

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής
και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής

Πτυχιακή Εργασία

Τίτλος:

Άρδευση καλλιεργειών με αυτοματισμούς



Γεωργίου Δημήτριος

Βόλος 2013



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

Αριθ. Εισ.: 12211/1

Ημερ. Εισ.: 12/12/2013

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ

2013

ΓΕΩ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

- **Μαρία Σακελλαρίου - Μακραντωνάκη, Δρ., Καθηγήτρια** του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Επιβλέπουσα της πτυχιακής.
- **Αλεξίου Ιωάννης, Διδάσκων 407/80.**
- **Παπανικολάου Χρήστος, Διδάσκων 407/80.**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Καθηγήτρια και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Π.Θ. κα Μαρία Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη για την υπόδειξη του θέματος της πτυχιακής μου διατριβής, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας, όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή της, για την επίλυση διαφόρων θεμάτων.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Αλεξίου Ιωάννη και τον Δρ. Παπανικολάου Χρήστο για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη διόρθωση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Ειρήνη Καρατάσιου, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε σε όλη την πορεία της διατριβής καθώς και για την ουσιαστική της συμβολή, τόσο στο πειραματικό, όσο και στο θεωρητικό μέρος.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
Γενικά.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.1 Ενεργειακά Φυτά	8
1.2 Ενεργειακές Καλλιέργειες	9
1.3 Ενεργειακές Καλλιέργειες στην Ελλάδα	12
1.4 Βιοκαύσιμα	14
1.5 Πλεονεκτήματα Βιοκαυσίμων	16
1.6 Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά Πειραματικού Αγροτεμαχίου	17
1.7 Άρδευση.....	21
1.8 Μέθοδοι Άρδευσης.....	23
1.9 Στάγδην Άρδευση.....	25
1.10 Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση.....	26
1.11 Πλεονεκτήματα Επιφανειακής Στάγδην Άρδευσης.....	29
1.12 Μειονεκτήματα Στάγδην Άρδευσης.....	33
1.13 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση.....	34
1.14 Πλεονεκτήματα Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης.....	37
1.15 Μειονεκτήματα Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης.....	37
1.16 Μέθοδος Penman–Monteith:	38
1.17 Απλο Εξατμισόμετρο	39
1.18 Σκοπός Πειράματος	42
ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ.....	43
2.1 Εισαγωγή.....	43
2.2 Εγκατάσταση και διεξαγωγή του πειράματος.....	43
2.3 Σχεδιασμός πειράματος.....	44
2.4 Περιγραφή Μεθόδων	45
2.4.1 Απλό εξατμισόμετρο.....	45
2.4.2 Αυτόματο Εξατμισόμετρο	46

2.4.3 Penman – Monteith	47
2.4.4 S.M.S.....	48
2.4.5 Watermark.....	48
2.5 Καλλιεργητικές Φροντίδες.....	48
2.6 Σύστημα Άρδευσης.....	49
2.6.1 Υπόγειο και Επιφανειακό Σύστημα Στάγδην Άρδευσης	49
2.6.2 Αυτοματοποιημένη Άρδευση.....	52
2.7 Όργανα μέτρησης.....	53
2.7.1 Ποσότητα Νερού.....	53
2.7.2 Εδαφική Υγρασία.....	54
2.7.3 Σύστημα MOISTURE POINT	55
2.8 Το Αυτοματοποιημένο Σύστημα Άρδευσης με Εξατμισίμετρο	56
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	61
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	61
3.1 Γενικά.....	61
3.2 Παραγωγή Σπόρου:.....	61
3.3 Δείκτης Φυλικής Επιφάνειας:	62
3.4 Διάμετρος Κεφαλών:	63
3.5 Ύψος Φυτών:	64
3.6 Ποσότητα άρδευσης.....	65
3.7 Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού Άρδευσης:	66
3.8 Περιεκτικότητα σε Ηλιέλαιο:	67
3.9 Ποσότητα Ηλιελαίου (lt):	68
3.10 Ενέργεια:	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολείται με τη μελέτη της στάγδην άρδευσης και επισημαίνει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής έναντι άλλων μεθόδων.

Επίσης, ασχολείται με τη μελέτη της επίδρασης διαφορετικών μεθόδων προγραμματισμού άρδευσης στην ανάπτυξη και την παραγωγή υγρού βιοκαυσίμου από την καλλιέργεια του ενεργειακού φυτού ηλίανθου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτές του πλήρως αυτοματοποιημένου εξατμισόμετρου τύπου A (A.– E.) και η μέθοδος Penman – Monteith (P.– M.).

Για την επίτευξη του πειράματος, σχεδιάστηκαν και εγκαταστάθηκαν συστήματα στάγδην άρδευσης (επιφανειακής και υπόγειας). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εδαφικών, αλλά και κλιματικών παραμέτρων, καθώς και δειγματοληψίες φυτικού υλικού σε πειραματικό αγροτεμάχιο.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων, δημιουργήθηκαν πίνακες και γραφικές παραστάσεις στις οποίες απεικονίζονται τα συγκριτικά δεδομένα: της παραγωγής σπόρου του φυτού, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, της διαμέτρου των κεφαλών, του ύψους των φυτών, της ποσότητας του νερού που κατανάλωσαν τα φυτά, καθώς και της αποδοτικότητας χρήσης νερού άρδευσης, της περιεκτικότητας σε λάδι, της ποσότητας ηλιελαίου και τέλος της ενέργειας που παρήγαγαν τα φυτά.

Τέλος, μετά τη μελέτη και επεξεργασία των αποτελεσμάτων, διαπιστώθηκε ότι με τη χρήση των συγκεκριμένων μεθόδων βελτιστοποιείται η χρήση του νερού, καθώς παρέχεται στην καλλιέργεια τόση ποσότητα νερού, όση ακριβώς απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών της. Ακόμα, διαπιστώθηκε πως το φυτό του ηλίανθου μπορεί εξ ολοκλήρου να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Από την κεφαλή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο σπόρος για την παραγωγή βιοντίζελ (υγρό καύσιμο), ενώ το στέλεχος και τα φύλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας, πελλέτες, κ.λ.π. Από τις μεθόδους άρδευσης (P. – M. και AUTO (E)) που αφορούν τη συγκεκριμένη εργασία, η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων πραγματοποιήθηκε βάσει της μεθόδου Penman – Monteith παρουσίασε υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού (0,74kg/mmH₂O).

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Στην εποχή μας, η ανάγκη εύρεσης νέων, εναλλακτικών πηγών ενέργειας, είναι μεγάλη. Αυτές πρέπει να προέρχονται κυρίως από βιολογικές πηγές, με σκοπό την προοδευτική και ομαλή ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από τη συνεχή αύξηση του πληθυσμού της γης, σε συνδυασμό με την ανάγκη μείωσης των εκπομπών ρύπων. Ειδικά οι εκπομπές ρύπων οδηγούν στην τροφοδότηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς επίσης και στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Γι' αυτούς τους λόγους λοιπόν, τα τελευταία χρόνια, η επιστήμη στράφηκε στην αναζήτηση νέων, εναλλακτικών πηγών ενέργειας, και συνάμα στη χρήση νέων μεθόδων. Αυτές έχουν ως βασικό τους στόχο, την προστασία του περιβάλλοντος και την Αειφορική Ανάπτυξη.

Πηγές φιλικότερων (ανανεώσιμων) μορφών ενέργειας αποτελούν ο αέρας, ο ήλιος, η βιομάζα, κ.λ.π. Η βιομάζα παίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κόσμου, καθώς η βιομάζα είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και η οποία μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας χώρας πριν εξαντληθούν τα εθνικά και διεθνή αποθέματα των ορυκτών καυσίμων (Scherpernzeel, J. Agenda 2000). Ως βιομάζα λοιπόν, καλούνται τα πάσης φύσεως φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα, καθώς και οι ενεργειακές καλλιέργειες. Παράδειγμα ενεργειακών φυτών αποτελεί ο ηλιάνθος (*Helianthus annuus*) με τον οποίο και ασχολείται η συγκεκριμένη εργασία και από τους σπόρους του οποίου παράγεται βιοντίζελ.

Ο όρος «ενεργειακή καλλιέργεια» αναφέρεται στα φυτικά εκείνα είδη, τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία της βιομάζας τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή θερμότητας, βιοαιθανόλης, βιοντίζελ, ηλεκτρικής ενέργειας, κ.λ.π. Κατά τους Johansson et al. (1993), το 2020 θα είναι δυνατό να καλύπτεται το 38% των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών από τη βιομάζα, οι οποίες σήμερα καλύπτονται με τα συμβατικά καύσιμα και το 17% των παγκόσμιων απαιτήσεων σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ζωτικής σημασίας είναι η ύπαρξη νερού για κάθε φυτό, για διάφορους λόγους. Ο κυριότερος από τους οποίους είναι το γεγονός ότι, το φυτό έχοντας την αναγκαία ποσότητα νερού δεν εισέρχεται σε κατάσταση υδατικής καταπόνησης. Στη σύγχρονη εποχή, το νερό επηρεάζεται σημαντικά, αφενός

μεν από την υπερκατανάλωση, αφετέρου δε από τη ρύπανση. Οι ρίζες τους εντοπίζονται στον τρόπο διαχείρισης των υδάτινων πόρων και γενικότερα στη διατήρηση ισορροπιών του περιβάλλοντος. Παρατηρείται μάλιστα, σπατάλη νερού μέσω της άρδευσης, εξαιτίας του μη ακριβούς προσδιορισμού των αναγκών σε νερό άρδευσης των καλλιεργειών.

Η άρδευση αποτελεί τη βάση της γεωργίας, αφού εξαιτίας της μπορούν να επιτευχθούν υψηλές αποδόσεις με μικρότερο κόστος εισροών και μεγιστοποίηση του οικονομικού αποτελέσματος. Παρά όμως, τα εντυπωσιακά αποτελέσματα της ορθής άρδευσης στη γεωργία, η μη ορθή άρδευση μπορεί να προξενήσει προβλήματα υποβάθμισης της γονιμότητας των εδαφών.

Εδώ και 30 χρόνια, χρησιμοποιούνται μέθοδοι άρδευσης φιλικές προς το περιβάλλον και αποσκοπούν στη μείωση των απωλειών λόγω εξάτμισης και την εξοικονόμηση νερού, όπως η επιφανειακή και υπόγεια στάγδην άρδευση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ενεργειακά Φυτά

Σήμερα, επιτακτική ανάγκη αποτελεί η στροφή προς τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η βιομάζα, κ.λ.π. Η αξιοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών για την παραγωγή βιοκαυσίμων αποτελεί ζήτημα μείζονος σημασίας, για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με την προστασία του περιβάλλοντος, την απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, αλλά και για τη γενικότερη στήριξη του γεωργικού τομέα.

Τα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων (στερεά, υγρά και αέρια) εξορύσσονται και καταναλώνονται με ταχύτατους ρυθμούς. Αποτέλεσμα αυτού, αποτελεί αφενός μεν η εξάντληση τους στο άμεσο μέλλον, αφετέρου δε η σοβαρή επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Σύμφωνα με διάφορα σενάρια, στο ενδιάμεσο διάστημα, μέχρι δηλαδή να εξαντληθούν τα γνωστά αποθέματα καυσίμων υλών, προβλέπεται ο διπλασιασμός των κατοίκων του πλανήτη και ο πολλαπλασιασμός των ενεργειακών τους αναγκών (Καμπράνης, 2007). Οι ειδικοί επιστήμονες ανησυχούν ότι αν συνεχιστεί αυτός ο ρυθμός κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων τα επόμενα χρόνια, οι συνέπειες στα οικοσυστήματα θα είναι πολύ σοβαρές. Θα είναι μάλιστα τόσο σοβαρές αυτές οι συνέπειες, που θα έχουν άμεσες επιπτώσεις στις ανθρώπινες κοινωνίες με τη δημιουργία χιλιάδων «οικολογικών»

μεταναστών, δηλαδή ανθρώπων οι οποίοι θα αναγκαστούν να μετακινηθούν λόγω των συνεπειών του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί κατά 17 φορές. Τα πρωταρχικά αίτια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και του φαινομένου του θερμοκηπίου αποτελούν οι εκπομπές CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα), SO₂ (διοξείδιο του θείου) και NO_x (οξειδίο του αζώτου) από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Μέχρι σήμερα, περισσότερο από το 85% των ενεργειακών απαιτήσεων παγκοσμίως ικανοποιείται από τα ορυκτά καύσιμα, ενώ παράλληλα οι εκπομπές CO₂(διοξείδιο του άνθρακα) από τις πηγές αυτές έχουν αυξηθεί στο 4πλάσιο τα τελευταία 40 χρόνια (Καμπράνης, 2007). Ταυτοχρόνως, οι ανησυχίες για τα αποθέματα των ορυκτών καυσίμων εφόσον αυτά λόγω της συνεχούς και αυξανόμενης εξόρυξης κάποια στιγμή θα τελειώσουν, εντείνονται. Σύμφωνα με ένα σενάριο που συντάχθηκε το 2004 και αναλύει την εξόρυξη των ορυκτών καυσίμων κατά τη χρονική περίοδο 1889 – 2050, φαίνεται ότι το 2050 θα υπάρχει πρόβλημα έλλειψης ορυκτών καυσίμων. Επίσης, η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO₂(διοξείδιο του άνθρακα) έχει αυξηθεί κατά 27%, τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Υπό την απειλή της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, μέσω της Συμφωνίας του Κυότο, το Δεκέμβριο του 1997, οι βιομηχανικές χώρες δεσμεύτηκαν να περιορίσουν τις εκπομπές CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα) και άλλων θερμοκηπιακών αερίων κάτω από τα επίπεδα του 1990 πριν το 2012 (Καμπράνης, 2007).

Ως απόρροια των προαναφερόμενων προβληματισμών, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προβάλλουν σήμερα ως η κύρια λύση στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, διότι αφενός μεν δεν εμφανίζουν τον κίνδυνο εξάντλησης, αφετέρου δε είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Η πρωταρχική μορφή ενέργειας για εκατομμύρια χρόνια είναι η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Σήμερα, κερδίζει και πάλι τη σπουδαιότητα της. Η βιομάζα είναι διαθέσιμη σχεδόν παντού και είναι ικανή να αυξήσει τα οφέλη για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη, κυρίως στις γεωργικές περιοχές. Ο όρος «βιομάζα» αναφέρεται σε όλες τις μορφές οργανικής ουσίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας (Καμπράνης, 2007).

1.2 Ενεργειακές Καλλιέργειες

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς (Κούγιας Π., 2010). Οι ενεργειακές καλλιέργειες παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν. Η βιομάζα αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενεργειακούς σκοπούς, όπως

παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή βιοκαυσίμων κ.α. Συνηθέστερα, στο εμπόριο είναι τα υγρά βιοκαύσιμα, βιοντίζελ και βιοαιθανόλη.

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες, των οποίων το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων θεωρούνται «ενεργειακές καλλιέργειες». Σε αυτή την κατηγορία ενεργειακών καλλιεργειών ανήκουν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα και ο ηλίανθος.

Οι «νέες ενεργειακές καλλιέργειες» είναι είδη με υψηλή παραγωγικότητα σε βιομάζα ανά μονάδα γης και διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- τις γεωργικές (αγριαγκινάρα, καλάμι, μίσχανθος, κεχρί, γλυκό και ινώδες σόργο, ελαιοκράμβη και κενάφ) και
- τις δασικές (Ευκάλυπτος ο σφαιρικός ή *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis* και η ψευδακακία).

Τα κριτήρια με τα οποία επιλέγεται η κατάλληλη ενεργειακή καλλιέργεια σε μια περιοχή είναι τα ακόλουθα:

- η προσαρμογή στις εδαφοκλιματικές συνθήκες,
- η ευκολία εισαγωγής στο υπάρχον σύστημα εναλλαγής καλλιεργειών,
- οι σταθερές αποδόσεις (ποσοτικά και ποιοτικά) που να προσφέρουν ανταγωνιστικό εισόδημα έναντι των παραδοσιακών καλλιεργειών,
- το θετικό ενεργειακό ισοζύγιο εισροών – εκροών (καθαρό ενεργειακό κέρδος),
- οι καλλιεργητικές τεχνικές σύμφωνες με την αειφόρο γεωργία,
- η ανθεκτικότητα σε εχθρούς και ασθένειες,
- η χρήση των υπαρχόντων μηχανημάτων (κυρίως για τη συγκομιδή) ή με μικρές μετατροπές αυτών και
- η διαθεσιμότητα κατάλληλου γενετικού υλικού (σπόροι, ριζώματα) (Κούγιας, 2010).

Τα τελευταία χρόνια, οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, οι οποίες προσπαθούν μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν τα περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματά τους, καθώς και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων. Η νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική της Ε.Ε. θα δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα διάθεσης των αγροτικών προϊόντων που προορίζονται για διατροφή και παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών (Καμπράνης, 2007). Σύμφωνα με κάποιες δυσμενείς προβλέψεις, εκατομμύρια στρέμματα γόνιμων και

περιθωριακών εκτάσεων είναι πιθανό να περιέλθουν σε αγρανάπαυση. Τη λύση σε αυτή την περίπτωση αποτελούν οι ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή ενέργειας. Για το σκοπό αυτό, η Ε.Ε. δαπανά μεγάλα χρηματικά ποσά στην έρευνα για την αξιοποίηση της βιομάζας και την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων στις περιθωριοποιούμενες εκτάσεις.

Πίνακας 1.1: Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις/στρ. σε σπόρο και καύσιμο. (Κίττας 2007)

ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΡΩΤΗ ΎΛΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ (kg/στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ (kg/στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ (L/στρ.)
Βιοντήζελ	Ηλιάνθος	120 – 210	40 – 70	43 – 75
	Ελαιοκράμβη	120 – 250	40 – 83	43 – 90
	Βαμβάκι	120 – 160	17 – 23	18 – 25
	Σόγια	160 – 240	27 – 41	29 – 44
Βιοαιθανόλη	Σιτάρι	150 – 800	36 – 190	45 – 240
	Αραβόσιτος	900	213	270
	Τεύτλο	6000	475	600
	Σόργο	7000-10000	553-790	675-900

Ήδη, από το Φεβρουάριο 2006 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει διατυπώσει τη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα βιοκαύσιμα. Αυτή η στρατηγική έχει τους εξής τρεις στόχους:

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

Από την Ευρωπαϊκή Ένωση προβλέπονται οι παρακάτω επτά άξονες πολιτικής:

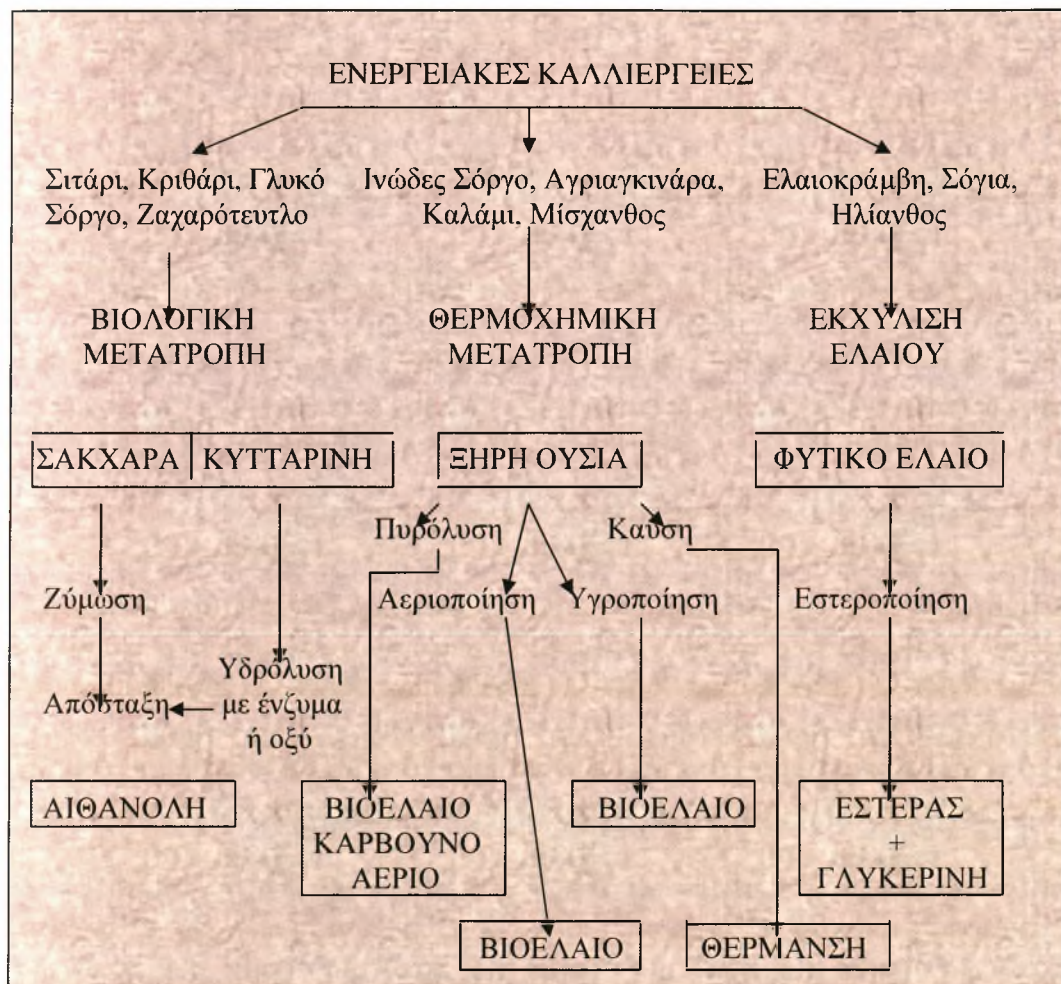
- Αύξηση ζήτησης βιοκαυσίμων.
- Αποκόμιση περιβαλλοντικών ωφελημάτων.
- Ανάπτυξη τόσο της παραγωγής βιοκαυσίμων, όσο και της διανομής τους.
- Επέκταση εφοδιασμού με πρώτες ύλες.

