	2,84	2,99
07/08/2008	219	106	0	54,00	9,00		0	6,93	0,38	2,63	2,77
08/08/2008	220	107		9,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27
09/08/2008	221	108		17,00	9,00		0	6,93	0,35	2,43	2,55
10/08/2008	222	109		26,00	5,00	10,00	8	3,85	0,35	-6,65	-6,65
11/08/2008	223	110		31,00	6,00		0	4,62	0,35	1,62	1,70
12/08/2008	224	111		37,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27
13/08/2008	225	112		45,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27
14/08/2008	226	113	0	53,00	8,00		0	6,16	0,35	2,16	2,27
ΣΥΝΟΛΑ						40,2	32,2				495,03

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Ημερομηνίες, δόσεις και διάρκεια των αρδεύσεων στις μεταχειρίσεις DI100%, DI80%, DI50% με $Se=0,8$

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Καθαρές ανάγκες I_n (mm)	Άθροισμα καθαρών αναγκών εύρους (4d) (mm)	Id(100%) Δόση άρδευσης (mm)	Id(80%) Δόση άρδευσης (mm)	Id(50%) Δόση άρδευσης (mm)	Σταλάκτες ανά φυτό $n=St/2*Se$	Ωριαίο ύψος διαβροχής $I_dh=(q*n)/(St*Sr)$ mm/h	DI100% Διάρκεια άρδευσης $I_t(100%)=I_d(100%)/I_dh$ (h)	DI80% Διάρκεια άρδευσης $I_t(80%)=I_d(80%)/I_dh$ (h)	DI50% Διάρκεια άρδευσης $I_t(50%)=I_d(50%)/I_dh$ (h)
25/05/2008	145	32	3,55									
26/05/2008	146	33	5,67									
27/05/2008	147	34	4,96									
28/05/2008	148	35	5,90	20,09								
29/05/2008	149	36	6,87		20,09	16,07	10,04	0,10	1,8	11h 10'	8h 55'	5h 35'
30/05/2008	150	37	7,00									
31/05/2008	151	38	6,24									
01/06/2008	152	39	6,24	26,36								
02/06/2008	153	40	6,24		26,36	21,09	13,18	0,10	1,8	14h 38'	11h 42'	6h 20'
03/06/2008	154	41	5,35									
04/06/2008	155	42	4,46									
05/06/2008	156	43	4,46	20,51								
06/06/2008	157	44	1,78		20,51	16,41	10,25	0,10	1,8	11h 23'	9h 6'	5h 40'
07/06/2008	158	45	2,67									
08/06/2008	159	46	3,57									
09/06/2008	160	47	-4,66	3,37								
10/06/2008	161	48	5,35		3,37	2,69	1,68	0,10	1,8	1h 52'	1h 20'	0h 56'
11/06/2008	162	49	6,24									
12/06/2008	163	50	5,90									
13/06/2008	164	51	7,13	24,63								

