

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**«Αυτοματισμοί άρδευσης υδροπονικής καλλιέργειας
τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη»**



**Πτυχιακή Διατριβή
Μωραΐτου – Δαπόντα Ελένη**

**Επιβλέπων Καθηγητής
Κατσούλας Νικόλαος**

Βόλος, 2014

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

N. Κατσούλας (Επιβλέπων)	Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές Κατασκευές
K. Κίττας (Μέλος)	Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα Θερμοκήπια
Θ. Μπαρτζάνας (Μέλος)	Ερευνητής Β'
Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης	



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

Αριθ. Εισ.: 13067/1

Ημερ. Εισ.: 24/09/2014

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ

2014

ΜΩΡ

Μωραΐτου – Δαπόντα Ελένη

**«Αυτοματισμοί άρδευσης υδροπονικής καλλιέργειας
τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη»**

Περίληψη

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην Ελλάδα βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη. Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερα θερμοκήπια επιλέγουν τη χρησιμοποίηση υδροπονικών συστημάτων που συμβάλλουν στη μεγιστοποίηση της παραγωγής και στη βελτίωση των παραγόμενων προϊόντων.

Ο βέλτιστος προγραμματισμός άρδευσης στις υδροπονικές είναι πολύ σημαντικός, εφόσον η διαχείριση της άρδευσης επηρεάζει το περιβάλλον της ριζόσφαιρας, το διαθέσιμο νερό του υποστρώματος και τη συγκέντρωση αλάτων σε αυτό. Η καλή κατανόηση της επίδρασης του ρυθμού άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών τομάτας μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη καλύτερων συστημάτων άρδευσης.

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής είναι να μελετηθεί η επίδραση της διαχείρισης άρδευσης στην ανάπτυξη και στην παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν δύο τρόποι άρδευσης, η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία του υποστρώματος, με σκοπό να βρεθεί η επίδραση που έχουν στο ύψος των φυτών, στον αριθμό των φύλλων, στον αριθμό των παραγόμενων καρπών, στη φυλλική επιφάνεια, στο βάρος των καρπών, καθώς και στη συνολική παραγωγή.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το Φεβρουάριο έως το Μάιο του 2012 σε θερμοκήπιο των εγκαταστάσεων του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή του Βελεστίνου του Νομού Μαγνησίας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο τρόπος άρδευσης δεν είχε σημαντική επίδραση στο ύψος των φυτών, στον αριθμό των φύλλων και στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), αλλά είχε σημαντική επίδραση στον αριθμό και στο βάρος καρπών, καθώς και στην συνολική παραγωγή των φυτών.

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Ν. Κατσούλα, για την υπόδειξη του θέματος της πτυχιακής διατριβής μου, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκειά της, και κυρίως τη πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην αρτιότερη οργάνωση του πειράματος

Θερμές ευχαριστίες αποδίδονται στον Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Κ. Κίττα, για την επιστημονική καθοδήγηση, τη συνεργασία του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε στη συγγραφή της εργασίας μου.

Ευχαριστώ επίσης και τον κ. Θωμά Μπαρτζάνα, Ερευνητή του Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης για την συμμετοχή του στην Τριμελή Επιτροπή για τη διόρθωση της εργασίας αυτής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται και στον Ηλία Γιαννακό για την πολύτιμη συνεργασία και τη βοήθεια του κατά την πραγματοποίηση του πειράματος μου στο θερμοκήπιο στο Βελεστίνο.

Τέλος, σημαντικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια μου έπαιξε και η οικογένεια μου, που με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας αυτής και για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρέχουν σε κάθε επιλογή μου, δίνοντάς μου δύναμη να επιτυγχάνω τους εκάστοτε στόχους μου.

Στον παππού μου,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Κεφάλαιο 1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενικά.....	10
1.1.1 Θερμοκήπιο	10
1.1.2 Οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα	11
1.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του θερμοκηπίου	12
1.2 Υδροπονία	14
1.2.1 Γενικά για την υδροπονία	14
1.2.2 Ιστορική αναδρομή.....	16
1.2.3 Υδροπονικά καλλιεργούμενες εκτάσεις.....	16
1.2.4 Μέθοδοι καλλιέργειας.....	17
1.2.5 Πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας.....	17
1.2.6 Μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας.....	18
1.2.7 Μικροκλίμα	19
1.2.7.1 Θερμοκρασία.....	19
1.2.7.2 Φως.....	20
1.2.7.3 Υγρασία.....	21
1.2.7.4 Διοξείδιο του άνθρακα.....	21
1.2.8 Προβλήματα των Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών στην Ελλάδα.....	22
1.2.9 Κλειστό-ανοικτό σύστημα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα	23
1.2.10 Υδροπονικά συστήματα	25
1.2.11 Υδροπονικές μέθοδοι	25
1.2.11.1 Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα	26
1.2.11.2 Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα.....	31
1.2.11.3 Μέθοδοι καλλιέργειας χωρίς πορώδη υποστρώματα	32
1.2.12 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος.....	35

1.3	Σκοπός εργασίας.....	37
Κεφάλαιο 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		38
2.1	Αρδευτικά συστήματα	38
2.1.1	Μέθοδος στάγδην.....	41
2.2	Προσδιορισμός αναγκών σε νερό	42
2.3	Συχνότητα άρδευσης	44
2.4	Ποιότητα νερού άρδευσης	44
2.5	Ποσότητα νερού.....	46
2.6	Εξοπλισμός άρδευσης	47
2.7	Αισθητήρες.....	54
2.8	Χαρακτηριστικά περλίτη.....	56
2.9	Άρδευση με βάση την υγρασία στο υπόστρωμα.....	61
2.10	Άρδευση με βάση την ηλιακή ενέργεια	68
2.11	Υδατοϊκανότητα – σημείο μάρανσης	73
2.12	Διαθεσιμότητα νερού στο υπόστρωμα	75
2.13	Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας	77
2.14	Αξιολόγηση υποστρώματος με βάση την ΧΚΥ	83
Κεφάλαιο 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ		85
3.1	Τοποθεσία του πειράματος	85
3.2.	Το θερμοκήπιο.....	86
3.3.	Αερισμός.....	86
3.4.	Θέρμανση	88
3.5.	Άρδευση-Λίπανση.....	88
3.6.	Εγκατάσταση καλλιέργειας και υπόστρωμα.....	89
3.7.	Διάταξη φυτών	90
3.8.	Καλλιεργητικές τεχνικές.....	91
3.8.1.	Στήριξη των φυτών.....	91
3.8.2.	Βλαστολόγημα	91

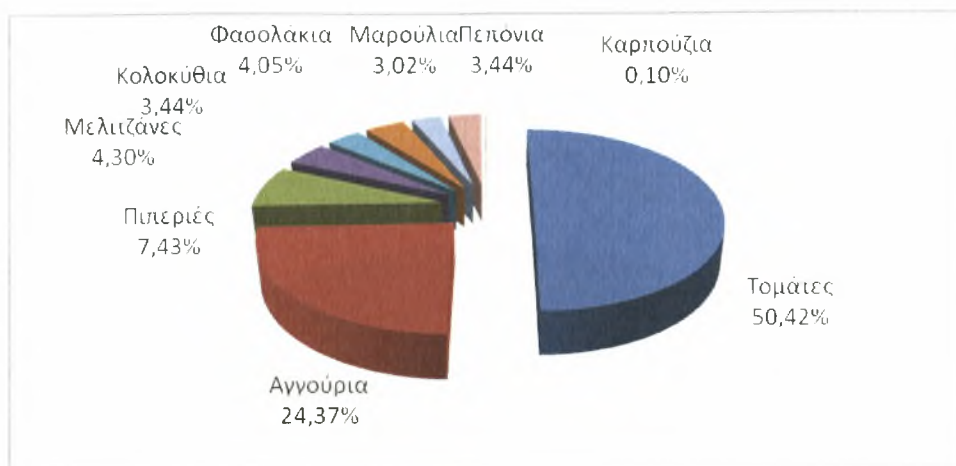
3.8.3.	Αποφύλλωση – Κορυφολόγημα	91
3.8.4.	Επεμβάσεις με χημικά.....	91
3.8.5.	Έλεγχος εχθρών και ασθενειών.....	92
3.9.	Περιγραφή των μετρήσεων.....	92
3.9.1.	Μέτρηση του ύψους.....	93
3.9.2.	Μέτρηση αριθμού φύλλων.....	96
3.9.3.	Μέτρηση του μήκους των φύλλων.....	96
3.9.4.	Μέτρηση αριθμού και βάρους καρπών	96
3.9.5.	Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων	97
Κεφάλαιο 4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ	98
4.1.	Κλιματικά δεδομένα	98
4.2.	Αισθητήρες.....	102
4.3.	Αποτελέσματα της καλλιέργειας.....	105
4.3.1.	Ύψος φυτών	105
4.3.2.	Αριθμός φύλλων	107
4.3.3.	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας.....	108
4.3.4.	Αριθμός καρπών	110
4.3.5.	Μέσος βάρος καρπών.....	111
4.3.6.	Συνολική παραγωγή.....	112
Κεφάλαιο 5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	113
Κεφάλαιο 6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115

Κεφάλαιο 1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

1.1.1 Θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο είναι ένας στεγασμένος και περιφραγμένος χώρος, που στόχο έχει την προστασία των καλλιεργειών από αντίξοες καιρικές συνθήκες του χειμώνα. Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι κατασκευασμένα από μεταλλικούς ή ξύλινους σκελετούς και να καλύπτονται από γυαλί ή από διάφορα πλαστικά υλικά. Η κατασκευή των θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμωνιάτικους μήνες σε μια περιοχή και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Τα θερμοκήπια των βόρειων χωρών έχουν βαριές κατασκευές και, πολλές φορές αποτελούνται από διπλά τζάμια και διπλή οροφή. Τα θερμοκήπια αυτά θερμαίνονται. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδος, όπως π.χ. στη νότια Μεσσηνία και στην Κρήτη, οι κατασκευές είναι πολύ ελαφριές και συνήθως αποτελούνται από πλαστικό απλωμένο πάνω σε ξύλινο σκελετό, χωρίς να θερμαίνεται. Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται φυτά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που δεν είναι δυνατό να ευδοκιμήσουν έξω στην ύπαιθρο. Τα τελευταία χρόνια η τεχνική της καλλιέργειας μέσα στα θερμοκήπια έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό. Έτσι, όλο το χρόνο στην Ελλάδα παράγονται κηπευτικά προϊόντα όπως, τομάτες, μελιτζάνες, κολοκύθια κλπ., που καλύπτουν τις ανάγκες της εγχώριας αγοράς, ενώ ένα μεγάλο μέρος προορίζεται για εξαγωγή. Τα σημαντικότερα λαχανικά τα οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής έκτασης θερμοκηπίων στην Ελλάδα είναι η τομάτα και το αγγούρι. (Μαυρογιαννόπουλος 2005). Οι εκτάσεις σε στρέμματα για τα κηπευτικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια φαίνονται στο *Σχήμα 1.1.1* (Ολύμπιος 2001). Ακόμη στα θερμοκήπια καλλιεργούνται και ανθοκομικά είδη που ευδοκιμούν μόνο το καλοκαίρι ή είδη τροπικών χωρών, που σε διαφορετικές περιπτώσεις θα ήταν αδύνατη η καλλιέργειά τους.



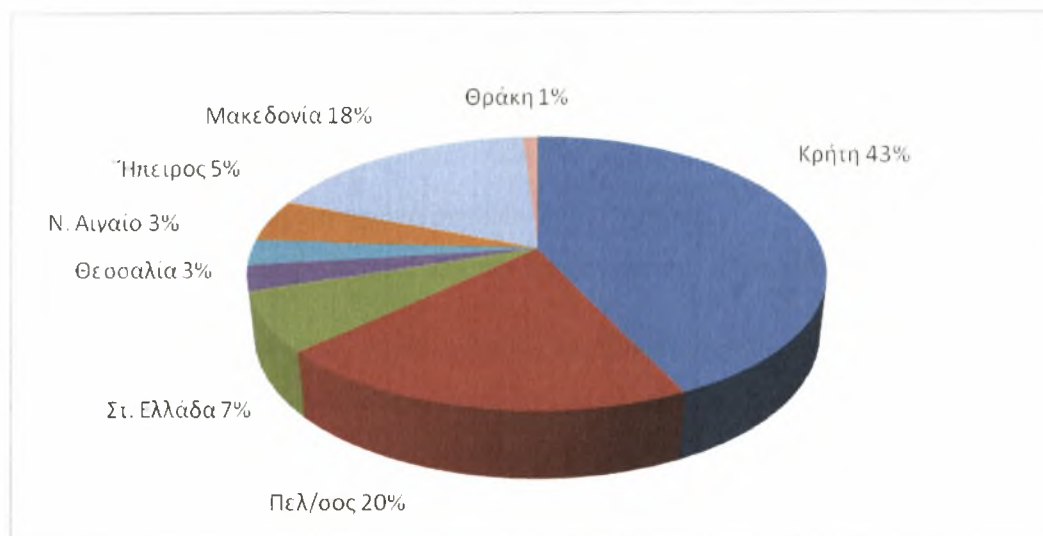
Σχήμα 1.1.1: Συνολική έκταση κηπευτικών που καλλιεργήθηκαν σε θερμοκήπια

1.1.2 Οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα

Στη χώρα μας οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για την παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική εξάπλωση τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρησιμοποίηση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων. Αργότερα παρατηρήθηκαν και αρκετές βιοτεχνίες κατασκευής θερμοκηπίων, οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφτασαν στα 43.564 στρ. το 1999. Από το σύνολο αυτό το 95,6% είναι καλυμμένα από πλαστικό και το 4,2% είναι υαλόφρακτα.

Οι παράγοντες που συνετέλεσαν στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα είναι αρκετοί. Ένας από τους σημαντικούς παράγοντες είναι οι εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας μας. Το ήπιο κλίμα που επικρατεί σε πολλές περιοχές, είναι ευνοϊκό και παρέχει την δυνατότητα καλλιέργειας σε πολύ απλές κατασκευές χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερα ακριβός εξοπλισμός. Η εντατικοποίηση των καλλιεργειών και η ανάγκη εξασφάλισης υψηλότερου εισοδήματος από μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος αποτέλεσαν ισχυρά κίνητρα για την ανάπτυξη των θερμοκηπίων. Επίσης ένας ακόμα παράγοντας είναι η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά. Τέλος η γεωργική πολιτική του κράτους ενθάρρυνε την προώθηση των καλλιεργειών αυτών με την θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.

Η Κρήτη, η Πελοπόννησος και τα νησιά του νότιου Αιγαίου είναι οι περιοχές που συγκεντρώνουν το 65% των θερμοκηπίων της χώρας. (Σχήμα 1.1.2).



Σχήμα 1.1.2: Κατανομή θερμοκηπίων ανά γεωγραφικό διαμέρισμα (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

1.1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του θερμοκηπίου

Γενικά με το θερμοκήπιο δίνεται η δυνατότητα στον παραγωγό να απαλλαχθεί ή τουλάχιστον να περιορίσει μερικά συνηθισμένα προβλήματα που παρουσιάζονται.

Ορισμένα πλεονεκτήματα που προσφέρει γενικά το θερμοκήπιο είναι:

- ✓ Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.
- ✓ Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως: της ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, με αρκετή ακρίβεια.
- ✓ Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως: της υγρασίας του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του pH, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών, μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.
- ✓ Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Επιπλέον σε ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των συνθηκών του περιβάλλοντος έτσι ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, η ανάπτυξη

φυτασθενειών είναι πολύ σπανιότερη από ότι σε συνθήκες που δεν παρέχεται τέτοια δυνατότητα.

Ειδικότερα σε θερμοκήπια στα οποία γίνεται μια απλή τροποποίηση του περιβάλλοντος των φυτών μόνο με την κατασκευή, χωρίς εξειδικευμένο εξοπλισμό, επιτυγχάνεται συνήθως:

- ✓ Πρώιμη ή όψιμη παραγωγή φυτικών προϊόντων και
- ✓ Αποφυγή ζημιών στα φυτά και την παραγωγή από αέρα, βροχή, χαλάζι κ.λπ..

Στα θερμοκήπια στα οποία γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, με εξειδικευμένο εξοπλισμό στην κάθε περίπτωση, μπορεί να επιτευχθεί:

✓ Χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, ώστε να σταλεί στην αγορά σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν στον έξω χώρο.

✓ Αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος και της προστασίας που προσφέρει το θερμοκήπιο από τα αντίξοα καιρικά φαινόμενα.

Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένα προβλήματα τα οποία δεν μπορούν να επιλυθούν απλώς και μόνο με τη χρήση του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, η ανάγκη για επαναλαμβανόμενη απολύμανση του εδάφους του θερμοκηπίου για την αποφυγή προσβολής της καλλιέργειας από ασθένειες του εδάφους, αποτελεί ένα σημαντικό κόστος για τον παραγωγό. Αυτό το κόστος επιβαρύνεται επιπλέον με την αγορά φυτοφαρμάκων που χρειάζεται να εφαρμοσθούν. Αυτό με τη σειρά του έχει ως αποτέλεσμα, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων φυτοφαρμάκων, να περνούν υπολείμματα αυτών στα τρόφιμα με αποτέλεσμα να ζημιώνεται η υγεία των καταναλωτών, καθώς επίσης και να υπάρχουν δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον. Για τους ίδιους λόγους είναι επίσης σημαντικό να υπάρχει ορθολογικότερη χρήση των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξη των φυτών.

Επίσης, λόγω της ανάγκης στη Μεσόγειο για την εξοικονόμηση και τη σωστή διαχείριση του νερού, είναι επιτακτική ανάγκη να χρησιμοποιηθούν συστήματα καλλιέργειας που να επιτυγχάνουν όσο το δυνατό μικρότερη κατανάλωση νερού.

Επιπλέον, καθώς ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξάνεται, όπως επίσης και η αστικοποίηση του, είναι επακόλουθο ότι θα αυξάνεται συνεχώς και η ζήτηση για φρέσκα λαχανικά και φρούτα που είναι απαραίτητα για την κάλυψη των διατροφικών αναγκών του ανθρώπου. Αυτά και άλλα προβλήματα μπορούν να εξαλειφθούν ή να ελαχιστοποιηθούν με την χρήση της υδροπονίας. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι κυριότεροι στόχοι της υδροπονικής καλλιέργειας είναι:

- Η εξοικονόμηση νερού
- Η βελτίωση της ποιότητας
- Η αύξηση της παραγωγής
- Η μειωμένη εφαρμογή λιπασμάτων
- Η ελαχιστοποίηση της χρήσης φυτοφαρμάκων
- Η προστασία του περιβάλλοντος
- Ο πλήρης έλεγχος του περιβάλλοντος και αυτοματοποίηση της παραγωγής.

1.2 Υδροπονία

1.2.1 Γενικά για την υδροπονία

Με τον όρο υδροπονία ή χωρίς έδαφος καλλιέργεια είναι η χρήση οποιασδήποτε μεθόδου καλλιέργειας φυτών που δεν έχει σχέση με το φυσικό έδαφος ή με ειδικά μείγματα εδάφους. Αναφέρεται μερικές φορές και ως τεχνητή καλλιέργεια και ανέδαφος γεωργία. Ο τελευταίος όρος χρησιμοποιείται ιδιαίτερα, όταν χρησιμοποιούνται οργανικά ή άλλα μη αδρανή υποστρώματα. Ο πιο γνωστός όμως και διαδεδομένος όρος, διεθνώς, είναι η ελληνική λέξη υδροπονία.

Με τη μέθοδο της υδροπονίας τα φυτά καλλιεργούνται είτε πάνω σε πορώδη υποστρώματα στα οποία προστίθεται θρεπτικό διάλυμα ή σε σκέτο θρεπτικό διάλυμα. Η υδροπονική καλλιέργεια είναι μια διαρκώς επεκτεινόμενη δραστηριότητα, διότι με τη βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος της ρίζας που επιτυγχάνει αυξάνονται οι αποδόσεις των φυτών και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Εκτός αυτών όμως παρέχει τη δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές με πολύ κακής ποιότητας εδάφη (πολύ αλατούχα, πολύ συνεκτικά κ.λπ.) ή σε θέσεις χωρίς καθόλου φυσικό έδαφος.

Γενικά, για τη σωστή ανάπτυξη των φυτών είναι απαραίτητο στη ρίζα τους να υπάρχει άφθονο οξυγόνο και ταυτόχρονα άφθονο νερό που να έχει διαλυμένα τα

απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στη σωστή τους αναλογία. Στη συμβατική καλλιέργεια εδάφους είναι δύσκολο να επιτευχθεί ο συνδυασμός αυτός. Στο φυσικό έδαφος, στις περισσότερες περιπτώσεις, όσο περισσότερο νερό υπάρχει, τόσο λιγότερο οξυγόνο μένει, και αντίθετα, με αποτέλεσμα τότε το ένα και τότε το άλλο να βρίσκεται σε έλλειψη. Στο έδαφος, επίσης σημαντικό είναι το πρόβλημα διαθεσιμότητας των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων στη ρίζα του φυτού. Μπορεί να προστίθενται ανόργανα θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος, αλλά αυτά δεν είναι πάντα αμέσως διαθέσιμα στη ρίζα, γιατί δεσμεύονται στα συστατικά του εδάφους ή δύσκολα μετακινούνται στην περιοχή της ρίζας. Με τις υδροπονικές καλλιέργειες τα προβλήματα αυτά λύνονται με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος και τη χρησιμοποίηση (σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται στερεό υπόστρωμα) υλικών με πολύ υψηλό πορώδες και χημικά αδρανών.

Η υδροπονική καλλιέργεια, ιδιαίτερα όταν γίνεται (όπως συνήθως συμβαίνει) στο θερμοκήπιο, απαιτεί μεγαλύτερο υ946 βαθμό τεχνικής επιδεξιότητας και καλή γνώση των επιπτώσεων των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Γενικά, ενώ στο έδαφος στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν όλα τα ιχνοστοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών και δεν ασχολείται ο καλλιεργητής με αυτά, στην περίπτωση των υδροπονικών καλλιεργειών όλα αυτά, όπως και όλα τα μακροστοιχεία, θα πρέπει να προστίθενται στο θρεπτικό διάλυμα. Το έδαφος παρέχει τη δυνατότητα στη ρίζα να αναπτυχθεί σε μεγάλη έκταση, κάτι που δε συμβαίνει στα υδροπονικά συστήματα. Όμως, στα τελευταία και κυρίως στου κλειστού τύπου, σχεδόν όλη η επιφάνεια της ρίζας καλύπτεται συνεχώς από θρεπτικό διάλυμα γι' αυτό σπάνια μπορεί να συμβεί έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, αν αυτά έχουν προστεθεί από τον καλλιεργητή στην σωστή δοσολογία. Αυτό είναι ιδιαίτερα αληθές στα κλειστά συστήματα. Στο έδαφος υπάρχει η δυνατότητα αντιστάθμισης ορισμένων ακραίων ενεργειών (μεγάλη αδράνεια του συστήματος), όπως π.χ. η χρήση πολύ όξινου ή πολύ αλκαλικού διαλύματος, ενώ στην υδροπονική καλλιέργεια δεν παρουσιάζεται σημαντική αδράνεια στο περιβάλλον της ρίζας, με συνέπεια οποιαδήποτε λανθασμένη ενέργεια, π.χ. η χρησιμοποίηση πολύ όξινου ή πολύ αλκαλικού διαλύματος, να έχει άμεσο αρνητικό αποτέλεσμα στα φυτά. Στα υδροπονικά συστήματα χρησιμοποιούνται πιο καθαρές μορφές λιπασμάτων, ώστε να είναι πλήρως υδατοδιαλυτά.

Οι περιποιήσεις των φυτών που καλλιεργούνται υδροπονικά διαφέρουν από αυτές των φυτών που καλλιεργούνται στο έδαφος, ως προς τη δημιουργία του περιβάλλοντος της ρίζας και μόνο, ενώ ως προς τη δημιουργία του περιβάλλοντος της κόμης, είναι ίδιες με αυτές των φυτών που καλλιεργούνται στο έδαφος, π.χ. κλάδεμα, γονιμοποίηση ανθέων, φυτοπροστασία της κόμης κλπ.