- Ενίσχυση ευκαιριών για εμπορικές συναλλαγές.
- Υποστήριξη σε έρευνα και ανάπτυξη.
- Υποστήριξη σε αναπτυσσόμενες χώρες.

Η Ευρωπαϊκή επιτροπή, μέσω των κοινοτικών οδηγιών 2003/30/ΕΣ και 2003/96/ΕΣ, αξιώνει τη μεγαλύτερη συμμετοχή των βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση καυσίμων από το 2%, που προβλεπόταν το 2005, στο 5,75% έως και το τέλος του 2010.

1.3 Ενεργειακές Καλλιέργειες στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, εξαιτίας των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών, πολλές καλλιέργειες προσφέρονται για ενεργειακή αξιοποίηση και δίνουν υψηλές στρεμματικές αποδόσεις. Μερικές από αυτές τις καλλιέργειες είναι του καλαμιού, του γλυκού σόργου, της αγριαγκινάρας, του μίσχανθου, της ψευδακακίας και του ευκαλύπτου. Τα τελευταία χρόνια για τις συγκεκριμένες καλλιέργειες πραγματοποιείται εντατική μελέτη εφαρμογής τους στις ελληνικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα των ερευνών στη χώρα μας, οι παραγωγικότερες ενεργειακές καλλιέργειες είναι το καλάμι, η αγριαγκινάρα και το γλυκό και ινώδες σόργο, με δυναμικό που ξεπερνά τους 3 τόνους ξηρής βιομάζας/στρ. Όσον αφορά το παραγόμενο προϊόν, από τις ετήσιες καλλιέργειες, το γλυκό σόργο είναι το πλέον υποσχόμενο είδος για την παραγωγή βιοαιθανόλης και ο ηλίανθος για την παραγωγή βιοντήζελ. Το καλάμι και η αγριαγκινάρα, από τις πολυετείς καλλιέργειες, ενδείκνυνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για θέρμανση (πελλέτες), καλλιεργούμενα σε εδάφη με υψηλή υπόγεια στάθμη νερού και ξηρικά – χαμηλής γονιμότητας, αντίστοιχα.



Σχήμα 1.2: Σχηματική απεικόνιση μετατροπής πρώτων υλών σε αιθανόλη, βιοέλαιο, εστέρα, γλυκερίνη, καρβουνοαέριο και θέρμανση.

Η χρήση των ενεργειακών φυτών προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα. Το σημαντικότερο όλων αποτελεί το γεγονός ότι μειώνονται οι καθαρές εκπομπές σε αέρια που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Επιπλέον, αξιοποιούν περισσότερο CO₂ του αέρα σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες, καθώς αποτελούν δεξαμενές άνθρακα.

Οι εκπομπές από την καύση της βιομάζας περιέχουν σχεδόν μηδαμινή ποσότητα SO_x σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Αντιθέτως, περιέχουν αρκετά υπολογίσιμες ποσότητες NO_x. Επιπροσθέτως, η μόλυνση των εδαφών και κατ' επέκταση των υπόγειων νερών μειώνεται, καθώς τα φυτά αυτά έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσονται χωρίς πολλές απαιτήσεις σε εισροές

(π.χ. λιπάσματα, εντομοκτόνα, κ.λ.π.), σε σχέση με τις αροτραίες καλλιέργειες.

1.4 Βιοκαύσιμα

Με τον όρο «βιοκαύσιμα» χαρακτηρίζονται τα καύσιμα τα οποία παράγονται από βιομάζα, σε ειδικές βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εφαρμογή φυσικών και χημικών διεργασιών. Τα λεγόμενα εναλλακτικά βιοκαύσιμα περιλαμβάνουν δύο κατηγορίες, το βιοντήζελ και τη βιοαιθανόλη.

Το βιοντήζελ παράγεται από πρώτες ύλες, πλούσιες σε έλαια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο του πετρελαίου ντίζελ, είτε αυτούσιο, είτε σε ανάμιξη με το συμβατικό ντίζελ. Για την παραγωγή βιοντήζελ χρησιμοποιούνται κυρίως σπορέλαια. Με μια σχετικά απλή διαδικασία τα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται σε εστέρες τριγλυκεριδίων, με μεθανόλη ή αιθανόλη. Οι καθαροί εστέρες είναι άριστοι υποκατάστατες του πετρελαίου, χωρίς να χρειάζεται καμία μετατροπή στη μηχανή.

Η βιοαιθανόλη είναι καθαρή αιθανόλη που παράγεται από πρώτες ύλες πλούσιες σε σάκχαρα ή άμυλο. Χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο της βενζίνης, είτε αυτούσια, είτε σε ανάμιξη με τη συμβατική βενζίνη. Οι σακχαρούχες πρώτες ύλες υποβάλλονται σε ζύμωση για τη μετατροπή των σακχάρων σε αιθανόλη. Οι αμυλούχες, όμως, πρώτες ύλες πρέπει πρώτα να υποστούν επεξεργασία για τη μετατροπή του αμύλου σε σάκχαρα και έπειτα να υποβληθούν σε ζύμωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3: Παραγωγή βιοκαυσίμων σε χώρες της Ε.Ε. (tn).

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΩΝ (tn) ΣΤΗΝ Ε.Ε. ΤΟ 2003		
ΧΩΡΑ	ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ
Γερμανία	715000	241450
Γαλλία	357000	
Ιταλία	273000	
Δανία	41000	
Αυστρία	32000	563400
Αγγλία	9000	
Ισπανία	6000	
Σουηδία	1000	52300
ΣΥΝΟΛΟ	1434000	857150

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής ενός m³ βιοκαυσίμου από διάφορες πρώτες ύλες.

ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΎΛΕΣ	
ΠΡΩΤΗ ΎΛΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ (ευρώ/m³)
Ζαχαρότευτλα	230 – 530
Σακχαροκάλαμο	200
Γλυκό Σόργο	155 – 230
Καλαμπόκι	230 – 320
Σιτάρι	600
Λιγνοκυτταρινούχες Πρώτες Ύλες	140 – 350
Πατάτες	760

ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΑΝΑ ΣΤΡΕΜΜΑ ΣΕ ΣΠΟΡΟ ΚΑΙ ΛΑΔΙ			
ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΡΩΤΗ ΎΛΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ (kg/στρ.)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΟ (lt/στρ.)
ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ	Ηλίανθος	120 – 300	43 – 75
	Ελαιοκράμβη	120 – 300	43 – 90
	Βαμβάκι	120 – 160	18 – 25
	Σόγια	160 – 240	29 – 44
ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ	Σιτάρι	150 – 800	45 – 240
	Αραβόσιτος	900	270
	Ζαχαρότευτλα	6000	600
	Σόργο	7000 – 10000	675 – 900

Πίνακας 1.5 : Παραγόμενα βιοκαύσιμα από διάφορα φυτά και αποδόσεις ανα στρέμμα σε σπόρο και λάδι. (Κίττας, 2007)

1.5 Πλεονεκτήματα Βιοκαυσίμων

Τα πλεονεκτήματα που αποκομίζονται από τη χρήση των βιοκαυσίμων ως εναλλακτικά καύσιμα στις μεταφορές είναι τα παρακάτω:

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

Στην Ελλάδα τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση των βιοκαυσίμων είναι τα ακόλουθα:

- Η διέξοδος των εναλλακτικών καλλιεργειών για τα γεωργικά εδάφη της χώρας, καθώς πλέον οδηγούμαστε σε τέλμα με τις παραδοσιακές καλλιέργειες βαμβακιού, καπνού, αλλά και ζαχαροτεύτλων.
- Η διέξοδος που παρουσιάζεται τόσο για τα εδάφη, όσο και για τον πληθυσμό ορισμένων ευαίσθητων περιοχών της χώρας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6: Αποδόσεις για παραγωγή βιοαιθανόλης από ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα και οι απαιτούμενες εκτάσεις που θα πρέπει να καλλιεργούνται έως το τέλος του 2010, σύμφωνα με τις κοινοτικές οδηγίες 2003/30/ΕΣ και 2003/96/ΕΣ.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΦΥΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ		
ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ	ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ ΜΕΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗ (lt/στρ.)
Αραβόσιτος	Αρδευόμενη	350 – 400
Ζαχαρότευτλα	Αρδευόμενη	450 – 500
Γλυκό Σόργο	Αρδευόμενη	500 – 550
ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ 2010		ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ
Βιοαιθανόλη	Αραβόσιτος	1300000
	Ζαχαρότευτλα	1040000
	Γλυκό Σόργο	950000

(Κίττας, 2007)

1.6 Εδαφολογικά Χαρακτηριστικά Πειραματικού Αγροτεμαχίου

Το συγκεκριμένο πείραμα εγκαταστάθηκε σε έδαφος καλά στραγγιζόμενο, το οποίο ανήκει στην υπό – ομάδα των Typic Xerorthent. Το έδαφος ταξινομήθηκε στα Entisols, όπως λέγονται. Σε όλο το βάθος της τομής υπερیشύουν τα κλάσματα της άμμου και η κοκκομετρική σύσταση βρίσκεται μεταξύ μέσης έως μετρίως χονδρόκοκκης ή μετρίως λεπτόκοκκης, με υφή πηλώδη έως αμμοπηλώδη ή αργιλοπηλώδη (Μήτσιος κ.α., 2000).

Συνήθως, σε όλο τους το βάθος είναι πλούσια σε ανθρακικά άλατα αυτού του τύπου τα εδάφη, όμως σε επίπεδα κατώτερα των απαγορευτικών για τις καλλιέργειες. Σε αυτού του είδους τα εδάφη, η οργανική ουσία

βρίσκεται σε μέτρια έως χαμηλά επίπεδα και με το βάθος μειώνεται ακανόνιστα. Είναι δε, μετρίως αλκαλικά με PH, του οποίου η τιμή κυμαίνεται μεταξύ 7,7 – 8,1. μέτρια έως υψηλή είναι η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ) και σε ικανοποιητικά επίπεδα βρίσκονται τα επιμέρους κατιόντα Na (Νάτριο), Mg (Μαγνήσιο) και K (Κάλιο). Χαμηλή είναι η διαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων Zn (Ψευδάργυρος), Fe (Σίδηρος) και Mn (Μαγγάνιο), εν αντιθέσει με αυτή του Cu (Χαλκός), η οποία είναι υψηλή. Σε ικανοποιητικά επίπεδα βρίσκεται ο διαθέσιμος P (Φώσφορος). Γενικά, το επίπεδο διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων χαρακτηρίζεται ικανοποιητικό, έτσι ώστε να είναι δυνατή η επίτευξη υψηλών αποδόσεων ακόμη και με μηδενική λίπανση (Μήτσιος κ.α., 2000).

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους του αγρού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.7: Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P1.

ΒΑΘΟΣ (cm)	0 - 34	34 - 62	
Οργανική Ουσία Εδάφους (g/100g)	1,10	1,07	
CaCO ₂ (%)	5,00	14,50	
PH 1:1	7,90	8,10	
P - Olsen (ppm)	20,00	9,00	
	K	0,27	0,38
	Na	0,07	0,15
	Ca	25,50	23,70
Ανταλλάξιμα Κατιόντα Εδάφους me/100g	Mg	6,16	8,54
C.E.C. me/100g εδάφους		32,00	32,80
	Fe	4,50	6,40
	Cu	2,82	2,32
	Zn	0,80	0,38
Ιχνοστοιχεία (ppm)	Mn	6,80	3,40

Εδαφοτομή P1, Τάξη: Inceptisol, Υποομάδα: typic xerorthent.

Η κατάσταση της υδρομορφίας των εδαφών αυτού του τύπου, θεωρείται καλή έως άριστη. Παρουσιάζουν μάλιστα, υπερβολική έως άριστη αποστράγγιση. Παράλληλα, το πετρώδες και η μη καλά αναπτυγμένη δομή, δημιουργούν ένα καλό πορώδες. Το πορώδες αυτό, αποτελείται από μία ποικιλία πόρων ως προς το μέγεθος και το σχήμα τους. Κατ' αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται ικανοποιητικός αερισμός και συγκράτηση νερού στο ριζόστρωμα των φυτών.

Οι υδροδυναμικές παράμετροι του εδάφους, δηλαδή η υδατοϊκανότητα (ΥΔ), το σημείο μόνιμης μάρανσης (ΣΜΜ) και η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, πρέπει να είναι γνωστές ώστε να επιλεγθεί ορθά το εύρος άρδευσης και για να υπολογιστεί σωστά η πρακτική δόση άρδευσης. Γι' αυτό το λόγο συλλέχθηκαν δείγματα αδιατάρακτου εδάφους από κάθε επανάληψη του πειραματικού αγροτεμαχίου. Τα δείγματα πάρθηκαν από δύο διαφορετικά βάθη, 0 – 30 cm και 30 – 60 cm, με τη χρήση ειδικού

εδαφολήπτη αδιατάρακτου δείγματος, ο οποίος αποτελείται από μεταλλικούς κυλίνδρους 5 cm ύψους και 5 cm διαμέτρου. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε κατά τρόπο τέτοιο, ώστε κάθε δείγμα να αντιστοιχεί σε μία επανάληψη. Τεθλασμένη γραμμή κατά μήκος του πειραματικού αγροτεμαχίου, ήταν η πορεία που ακολουθήθηκε για τη συλλογή αυτών των δειγμάτων. Ακολουθήθηκε η συγκεκριμένη πορεία συλλογής των δειγμάτων για να μειωθεί στο ελάχιστο η πιθανότητα να μείνει εκτός δειγματοληψίας κάποιο σημείο του αγρού όπου πιθανώς να υπήρχε ανομοιομορφία στο έδαφος (Benjamin, 1992). Ωστόσο, για τη διαδικασία δειγματοληψίας έγινε η παραδοχή ότι η συγκεκριμένη έκταση του αγροκτήματος ήταν ομογενής λόγω της περιορισμένης έκτασης του πειραματικού αγρού αλλά και παλαιότερης εδαφολογικής μελέτης, σύμφωνα με την οποία η έκταση αυτή εντάσσεται σε ευρύτερη εδαφολογική ζώνη του αγροκτήματος (Μήτσιος κ.α., 2000).



ΕΙΚΟΝΑ 1.8: Η συσκευή Richards και δίσκοι πίεσεως 1atm και 15atm.

Με την εφαρμογή της τεχνικής της σταδιακής αφαίρεσης νερού από αδιατάρακτα δείγματα εδάφους, πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός της ποσότητας νερού που συγκρατεί το συγκεκριμένο έδαφος στην υδατοϊκανότητα. Ο όρος υδατοϊκανότητα αναφέρεται στην υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Ο προσδιορισμός αυτός, στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Π.Θ. γίνεται με τη συσκευή δίσκου πίεσεως. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ένα μικρό δείγμα κορεσμένου εδάφους με νερό τοποθετείται επάνω σε κεραμικό πορώδη δίσκο. Ο δίσκος αυτός είναι κορεσμένος με νερό και καλύπτεται αεροστεγώς με μεταλλικό

κάλυμμα. Ο χώρος κάτω από το δίσκο βρίσκεται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ στο χώρο που βρίσκεται επάνω από το δίσκο εφαρμόζεται αέρας υπό πίεση. Η συσκευή αυτή ρυθμίζεται κατάλληλα, έτσι ώστε η διαφορά πίεσης, μεταξύ του επάνω και κάτω χώρου από το δίσκο, να ισούται με την τάση που αντιστοιχεί στην υδατοϊκανότητα του εδάφους που εξετάζεται. Παραμένει για ορισμένο χρόνο το δείγμα στη συσκευή και εν συνεχεία, προσδιορίζεται η υδατοϊκανότητα από τη διαφορά βάρους του δείγματος πριν και μετά την εφαρμογή του αέρα υπό πίεση. Η διάρκεια παραμονής του δείγματος στη συσκευή είναι 24h περίπου, ενώ η πίεση που συνήθως εφαρμόζεται είναι μεταξύ 0,05 – 1,0 atm. Κατά τον ίδιο τρόπο προσδιορίστηκε και η ποσότητα νερού που συγκρατεί το ίδιο έδαφος στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι, σημείο μόνιμης μάρανσης ονομάζεται το σημείο στο οποίο το έδαφος συγκρατεί ποσότητα νερού, η οποία όμως δεν είναι διαθέσιμη για την κάλυψη των αναγκών των φυτών. Σήμερα, ως αντιπροσωπευτική του σημείου μόνιμης μάρανσης όλων των εδαφών, έχει γίνει αποδεκτή η τάση των 15 atm (Παπαζαφειρίου, 1994).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.9: Τύπος και Υδροδυναμικές Παράμετροι του Εδάφους (μέσες τιμές).

A/A	ΒΑΘΟΣ (cm)	0 - 30	30 - 60
			Sandy Clay
1	Τύπος Εδάφους	Loam	Loam
2	Φαινόμενη Πυκνότητα (Pb) (gr/cm ³)	1,62	1,42
3	Υδατοϊκανότητα (Υ.Δ.) % κ.β.	21,18	21,87
	Υδατοϊκανότητα (Υ.Δ.) % κ.ο.	(ΥΔ%	
4	κ.ο.=ΥΔ% κ.β. * Pb)	34,30	31,05
5	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (ΣΜΜ) % κ.β.	11,98	12,39
	Σημείο Μόνιμης Μάρανσης (ΣΜΜ) % κ.ο.		
6	(ΣΜΜ% κ.ο.=ΣΜΜ% κ.β. * Pb)	19,41	17,59
	Διαθέσιμη Υγρασία Εδάφους (ASM) (m/m)		
7	[ASM=(ΥΔ-ΣΜΜ)*Βάθος Ριζοστρώματος*0,01]	148,90	134,60

Με τη θερμοβαρυμετρική μέθοδο προσδιορίστηκε η κατά βάρος ποσότητα νερού που συγκρατεί το έδαφος στην υδατοϊκανότητα και στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Η κατ' όγκο ποσότητα νερού που συγκρατεί το έδαφος είναι το γινόμενο της αντίστοιχης κατά βάρος ποσότητας επί τη φαινομενική πυκνότητά του. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι, η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους, υπολογίστηκε ως το πηλίκο του ξηρού βάρους του αρχικού δείγματος εδάφους, όπως αυτό συλλέχθηκε στους ειδικούς κυλίνδρους δειγματοληψίας αδιατάρακτου δείγματος, προς τον όγκο του μεταλλικού δοχείου δειγματοληψίας. Στον πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται τόσο οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων, όσο και η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους (Available Soil Moisture, ASM).

Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (K_s) αποτελεί μια φυσική παράμετρο του εδάφους. Η τιμή της K_s πρέπει να είναι γνωστή για την κατάλληλη επιλογή αρδευτικού συστήματος και επομένως την επιλογή της βέλτιστης διάρκειας άρδευσης. Για το σκοπό αυτό προσδιορίστηκε στον αγρό η K_s με το υδροπερατόμετρο Guelph της Soil Moisture Equipment (Reynolds and Elrick, 1985). Έχουν πραγματοποιηθεί από τους Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.α. (1994), Τζιμόπουλο κ.α. (1996 & 2000), μετρήσεις της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας με το υδροπερατόμετρο Guelph. Παράλληλα έγινε εκτίμηση της τιμής της K_s , σε δύο διαφορετικά βάθη (0 – 30 cm & 30 – 60 cm), με την εφαρμογή του λογισμικού προγράμματος HYDRUS (2D/3D) version 1,02 (Simunek et al., 2007). Σε βάθη 15cm και 45cm διενεργήθηκαν οι μετρήσεις. Απαιτήθηκε η γνώση της χημικής δομής του εδάφους, οι τιμές της φαινομενικής πυκνότητας, όπως και της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους στην υδατοϊκανότητα και στο σημείο μόνιμης μάρανσης, για την εφαρμογή του προγράμματος HYDRUS (2D/3D). Οι τιμές της K_s , οι οποίες μετρήθηκαν στον αγρό με το υδροπερατόμετρο Guelph και οι εκτιμήσεις από την εφαρμογή του προγράμματος HYDRUS (2D/3D) παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.10: Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα.

A/A	ΒΑΘΟΣ (cm)	0 - 30	30 - 60
			Sandy Clay
1	Τύπος Εδάφους	Loam	Loam
2	Φαινόμενη Πυκνότητα (Pb) (gr/cm ³)	1,62	1,42
3	Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα K_s , (cm/h) (Μετρημένη με υδροπερατόμετρο Guelph)	0,64	0,12
4	Κορεσμένη Υδραυλική Αγωγιμότητα K_s , (cm/h) (Εκτίμηση με εφαρμογή του HYDRUS 2D/3D)	0,62	0,10

1.7 Άρδευση

Στόχο της άρδευσης αποτελεί ο εφοδιασμός του ριζοστρώματος με την απαραίτητη ποσότητα νερού για την ανάπτυξη των φυτών, ώστε να δώσουν τη μέγιστη παραγωγή. Για το λόγο αυτό, η άρδευση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας και ιδίως σε κλιματικές συνθήκες, όπως αυτές του ξηρού Μεσογειακού καλοκαιριού. Όμως, κατά την άρδευση είναι εξίσου σημαντικό να επιτυγχάνονται οι μικρότερες δυνατές απώλειες σε νερό, είτε ως διήθηση σε βαθύτερα στρώματα του εδάφους από εκείνα στα οποία αναπτύσσονται οι ρίζες, είτε και ως επιφανειακή απορροή.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, επιλύθηκαν τα διάφορα προβλήματα που εμφανίσθηκαν κατά την εφαρμογή των παραδοσιακών μεθόδων άρδευσης (κατάκλιση, άρδευση με αυλάκια, καταιονισμός). Γι' αυτό το σκοπό εφαρμόστηκαν νέα συστήματα άρδευσης, όπως η επιφανειακή και η υπόγεια στάγδην άρδευση (Τερζίδη, Παπαζαφειρίου, 1997).

Μεγάλη είναι η ανάγκη για μείωση των απωλειών νερού λόγω των προβλημάτων που προέκυψαν τελευταία, εξαιτίας της ανεπάρκειας του αρδευτικού νερού και τα οποία πρόκειται να ενταθούν μέσα στα επόμενα χρόνια. Μείωση των απωλειών νερού μπορεί να επιτευχθεί με τους ακόλουθους χειρισμούς:

- τον καλύτερο προγραμματισμό των αρδεύσεων (αποφυγή άσκοπων αρδεύσεων),
- την ελαχιστοποίηση των διαρροών στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής νερού και
- τον περιορισμό των απωλειών στον αγρό.

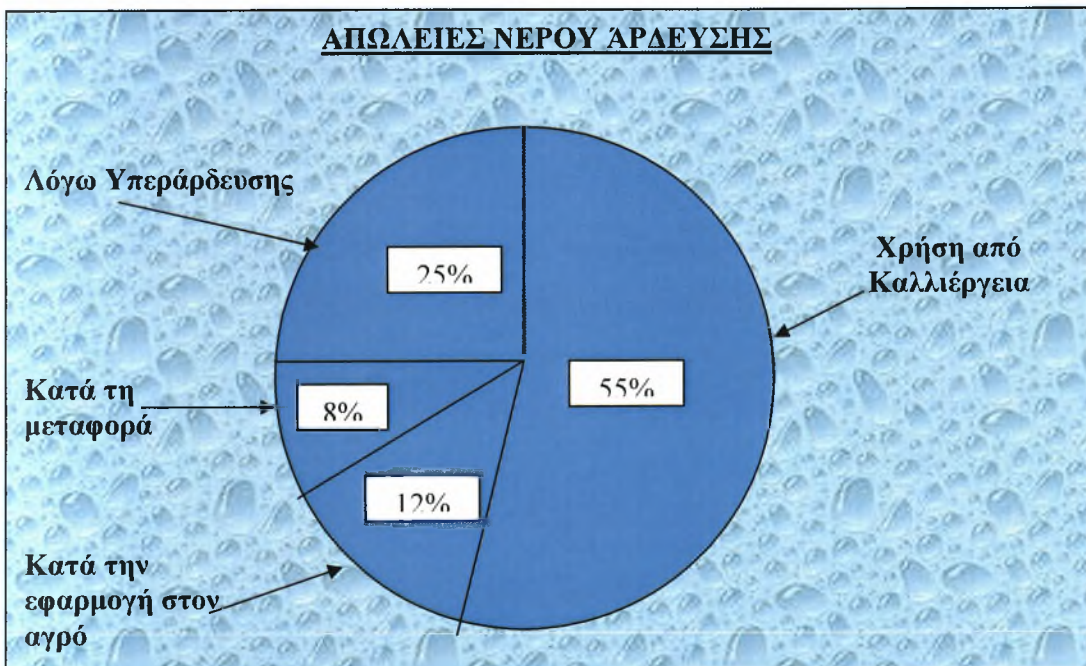
Η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί έχει ιδιαίτερη σημασία για τον περιορισμό των απωλειών στον αγρό. Ανά περίπτωση, επιλέγεται η καταλληλότερη μέθοδος άρδευσης. Προϋποθέσεις για τη μεγιστοποίηση των δυνατοτήτων της κάθε μεθόδου αποτελούν:

- ο άριστος σχεδιασμός,
- η σωστή εγκατάσταση και
- η χρήση υλικών καλής ποιότητας.

Η γεωργία αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή νερού, δηλαδή 70% περίπου σε παγκόσμιο επίπεδο και άνω του 80% στις περισσότερες μεσογειακές χώρες. Η γεωργία καταναλώνει μεγάλες ποσότητες νερού για διάφορες χρήσεις, όπως η παραγωγή τροφίμων, πρώτων υλών και παροχή εργασίας σε πολλούς κατοίκους των αγροτικών περιοχών. Στη χώρα μας επίσης, ο γεωργικός τομέας αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή νερού. Πιο συγκεκριμένα, για την άρδευση καταναλώνεται το 78,5% της συνολικής ποσότητας νερού, το 15,8% για την ύδρευση και μόνο το 5,7% στη βιομηχανία. Στην Ελλάδα, η ζήτηση άρδευσης είναι μεγάλη, ενώ η αποτελεσματικότητα του αρδευτικού νερού είναι μικρή και σε πολλές περιπτώσεις κάτω του 55%. Σήμερα, αρδεύεται το 41,2% της καλλιεργούμενης έκτασης (Τερζίδη, Παπαζαφειρίου, 1997).

Η παραγωγή αγροτικών προϊόντων απαιτεί μεγάλη κατανάλωση νερού. Για την παραγωγή 1kg ξηρής ουσίας π.χ. πατάτας, τομάτας, σιταριού και ρυζιού, απαιτούνται 0,5, 0,6 – 1, 0,9 και 1,9m νερού, αντίστοιχα. Όμως, πέραν μίας ποσότητας η παραγωγή δεν αυξάνεται. Εκτιμάται δε, ότι από το νερό άρδευσης που εφαρμόζεται σε μια καλλιέργεια, μόνο το 55% χρησιμοποιείται

από την ίδια την καλλιέργεια, το 12% χάνεται κατά την εφαρμογή, το 8% κατά τη μεταφορά και το 25% χάνεται λόγω υπερβολικής άρδευσης (Τερζίδη, Παπαζαφειρίου, 1997).



ΣΧΗΜΑ 1.11: Παρουσιάζονται οι λόγοι για τους οποίους υπάρχουν απώλειες νερού άρδευσης

1.8 Μέθοδοι Άρδευσης

Ως μέθοδοι άρδευσης χαρακτηρίζονται οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του αρδευτικού νερού στο έδαφος. Αυτές εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους:

- τις εδαφικές συνθήκες,
- τις κλιματικές συνθήκες,
- τις υδρολογικές συνθήκες,
- την τοπογραφική διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους και
- το είδος της καλλιέργειας.

Για να θεωρηθεί η άρδευση επιτυχής πρέπει:

- το νερό να εφαρμόζεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια του αγρού, επί όσο χρόνο χρειάζεται για να διηθηθεί στο έδαφος ποσότητα ίση με την ωφέλιμη υγρασία,
- ο αγρός να εφοδιάζεται με τόσο νερό, ώστε η υγρασία στη ζώνη του ριζοστρώματος να φθάσει στην υδατοϊκανότητα και
- να περιορίζει στο ελάχιστο τις επιφανειακές απώλειες από τη βαθιά διήθηση, ώστε η αποδοτικότητα εφαρμογής να φθάνει στη μονάδα.

Ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής του νερού, οι μέθοδοι άρδευσης διακρίνονται σε:

- επιφανειακές μεθόδους,
- καταιονισμό και
- στάγδην άρδευση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.12: Παρουσιάζεται η σύγκριση διαφόρων συστημάτων άρδευσης.

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΡΔΕΥΣΗΣ			
Παράγοντες Σύγκρισης	Άρδευση με Ελεύθερη Ροή	Άρδευση με Τεχνητή Βροχή	Άρδευση με Σταγόνα
Τοπογραφία	Επίπεδη επιφάνεια αγρού με κλίση 0 – 1%	Προσαρμόζεται στις περισσότερες τοπογραφικές συνθήκες	Προσαρμόζεται στις περισσότερες τοπογραφικές συνθήκες
Έδαφος	Προτιμώνται εδάφη βαθιά μέσα έως βαθιά	Προσαρμόζεται στους περισσότερους τύπους εδαφών	Προσαρμόζεται στους περισσότερους τύπους εδαφών
Καλλιέργειες	Σε καλλιέργειες κυρίως με βαθύ ριζικό σύστημα	Προσαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες	Προσαρμόζεται σε όλες τις καλλιέργειες
Δαπάνες Εγκατάστασης Συστήματος	Μέσες	Υψηλές	Υψηλές, έως πάρα πολύ υψηλές
Εξοικονόμηση Νερού	Μικρή	Μέση έως υψηλή	Υψηλή, έως πολύ υψηλή
Δαπάνες Εργατικών	Μέση έως υψηλή	Υψηλή	Χαμηλή
Απαιτούμενη για το πότισμα ενέργεια	Λίγη	Πολύ έως πάρα πολύ	Μέση
Ζημιές από τη μέθοδο εφαρμογής	Διάβρωση, ανύψωση υπόγειας στάθμης	Ασθένειες, βλάβες στο φύλλωμα	Αλατότητα, φράξιμο σταλακτήρων
Ειδική Προσοχή	Ισοπέδωση χωραφιού, εκπαίδευση παραγωγού	Άνεμος, ανταλλακτικά εκπαίδευση παρ/γού	Ανταλλακτικά, εκπαίδευση παραγωγού

1.9 Στάγδην Άρδευση

Η άρδευση με σταγόνες ή στάγδην άρδευση είναι μια μέθοδος κατά την οποία νερό εφαρμόζεται στο χωράφι σε μικρές ποσότητες με τη μορφή σταγόνων έτσι που κάθε φυτό χωριστά να εφοδιάζεται με την απαραίτητη για την κανονική του ανάπτυξη και απόδοση υγρασία (Τερζίδης – Παπαζαφειρίου, 1997).

Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σχετικά πρόσφατη και πολύ αποτελεσματική όταν εφαρμόζεται σωστά. Αποτελεί τη μέθοδο που προσφέρεται κατ' εξοχή για αυτοματισμούς. Η μέθοδος της στάγδην άρδευσης πρέπει να εφαρμόζεται κατά προτίμηση:

- σε περιπτώσεις μικρής διαθέσιμης παροχής,
- όταν το διαθέσιμο νερό έχει άλατα,
- σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυτοματισμός στην άρδευση,
- σε γραμμικές καλλιέργειες, κυρίως όμως οπωροφόρα ή καλλιέργειες με μεγάλη πρόσοδο, π.χ. θερμοκήπια,
- χρησιμοποιείται σε οποιοδήποτε τοπογραφικές συνθήκες, και
- για την μείωση της ανάπτυξης ζιζανίων και την ευκολότερη προσπέλαση στον αγρό.

Σε αυτή τη μέθοδο όμως, υπάρχουν αρκετές δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει μεγάλη δαπάνη εγκατάστασης και μέση δαπάνη λειτουργίας, καθώς λειτουργεί με μικρή πίεση. Παρόλα αυτά παρουσιάζει μικρές απαιτήσεις σε εργατικά χέρια. Οι σταλακτήρες φράζουν, εάν δεν γίνει καθαρισμός του νερού, όταν το νερό περιέχει ανθρακικά ή άλλα άλατα. Εάν το νερό όντως φέρει διαφόρων ειδών άλατα, με τη μέθοδο αυτή άρδευσης δημιουργείται αλατότητα και γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται έκπλυση του εδάφους.

Η άρδευση με σταγόνα παρουσιάζει μεγάλη ικανότητα αξιοποίησης του αρδευτικού νερού που κυμαίνεται από 80 – 90% (Τερζίδης – Παπαζαφειρίου, 1997).

1.10 Επιφανειακή Στάγδην Άρδευση

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα επιφανειακής στάγδην άρδευσης αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- την κεφαλή ή μονάδα ελέγχου,
- το δίκτυο μεταφοράς και
- το δίκτυο εφαρμογής.

Η κεφαλή ή μονάδα ελέγχου συνδέεται με την υδροληψία ή το αντλητικό συγκρότημα (Γιακουμάκης, 1985). Περιλαμβάνει το μετρητή ροής, τα φίλτρα, τους ρυθμιστές πίεσης και συσκευές εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Κύριο στοιχείο της κεφαλής αποτελούν τα φίλτρα. Με τα φίλτρα το νερό που παροχετεύεται στο δίκτυο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από φερτά υλικά για να μην αποφράσσονται οι σταλακτήρες. Τα φίλτρα

διενεργούν μηχανικό καθαρισμό του νερού. Οι τρεις κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα φίλτρα είναι οι ακόλουθες:

- τα φίλτρα σήτας,
- τους υδροκυκλώνες και
- τα φίλτρα χαλικιών και άμμου.

Η κεφαλή 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 (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 2004). Αυτός ο τρόπος ονομάζεται υδρολίπανση και το πλεονέκτημα του είναι η άμεση εφαρμογή των ουσιών στο ριζόστρωμα της καλλιέργειας σε μικρές επαναλαμβανόμενες δόσεις, το γεγονός ότι διενεργεί οικονομία στην ποσότητα λιπάσματος που διατίθεται στα φυτά, αλλά και στα εργατικά χέρια.

Το δίκτυο μεταφοράς αποτελείται από τους κύριους, αλλά και τους δευτερεύοντες αγωγούς. Από την πηγή το νερό μεταφέρεται μέσω των κύριων αγωγών στους δευτερεύοντες. Οι κύριοι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από πολυαιθυλένιο (PE) ή άκαμπτο χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) ή γαλβανισμένο ατσάλι. Οι δευτερεύοντες αγωγοί μεταφέρουν το νερό από τους κύριους, στους αγωγούς εφαρμογής. Το δίκτυο μεταφοράς μπορεί να είναι είτε υπέργειο (PE), είτε υπόγειο (PVC). Συνήθως όμως, οι αγωγοί του δικτύου μεταφοράς είναι από άκαμπτο PVC και πρέπει να τοποθετούνται υπόγεια, τόσο για την προστασία τους, όσο και για την διευκόλυνση της κυκλοφορίας στο χωράφι των καλλιεργητικών μηχανημάτων.

Το δίκτυο εφαρμογής αποτελείται από εύκαμπτους σωλήνες πολυαιθυλενίου με συνηθισμένη διάμετρο 12 – 25 mm. Μεταφέρουν το νερό από τους δευτερεύοντες αγωγούς στους σταλακτήρες. Είναι κάθετοι προς τους δευτερεύοντες και παράλληλοι προς τις ισοϋψείς στα εδάφη με κλίση (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 2004).

Σε προκαθορισμένες θέσεις πάνω στους σωλήνες πολυαιθυλενίου, τοποθετούνται ή ενσωματώνονται οι σταλακτήρες, μέσω των οποίων το νερό φτάνει στο έδαφος με τη μορφή σταγόνων. Οι σταλακτήρες τοποθετούνται είτε εν σειρά, είτε σε σύνδεση επί της γραμμής εφαρμογής. Ο τρόπος διάταξης της γραμμής εφαρμογής εξαρτάται από τις αποστάσεις φύτευσης, το έδαφος, το ποσοστό του εδάφους που πρέπει να διαβραχεί και το κόστος (Παπαζαφειρίου, 1984).

Τη βάση του συστήματος στάγδην άρδευσης αποτελούν οι σταλακτήρες. Συνδέονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, με το δίκτυο εφαρμογής και στην έξοδο

τους το νερό εμφανίζεται με τη μορφή σταγόνων κατά τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι ώστε σε κάθε θέση να διηθούνται στο έδαφος λίγα λίτρα νερού την ώρα. Οι σταλακτήρες κατασκευάζονται από σκληρή πλαστική ύλη, συνήθως από πολυπροπυλένιο, είναι μαύρου χρώματος και διαφόρων σχημάτων και μεγέθους. Για να μπορεί ένας σταλακτήρας να εκπληρώσει σωστά την αποστολή του πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- να εξασφαλίζει μικρή και ομοιόμορφη παροχή, η οποία δεν θα επηρεάζεται από περιορισμένες μεταβολές της πίεσης στον αγωγό εφαρμογής,
- να έχει σχετικά μεγάλη διατομή ροής ώστε να μην αποφράζεται εύκολα,
- να είναι κατασκευασμένος από υλικό που να μην επηρεάζεται σημαντικά και να μην παθαίνει μόνιμες αλλοιώσεις από τις έντονες, μεταβολές της θερμοκρασίας κατά την έκθεσή του στον αγρό,
- να είναι ευκολόχρηστος και
- να έχει μικρό κόστος.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα κριτήρια οι σταλακτήρες διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες. Ανάλογα με το είδος της ροής του νερού, οι σταλακτήρες διακρίνονται σε σταλακτήρες με στρωτή ροή, με μερικά στροβιλώδη ροή και με στροβιλώδη ροή. Σύμφωνα με τον τρόπο απόσβεσης της πίεσης διακρίνονται σε σταλακτήρες με μακρύ διάδρομο ροής και με επιστόμιο ή οπή. Σε αυτή την κατηγορία άλλωστε ανήκουν και οι αυτορυθμιζόμενοι σταλακτήρες. Αυτού του είδους οι σταλακτήρες διατηρούν σταθερή παροχή ανεξάρτητα από το φορτίο με κάποιο μηχανισμό αυτόματης ρύθμισης. Ανάλογα με την ικανότητα αυτοκαθαρισμού τους, διακρίνονται σε αυτοκαθαριζόμενους και μη αυτοκαθαριζόμενους. Κατά κανόνα, οι αυτορυθμιζόμενοι σταλακτήρες είναι και αυτοκαθαριζόμενοι.