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Καθαρές ανάγκες In (mm)	Άθροισμα καθαρών αναγκών εύρους (Sd) (mm)	Id(100%) Δόση άρδευσης m3/στρ	Id(80%) Δόση άρδευσης m3/στρ	Id(50%) Δόση άρδευσης m3/στρ	Σταλάκτες ανά φυτό $n = St/2 * Se$	Ωριαίο ύψος διαβροχής Idh = (q * n) / (St * Sr) mm/h	DI100% Διάρκεια άρδευσης It(100%) = Ida(100%) / Idh (h)	DI80% Διάρκεια άρδευσης It(80%) = Ida(80%) / Idh (h)	DI50% Διάρκεια άρδευσης It(50%) = Ida(50%) / Idh (h)
14/06/2008	165	52	7,13		24,63	19,70	12,31	0,10	1,8	13h 41'	10h 56'	6h 30'
15/06/2008	166	53	7,13									
16/06/2008	167	54	7,13									
17/06/2008	168	55	8,92	30,31								
18/06/2008	169	56	8,02		30,31	24,25	15,16	0,10	1,8	16h 50'	12h 58'	8h 25'
19/06/2008	170	57	10,70									
20/06/2008	171	58	8,92									
21/06/2008	172	59	9,81	37,45								
22/06/2008	173	60	8,92		37,45	29,96	18,72	0,10	1,8	20h 48'	16h 39'	10h 24'
23/06/2008	174	61	9,81									
24/06/2008	175	62	10,70									
25/06/2008	176	63	8,92	38,34								
26/06/2008	177	64	8,92		38,34	30,67	19,17	0,10	1,8	21h 18'	17h 02'	10h 39'
27/06/2008	178	65	8,92									
28/06/2008	179	66	8,92									
29/06/2008	180	67	7,13	33,88								
30/06/2008	181	68	8,92		33,88	27,10	16,94	0,10	1,8	18h 49'	15h 3'	9h 24'
01/07/2008	182	69	7,13									
02/07/2008	183	70	7,13									
03/07/2008	184	71	10,70	33,88								

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Καθαρές ανάγκες In (mm)	Άθροισμα καθαρών αναγκών εύρους (5d) (mm)	Id(100%) Δόση άρδευσης m ³ /στρ	Id(80%) Δόση άρδευσης m ³ /στρ	Id(50%) Δόση άρδευσης m ³ /στρ	Σταλάκτες ανά φυτό n=St/2*Se	Ωριαίο ύψος διαβροχής Idh=(q*n)/(St*Sr) mm/h	D1100% Διάρκεια άρδευσης It(100%)= Ida(100%)/Idh (h)	D180% Διάρκεια άρδευσης It(80%)= Ida(80%)/Idh (h)	D150% Διάρκεια άρδευσης It(50%)= Ida(50%)/Idh (h)
04/07/2008	185	72	7,13		33,88	27,10	16,94	0,10	1,8	18h 49'	15h 3'	9h 24'
05/07/2008	186	73	11,59									
06/07/2008	187	74	11,59									
07/07/2008	188	75	10,58	40,89								
08/07/2008	189	76	10,70		40,89	32,71	20,45	0,10	1,8	22h 43'	17h 50'	11h 22'
09/07/2008	190	77	8,02									
10/07/2008	191	78	7,13									
11/07/2008	192	79	7,13	32,99								
12/07/2008	193	80	10,70		32,99	26,39	16,49	0,10	1,8	18h 20'	14h 39'	8h 43'
13/07/2008	194	81	11,59									
14/07/2008	195	82	8,92									
15/07/2008	196	83	7,81	39,01								
16/07/2008	197	84	7,59		39,01	31,21	19,51	0,10	1,8	21h 40'	17h 21'	10h 18'
17/07/2008	198	85	7,37									
18/07/2008	199	86	7,94									
19/07/2008	200	87	7,70	30,60								
20/07/2008	201	88	6,71		30,60	24,48	15,30	0,10	1,8	17h	12h	8h 30'
21/07/2008	202	89	7,21									
22/07/2008	203	90	7,67									
23/07/2008	204	91	8,07	29,67								