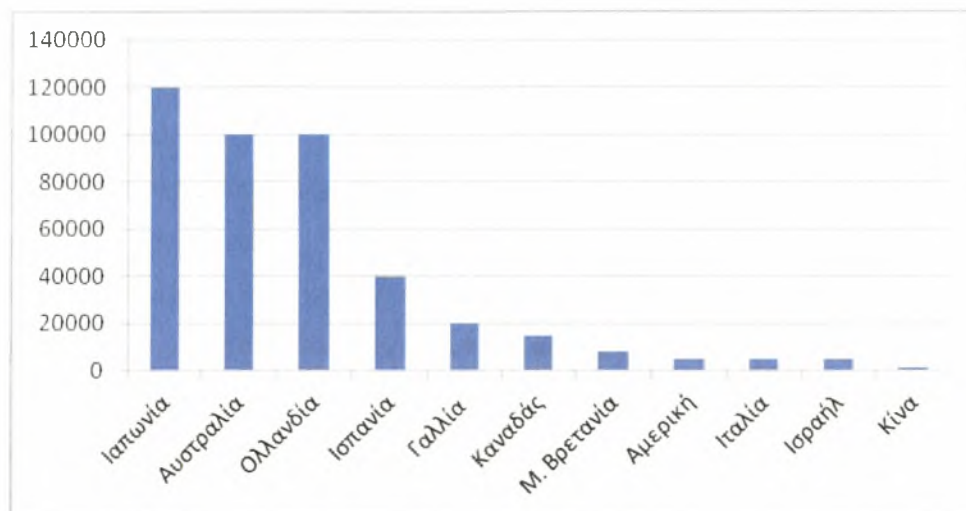
1.2.2 Ιστορική αναδρομή

Η ανάπτυξη φυτών σε νερό εμπλουτισμένο με θρεπτικά στοιχεία εφαρμόζεται εδώ και αιώνες. Ιστορικοί ανακάλυψαν Αιγυπτιακά ιερογλυφικά που χρονολογούνται αρκετές χιλιάδες χρόνια πίσω π.Χ. να απεικονίζουν την καλλιέργεια φυτών σε νερό. Οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας και οι Πλωτοί Κήποι των Αζτέκων στο Μεξικό αποτελούν παραδείγματα πρώιμης υδροπονικής καλλιέργειας. Η υδροπονία ξεκίνησε ως εργαλείο για ακαδημαϊκή έρευνα σε μια προσπάθεια να αναγνωριστούν τα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά συστατικά. Ο όρος υδροπονία χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Gericke το 1936 για να περιγράψει την καλλιέργεια φυτών σε υγρό μέσο. (Keith 2003). Το 1923 από εργασίες των Bakke και Erdman αποδείχθηκε ότι η ανάπτυξη των φυτών με υδροπονική μέθοδο ήταν πολύ καλύτερη από αυτή του εδάφους. Το 1950 αναπτύχθηκε από τον Steiner η τεχνική καλλιέργειας σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος (NFT) που από το 1966 γνώρισε μεγάλη εξάπλωση στη Μ. Βρετανία. Το 1976 αναπτύχθηκε η τεχνική της καλλιέργειας με υλικό τον ορυκτοβάμβακα στη Δανία, που αποτελεί σήμερα την περισσότερο χρησιμοποιούμενη εμπορική μέθοδο στη Β. Ευρώπη. Τέλος σήμερα σε όλο τον κόσμο έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλές μέθοδοι υδροπονικής καλλιέργειας. (Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.3 Υδροπονικά καλλιεργούμενες εκτάσεις

Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών έχει γίνει σήμερα δημοφιλής σε πάρα πολλές περιοχές του κόσμου και ιδιαίτερα τις οικονομικά ανεπτυγμένες χώρες. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Ολλανδία, περίπου 6.000 στρέμματα κατά την περίοδο 1981-82, έφθασαν πάνω από 100.000 στρέμματα σήμερα. Σχεδόν όλα τα παραγόμενα κηπευτικά σ' αυτή τη χώρα παράγονται υδροπονικά. Στη Βόρειο Αμερική εκτιμάται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των καρποφόρων λαχανικών, που καταναλώνονται, παράγονται υδροπονικά, ανεξάρτητα από τη χώρα παραγωγής τους. Η συνολική έκταση

σ' όλο τον κόσμο εκτιμάται κάπως μικρότερη από 600.000 στρέμματα. Κατ' εκτίμηση, η καλλιεργούμενη έκταση με υδροπονικές μεθόδους σε διάφορες χώρες παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.2.3.



Σχήμα 1.2.3.: Η καλλιεργούμενη έκταση με υδροπονικές μεθόδους σε διάφορες χώρες (Μαυρογιαννόπουλος, 2006).

1.2.4 Μέθοδοι καλλιέργειας

Οι κυριότερες εμπορικές μέθοδοι καλλιέργειας είναι: καλλιέργεια σε υπόστρωμα ορυκτοβάμβακα, σε σάκους ινών καρύδας, σε περλίτη και σε φιλμ θρεπτικού διαλύματος. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε σημαντικό βαθμό, είναι η καλλιέργεια σε άμμο (κυρίως σε τοπική άμμο) και καλλιέργεια σε πριονίδι. Περιπτωσιακά χρησιμοποιείται σ' όλο τον κόσμο και η καλλιέργεια σε χαλίκι μικρής διαμέτρου (φυσικό ή τεχνητό).

1.2.5 Πλεονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Η υδροπονική καλλιέργεια φυτών παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων.

1) Παρέχει την δυνατότητα να καλλιεργηθούν φυτά σε περιοχές όπου τα εδάφη τους δεν είναι κατάλληλα για καλλιέργεια, λόγω κακής ποιότητας του εδάφους (πολύ συνεκτικά ή αλατούχα κ.λπ.), ή σε περιοχές με σοβαρές εδαφογενείς ασθένειες.

2) Τα φυτά απαλλάσσονται από τις ασθένειες εδάφους και επιπλέον δεν υφίσταται η ανάγκη για απολύμανση, το κόστος της οποίας είναι σημαντικό.

3) Δεν υφίσταται η ανάγκη για καταπολέμηση ζιζανίων και διαφόρων άλλων παρασίτων κάτι που συμβάλλει στη μείωση του κόστους παραγωγής.

4) Συμβάλλει στην απλοποίηση του προγράμματος των διαφόρων εργασιών και στον περιορισμό των χειρωνακτικών εργασιών που απαιτούνται κατά την καλλιέργεια, όπως η άρδευση, η καλλιέργεια του εδάφους, κ.α., καθώς αυτές μειώνονται σε σημαντικό βαθμό.

5) Δύναται να επιτευχθούν μεγαλύτερες αποδόσεις και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

6) Η καλλιέργεια των φυτών πραγματοποιείται σε ένα περισσότερο ελεγχόμενο περιβάλλον (π.χ. ελέγχεται το περιβάλλον της ρίζας, ο χρόνος άρδευσης και λίπανσης κλπ.). Ειδικά όταν η καλλιέργεια λαμβάνει χώρα σε θερμοκήπιο ελέγχονται επιπλέον ο φωτισμός, η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύσταση του αέρα.

7) Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση νερού και θρεπτικών στοιχείων, γιατί περιορίζονται οι απώλειες από επιφανειακές διαρροές και βαθιά διείσδυση του νερού στο έδαφος.

8) Αποφεύγεται η ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από τα υπολείμματα λιπασμάτων, ιδιαίτερα στα κλειστά συστήματα.

9) Η θρέψη των φυτών είναι ακριβής και τα θρεπτικά συστατικά βρίσκονται σε εύκολα προσλήψιμες για τα φυτά μορφές. (Benton Jones 2005, Keith 2003 και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.6 Μειονεκτήματα της υδροπονικής καλλιέργειας

Κατά την εφαρμογή της όμως η υδροπονία παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα.

1) Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλό και επιπλέον απαιτούνται αυξημένες τεχνικές ικανότητες για την εγκατάσταση.

2) Απαιτείται προηγμένη τεχνολογία.

3) Αν τα φυτά προσβληθούν από κάποια ασθένεια των ριζών ή νηματώδεις τότε η εξάπλωσης πραγματοποιείται γρήγορα ιδίως στα κλειστά συστήματα.

4) Είναι σχετικά ευαίσθητα συστήματα, χωρίς μεγάλες ανοχές λαθών.

5) Για ένα καλό αποτέλεσμα απαιτούνται περισσότερες από τις συνήθεις γνώσεις του καλλιεργητή.

6) Η προσαρμογή για κάποιες ποικιλίες φυτών στις συνθήκες της υδροπονίας απαιτούν έρευνα.

7) Τα φυτά αντιδρούν γρήγορα όταν υπάρχει διακύμανση στη θρέψη, συνεπώς ο παραγωγός θα πρέπει να παρακολουθεί τα φυτά κάθε μέρα και επιπλέον θα πρέπει να ελέγχεται ανά τακτικά χρονικά διαστήματα η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος (Savvas & Passam 2002, Benton Jones 2005, και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.2.7 Μικροκλίμα

Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο, μπορεί να χωριστούν σε δυο ομάδες:

α) Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμότητα, η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακα.

β) Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμότητα, το νερό, το οξυγόνο, τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και το pH.

1.2.7.1 Θερμοκρασία

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας πρέπει να γίνεται με βάση:

1. την αναγκαιότητα προσαρμογής στις συνθήκες φωτισμού
2. τις ημερήσιες και νυκτερινές θερμικές απαιτήσεις
3. την ανάγκη ύπαρξης ισορροπίας μεταξύ των συνθηκών θερμοκρασίας στον αέρα και το έδαφος
4. τις οικονομικές και τεχνικές δυσκολίες

Για την καλλιέργεια της τομάτας, οι άριστες θερμοκρασίες για τη βλάστηση της γύρης κυμαίνονται ανάμεσα στους 21- 29°C. Θερμοκρασίες υψηλότερες ή χαμηλότερες επηρεάζουν δυσμενώς τη γονιμοποίηση του άνθους. Σε υψηλές θερμοκρασίες επιμηκύνεται υπερβολικά ο στύλος του άνθους, παραμορφώνονται οι ανθήρες και επιβραδύνεται η βλάστηση των γυρεόκοκκων. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 32°C, έστω και για μικρό χρονικό διάστημα, τότε μειώνεται απότομα η καρπώδωση. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, κάτω από 13°C, μειώνεται μέχρι 20% η διάρκεια ζωής και

γύρης και η γονιμότητα της, παραμορφώνονται οι ανθήρες και λιγοστεύει ο αριθμός των ανθέων στις ανθοταξίες (<http://mde-didaktiki.biol.uoa.gr>).

1.2.7.2 Φως

Ο παράγοντας αυτός είναι αποφασιστικής σημασίας για την ομαλή ανάπτυξη και παραγωγή της τομάτας. Παίρνει μέρος και καθορίζει τις περισσότερες και σπουδαιότερες λειτουργίες της. Σε έλλειψη ή ανεπάρκειά του, έστω αν οι λοιποί παράγοντες βρίσκονται σε άριστα επίπεδα, το φυτό δε αναπτύσσεται κανονικά. Το φως επιδρά:

1. στην ανάπτυξη του φυτού και στη διάρκεια του βλαστικού κύκλου
2. στη διαφοροποίηση των ιστών και στη δημιουργία σταθεροποιητικών ουσιών
3. στην ανάπτυξη και αύξηση των ριζών
4. στο μέγεθος, σχήμα, αριθμό, χρωματισμό βλαστών, φύλλων και καρπών
5. στην άνθηση, καρπόδεση, ποσότητα και ποιότητα της παραγωγής (χρώμα, γεύση, κούφωμα, εμφάνιση), πρωιμότητα άνθησης και καρποφορία
6. στη δημιουργία βιταμινών, χρωστικών ουσιών, ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες, ασθένειες κ.α.

Προβλήματα στα φυτά από περίσσεια ή ανεπάρκεια φωτός δημιουργούνται το καλοκαίρι και τον χειμώνα, αντίστοιχα. Το χειμώνα, γιατί δεν επαρκεί να καλύψει τις συνολικές ημερήσιες ανάγκες της καλλιέργειας, ή επαρκεί μόνο για λίγες ώρες την ημέρα, στα επίπεδα που το χρειάζονται τα φυτά. Το λίγο φως, οι χαμηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές υγρασίες την εποχή αυτή, καθιστούν την καλλιέργεια της τομάτας σε πολλές περιοχές προβληματική. Γι' αυτό από τον καλλιεργητή χρειάζεται προσοχή στις ενέργειές του σε θερμοκήπιο, πριν από την κατασκευή του και κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, για να αξιοποιεί στο έπακρον την ηλιακή ακτινοβολία που υπάρχει και να μην χειροτερεύει την κατάσταση. Το καλοκαίρι, προβλήματα δημιουργούνται στην αύξηση του φυτού, στην καρπόδεση και στην ποιότητα των καρπών του. Το φως επιδρά στο φυτό με την ποιότητα, την ένταση και τη διάρκειά του (φωτοπερίοδος). Η τομάτα είναι, μάλλον, μετρίων απαιτήσεων σε φωτοπερίοδο. Ανθίζει και καρποφορεί καλύτερα σε διάρκεια ημέρας κάτω των 12-13 ωρών και σε ένταση φωτός 10.000-40.000 LUX. Αρχίζει να αποσυνθέτει στα 2000 LUX ή και ακόμα λιγότερο. Τεχνητή αύξηση του φωτός στο θερμοκήπιο δεν συνηθίζεται, γιατί

επιβαρύνει υπερβολικά το κόστος της καλλιέργειας. Περισσότερο αυτή εφαρμόζεται στα φυτώρια για αύξηση, κυρίως, της φωτοπερίοδου (Ολύμπιος, 1990).

1.2.7.3 Υγρασία

Είναι παράγοντας, που επηρεάζει πολλές βασικές λειτουργίες του φυτού. Η υγρασία επιδρά στο άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων του φύλλου. Σε φυσιολογικά επίπεδα σχετικής υγρασίας (55-70%) αυτά παραμένουν ανοιχτά. Το άνοιγμά τους δραστηριοποιεί τους μηχανισμούς του φυτού για τον εφοδιασμό του με νερό, με θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος, με διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα κλπ. Είναι προϋπόθεση και για την εξατμισοδιαπνοή, χάρη στην οποία διατηρείται η θερμοκρασία του φυτού σταθερή σε κανονικά επίπεδα. Η υψηλή σχετική υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές για την ανάπτυξη και διάδοση πολλών ασθενειών.

Η άριστη σχετική υγρασία του αέρα στην οποία γίνεται η γονιμοποίηση των ανθέων σε φυτά τομάτας είναι γύρω στο 60-70%. Σε υψηλή σχετική υγρασία ή σε υπερβολικά ξηρή ατμόσφαιρα, η γύρη απελευθερώνεται δύσκολα ή καθόλου. Στις συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας, η γύρη σχηματίζει υγρά συσσωματώματα που δεν είναι εύκολο να επικαθίσουν στον ύπερο και ως εκ τούτου δεν έχουμε ικανοποιητική καρπόδεση.

1.2.7.4 Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι μεγάλης σημασίας για την αύξηση της παραγωγής των φυτών. Σε συγκεντρώσεις 1000-1200 ppm επιταχύνεται ο ρυθμός ανάπτυξης, αυξάνεται η παραγωγή, βελτιώνεται η ποιότητα του προϊόντος. Σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικό και προκαλεί ζημιές στα φυτά. Σε μικρές συγκεντρώσεις καθυστερεί η ανάπτυξη, μειώνεται η παραγωγή και η ποιότητα των προϊόντων.

Στην ατμόσφαιρα η περιεκτικότητά του κυμαίνεται γύρω στα 300 ppm, ενώ μέσα στο θερμοκήπιο φτάνει και σε επίπεδα κάτω των 150 ppm. Είναι φανερό πως είναι συνεχώς παράγοντας περιοριστικός. Τα φυτά έτσι είναι υποχρεωμένα να αναπτύσσονται και να παράγουν σε περιβάλλον με πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις CO₂, που πολλές φορές φτάνουν να είναι μέχρι και 10 φορές χαμηλότερες των κανονικών.

1.2.8 Προβλήματα των Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών στην Ελλάδα

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν μια δυναμική έκφραση της πρωτογενούς παραγωγής. Η παραγωγή όμως των προϊόντων υπό κάλυψη στην Ελλάδα, παρά την πρόοδο που έχει σημειωθεί στον τομέα των θερμοκηπίων, δεν έχει φθάσει ακόμη στη μέγιστη δυνατή ανάπτυξη. Η επέκταση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στην Ελλάδα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον ανταγωνισμό με τις υπαίθριες, πρώιμες και όψιμες καλλιέργειες και με τις εισαγωγές προϊόντων. Λόγω των ήπιων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν τόσο στην Ελλάδα όσο και στις άλλες μεσογειακές χώρες από τον Απρίλιο έως και τον Οκτώβριο, επιτρέπουν την παραγωγή κηπευτικών στην ύπαιθρο, τα οποία ανταγωνίζονται τα αντίστοιχα θερμοκηπιακά κατά την ίδια περίοδο.

Επιπλέον, τα περισσότερα ελληνικά θερμοκήπια είναι υποτυπωδώς εξοπλισμένα (δεν θερμαίνονται, μη σωστός αερισμός), με αποτέλεσμα τη δημιουργία μη ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό των θερμοκηπίων ιδιαίτερα κατά τη θερμή περίοδο του έτους από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο. Επίσης το υψηλό κόστος θέρμανσης και κατασκευής θερμαινόμενων θερμοκηπίων είναι ακόμα δύο παράγοντες που συμβάλλουν στη παραγωγή προϊόντων χαμηλής ποιότητας με αποτέλεσμα τη δύσκολη διάθεσή τους στις αγορές.

Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα συγκεντρώνονται σε περιοχές χωρίς υπερβολικά ψυχρό χειμώνα και με άφθονη ηλιακή ενέργεια. Η Κρήτη, η Πελοπόννησος και τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου είναι οι περιοχές όπου συγκεντρώνεται το 65% των θερμοκηπίων της χώρας. Κατά συνέπεια, παρά τις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες της χώρας μας, το κλίμα που δημιουργείται τελικά, μέσα στα θερμοκήπια απέχει πολύ από το βέλτιστο και είναι ακατάλληλο για την ανάπτυξη των καλλιεργειών για μεγάλο χρονικό διάστημα του έτους. Η υψηλή θερμοκρασία και τα μεγάλα φορτία ακτινοβολίας που εμφανίζονται από την Άνοιξη μέχρι νωρίς το Φθινόπωρο οδηγούν σε υπερθερμάνσεις στο εσωτερικό των θερμοκηπίων και προκαλούν υδατική καταπόνηση της καλλιέργειας.

Υπάρχουν τεχνολογίες κατάλληλες για μεσογειακά θερμοκήπια οι οποίες μπορούν να υιοθετηθούν από τους καλλιεργητές με σημαντικό όφελος στη παράταση της καλλιεργητικής περιόδου τη θερμή περίοδο του έτους, την αύξηση της ποσότητας και ποιότητας της παραγωγής και την εξοικονόμηση ενέργειας. Διάφορες τεχνικές και

τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση των υπερθερμάνσεων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου είναι η σκίαση και ο φυσικός αερισμός, η αποτελεσματικότητά τους όμως είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό έχουν εφαρμοσθεί και άλλες τεχνολογίες όπως είναι ο δροσισμός με εξάτμιση. Τα συστήματα δροσισμού με εξάτμιση βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα είτε μέσω της απευθείας παροχής νερού στην ατμόσφαιρα είτε με ψύξη του αέρα με διέλευσή του μέσα από υγρή παρειά.

1.2.9 Κλειστό-ανοικτό σύστημα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα

Ένα υδροπονικό σύστημα ονομάζεται ανοικτό, όταν το μέρος του θρεπτικού διαλύματος που απορρέει ως πλεονάζον από τον χώρο των ριζών δεν συλλέγεται σε κάποια δεξαμενή ώστε να επαναχρησιμοποιηθεί αλλά απορροφάται από το έδαφος ή συλλέγεται και απορρίπτεται εκτός του θερμοκηπίου. Τα συστήματα αυτά έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι πολύ απλή η εγκατάστασή τους και γι' αυτό κυρίως έχουν γίνει ευρέως δεδομένα. Επίσης κάτι άλλο που τα καθιστά χρήσιμα είναι ότι το θρεπτικό διάλυμα που χορηγείται στα φυτά έχει πάντα σταθερή σύσταση. Επιπλέον παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στην αλατότητα του χρησιμοποιούμενου νερού άρδευσης καθώς επίσης και στη σύσταση και το είδος του υποστρώματος. Παρόλα αυτά έχουν βασικό μειονέκτημα το οποίο είναι ότι ένα ποσοστό του θρεπτικού διαλύματος, το οποίο μπορεί να είναι 15-20% από αυτό που προστίθεται με το νερό της άρδευσης, απορρέει κάθε φορά με αποτέλεσμα να υπάρχει οικονομική επιβάρυνση και κατ' επέκταση για τον παραγωγό αν και αυτό μπορεί να ισοσταθμιστεί από το μειωμένο κόστος εξοπλισμού. Επιπλέον, επειδή συνήθως αυτή η απορροή απορρίπτεται στο έδαφος, προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Κλειστό αντίθετα καλείται ένα υδροπονικό σύστημα όταν το απορρέον θρεπτικό διάλυμα από το χώρο των ριζών συλλέγεται ξανά σε δεξαμενή, ανανεώνεται, συμπληρώνεται, διορθώνεται ως προς το pH και την ηλεκτρική αγωγιμότητα και με την βοήθεια μιας αντλίας οδηγείται ξανά στα φυτά προς επαναχρησιμοποίηση, δηλαδή έχουμε ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει. Σε αυτό το σύστημα επιτυγχάνεται μείωση του κόστους λειτουργίας καθώς υπάρχει μειωμένη κατανάλωση νερού και λιπασμάτων και κατά συνέπεια δεν ρυπαίνεται τόσο το περιβάλλον από τις

απορροές θρεπτικού διαλύματος σε σχέση με τα ανοικτά συστήματα. Σε αντίθεση έχει το μειονέκτημα της ιδιαίτερης ευαισθησίας του συστήματος και του κινδύνου εξάπλωσης ασθενειών στην καλλιέργεια μέσω του ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος, αν αυτό δεν απολυμαίνεται, ακόμη και αν μολυνθεί ένα φυτό αν και αυτό είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί εφαρμόζοντας στο σύστημα μία χημική ουσία. Κατά συνέπεια προκύπτει το υψηλό κόστος επένδυσης για τον εξοπλισμό της απολύμανσης του επανακυκλοφορούμενου θρεπτικού διαλύματος κάτι το οποίο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην εξάπλωση αυτού του τύπου συστήματος. Επίσης ο ρυθμός απορρόφησης νερού και θρεπτικών στοιχείων από τα φυτά δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (έκταση φυλλικής επιφάνειας), τα κλιματικά δεδομένα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιοφάνεια, κλπ.) που επικρατούν σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, κλπ. Επομένως, ο όγκος θρεπτικού διαλύματος που περισσεύει και απομακρύνεται από το ριζόστρωμα μετά την χορήγησή του στα φυτά καθώς και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων που περιέχονται σε αυτό διαφέρουν κάθε φορά. Κατά συνέπεια, οι ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων που πρέπει να προστεθούν στο διάλυμα απορροής δεν είναι σταθερές και γι' αυτό δεν μπορούν να καθορισθούν εκ των προτέρων. Σε κάθε περίπτωση όμως, για να είναι εφικτή από τεχνική και οικονομική άποψη η ανακύκλωση του διαλύματος απορροής, η συμπλήρωσή του με τις κατάλληλες ποσότητες νερού και θρεπτικών στοιχείων θα πρέπει να γίνεται αυτόματα με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού.

Τέλος επειδή από τα ιόντα που προσφέρονται με το θρεπτικό διάλυμα δεν απορροφώνται όλα, αλλά κάποια από αυτά, όπως το Na, παραμένουν στο ανακυκλούμενο θρεπτικό διάλυμα με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται συνεχώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η αλατότητα του θρεπτικού διαλύματος με συνέπεια να υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια.

1.2.10 Υδροπονικά συστήματα

Ένα ολοκληρωμένο υδροπονικό σύστημα αποτελείται από:

1. Το σύστημα παρασκευής και ελέγχου του θρεπτικού διαλύματος που τροφοδοτεί την καλλιέργεια
2. Το σύστημα άρδευσης
3. Το υπόστρωμα και το σύστημα στήριξης της καλλιέργειας
4. Το σύστημα απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος

1.2.11 Υδροπονικές μέθοδοι

Η ανάπτυξη των φυτών έξω από το φυσικό έδαφος δημιουργεί την ανάγκη να δημιουργηθεί ένα τεχνητό ελεγχόμενο περιβάλλον στην περιοχή της ρίζας. Ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό οι υδροπονικές καλλιέργειες μπορεί να ταξινομηθούν σε διάφορα συστήματα και μεθόδους.

Επειδή το οργανικό υπόστρωμα δεν είναι εντελώς αδρανές, η καλλιέργεια σε οργανικά υποστρώματα δε συμπεριλαμβάνεται από μερικούς ερευνητές στην καθαρή υδροπονία, αλλά θεωρείται ως ιδιαίτερο σύστημα καλλιέργειας χωρίς έδαφος.

Γενικά, στην επιχειρηματική παραγωγή μπορούμε να πούμε ότι δεν υπάρχει μια μέθοδος υδροπονικής καλλιέργειας που να δίνει το καλύτερο οικονομικό αποτέλεσμα σ' όλες τις περιπτώσεις. Το βέλτιστο σύστημα καλλιέργειας για μια συγκεκριμένη περιοχή εξαρτάται από παράγοντες όπως: κλίμα, κόστος πρώτων υλών, ενέργειας, εργασίας και το επίπεδο γνώσεων. Η αποδοτικότητα της κάθε μεθόδου πλην των άλλων εξαρτάται και από τη σωστή ρύθμιση της δόσης και της συχνότητας της άρδευσης, που είναι διαφορετικές στις διάφορες μεθόδους, γιατί εξαρτώνται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του περιβάλλοντος της ρίζας.