Η σωστή λειτουργία ενός δικτύου στάγδην άρδευσης απαιτεί ορισμένους χειρισμούς. Τέτοιοι είναι η αυτοματοποιημένη έναρξη και παύση λειτουργίας του συστήματος, η διαδοχική υδροδότηση των διαφόρων μονάδων και η ρύθμιση της απαιτούμενης παροχής και φορτίου στην αρχή του δικτύου και στους αγωγούς τροφοδοσίας.

Στην Ελλάδα στις αρχές της δεκαετίας του 80' άρχισε να εξαπλώνεται η μέθοδος της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Η μεγάλη της εξάπλωση όμως στη χώρα μας, οφείλεται κυρίως στις καλλιέργειες των οπωροφόρων δένδρων και της αμπέλου. Σύμφωνα με τους Bravdo και Herper (1987), η επιφανειακή στάγδην άρδευση επιτυγχάνει ικανοποιητικότερη χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια της αμπέλου και κυρίως του φωσφόρου. Στις μέρες μας, η επιφανειακή στάγδην άρδευση χρησιμοποιείται στην Ελλάδα σε συντριπτικό ποσοστό για την άρδευση του βαμβακιού. Ενδεικτικά, αναφέρεται η αύξηση της καλλιεργήσιμης έκτασης στη χώρα μας

με βαμβάκι από 160000ha στα τέλη της δεκαετίας του 80' σε άνω των 400000ha το 2001 (Οργανισμός Βάμβακος, 2001).

1.11 Πλεονεκτήματα Επιφανειακής Στάγδην Άρδευσης

Το νερό, κατά την στάγδην άρδευση, εφαρμόζεται σε μικρές ποσότητες και υψηλές συχνότητες, μόνο σε ένα ορισμένο ποσοστό της επιφάνειας του αγρού. Άλλα κριτήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους άρδευσης αποτελούν τα εξής:

- η συνολική ποσότητα του εφαρμοζόμενου νερού,
- το ποσοστό που εφαρμόζεται ανά μονάδα διαβρεχόμενης επιφάνειας, το νερό που χρησιμοποιείται από τα φυτά, και
- η απόδοση του αγρού.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- ο έλεγχος,
- η πλήρης αυτοματοποίηση του συστήματος,
- η οικονομία νερού,
- η διατήρηση μικρών αρνητικών πιέσεων στο έδαφος,
- η πρωϊμηση της παραγωγής,
- τα οικονομικά και ενεργειακά οφέλη,
- η χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού,
- η διατήρηση ξηρού φυλλώματος,
- η μερική διαβροχή του εδάφους,
- η εφαρμογή σε δύσκολα εδάφη,
- η εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων,
- η άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων και
- η προστασία στο περιβάλλον.

Εν συνεχεία, διενεργείται εκτενέστερη αναφορά σε κάποια από αυτά.

Ο έλεγχος του νερού που δίδεται σε κάθε άρδευση είναι ευκολότερος, καθώς η άρδευση με σταγόνες πραγματοποιείται δια μέσου ενός σταθερού συστήματος αγωγών. Υπερισχύει δε, έναντι των άλλων μεθόδων σε περιπτώσεις όπως ότι δεν διακόπτεται η άρδευση λόγω ανέμου, όπως συμβαίνει κατά τη μέθοδο του καταιονισμού. Επιπλέον, δεν αρδεύεται ολόκληρη η έκταση του αγρού, παρά μόνο κάποιες λωρίδες κοντά στα φυτά. Έτσι μπορούν να διενεργηθούν κάποιες καλλιεργητικές εργασίες (ψεκασμός, συγκομιδή, κ.λ.π.) χωρίς τη διακοπή της άρδευσης. Συν τοις άλλοις, είναι εφικτή η αυτοματοποίηση της άρδευσης με τη μέθοδο αυτή, διότι με μία μόνο βαλβίδα μπορεί να ελεγχθεί μία σχετικά μεγάλη αρδευόμενη έκταση.

Τα τελευταία χρόνια, η ύπαρξη Η/Υ στα δίκτυα στάγδην άρδευσης συντονίζουν με μεγάλη επιτυχία τις αρδεύσεις. Με αυτόν τον τρόπο η απόδοση της άρδευσης φθάνει το 90% περίπου, εν συγκρίσει με το 60 – 80% του καταιονισμού και το 50 – 60% της επιφανειακής άρδευσης.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της επιφανειακής στάγδην άρδευσης αποτελεί η οικονομία νερού. Το σύστημα στάγδην άρδευσης παρουσιάζει τον μικρότερο βαθμό απωλειών τόσο κατά την μεταφορά του νερού, όσο και κατά την εφαρμογή του. Η εξοικονόμηση νερού είναι κατά 25% μεγαλύτερη από την άρδευση με καταιονισμό και 50% από τις επιφανειακές μεθόδους άρδευσης (Κωνσταντινίδης, 1985). Σε αυτό το γεγονός συντελεί η μείωση των απωλειών από επιφανειακή απορροή και από βαθιά διήθηση.

Το επόμενο επίσης σημαντικό πλεονέκτημα που παρατηρείται κατά την επιφανειακή στάγδην άρδευση είναι η διατήρηση μικρών αρδευτικών πιέσεων στο έδαφος. Κατά την εφαρμογή της στάγδην άρδευσης, η υγρασία στο έδαφος παραμένει σχεδόν σταθερή, καθώς το νερό διοχετεύεται σε μικρές ποσότητες και πολύ συχνά. Κατ' αυτό τον τρόπο, η αρνητική πίεση του νερού στο έδαφος παραμένει σε χαμηλά επίπεδα. Ως αρνητική πίεση καλείται η δύναμη με την οποία το νερό συγκρατείται από το έδαφος. Ο παραγωγός με την στάγδην άρδευση μπορεί να ρυθμίσει την παροχή, ούτως ώστε η υγρασία να βρίσκεται διαρκώς σ' αυτά τα επίπεδα. Γι' αυτό τα φυτά αναπτύσσονται σε ένα ιδανικό περιβάλλον υγρασίας, χωρίς υδατική καταπόνηση. Το νερό μάλιστα, που παραμένει στο έδαφος, συγκρατείται με τόσο μεγάλες αρνητικές πιέσεις, που δύσκολα τα φυτά μπορούν να το παραλάβουν. Εάν δε, κάποια άρδευση καθυστερήσει αδικαιολόγητα, τα καλλιεργούμενα φυτά θα υποστούν υδατική καταπόνηση και συνεπώς οι συνέπειες για την ανάπτυξη και απόδοση τους, θα είναι δυσμενείς.

Η πρωίμηση της παραγωγής αποτελεί ένα άλλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου. Η μέθοδος της στάγδην άρδευσης προσφέρει στα φυτά το μεγάλο πλεονέκτημα της έλλειψης υδατικής καταπόνησης. Συνέπεια αυτού, αποτελεί η ομοιόμορφη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών που οδηγεί σε πρωιμότερη ωρίμανση τους σε σχέση με φυτά που αρδεύονται με άλλες μεθόδους. Έτσι, επιτυγχάνεται και πρωίμηση και αύξηση των αποδόσεων (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 2004). Άλλωστε, μια πρώιμη συγκομιδή πωλείται σε υψηλότερες τιμές και σε συνδυασμό με υψηλές αποδόσεις (λόγω ομοιόμορφης ανάπτυξης) δίνει το υψηλότερο επιθυμητό οικονομικό αποτέλεσμα.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα της μεθόδου της στάγδην άρδευσης αποτελεί το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης ενός σταθερού συστήματος στάγδην

άρδευσης, σε σχέση με τις άλλες μεθόδους άρδευσης. Αυτό όμως αντισταθμίζεται από το κόστος άντλησης και το κόστος εργασίας, τα οποία είναι χαμηλότερα εν συγκρίσει με τις άλλες μεθόδους άρδευσης.

Η οικονομική σύγκριση δυσχαιρένεται εξαιτίας της συνεχούς μεταβολής των τιμών. Γι' αυτό το λόγο, οι Batty et al (1975) συγκρίνανε τις διαφορές στην ενεργειακή κατανάλωση για τις διάφορες μεθόδους άρδευσης, που σχεδιάστηκαν για φάρμα 64ha, όπως παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί. Από τον συγκεκριμένο πίνακα φαίνεται η υπεροχή του συστήματος της στάγδην άρδευσης έναντι των υπολοίπων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.13: Συνολικά δεδομένα σε MJ/ha για πέντε διαφορετικά αρδευτικά συστήματα και για απαίτηση νερού 915mm και μηδενική ανύψωση.

ΑΡΔΕΥΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΓΚ/ΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΤ/ΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
Επιφανειακή Άρδευση	1858	498	3,9	2361
Σταθερή με Καταιονισμό	5102	7958	0.8	13060
Χειροκίνητη με Κατ/σμό	1649	8309	5,0	10008
Κανόνι Βροχής	4014	8929	0.8	12943
Στάγδην Άρδευση	5493	4839	0.8	10323

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της στάγδην άρδευσης αποτελεί η χρήση χαμηλής ποιότητας αρδευτικού νερού. Με την χρήση όλων των μεθόδων άρδευσης, πλην της στάγδην, η άρδευση με υφάλμυρο νερό αυξάνει τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος, καθώς το έδαφος ξηραίνεται μεταξύ των διαδοχικών αρδεύσεων. Σε αυτή την περίπτωση η τάση συγκράτησης του νερού από το έδαφος αυξάνει διότι προστίθεται η ωσμωτική πίεση, με συνέπεια τα φυτά να δυσκολεύονται περισσότερο να αποσπασούν το νερό από το έδαφος. Διαδοχικά, τα άλατα συσσωρεύονται με αποτέλεσμα η καλλιέργεια να εξασθενίζει.

Η συγκέντρωση των αλάτων με την στάγδην άρδευση ελέγχεται λόγω της διαρκούς εκπλύσεως. Τα άλατα απωθούνται προς την περιφέρεια της

περιβρεχόμενης περιοχής και έτσι τα φυτά μπορούν να πάρουν νερό από το κέντρο της ζώνης διαβροχής, όπου η ταση είναι χαμηλή.

Το πλεονέκτημα που ακολουθεί αναφέρεται στην ανάγκη διατήρησης ξηρού φυλλώματος. Όταν το φύλλωμα των φυτών δεν διαβρέχεται κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων, παραμένει ξηρό και έτσι καθυστερεί την ανάπτυξη πολλών παθογόνων μικροοργανισμών στα φυτά. Και αυτό το πλεονέκτημα το προσφέρει η στάγδην άρδευση. Επιπλέον, επειδή με τη στάγδην άρδευση δεν διαβρέχονται τα φύλλα των φυτών, δεν εκπλύνονται τα φυτοφάρμακα από την επιφάνειά τους, καθώς επίσης δεν παρατηρείται κάψιμο του υπέργειου τμήματος των φυτών από αλατούχο αρδευτικό νερό.

Η μερική διαβροχή του εδάφους είναι το επόμενο πλεονέκτημα στο οποίο θα γίνει αναφορά. Το νερό, με την στάγδην άρδευση, εφαρμόζεται τοπικά στην καλλιέργεια και επομένως ένα μόνο τμήμα του εδάφους διαβρέχεται. Σε αυτή την περίπτωση, το πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι αφενός μεν περιορίζεται σημαντικά η εξάτμιση από το έδαφος, αφετέρου δε η ανάπτυξη των ζιζανίων. Διευκολύνει επίσης, τη μετακίνηση στις ξηρές λωρίδες των μηχανημάτων για ψεκασμό, συγκομιδή, κ.λ.π.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε δύσκολα εδάφη είναι το πλεονέκτημα που αναλύεται στην παρούσα παράγραφο. Η στάγδην άρδευση μπορεί να εφαρμοσθεί σε περιοχές, στις οποίες οι υπόλοιπες μέθοδοι δεν έχουν τη δυνατότητα να εφαρμοσθούν. Χάρη στη μέθοδο της στάγδην άρδευσης, εδάφη πολύ διαπερατά όπως είναι τα αμμώδη, ερημικές ή τροπικές περιοχές με μεγάλη έκπλυση, έγιναν γόνιμες.

Με τη μέθοδο της άρδευσης με σταγόνα δίνεται η δυνατότητα πρόσθεσης στο αρδευτικό νερό, λιπασμάτων. Αυτή είναι μία διαδικασία, η οποία προσφέρει διάφορα προτερήματα έναντι των άλλων μεθόδων, ως προς την οικονομία χρήματος και εργατικών χεριών. Επίσης, η εφαρμογή τους είναι πιο ακριβής, αφού διενεργείται απευθείας στη ζώνη διαβροχής και γι' αυτό απορροφάτε από τα φυτά γρήγορα. Όμως, τα λιπάσματα πρέπει να είναι πλήρως διαλυτά προς αποφυγή απόφραξης των σταλακτήρων. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι, η στάγδην άρδευση ενδείκνυται ιδιαίτερα για την προσθήκη φυτοφαρμάκων κατά ασθενειών εδάφους, καθώς αυτά είναι πιο αποδοτικά σε μικρές δοσολογίες.

Η άρδευση μεγαλύτερων εκτάσεων αποτελεί ένα αρκετά σημαντικό πλεονέκτημα της στάγδην άρδευσης. Με την πολύ μικρή παροχή που απαιτείται για την άρδευση ποτίζονται συγχρόνως με μία δεδομένη παροχή αναλογικά μεγαλύτερες εκτάσεις απ' ότι στα άλλα συστήματα (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, 2004). Είναι διαθέσιμες επίσης, παροχές μέχρι και

5m³/h/στρ. απευθείας, εν αντιθέσει με τις υπόλοιπες μεθόδους, οι οποίες θα απαιτούσαν δεξαμενές αποταμίευσης νερού. Επιπροσθέτως, οι μικρές αυτές παροχές αποτρέπουν την άνοδο του υπόγειου ορίζοντα (όπου υπάρχει τέτοιο πρόβλημα) και το νερό δεν παρασύρεται κατά την άρδευση από τον άνεμο.

Το τελευταίο και σημαντικότερο για το περιβάλλον πλεονέκτημα της μεθόδου, αποτελεί η προστασία του. Με την μέθοδο της άρδευσης με σταγόνα αποφεύγεται η πιθανή ρύπανση των επιφανειακών ή υπόγειων νερών από λιπάσματα, αλλά και από φυτοφάρμακα που υπάρχουν στο έδαφος, διότι δεν υπάρχει βαθειά διήθηση ή επιφανειακή απορροή. Κατά τον Oron et al. (1979), ακόμη και το νερό των αποχετεύσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την στάγδην άρδευση, έπειτα από δευτερογενή κατεργασία και το κατάλληλο φιλτράρισμα.

1.12 Μειονεκτήματα Στάγδην Άρδευσης

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου της στάγδην άρδευσης είναι τα ακόλουθα:

- το κόστος εγκατάστασης,
- οι εμφράξεις των σταλακτήρων,
- η αδυναμία άμεσης προσέγγισης του νερού στο ενεργό ριζόστρωμα των φυτών και ειδικά σε βαριάς σύστασης εδάφη,
- η αποφυγή χρήσης αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα,
- η ανάγκη απομάκρυνσης των δευτερευόντων αγωγών άρδευσης λίγο πριν και μετά την εγκατάσταση της νέας καλλιέργειας (μηχανικές ζημιές),
- η φθορά των υλικών λόγω των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέργεια πανίδας (μηχανικές ζημιές), και
- η ανάγκη χρήσης άλλης μεθόδου για το φύτρωμα των καλλιεργειών.

Παρακάτω γίνεται εκτενέστερη παρουσίαση κάποιων από αυτά τα μειονεκτήματα.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το κόστος της πρώτης εγκατάστασης, το οποίο είναι αρκετά υψηλό. Όμως, οι παρατηρούμενες υψηλές αποδόσεις των καλλιεργειών συνδυαζόμενες με το μικρό ποσοστό εργατικών χεριών που απαιτεί η συγκεκριμένη μέθοδος, καθώς και με τη μείωση του κόστους εξαιτίας τη βιομηχανικής παραγωγής των σωληνώσεων και άλλων εξαρτημάτων, τείνουν να καταστήσουν σχεδόν αμελητέο το συγκεκριμένο μειονέκτημα.

Οι εμφράξεις των σταλακτήρων διακρίνονται σε μηχανικές, χημικές και βιολογικές ή οργανικές. Οι μηχανικές εμφράξεις οφείλονται στην παρουσία στερεών σωματιδίων στο αρδευτικό νερό. Οι σταλακτήρες έχουν διάμετρο 0,5 – 1mm και εύκολα φράζουν από άμμο, διείδυση ριζών ή σωματίδια αργίλου. Στη χρήση κατάλληλων φίλτρων που καθαρίζονται συχνά, συνίσταται η προστασία. Οι χημικές εμφράξεις οφείλονται σε ιζήματα σιδήρου ή ασβεστίου, καθίζηση ανθρακικών αλάτων, τα οποία συσσωρεύονται με τη βοήθεια βακτηρίων. Αποφεύγονται δε, με χημική κατεργασία του νερού. Από την άλλη πλευρά, οι βιολογικές ή οργανικές εμφράξεις οφείλονται στην ανάπτυξη μικροοργανισμών στους σωλήνες, οι οποίοι υπό μορφή αποικιών φράζουν τους σταλακτήρες. Η καταπολέμηση τους είναι δύσκολη και συνιστάται πλύσιμο του δικτύου 1 – 3 φορές στην αρδευτική περίοδο.

Όσον αφορά το μειονέκτημα της συσσώρευσης αλάτων, όπως ήδη αναφέρθηκε, τα άλατα συσσωρεύονται στην περιφέρεια της υγρής ζώνης. Έτσι, είναι δυνατό να προκαλέσουν προβλήματα στις επόμενες καλλιέργειες, εάν αρδευτούν με κάποια άλλη μέθοδο άρδευσης, πλην της στάγδην, κυρίως σε ξηρές περιοχές όπου οι βροχές δεν είναι αρκετές για να εκπλύνουν τα άλατα. Εάν πραγματοποιηθεί άρδευση με καταιονισμό, ή επιφανειακή, ή η επόμενη καλλιέργεια αρδεύεται πάλι με σταγόνα στα ίδια σημεία, τότε το πρόβλημα ελαττώνεται.

Οι μηχανικές ζημιές δεν είναι εύκολό να ελεγχθούν καθώς προκαλούνται από τα καλλιεργητικά μηχανήματα ή τα ζώα.

1.13 Υπόγεια Στάγδην Άρδευση

Η υπόγεια στάγδην άρδευση αποτελεί μια παραλλαγή της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Εμφανίστηκε περίπου πριν από 50 χρόνια στις Η.Π.Α. και τη Μεγάλη Βρετανία με τη λήξη του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου λόγω της χαμηλής τιμής των υλικών P.E. και PVC. Η συγκεκριμένη μέθοδος άρδευσης γίνεται ολοένα και πιο γνωστή ανά τον κόσμο. Πιστεύεται δε, ότι στο άμεσο μέλλον θα αντικαταστήσει την επιφανειακή στάγδην άρδευση σε ένα μεγάλο ποσοστό καλλιεργήσιμων εκτάσεων ανά τον κόσμο.