Παροχή σταλακτήρα : $q=2.3 \text{ l/h}$

Αριθμός σταλακτῆρων ανά 2 σειρές φυτών : $n=St(2*Se)=0.06$

Ημερομηνία	Ημέρες από 1/1/2008	Ημέρες από τη σπορά 23/4/08	Καθαρές ανάγκες I_n (mm)	Άθροισμα καθαρών αναγκών εύρος (5d) (mm)	$I_d(100\%)$ Δόση άρδευσης $m^3/στρ$	$I_d(80\%)$ Δόση άρδευσης $m^3/στρ$	$I_d(50\%)$ Δόση άρδευσης $m^3/στρ$	Σταλακτῆς ανά φυτό $n=St/2*Se$	Ωριαίο ύψος διαβροχής $I_dh=(q*n)/(St*Sr)$ mm/h	Διάρκεια άρδευσης $I_t(100\%)=I_{da}(10\%)/I_dh$ (h)	Διάρκεια άρδευσης $I_t(80\%)=I_{da}(80\%)/I_dh$ (h)	Διάρκεια άρδευσης $I_t(50\%)=I_{da}(50\%)/I_dh$ (h)
24/07/2008	205	92	5,84		29,67	23,73	14,83	0,10	1,8	16h 28'	13h 11'	8h 14'
25/07/2008	206	93	4,99									
26/07/2008	207	94	5,40									
27/07/2008	208	95	-6,17	10,05								
28/07/2008	209	96	3,86		10,05	8,04	5,03	0,10	1,8	5h 35'	4h 28'	2h 48'
29/07/2008	210	97	4,21									
30/07/2008	211	98	4,52									
31/07/2008	212	99	4,30	16,90								
01/08/2008	213	100	4,09		16,90	13,52	8,45	0,10	1,8	9h 23'	7h 31'	4h 42'
02/08/2008	214	101	3,44									
03/08/2008	215	102	4,05									
04/08/2008	216	103	3,43	15,00								
05/08/2008	217	104	3,21		15,00	12,00	7,50	0,10	1,8	8h 20'	6h 40'	4h 10'
06/08/2008	218	105	2,99									
07/08/2008	219	106	2,77									
08/08/2008	220	107	2,27	11,24								
09/08/2008	221	108	2,55		11,24	8,99	5,62	0,10	1,8	6h 15'	5h	3h 08'
10/08/2008	222	109	-6,65									
11/08/2008	223	110	1,70									
12/08/2008	224	111	2,27	-0,13								
ΣΥΝΟΛΑ			495,03	495,03	495,03	396,02	247,51			282h 17'	225h 49'	141h 10'

Ισαποχή φυτών επί της γραμμής : $St=0.154 \text{ m}$

Ισαποχή των γραμμών σποράς : $Sr=0.80\text{m}$

Ισαποχή των σταλακτῆρων : $Se=0,8\text{m}$

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- 1) Arnaud, F., 1986. Cahier technique : plante – selection. Tournesol. Paris. Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains (CETIOM).
- 2) Blaney, H.F. and W.D. Griddle, 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA (SCS) TP-96, 48p.
- 3) Burt, C.M., Styles, W.S., 2007. Drip and Micro Irrigation Design and Management for Trees, Vines, and Field Crops, 3rd Edition, Irrigation Training and Research Center.
- 4) Burton, J.W., Miller, B.A., Vick, R., Scarth, and C.C. Holbrook, 2004. Altering fatty acid composition in oil seed crops. *Adv. Agron.*, 84:273-306.
- 5) Cai, X., Rosegrant, M.W., 2003. World water productivity: current situation and future options. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka, pp. 163–178.
- 6) Chaves, M.M., Santos, T.P., Souza, C.R., Ortuno, M.F., Rodriguez, M.L., Lopez, C.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2007. *Ann Appl Biol* 150, 237-252.
- 7) Cicogna, A., Dietrich, S., Gani, M., Giovanardi, R., Sandra, M., 2005. Use of meteorological radar to estimate leaf wetness as data input for application of territorial epidemiological model (downy mildew – *Plasmopara viticola*): agrometeorology 2003. *Phys. Chem. Earth* 30, 201–207.
- 8) Cox, W.J., Jolliff, G.D., 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agron. J.* 78, 226–230.
- 9) Cui, N., Du, T., Kang, S., Li, F., Zhang, J., Wang, M., Li, Z., 2008. Regulated deficit irrigation improved fruit quality and water use efficiency of pear-jujube trees. *Agr. Water Manage.* 95, 698–706.
- 10) Danalatos NG, Archontoulis SV, Geronikolou L, Papadakis G, 2004. Potential growth and productivity of three Sunflower hybrids in a soil with aquatic moisture regime in central Greek conditions. In: Van Swaaij, W.P.M, Fjalstrom, T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), *Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, 10–14 May, Roma, Italy, pp. 315–318.
- 11) Danalatos N.G., Archontoulis S.V., Giannoulis K.D., Pasxonis K., Tsalikis D., Pazaras B., Papadoulis N., Zaitoudis D., 2008. Cynara, sunflower, sweet and fiber sorghum on-farm yields in north, central and south Greece in 2007. Proceedings of the International conference on Agricultural