Για να είναι σε θέση ένα υπόστρωμα να επιτελεί με τον καλύτερο τρόπο τον ρόλο για τον οποίο προορίζεται θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μηδενική ή ελάχιστη εναλλακτική ικανότητα, χημική αδράνεια, σταθερή δομή, κατάλληλο pH και μικρή περιεκτικότητα σε άλατα.
- Ικανοποιητική αναλογία νερού και αέρα στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας
- Ομοιομορφία στην σύσταση, στην εμφάνιση και στην συμπεριφορά από άποψη θρέψης
- Μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού

- Να επιτρέπει την ομαλή κυκλοφορία του θρεπτικού διαλύματος
- Να είναι απαλλαγμένο από παθογόνα, ζωικούς εχθρούς και σπόρους ζιζανίων
- Να είναι εύκολο στη χρήση του και γενικά στους καλλιεργητικούς χειρισμούς
- Να μην πληγώνει τις ρίζες των φυτών (Savvas et al, 2001).

Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται περισσότερο σε επιχειρηματικά θερμοκήπια σήμερα είναι: καλλιέργεια σε ορυκτοβάμβακα (Rockwool Culture), καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT) και καλλιέργεια σε σάκους καρύδας. Άλλα συστήματα που καλλιεργούνται σε σημαντικό βαθμό η καλλιέργεια σε άμμο (κυρίως σε τοπική άμμο, όπως στο Ισραήλ) και καλλιέργεια σε υπόστρωμα από πριονίδι (κυρίως στον Καναδά). Επίσης, αναπτύσσεται αρκετά στην Ελλάδα, στην Ιταλία και στην Αγγλία η καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη, οριζόντιους ή κάθετους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται σε πολύ μικρή όμως κλίμακα και η καλλιέργεια σε ελαφρόπετρα, ενώ σε αρκετές περιοχές σ' όλο τον κόσμο γίνεται η καλλιέργεια σε χαλίκι, μικρής διαμέτρου.

1.2.11.1 Καλλιέργειες σε ανόργανα πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε πετροβάμβακα ή Rockwool Culture

Ο πετροβάμβακας είναι διογκωμένο ανόργανο υλικό. Οι πρώτες ύλες από τις οποίες γίνεται είναι ο βασάλτης, ασβεστόλιθος, και γαιάνθρακας, σε αναλογία 4: 1: 1. Τα υλικά αυτά θερμαινόμενα λιώνουν σε θερμοκρασία 1500-1600°C και εξωθούνται σε καλούπι, έτσι ώστε να διαμορφωθούν σε ίνες. Κατά το κρύωμα ψεκάζεται με φαινολητίνη, που μειώνει την επιφανειακή τάση και αυξάνει τη διαβρεκτικότητα του πετροβάμβακα στο νερό. Οι πόροι καταλαμβάνουν 87-96% του όγκου του. Έχει βάρος 52-75 κιλά ανά m³. Στην αρχή της καλλιέργειας αντιδρά αλκαλικά και γι' αυτό χρειάζεται λίγος χρόνος ώσπου να εξουδετερωθεί. Το pH του είναι περίπου 7. Παρουσιάζει πολύ χαμηλή ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η συνήθης χημική σύνθεση του ορυκτοβάμβακα είναι: SiO 47%, CaO 16%, Al₂O₃ 14%, MgO 10%, FeO 8%, Na₂O 2%, TiO 1%, MnO 1%, K₂O 1% .



Εικόνα 1.1.: Πετροβάμβακας

(http://www.hydrohobby.co.uk/product/grodan_rockwool_cubes/)

Ο πετροβάμβακας χρησιμοποιείται για 1 έως 3 χρόνια και μετά πρέπει να ανακυκλώνεται. Αν δεν είναι δυνατή η ανακύκλωσή του, απορρίπτεται σε βάθος μέσα στο έδαφος και καλύπτεται με παχύ στρώμα χώματος. Η απόρριψή του στον ανοιχτό χώρο εγκυμονεί κινδύνους για τον άνθρωπο, γιατί, όταν στεγνώσει, οι λεπτές ίνες του παρασύρονται από τον άνεμο και αιωρούνται, με αποτέλεσμα να εισέλθουν με την αναπνοή στους πνεύμονες του ανθρώπου.

Καλλιέργεια σε σάκους με περλίτη

Ο περλίτης είναι ορυκτό, αργιλοπυριτικό, ηφαιστειογενούς προέλευσης, με 3-4% κρυσταλλικό νερό. Για την παρασκευή του διογκωμένου περλίτη θερμαίνονται οι κόκκοι του ορυκτού στους 1000°C, όπου λόγω του κρυσταλλικού νερού διογκώνονται. Στην υδροπονία χρησιμοποιούνται διογκωμένοι κόκκοι διαμέτρου 1,5- 3 χιλιοστά. Έχει υψηλό πορώδες 65-82%, αλλά ένα μέρος του είναι κλειστό πορώδες. Το βάρος του είναι 94-128 kgf/m³ και μπορεί να συγκρατήσει 3πλάσιο ή 4πλάσιο νερό σε σχέση με το βάρος του. Το pH στην αρχή είναι 6,5-7,5, δεν έχει σημαντική ρυθμιστική ούτε και εναλλακτική ικανότητα ιόντων και δεν περιέχει άλατα.



Εικόνα 1.2.: Περλίτης (<http://plantpropagation.com/propagationmedia.htm>)

Ο περλίτης, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που υφίσταται κατά την Παρασκευή του, θεωρούνται αποστειρωμένα υλικά (απαλλαγμένα μικροοργανισμών). Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όμως, ώστε να μη μολύνονται με έδαφος κατά τους χειρισμούς της τοποθέτησής τους στο χώρο καλλιέργειας.

Καλλιέργεια φυτών σε κατακόρυφη στήλη

Το σύστημα κατακόρυφης καλλιέργειας δημιουργείται με κρεμάμενους σάκους ή με αυτοστηριζόμενους πλαστικούς σωλήνες είτε με κιβώτια που τοποθετούνται κατακόρυφα, το ένα πάνω στο άλλο. Ως πορώδες υπόστρωμα χρησιμοποιείται συνήθως περλίτης ή κάποιο μείγμα περλίτη και οργανικού υλικού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για μικρού ύψους φυτά. Το ύψος της κάθε στήλης καλά είναι να μην υπερβαίνει το 1,5m, για θερμοκήπια μέσου ύψους, γιατί δημιουργείται έντονος ανταγωνισμός για το φως στα κατώτερα φυτά.

Η άρδευση γίνεται με σταλάκτες που τοποθετούνται ένας στο υψηλότερο σημείο της στήλης και τουλάχιστον άλλος ένας στα 2/3 του ύψους της στήλης. Το σύστημα μπορεί να δημιουργηθεί ανοιχτό ή κλειστό.

Καλλιέργεια σε σάκους με ελαφρόπετρα

Η Ελληνική ελαφρόπετρα είναι προϊόν της δράσης του ηφαιστείου της Νισύρου ή της Θήρας πριν 200.000 χρόνια. Χαρακτηρίζεται από πορώδη δομή που προέρχεται από τη διαφυγή αερίων της λάβας κατά την απότομη ψύξη του μείγματος. Οι ιδιότητές της

ήταν γνωστές από την αρχαιότητα. Η κοκκομετρική ποικιλία που κυκλοφορεί στην αγορά είναι: 0-5mm, 0-8mm και 5-8mm και 0-16mm. Το pH της ελαφρόπετρας είναι σχεδόν ουδέτερο και η ηλεκτρική αγωγιμότητά της χαμηλή. Κατά

μέσο όρο η ελαφρόπετρα αποτελείται από οξείδιο του πυριτίου 72%, οξείδιο του αργιλίου 12,7%, τριοξείδιο του σιδήρου 1,1%, οξείδιο του ασβεστίου 1,5%, οξείδιο του μαγνησίου 0,3%, οξείδιο του καλίου 4,3%, οξείδιο του νατρίου 3,5% και διάφορα άλλα απροσδιόριστα 4,8%.

Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους, σε δοχεία, σε υπερυψωμένα κανάλια καλλιέργειας, τα οποία δημιουργούνται με πολυστερίνη ή πλαστικό φύλλο στηριγμένο σε μεταλλικό σκελετό.



Εικόνα 1.3.: Ελαφρόπετρα (<http://www.google.gr/imgres>)

Καλλιέργεια σε άμμο

Ανόργανο υλικό με pH περίπου 7 (εξαρτάται πολύ από την προέλευση και το μητρικό υλικό). Δε χρησιμοποιείται η άμμος που προέρχεται από ασβεστόλιθο, γιατί με το όξινο θρεπτικό διάλυμα, που χρησιμοποιείται στις υδροπονικές καλλιέργειες, διαλυτοποιείται το ασβέστιο. Έχει χαμηλό πορώδες 36-38% και παρουσιάζει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού. Είναι ένα βαρύ υλικό, πολύ βαρύτερο από όλα τα διογκωμένα υλικά που χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα (1503-1822 kg/m³).



Εικόνα 1.4.: Άμμος (<http://plantpropagation.com/propagationmedia.htm>)

Έχει χαμηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα. Η άμμος που προέρχεται από ποταμούς δεν περιέχει άλατα, αλλά πριν χρησιμοποιηθεί απαιτείται να αποστειρωθεί.

Η καλλιέργεια γίνεται συνήθως με το ανοιχτό σύστημα μέσα σε λεκάνες ή αυλάκια που δημιουργούνται στο έδαφος και απομονώνονται από το υπόλοιπο έδαφος με πλαστικό φύλλο.

Καλλιέργεια σε λεκάνες με χαλίκια

Είναι ένα κλειστό σύστημα καλλιέργειας. Με τη μέθοδο αυτή τα φυτά αναπτύσσονται σε λεκάνες πλάτους 80-120 εκατοστών του μέτρου και βάθους 20 έως 30 εκατοστών (Όταν η λεκάνη βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους και καλλιεργούνται μικρού ύψους φυτά, επιλέγεται το μικρότερο πλάτος της λεκάνης, γιατί διευκολύνονται οι καλλιεργητικές εργασίες).

Η τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος σε αυτό το σύστημα γίνεται με συνεχή πλημμυρικά γεμίσματα της λεκάνης μέχρι ύψους 5 εκατοστών από το χείλος της και στη συνέχεια, από το χαμηλότερο σημείο της λεκάνης στραγγίζει το θρεπτικό διάλυμα πίσω στη δεξαμενή.

Το χαλίκι που χρησιμοποιείται προέρχεται κυρίως από γρανίτη διαμέτρου 3-12mm. Δε χρησιμοποιείται χαλίκι που προέρχεται από ασβεστόλιθο γιατί διαλυτοποιείται το ασβέστιο από το όξινο θρεπτικό διάλυμα. Η ρίζα αναπτύσσεται μέσα στις κροκάλες, συγκρατώντας στην επιφάνειά της νερό σε κάθε πλημμυρίδα. Η συχνότητα της άρδευσης ρυθμίζεται, έτσι ώστε η πλημμυρίδα να ξεκινά μόλις έχει γίνει πλήρης στράγγιση του θρεπτικού διαλύματος από τη λεκάνη. Η κατάληψη του χώρου της λεκάνης από το νερό και η απόσυρσή του δρα και ως αντλία αέρα, διευκολύνοντας την καλή οξυγόνωση της ρίζας.

Καλλιέργεια σε βερμικουλίτη

Ανόργανο υλικό με pH περίπου 7-8. Έχει υψηλή ικανότητα συγκράτησης νερού, Υψηλό πορώδες 74-85% και χαμηλή πυκνότητα (107-158kg/m³). Δεν περιέχει άλατα, αλλά έχει υψηλή ρυθμιστική και εναλλακτική ικανότητα. Λόγω της υψηλής ρυθμιστικής και εναλλακτικής ικανότητας ιόντων, σπάνια χρησιμοποιείται μόνο του ως υπόστρωμα υδροπονικών καλλιεργειών. Χρησιμοποιείται μερικές φορές σε μείγματα.



Εικόνα 1.4. : Βερμικουλίτης (<http://plantpropagation.com/propagationmedia.htm>)

1.2.11.2 Καλλιέργειες σε οργανικά πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε σάκους τύρφης

Η τύρφη με τη γενική έννοια περιγράφεται ως οργανικό υλικό που αποτελείται απόμερικώς αποδομημένα υπολείμματα φυτών.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες της τύρφης την κάνουν ένα πολύ κατάλληλο υπόστρωμα για την ανάπτυξη των φυτών. Εκτιμάται ότι υπάρχουν 150 εκατομμύρια εκτάρια τυρφωδών εκτάσεων στον κόσμο, με μεγαλύτερους προμηθευτές για τη Δυτική Ευρώπη, τη Φινλανδία και τις χώρες της πρώην Σοβ. Ένωσης.

Η τύρφη γενικά σχηματίζεται με βραδεία αποσύνθεση των φυτικών ιστών σε περιβάλλον με σχετική έλλειψη οξυγόνου. Τέτοιες συνθήκες επικρατούν σε αβαθή, πλημμυρισμένα από νερό μέρη και ιδιαίτερα στις λιμνώδεις εκτάσεις των βόρειων ψυχρών περιοχών.

Γενικά, τα στρώματα της τύρφης που απαντώνται υψηλότερα στο έδαφος περιέχουν τύρφη λιγότερο αποδομημένη ξανθού χρωματισμού. Τα στρώματα της τύρφης που κείνται βαθύτερα στο έδαφος περιέχουν τύρφη περισσότερο αποδομημένη με σκουρότερο χρωματισμό (μαύρη τύρφη).

Η καλλιέργεια γίνεται σε σάκους γεμάτους τύρφη που έχει εμπλουτισθεί με βραδείας απελευθέρωσης λιπάσματα. Απαιτείται όμως και πρόσθετη χρήση διαλυτών λιπασμάτων, καθώς και ιχνοστοιχείων κατά το πότισμα.

Η μέθοδος αυτή με τις τύρφες, ενώ βοήθησε τα πρώτα χρόνια να αποφευχθούν οι ασθένειες εδάφους και έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα στην παραγωγή, σήμερα

εγκαταλείπεται, γιατί παρουσιάζει συχνά προβλήματα στην άρδευση (Puustjarvi 1968), η διαχείριση του νερού είναι σχετικά δύσκολη και απαιτεί μεγάλη προσοχή ιδίως το καλοκαίρι. Όταν στεγνώσει η τύρφη δεν απορροφά ομοιόμορφα σ' όλη τη μάζα της το νερό που πέφτει από το σταλάκτη. Το νερό συνήθως κυλά από την περιφέρεια, χωρίς να διαβρέχει το κέντρο. Δεν εφαρμόζεται ανακύκλωση του διαλύματος με τη μέθοδο αυτή.

Καλλιέργεια σε ίνες καρύδας

Είναι οργανικό υλικό, υποπροϊόν που προέρχεται από τους καρπούς της καρύδας. Η καρύδα αναπτύσσεται στις τροπικές περιοχές, μεγάλη παραγωγή υπάρχει στην Ινδία. Πρωτοεμφανίστηκε στην αγορά ως υπόστρωμα καλλιέργειας το 1980. Πριν προωθηθεί στο εμπόριο, πλένεται, ζυμώνεται για μερικές εβδομάδες ή και μήνες και αφυδατώνεται κατά ένα μεγάλο μέρος. Το υπόστρωμα παρουσιάζει σταθερότητα και πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της ρίζας.



Εικόνα 1.5: Αριστερά: δισκία ινών καρύδας. Δεξιά: πλάκα από ίνες καρύδας.

(<http://www.valentine.gr/seeds1001.php>)

1.2.11.3 Μέθοδοι καλλιέργειας χωρίς πορώδη υποστρώματα

Καλλιέργεια σε μεμβράνη θρεπτικού διαλύματος (NFT)

Τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, όπου ρέει ένα πολύ ρηχό ρεύμα (2-3 mm) ανακυκλούμενου θρεπτικού διαλύματος. Κατά τη διάρκεια της ροής του το διάλυμα βρέχει τις ρίζες των φυτών και ένα μέρος του απορροφάται από αυτές. Η ρίζα αναπτύσσεται επάνω στο θρεπτικό διάλυμα, χωρίς να υπάρχει πορώδες υπόστρωμα. Τα κανάλια που βρίσκονται οι ρίζες των φυτών έχουν κλίση 1,5-2% και το θρεπτικό διάλυμα τροφοδοτείται στο υψηλότερο σημείο από όπου διατρέχει όλη την υδρορροή κατά μήκος και αφού φθάσει στο τέλος της, απορρέει και μέσω ειδικά τοποθετημένων σωλήνων ή υδρορροών συλλέγεται και συγκεντρώνεται όλο μαζί σε

κάποιο ειδικό δοχείο συγκέντρωσης. Από το δοχείο αυτό το διάλυμα οδηγείται ξανά στην κεντρική μονάδα παρασκευής και διανομής του διαλύματος, είτε μέσω μίας αντλίας, είτε μέσω ελεύθερης ροής, εφόσον υπάρχει υψομετρική διαφορά. Εκεί, το συλλεχθέν διάλυμα συμπληρώνεται με νερό και θρεπτικά στοιχεία ώστε να αποκτήσει ξανά τις επιθυμητές τιμές pH και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ξαναχρησιμοποιείται.



Εικόνα 1.6.: Καλλιέργεια με τη μέθοδο NFT

<http://www2.buildinggreen.com/user?destination=http%3A%2F%2Fwww.buildinggreen.com%2Fauth%2Fimage.cfm%3FIMAGENAME%3Dimages%2F1802%2FNFT.jpg%26FILENAME%3D180201a.xml>

&

<http://www.container-gardening-for-you.com/nft-hydroponics.html>

Καλλιέργεια σε πολλαπλά κανάλια (NGS)

Τα φυτά αναπτύσσονται σε μακριά αδιάβροχα κανάλια, χωρίς πορώδες υπόστρωμα. Το κάθε κανάλι αποτελείται από τρία τουλάχιστον διαμερίσματα, τοποθετημένα το ένα κάτω από το άλλο, τα οποία επικοινωνούν μεταξύ τους με μεγάλες οπές. Το θρεπτικό διάλυμα ψεκάζεται στη ρίζα στο επάνω διαμέρισμα και με τη βαρύτητα ρέει προς τα κάτω και επιστρέφει στη δεξαμενή με το θρεπτικό διάλυμα. Η ρίζα αναπτύσσεται στο θρεπτικό διάλυμα διεισδύοντας σε όλα τα διαμερίσματα.

Καλλιέργεια σε λεκάνες θρεπτικού διαλύματος

Εδώ, τα φυτά αναπτύσσονται σε λεκάνες οι οποίες είναι συνεχώς γεμάτες με θρεπτικό διάλυμα και τα φυτά έχουν συνεχώς τη ρίζα τους εμβαπτισμένη στο διάλυμα. Τα φυτά είναι τοποθετημένα σε πλάκες πολυστερίνης με οπές για την έξοδο των ριζών, ενώ αντλίες αέρα εφοδιάζουν συνεχώς με αέρα το θρεπτικό διάλυμα.

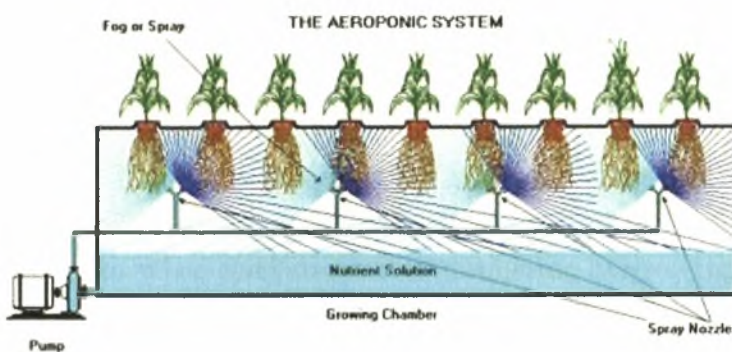
Καλλιέργεια με τη μέθοδο της αεροπονίας

Η αεροπονία είναι μία παραλλαγή της υδροπονίας σε καθαρό θρεπτικό διάλυμα χωρίς τη χρήση υποστρώματος, στο οποίο τα φυτά αναπτύσσονται σε μικρά αδιάβροχα κανάλια σταθερού σχήματος, όπου το ριζικό σύστημα, αντί να βρίσκεται συνεχώς μέσα στο θρεπτικό διάλυμα, αυτό ψεκάζεται με ακροφύσια πάνω στο αναπτυσσόμενο μέσα σε κενά κιβώτια ή φυτοδοχεία ριζικό σύστημα, έτσι ώστε ο χώρος να είναι συνεχώς κορεσμένος σε υγρασία. Κατά αυτόν τον τρόπο η ρίζα του φυτού παραμένει συνεχώς υγρή και μπορεί να απορροφά από το διάλυμα που ψεκάζεται πάνω της τόσο νερό όσο και θρεπτικά στοιχεία. Το θρεπτικό διάλυμα που δεν απορροφάται από τις ρίζες των φυτών αλλά αποστραγγίζει μετά από κάθε ψεκασμό, συνήθως συλλέγεται και ανακυκλώνεται. Η ύπαρξη ανοιχτών αεροπονικών συστημάτων είναι επίσης δυνατή. Στην περίπτωση αυτή όμως είναι αναπόφευκτη η σπατάλη νερού και λιπασμάτων.



Εικόνα 1.7.: Καλλιέργεια με αεροπονία

(<http://youngagropreneur.wordpress.com/2011/09/29/hydroponics-aquaponics-and-aeroponics/>)



Εικόνα 1.8. : Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος αεροπονίας

(<http://todayinsocialsciences.blogspot.gr/2010/12/hydroponics-and-aeroponics.html>)

1.2.12 Παρασκευή θρεπτικού διαλύματος

Στην υδροπονία θρεπτικό διάλυμα, καλείται το υδατικό διάλυμα που περιέχει με την μορφή ιόντων όλα εκείνα τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την σωστή θρέψη των φυτών.

Το σύστημα παρασκευής του θρεπτικού διαλύματος περιλαμβάνει :

- την εγκατάσταση παροχής νερού (γεώτρηση, σύνδεση με αρδευτικό κ.τ.λ.)
- τα φίλτρα
- την δεξαμενή ανάμειξης (μόνο στα κλειστά υδροπονικά συστήματα)
- τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων

Η σύνθεση του θρεπτικού διαλύματος προκύπτει από την αραίωση, με το νερό της άρδευσης, πυκνότερων διαλυμάτων, όπου τα τελευταία περιέχουν την απαιτούμενη αναλογία θρεπτικών στοιχείων. Τα πυκνότερα διαλύματα ονομάζονται μητρικά διαλύματα και τοποθετούνται σε δοχεία τα οποία έχουν χωρητικότητα 100 –1000 λίτρων. Συνήθως υπάρχουν τρία δοχεία (Α, Β και Γ) εκ των οποίων το πρώτο περιέχει τα οξέα νιτρικό και φωσφορικό ώστε να ρυθμίζεται ακριβέστερα το pH, στο δεύτερο περιέχονται νιτρικό άλας και χηλικός σίδηρος και στο τρίτο δοχείο υπάρχουν όλα τα άλλα στοιχεία. Στη συνέχεια είτε παρεμβάλλεται μία δεξαμενή ανάμειξης (στα κλειστά συστήματα) είτε η ανάμειξη γίνεται στην διαδρομή του νερού μέσα στον σωλήνα τροφοδοσίας (στα ανοιχτά συστήματα).

Στην περίπτωση που υπάρχει δεξαμενή ανάμειξης τα μητρικά διαλύματα από τα δοχεία πυκνών διαλυμάτων μαζί με το καθαρό νερό και το διάλυμα που επιστρέφει από τα φυτά οδηγούνται και αναμειγνύονται στη δεξαμενή ανάμειξης. Στη δεξαμενή τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος είναι απαραίτητος ο έλεγχος της αγωγιμότητας και του pH του θρεπτικού διαλύματος. Αυτό γίνεται με κατάλληλους αισθητήρες ή με φορητές συσκευές.

Στην άλλη περίπτωση τα λιπαντικά στοιχεία εγχύνονται κατευθείαν στο αρδευτικό δίκτυο. Στο τέλος πραγματοποιείται αυτόματος έλεγχος της αγωγιμότητας και του pH του διαλύματος.

Σε κάθε περίπτωση είναι αναγκαίο να υπάρχουν φίλτρα τόσο για τον καθαρισμό του νερού άρδευσης όσο και για τον καθαρισμό των θρεπτικών διαλυμάτων από τυχόν ακαθαρσίες. Τέλος υπάρχουν τροφοδοτικές αντλίες που στέλνουν το θρεπτικό διάλυμα με την βοήθεια αγωγών στα φυτά.

Για το φυτό της τομάτας το επιθυμητό pH είναι 5,0-6,5 και η αλατότητα στην περιοχή του ριζοστρώματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 3 dS/m (Benton Jones 2005, www.agrek.gr και Μαυρογιαννόπουλος 2006).