Η υπόγεια στάγδην άρδευση, αρχικά, χρησιμοποιήθηκε σε καλλιέργειες μεγάλης αξίας, όπως τα οπωροφόρα δένδρα, σε κήπους, στο βαμβάκι κ.λπ. Ήδη από το 1959 χρησιμοποιείται κατά κόρον σε μεγάλες εκτάσεις της Καλιφόρνιας και του Τέξας των Η.Π.Α. εξαιτίας του σημαντικού ελλείμματος

σε αρδευτικό νερό των περιοχών αυτών (Phene et al., 1992). Σε πειράματα τομάτας, που πραγματοποιήθηκαν από τον Phene το 1986, αυξήθηκε η μέση παραγωγή από 30 Mg/acre με την χρήση παραδοσιακών μεθόδων επιφανειακής άρδευσης σε 50 – 60 Mg/acre με τη χρήση της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Τα περισσότερα συστήματα υπόγειας στάγδην άρδευσης μετά από μια σχετική έρευνα (Phene et al., 1992), αποδείχθηκε ότι απέδωσαν απολύτως ικανοποιητικά για 8 – 11 έτη με μικρές ενδείξεις υποβάθμισης. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι μειώθηκε η απαίτηση σε αρδευτικό νερό σε ποσοστό έως και 40%, σε σχέση με τις υπόλοιπες παραδοσιακές μεθόδους άρδευσης. Την μεγαλύτερη αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού (WUE), στο ίδιο πείραμα, μεταξύ των οκτώ πλέον γνωστών μεθοδολογιών, είχε η υπόγεια στάγδην άρδευση.

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

Επιπλέον, η εφαρμογή της μεθόδου στη Δυτική Ακτή των Η.Π.Α., κυρίως για την άρδευση χορτοδοτικών αλλά και καλλωπιστικών φυτών διπλά σε λεωφόρους, είχε ως συνέπεια την ταχεία εξάπλωση της σε ολόκληρο τον κόσμο.

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

Επιπλέον, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο USDA (Phene et al., 1986) έχει αποδειχθεί ότι το προφίλ υγρασίας στην υπόγεια στάγδην άρδευση, όσον αφορά την επιφάνεια του εδάφους, εξαρτάται αποκλειστικά από την ρύθμιση της συχνότητας των αρδεύσεων. Με την εφαρμογή της

υπόγειας στάγδην άρδευσης σε λιβαδικές καλλιέργειες, οι Hutmacher et al., (1992) μείωσαν σημαντικά το συνολικό κόστος άρδευσης και υλικών.

Στην υπόγεια στάγδην άρδευση το 1993 χρησιμοποιήθηκε το Trifluralin – 5, για πρώτη φορά, ως ριζοαπωθητικό. Το Trifluralin – 5 κατασκευάζεται από την εταιρεία Geoflow και κυκλοφορεί στο εμπόριο με το όνομα RootGuard. Το ζιζανιοκτόνο Treflan χρησιμοποιείται επίσης ως ριζοαπωθητικό. Ενσωματώνεται δηλαδή, στους σταλάκτες και με την αργή αποδέσμευση του οδηγεί στην παύση παρείσφρησης της ρίζας εντός και παράπλευρα των σταλακτήρων. Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος, η κατασκευάστρια εταιρεία εγγυάται μια δεκαετή έως και εικοσαετή άριστη λειτουργία αυτού. Το Treflan είναι μη τοξικό, δεν βλάπτει την υγεία των ανθρώπων, δεν είναι διαλυτό στο νερό, είναι μη συστηματικό, ακινητοποιείται και δεν διηθείται με το νερό της άρδευσης ή της βροχής και διαλύεται μόνο στο πολυμερές σώμα των σταλακτήρων.

Όσον αφορά, την Ελληνική έρευνα πρέπει να σημειωθεί ότι, αύξηση της εδαφικής υγρασίας στη ζώνη του ριζοστρώματος σε καλλιέργεια ζαχαρότευτλων και αύξηση του ζαχαρικού τίτλου αυτών, συγκρίνοντας την υπόγεια με την επιφανειακή στάγδην άρδευση, παρατήρησαν το 2000 οι Sakellariou – Makrantonaki et al. Οι Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη και συνεργάτες το 2003, στα συμπεράσματά τους έπειτα από την ολοκλήρωση πειράματος σε καλλιέργεια ινώδους σόργου στη Θεσσαλία, αναφέρουν σαφή υπεροχή σε παραγωγή ξηρής βιομάζα, καθώς και υψηλότερους αναπτυξιακούς ρυθμούς στα φυτά που αρδεύτηκαν υπογείως έναντι αυτών που αρδεύτηκαν επιφανειακά.

Από τη σύγκριση των μεθόδων της επιφανειακής και υπόγειας στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ομοιομορφία άρδευσης στην υπόγεια, έναντι της επιφανειακής άρδευσης, αύξηση της αποδοτικότητας του νερού εφαρμογής στην υπόγεια άρδευση σε ποσοστό 20% σε σχέση με την επιφανειακή, υψηλότερες αποδόσεις στην υπόγεια άρδευση με ταυτόχρονη εξοικονόμηση νερού σε ποσοστό 20 – 40%, και ικανότητα χρήσης της υπόγειας με καλά αποτελέσματα ακόμη και σε αργιλώδη εδάφη (Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. Καμπέλη, Σ., 2003).

Σε έρευνα που διεξήχθη προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση του εδαφικού τύπου και της υπο – πίεσης στην έμφραξη λόγω εισρόφησης ενός σταλάκτη που χρησιμοποιείται σε υπόγειο δίκτυο στάγδην άρδευσης, σαφώς υψηλότερα ήταν τα επίπεδα έμφραξης στο αμμοπηλώδες και στο πηλοαμμώδες έδαφος έναντι των υπολοίπων εδαφών και μάλιστα η έμφραξη

αυτή αυξάνονταν με την ταυτόχρονη αύξηση της υποπίεσης (Βύρλας και συνεργάτες, 2003).

Εν κατακλείδι, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι με την υπόγεια άρδευση επιτυγχάνεται καλύτερη διήθηση του αρδευτικού νερού και υψηλότερη παραγωγικότητα με την μικρότερη δυνατή κατανάλωση.

1.14 Πλεονεκτήματα Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης

Η υπόγεια στάγδην άρδευση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, τα κυριότερα από τα οποία είναι τα ακόλουθα:

- η μέγιστη μείωση των απωλειών νερού λόγω της εξάτμισης (40 – 45% στις παραδοσιακές επιφανειακές μεθόδους, 25% στην επιφανειακή στάγδην άρδευση και 5 – 10% στην υπόγεια άρδευση) και των υψηλών ταχυτήτων ανέμου,
- η χρήση αρδευτικού νερού με αυξημένη αλατότητα και η μείωση της συγκέντρωσης των αλάτων έως το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος,
- ο πλήρης αυτοματισμός της άρδευσης βάσει των ημερήσιων αναγκών σε εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας,
- η καλύτερη μεταφορά των υδατοδιαλυτών λιπασμάτων στη ζώνη του ενεργού ριζοστρώματος,
- η μείωση της φθοράς των υλικών άρδευσης εξαιτίας των καιρικών συνθηκών, των καλλιεργητικών πρακτικών και της τοπικής υπέργεια πανίδας,
- η μείωση των αναγκών σε ενέργεια για τη λειτουργία του συστήματος, ειδικότερα με τη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας,
- η μείωση της εδαφολογικής διάβρωσης ειδικότερα στα επικλινή εδάφη, και
- η μη απαίτηση μετακίνησης του δικτύου πριν τη σπορά.

1.15 Μειονεκτήματα Υπόγειας Στάγδην Άρδευσης

Εάν και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η υπόγεια στάγδην άρδευση είναι πολλά και σημαντικά, παρά ταύτα, εμφανίζει και κάποια μειονεκτήματα, τα συνηθέστερα από τα οποία είναι τα εξής:

- το υψηλό κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού, όταν δεν πραγματοποιείται σωστός σχεδιασμός,
- η απόφραξη των σταλακτήρων από τα φερτά υλικά και
- η αδυναμία ελέγχου υπόγειου δικτύου.

1.16 Μέθοδος Penman–Monteith:

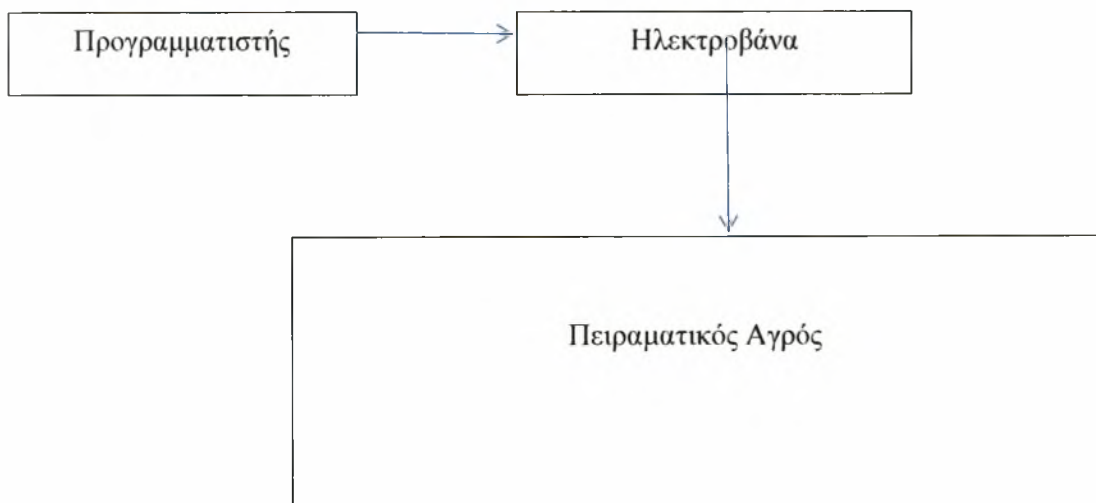
P. – M.:

Επιφανειακή, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας. Ο προγραμματισμός άρδευσης γίνεται βάσει της συνδυασμένης μεθόδου Penman – Monteith.

Είναι μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς βασισόμενη σε κλιματικές παραμέτρους. Είναι η απλούστερη μορφή αυτοματισμού.

Χαρακτηριστικά: 1) Μεγάλης ακριβείας.
2) Υψηλό κόστος.

Τρόπος λειτουργίας P. – M.:



Η μέθοδος που πρότείνει ο Penman προσδιορίζει την εξατμηση mm/ημέρα σύμφωνα με τον τύπο:

$$E=(\Delta R + E_a \gamma) / \Delta + \gamma$$

Όπου:

E: η εξατμηση σε mm/ημέρα

Δ: η κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδάτων σε mmHg/°C

R: η διαφορά ακτινοβολιών λήψεως/εκπομπής

n: ώρες πραγματικής ηλιοφάνειας

N: μέγιστη ηλιακή ηλιοφάνεια

σ: σταθερά Stephan– Boltzmann (2.01·10⁻⁹mm/ημέρα)

Ea: η παράμετρος μεταφοράς μάζας υδρατμών

γ: η ψυχομετρική σταθερά (γ=0.485 mmHg/°C)

f: συντελεστής που εξαρτάται από το είδος της υδρολογικής επιφάνειας που εξετάζουμε

Ο Montieith (1964, 1964) εισήγαγε τους όρους της αντίστασης στην εξίσωση του Penman και έφτασε στην ακόλουθη έκφραση για την εξατμισοδιαπνοή από επιφάνειες με επαρκή ή περιορισμένη παροχή νερού (Τσακίρης, 1995):

$$\lambda_v E = \frac{\text{Energy flux rate}}{\Delta + \gamma(1 + g_a/g_s)} \iff ET_o = \frac{\text{Volume flux rate}}{(\Delta + \gamma(1 + g_a/g_s))} L_v$$

Όπου:

L: η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

E: ο ρυθμός της εξάτμισης

G: η πυκνότητα ροής της θερμότητας που μεταφέρεται στο έδαφος

ρ: η πυκνότητα του αέρα

CP: η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση

RN: η πυκνότητα ροής της καθαρά εισερχόμενης ακτινοβολίας

es: ο κορεσμένος σε υδρατμούς αέρας

ea: η τάση των υδρατμών κορεσμένου αέρα

Δ: η κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών συναρτήσει της θερμοκρασίας

γ: η ψυχομετρική σταθερά

ra: η αεροδυναμική αντίσταση

rc: η αντίσταση της καλλιέργειας

Η παραπάνω εξίσωση αναφέρεται και ως εξίσωση Penman – Montieith και έχει αποδειχθεί από την εμπειρία χρήσης της ότι προσεγγίζει με επιτυχία το μέγεθος της εξατμισοδιαπνοής

1.17 Απλό Εξατμισόμετρο

Τύποι εξατμισίμετρων υπάρχουν πολλοί. Σήμερα περισσότερο χρησιμοποιείται το Εξατμισόμετρο Α Τάξεως της αμερικανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (U.S.W.B. Class A pan) και λιγότερο το βυθισμένο εξατμισόμετρο του Κολοράντο (Colorado sunken pan). Το εξατμισόμετρο Α Τάξεως είναι μία κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 εκ. και βάθος 25,4 εκ. που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα

οριζοντιωμένος και να απέχει 5 εκ. από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5 εκ. κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά τη λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7,5 εκ. από το χείλος αυτό. Το νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μη θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου.

Η στάθμη στην οποία το νερό διατηρείται μέσα στα εξατμισόμετρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Σφάλματα μέχρι 15% μπορεί να παρατηρηθούν αν η στάθμη του νερού πέσει 10 εκ. κάτω από τα χείλη του οργάνου. Τοποθέτηση πλεγμάτων πάνω από το όργανο, για την αποφυγή χρησιμοποίησης του νερού από τα πουλιά, περιορίζει την E_{pan} (E_{pan} =ένδειξη εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης (mm*d-1)) μέχρι 10%. Για να αποφεύγεται η χρήση του νερού του εξατμισιμέτρου από τα πουλιά, κοντά σ' αυτό μπορεί να τοποθετηθεί μια λεκάνη γεμάτη με νερό μέχρι το χείλος της, οπότε τα πουλιά κατά κανόνα την προτιμούν. Η θολότητα του νερού μπορεί να επηρεάσει την E_{pan} μέχρι 5% (Ζ. Γ. Παπαζαφειρίου 1998).

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

- Εύκολη στο χειρισμό.
- Προσιτή στους παραγωγούς.
- Απαιτεί τους λιγότερους υπολογισμούς.
- Κόστος σε λογικά πλαίσια.



Εικόνα 1.14: Εξατμισόμετρο

Οι Doorenbos και Pruitt (1977) παρουσίασαν μία μέθοδο υπολογισμού της E_T χορτοτάπητα χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης, E_{pan} , και συντελεστών εξατμισιμέτρου, k_p . Η μέθοδος αυτή που αναφέρεται ως μέθοδος εξατμισιμέτρου κατά FAO – 24 έχει τη γενική μορφή

Μέθοδος εξατμισιμέτρου κατά FAO – 24:

$$E_T = k_p * E_p$$

όπου:

E_T : εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα ($mm*d^{-1}$),

E_p : ένδειξη εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης ($mm*d^{-1}$), &

k_p : συντελεστής εξατμισιμέτρου που δίνεται σε πίνακα σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του είδους και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο.

Εάν η εγκατάσταση και η συντήρηση του εξατμισιμέτρου πραγματοποιείται ορθώς, εάν το περιβάλλον που τοποθετείται είναι σταθερό και εφόσον η περιοχή δεν είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους, η μέθοδος μπορεί να αποδειχθεί το ίδιο αξιόπιστη για τον υπολογισμό της E_T όσο και οι υπόλοιπες.

A.E.:

Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή E_T .

Χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

- Εύκολη στο χειρισμό.
- Προσιτή στους παραγωγούς.
- Απαιτεί τους λιγότερους υπολογισμούς.
- Χαμηλό κόστος.

Μέθοδος εξατμισιμέτρου κατά FAO – 24:

$$E_T = k_p * E_p$$

όπου:

E_T : εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα ($mm*d^{-1}$),

E_p : ένδειξη εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης ($mm*d^{-1}$), και

kr: συντελεστής εξατμισιμέτρου που δίνεται σε πίνακα σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του είδους και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο.

Εάν η εγκατάσταση και η συντήρηση του εξατμισιμέτρου πραγματοποιείται ορθώς, εάν το περιβάλλον που τοποθετείται είναι σταθερό και εφόσον η περιοχή δεν είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους, η μέθοδος μπορεί να αποδειχθεί το ίδιο αξιόπιστη για τον υπολογισμό της ET_r όσο και οι υπόλοιπες. (Παπαζαφειρίου, 1999)

1.18 Σκοπός Πειράματος

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, διενεργήθηκε έρευνα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου. Το Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος είναι 39° 23', το Ανατολικό Γεωγραφικό Πλάτος είναι 22° 45' και 70m υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Η συνολική έκταση του πειραματικού αγροτεμαχίου είναι 2190 m² (30m*73m).

Σκοπό της παρούσας έρευνας αποτελεί η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών επιφανειακών μεθόδων άρδευσης στην ανάπτυξη και την παραγωγή υγρού βιοκαυσίμου από την καλλιέργεια του ενεργειακού φυτού ηλίανθου. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν δύο. Συγκεκριμένα, η μέθοδος προγραμματισμού της άρδευσης βάσει του πλήρως αυτοματοποιημένου εξατμισιμέτρου τύπου A (A.E.) και η μέθοδος Penman – Monteith (P. – M.), η οποία αποτελεί και την απλούστερη μορφή μεθόδου άρδευσης με αυτοματισμούς.

Επιλέχθηκε ο ηλίανθος γιατί είναι ενεργειακή καλλιέργεια, που σημαίνει ότι η βιομάζα του με κατάλληλη επεξεργασία παράγει βιοντίζελ, αλλά και ηλεκτρική ενέργεια ή και θερμότητα. Ακόμα, ο ηλίανθος είναι καλλιέργεια με χαμηλό κόστος παραγωγής αλλά ταυτόχρονα προσδίδει σχετικά υψηλό κέρδος στον παραγωγό. Ένα επιπλέον θετικό για την καλλιέργεια του ηλίανθου είναι η μη χρησιμοποίηση χημικών λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και ζιζανιοκτόνων η οποία βοηθάει στη μείωση του κόστους παραγωγής αλλά και στρέφεται προς την αειφόρο γεωργία. Τέλος, ο ηλίανθος είναι μία εναλλακτική καλλιέργεια σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες που καλλιεργούνται στη Θεσσαλία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΑ και ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια του έτους 2011 πραγματοποιήθηκε έρευνα για τη διερεύνηση των επιδράσεων της επιφανειακής αυτόματης στάγδην άρδευσης, εν συγκρίσει με την απλή (επιφανειακή και υπόγεια) στάγδην άρδευση, στην ανάπτυξη, παραγωγικότητα και οικονομικότητα του ενεργειακού φυτού ηλίανθου. Το φυτό του ηλίανθου επιλέχθηκε για τους εξής λόγους:

- Ανήκει στις παραδοσιακές ενεργειακές καλλιέργειες, από την οποία μπορεί να προκύψει τόσο υγρό βιοκαύσιμο (βιοντίζελ), όσο και στερεά βιοκαύσιμα. Γι' αυτό το λόγο τα τελευταία χρόνια, η καλλιέργεια του επανακάμπει.
- Ανταποκρίνεται στις μεταβολές της δόσης άρδευσης.

2.2 Εγκατάσταση και διεξαγωγή του πειράματος

Για τον σκοπό που προαναφέρθηκε σχεδιάστηκαν και εγκαταστάθηκαν συστήματα στάγδην άρδευσης (επιφανειακής και υπόγειας). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις εδαφικών, αλλά και κλιματικών παραμέτρων, καθώς και δειγματοληψίες φυτικού υλικού σε πειραματικό αγροτεμάχιο.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρονται ο σχεδιασμός του πειράματος, οι παράμετροι και οι μεταβλητές που απαιτείται να μετρηθούν για την αξιολόγηση της άρδευσης, καθώς και οι καλλιεργητικές εργασίες που διενεργήθηκαν. Επιπλέον, περιγράφονται οι πειραματικές διαδικασίες, από τις οποίες προέκυψαν οι μετρήσεις των παραμέτρων και των μεταβλητών αυτών, όπως επίσης και τα συστήματα και οι τεχνικές άρδευσης των

πειραματικών τεμαχίων. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας, των εδαφικών παραμέτρων και τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης.