Engineering, Crete, Greece pp. 1-13.

12) Davies, W.J., Bacon, M.A., Thompson, D.S., Sobeih, W., Rodriguez, L.G., 2000. Regulation of leaf and fruit growth in plants growing in drying soil: exploitation of the plants chemical signalling system and hydraulic architecture to increase the efficiency of water use in agriculture. *Journal of Experiment Botany*, 51, 1617-1626.

13) Debaeke, P., Aboudrare, A., 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *Eur. J. Agron.* 21, 433–446.

14) Demir, A.O., Goksoy, A.T., Buyukcangaz, H., Turan, Z.M., Koksai, E.S., 2006. Deficit irrigation of sunflower in a sub-humid climate. *Irrig. Sci.* 24, 279-289.

15) DeTar, W.R., 2008. Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. *Agr. Water Manage.* 95, 69–76.

16) Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. *FAO Irrigation and Drainage Papers* 33. FAO, Rome, Italy.

17) Du, T., Kang, S., Sun, J., Zhang, X., Zhang, J., 2009. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. *Agr. Water Management*. (Article in press)

18) Dry, P.R., Loveys, B.R., Botting, D., Doring, H., 1996. Effect of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield, composition of fruit and use of water. In proceedings of the 9th Australian Wine Industry Technical Conference, pp. 128-131. Eds C. Stockeley, A., Sas, R., Johnstone and t. Lee. Adelaide: Winetitles.

19) El-Wakil, A.M., Gaafar, S.A., 1988. Studies on water requirements of sunflower. *Assiut J. Agric. Sci.* 19, 375-389.

20) English, M., 1990. Deficit irrigation. I. Analytical framework. *J. Irrig. Drain E. ASCE* 116, 399–412.

21) Flenet, F., Bouniols, A., Saraiva, C., 1996. Sunflower response to a range of soil water contents. *Eur. J. Agron.* 5, 161–167.

22) Friedt, 1992. Present state and future prospects of biotechnology in sunflower breeding. *Fields Crop Res.*, 30:425-442.

23) Garabet, S., Wood, M., Ryan, J., 1998. Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean-type climate. I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. *Field Crop Res.* 57, 309–318.

24) FAO, 1998. *Irrigation and Drainage. Paper No 24.*

25) FAO, 2002.

26) FAO, 2007.