1.3 Σκοπός εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής διατριβής είναι να μελετηθεί η επίδραση της διαχείρισης άρδευσης στην ανάπτυξη και στην παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν δύο τρόποι άρδευσης, η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία του υποστρώματος, με σκοπό να βρεθεί η επίδραση που έχουν στο ύψος των φυτών, στον αριθμό των φύλλων, στον αριθμό των παραγόμενων καρπών, στη φυλλική επιφάνεια, στο βάρος των καρπών, καθώς και στη συνολική παραγωγή.

Κεφάλαιο 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

2.1 Αρδευτικά συστήματα

Γενικά, τα συστήματα άρδευσης μεταφέρουν το νερό στα φυτά. Στην υδροπονία, τα συστήματα άρδευσης μεταφέρουν και το θρεπτικό διάλυμα στο υπόστρωμα, αν υπάρχει. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υπόστρωμα μεταφέρουν το νερό στις ρίζες των φυτών.

Η συχνότητα και η δόση άρδευσης στα εμπορικά υδροπονικά συστήματα ρυθμίζονται αρχικά από τις απαιτήσεις της καλλιέργειας σε νερό. Οι απαιτήσεις του φυτού σε νερό μπορούν να προσδιοριστούν άμεσα ή έμμεσα. Αν και οι άμεσες μετρήσεις της κατανάλωσης του νερού από το φυτό χρησιμοποιούνται βασικά για διαγνωστικούς σκοπούς, δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στον έλεγχο της άρδευσης, γιατί η μείωση της πρόσληψης του νερού μπορεί να προκληθεί από παράγοντες διαφορετικούς από αυτούς της ανεπάρκειας διαθεσιμότητας νερού στη ζώνη του ριζοστρώματος. Ο έμμεσος υπολογισμός της χρήσης του νερού χρησιμοποιείται για έλεγχο σε ποικίλα αρδευτικά συστήματα, αλλά θα πρέπει να ελέγχεται συνέχεια και να βαθμονομείται ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική ή η ανεπαρκής άρδευση.

Υπάρχουν δύο συγκεκριμένα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ριζικού συστήματος με τα οποία μπορεί να γίνει κατανοητή η διαχείριση της άρδευσης. Το ένα είναι ότι το ριζόστρωμα συμπεριφέρεται σαν δεξαμενή η οποία θα πρέπει να ξαναγεμίζεται σε κάθε πτώση ενός συγκεκριμένου επιπέδου και το άλλο ότι το ριζόστρωμα σχηματίζει έναν αγωγό μεταφοράς συστατικών στην επιφάνεια της ρίζας. Σαν δεξαμενή η ζώνη του ριζοστρώματος αποθηκεύει ποικίλα συστατικά απαραίτητα για την ανάπτυξη του φυτού και την επιβίωσή του. Όταν οποιοδήποτε από αυτά τα συστατικά εκλείπει θα πρέπει να ξαναπροστεθεί μέσω της άρδευσης. Είναι επίσης πιθανό κάποια συστατικά να υπάρχουν σε υπερβολικές ποσότητες και πάλι μέσω της άρδευσης αυτό θα πρέπει να διορθωθεί.

Το ριζικό σύστημα επίσης λειτουργεί ως αγωγός για τα παραπάνω υλικά. Τα στοιχεία που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της ρίζας είναι διαθέσιμα στο φυτό και οι ρίζες χρησιμοποιούν ενεργές διαδικασίες για τη μεταφορά τους μέσα στο φυτό. Αυτό μειώνει τα συστατικά που βρίσκονται στο άμεσο περιβάλλον των ριζών.

Με τα αρδευτικά συστήματα στην υδροπονία επιτυγχάνονται οι εξής διαδικασίες

1. παρέχεται η κατάλληλη ποσότητα νερού για την κάλυψη των αναγκών των φυτών
2. αναπληρώνονται τα διάφορα στοιχεία, τα οποία αποθηκεύονται στη ζώνη του ριζοστρώματος
3. παρέχονται με μαζική ροή τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά μέσω του αγωγού.

Δεδομένου ότι η μαζική ροή είναι ταχύτερη στη μετακίνηση των συστατικών από τη διάχυση, μπορεί να εφαρμοστεί συχνότερη άρδευση. Στα υδροπονικά συστήματα αυτού του είδους ο έλεγχος είναι εφικτός εφόσον ελέγχονται όλοι οι άλλοι παράγοντες του συστήματος.

Οι αποδόσεις που προκύπτουν από τα υδροπονικά συστήματα είναι γενικά υψηλότερες από τις καλλιέργειες στο έδαφος (Ho and Adams, 1995). Εν μέρει, αυτό οφείλεται στην εντατική διαχείριση της άρδευσης, η οποία δημιουργεί ένα άριστο ριζικό σύστημα για την ανάπτυξη του φυτού. Επιπλέον η ικανότητα χρήσης του νερού (WUE) είναι υψηλότερη στα υδροπονικά συστήματα, γιατί το θρεπτικό διάλυμα εφαρμόζεται σχεδόν απευθείας στα ρίζες και δίνει στο φυτό αποτελεσματική πρόσβαση στα συστατικά που απαιτούνται για βέλτιστη ανάπτυξη.

Η ανάπτυξη των φυτών στην υδροπονία σχετίζεται με την παροχή του νερού, των θρεπτικών συστατικών και του οξυγόνου. Η παροχή του νερού και των θρεπτικών μπορεί να ρυθμιστεί μ' ένα αποτελεσματικό σύστημα άρδευσης και με έλεγχο της συχνότητας άρδευσης. Οι διαφορές στα επίπεδα O_2 , CO_2 και στο αιθυλένιο στη ζώνη του ριζοστρώματος έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζονται από το μέσο του υποστρώματος και από τη συχνότητα άρδευσης. Ο επαρκής αερισμός της ριζόσφαιρας είναι σημαντικός για το φυτό γιατί οι ρίζες απαιτούν οξυγόνο για την αναπνοή, η οποία με τη σειρά της είναι απαραίτητη για την επαρκή θρέψη και πρόσληψη του νερού. Τα υποστρώματα με καλά αεριζόμενους πόρους επιτρέπουν την ανταλλαγή αερίων μέσα στο ριζόσπρωμα. Επιπλέον ένα θρεπτικό διάλυμα πλούσιο σε διαλυτό οξυγόνο μπορεί να βελτιώσει την ανάπτυξη του φυτού και τη σταθερότητα του συστήματος (Savvas and Passam 2002).

Τα υδροπονικά συστήματα είναι είτε κλειστά είτε ανοιχτά. Στα ανοικτά υδροπονικά συστήματα το θρεπτικό διάλυμα που απορρέει μετά από κάθε άρδευση, αποβάλλεται στο φυσικό περιβάλλον. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες λιπασμάτων με την απορροή και την μόλυνση του εδάφους και του υπόγειου

υδροφόρου ορίζοντα. Οι δύο αυτοί λόγοι οδήγησαν στην εφαρμογή κλειστών υδροπονικών συστημάτων, στα οποία το απορρέον διάλυμα επαναχρησιμοποιείται. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ολικής κατανάλωσης νερού της τάξης του 10- 15% και μείωση της κατανάλωσης λιπασμάτων. Σ' ένα ανοιχτό υδροπονικό σύστημα θα πρέπει το αρδευτικό σύστημα να είναι ικανό να δημιουργεί λίγα απορρέόμενα και να μειώνει τη συσσώρευση των αλάτων. Στα κλειστά συστήματα η συσσώρευση των αλάτων διαχειρίζεται με τη δυναμική μείωση των λιπασμάτων, που διαλύονται στο νερό ώστε να επαναφέρεται στην αρχική κατάσταση το διάλυμα απορροής. Με αυτό τον τρόπο το θρεπτικό διάλυμα ανακυκλώνεται μέχρι οι συγκεντρώσεις ενός ή περισσοτέρων ιόντων να φτάσουν σ' ένα σημείο που δεν μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω. Σημαντικό μειονέκτημα των κλειστών υδροπονικών συστημάτων είναι η ευκολία εξάπλωσης ασθενειών μέσω του ανακυκλούμενου στα φυτά της καλλιέργειας. Το υψηλό κόστος επένδυσης, σε εξοπλισμό απολύμανσης του θρεπτικού διαλύματος που επαναχρησιμοποιείται είναι ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες εφαρμογής και διάδοσης των συστημάτων αυτών.

Ένα σύστημα άρδευσης περιλαμβάνει:

(1) μια πηγή νερού ή και μια δεξαμενή αποθήκευσης. Για τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση νερού, χρησιμοποιείται μια δεξαμενή όμβριων υδάτων, ενώ για το βραχυπρόθεσμο ανεφοδιασμό, χρησιμοποιούνται δεξαμενές που έχουν την ικανότητα να προσφέρουν ικανοποιητική ποσότητα νερού σε όλα τα φυτά για μια ημέρα.

(2) ένα σύστημα παροχής νερού.

(3) στα κλειστά συστήματα, απαιτείται ένα σύστημα διοχέτευσης και μια δεξαμενή για την ανακύκλωση του θρεπτικού διαλύματος.

(4) το νερό θα πρέπει να φιλτραριστεί και να απολυμανθεί πριν από την επαναχρησιμοποίησή του. Οι συνηθέστεροι μέθοδοι απολύμανσης του νερού είναι το όζον και η χλωρίωση.

Στην τομάτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικές μέθοδοι εφαρμογής του νερού άρδευσης:

α) μέθοδος του καταιονισμού από ψηλά, που είναι χρήσιμη για την προετοιμασία του εδάφους πριν τη μεταφύτευση, για την εγκατάσταση των φυτών μετά τη μεταφύτευση, για τη γονιμοποίηση των ανθέων (δόνηση), για την εφαρμογή

διαφυλλικών λιπασμάτων και φαρμάκων, και για την κατάβρεξη των φυτών και διαδρόμων όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες.

β) μέθοδος εφαρμογής του νερού στο έδαφος, που είναι χρήσιμη για το πότισμα, για την υγρή λίπανση της καλλιέργειας σε όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να αυτοματοποιηθούν σε μεγάλο βαθμό, για τη μείωση του κόστους των εργατικών. Καλόν είναι τα θερμοκήπια να έχουν εγκαταστάσεις και για τις δύο μεθόδους αν και η μέθοδος καταιονισμού έχει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των προβλημάτων προσβολής από ασθένειες (Βοτρύπης), που δημιουργεί η διαβροχή των φύλλων και βλαστών των φυτών. Επίσης, η διαβροχή των διαδρόμων και χώρων μεταξύ των γραμμών δημιουργεί δυσκολίες στις καλλιεργητικές περιποιήσεις (κλάδεμα, ψέκασμα, συγκομιδή κ.λπ.). Δεν παύει, όμως, η μέθοδος να είναι χρήσιμη για τους λόγους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Υπάρχουν βέβαια διαφορετικοί τύποι εκτοξευτήρων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανάλογα με το σκοπό που καλούνται να εξυπηρετούν.

2.1.1 Μέθοδος στάγδην

Είναι το πλέον διαδεδομένο σήμερα σύστημα ποτίσματος στο θερμοκήπιο διότι το νερό παρέχεται με ακρίβεια και ομοιομορφία σε υψηλή συχνότητα σε σύγκριση με άλλα συστήματα άρδευσης (Hanson & Donald, 2006).

Χρησιμοποιούνται μαύροι πλαστικοί σωλήνες μικρής σχετικής διαμέτρου 12-20 χλστ. Πάνω στους οποίους εφαρμόζονται ή ενσωματώνονται σταλακτήρες που σήμερα κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία στο εμπόριο. Οι σωλήνες συνήθως τοποθετούνται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, ένας για κάθε γραμμή φυτών ή ένας για δύο γραμμές φυτών. Στη δεύτερη περίπτωση, από τους κεντρικούς σωλήνες ξεκινούν πολύ λεπτά σωληνάκια διαμέτρου 1-2 χλστ. (macaroni tubes) που καταλήγουν ένας για κάθε φυτό. Η άκρη του σωληνάριου στερεώνεται σε μικρό ειδικό πασαλάκι κοντά στο φυτό. Η παροχή στο σύστημα στάγδην είναι μικρή, συνήθως 2-8 λίτρα/ώρα και το νερό απορροφάται και διαβρέχει έναν όγκο εδάφους, (στα ελαφρά εδάφη πιο περιορισμένη) την ποσότητα του νερού που εφαρμόζεται και τη συχνότητα εφαρμογής του. Το σύστημα παρέχει ομοιόμορφη κατανομή νερού σε όλα τα φυτά, συνδυάζεται άριστα με την παροχή υγρής λίπανσης και ποτίζεται ταυτόχρονα μεγάλη έκταση, γιατί η παροχή είναι μικρή, έχει όμως σχετικά υψηλό κόστος αρχικής εγκατάστασης. Η χρήση όμως

μιας γραμμής άρδευσης για δύο γραμμές φυτών, με τα λεπτά σωληνάκια (macaroni tubes) μειώνει σημαντικά το αρχικό κόστος εγκατάστασης (Ολύμπιου Χ., 2001).

Πιο συγκεκριμένα στον περλίτη, υπάρχουν κοντά στη βάση του σάκου οπές, οι οποίες επιτρέπουν το νερό να απορρέει από το σάκο ενώ στο κατώτατο σημείο του σάκου παραμένει μια μικρή ποσότητα νερού και θρεπτικού διαλύματος. Στο σύστημα τοποθετούνται όργανα μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του pH έτσι ώστε να παρέχουν μια συνεχή μέτρηση των επιπέδων αλατότητας στο σάκο του υποστρώματος (Howard M. Resh).

Για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος στάγδην, μπορούν να συμπεριληφθούν στην εγκατάσταση φίλτρα, μετρητές πίεσης για ρύθμιση παροχής, ρυθμιστές πίεσης, μετρητές νερού για ακριβή καθορισμό της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται κ.α. Το σύστημα άρδευσης μπορεί να αυτοματοποιηθεί και να ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή (Ολύμπιου Χ., 2001).

2.2 Προσδιορισμός αναγκών σε νερό

Οι απώλειες νερού από το έδαφος λόγω χρήσης από το φυτό, εξάτμισης κ.λπ., προσδιορίζονται είτε εμπειρικά από τον καλλιεργητή με παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών, μακροσκοπικές εξετάσεις της υγρασίας του εδάφους (πίεση στην παλάμη), οπτική εξέταση των φυτών είτε με τη χρήση επιστημονικών μεθόδων μεγαλύτερης ακρίβειας. Στις τελευταίες, περιλαμβάνονται φυσικές μέθοδοι προσδιορισμού των αναγκών σε νερό, με μετρήσεις της υγρασίας του εδάφους με τασίμετρα, ηλεκτρικές αντιστάσεις, ατομική ενέργεια, προσδιορισμό με βάση τις καιρικές συνθήκες κυρίως ηλιακής ακτινοβολίας (μετεωρολογικές παρατηρήσεις σειράς ετών και μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας) και με μέτρηση εξάτμισης στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.

Η μέτρηση της εξάτμισης γίνεται εύκολα με απλά τεχνητά μέσα (κυλινδρικό «ταψί», με μικρομετρικό μηχανισμό μέτρησης της διαφοράς ύψους νερού σε δύο χρονικές στιγμές). Το «εξατμισίμετρο» τοποθετείται λίγο πιο κάτω από το ύψος της αναπτυσσόμενης κορυφής των φυτών και σε αντιπροσωπευτική θέση μέσα στο θερμοκήπιο. Από τις μετρήσεις του εξατμισίμετρου υπολογίζεται η ποσότητα του νερού σε χλστ. που έχει εξατμιστεί και που είναι αποτέλεσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας και της κινητικότητας του αέρα που επικράτησαν στο θερμοκήπιο. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ποσότητα που πρέπει να προστεθεί με το

πότισμα και που μπορεί να είναι ολόκληρη ή μέρος ή περισσότερη από το ποσό της εξάτμισης, ανάλογα με το φυτό.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό των αναγκών σε νερό, με τη χρήση μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, η μέθοδος στηρίζεται στο γεγονός ότι η απώλεια του νερού από μια καλλιέργεια τομάτας εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την υπάρχουσα ηλιακή ακτινοβολία και από το ποσό αυτής που δέχεται το φυτό, με την έννοια ότι όσο μεγαλώνει το φυτό, τόσο περισσότερη ακτινοβολία δέχεται, με μέγιστο 70% όταν το φυτό αποκτήσει ύψος περίπου 120 εκ. Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίζονται οι ανάγκες σε νερό.

Έχει υπολογιστεί ότι μια καλλιέργεια τομάτας στο θερμοκήπιο (Οκτώβριος – Ιούνιος) στη Ν. Ελλάδα, έχει πραγματικές ανάγκες 600 τον. νερό/στρ. Όταν αρδεύεται με τη μέθοδο στάγδην, που έχει 85% συντελεστή αποτελεσματικότητας, τότε χρειάζονται 700 τον/στρ (Papachristodoulou *et al.*, 1992).

Υπερβολικές ποσότητες νερού ή προβλήματα απωλειών νερού από ελαττώματα στο αρδευτικό σύστημα δημιουργούν ανεπιθύμητες καταστρεπτικές καταστάσεις στο χώρο του θερμοκηπίου (ασφυξία, ξήρανση φυτών) Εικ. 2.2.



Εικόνα 2.2 :

Συνθήκες ασφυξίας σε φυτά τομάτας στο θερμοκήπιο. Απώλεια νερού από το αρδευτικό σύστημα δημιούργησε τις συνθήκες υπερκορεσμού, έλλειψης αέρα και προκάλεσε την καταστροφή των φυτών. Παράδειγμα προς αποφυγή.

2.3 Συχνότητα άρδευσης

Μετά την επιλογή της μεθόδου υπολογισμού των εβδομαδιαίων αναγκών της καλλιέργειας σε νερό άρδευσης, θα πρέπει επίσης να αποφασιστεί χρονικά η ποσότητα αυτή. Εάν, για παράδειγμα, όλη η ποσότητα του νερού δοθεί σε μια δόση κάθε εβδομάδα τούτο είναι να μην δημιουργεί προβλήματα κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά η διακύμανση της υγρασίας στο έδαφος κατά την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο θα είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής, δυσκολίες στην καρπόδεση και πρόκληση σχισμών στους καρπούς. Έχει βρεθεί ότι τότε μόνον εξασφαλίζεται μέγιστη παραγωγή, όταν το επίπεδο της υγρασίας στο έδαφος διατηρείται ομοιόμορφα σε υψηλά επίπεδα, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Επομένως, όσο πιο συχνά δίνεται το νερό, τόσο πιο αποτελεσματική γίνεται η χρήση του από τα φυτά. Στο τέλος της άνοιξης και το καλοκαίρι θα πρέπει να γίνεται άρδευση καθημερινά και ίσως και δύο φορές την ημέρα (ελαφρά εδάφη). Η συχνότητα άρδευσης εξαρτάται βέβαια και από τον τύπο του εδάφους. Σε πολύ βαριά και πολύ ελαφρά εδάφη συνίσταται η πιο συχνή εφαρμογή νερού (το καλοκαίρι καθημερινά), ενώ σε μέσης σύστασης, βαθιά πότισμα κάθε δεύτερη ημέρα είναι ικανοποιητικό (Castilla and Fereres, 1990).

2.4 Ποιότητα νερού άρδευσης

Η ποιότητα του νερού θα πρέπει να ελέγχεται κατά τη δημιουργία μιας νέας θερμοκηπιακής εγκατάστασης επειδή το νερό χαμηλής ποιότητας είναι δύσκολο να μετατραπεί σε νερό υψηλής ποιότητας. Πριν τη χρήση στο νερό θα πρέπει να γίνει ανάλυση για να ελεγχθεί αν περιέχει όλα τα απαραίτητα ανόργανα στοιχεία και ιόντα καθώς και το pH και η αλκαλικότητα. Χωρίς τις παραπάνω πληροφορίες θα είναι δύσκολο να παρασκευαστεί το απαραίτητο θρεπτικό διάλυμα. Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από τη συγκέντρωση των διαλυτών στοιχείων και την παρουσία βιοτικών οργανισμών. Σε μια ολοκληρωμένη ανάλυση θα πρέπει να παρουσιάζονται τα ανιόντα και τα κατιόντα, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην αλατότητα, την αλκαλικότητα και την τοξικότητα των ιόντων η οποία οφείλεται στην υπερβολική συγκέντρωση νατρίου, θείου και χλωρίου.

Η τομάτα αντέχει σε σχετικά υψηλό ποσοστό ολικών αλάτων στο έδαφος και στο νερό άρδευσης. Είναι το πιο ανθεκτικό λαχανικό από όσα καλλιεργούνται στην Ελλάδα στο θερμοκήπιο. Σε συγκεντρώσεις αλάτων $EC_e = 4 \text{ mmhos/cm}$ οι αποδόσεις της μειώνονται κατά 25% και 50% αντίστοιχα (Bernstein, 1964). Όταν η αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος και του νερού φτάσει τα 13 dS/m και 8.4 dS/m ($1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mmhos/cm}$) αντίστοιχα, τότε η παραγωγή μηδενίζεται (Maas, 1984). Για μέγιστες αποδόσεις η αλατότητα στην περιοχή του ριζοστρώματος δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 3 mmhos/cm . Αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εφαρμογή λιπασμάτων μέσω του νερού άρδευσης. Θα πρέπει επίσης να αποφεύγεται η χρήση λιπασμάτων που περιέχουν χλώριο, και θειικά άλατα.

Εκτός από τη μείωση της ολικής παραγωγής, η αλατότητα επηρεάζει δυσμενώς το ρυθμό ανάπτυξης του φυτού καθώς και την έκταση της φυλλικής επιφάνειας (Perez et al., 1993). Σε συγκεντρώσεις αλάτων 70 και 140 mM το ξηρό βάρος των φύλλων μειώθηκε κατά 15% και 25% αντίστοιχα, ενώ της ρίζας 13% και 18% σε σχέση με το μάρτυρα (0 dS/m). Τα ανωτέρω, καθώς και άλλα αποτελέσματα, συνηγορούν ότι η μείωση της παραγωγής της τομάτας είναι αποτέλεσμα και της μειωμένης ανάπτυξης των φυτών (Papp et al., 1983). Πειράματα που έγιναν στο Γ.Π.Α. (Kerkides, et al., 1997) έδειξαν ότι το ύψος και το ξηρό βάρος φυτών τομάτας που δέχτηκαν μεταχείριση με νερό αλατότητας $3,2 \text{ dS/m}$ δεν μειώθηκε σημαντικά σε σύγκριση με τον μάρτυρα ($1,5 \text{ dS/m}$), ενώ αντίθετα η παραγωγή καρπών μειώθηκε κατά 45%. Σε υψηλότερα επίπεδα αλατότητας $5,2 \text{ dS/m}$ και $7,2 \text{ dS/m}$, το ύψος των φυτών παρουσίασε αντίστοιχα μείωση 11,6% και 18,3%, το ξηρό βάρος 37,7% και 38,4%, και η απόδοση μειώθηκε αντίστοιχα κατά 55,1% και 70,6% σε σχέση με το μάρτυρα ($1,5 \text{ dS/m}$).

Όσον αφορά την αντοχή στα άλατα, κατά το στάδιο του φυτρώματος των σπόρων, η τομάτα θεωρείται αρκετά ευαίσθητη. Όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος είναι 6 dS/m , τότε παρατηρείται αποτυχία στο φύτευμα του 50% των σπόρων (Maas, 1984).

Πειράματα των Mizrahi and Pasternak (1985) έδειξαν για την τομάτα ότι ενώ η επίδραση της αλατότητας μειώνει την απόδοση και το μέγεθος των καρπών, βελτιώνει τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά τους. Η εργασία αυτή έδειξε, ότι φυτά στα οποία εφαρμόστηκε άρδευση με νερό υψηλής αλατότητας, παρήγαγαν καρπούς με αυξημένα ολικά διαλυτά στερεά, αυξημένη περιεκτικότητα σε βιταμίνη C, υψηλότερη οξύτητα (% κιτρικό οξύ) και υψηλότερο pH.

Σε γενικές γραμμές, είναι προφανές, ότι ενώ μπορούν να εξασφαλιστούν υψηλότερες τιμές για πιο γευστικούς καρπούς, η μειωμένη παραγωγή δεν μπορεί να αποζημιωθεί από αυτές τις τιμές.

Ένα άλλο, επίσης, σημαντικό σημείο είναι η συμπεριφορά των φυτών της τομάτας διαφορετικής ηλικίας (φάσης ανάπτυξης του φυτού) σε σχέση με το ύψος της αλατότητας. Πειράματα στο Γ.Π.Α. έδειξαν ότι το πότισμα με νερό καλής ποιότητας στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών τομάτας περιορίζει τις δυσμενείς επιδράσεις της εφαρμοζόμενης αλατότητας στα τελευταία στάδια ανάπτυξης. Αντίθετα, η άρδευση με καλής ποιότητας νερού στα τελευταία στάδια ανάπτυξης του φυτού δεν φάνηκε να μειώνει τις δυσμενείς επιδράσεις της εφαρμοζόμενης αλατότητας στα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι το φυτό της τομάτας είναι πιο ευαίσθητο στην αλατότητα στη νεαρή ηλικία και πιο ανθεκτικό αργότερα στην πλήρη ανάπτυξή του (Ολύμπιου Χ., 2001).