2.3 Σχεδιασμός πειράματος

Η χάραξη του πειραματικού αγρού πραγματοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας της σποροκλίνης. Η χάραξη έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιούνται οι εξής δύο προϋποθέσεις:

- Τα (συνολικά) 24 πειραματικά τεμάχια (plots) να καταλαμβάνουν την ίδια έκταση. Το εκάστοτε πειραματικό τεμάχιο να απέχει από το γειτονικό 1,30m.
- Τα πειραματικά τεμάχια που επρόκειτο να αρδευτούν με υπόγεια στάγδην άρδευση έπρεπε να τοποθετηθούν επάνω ακριβώς από τους θαμένους αγωγούς εφαρμογής. Επιπροσθέτως, η έκταση αυτών των πειραματικών τεμαχίων έπρεπε να είναι τέτοια ώστε κατά τη σπορά, οι γραμμές σποράς να βρίσκονται εκατέρωθεν των υπόγειων σταλακτηφόρων σωλήνων και να ισαπέχουν από αυτούς.

Το πειραματικό σχέδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν Πλήρως Τυχαιοποιημένων Ομάδων και περιελάμβανε 6 μεταχειρίσεις σε 4 επαναλήψεις. Όλες οι μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν ήταν αυτοματοποιημένες, εκτός της μεθόδου παραγραμματισμού της άρδευσης με τη χρήση του απλού εξατμισιμέτρου τύπου Α. Στο σχέδιο απεικονίζεται η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στο πειραματικό αγροτεμάχιο. Το εμβαδόν κάθε πειραματικού τεμαχίου ήταν περίπου 50m² και περιελάμβανε 6 γραμμές φυτών. Οι μετρήσεις των διαφόρων χαρακτηριστικών του φυτού όπως ύψος φυτού, χλωρή και ξηρή βιομάζα, διάμετρος κεφαλών και δείκτης φυλλικής επιφάνειας, πραγματοποιούνταν σε φυτά που βρίσκονταν στις δύο μεσαίες γραμμές σποράς. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύχθηκε η αλληλεπίδραση με τα γειτονικά πειραματικά τεμάχια.

Οι μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν ήταν οι εξής:

- 1) του απλού εξατμισιμέτρου (Α.Ε.),
- 2) του αυτόματου εξατμισιμέτρου – επιφανειακή (ΑΥΤΟ(Ε)),

- 3) του αυτόματου εξατμισιμέτρου – υπόγεια (AUTO(Y)),
- 4) Penman – Monteith,
- 5) του αισθητήρα υγρασίας εδάφους (S.M.S.), και
- 6) των Watermarks.

Εν συνεχεία, παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των παραπάνω μεθόδων.

2.4 Περιγραφή Μεθόδων

2.4.1 Απλό εξατμισόμετρο

Α.Ε.:

Επιφανειακή στάγδην άρδευση με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από την ημερήσια εξατμισοδιαπνοή ΕΤ.

Χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.

Πλεονεκτήματα μεθόδου:

- Εύκολη στο χειρισμό.
- Προσιτή στους παραγωγούς.
- Απαιτεί τους λιγότερους υπολογισμούς.
- Κόστος σε λογικά πλαίσια.

Μέθοδος εξατμισιμέτρου κατά FAO – 24:

$$ET_r = k_p * E_p$$

όπου:

ET_r: εξατμισοδιαπνοή αναφοράς χορτοτάπητα (mm*d-1),

E_p: ένδειξη εξάτμισης από εξατμισόμετρο τύπου λεκάνης (mm*d-1), &

k_p: συντελεστής εξατμισιμέτρου που δίνεται σε πίνακα σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, της μέσης σχετικής υγρασίας και του είδους και της έκτασης της επιφάνειας που περιβάλλει το εξατμισόμετρο.

Εάν η εγκατάσταση και η συντήρηση του εξατμισιμέτρου πραγματοποιείται ορθώς, εάν το περιβάλλον που τοποθετείται είναι σταθερό και εφόσον η

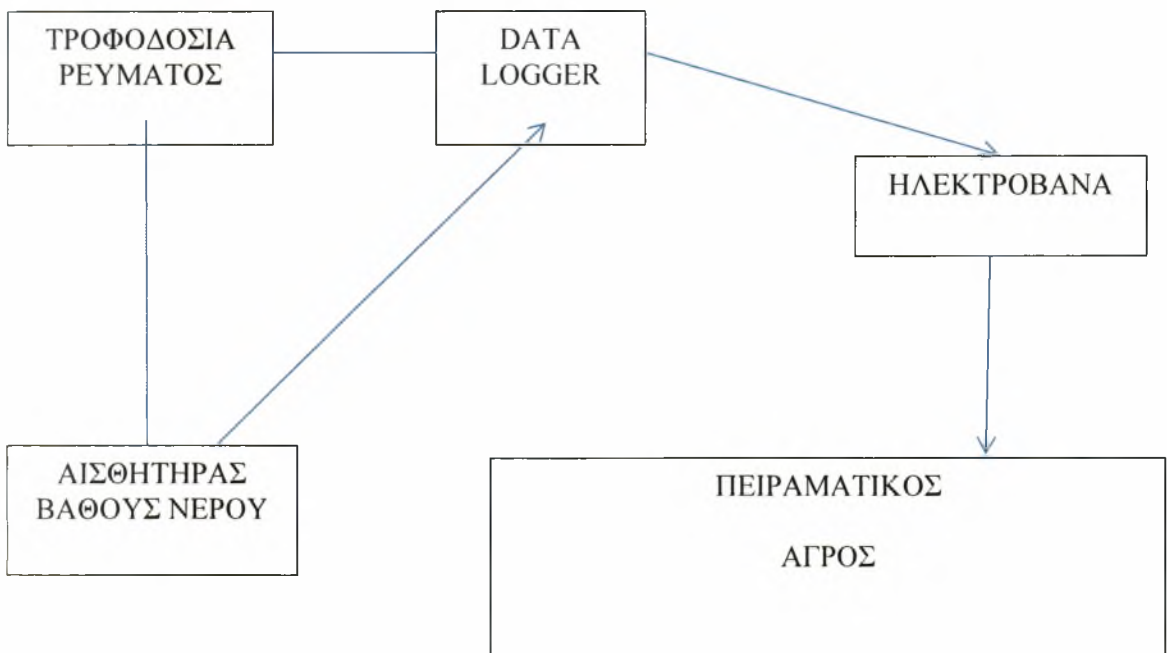
περιοχή δεν είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους, η μέθοδος μπορεί να αποδειχθεί το ίδιο αξιόπιστη για τον υπολογισμό της ET, όσο και οι υπόλοιπες.

2.4.2 Αυτόματο Εξατμισόμετρο

AUTO (E): Αυτόματη, επιφανειακή, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από την ημερήσια ET. Σε αυτή τη μεταχείριση γίνεται χρήση του αυτόματου εξατμισόμετρου.

AUTO (Υ): Αυτόματη, υπόγεια, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από την ημερήσια ET. Σε αυτή τη μεταχείριση γίνεται χρήση επίσης του αυτόματου εξατμισόμετρου.

Πως λειτουργεί το αυτόματο εξατμισόμετρο:





Εικόνα 2.1: Αυτόματο εξατμισόμετρο.

2.4.3 Penman – Monteith

P. – M.: Αυτόματη, επιφανειακή, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας.

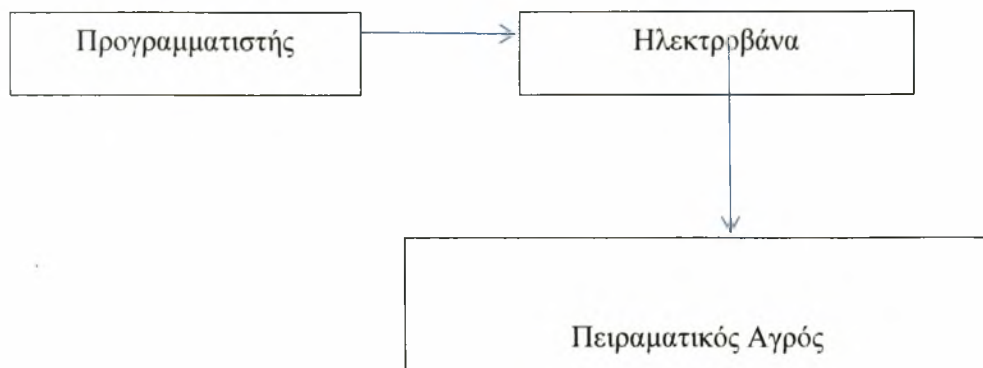
Ο προγραμματισμός άρδευσης έγινε βάσει της συνδυασμένης μεθόδου Penman – Monteith.

Είναι μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς βασιζόμενη σε κλιματικές παραμέτρους.

Χαρακτηριστικά: 1) Μεγάλης ακριβείας.
2) Υψηλό κόστος.

Είναι η απλούστερη μορφή αυτοματισμού.

Τρόπος λειτουργίας P. – M.:



2.4.4 S.M.S.

S.M.S.: Αυτόματη, επιφανειακή, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από τη διακύμανση της εδαφικής υγρασίας. Για την υλοποίηση της άρδευσης στη συγκεκριμένη μεταχείριση, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας μέτρησης κατ' όγκον εδαφικής υγρασίας (Decagon 10HS).

2.4.5 Watermark

W.M.: Αυτόματη, επιφανειακή, στάγδην άρδευση, με εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, όπως αυτές καθορίζονται από τη διακύμανση της υγρασίας εδάφους. Για την υλοποίηση της άρδευσης στη συγκεκριμένη μεταχείριση, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας μέτρησης υδατικού δυναμικού του εδάφους (Watermark).

2.5 Καλλιεργητικές Φροντίδες

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε καλή κατεργασία του εδάφους, έτσι ώστε να είναι ψιλοχλωματισμένο και με ομοιόμορφη κλίση. Μάλιστα, η καλή κατεργασία του εδάφους αποτελεί προϋπόθεση για τη σωστή χάραξη των πειραματικών τεμαχίων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν όλες οι απαιτούμενες καλλιεργητικές εργασίες, σύμφωνα με τη γενικότερη καλλιεργητική πρακτική της περιοχής.

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε η σπορά της καλλιέργειας του ηλίανθου στις 12/04/2011. Για τη σπορά χρησιμοποιήθηκε πνευματική σπαρτική μηχανή τεσσάρων μονάδων. Η ποικιλία που σπάρθηκε ήταν PR64A63 της PIONEER. Οι αποστάσεις σποράς ήταν 12cm επί της γραμμής και 80cm μεταξύ των γραμμών σποράς.

Την επόμενη ημέρα (13/04/11) πραγματοποιήθηκε χημική ζιζανιοκτονία προφυτρωτικά, με εφαρμογή της ζιζανιοκτόνου ουσίας Pendimethalin (STOMP) και δόση 350 – 400gr/στρ. Στις 15/04/11 πραγματοποιήθηκε άρδευση με καταιονισμό για να βοηθηθεί το φύτευμα της καλλιέργειας και επειδή απαιτούνταν άρδευση μετά την εφαρμογή του συγκεκριμένου ζιζανιοκτόνου. Ενώ στις 28/04/11 πραγματοποιήθηκε έλεγχος φυτρώματος της καλλιέργειας. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε και ένα σκάλισμα με το χέρι, στις 26/05/11.

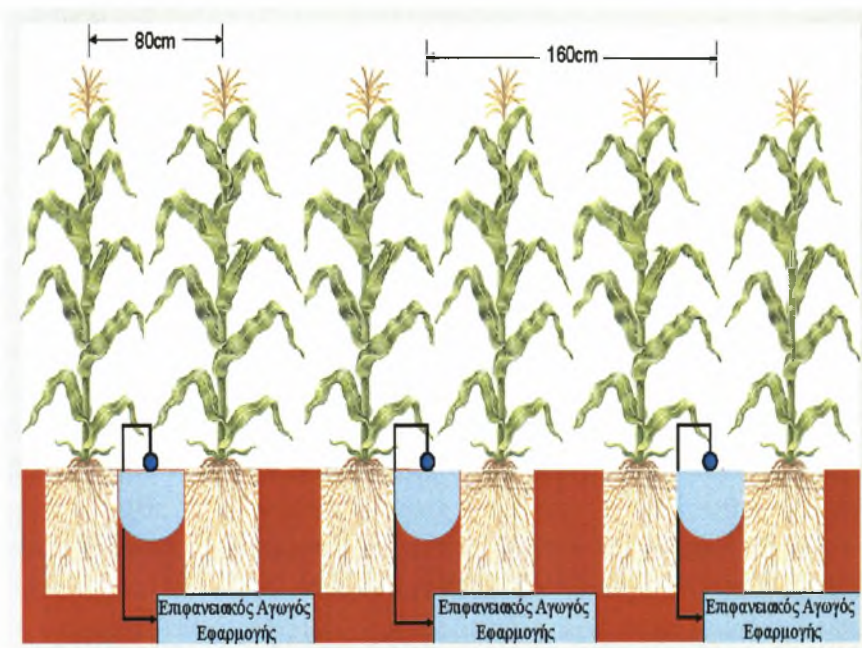
2.6 Σύστημα Άρδευσης

2.6.1 Υπόγειο και Επιφανειακό Σύστημα Στάγδην Άρδευσης

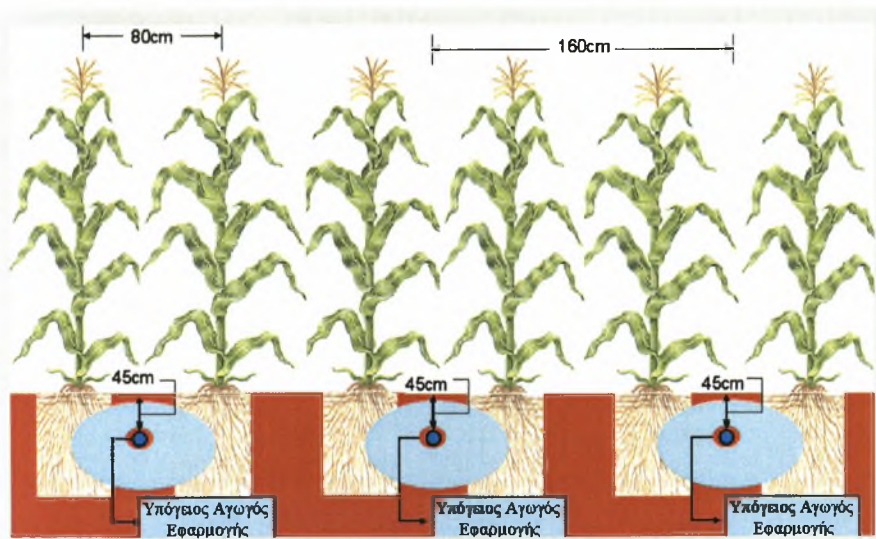


ΕΙΚΟΝΑ 2.2: Η τοποθέτηση του υπόγειου συστήματος στάγδην άρδευσης, με τη χρήση υπεδαφοθέτη.

Κατά τη διεξαγωγή της έρευνας, πραγματοποιήθηκε μελέτη της επίδρασης της στάγδην άρδευσης στο παραγωγικό φυτό του ηλίανθου. Τόσο στο υπόγειο, όσο και στο επιφανειακό σύστημα στάγδην άρδευσης, οι σταλακτηφόροι ισαπήχαν απόσταση ίση με 1,60m. Η επιλογή της απόστασης αυτής έγινε με γνώμονα την ικανοποίηση των αναγκών άρδευσης των καλλιεργειών που σπέρνονται σε αποστάσεις 0,80m μεταξύ των γραμμών σποράς.



ΕΙΚΟΝΑ 2.3: Η γραφική απεικόνιση της διάταξης της επιφανειακής στάγδην άρδευσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.4: Η γραφική απεικόνιση της διάταξης της υπόγειας στάγδην άρδευσης.

Όσον αφορά το υπόγειο σύστημα στάγδην άρδευσης πρέπει να αναφερθεί ότι, οι σταλακτοφόροι αγωγοί τοποθετήθηκαν με ειδικό υπεδαφοθέτη, σε βάθος 0,45m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η εγκατάσταση του επιφανειακού συστήματος στάγδην άρδευσης πραγματοποιούνται όταν τα φυτά βρίσκονται στο στάδιο των 5 φύλλων.

Τόσο στο υπόγειο, όσο και στο επιφανειακό σύστημα στάγδην άρδευσης δύο διαδοχικοί αγωγοί εφαρμογής περιλάμβαναν 2 γραμμές φυτών.

Το σύστημα άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις αποτελούνταν από 3 διαφορετικούς τύπους σταλακτηφόρων αγωγών. Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 3 κύριοι και 6 δευτερεύοντες αγωγοί τροφοδοσίας, ενώ ο αριθμός των αγωγών εφαρμογής ήταν 72. Πιο συγκεκριμένα, υπήρχε ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού, που μετέφερε το νερό από τη δεξαμενή έως την υδροληψία του πειραματικού τεμαχίου. Κάθε ένας από τους κύριους αγωγούς μεταφοράς νερού, τροφοδοτούσε δύο δευτερεύοντες αγωγούς μεταφοράς. Από αυτούς, ο ένας τροφοδοτούσε 12 επιφανειακούς αγωγούς εφαρμογής (3 για κάθε επανάληψη) και ο δεύτερος εξ' αυτών 12 υπόγειους αντίστοιχα. Κάθε αγωγός εφαρμογής είχε αυτορρυθμιζόμενους και αυτοκαθαριζόμενους σταλακτήρες. Υπήρχε μία δεξαμενή νερού, η οποία τροφοδοτούνταν με νερό από παρακείμενη γεώτρηση, παροχής 35m³/h. Μεταξύ δευτερεύοντα αγωγού τροφοδοσίας και των αγωγών εφαρμογής παρεμβάλλονταν ένας υδρομετρητής. Ο υδρομετρητής κατέγραφε την ποσότητα νερού που χορηγούνταν σε κάθε άρδευση. Επιπλέον, η κεφαλή του συστήματος περιελάμβανε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την ορθή εφαρμογή της στάγδην άρδευσης. Η κεφαλή αυτή αποτελούνταν από ένα αντλητικό συγκρότημα, ένα φίλτρο δίσκων 200mesh (Tech filter) εμποτισμένων με την ζιζανιοκτόνο ουσία trifluralin, δύο ειδικά μανόμετρα, μια ειδική βαλβίδα αντεπιστροφής, ένα κεντρικό υδρομετρητή, 3 ηλεκτροβάννες και έναν προγραμματιστή άρδευσης.



ΕΙΚΟΝΑ 2.5: Η κεφαλή ελέγχου με το φίλτρο δίσκων, τη βαλβίδα εκτόνωσης, τις ηλεκτροβάννες τροφοδοσίας των μεταχειρίσεων και το κεντρικό υδρόμετρο.

2.6.2 Αυτοματοποιημένη Άρδευση

Το σύστημα αυτοματοποιημένης άρδευσης χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση της μεταχείρισης AUTO (E). Το σύστημα περιελάμβανε τους ίδιους 3 τύπους αγωγών που χρησιμοποιήθηκαν και στις άλλες μεταχειρίσεις. Δηλαδή, τους κύριους αγωγούς μεταφοράς νερού, τους δευτερεύοντες αγωγούς μεταφοράς και τους αγωγούς εφαρμογής. Ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού ήταν κατασκευασμένος από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 32mm και μετέφερε νερό από τη δεξαμενή έως την υδροληψία του πειραματικού τεμαχίου.

Η διαφορά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις έγκειται στο γεγονός ότι, ο κύριος αγωγός μεταφοράς νερού τροφοδοτεί έναν (αντί για δύο) δευτερεύοντα αγωγό τροφοδοσίας (κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο και διάμετρο 25mm) και αυτός με τη σειρά του δώδεκα επιφανειακούς (3 για κάθε επανάληψη).