- 27) Ferreira, A.M. and Abreu, F.G. (2001), Description of development, light interception and growth of sunflower at two sowing dates and two densities *Mathematics and Computers in Simulation J.*, 56, 369-384.
- 28) Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Special issue on 'Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress' *J. Exp. Bot.* 58, 147–159.
- 29) Flagella Z, Rotunno T, Tarantino R, Di Caterina R, De Caro A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. *Eur J Agron* 17:221–230.
- 30) Geerts, S. and Raes, D., 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agr. Water Management.* 96, 1275-1284. Glas, K., 1988. Sunflower: fertilising for high yield and quality. *Int. Potash Inst Bull.* 10, 1-38.
- 31) Ghani, A., Hussain, M., Saleem, M., 2002. Effect of different Irrigation Regimens on the growth and Yield of Sunflower. *International Journal of Agriculture and Biology*, 1560-8530/200/02-4-334-335.
- 32) Goksoy, A.T., Demir, A.O., Turan, Z.M., Dagustu, N., 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Res.* 87, 167–178.
- 33) Hueso, J., Cuevas, J., 2008. Loquat as a crop model for successful deficit irrigation. *Irrig. Sci.* 26, 269–276.
- 34) Iniesta, F., Testi, L., Goldhamer, D.A., Fereres, E., 2008. Quantifying reductions in consumptive water use under regulated deficit irrigation in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Agr. Water Manage.* 95, 877–886.
- 35) Jana PK, Misra B, Kar PK (1982) Effect of irrigation at different physiological stages of growth on yield attributes: Yield, consumptive use, and water use efficiency on sunflower. Department of
- 36) Agron, BC Krishi Viswa Vidyalaya, Kalyani, India, *Indian Agriculturist* 26(1):39–42.
- 37) Kadayifci, A., Yildirim, O., 2000. Relationships between water and yield in sunflower. *Turkish J. Agric. For.* 24, 137-145.
- 38) Kallivroussis L, Natsis A, Papadakis G., 2002. The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. *Biosystems Engineering*, 81, 347–354.
- 39) Kang, S., Liang, Z., Hu, W., Zhang, J., 1998. Water use efficiency of controlled root division alternate irrigation on root divided maize plants. *Agr. Water Management*, 38, 69-76.
- 40) Karaata, H., 1991. Water-production functions of sunflower under Kirklareli conditions, No. 28.
- 41) Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., Roupheal, Y., 2007.

Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. *Agr. Water management*, 90, 213-223.

43) Kipkorir, E.C., Raes, D., Labadie, J., 2001. Optimal allocation of short-term irrigation supply. *Irrig. Drain Syst.* 15, 247–267.

44) Kirda, C., Kanber, R., Tulucu, K., Gungo, H., 1999. Yield response of cotton, maize, soybean, sugar beet, sunflower and wheat to deficit irrigation. In: Kirda, C., Moutonnet, P., Hera, C., Nielsen, D.R. (Eds.), *Crop Yield Response to Deficit Irrigation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, pp. 21–38.

45) López-Bellido R.J., López-Bellido L., Castillo, J.E., López-Bellido, F.J, 2003. Nitrogen uptake by sunflower as affected by tillage and soil residual nitrogen in a wheat–sunflower rotation under rainfed Mediterranean conditions. *Soil & Tillage Research* 72 (2003) 43–51.

46) Lovelli, S., Perniola, M., Ferrara, A., Di Tommaso, T., 2007. Yield response factor to water (Ky) and water use efficiency of *Carthamus tinctoris* L. and *Solanum melongena* L. *Agr. Water Manage.* 92, 73–80.

47) Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M, McCarthy, M.G., 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta horticultrae*, 537, 187-197.

48) Molden, D., 2003. A water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 1–18.

49) Murphy, D.J. (1994), *Designer Oil Crops, Breeding, Processing and Biotechnology*. National Sunflower Association, 2010.

50) Payero, J.O., Melvin, S.R., Irmak, S., Tarkalson, D., 2006. Yield response of corn to deficit irrigation in a semiarid climate. *Agr. Water Manage.* 84, 101–112.

51) Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D., Petersen, J.L., 2009. Effect of timing of a deficit irrigation- allocation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency and dry mass. *Agr. Water Management* 96, 1387-1397.

52) Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. I. Grain yield and yield components. *Agr. Water Manage.* 46, 1–13.