2.5 Ποσότητα νερού

Η ποσότητα του νερού που χρειάζεται προσδιορίζεται γενικά από τις κλιματικές συνθήκες στο αέριο τμήμα των φυτών και από το επίπεδο του φυλλώματος. Κάτω από υψηλή υγρασία, χαμηλή ένταση φωτός και χαμηλή θερμοκρασία το ποσοστό της κατανάλωσης του νερού μπορεί να είναι πολύ χαμηλό. Τα παραγωγικά συστήματα θα πρέπει να έχουν αρδευτικά συστήματα που να προσαρμόζονται, ώστε να επιτυγχάνεται το υψηλότερο ποσοστό χρήσης του νερού. Αυτό συμβαίνει όταν η φυλλική επιφάνεια έχει αναπτυχθεί πλήρως, ο αέρας είναι ξηρός και ζεστός (π.χ. το καλοκαίρι) και το θερμοκήπιο αερίζεται επαρκώς. Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί κάποιος να εκτιμήσει το μέγιστο ποσοστό της χρήσης του νερού κατά τον σχεδιασμό και την εγκατάσταση του αρδευτικού συστήματος, αφού ένα ακατάλληλο σύστημα δε θα μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις των φυτών, με αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Η κατανάλωση του νερού από τα φυτά σχετίζεται με το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (μέγεθος), την ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία και την κίνηση του αέρα (Κωστούλα Σ., 2008).

2.6 Εξοπλισμός άρδευσης

Για την εγκατάσταση ενός συστήματος άρδευσης θα πρέπει πρώτα να προηγηθεί μια σωστή μελέτη, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις των φυτών, τη διαθέσιμη ποσότητα νερού, τη μέθοδο υδροπονικής καλλιέργειας και τις κατασκευαστικές δυνατότητες.

Για τους υπολογισμούς του συστήματος άρδευσης σε κανονικές συνθήκες λαμβάνεται υπόψη ότι απαιτείται μια παροχή 2-4 λίτρα διαλύματος ανά φυτό και ώρα (η μεγαλύτερη τιμή λαμβάνεται για τα φυτά με πολύ έντονη διαπνοή).

Στις περιπτώσεις που η διαθέσιμη παροχή νερού είναι περιορισμένη, είναι αναγκαία η δημιουργία δεξαμενής αποθήκευσης νερού, ώστε να διασφαλίζεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού και στις ώρες αιχμής.

Για να τροφοδοτηθεί το θερμοκήπιο με νερό, μια έκταση δύο στρεμμάτων θερμοκηπίου απαιτεί έναν κεντρικό σωλήνα διαμέτρου 5 cm, ενώ έκταση πέντε στρεμμάτων 8,5 cm. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλαστικοί σωλήνες από P.V.C., διότι είναι φθηνότεροι από τους μεταλλικούς.

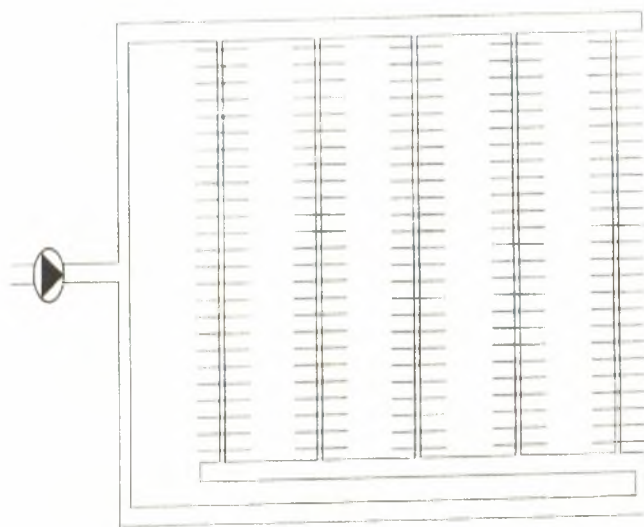
Όταν η ποιότητα του νερού δεν είναι πολύ καλή, τότε η δημιουργία δεξαμενής για τη συλλογή και αποθήκευση του βρόχινου νερού που συλλέγεται από την οροφή των θερμοκηπίων είναι επίσης απαραίτητη.

Μόνιμη επιδίωξη είναι η εξασφάλιση ομοιόμορφης διανομής του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά.

Για τη διανομή του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά το δίκτυο σχεδιάζεται έτσι, ώστε να παρέχει τη ίδια πίεση σε κάθε σταλάκτη. Ο σχεδιασμός τύπου Tichelmann (Σχήμα 2.6.1) θεωρείται ότι παρέχει τη μεγαλύτερη ομοιομορφία άρδευσης, γιατί το νερό κάθε γραμμής άρδευσης διατρέχει ίσες αποστάσεις.

Οι κεντρικές σωληνώσεις μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου τοποθετούνται υπόγεια και όχι εναέρια, για να αποφεύγεται η σκίαση στο θερμοκήπιο. Οι δευτερεύουσες σωληνώσεις τοποθετούνται επί του οριζοντιωμένου εδάφους και πάντως σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό των καναλιών που φέρουν το υπόστρωμα καλλιέργειας, ώστε να μην αδειάζουν στα φυτά, όταν διακόπτεται η άρδευση. Σε κάθε διακλάδωση ή ανά τρεις διακλαδώσεις υπάρχει συνήθως διακόπτης παροχής νερού, ο οποίος λειτουργεί είτε με το χέρι είτε αυτόματα από τον κεντρικό πίνακα λειτουργίας του συστήματος άρδευσης. Όσο περισσότερα φυτά διαφορετικής ηλικίας και είδους

είναι στο θερμοκήπιο, τόσο περισσότερες διακλαδώσεις ανεξάρτητης λειτουργίας θα πρέπει να υπάρχουν.



Σχήμα 2.6.1: Σύστημα άρδευσης με ίσες διαδρομές νερού σε κάθε γραμμή, για ομοιόμορφη παροχή νερού

Οι διακόπτες παροχής του θρεπτικού διαλύματος είναι συνήθως ηλεκτροβάνες. Η κίνηση του θρεπτικού διαλύματος ή του νερού στις ηλεκτροβάνες διακόπτεται ή επιτρέπεται με την κίνηση μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας που βρίσκεται στο επάνω μέρος, στο εσωτερικό της ηλεκτροβάνας.

❖ Σταλάκτες

Σε όλα τα υδροπονικά συστήματα στα οποία χρησιμοποιούνται πορώδη υποστρώματα, η προσαγωγή του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά γίνεται με σταλάκτες ή ψεκαστές μικρής παροχής. Συνήθως ένας σταλάκτης παροχής 1-2 λίτρων την ώρα για κάθε φυτό. Για να αποφευχθούν τα φραξίματα στους σταλάκτες είναι απαραίτητο να έχει τοποθετηθεί στην αρχή του δικτύου ένα πολύ καλό σύστημα φιλτραρίσματος του διαλύματος.

Στην άρδευση με τους κοινούς σταλάκτες και ψεκαστές μια υψομετρική διαφορά έστω και μόνο 20 εκατοστών δημιουργεί πρόβλημα στην ομοιόμορφη κατανομή του νερού. Γι' αυτό οι σωληνώσεις τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος πρέπει να είναι οριζοντιωμένοι, αλλιώς πρέπει να χρησιμοποιούνται οι σταλάκτες αυτορυθμιζόμενης πίεσης.

Γενικά, οι σταλάκτες μπορεί να είναι «ελεύθεροι σταλάκτες» οι οποίοι τοποθετούνται σε κάποια απόσταση από το σωλήνα άρδευσης ή «ενσωματωμένοι σταλάκτες» στο σωλήνα άρδευσης. Στα πορώδη υποστρώματα υδροπονικών καλλιεργειών χρησιμοποιούνται συνήθως οι ελεύθεροι σταλάκτες.

Οι σταλάκτες αλλά και οι ψεκαστές χαμηλής πίεσης μπορεί να ομαδοποιηθούν επίσης σε ανοιχτού και κλειστού τύπου.

Οι ανοιχτού τύπου περιλαμβάνουν τους σταλάκτες τριχοειδούς, λαβυρίνθου και αυτορρυθμιζόμενης πίεσης.

Οι κλειστού τύπου περιλαμβάνουν τους σταλάκτες αυτορρυθμιζόμενης πίεσης, που έχουν επιπλέον τη δυνατότητα αυτόματου κλεισίματος. Οι τελευταίοι, όταν σταματήσει το πότισμα, δε στάζουν και δεν επιτρέπουν στους σωλήνες του συστήματος να αδειάζουν από νερό. Έτσι επιτρέπουν ομοιόμορφη παροχή νερού στο φυτό, έστω και αν βρίσκονται σε χαμηλότερο σημείο από τους σωλήνες του δικτύου.

Η χρήση των σταλακτών αυτορρυθμιζόμενης πίεσης – κλειστού τύπου συμβάλλει πολύ στην ομοιομορφία κατανομής του νερού στα φυτά. Στις περιπτώσεις που οι σωληνώσεις άρδευσης δε βρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο, αν δε χρησιμοποιηθούν αυτορρυθμιζόμενης πίεσης σταλάκτες, τότε ο χώρος θα πρέπει να χωριστεί σε περιοχές διαφορετικού υψομέτρου και να χρησιμοποιηθούν αυτόνομα συστήματα για κάθε περιοχή.

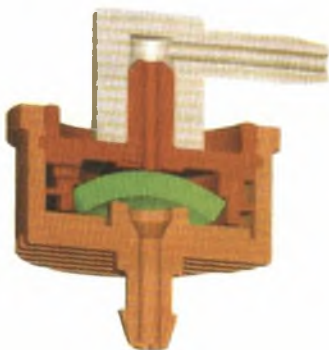


Εικόνα 2.6.1: Άρδευση με ελεύθερους σταλάκτες

Στα σύγχρονα θερμοκήπια τα υποστρώματα καλλιέργειας, που χρησιμοποιούνται στις υδροπονικές καλλιέργειες, τοποθετούνται σε μεταλλικά ικριώματα. Αυτό διευκολύνει την τοποθέτηση των σωλήνων άρδευσης επάνω σε οριζοντιωμένο έδαφος, ανεξάρτητα από την κλίση που έχουν οι γραμμές καλλιέργειας, επιτυγχάνοντας έτσι ομοιόμορφη παροχή και στράγγιση του νερού και επομένως την ομοιόμορφη αναλογία νερού-αέρα στο υπόστρωμα του συνόλου της καλλιέργειας.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε όλα τα συστήματα της υδροπονίας για το σύστημα τροφοδοσίας, όπως σωλήνες, εξαρτήματα, αντλίες, δεξαμενές κ.λπ., θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στα οξέα, γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται τα κατασκευασμένα από πλαστικό.

Τα πιο ευαίσθητα εξαρτήματα του συστήματος άρδευσης, όπως οι σωλήνες πολυαιθυλενίου με τοιχώματα πάχους 0,2 mm, οι πλαστικοί ψεκαστές και οι σταλάκτες, διαρκούν 5-6 χρόνια. Οι άλλοι σωλήνες με παχύτερα τοιχώματα, οι ορειχάλκινοι ψεκαστές και οι διακόπτες, διαρκούν πολύ περισσότερο.



Σχήμα 2.6.2: Τομή σταλάκτη με αυτορρυθμιζόμενη πίεση

❖ Φίλτρα

Σε όλες τις περιπτώσεις το θρεπτικό διάλυμα, πριν οδηγηθεί στο σύστημα διανομής και από εκεί στα φυτά, πρέπει να φιλτράρεται τουλάχιστον με ένα φίλτρο μεταλλικού διαφράγματος (έως 80 μικρά) ή με φίλτρο άμμου.

Αλλά και το νερό που προσάγεται στο θερμοκήπιο θα πρέπει να φιλτράρεται. Ο τύπος των φίλτρων που χρησιμοποιούνται στην αρχή της εγκατάστασης, εξαρτάται από την καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου νερού. Αν το νερό είναι καθαρό, ένα

φιλτράρισμα με διάφραγμα που έχει λεπτές οπές είναι αρκετό. Αν το νερό έχει ακαθαρσίες, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μεταλλικό φίλτρο με λεπτές οπές και φίλτρο άμμου (το τελευταίο ιδίως για νερό με βρύα). Αν το νερό είναι ακάθαρμο από λεπτόκοκκα υλικά (λάσπη), στο μεταλλικό φίλτρο πρέπει να προστεθεί και φυγοκεντρικό φίλτρο.

Ανάλογα με την περισσότερη ή λιγότερη ακαθαρσία που βρίσκεται στο νερό, καθώς και την αλατότητα του, τα φίλτρα βουλώνουν περισσότερο ή λιγότερο γρήγορα και απαιτούν συχνό καθαρισμό. Οι καθαρισμός μπορεί να είναι καθημερινός ή και αρκετές φορές την ημέρα. Ο συχνός καθαρισμός με τα χέρια μπορεί να αποφευχθεί, αν χρησιμοποιηθούν φίλτρα με αυτόματο καθαρισμό. Στην τελευταία περίπτωση, όταν η πίεση πριν το φίλτρο είναι πολύ μεγαλύτερη από την πίεση μετά το φίλτρο, σημαίνει ότι το φίλτρο έχει βουλώσει σε σημαντικό βαθμό και τότε ανοίγει μια βαλβίδα που οδηγεί το νερό από την άλλη πλευρά του φίλτρου με αποτέλεσμα η αντίθετη ροή του νερού να καθαρίζει το φίλτρο, απορρίπτοντας τις ακαθαρσίες σε δοχείο που βρίσκεται κοντά στο φίλτρο.

Η αντλία που επιλέγεται για την τροφοδοσία του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά είναι ανοξείδωτη. Η δυνατότητα παροχής τριών λίτρων την ώρα, για πίεση κεφαλής 3,5 bars. Για την καλύτερη λειτουργία και για εξοικονόμηση ενέργειας καλά είναι η αντλία, με Inverter, να ρυθμίζει τις στροφές της ανάλογα με το φορτίο.

❖ Αυτοματισμοί άρδευσης

Η μέθοδος της άρδευσης που εφαρμόζεται στα πορώδη υποστρώματα μπορεί να βασίζεται σε χειρισμούς του ανθρώπινου παράγοντα, σε αισθητήρια που βρίσκουν την ανάγκη των φυτών και σε μοντέλα άρδευσης.

Οι χειρισμοί του ανθρώπινου παράγοντα είναι μια αξιόπιστη μέθοδος, αλλά απαιτεί σημαντική εμπειρία από αυτόν που παίρνει τις αποφάσεις. Η άρδευση με βάση τα σήματα των αισθητηρίων είναι αξιόπιστη, αλλά δεν αντιπροσωπεύουν συνήθως την κατάσταση όλου του πληθυσμού των φυτών αλλά μόνο ένα δείγμα αυτών, που αν δεν επιλεγεί σωστά δημιουργεί σημαντικά προβλήματα. Αισθητήρια τα οποία χρησιμοποιούνται στην άρδευση των υποστρωμάτων είναι αυτά της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υποστρωμάτων, της μεταβολής του βάρους της γλάστρας με την άρδευση και αυτά που μετρούν τη μεταβολή της σπαργής των κυττάρων του φύλλου.

Τα αισθητήρια αυτά τοποθετούνται ή σε ένα αντιπροσωπευτικό φυτό ή καλύτερα σε μεγαλύτερο αριθμό αντιπροσωπευτικών φυτών και χρησιμοποιείται για την απόφαση η μέση τιμή. Σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται συχνός έλεγχος των αισθητηρίων και βαθμονόμησή τους.

Η άρδευση με βάση κάποιο μοντέλο εξαρτάται από την αξιοπιστία που παρέχει το μοντέλο και την ακρίβεια των αισθητηρίων που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις των διαφόρων παραμέτρων. Σε ένα μοντέλο οι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι: η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, το μέγεθος των φυτών, το σχήμα των φυτών και η πυκνότητα φύτευσης. Στη περίπτωση των θερμοκηπίων τα περισσότερα μοντέλα βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία και στις παραμέτρους των φυτών, γιατί θεωρείται ότι η θερμοκρασία και η υγρασία είναι η άμεση συνάρτηση της ηλιακής ακτινοβολίας και η ταχύτητα του ανέμου μέσα στο θερμοκήπιο πολύ μικρή. Μερικά μοντέλα βασίζονται στη διαφορά πίεσης υδρατμών, μεταξύ του αέρα του θερμοκηπίου και της επιφάνειας των φύλλων. Σε αυτή την περίπτωση για τις μετρήσεις χρησιμοποιούνται σχετικά ακριβά και όχι πολύ αξιόπιστα αισθητήρια υγρασίας και απαιτείται να γίνεται ανεξάρτητη άρδευση σε κάθε τμήμα του θερμοκηπίου. Γενικά, τα μοντέλα, ενώ είναι πολύ χρήσιμα, δεν είναι τέλεια.

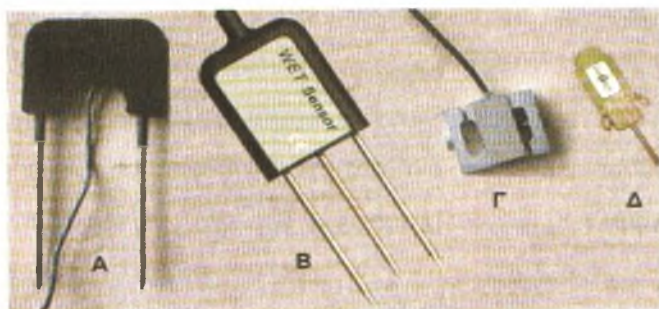
Ο συνδυασμός ενός μοντέλου με τα κατάλληλα αισθητήρια και ο συνεχής έλεγχος του ανθρώπινου παράγοντα είναι η καλύτερη λύση.

Στην πράξη ένας απλός αυτοματισμός, που απαιτεί όμως τη συχνή παρέμβαση του καλλιεργητή, είναι αυτός που δημιουργείται από ηλεκτρικό χρονοδιακόπτη και ηλεκτροβάνες. Μπορεί να ανοίγει και να κλείνει τους διακόπτες ποτίσματος σε χρόνο που ρυθμίζεται μεταξύ 5 λεπτών και 30 λεπτών και σε διαστήματα ανά 1 μέχρι 8 ώρες και ανά ημέρα.

Επειδή η απαίτηση σε νερό στο θερμοκήπιο είναι κυρίως συνάρτηση της ηλιακής ενέργειας που μπαίνει στο θερμοκήπιο, κυκλοφορούν στην αγορά όργανα στα οποία υπάρχει αισθητήριο πυρανόμετρο που μετρά την ηλιακή ενέργεια. Όταν η ενέργεια που προσπίπτει φθάσει σ' ένα ορισμένο επίπεδο, κλείνει το ηλεκτρικό κύκλωμα για να αρχίσει το πότισμα. Η συχνότητα του ποτίσματος επομένως είναι συνάρτηση της ηλιακής ενέργειας. Το πότισμα σταματά ογκομετρικά ή με χρονοδιακόπτη. Η αρδευτική δόση εξαρτάται από τις φυσικές ιδιότητες του υποστρώματος και την ποιότητα του νερού.

Είναι συνηθέστατοι επίσης οι πιο σύνθετοι αυτοματισμοί που βασίζονται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος με βάση ένα μοντέλο (πρόγραμμα) επεξεργάζεται τα μετεωρολογικά στοιχεία εκτός θερμοκηπίου, τα στοιχεία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και τα στοιχεία της καλλιέργειας, για να δώσει εντολή άρδευσης (συχνότητα άρδευσης). Σε αυτή την περίπτωση για τη ρύθμιση της απαιτούμενης ποσότητας διαλύματος (αρδευτική δόση) μπορεί να χρησιμοποιηθούν υδρομετρητές που δίνουν έναν παλμό ανά 10 λίτρα διαλύματος, ώστε να καταστεί δυνατή η άρδευση των φυτών με βάση τα λίτρα του διαλύματος και όχι με βάση τη διάρκεια (χρόνο) της άρδευσης.

Ένας καλός επίσης τρόπος να ρυθμιστεί το νερό και τα λιπάσματα στη περιοχή της ρίζας χωρίς τη χρήση κάποιου μοντέλου είναι να επιτραπεί στα φυτά να δείξουν τις προτιμήσεις τους. Γι' αυτό σε πολλές υδροπονικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται και τα όργανα που επιτρέπουν τον προσδιορισμό των απωλειών νερού από τα φυτά, όπως είναι η ζυγαριά που προσδιορίζει τη μείωση βάρους του φυτού και του υποστρώματος από το προηγούμενο πότισμα, καθώς και ο ογκομετρικός προσδιορισμός του νερού που στραγγίζει και αυτού που βρίσκεται στο υπόστρωμα. Τελευταία χρησιμοποιείται και η μέθοδος που βασίζεται στη μεταβολή της σπαργής των φύλλων, που τη μετρά το κατάλληλο αισθητήριο (Μαυρογιαννόπουλος Γ. 2006).



Εικόνα 2.6.2: Όργανα που επιτρέπουν τον προσδιορισμό των απωλειών νερού από τα φυτά. Α) Αισθητήρας υγρασίας, Β) Αισθητήρας προσδιορισμού ηλεκτρικής αγωγιμότητας και περιεκτικότητας σε νερό του υποστρώματος, Γ) Μετρητής της μεταβολής βάρους, Δ) Αισθητήρας μεταβολής της σπαργής των φύλλων.

2.7 Αισθητήρες

Η σωστή ανάπτυξη και η μέγιστη απόδοση των καλλιεργειών ενός θερμοκηπίου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Έτσι, για να είναι δυνατός ο έλεγχος των συνθηκών του θερμοκηπίου πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα η μονάδα ελέγχου να γνωρίζει τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν τόσο μέσα στο θερμοκήπιο όσο και έξω από αυτό. Αυτό πετυχαίνεται με την βοήθεια των αισθητήρων. Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που δέχεται εξωτερικά ερεθίσματα και τα μετατρέπει κατάλληλα σε ηλεκτρικά σήματα. Τα σήματα αυτά είναι αναλογικά και εξαρτώνται από τα κυκλώματα του κάθε αισθητήρα (Γεωργίου Γ., Δημητρίου Δ., 2007).

❖ Αισθητήρες EC

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, στο σύστημα μεταφοράς του θρεπτικού διαλύματος στα φυτά, αποτελούνται από τρία δακτυλίοσχημα ηλεκτρόδια τοποθετημένα σε ίσες αποστάσεις μέσα στον αγωγό τροφοδοσίας του θρεπτικού διαλύματος. Δημιουργείται εναλλασσόμενη τάση (συνήθως 1 V με συχνότητα 400Hz-50kHz) μεταξύ του κεντρικού ηλεκτροδίου και των ακραίων γειωμένων. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) που είναι το ρεύμα μεταξύ του κεντρικού ηλεκτροδίου και των άλλων, κυμαίνεται από 0,1 mA ως 10 mA. Η θερμοκρασία του διαλύματος μετράται και χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της τιμής της ηλεκτρικής τάσης.

Η μέτρηση μεταξύ του κεντρικού και των δύο άλλων ηλεκτροδίων αποτρέπει την ύπαρξη μεγάλων σφαλμάτων λόγω της ροής του ρευστού. Η κλίμακα μέτρησης τους βρίσκεται μεταξύ 2 έως 10 d/Sm.

Συνήθως τοποθετούνται δύο τέτοια αισθητήρια συνδεδεμένα παράλληλα, ώστε να εξασφαλιστεί η σωστή μέτρηση έστω και με βλάβη του ενός.

❖ Αισθητήρες υγρασίας υποστρώματος

Συνήθως αυτοί προσδιορίζουν την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία. Γνωρίζοντας την περιεκτικότητα ενός συγκεκριμένου υποστρώματος σε υγρασία, μπορεί να προσδιοριστεί το δυναμικό του σε νερό και επειδή η απορρόφηση του νερού

από το φυτό εξαρτάται από τη διαφορά του δυναμικού νερού μεταξύ φυτού και υποστρώματος, ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία βοηθά να ρυθμιστεί η διαφορά δυναμικού του νερού στα επιθυμητά επίπεδα.

Για μετρήσεις στο έδαφος επικρατούν τα τενσιόμετρα, που συνίστανται από μια πορώδη κάψα γεμάτη απεσταγμένο νερό και ένα μετρητή της τάσης. Όταν η κάψα βρίσκεται σε καλή επαφή με το έδαφος, αναπτύσσεται ένα ισοζύγιο, όπου η τάση μέσα στο τενσιόμετρο εξισορροπείται με την τάση νερού του εδάφους με την έξοδο νερού από την κάψα. Η τάση μέσα στην κάψα μπορεί να φθάσει μέχρι -80kPa . Σε ακόμα χαμηλότερες τάσεις υπάρχει ο κίνδυνος εισόδου αέρα στην κάψα και επομένως της εσφαλμένης ένδειξης (Μαυρογιαννόπουλος Γ. 2006). Η κλίμακα των τενσιομέτρων είναι , εμπειρικά , από 0 (τελείως ξηρό έδαφος) έως 100 (κορεσμένο σε νερό) (Γεωργίου Γ., Δημητρίου Δ., 2007).

Στα υποστρώματα χρησιμοποιούνται συνήθως οι αισθητήρες μικροκυμάτων (FD) ή παλμών (TDR).