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

Εκτός από την ύπαρξη αποκλειστικής δεξαμενής για τη μεταχείριση AUTO (E), χρησιμοποιήθηκε και αποκλειστική κεφαλή ελέγχου για την μεταχείριση αυτή. Χρησιμοποιήθηκε δηλαδή μία κεφαλή ελέγχου αποκλειστικά για την μεταχείριση AUTO (E) και μία δεύτερη για τις υπόλοιπες 6 μεταχειρίσεις. Η κεφαλή ελέγχου της μεταχείρισης AUTO (E) περιελάμβανε τα ακόλουθα μέρη:

- Αντλητικό συγκρότημα, το οποίο είχε τη δυνατότητα άντλησης νερού από βάθος 3m, το οποίο εξασφάλιζε σταθερή πίεση 2,5 atm.
- Φίλτρο σήτας για την κατακράτηση των φερτών υλικών που τυχόν μεταφέρονταν με τον αγωγό μεταφοράς.
- Ειδικά μανόμετρα, τοποθετημένα πριν και μετά το φίλτρο για τον έλεγχο τυχόν έμφραξης του.
- Έναν κεντρικό υδρομετρητή για τον έλεγχο της ποσότητας νερού που διέρχονταν από αυτό και κατέληγε στους κύριους αγωγούς μεταφοράς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση της ποσότητας αυτής, με την ποσότητα νερού που κατέγραφε καθένας από τους υδρομετρητές στην είσοδο κάθε πειραματικού τεμαχίου.
- Φίλτρο συγκράτησης φερτών υλικών τοποθετημένο πριν την ηλεκτροβάννα.

- Μία ηλεκτροβάννα, η οποία διέφερε από τις υπόλοιπες των άλλων πέντε μεταχειρίσεων, διότι η συγκεκριμένη ήταν εναλλασσόμενου ρεύματος 24 Volt.
- Αισθητήρα μέτρησης στάθμης νερού στη λεκάνη του εξατμισομέτρου τύπου A συνδεδεμένο με data logger για τον έλεγχο της ηλεκτροβάννας.

2.7 Όργανα μέτρησης

2.7.1 Ποσότητα Νερού

Μέσω υδρομετρητών ελέγχονταν και καταγράφονταν η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού άρδευσης, σε κάθε άρδευση. Χρησιμοποιήθηκε ένας υδρομετρητής για κάθε επανάληψη, δηλαδή 4 υδρομετρητές συνολικά για την μεταχείριση AUTO (E). Η καταγραφή των ποσοτήτων νερού που χορηγούνταν, γινόταν πριν και μετά το τέλος της κάθε άρδευσης. Επιπλέον, πραγματοποιούνταν σύγκριση της συνολικής ποσότητας νερού που κατέγραψαν οι υδρομετρητές, με την ποσότητα που κατέγραψε ο κεντρικός υδρομετρητής στην κεφαλή ελέγχου.



Εικόνα 2.6. Υδρομετρητής

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

2.7.2 Εδαφική Υγρασία

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

Έχουν χρησιμοποιηθεί και άμεσες και έμμεσες μέθοδοι, για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας. Λήψη εδαφικών δειγμάτων, στα οποία εφαρμόζονται χημικές τεχνικές ή τεχνικές θέρμανσης για τον προσδιορισμό του περιεχόμενου νερού, απαιτούν οι άμεσες μέθοδοι. Η κυριότερη από τις άμεσες μεθόδους είναι η θερμοβαρυμετρική. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των άμεσων μεθόδων είναι τα εξής:

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

Ωστόσο, οι άμεσες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας σε πολλές περιπτώσεις και ειδικά στη βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων λόγω της ακρίβειάς τους (Gardner et al., 1991).

Σε μετρήσεις φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους που σχετίζονται με την εδαφική υγρασία βασίζονται οι έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού αυτής. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται από αισθητήρες που είναι μόνιμα εγκατεστημένοι στο έδαφος και οι οποίοι συνδέονται με μονάδα μέτρησης, κάθε φορά που απαιτείται να γίνει καταγραφή της εδαφικής υγρασίας. Σε κάποιες περιπτώσεις η μέτρηση πραγματοποιείται με φορητούς αισθητήρες, οι οποίοι διεισδύουν απευθείας στο έδαφος ή σε ειδικούς προεγκατεστημένους σε αυτό σωλήνες. Η δυνατότητα καταγραφής της εδαφικής υγρασίας στο ίδιο σημείο σε διαδοχικές χρονικές περιόδους, είναι αυτή που έχει κάνει τις έμμεσες μεθόδους να πλεονεκτούν έναντι των

άμεσων. Η πιο διαδεδομένη έμμεση μέθοδος είναι η T.D.R (Time Domain Reflectometry). Η μέθοδος T.D.R. είναι γνωστή ως μέθοδος μέτρησης ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικού παλμού ή χρονικής ανακλασιμετρίας. Είναι μία μη πυρηνική μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους (Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη κ.α., 1997) και βασίζεται στη μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους.

2.7.3 Σύστημα MOISTURE POINT



ΕΙΚΟΝΑ 2.7: Διάταξη αισθητήρα Moisture Point.

Στο συγκεκριμένο πείραμα, η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας σε όλες τις μεταχειρίσεις, εκτός της A100, πραγματοποιήθηκαν με το σύστημα Moisture Point.

Το σύστημα Moisture Point αποτελείται από τα ακόλουθα τρία επιμέρους λειτουργικά τμήματα:

- Η συσκευή T.D.R.
- Αισθητήρες τετραγωνικής διατομής.
- Καλώδιο σύνδεσης της T.D.R. με τον αισθητήρα.

Οι αισθητήρες κατέγραφαν την εδαφική υγρασία σε 5 στρώματα εδάφους. Είχαν μήκος 75 cm (εύρος 0 – 15 cm, 15 – 30 cm, 30 – 45 cm, 45 – 60 cm και 60 – 75 cm).

Οι μετρήσεις λαμβάνονταν πριν και εικοσιτέσσερις ώρες μετά την άρδευση. Λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις από κάθε σημείο και ο μέσος όρος τους καταγράφονταν ως η εδαφική υγρασία στο σημείο αυτό. Σκοπός αυτής της ενέργειας ήταν η βελτίωση της ακρίβειας των μετρήσεων. Οι αισθητήρες τοποθετούνταν επί της γραμμής σποράς με τέτοιο τρόπο, ώστε ο κάθε αισθητήρας να βρίσκεται στο μέσον της απόστασης μεταξύ δύο διαδοχικών σταλακτήρων.

2.8 Το Αυτοματοποιημένο Σύστημα Άρδευσης με Εξατμισίμετρο



ΕΙΚΟΝΑ 2.8: Ο αισθητήρας Envirosmart και η κεφαλή ελέγχου με τα φίλτρα, την ηλεκτροβάννα και τον data logger.

Στην παρούσα διατριβή, ήδη αναφέρθηκε ότι στη μεταχείριση AUTO (E) χρησιμοποιήθηκε εκτός από το σύστημα μέτρησης εδαφικής υγρασίας Moisture Point και σύστημα αισθητήρα μέτρησης στάθμης νερού στο εξατμισόμετρο τύπου A, Data Logger και ηλεκτροβάνας. Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, αλλά και για την ευφυή εφαρμογή της στάγδην άρδευσης στη μεταχείριση AUTO (E). Το σύστημα αυτό διαφοροποιείται από τα υπόλοιπα υπάρχοντα συστήματα, διότι μπορεί να συνδεθεί με επιπλέον τεχνολογικό εξοπλισμό σε επίπεδο αγρού. Αυτό το γεγονός, το κάνει να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων υπάρχοντων συστημάτων.

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

- Το κύριο μέρος αποτελεί ο καταγραφέας δεδομένων (data logger), το καλώδιο τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος και η ηλεκτροβάνα.
- Το δευτερεύον μέρος αποτελεί ο αισθητήρας στάθμης νερού

Η γενική αρχή λειτουργίας του συστήματος έγκειται στην ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, χάρη στο οποίο μετράτε η διαφορά δυναμικού. Ως μέσο για την αποκατάσταση κλειστού κυκλώματος το οποίο αποτελεί μέρος βρόγχου ανατροφοδότησης αποτελεί το νερό εντός της λεκάνης του εξατμισιμέτρου. Ανάλογα με την πτώση στάθμης νερού μεταβάλλεται το ηλεκτρικό δυναμικό που μετρά ο αισθητήρας και η μεταβολή αυτή μεταφράζεται σε ύψος νερού στη λεκάνη του εξατμισιμέτρου. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από ένα αισθητήρα ή από περισσότερους επιλεγμένους αισθητήρες, αποδίδοντας μία τιμή η οποία και προκύπτει από το σύνολο των μετρήσεων κάθε αισθητήρα. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται μία σάρωση όλων των αισθητήρων οι τιμές που συλλέγονται μετατρέπονται σε pins και αποθηκεύονται έως ότου πραγματοποιηθεί νέα σάρωση. Αμέσως μετά την τροφοδοσία του αισθητήρα με ηλεκτρική ενέργεια αρχίζει η σάρωση και η καταγραφή γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Το εύρος αυτών των χρονικών διαστημάτων επιλέγεται από το χρήστη, και για όσο υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για τη λειτουργία του.

Το σύστημα έχει τη δυνατότητα είτε συνεχούς λειτουργίας, είτε διακοπτόμενης. Στη πρώτη περίπτωση, ο αισθητήρας είναι σε λειτουργία συνεχώς καταγράφοντας δεδομένα και διατηρώντας στη μνήμη του μόνο αυτά που καταγράφονται στο χρόνο που έχει προεπιλεγεί. Αντιθέτως, στη δεύτερη περίπτωση, αμέσως μετά την καταγραφή των δεδομένων και την αποθήκευσή τους, τίθεται εκτός λειτουργίας και επαναλειτουργεί όταν ο data logger τον τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ικανή για την επανέναρξη της λειτουργίας του. Στην δεύτερη περίπτωση, απαιτείται ως προϋπόθεση η

σύνδεση του αισθητήρα με data logger. Το λογισμικό που διαθέτει του δίνει τη δυνατότητα να συνδέει το ηλεκτρικό δυναμικό με το βάθος καθώς και άλλων πληροφοριών όπως είναι η ημερομηνία, το εύρος μέτρησης και το ηλεκτρικό δυναμικό εξόδου. Οι πληροφορίες αυτές καθορίζουν τα mm στάθμης νερού εντός του εξατμισιμέτρου. Η τροφοδοσία του συστήματος γινόταν από το δίκτυο της ΔΕΗ και επικουρικά υποστηρίζονταν από χημική πηγή ενέργειας (μπαταρία) 9V.

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

- Το κόστος μειώνεται διότι δεν απαιτείται επιπλέον άχρηστος εξοπλισμός (όπως επιπλέον data loggers).
- Το κέρδος του παραγωγού αυξάνεται εξαιτίας της αύξησης της παραγωγής και της βελτίωσης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων.
- Είναι ένα ευέλικτο σύστημα καταγραφής. Μπορεί να συνδυαστεί με τον ιδιαίτερο εξοπλισμό που μπορεί να διαθέτει ο κάθε παραγωγός.
- Αποτελεί αξιόπιστο και ακριβές σύστημα σύγχρονης τεχνολογίας.
- Είναι ικανό να αξιοποιεί τον εξοπλισμό που ήδη διαθέτει ο παραγωγός (εγκατάσταση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, σύστημα άρδευσης κ.α.) για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, ενέργειας και χημικών.
- Μπορεί να μεγιστοποιεί τις επιστροφές χρημάτων.
- Μειώνει τις απώλειες νερού άρδευσης λόγω βαθιάς διήθησης και την έκπλυση θρεπτικών ουσιών.

Ο GP1 της εταιρείας Delta-T devices ήταν ο data logger που χρησιμοποιήθηκε. Περιλαμβάνει επτά κανάλια, δύο διαφορικά αναλογικά κανάλια (κανάλι 1 και 2), δύο κανάλια θερμοκρασίας/αντίστασης (κανάλι 3 και 4), δύο κανάλια ανάγνωσης (κανάλι 5 και 6) και ένα κανάλι για το διακόπτη (Relay). Οι αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους συνδέονται στα δύο πρώτα κανάλια, τα θερμομέτρα συνδέονται στα κανάλια 3 και 4 και το εύρος του σήματος πρέπει να είναι -2,8 έως +3,6V. Συσκευές, οι οποίες καταγράφουν δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα και συχνότητα (ροόμετρα) συνδέονται στο κανάλι 5, ενώ στο κανάλι 6 συνδέονται συσκευές, οι οποίες

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

- Το Delta-Link που είναι το κατάλληλο λογισμικό, είναι συμβατό με το περιβάλλον εργασίας Windows 98, Me, 2000, XP ή κάποια νεότερη έκδοση.
- Το ειδικό καλώδιο USB και RS232 για την σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- Τον σκληρό δίσκο χωρητικότητας 10MB.
- Το λογισμικό μεταφοράς των δεδομένων σε φύλλο εργασίας (Microsoft Excel 97 ή νεότερο).
- Το λογισμικό ανάγνωσης κειμένου (Acrobat Reader) (Delta – T Devices, 2007, Sentek Pty Ltd, 2006).

Ανεξάρτητα από το σύστημα άρδευσης των υπολοίπων 5 μεταχειρίσεων λειτουργούσε το ευφυές σύστημα στάγδην άρδευσης της μεταχείρισης. Η αρχή λειτουργίας του βασίζονταν στην καταγραφή της πτώσης της στάθμης νερού στο εξατμισόμετρο ενώ οι διάφορες τιμές της καταγράφονταν σε data logger ανά 30 λεπτά της ώρας. Ο συγκεκριμένος data logger διέθετε ειδικό relay (διακόπτη on-off) στον οποίο συνδέθηκε ηλεκτροβάννα εναλλασσόμενου ρεύματος 24V. Μέσω του ειδικού λογισμικού του συστήματος, επιλέχθηκε να ενεργοποιείται το relay της ηλεκτροβάννας κάθε φορά που η πτώση στάθμης στο εξατμισόμετρο έφτανε τα 30mm.

Το έδαφος, θεωρητικά, μπορεί να εφοδιάσει με νερό τα φυτά μιας καλλιέργειας έως ότου η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης (Permanent Wilt Point, PWP). Η συνολική αυτή ποσότητα νερού αποτελεί τη διαθέσιμη υγρασία εδάφους (Available Soil Moisture, ASM). Ωστόσο, όσο η υγρασία του εδάφους μειώνεται τόσο πιο ισχυρά συγκρατείται το περιεχόμενο νερό στα κolloειδή του εδάφους και επομένως τα φυτά δυσκολεύονται να απορροφήσουν τις απαραίτητες ποσότητες για την κάλυψη των αναγκών τους. Έτσι, όταν η περιεχόμενη υγρασία εδάφους

πέφτει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο τότε τα φυτά υφίστανται υδατική καταπόνηση. Το κλάσμα της ASM που μπορεί εύκολα να απορροφήσει ένα φυτό από το έδαφος χωρίς να υποστεί υδατική καταπόνηση ισούται με την USM (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999).

Δηλαδή:

$$D_p = K_c \times K_p \times E_{pan} \text{ (σε mm)}$$

όπου:

D_p είναι η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού (mm) λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συντελεστής αποδοτικότητας της άρδευσης θεωρήθηκε ίσος με τη μονάδα,

K_c είναι ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας,

K_p είναι ο συντελεστής εξατμισιμέτρου (0,7),

E_{pan} είναι η εξάτμιση από το εξατμισίμετρο τύπου A(mm) (Allen et al., 1998, Παπαζαφειρίου, 1999).

Το σύστημα ενεργοποιούσε την ηλεκτροβάννα (έναρξη άρδευσης) όταν καταγράφονταν πτώση στάθμης στο εξατμισίμετρο ίση με 30mm. Η άρδευση διαρκούσε: $T = D_p \times D_h$

όπου:

T είναι η διάρκεια άρδευσης (h),

D_h είναι το ωριαίο ύψος βροχής του συστήματος στάγδην άρδευσης (mm).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Γενικά

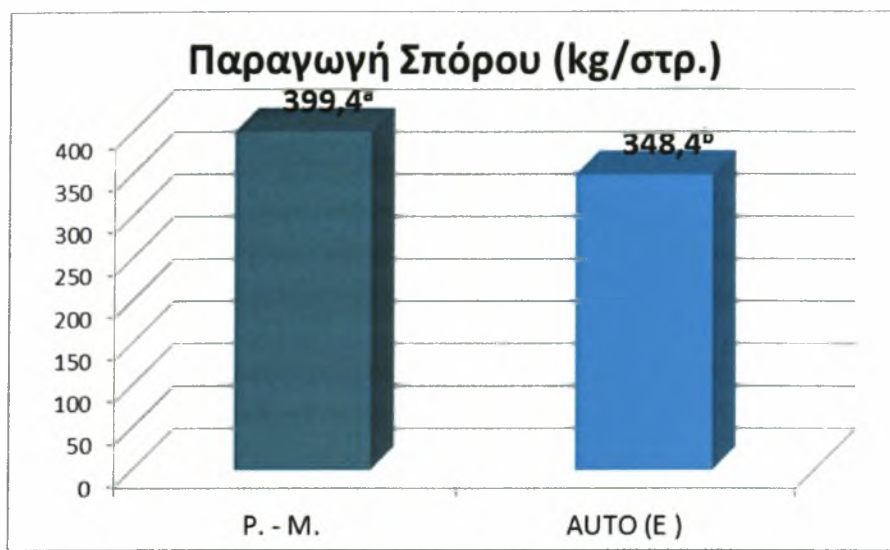
Από τη συλλογή των δεδομένων των μετρήσεων πραγματοποιήθηκαν συγκριτικά διαγράμματα των δύο τρόπων άρδευσης, δηλαδή του Αυτόματου Εξατμισόμετρου και της Penman – Monteith, ώστε να δείξουμε αν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους και γενικότερα να εξηχθούν τα συμπεράσματα.

Το στατιστικό πακέτο που χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων ήταν το SPSS έκδοση 18 και πιο συγκεκριμένα με τη μέθοδο ANOVA.

3.2 Παραγωγή Σπόρου:

Η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων η μέθοδος Penman – Monteith παρουσιάζει μία τάση υπεροχής ως προς την παραγωγή σπόρου. Μάλιστα, παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Παραγωγή Σπόρου (kg/στρ.)	
Μεταχείριση	Παραγωγή
P. - M.	399,4
AUTO (E)	348,4



3.3 Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας:

Η μεταχείριση P. – M. είναι εκείνη που εμφανίζει μια τάση υπεροχής ως προς το Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (Δ.Φ.Ε. ή L.A.I.), χωρίς όμως να παρουσιάζει στατιστικώς σημαντική διαφορά.

Εικόνα 3.1: Συλλογή μετρήσεων Δ.Φ.Ε.



3.4 Διάμετρος Κεφαλών:

Ως προς τη διάμετρο κεφαλών των φυτών δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, αν και μια μικρή τάση υπεροχής εμφανίζει η μεταχείριση P. – M.

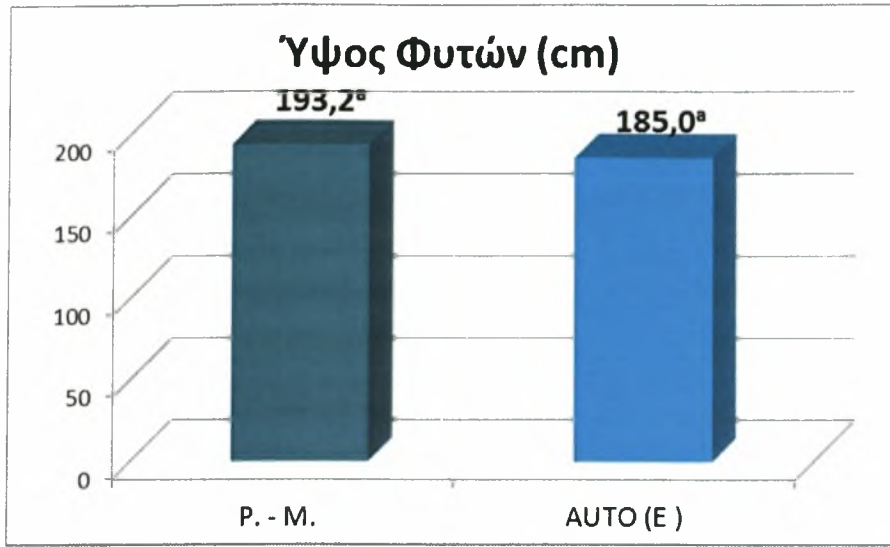
Διάμετρος Κεφαλών (cm)	
Μεταχείριση	Κεφαλές
P. - M.	18,5
AUTO (E)	18,3



3.5 Ύψος Φυτών:

Ως προς το ύψος της καλλιέργειας παρατηρείται μια τάση υπεροχής της P. – M. Πιθανή αιτία αυτού, ίσως να αποτελεί είτε η μεγαλύτερη ποσότητα νερού που εφαρμόστηκε στην P. – M., είτε στην τυχαιότητα του δείγματος.