- 53)**Penman, H.L., 1963. Vegetation and Hydrology. Tech. cratunication No.53. Commonwealth Bur. of Soils, Harpenden, England, 125p.
- Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A., 2002. Irrigation management under water scarcity. *Agr. Water Manage.* 57, 175–206.
- 54)**Perniola, M., Amaducci, M.T., De Caro, A., 1989. Comparison of cultivars of different maturity group in different enviroments with or without limited irrigation. *Basilicata informatore agrario*, 45, 41-43.
- 55)**Pulupul, L.U., Behboudian, M.H., Fisher, K.J., 1996. Growth, yield and post harvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *Hort. Sci* 31, 926-929.
- 56)**Saeed, H., Grove, I.J., Kettlewell, P.S., Hall, N.W., 2007. Potential of partial rootzone drying as an alternative irrigation technique for potatoes. *Ann Appl Biol* 152 (2008), 71-80.
- 57)**Sakellariou – Makrantonaki, M., Kalfountzos, D., Vyrlas, P. and Kapetanow, B., 2002. Water saving using modern irrigation methods. *Proceedings of Hydrorama 2002, 3rd International Forum: Integrated Water Management: The key to Sustainable Water Resources, EYDAP. 21-22 March, Athens, Greece*, pp. 96-102.
- 58)**Savic, S., Stikic, R., Vucelic Radovic, B., Bogicevic, B., Jovanovic, Z., Hadji – Taskovic, D., Sucalovic, 2008. Comparative effects of regulated deficit irrigation (RDI) and partial rootzone drying (PRD) on growth and cell wall peroxidase activity in tomato fruits. *Agr Water Management* 117, 15-20.
- 59)**Schreiner, R.P., Tarara, J.M., Smithyman, R.P., 2007. *Mycorrhiza*. 17, 551-562.
- 60)**Shcneiter, A.A., 1997. *Sunflower Technology and Production*. The American Society of Agronomy. No 35
- 61)**Sincik, M., Candogan, B.N., Demirtas, C., Buyukcangaz, H., Yazgan, S., Goksoy, A.T., 2008. Deficit Irrigation of Soya Bean [*Glycine max* (L.) Merr.] in a Sub-humid Climate. *J. Agron. Crop Sci.* 194, 200–205.
- 62)**Skoric, D., 1992. Achievements and future directions of sunflower breeding. *Field Crops Res*, 30: 231-270
- 63)**Spreer, W., Nagle, M., Neidhart, S., Carle, R., Ongprasert, S., Muller, J., 2007. Effect of regulated deficit irrigation and partial rootzone drying on the quality of mango fruits (*Mangifera indica* L., cv. ‘Chok Anan’). *Agr. Water Manage.* 88, 173–180.
- 64)**Stewart, J.I., Cuenca, R.H., Pruitt, W.O., Hagan, R.M., Tosso, J., 1977. Determination and Utilization of water production functions for principal California crops. W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep. University of California, Davis.

- 65) Stewart B.A., Musick, J.T., 1982. Conjunctive use of irrigation and rainfall in semi-arid regions. *Advances in Agronomy*, 1, 1-23.
- 66) Stone, L.R., Schlege, A.J., Gwin, R.E., Khan, A.H., 1996. Response of corn, grain sorghum, and sunflower to irrigation in the high plains of Kansas. *Agric. Water Manage.* 30, 251–259.
- Sumanthi, V., Koteswara Rao, D.S., 2008. Interaction effects of irrigation and nitrogen management on production of sunflower. Agr. College, Tirupati, India.
- 67) Sun, H.Y., Liu, C.-M., Zhang, X.-Y., Shen, Y.-J., Zhang, Y.-Q., 2006. Effects of irrigation on water balance, yield and WUE of winter wheat in the North China Plain. *Agr. Water Manage.* 85, 211–218.
- 68) Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, Lj., 2007. Deficit irrigation of sunflower under mediterranean environmental conditions, Agronomic Institute, Bari, Italy.
- 69) Tolga, E., Delibas, L., Orta, H., 2001. Water use characteristics of sunflower under deficit irrigation. *Pakistan Journal of biological sciences* 4, 766-769.
- 70) Zegbe – Dominguez, J.A., Mehboudian, M.H., Clothier, B.E., 2006. Responses of “Petopride” processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrig. Sci.* 24, 203-210.
- 71) Zegbe – Dominguez, J.A., Mehboudian, M.H., Lang, A., Clothier, B.E., 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in “Petopride” processing tomato. *Agr. Water Management* 98, 505-510.
- 72) Zhang, H., 2003. Improving water productivity through deficit irrigation: examples from Syria, the North China Plain and Oregon, USA. In: Kijne, J.W., Barker, R., Molden, D. (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, pp. 301–309.
- 73) Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Pei, D., Wang, Y., 2008. Dry matter, harvest index, grain yield and water use efficiency as affected by water supply in winter wheat. *Irrig. Sci.* 27, 1–10.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- 1) Αυγουλάς, Χ., 2008. Σημειώσεις για τα ελαιούχα και κλωστικά φυτά. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής.
- 2) Αυγουλάς, Χρ., Ποδηματάς, Κ., Παπαστυλιανού, Π. (2001), Φυτά Μεγάλης Καλλιέργειας. Εκδόσεις Σταμούλη
- 3) Γαλανοπούλου-Σενδουκά, Σ., 2002. Βιομηχανικά φυτά. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. Αθήνα 2002.