Στην πρώτη περίπτωση προσδιορίζεται η σύνθετη ηλεκτρική αντίσταση που παρουσιάζεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και η απορρόφηση του εκπεμπόμενου συγκεκριμένου μικροκύματος μέσα στο υπόστρωμα. Η απορρόφηση του συγκεκριμένου μήκους κύματος μέσα στο υπόστρωμα είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε νερό. Με ένα τέτοιο αισθητήριο μπορεί να προσδιοριστεί ταυτόχρονα η περιεκτικότητα σε νερό και η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του περιεχόμενου διαλύματος. Ένα μικρών διαστάσεων τέτοιο αισθητήριο ενσωματωμένο σε ένα γνωστών χαρακτηριστικών υλικό (γνωστή σχέση περιεκτικότητας νερού και δυναμικού νερού), όταν τοποθετηθεί μέσα σε ένα υπόστρωμα καλλιέργειας συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, στην κατάσταση ισορροπίας θα υπάρξει ένα ισοζύγιο που θα εξισώσει το δυναμικό νερού των δύο μέσων, οπότε ο προσδιορισμός της υγρασίας του πρώτου θα επιτρέψει και τον προσδιορισμό της υγρασίας του δεύτερου.

Άλλος τύπος αισθητήριων είναι οι αισθητήρες παλμών (TDR). Η αρχή τους βασίζεται στο γεγονός ότι η διηλεκτρική ιδιότητα ενός συγκεκριμένου υποστρώματος είναι συνάρτηση της περιεκτικότητάς του σε νερό και μπορεί να προσδιοριστεί. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι η διηλεκτρική σταθερά του νερού είναι ≈ 81 , ενώ του αέρα είναι ≈ 1 και της στερεάς ουσίας ≈ 4 . Στα αισθητήρια αυτά (Time Domain Reflectometry) στέλνεται ένας παλμός μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και μετράται το

ανακλώμενο σήμα συναρτήσει του χρόνου, για να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα νερού μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων. Και σε αυτή την περίπτωση, αν γίνει και μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μπορεί να προσδιοριστεί ταυτόχρονα η περιεκτικότητα σε νερό και η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) του περιεχομένου διαλύματος.

Για τη ρύθμιση της ροής του θρεπτικού διαλύματος στο σύστημα NFT η χρήση ενός μετρητή παροχής και αισθητήρα EC στην απορροή είναι αρκετό, γιατί πρόκειται για συνεχή ροή με μικρές μεταβολές σε μικρά χρονικά διαστήματα (Μαυρογιαννόπουλος Γ. 2006).

❖ Αισθητήρες θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών . Η αύξηση σε μη επιτρεπτά όρια καθώς και η απότομη μείωση της οδηγεί σε ανεπανόρθωτες ζημιές στις καλλιέργειες. Γι αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η ύπαρξη οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας ώστε να διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα.

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας υπάρχουν αρκετοί τύποι αισθητήρων που χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές . Κάποιες από αυτές τις τεχνικές είναι:

- χρησιμοποίηση ενός ελάσματος που αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα.
- χρήση κάποιου υλικού , που είναι ημιαγωγός ή μέταλλο , του οποίου αλλάζει η αντίσταση με την αλλαγή της θερμοκρασίας . Αυτοί οι αισθητήρες ονομάζονται thermistors .
- χρήση θερμοζεύγους το οποίο αποτελείται από δύο διαφορετικά μέταλλα και η τάση που παράγεται εξαρτάται από την θερμοκρασία (Γεωργίου Γ., Δημητρίου Δ., 2007).

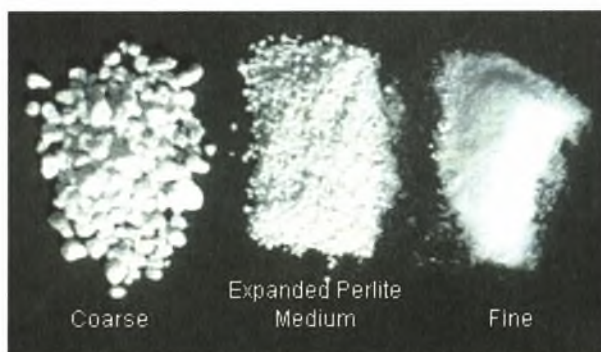
2.8 Χαρακτηριστικά περλίτη

Ο περλίτης είναι ένα υαλώδη ηφαιστειακό πέτρωμα με ρυολιθική σύνθεση και 2-5% χημικά δεσμευμένο/συνδυασμένο νερό. Ο περλίτης συχνά χρησιμοποιείται ως εδαφικό μείγμα γλαστρών και σαν αυτόνομο καλλιεργητικό υπόστρωμα. Παράγεται σε διάφορες βαθμίδες, με τις πιο συνηθισμένες να είναι 0-2 και 1.5 - 3.0 mm σε διάμετρο.

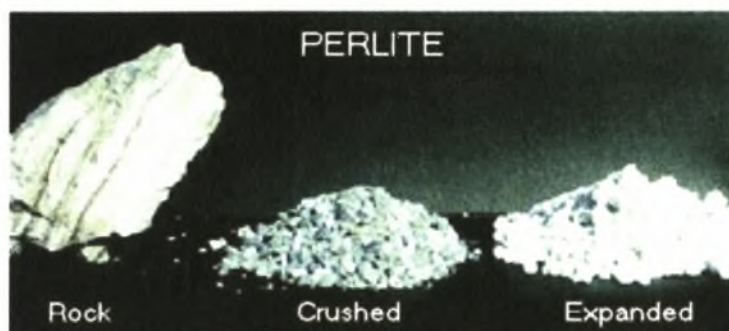
Οι διάφορες βαθμίδες διαφέρουν στα φυσικά τους χαρακτηριστικά (FAO, 1990, Howard M. Resh, 2002, Παπαδόπουλος Π., 2012).

Οι άπειρες κλειστές κυψελίδες, σε κάθε κόκκο διογκωμένου περλίτη, προσδίδουν στο υλικό πολλές ιδιότητες:

- > Θερμομόνωση
- > Ελαφρότητα
- > Ηχομόνωση
- > Πυροπροστασία
- > Φυσικό ανόργανο υλικό (άφθαρτο στο χρόνο και φιλικό προς το χρήστη και το περιβάλλον)
- > Δεν επηρεάζει τα μέταλλα



Εικόνα 2.8.1: Χαρακτηριστική εικόνα (από αριστερά προς δεξιά) ακατέργαστου, διογκωμένου και υπέρλεπτου περλίτη (<http://www.perlite.net/>).



Εικόνα 2.8.2: Περλίτης συνολικά από βράχο σε διογκωμένη κατάσταση (Jamei M., H. Guiras , Γ. Chtourou , A. Kallel , E. Romero , I. Georgopoulos).

Φυσικά χαρακτηριστικά: διογκωμένος περλίτης είναι πολύ ελαφρύς, με πυκνότητα τεμαχιδίων και φαινομενική πυκνότητα 0.9 και 0.1 gr cm⁻³ , αντίστοιχα

(Raviv και Lieth, 2008). Η υδατοαπορροφητικότητα % σε βάρος είναι 200-600% (Βάου Β., 2010). Είναι πολύ πορώδες, έχει μια ισχυρή τριχοειδή δράση και μπορεί να κρατήσει 3-4 φορές το βάρος του σε νερό. Παρουσιάζει διάφορα στην ικανότητα συγκράτησης νερού ανάμεσα στα χονδρόκοκκα και στα λεπτόκοκκα κλάσματα η οποία υποδηλώνει ότι το περισσότερο νερό κατακρατείται από τα χονδρόκοκκα τεμαχίδια στους εσωτερικούς πόρους. Ωστόσο, αυτό δεν εξηγείται μόνο από τον όγκο του εσωτερικού πορώδους. Η κλίση της μείωσης του περιεχόμενου νερού καθώς η τάση του νερού αυξάνεται είναι μέτρια σε σχέση με την άμμο και τον πετροβάμβακα. Το διαθέσιμο και το μη διαθέσιμο νερό στον εμπορικό περλίτη διαμέτρου 0-4 mm ήταν 13.6 και 36.5% του όγκου του, αντίστοιχα. Η καμπύλη συγκράτησης νερού του περλίτη δείχνει μέτρια υστέρηση. Ο κορεσμός του περλίτη ήταν πολύ γρήγορος, ανεξάρτητα από την αρχική υγρασία του. Η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα εξαρτάται από τη διάμετρο των τεμαχιδίων. Για εμπορικό περλίτη διαμέτρου 0-4 mm έχοντας το 50% των τεμαχιδίων μικρότερο από 0.5 mm, η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα ήταν 0.3 cm min⁻¹. Μια μείωση κατά 2 τάξεις μεγέθους στην υδραυλική αγωγιμότητα λήφθηκε, καθώς η μύζηση του νερού αυξήθηκε από 0-30 cm (Raviv και Lieth, 2008).

Πίνακας 2.8.1: Φυσικές ιδιότητες περλίτη (τιμές ενδεικτικές) (Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 2006).

Προϊόν	Αερισμός (= % όγκος αέρα σε πίεση 110 cm)		EAW Διαθέσιμο νερό = (% νερό σε πίεση 110 cm) - (% νερό σε πίεση 50 cm)		Παρατηρήσεις
	Λεπτόκοκκο	Χοντρόκοκκο	Λεπτόκοκκο	Χοντρόκοκκο	
Περλίτης	37	60	30	7	Θρυμματίζεται

Ακριβή δεδομένα σχετικά με τις σημαντικότερες φυσικές και υδραυλικές ιδιότητες τεσσάρων διαφορετικών τύπων περλίτη παρατίθενται στον Πίνακα 2.8.2. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2.8.2, ο περλίτης με μέγεθος κόκκων 0 - 1,5 mm και φαινόμενο ειδικό βάρος 0,06 g cm⁻³ συνδυάζει υψηλό πορώδες, σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε εύκολα διαθέσιμο νερό και επαρκή αεροπερατότητα.

Πίνακας 2.8.2: Φαινόμενο ειδικό βάρος (E_p), ολικό πορώδες (P), όγκος κλειστών πόρων (P_c), αεροπερατότητα (A_{ec}), εύκολα διαθέσιμο νερό (EAW) και ρυθμιστική χωρητικότητα σε νερό (WBC) σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους περλίτη (Marfà et al. 1993).

Μέγεθος κόκκων (mm)	E_p (g cm ⁻³)	P (%)	P_c (%)	A_{ec} (%)	EAW (%)	WBC (%)
0 – 5	0,155	84,7	8,8	33,5	20,9	5,7
0 – 3	0,128	86,7	7,9	41,9	17,6	6,7
0 – 1.5*	0,086	94,8	0,2	15,7	38,3	9,7
0 – 1.5**	0,062	95,2	2,2	33,3	30,9	8,7

* λεπτόκοκκος περλίτης μέσου φαινόμενου ειδικού βάρους
 ** λεπτόκοκκος περλίτης χαμηλού φαινόμενου ειδικού βάρους

Ο συνδυασμός των παραπάνω φυσικών ιδιοτήτων με την απουσία ανταλλακτικής ικανότητας και παθογόνων καθιστούν τον λεπτόκοκκο περλίτη αυτού του τύπου ιδιαίτερα κατάλληλο υπόστρωμα για καλλιέργειες φυτών εκτός εδάφους (Σάββας Δ., 2011).

Χημικά χαρακτηριστικά: Ο περλίτης είναι ουδέτερος με pH 6.5 - 7.5, αλλά δεν έχει ρυθμιστική ικανότητα και δεν περιέχει μεταλλικά θρεπτικά στοιχεία. Όταν το pH είναι χαμηλό υπάρχει ο κίνδυνος απελευθέρωσης τοξικού Al μέσα στο διάλυμα (Howard M. Resh, 2002, Ravin και Lieth, 2008).

Αποστείρωση, επαναχρησιμοποίηση, και διάθεση αποβλήτων: Ο περλίτης είναι ένα αποστειρωμένο προϊόν καθώς παράγεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Χημικά ο περλίτης είναι ένα σταθερό υλικό, το οποίο μπορεί να διαρκέσει για αρκετά χρόνια, η σταθερότητα του δεν επηρεάζεται σημαντικά από οξέα ή μικροοργανισμούς. Όντας ένα αδρανές υλικό, η ανακύκλωση του περλίτη δεν δημιουργεί περιβαλλοντικά προβλήματα. Η επαναχρησιμοποίηση του περλίτη χωρίς επεξεργασία για την ανάπτυξη διαδοχικών καλλιεργειών είναι ενδεχομένως επικίνδυνη εξαιτίας της συμπίεσης του υλικού, της συσσώρευσης, αλάτων και της μόλυνσης από παράσιτα. Η αντικατάσταση μεταχειρισμένου περλίτη με καινούργιο υλικό για την ανάπτυξη διαδοχικών καλλιεργειών είναι δαπανηρή, και η ανάκτηση των εξόδων από την πώληση του προϊόντος σε υψηλότερη τιμή δεν μπορεί να λειτουργήσει καλά σε μια ανταγωνιστική αγορά. Η αποστείρωση με ατμό του μεταχειρισμένου περλίτη πριν την φύτευση μιας νέας καλλιέργειας έχει προταθεί για την προστασία ενάντια στην μόλυνση από παθογόνα. Ωστόσο, αυτή η μεταχείριση απαιτεί ακριβές γεννήτριες ατμού και μπορεί να μην είναι επαρκής λόγω της χαλαρής δομής του περλίτη και της μείωσης των

αλάτων του υλικού. Σε μια μελέτη που διεξήχθη για να διαπιστωθεί εάν η ανάπτυξη της ντομάτας (*Lycopersicon esculentum* Mill.) σε μεταχειρισμένο περλίτη, μετά από καθαρισμό και απολύμανση, θα ήταν πιο οικονομική από έναν καινούργιο περλίτη και χωρίς καθόλου αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή, εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο μεταχειρισμένος περλίτης μπορεί να καθαρισθεί, να απολυμανθεί ανάλογα με τις ανάγκες και να ανακυκλωθεί για πολλά χρόνια διότι δεν είναι οργανικός και είναι φυσικά και χημικά σταθερός (Raviv και Lieth, 2008, Παπαδόπουλος Π., 2012). Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του περλίτη είναι εύκολη αποκομιδή του μετά τη χρήση του στα θερμοκήπια, η οποία δεν προκαλεί προβλήματα στο περιβάλλον, λόγω της φυσικής του προέλευσης (Raviv *et al.* 2002, Σάββας Δ., 2011).

Πίνακας 2.8.3: Χαρακτηριστικά περλίτη (Βάου Β., 2010).

Φυσικά χαρακτηριστικά:		Χημικά χαρακτηριστικά – τυπική χημική ανάλυση:		
Χρώμα:	Λευκό μέχρι υπόλευκο	Διοξειδίο του πυριτίου:	SiO ₂	72–76%
Μορφή:	Κόκκοι	Οξειδίο αργιλίου:	Al ₂ O ₃	11–17%
Όσμη:	Άσμος	Οξειδίο καλλίου:	K ₂ O	4–5%
Σημείο μαλακύνσεως:	890–1100°C	Οξειδίο νατρίου:	Na ₂ O	2.9–4.0%
Σημείο τήξης:	1250–1350°C	Οξειδίο ασβεστίου:	CaO	0.5–2%
pH:	6.6–8.0	Τριοξειδίο σιδήρου:	Fe ₂ O ₃	0.5–1.5%
Ειδική θερμότητα:	0.2 cal/g°C	Οξειδίο μαγνησίου:	MgO	0.1–0.5%
Βάρος /100L:	100–140 Kg/m³	Διοξειδίο τιτανίου:	TiO ₂	0.03–0.2%
Δείκτης διάθλασης:	1.5	Βαρέα μέταλλα:		ίχνη
Ελεύθερη υγρασία:	0.5% κατά μέγιστο	Τριοξειδίο θείου:	SO ₃	ίχνη
Αντίσταση στη φωτιά:	Μέχρι 5 ώρες	Δεσμευμένο κρυσταλλικό νερό:	H ₂ O	2–3%
Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας λ, για το πισ πάνω βάρος ανά 100L, κυμαίνεται γύρω στα 0.04 Kcal/m/1°C. (Πηγή: Perlite Institute).		Διαλυτότητα: Διαλυτός σε ζεστό αλκαλικό διάλυμα και κανονικό διάλυμα υδροφθορικού οξέος. Ελαφρά διαλυτός (2%) σε συμπυκνωμένα ανόργανα οξέα. Πολύ ελαφρά διαλυτός (0.1%) σε διαλύματα οργανικών οξέων και συμπυκνωμένα μαλακά οξέα.		

2.9 Άρδευση με βάση την υγρασία στο υπόστρωμα

Στις καλλιέργειες που αναπτύσσονται στο έδαφος, είναι αρκετά συχνή η χρήση τασιμέτρων για τον έλεγχο της συχνότητας άρδευσης (Thomson *et al.*, 2007). Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν τασίμετρα και στις καλλιέργειες σε υποστρώματα για τον έλεγχο της συχνότητας άρδευσης (Lieth and burger, 1989, Pardossi *et al.*, 2009). Τα τασίμετρα μετρούν το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας (μύζηση) στο πορώδες του υποστρώματος, το οποίο αποτελεί συνάρτηση της περιεκτικότητάς του σε υγρασία. Όπως προκύπτει από όσα εκτέθηκαν σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες των υποστρωμάτων, η διαθεσιμότητα νερού για τα φυτά σε ένα πορώδες μέσο σε μία δεδομένη στιγμή εξαρτάται από την μύζηση που του ασκείται παρά από την περιεκτικότητά του σε υγρασία. Συνεπώς, αν τοποθετηθεί ένα τασίμετρο στο υπόστρωμα και συνδεθεί με ένα σύστημα αυτόματης διαχείρισης της άρδευσης, η παροχή θρεπτικού διαλύματος μπορεί να ενεργοποιείται αυτόματα όταν η μύζηση στο υπόστρωμα υπερβεί μία μέγιστη τιμή (π.χ. 5 kPa) και να σταματά όταν η μύζηση φτάσει σε μία κατώτερη τιμή (π.χ. 1 kPa). Με όρους υδατικού δυναμικού, η παροχή θρεπτικού διαλύματος ξεκινά αυτόματα όταν το δυναμικό της θεμελιώδους μάζας πέσει κάτω από ένα ελάχιστο όριο (π.χ. -5 kPa) και τερματίζεται αυτόματα μόλις το τασίμετρο δείξει μία μέγιστη τιμή (π.χ. -1 kPa). Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή μύζησης που καθορίζουν αντίστοιχα την έναρξη και τον τερματισμό του κύκλου άρδευσης εισάγονται ως τιμές αναφοράς (set-point values) στο σύστημα αυτόματης διαχείρισης της άρδευσης. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι τα τασίμετρα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο όχι μόνο της συχνότητας αλλά και της διάρκειας των κύκλων άρδευσης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στα υποστρώματα καλλιέργειας φυτών το εύκολο διαθέσιμο νερό συγκρατείται με μύζηση που κυμαίνεται από 5 έως 1 kPa. Είναι επομένως εύλογο να υποθέσει κανείς ότι αυτές οι τιμές μύζησης πρέπει να χρησιμοποιηθούν και ως τιμές αναφοράς για την έναρξη και την λήξη των κύκλων άρδευσης όταν η συχνότητά της ελέγχεται μέσω τασιμέτρων. Πραγματικά, οι τιμές αυτές φαίνεται να είναι κατάλληλες για υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για γλαστρικά φυτά (Kiehl *et al.*, 1992). Μέχρι σήμερα όμως δεν υπάρχει επαρκής εμπειρία με χρήση τασιμέτρων σε υποστρώματα όπως ο πετροβάμβακας, ο περλίτης, η ελαφρόπετρα και ο κόκκος (Lieth and Oki, 2008). Γενικά, η χρήση τασιμέτρων στα

υποστρώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγικές καλλιέργειες κηπευτικών και δρεπτόν ανθέων παρουσιάζει αρκετά προβλήματα. Φαίνεται ότι απαιτείται αρκετή έρευνα και τεχνολογική εξέλιξη ακόμη μέχρι να μπορούν τα τασίμετρα να εφαρμοστούν με αξιοπιστία σε παραγωγικές καλλιέργειες σε υποστρώματα (Schröder and Lieth, 2002). Γενικά το πορώδες των υποστρωμάτων έχει διαφορετική δομή και αποτελείται σε σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό από ευμεγέθεις πόρους σε σύγκριση με αυτό του εδάφους (Fonteno, 1996). Λόγω της ύπαρξης πολλών σχετικά μεγάλου μεγέθους πόρων, τις περισσότερες φορές δεν μπορεί να επιτευχθεί καλή επαφή μεταξύ του υποστρώματος και της κεραμικής κεφαλής του τασιμέτρου, η οποία συνιστά τον αισθητήρα μέτρησης της μύζησης στο πορώδες μέσο (Pardossi *et al.*, 2009). Το πρόβλημα αυτό δυσχεραίνει σημαντικά την αξιόπιστη μέτρηση της μύζησης μέσω τασιμέτρων στα υποστρώματα. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ο τρόπος και το σημείο τοποθέτησης του τασιμέτρου μέσα στο υπόστρωμα. Στα περισσότερα υποστρώματα, σε αντίθεση με τα φυσικά εδάφη, η περιεκτικότητα σε υγρασία μειώνεται απότομα καθώς αυξάνει η μύζησή τους στην περιοχή από 0 έως 2 kPa (0-20 cm), όπως προκύπτει από τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τους. Αυτό σημαίνει πρακτικά ότι η μύζηση που καταγράφει ένα τασίμετρο σε ένα υπόστρωμα, ακόμη και αν η μέτρηση είναι γνωστή, διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με το ύψος στο οποίο είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας του. Τίθεται επομένως το ερώτημα, σε ποιο ύψος από τον πυθμένα του υποδοχέα θα πρέπει να τοποθετηθεί η κεραμική κεφαλή του τασιμέτρου για να αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την διαθεσιμότητα υγρασίας μέσα στο υπόστρωμα. Η τοποθέτηση του αισθητήρα σε ύψος 10 cm από τον πυθμένα του υποδοχέα, το οποίο αντιστοιχεί στην συμβατική υδατοϊκανότητα φυτοδοχείου, είναι ίσως μία καλή πρακτική γιατί μπορεί να συνδυαστεί πολύ καλά με την έννοια του «εύκολα διαθέσιμου νερού» στα υποστρώματα. Μέχρι σήμερα όμως δεν υπάρχουν πειραματικά δεδομένα από καλλιέργειες σε υποστρώματα που να τεκμηριώνουν την ορθότητα εφαρμογής αυτής της προσέγγισης στην καλλιεργητική πράξη. Γενικά, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον καθορισμό του κατάλληλου ύψους τοποθέτησης των αισθητήρων των τασιμέτρων μέσα στα υποστρώματα των καλλιεργειών εκτός εδάφους, καθώς και των τιμών αναφοράς για την έναρξη και λήξη των κύκλων άρδευσης.

Κατά κανόνα, για κάθε ηλεκτροβάννα που είναι υπεύθυνη για την παροχή θρεπτικού διαλύματος σε έναν συγκεκριμένο αρδευόμενο τομές υπάρχει ένα τασίμετρο

που ελέγχει την λειτουργία της (Lieth and Oki, 2008). Υπάρχουν όμως και προγραμματιστές άρδευσης που ενεργοποιούν την παροχή νερού με βάση τον μέσο όρο των μετρήσεων από δύο ή και περισσότερα τασίμετρα (Pardossi *et al.*, 2009). Για να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα έκθεσης μέρους της καλλιέργειας σε καταπόνηση λόγω έλλειψης νερού, τα τασίμετρα θα πρέπει να τοποθετούνται σε υπόστρωμα που φιλοξενεί μεγάλα και καλά εκτεθειμένα στο ηλιακό φως φυτά (Schröder and Lieth, 2002). Επιπλέον, οι σταλάκτες που τροφοδοτούν αυτά τα φυτά θα πρέπει να έχουν παροχή ελαφρώς μικρότερη από την μέση παροχή των σταλακτών στον τομέα που ποτίζεται με βάση τις ενδείξεις του συγκεκριμένου τασιμέτρου.

Για μεγαλύτερη ασφάλεια πρέπει να υπάρχουν και άλλα τασίμετρα, εκτός από αυτά που ρυθμίζουν τη συχνότητα άρδευσης, τοποθετημένα σε διαφορετικά σημεία του θερμοκηπίου, τα οποία ενεργοποιούν την σήμανση συναγερμού σε περίπτωση κινδύνου για την καλλιέργεια. Μήνυμα για την ενεργοποίηση του συναγερμού διαβιβάζεται στην περίπτωση που η παροχή θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια είτε είναι ανεπαρκής είτε σταμάτησε, με συνέπεια την άνοδο της μύζησης στο υπόστρωμα σε επίπεδα που προκαλούν έντονη υδατική καταπόνηση. Καταστάσεις υδατικής καταπόνησης απαιτούν την ενεργοποίηση του συστήματος συναγερμού μπορούν να προκύψουν είτε λόγω δυσλειτουργίας των τασιμέτρων που ρυθμίζουν την συχνότητα άρδευσης είτε λόγω άλλου είδους προβλημάτων στο σύστημα άρδευσης.