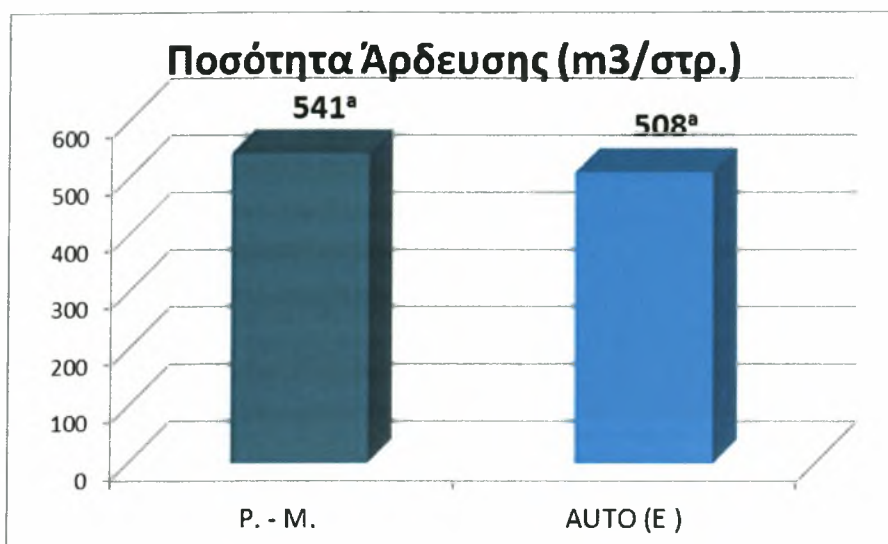
Ύψος Φυτών (cm)	
Μεταχείριση	Ύψος
P. - M.	193,2
AUTO (E)	185,0



3.6 Ποσότητα άρδευσης

Η μεγαλύτερη ποσότητα αρδευτικού νερού εφαρμόστηκε στη μεταχείριση επιφανειακής στάγδην άρδευσης στην οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων η μέθοδος Penman – Monteith. Δεν προέκυψε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων ως προς την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε για άρδευση. Στο ίδιο σχήμα συμπεριλαμβάνονται η ποσότητα στάγδην άρδευσης που εφαρμόστηκε σε κάθε μεταχείριση σε όλη την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, καθώς και η άρδευση με καταιονισμό (30mm) που πραγματοποιήθηκε μετά τη σπορά και τη χημική ζιζανιοκτονία.

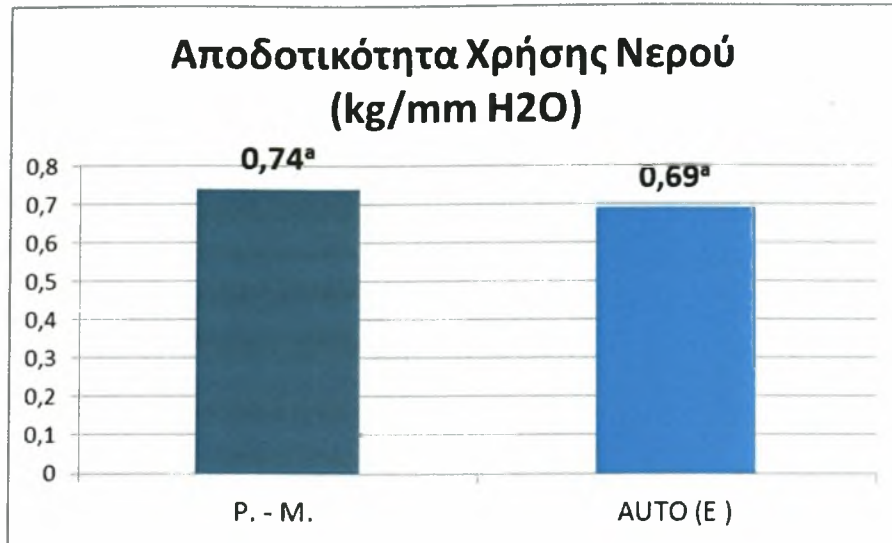
Ποσότητα Άρδευσης (m ³ /στρ.)	
Μεταχείριση	Νερό
P. - M.	541
AUTO (E)	508



3.7 Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού Άρδευσης:

Κατά τους Howell et al. (1990) η αποδοτικότητα της χρήσης νερού άρδευσης είναι ο λόγος της συνολικής παραγωγής προς το συνολικό νερό άρδευσης. Δεν παρουσιάζεται στατιστικώς σημαντική διαφορά. Η μικρότερη όμως αποδοτικότητα της AUTO(E) ίσως οφείλεται στην παραγωγή που παρουσιάζουν, η οποία πιθανώς να οφείλεται στην τυχαιότητα του δείγματος.

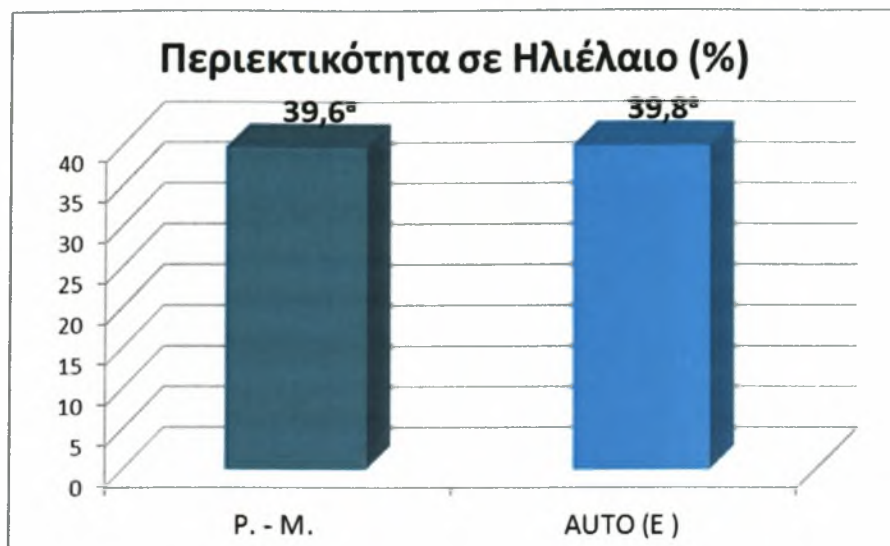
Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού (kg/mm H ₂ O)	
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα
P. - M.	0,74
AUTO (E)	0,69



3.8 Περιεκτικότητα σε Ηλιέλαιο:

Σε ειδικό εργαστήριο δόθηκαν δείγματα (100gr/δείγμα) και από τις τέσσερις επαναλήψεις κάθε μεταχείρισης για να διαπιστωθεί η περιεκτικότητα του σπόρου σε ηλιέλαιο. Ως προς την περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο (%) δεν παρουσιάζεται στατιστικώς σημαντική διαφορά, αν και διαπιστώθηκε διαφορά ως προς την παραγωγή. Πιθανόν η αιτία αυτού να είναι η ανομοιομορφία του μεγέθους των σπόρων και στην υγρασία που περιέχει ο σπόρος.

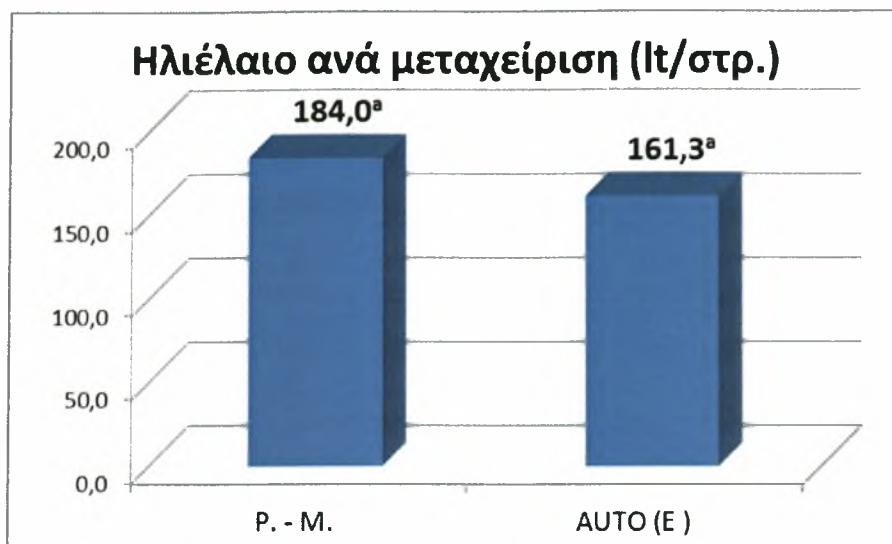
Μεταχείριση	Περιεκτικότητα σε ηλιέλαιο (%)
ΑΥΤΟ (Ε)	39,8
P. - M	39,6



3.9 Ποσότητα Ηλιελαίου (lt):

Από τα αποτελέσματα του εργαστηρίου όσον αφορά την περιεκτικότητα των σπόρων σε ηλιέλαιο με την κατάλληλη επεξεργασία προέκυψε η ποσότητα ηλιελαίου (lt) ανά μεταχείριση. Δεν παρουσιάστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά, αλλά μια τάση υπεροχής εμφανίζεται από την μεταχείριση του P. – M.

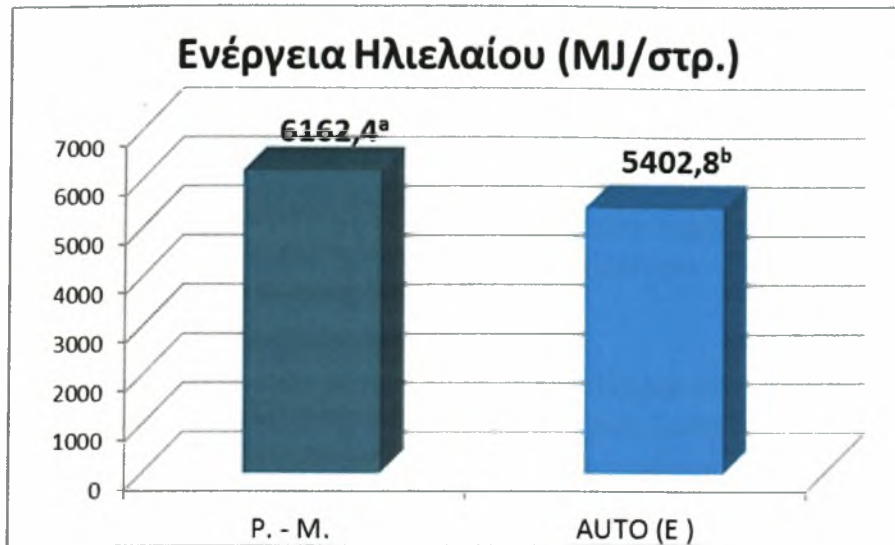
Ηλιέλαιο ανά μεταχείριση (lt/στρ.)	
Μεταχείριση	ηλιέλαιο
P. - M.	184,0
AUTO (E)	161,3



3.10 Ενέργεια:

Η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου (Diesel) είναι 44 MJ/lt και του ηλιελαίου 33,5 MJ/lt. Έτσι, μεταξύ του πετρελαίου και του ηλιελαίου προκύπτει ότι για κάθε 1lt πετρελαίου αντιστοιχούν 1,13lt ηλιελαίου. Με βάση αυτή την αναλογία και την ποσότητα (lt) ηλιελαίου, προκύπτει η παραγόμενη ενέργεια του υγρού βιοκαυσίμου (βιοντίζελ). Ως προς την παραγόμενη ενέργεια λοιπόν, παρουσιάζεται στατιστικώς σημαντική διαφορά και μια τάση υπεροχής της μεταχείρισης P. – M.

Ενέργεια Ηλιελαίου (MJ/στρ.)	
Μεταχείριση	ενέργεια
P. - M.	6162,4
AUTO (E)	5402,8



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κατά το πειραματικό στάδιο της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικές αυτοματοποιημένες μέθοδοι στάγδην άρδευσης, μία εκ των οποίων είναι και η AUTO (E). Με τη χρήση των μεθόδων αυτών κατέστη δυνατή η άρδευση των αντίστοιχων πειραματικών τεμαχίων εξ αποστάσεως. Κατά συνέπεια μπορεί να ισχυριστεί κανείς ότι με τη χρήση των μεθόδων αυτών μειώνονται οι μετακινήσεις των παραγωγών προς και από τα αγροτεμάχια τους. Αποτέλεσμα των μειωμένων μετακινήσεων αποτελούν οι λιγότερες εργατώρες για την άρδευση της εκάστοτε καλλιέργειας.

Επιπλέον, με τη χρήση των συγκεκριμένων μεθόδων βελτιστοποιείται η χρήση του νερού, καθώς παρέχεται στην καλλιέργεια τόση ποσότητα νερού, όση ακριβώς απαιτείται για την κάλυψη των αναγκών της. Οπότε, περιορίζεται η σπατάλη νερού, η οποία παρατηρείται όταν εφαρμόζουν οι παραγωγοί την πρακτική όσο περισσότερο νερό παρέχεται στην καλλιέργεια, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόδοση της. Επιπροσθέτως, με αυτές τις αυτοματοποιημένες μεθόδους αποφεύγεται η κατασπατάληση ενέργειας για άρδευση, καθόσον πραγματοποιούνται μόνο οι απαιτούμενες αρδεύσεις.

Το φυτό του ηλιάνθου μπορεί εξ ολοκλήρου να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή ενέργειας. Από την κεφαλή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο σπόρος

για την παραγωγή βιοντήζελ (υγρό καύσιμο), ενώ το στέλεχος και τα φύλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομάζας, πελλέτες, κ.λ.π.

Από τις μεθόδους άρδευσης (P. – M. και AUTO (E)) που αφορούν τη συγκεκριμένη εργασία, η επιφανειακή στάγδην άρδευση στην οποία ο προγραμματισμός των αρδεύσεων πραγματοποιήθηκε βάσει της μεθόδου Penman – Monteith παρουσίασε υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης αρδευτικού νερού (0,74kg/mmH₂O).

Η μεγαλύτερη ποσότητα νερού εφαρμόστηκε στην επιφανειακή στάγδην άρδευση της οποίας ο προγραμματισμός έγινε βάσει της μεθόδου Penman – Monteith και στην οποία παρουσιάζεται και η υψηλότερη παραγωγή.

Ο ηλίανθος αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια στο πλαίσιο της ενεργειακής γεωργίας και προτείνεται στους παραγωγούς ως εναλλακτική καλλιέργεια απέναντι στις παραδοσιακές. Ειδικότερα, προτείνεται η καλλιέργειά του όταν αρδεύεται με συστήματα στάγδην άρδευσης και όταν εφαρμόζεται το 100% των αναγκών της σε νερό. Συγκεκριμένα, προτείνεται για τον προγραμματισμό των αρδεύσεων η χρήση του αυτόματου εξατμισίμετρου, υπό την προϋπόθεση ότι ο συντελεστής εξατμισίμετρου (kp) που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι κατάλληλα εναρμονισμένος με το μικροκλίμα της περιοχής όπου είναι εγκατεστημένο το εξατμισίμετρο. Επιπλέον, θα πρέπει να γίνεται σχολαστικά η συντήρηση του σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αλεξίου, Ι., Καλφούντζος, Δ., Κωτσόπουλος, Σ., Βύρλας, Π. και Καμπέλη, Σ., 2003. Σύγκριση της υποεπιφανειακής και της επιφανειακής στάγδην άρδευσης σε καλλιέργεια βαμβακιού. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ.: 199 – 206.
2. Βύρλας, Π., Καλφούντζος, Δ. και Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 2003. Επίδραση του εδαφικού τύπου στην έμφραξη λόγω εισρόφησης σε υποεπιφανειακά συστήματα στάγδην άρδευσης. 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, σελ. 225 – 232.
3. Batty, J. Clair, Hammad, S.N. and Keller, J. 1975. Energy inputs to irrigation. J. Irrig Drain. Div, ASCE, 101 (1R4): 293 – 307.
4. Γιακουμάκης, Ε. 1985. Πότισμα με σταγόνες. ΙΕΒ. Θεσσαλονίκη.
5. Zachmann, D.W., and A.W. Thomas, 1973. A mathematical investigation of steady ifiltration from line sources. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37(4):495 – 500.
6. Itier, B., 1997. Applicability and limitations of irrigation scheduling methods and techniques. In: Proccedings ICID/FAO Workshop on Irrigation Scheduling: From Theory to Practice, September 1995, Rome. Water Report No. 8, FAO.
7. Καμπράνης Αναστάσιος, 2007. Βιολογική Καλλιέργεια Γλυκού Σόργου [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] Για Παραγωγή Βιομάζας.
8. Κωνσταντινίδης, Κ. 1985. Άρδευση και συστήματα αρδεύσεων. Εκδοτικός οίκος Σάκκουλα. Θεσσαλονίκη.

9. Johansson, T.B.J., Kelly, H., Reddy, A.K.N. and Williams, R.H., 1993. Renewable fuels and electricity of a growing world economy. In: Johansson.
10. Μήτσιος, Ι., Τούλιος, Μ., Χαρούλης, Α., Γάτσιος, Φ. και Φλωράς, Σ., 2000. Εδαφολογική μελέτη και εδαφικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή του Βελεστίνου. Εκδόσεις Zymel. Αθήνα.
11. Μορόπουλος Νίκος, 2005. Αυτοματισμός, Τηλεμετρία και Πληροφορική. Σύγχρονα Εργαλεία της Ευφούς και Οικολογικής Γεωργικής Ανάπτυξης. Αθήνα.
12. Οργανισμός Βάμβακος, 2001. Συνολική παραγωγή σύσπορου βαμβακιού στην ελληνική επικράτεια.
13. Oron, G., Shelef, G. and Turzynski, Berta. 1979. Trickle irrigation using treated wastewaters, J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 105 (IR2): 175 – 187.
14. Παπαζαφειρίου Ζ., 1984. Αρχές και Πρακτική των Αρδεύσεων. Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Θεσσαλονίκη.
15. Phene, C.J. et al, 1986. Fertilization of high yielding subsurface trickle tomatoes. Proceedings of the 34th Fertilizer Conf. California Fertilizer Ass. Fresno California. pp. 33 – 43.
16. Phene, C.J., R. Yue, I – Pai Wu, J.E. Ayars, R.A. Schoneman, B. Meso, 1992. Distribution uniformity of subsurface drip irrigation systems. ASAE Paper No. 92 – 2569, 14 pp. St. Joseph Mich.:ASAE.
17. Phene, C.J., Hutmacher, R.B., Ayars, J.E., Davis, K.R., Mead, R.M., and Schoneman, R.A., 1992. Maximizing water use efficiency with subsurface drip irrigation. International summer meeting of the American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 922090. St. Joseph Michigan.

18. Philip, J.R., 1968. Steady infiltration from buried point sources and spherical cavities. *Water Resources Research* 4(5):1039 – 1047.
19. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Καλφούτζος, Δ. και Γούλας, Χρ., 1997. Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες σε καλλιέργεια ζαχαροτεύλων. Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου ΕΓΜΕ, Αθήνα, σελ. 271 – 280.
20. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., Τζιμόπουλος, Χ., Καλφούτζος, Δ., 1997. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Πρακτικά 1^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Αθήνα, σελ. 271 – 280.
21. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη, Μ., 2004. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Άρδεύσεων. Βόλος, 2004.
22. Scherpernzeel, J. Agenda 2000: Consequences for energy crops.
23. Τερζίδης, Γ., Παπαζαφειρίου, Ζ., 1997. Γεωργική Υδραυλική, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ.: 172 – 174,200.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

http 1: www.epirusbiosis.gr

http 2:
www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_biomass_kalier.htm



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000114993