- 4) Δαναλάτος, Ν., 2005. Ειδική Γεωργία ΙΙ. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
- 5) Δαναλάτος, Ν. και Αρχοντούλης, Σ. (2008). Οδηγός καλλιεργητικών φροντίδων αγριοαγκινάρας, Ηλίανθου, Σόργου. Πανεπιστημιακές εκδόσεις. Βόλος.
- 6) Μιχελάκης, Ν., 1998. Συστήματα αυτόματης άρδευσης. Άρδευση με σταγόνες. Εκδόσεις Εκδοτική Αγροτεχνική Α. Ε.
- 7) Μπαλατσούρας Γ., 1995. Ελαιόλαδο – Σπορέλαια. Τόμος Α΄. Εκδόσεις ΓΠΑ.
- 8) Ξανθόπουλος, Φ.Π., 1993. Ο Ηλίανθος. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας. Ινστιτούτο Βάμβακος και Βιομηχανικών Φυτών
- 9) Παπαζαφειρίου Ζ. Γ., 1984. Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ 484.
- 10) Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Μάσλαρης, Ν., Καλφούντζος, Δ. και Γούλας, Χ., 1998. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 1ου Εθνικού Συνεδρίου της εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος (ΕΓΜΕ), Αθήνα, σελ. 271-280.
- 11) Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Μάσλαρης, Ν., Νούσιος, Γ., Ντιούδης, Π. και Καλφούντζος, Δ., 1999. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Πρακτικά 4ου Εθνικού Συνεδρίου Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων (ΕΕΔΥΠ), Βόλος. Σελ. 162-169.
- 12) Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Μ., 2004. Άρδευση με σταγόνα. Άρδευση με αυλάκια. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Βόλος.
- 13) Σκαράκης, Γ. (2002, 2003), Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης, “Πρόγραμμα Διαμόρφωσης Ποικιλιών”, μη δημοσιευμένα αποτελέσματα.
- 14) Τερζίδης, Γ.Α. Και Παπαζαφειρίου, Ζ.Γ., 1997. Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη.

Βιβλιογραφία Internet

- 1) <http://www.soilandhealth.org/01aglibrary/010139fieldcroproots/010139ch16.html>
- 2) <http://agriculture.kzntl.gov.za/portal/AgricPublications/LooknDo/SunflowerProduction/tabid/134/Default.aspx>
- 3) http://en.wikipedia.org/wiki/Sunflower_oil
- 4) <http://www.fao.org/landandwater/aglw/cropwater/sunflower.stm#requirements>
- 5) <http://www.sunflowernsa.com/all-about/history>

ΛΗΞΗ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 ~~74768 61~~ 93141



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000105367