Εκτός από τα τασίμετρα, τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί και άλλου είδους αισθητήρες για τον έλεγχο της άρδευσης με βάση την υδατική κατάσταση στο περιβάλλον των ριζών, τα οποία δεν βασίζονται στην μέτρηση της μύζησης αλλά της περιεκτικότητας του πορώδους μέσου σε υγρασία. Η μέτρηση της υγρασίας στο πορώδες μέσο, είτε αυτό είναι υπόστρωμα είτε έδαφος, μπορεί να γίνει με τριών διαφορετικών τύπων αισθητήρες και ειδικότερα: α) με αισθητήρες μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του μέσου (electrical conductance sensors), β) με αισθητήρες μέτρησης της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο του χρόνου (time domain reflectometry) και γ) με αισθητήρες μέτρησης της ισχύος ανάκλασης στο πεδίο των συχνοτήτων (frequency domain reflectometry).

Οι αισθητήρες μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του πορώδους μέσου είναι απλοί και βασίζονται στο γεγονός ότι όσο περισσότερο νερό έχει ένα πορώδες μέσο τόσο περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα μπορεί να μεταφέρει για δεδομένη τάση και απόσταση (Lieth and Oki, 2008). Το πλεονέκτημά τους είναι ότι βασίζονται σε απλή

τεχνολογία και συνεπώς έχουν χαμηλό κόστος. Το βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν εξαρτάται μόνο από την περιεκτικότητα του πορώδους μέσου σε υγρασία αλλά και από την περιεκτικότητα του νερού σε άλατα (Pardossi *et al.*, 2009). Συνεπώς, η ακρίβεια των μετρήσεων που παρέχουν εξαρτάται αφενός από την βαθμονόμησή τους στο δεδομένο πορώδες μέσο και το πρόγραμμα υδρολίπανσης που εφαρμόζεται και αφετέρου από το πόσο σταθερή είναι η ολική συγκέντρωση αλάτων στο νερό. Ένα επιπρόσθετο μειονέκτημα των αισθητήρων μέτρησης της υγρασίας στα πορώδη μέσα με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ότι αργούν να ανταποκριθούν στις μεταβολές της υγρασία σε αυτά (Munoz-Carpena *et al.*, 2005). Για τους παραπάνω λόγους δεν θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλοι για τον έλεγχο της συχνότητας άρδευσης στις καλλιέργειες σε υποστρώματα.

Οι άλλοι δύο τύποι αισθητήρων προσδιορισμού της περιεκτικότητας των πορωδών μέσων σε υγρασία βασίζονται στην μέτρηση της διηλεκτρικής χωρητικότητας ή διηλεκτρικής περατότητας (Robinson *et al.*, 2003). Ειδικότερα, οι αισθητήρες αυτού του τύπου βασίζονται στην εκπομπή ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού και την ανίχνευση της ισχύος ανάκλασής του είτε στο πεδίο του χρόνου (time domain reflectometry: TDR) (Ledieu *et al.*, 1986), είτε στο πεδίο των συχνοτήτων (frequency domain reflectometry: FDR) (Laboski *et al.*, 2001). Και στις δύο περιπτώσεις, η ισχύς ανάκλασης εξαρτάται από την περιεκτικότητα του μέσου σε υγρασία (Kipp and Kaarsemaker, 1995). Συνεπώς, μέσω ανάλυσης των ταλαντώσεων του ηλεκτρομαγνητικού σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει στο πορώδες μέσο και επιστρέφει είναι δυνατός ο προσδιορισμός της περιεκτικότητάς του σε υγρασία. Εκτός από την περιεκτικότητα σε υγρασία, οι αισθητήρες TDR και FDR, οι οποίοι είναι γνωστοί και ως διηλεκτρικοί αισθητήρες υγρασίας, μετρούν ταυτόχρονα και την ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και την θερμοκρασία στο πορώδες μέσο (Kizito *et al.*, 2008). Πρέπει όμως να διευκρινιστεί ότι οι διηλεκτρικοί αισθητήρες μετρούν την μέση EC όλου του όγκου του υποστρώματος, συνεπώς και του στερεού μέσου και του αέρα και όχι μόνο του θρεπτικού διαλύματος (Pardossi *et al.*, 2009). Συνεπώς η μέτρηση της EC στο υπόστρωμα μέσω διηλεκτρικών αισθητήρων έχει πολύ μικρή πρακτική αξία για την διαχείριση της θρέψης και της άρδευσης στις εκτός εδάφους καλλιέργειες. Περισσότερες τεχνικές πληροφορίες για τους τρόπους λειτουργίας των αισθητήρων με τους προσδιορίζεται η περιεκτικότητα των πορωδών μέσων σε υγρασία με βάση την

μέτρηση διηλεκτρικής χωρητικότητας (TDR ή FDR) δίνονται από τους Dalton *et al.* (1984), Hanson and Peters (2000), Lieth and Oki (2008) και Pardossi *et al.* (2009).

Οι διηλεκτρικοί αισθητήρες υγρασίας πρέπει να βαθμονομούνται για κάθε συγκεκριμένο υπόστρωμα (Baas *et al.*, 2004, Charpentier *et al.*, 2004), ενώ δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού ή του θρεπτικού διαλύματος στο πορώδες μέσο υπερβαίνει τα 5 dS m^{-1} (Lieth and Oki, 2008). Είναι όμως ανθεκτικοί στην υγρασία και τις αντίξοες συνθήκες που επικρατούν στα εδάφη και τα υποστρώματα, αντιδρούν γρήγορα στις αλλαγές της υγρασίας στο πορώδες μέσο, ενώ οι μετρήσεις τους έχουν επαναληψιμότητα και αποδεκτή ακρίβεια αν οι αισθητήρες βαθμονομηθούν σωστά (Charpentier *et al.*, 2004, Murray *et al.*, 2004). Επιπλέον, το κόστος τους δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο, αν και οι αισθητήρες τύπου TDR απαιτούν μία σχετικά υψηλού κόστους ηλεκτρονική συσκευή για την εκπομπή, ανίχνευση και ανάλυση της ανάκλασης του ηλεκτρομαγνητικού σήματος (Lieth and Oki, 2008, Pardossi *et al.*, 2009). Σε σύγκριση με τους αισθητήρες TDR, οι αισθητήρες FDR έχουν μικρότερο μέγεθος και προσφέρουν περισσότερες δυνατότητες για αυτοματοποίηση (Kizito *et al.*, 2008). Για τους παραπάνω λόγους, αισθητήρες FDR (Εικόνα 2.9.1) είναι πιο κατάλληλοι από τους TDR για τον αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης στις εκτός εδάφους καλλιέργειες με βάση την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία (van Os *et al.*, 2008).

Αν και οι αισθητήρες FDR έχουν δοκιμαστεί σε καλλιέργειες σε διάφορα υποστρώματα (Baas *et al.*, 2004, Pardossi *et al.*, 2009), η χρήση τους στην πράξη για τον αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης προς το παρόν περιορίζεται κυρίως στα γλαστρικά καλλωπιστικά φυτά που καλλιεργούνται σε τύρφη (Kipp and Kaarsemaker, 1995) καθώς και στις καλλιέργειες σε πετροβάμβακα (Hilhorst *et al.*, 1992, Stradiot, 2001). Για τα υπόλοιπα υποστρώματα δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη ολοκληρωμένη και αξιόπιστη τεχνογνωσία όσον αφορά κυρίως την βαθμονόμησή τους και τις τιμές αναφοράς που πρέπει να διέπουν την έναρξη και την λήξη των κύκλων άρδευσης.



Εικόνα 2.9.1: Αισθητήρες FDR

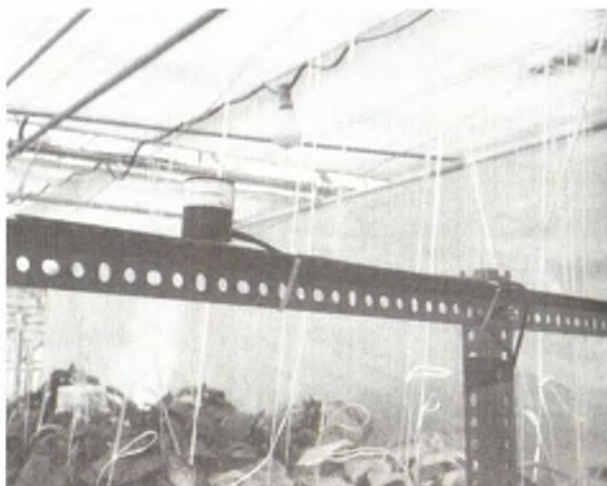
Ένας εναλλακτικός τρόπος αυτόματου ελέγχου της συχνότητας άρδευσης με βάση την υδατική κατάσταση του υποστρώματος βασίζεται στην συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή τους βάρους ενός ή μίας ομάδας υποδοχέων του υποστρώματος (Lieth and Oki, 2008). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τοποθέτησης των υποδοχέων του υποστρώματος (σάκοι, γλάστρες, κ.λπ.) πάνω σε μία ζυγαριά η οποία είναι συνδεδεμένη ηλεκτρονικά με το σύστημα αυτόματου ελέγχου της συχνότητας άρδευσης (Εικόνα 2.9.2). Οι υποδοχείς που τοποθετούνται πάνω στη ζυγαριά είναι γεμισμένοι με υπόστρωμα και φέρουν φυτά όπως και όλοι οι υπόλοιποι στον χώρο της καλλιέργειας. Όπως είναι προφανές, ο ρυθμός αύξησης του βάρους των φυτών λόγω αύξησης της βιομάζας τους είναι πολύ πιο αργός από τον ρυθμό απώλειας νερού από τα υποστρώματα λόγω της διαπνοής του φυτού (Lieth and Oki, 2008). Συνεπώς, οι στιγμιαίες μεταβολές στο βάρος που καταγράφει η ζυγαριά αντιστοιχούν στην απώλεια ή την αύξηση της υγρασίας στα υποστρώματα η οποία οφείλεται σε απορρόφηση νερού από τα φυτά ή σε προσθήκη νερού μέσω ποτίσματος αντίστοιχα. Εφόσον είναι γνωστός ο όγκος του υποστρώματος που φέρεται πάνω στην ζυγαριά και η περιεκτικότητά του σε υγρασία στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας φυτοδοχείου, από τις μεταβολές στο βάρος που καταγράφει η ζυγαριά μπορεί να υπολογίζεται αυτόματα σε πραγματικό χρόνο η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε νερό. Με βάση αυτά τα δεδομένα μπορεί να υπολογισθεί και να ελεγχθεί αυτόματα η συχνότητα άρδευσης μέσω ορισμού τιμών αναφοράς όσον αφορά την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία, όπως και στην περίπτωση των διηλεκτρικών αισθητήρων.



Εικόνα 2.9.2: Υποδοχείς υποστρώματος (σάκοι καλυμμένοι με πλαστικό φύλλο) τοποθετημένοι πάνω σε μία ζυγαριά η οποία καταγράφει συνεχώς την απώλεια νερού από το υπόστρωμα λόγω της διαπνοής των φυτών με στόχο τον αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης.

Συνήθως ο έλεγχος της συχνότητας άρδευσης μέσω τασιμέτρων ή διηλεκτρικών αισθητήρων (TDR, FDR) συνδυάζεται και με έναν μηχανισμό ενεργοποίησης κύκλων άρδευσης σε προκαθορισμένους χρόνους, ο οποίος λειτουργεί επικουρικά ως δικλείδα ασφαλείας του συστήματος (Lieth and Oki, 2008, Pardossi, *et al.*, 2009). Η άρδευση σε προκαθορισμένους χρόνους μέσω του επικουρικού συστήματος ασφαλείας ενεργοποιείται μόνο όταν για κάποιο λόγο η έναρξη ποτίσματος με βάση το τασίμετρο ή τον διηλεκτρικό αισθητήρα καθυστερεί περισσότερο από έναν προκαθορισμένο ασφαλή χρόνο. Το επικουρικό σύστημα ασφαλείας της άρδευσης ελέγχει επίσης και την μέγιστη διάρκεια της παροχής θρεπτικού διαλύματος με βάση έναν προκαθορισμένο χρόνο που εισάγεται στο σύστημα αυτόματου ελέγχου. Μέσω καθορισμού μίας μέγιστης διάρκειας άρδευσης αποφεύγεται η υπεράρδευση και οι συνεπακόλουθες ζημιές στην καλλιέργεια σε περίπτωση δυσλειτουργίας του συστήματος που ελέγχει την συχνότητα των ποτισμάτων μέσω τασιμέτρων ή διηλεκτρικών αισθητήρων.

2.10 Άρδευση με βάση την ηλιακή ενέργεια

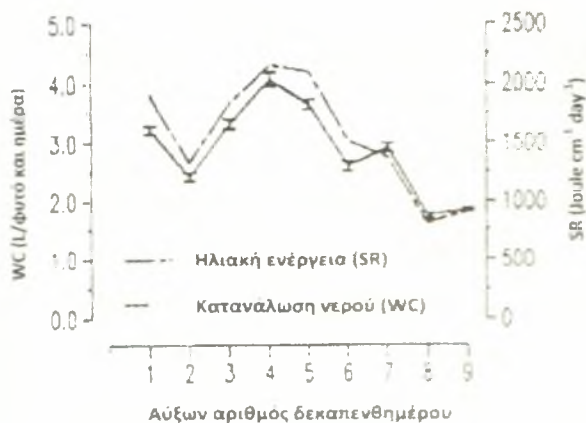


Εικόνα 2.10.1: Πυρανόμετρο τοποθετημένο πάνω από την καλλιέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου το οποίο χρησιμεύει στον αυτόματο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης

Ο έλεγχος της συχνότητας άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια που δέχεται η κόμη των φυτών απαιτεί την εγκατάσταση ενός αισθητήρα μέτρησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (πυρανόμετρο, *Εικόνα 2.10.1*) και ενός ειδικού προγραμματιστή άρδευσης. Οι τιμές έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (W m^{-2}) που καταγράφει το πυρανόμετρο μεταφέρονται στον προγραμματιστή άρδευσης όπου μετατρέπονται σε ηλιακή ενέργεια ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας (J m^{-2}) μέσω ολοκλήρωσης στον χρόνο. Η ένταση της ενέργειας που καταγράφει το πυρανόμετρο δεν οφείλεται μόνο στην φωτοσυνθετικά ενεργή αλλά στην κοσμική ακτινοβολία η οποία περιλαμβάνει τόσο την άμεση όσο και την διάχυτη ακτινοβολία από όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Συχνά η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που καταγράφεται στον προγραμματιστή άρδευσης εκφράζεται σε Wh m^{-2} ($1 \text{ Wh m}^{-2} = 3600 \text{ J m}^{-2} = 0.36 \text{ J cm}^{-2}$). Οι τιμές έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας μεταφέρονται σε σταθερά χρονικά διαστήματα στον προγραμματιστή άρδευσης. Κατά κανόνα ο προγραμματιστής άρδευσης λαμβάνει τιμές κάθε 1 min οι οποίες, αφού μετατραπούν σε ποσότητα ηλιακής ενέργειας μέσω ολοκλήρωσης ως προς το χρόνο, αθροίζονται συνεχώς. Όταν η αθροιστική ηλιακή ενέργεια φτάσει σε μία συγκεκριμένη τιμή αναφοράς, η οποία έχει ορισθεί ως *τιμή ενεργοποίησης άρδευσης* (TEA) από τον παραγωγό, ο προγραμματιστής άρδευσης δίνει αυτόματα εντολή για την έναρξη παροχής θρεπτικού διαλύματος στην καλλιέργεια. Παράλληλα, ο προγραμματιστής άρδευσης μηδενίζει την αθροιστική ηλιακή ενέργεια και αρχίζει να την αθροίζει ξανά μέχρι να φτάσει και πάλι στο επίπεδο

της TEA, οπότε ενεργοποιείται ξανά η παροχή θρεπτικού διαλύματος (νέος κύκλος άρδευσης), κ.ο.κ.

Από την παραπάνω περιγραφή γίνεται φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα τόσο γρηγορότερα η αθροιστική ηλιακή ενέργεια φτάνει την ορισθείσα TEA και συνεπώς τόσο συχνότερα αρδεύεται η καλλιέργεια. Συνεπώς, όταν λόγω μειωμένης ηλιοφάνειας (συννεφιασμένος ή βροχερός καιρός) η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στην καλλιέργεια είναι μειωμένη, η συχνότητα άρδευσης μειώνεται αντίστοιχα. Μέσω αυτού του μηχανισμού, η συχνότητα της άρδευσης αυξομειώνεται, ανάλογα με την ηλιακή ενέργεια που δέχεται η καλλιέργεια κάθε φορά. Έχει αποδειχτεί ότι η αυτόματη αναπροσαρμογή της συχνότητας άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια που φτάνει στην καλλιέργεια μπορεί να καλύψει ικανοποιητικά τις υδατικές ανάγκες των φυτών χωρίς να γίνεται σπατάλη νερού και λιπασμάτων (Abou-Hadid *et al.*, 1994, Roh and Lee, 1996, Lizarraga *et al.*, 2003). Αυτό συμβαίνει γιατί η ηλιακή ενέργεια που δέχεται μία καλλιέργεια σχετίζεται στενά με την κατανάλωση νερού από τα φυτά μέσω της διαπνοής, όπως φαίνεται και από τα πειραματικά δεδομένα του Σχήματος 2.10.1. Την ύπαρξη ανάλογα στενών σχέσεων μεταξύ της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα φυτά και των αναγκών τους σε νερό, όπως αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 2.10.1 έχουν διαπιστώσει και άλλοι ερευνητές (p.x. Prenger *et al.*, 2002, Lizarraga *et al.*, 2003, Katsoulas *et al.*, 2006).



Σχήμα 2.10.1: Διακυμάνσεις στην ημερήσια κατανάλωση νερού ανά φυτό (WC) και την ηλιακή ενέργεια (SR) που προσπίπτει σε ένα θερμοκήπιο με υδροπονική καλλιέργεια μελιτζάνας. Οι τιμές είναι μέσοι όροι διαδοχικών δεκαπενθημέρων με χρόνο έναρξης την πρώτη συγκομιδή. Οι κάθετες γραμμές απεικονίζουν ± τυπικά σφάλματα.

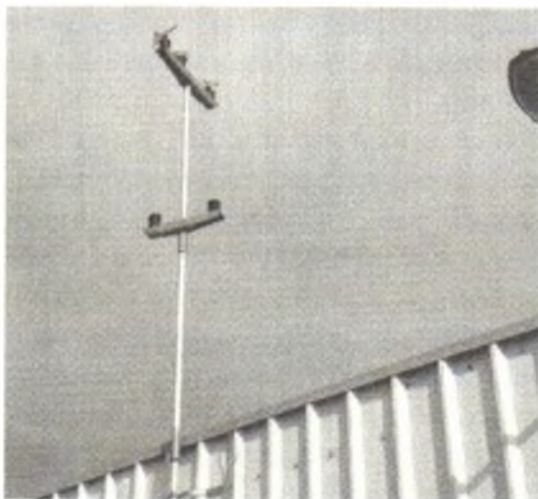
Το ύψος της ηλιακής ενέργειας που εισάγεται ως TEA στον προγραμματιστή άρδευσης διαφέρει, ανάλογα με το είδος και την ηλικία του φυτού. Αυτό είναι εύλογο, δεδομένου ότι φυτά που διαφέρουν σε αυτά τα δύο χαρακτηριστικά μπορούν να έχουν τελείως διαφορετικές ανάγκες σε νερό κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Συνεπώς η συχνότητα της άρδευσης τους πρέπει να διαφοροποιείται ανάλογα αφού, η διάρκεια της άρδευσης συνήθως δεν μεταβάλλεται γιατί δεν εξαρτάται από το φυτό αλλά από το υπόστρωμα. Στην πράξη, όταν ξεκινά μια νέα καλλιέργεια και τα φυτά είναι μικρά, ο παραγωγός, ορίζει ως TEA μία σχετικά μεγάλη τιμή της τάξεως των 500-750 Wh m⁻² (1,8-2,7 MJ m⁻²). Στην πορεία της καλλιέργειας και καθώς τα φυτά μεγαλώνουν, η TEA μειώνεται τακτικά (π.χ. κάθε εβδομάδα). Η αναπροσαρμογή της TEA δεν πρέπει να γίνεται στα τυφλά αλλά κατόπιν ελέγχου του κλάσματος απορροής με τους τρόπους και τον εξοπλισμό. Ειδικά τις πρώτες ημέρες που ξεκινά η καλλιέργεια, η TEA μπορεί να χρειαστεί να αναπροσαρμόζεται πολύ συχνά, μέχρι να επιτευχθεί ένα κλάσμα απορροής της τάξεως του 30-40%. Στη συνέχεια, οι αναπροσαρμογές της TEA προς τα κάτω ακολουθούν τον ρυθμό αύξησης του μεγέθους των φυτών. Όταν τα φυτά φτάσουν στην πλήρη ανάπτυξή τους, η TEA λαμβάνει μία ελάχιστη τιμή η οποία δεν χρειάζεται πλέον να αναπροσαρμόζεται τακτικά. Για να γίνει αντιληπτή η τάξη μεγέθους των τιμών που πρέπει να λαμβάνει η TEA, παρακάτω αναφέρονται ποσοτικά δεδομένα για δύο καλλιεργούμενα είδη προερχόμενα από την διεθνή βιβλιογραφία. Το πρώτο είδος είναι η τομάτα, για την οποία οι Lizarraga *et al.* (2003) συνιστούν μία τιμή TEA ίση με 0,81 MJ m⁻² (225 Wh m⁻²) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με βάση δεδομένα από μία πλήρως ανεπτυγμένη καλλιέργεια στις κλιματικές συνθήκες της Ιταλίας. Το δεύτερο είδος είναι η τριανταφυλλιά για την οποία οι Katsoulas *et al.* (2006) συνιστούν μία τιμή TEA ίση με 1,6 MJ m⁻² (445 Wh m⁻²) στο εξωτερικό του θερμοκηπίου όταν τα φυτά είναι πλήρως ανεπτυγμένα, με βάση δεδομένα προερχόμενα από τις κλιματικές συνθήκες της κεντρικής Ελλάδας. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί κατά προσέγγιση σε 1,1 MJ m⁻² (306 Wh m⁻²) στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αν ληφθεί υπόψη η περατότητα του πλαστικού κάλυψής του.

Αμέσως μετά την μεταφύτευση, όταν τα φυτά είναι μικρά, παράλληλα με την σχετικά χαμηλή συχνότητα άρδευσης μπορεί να μειώνεται και η διάρκεια της άρδευσης σε κάποιο βαθμό σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται. Η μείωση της διάρκειας των αρδεύσεων σε αυτό το αρχικό στάδιο της καλλιέργειας έχει ως στόχο την αποφυγή πολύ ψηλών κλασμάτων απορροής χωρίς να χρειάζεται να καθορίζονται υπερβολικά ψηλές

TEA οι οποίες θα οδηγήσουν σε υπερβολικά μεγάλα χρονικά διαστήματα μεταξύ των ποτισμάτων. Η συχνότητα άρδευσης δεν επηρεάζει μόνο την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε νερό αλλά και την παροχή θρεπτικών στοιχείων και οξυγόνου στις ρίζες μέσω μαζικής ροής (Silber *et al.*, 2005). Συνεπώς, η διατήρηση της συχνότητας άρδευσης πάνω από κάποιο ελάχιστο επίπεδο (3-4 φορές ανά ημέρα), ακόμη και στην αρχή της καλλιέργειας, όταν οι ανάγκες της νερό είναι χαμηλές, είναι πολύ σημαντική.

Για αποτελεσματικότερο έλεγχο της συχνότητας άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια που δέχεται η κόμη των φυτών, συνιστάται να εγκαθίσταται και ένα συμπληρωματικό σύστημα που θα λειτουργεί με χρονοδιακόπτη. Το σύστημα αυτό δίνει την δυνατότητα ορισμού ενός μέγιστου και ενός ελάχιστου χρονικού διαστήματος, εντός του οποίου ενεργοποιείται ένας κύκλος άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια. Συνήθως οι προγραμματιστές άρδευσης που λειτουργούν με βάση ένα μικτό σύστημα ελέγχου της συχνότητας των ποτισμάτων. Έχουν την δυνατότητα κατάτμησης του εικοσιτετραώρου σε επιμέρους περιόδους (π.χ. πρωί από 8.00΄ έως 11.00΄, μεσημέρι από 11.00΄ έως 14.00΄, κ.λπ.). επομένως, είναι δυνατόν να ρυθμίζονται διαφορετικά μέγιστα και ελάχιστα χρονικά όρια ενεργοποίησης κύκλων άρδευσης σε κάθε επιμέρους περίοδο του εικοσιτετραώρου. Ένα από τα πλεονεκτήματα ενός τέτοιου μικτού συστήματος ελέγχου της συχνότητας άρδευσης είναι ότι δίνει την δυνατότητα ποτίσματος της καλλιέργειας και κατά τις νυχτερινές ώρες. Γενικά, η λειτουργία ενός επικουρικού συστήματος ελέγχου της συχνότητας άρδευσης σε προκαθορισμένους χρόνους είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατά την διάρκεια των χειμερινών ημερών με πολύ χαμηλή ηλιοφάνεια, όταν λειτουργεί σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, ο ρυθμός κατανάλωσης νερού επηρεάζεται από και από την ενέργεια που παρέχει το σύστημα θέρμανσης στην καλλιέργεια (de Graaf, 1985) και συνεπώς η άρδευση πρέπει να είναι συχνότερη από αυτή που προκύπτει με βάση την αθροιστική ηλιακή ενέργεια. Επιπλέον, η ρύθμιση της συχνότητας άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια πρέπει να συνδυάζεται και με ένα σύστημα μέτρησης του κλάσματος απορροής, ανεξάρτητα από την ύπαρξη επικουρικού συστήματος ενεργοποίησης ποτισμάτων με χρονοδιακόπτη. Η ύπαρξη ενός συστήματος μέτρησης του κλάσματος απορροής είναι αναγκαία για να μπορεί ο παραγωγός να βαθμονομεί και να προσαρμόζει κατάλληλα την TEA που εισάγει στο σύστημα, σύμφωνα με όσα έχουν ήδη αναφερθεί παραπάνω.

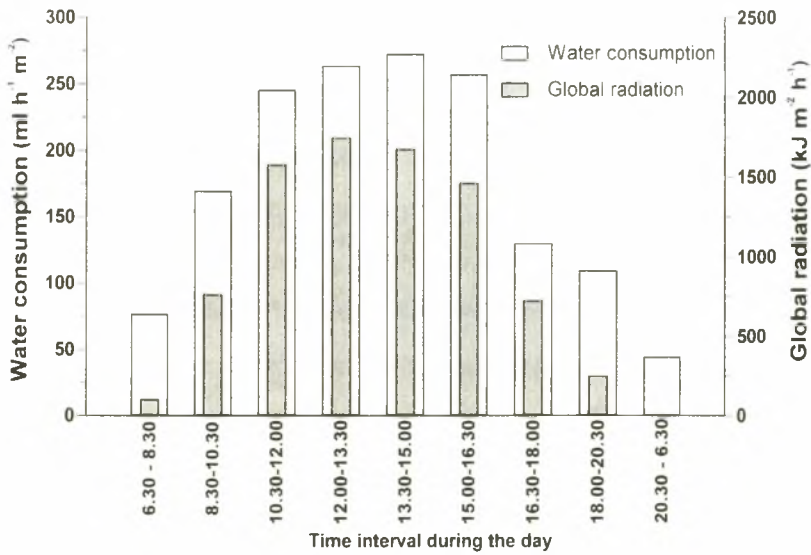
Το βασικό πλεονέκτημα του ελέγχου της συχνότητας 'άρδευσης με βάση την ηλιακή ενέργεια είναι ότι μειώνει σημαντικά την σπατάλη νερού και λιπασμάτων σε σύγκριση με την άρδευση σε σταθερούς και προκαθορισμένους χρόνους, λειτουργώντας με τρόπο απλό και κατανοητό στον παραγωγό. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι, όταν η συχνότητα άρδευσης ρυθμίζεται αυτόματα με βάση μόνο την ηλιακή ενέργεια που δέχεται η καλλιέργεια, η παροχή νερού στα φυτά δεν είναι δυνατόν να προσαρμοστεί πλήρως στις ανάγκες τους. Οι ανάγκες των φυτών σε νερό οφείλονται κατά 99% περίπου στην διαπνοή (Katerji *et al.*, 2008). Η διαπνοή όμως δεν επηρεάζεται μόνο από την ηλιακή ενέργεια αλλά και από το έλλειμμα κορεσμού του αέρα εντός του θερμοκηπίου, καθώς και από άλλες εισροές ενέργειας στο θερμοκήπιο. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται κυρίως η θερμότητα που προέρχεται μέσω των ανοιγμάτων αερισμού (de Graaf, 1985). Συνεπώς, η συχνότητα άρδευσης που προκύπτει με βάση αποκλειστικά και μόνο την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια μπορεί να μην είναι σε πλήρη αντιστοιχία με τις πραγματικές υδατικές ανάγκες της καλλιέργειας.



Εικόνα 2.10.2: Μετεωρολογικός σταθμός τοποθετημένος στην οροφή του θερμοκηπίου για την καταγραφή και διαβίβαση κλιματικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στο σύστημα αυτόματου ελέγχου της άρδευσης.

Το πυρανόμετρο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ηλιακής ενέργειας κατά κανόνα τοποθετείται εκτός του θερμοκηπίου. Όταν το πυρανόμετρο τοποθετείται εκτός του θερμοκηπίου, για τον υπολογισμό της πραγματικής ηλιακής ενέργειας που φθάνει στην κόμη των φυτών λαμβάνεται υπόψη και ο συντελεστής περατότητας του

υλικού κάλυψης στην κοσμική ακτινοβολία. Η τοποθέτηση του πυρανομέτρου εκτός του θερμοκηπίου επιτρέπει την αντικειμενική μέτρηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας χωρίς προβλήματα από πρόσκαιρες σκιάσεις οφειλόμενες στα σκελετικά στοιχεία του θερμοκηπίου. Για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων μέτρησης όμως, η επιφάνεια του πυρανομέτρου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να τοποθετηθεί σε απολύτως οριζόντια θέση και να καθαρίζεται τακτικά, ώστε να απομακρύνεται η σκόνη. Συνήθως το πυρανόμετρο αποτελεί τμήμα ενός μετεωρολογικού σταθμού ο οποίος επιπλέον φέρει αισθητήρες θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας, ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου (Εικόνα 2.10.2) (Σάββας Δ., 2011).



Σχήμα 2.10.2: Διακυμάνσεις στην κατανάλωση νερού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια μίας ημέρας σε μία υδροπονική καλλιέργεια στο θερμοκήπιο (<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar03.pdf>).

2.11 Υδατοϊκανότητα – σημείο μάρανσης

Εάν τοποθετήσουμε ένα υπόστρωμα σε ένα αβαθές δοχείο με στόμιο εκροής στη βάση, το πλημμυρίζουμε με νερό μέχρι να κορεστεί και το αφήνουμε μετά να στραγγίσει, διαπιστώνουμε ότι το υπόστρωμα, περίπου μετά από 6 ώρες, παύει πια να χάνει νερό με στραγγιση. Αυτό δείχνει ότι η υγρασία του υποστρώματος (ύψος στη λεκάνη). Η υγρασία σε κάθε οριζόντιο επίπεδο αυξάνει, όσο μικραίνει η απόσταση από

τον πυθμένα της λεκάνης ή του δοχείου. Έτσι, το υπόστρωμα είναι πιο ξηρό στο επάνω μέρος και πιο υγρό στο κάτω.

Για να αποκτήσει κανείς μια εικόνα του όγκου του νερού που μπορεί να συγκρατηθεί σε υπόστρωμα άμμου όγκου 100 λίτρων, σε διαφόρου ύψους δοχεία, αναφέρουμε ότι σε δοχείο με ύψος 10 cm, που αντιστοιχεί μια επιφάνεια άμμου 1 m², συγκρατούνται 29,5 l νερού. Σε δοχείο με ύψος 20 cm, που αντιστοιχεί επιφάνεια 0,5 m², συγκρατούνται 17,1 l νερού.

Γενικά στη βάση το μικροπορώδες παίζει το ρόλο μιας φραγής που αντιστέκεται στην έξοδο του νερού όσο η πίεση του νερού δε υπερβαίνει την ατμοσφαιρική πίεση. Στη βάση το μικροπορώδες είναι κατ' αρχήν κορεσμένο.

Η αρνητική πίεση που ασκείται από το υπόστρωμα στο νερό εξισορροπεί το αποτέλεσμα της βαρύτητας. Αποδεικνύεται ότι η αρνητική πίεση, μηδενική στη βάση του μικροπορώδους νερού ελαττώνονται.

Για να μετρήσουμε την υδατοϊκανότητα του υποστρώματος, χρησιμοποιούμε ένα δοχείο με μεταβλητό διάφραγμα στη βάση του που το γεμίζουμε με το υπόστρωμα μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος. Προσθέτουμε νερό και μετά τον κορεσμό αφήνεται να στραγγίξει μόνο του, για 6 ώρες. Τότε προσδιορίζεται η υγρασία του δείγματος, που αφορά την υδατοϊκανότητα για το συγκεκριμένο πάχος (απόσταση από τη βάση).

Η κατακόρυφη κατανομή του νερού στο υπόστρωμα είναι ανάλογη με αυτή που αποκτάται, αν αφεθεί το υπόστρωμα να αποσπάσει νερό από τη βάση του, έχοντας το νερό μια σταθερή στάθμη.

Η ποσότητα του νερού που συγκρατεί ένα υπόστρωμα μπορεί να εκφραστεί με διαφόρους τρόπους και γι' αυτό υπάρχουν διάφορες τιμές υγρασίας:

α) υγρασία ισοζυγίου, που αναφέρεται σε ξηρά μάζα του υλικού. Είναι το πηλίκο της μάζας του νερού που κατακρατεί το υλικό στην κατάσταση ισορροπίας προς την μάζα του ξηρού υλικού (π.χ. 400 g ξηρού υλικού συγκρατούν 80 g νερού, δηλαδή $80/400 = 0.2$ ή 20% του ξηρού βάρους).

β) Η υγρασία ισοζυγίου που αναφέρεται στη νωπή μάζα του υλικού. Είναι το πηλίκο της μάζας του νερού προς το άθροισμα της μάζας του νερού και της μάζας του υλικού, ή $80/400+80 = 0,166$ ή 16,6% του νωπού υλικού.

Οι εκφράσεις αυτές της υγρασίας χρησιμοποιούνται, όταν γνωρίζουμε το ξηρό βάρος του υλικού και θέλουμε να βρούμε την ποσότητα του νερού που περιέχει.

Υγρασία κατ' όγκο είναι η σχέση του όγκου του νερού που περιέχεται στο υπόστρωμα προς το φαινόμενο όγκο του υποστρώματος. Γνωρίζοντας την υγρασία % της ξηράς μάζας, βρίσκουμε την υγρασία % κατ' όγκο, χρησιμοποιώντας τη φαινομενική πυκνότητα (ρ_ϕ). [ρ_ϕ = μάζα/φαινόμενο όγκο] ως εξής:

Υγρασία κατ' όγκο % = υγρασία % της ξηράς μάζας x φαινομενική πυκνότητα

Ένα υλικό που έχει υγρασία 20% ξηράς μάζας και φαινομενική πυκνότητα 1,2 τότε έχει υγρασία κατ' όγκο $20 \times 1,2 = 24\%$.

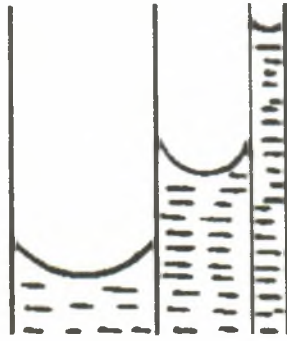
Η έκφραση της υγρασίας κατ' όγκο δίνει μια πιο κατανοητή εικόνα της ποσότητας του νερού που συγκρατείται από το υπόστρωμα σε σχέση με το φαινόμενο όγκο του. Π.χ η υδατοϊκανότητα για 10 cm ύψος άμμου % της ξηράς μάζας είναι 18,5, ενώ είναι 1018,5 για μείγμα άμμου και τύρφης. Η έκφραση της υγρασίας κατ' όγκο οδηγεί σε πιο λογική αναλογία, όπως υγρασία 29,5 κατ' όγκο για την άμμο και 76,3% για το μείγμα (φαινομενική πυκνότητα 1,59 και 0,075, αντίστοιχα).

Το σημείο **μάρανσης** είναι η υγρασία πέραν της οποίας το φυτό μαραίνεται μόνιμα, γιατί η εναπομείνασα ποσότητα νερού στο υπόστρωμα συγκρατείται πολύ ισχυρά από αυτό και δεν μπορεί να την αποσπάσει.

Το φυτό αποσπά το νερό από το υπόστρωμα εύκολα στο σημείο της υδατοϊκανότητας και δυσκολότερα, όσο μικραίνει η ποσότητα του νερού στο υπόστρωμα, μέχρι το σημείο μάρανσης. Γι' αυτό στις εντατικές καλλιέργειες και ιδιαίτερα στις υδροπονικές, η άρδευση γίνεται πολύ πριν η υγρασία του υποστρώματος φθάσει στο σημείο μάρανσης.

2.12 Διαθεσιμότητα νερού στο υπόστρωμα

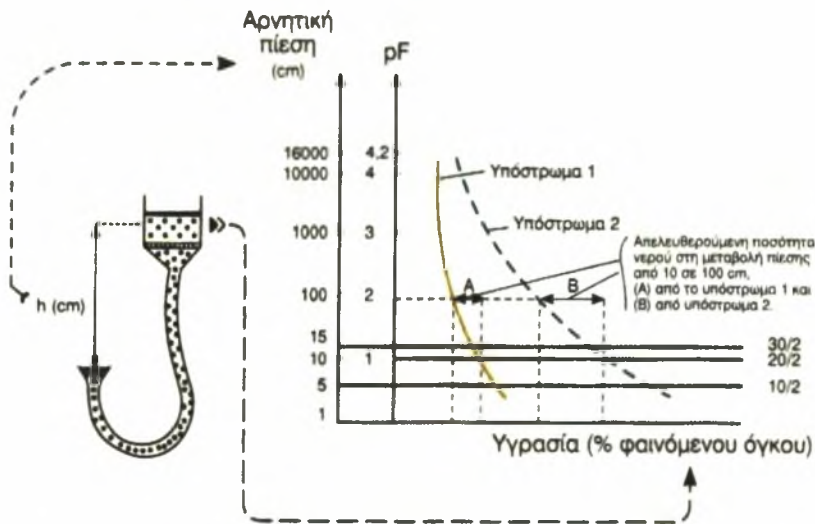
Όπως προαναφέρθηκε, το νερό που βρίσκεται στο υπόστρωμα συγκρατείται ένα μέρος του λιγότερο δυνατά και ένα μέρος του περισσότερο δυνατά, αντιστρόφως ανάλογα με τη διάμετρο των τριχοειδών του πόρων. Όσο περισσότερο δυνατά συγκρατείται το νερό στο υπόστρωμα, τόσο λιγότερο είναι διαθέσιμο για τα φυτά, τα οποία πρέπει να καταβάλλουν μεγαλύτερο έργο για να το αποσπάσουν.



Σχήμα 2.12.1: Διαφόρων διαμέτρων τριχοειδή αγγεία

Όταν στο διϋγραμμένο υπόστρωμα εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη αρνητική πίεση, τότε όλοι οι πόροι, μεγαλύτεροι από μια δεδομένη διάμετρο, αδειάζουν.

Η καμπύλη pF , όπως ονομάζεται η καμπύλη του Σχήματος 2.12.2, αναπαριστά την προηγούμενη διαπίστωση. Περιλαμβάνει την υγρασία (% του φαινομένου όγκου) και σε δύο παράλληλες κλίμακες (1. σε εκατοστά ύψους όγκου, 2. λογαριθμική κλίμακα pF).



Σχήμα 2.12.2: Καμπύλες pF

Αυτές οι καμπύλες επιτρέπουν τη σύγκριση των υποστρωμάτων από την άποψη της διαθεσιμότητας του νερού. Όταν αυξάνουμε την απορρόφηση από 10 σε 100 cm ύψος νερού, το υπόστρωμα 1 απελευθερώνει Α ποσότητα νερού, ενώ το υπόστρωμα 2 απελευθερώνει ποσότητα Β. Δηλαδή το διαθέσιμο νερό για το φυτό είναι περισσότερο στο Β υπόστρωμα.

Στις εντατικές καλλιέργειες θεωρούμε ότι το νερό στο υπόστρωμα πρέπει να είναι εύκολα διαθέσιμο στο φυτό. Το ανώτατο όριο είναι η υδατοϊκανότητα και το κατώτερο μεταξύ pF 2 (100 cm ύψος νερού αρνητική πίεση) και pF 2,47 (300 cm ύψος νερού αρνητική πίεση, White, 1974).

Ας σημειωθεί ότι οι καμπύλες pF επιτρέπουν την εκτίμηση της υδατοϊκανότητας στη μέση του δείγματος (μηδενική απορρόφηση στη βάση και απορρόφηση στην κορυφή ανάλογα με το ύψος του δείγματος).

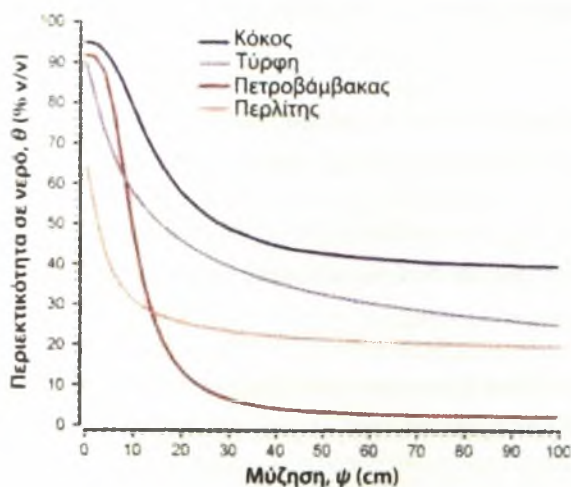
Η εκτίμηση της υδατοϊκανότητας επομένως, σύμφωνα με την καμπύλη pF, είναι η υγρασία που αντιστοιχεί σε μια ομοιόμορφη απορρόφηση στο μέσο ύψος του δείγματος σε εκατοστά, π.χ. για ύψος υποστρώματος 20 cm η αντίστοιχη υγρασία βρίσκεται στα 20/2 cm, που αντιστοιχεί σε 10 cm αρνητική πίεση (pF 1), για ύψος υποστρώματος 10 cm, η αντίστοιχη υγρασία βρίσκεται στα 10/2 cm, που αντιστοιχεί σε 5 cm αρνητική πίεση. Οι καμπύλες pF επομένως μπορούν να δώσουν τη συμπεριφορά της διακύμανσης της υδατοϊκανότητας με το ύψος του υποστρώματος (Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 2006).

2.13 Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας

Για μια δεδομένη περιεκτικότητα υποστρώματος σε νερό, η μύζηση που ασκείται σε αυτό δεν είναι η ίδια για όλα τα υποστρώματα αλλά διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του πορώδους τους. Η αλλαγή της περιεκτικότητας ενός υποστρώματος σε υγρασία θ οδηγεί σε μεταβολή της μύζησης ψ που αυτό ασκεί στο νερό. Η συνάρτηση που συνδέει την θ με την ψ σε ένα δεδομένο υπόστρωμα μπορεί να αποδοθεί γραφικά από μία καμπύλη, η οποία είναι πάντοτε η ίδια και επομένως χαρακτηριστική για το συγκεκριμένο υπόστρωμα.

Τέτοιου είδους καμπύλες που συσχετίζουν γραφικά τις μεταβολές της περιεκτικότητας ενός υποστρώματος σε υγρασία με τις αλλαγές στην αρνητική πίεση (μύζηση) είναι γνωστές ως **"χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας"** (XKY) ή **"καμπύλες συγκράτησης υγρασίας"**. Αυτού του είδους οι καμπύλες αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την περιγραφή των ιδιοτήτων του εδαφικού πορώδους (Childs, 1940, Πουλοβασίλης, 2010) αλλά σύντομα διαπιστώθηκαν ότι είναι εξίσου κατάλληλες και για τα πορώδη υποστρώματα καλλιέργειας (Bunt, 1961). Σήμερα ο προσδιορισμός της XKY αποτελεί ένα από τα πρώτα και πλέον σημαντικά βήματα κατά

την διαδικασία αξιολόγησης οποιουδήποτε πορώδους υλικού όσον αφορά την καταλληλότητά του για χρήση αξιολόγησης των φυσικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων και μέσω αυτών της διαθεσιμότητας νερού και οξυγόνου στις ρίζες των φυτών.



Σχήμα 2.13: Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τεσσάρων υποστρωμάτων καλλιέργειας και ειδικότερα του πετροβάμβακα (Fonteno and Nelson, 1990, Benoit and Ceustermans, 1996), του περλίτη (Fonteno, 1996), της τύρφης (da Silva *et al.*, 1993) και του κόκου (Raviv *et al.*, 2001)

Όπως είναι γνωστό από την φυσική εδάφους, οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των εδαφών αποτελούνται από δύο κλάδους, την αρχική καμπύλη ή **καμπύλη διαβροχής** και την κύρια καμπύλη ή **καμπύλη αποστράγγισης**. Το ίδιο συμβαίνει και με τις ΧΚΥ των υποστρωμάτων (Bougoul *et al.*, 2005, Naasz *et al.*, 2008). Η καμπύλη διαβροχής προσδιορίζεται σε δείγμα υποστρώματος με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε υγρασία, το οποίο διαβρέχεται βαθμιαία, οπότε η μύζηση που ασκεί το υπόστρωμα στο νερό υφίσταται διαδοχική μείωση μέχρι να μηδενιστεί (κατάσταση κορεσμού), ενώ παράλληλα προσδιορίζεται η θ που αντιστοιχεί σε κάθε επίπεδο μύζησης. Αντίστοιχα, η καμπύλη αποστράγγισης προσδιορίζεται μέσω διαδοχικής αύξησης της μύζησης ενός υποστρώματος ξεκινώντας από το μηδέν (κατάσταση κορεσμού) και φτάνοντας συνήθως μέχρι το επίπεδο των 10 ή 100 kPa ενώ παράλληλα μετράται το θ που αντιστοιχεί σε κάθε επίπεδο μύζησης. Οι δύο αυτές καμπύλες, μολονότι περιγράφουν το ίδιο υπόστρωμα, διαφέρουν σε ένα τμήμα τους και το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό με τον όρο υστέρηση (Wallach *et al.*, 1992a, Naasz *et al.*, 2008). Το τμήμα στο οποίο δεν συμπίπτουν οι καμπύλες διαβροχής και αποστράγγισης αντιστοιχεί σε χαμηλές τιμές μύζησης, ενώ από κάποιο επίπεδο μύζησης και πάνω οι δύο καμπύλες τείνουν να συναντηθούν και να συμπίπτουν. Στην καλλιεργητική πράξη, αυτό που ενδιαφέρει

κυρίως είναι ο τρόπος μεταβολής της τάσης του υποστρώματος καθώς η υγρασία του μειώνεται βαθμιαία μετά το πότισμα, λόγω απορρόφησης του νερού από τα φυτά. Επομένως, για την αξιολόγηση των υδραυλικών ιδιοτήτων ενός υποστρώματος, αυτό που κατά κύριο λόγο ενδιαφέρει είναι η καμπύλη αποστράγγισης, η οποία συχνά αναφέρεται και ως **καμπύλη συγκράτησης νερού** (water retention curve).

Στο *Σχήμα 2.13* παρατίθενται οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τεσσάρων υποστρωμάτων καλλιέργειας και ειδικότερα του κόκου (αλεσμένοι και κομποστοποιημένοι φλοιοί ινδικής καρύδας), του πετροβάμβακα, του περλίτη και της τύρφης. Όπως φαίνεται στο *Σχήμα 2.13*, η μεταβολή του ψ σε συνάρτηση με το θ δεν είναι γραμμική αλλά καμπυλόγραμμη, με μορφή που χαρακτηρίζει το κάθε υπόστρωμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι σωληνίσκοι που σχηματίζουν οι πόροι των υποστρωμάτων δεν είναι τέλει κυλινδρικοί σωλήνες, ενώ η ακριβής αρχιτεκτονική τους είναι ιδιόζουσα και χαρακτηριστική για κάθε υπόστρωμα. Καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία, το νερό απομακρύνεται κυρίως από κάποια σημεία τα οποία αντιστοιχούν σε διαπλατύνσεις των τριχοειδών σωλήνων του πορώδους. Αυτό όμως δημιουργεί ασυνέχειες στην στήλη νερού ορισμένων τριχοειδών σωλήνων. Στην περίπτωση αυτή το νερό που συγκρατείται στις στενότερες περιοχές των σωληνίσκων δεν μπορεί να απομακρυνθεί όση μύζηση και αν ασκηθεί στο υπόστρωμα κατά την διαδικασία προσδιορισμού της ΧΚΥ γιατί δεν υπάρχει υδραυλική συνέχεια. Επομένως, από κάποιο επίπεδο θ και κάτω, όλο και μεγαλύτερη μύζηση απαιτείται ανά μονάδα μείωσης του θ . Όταν η περιεκτικότητα σε υγρασία μειωθεί τόσο ώστε να μην υπάρχουν πλέον υδραυλική συνέχεια στους τριχοειδείς σωλήνες του πορώδους, είναι αδύνατον να εξαχθεί το νερό από αυτό, όσο υψηλή μύζηση και αν του ασκηθεί. Αυτό σημαίνει ότι, σε συνθήκες πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε υγρασία, η μύζηση ψ που ασκεί το πορώδες στο νερό τείνει στο άπειρο. Η μέγιστη περιεκτικότητα σε υγρασία, κάτω από την οποία δεν είναι δυνατή η εκρόφιση νερού από ένα υπόστρωμα, όση μύζηση και αν του ασκηθεί, καλείται **υπολειμματική υγρασία (θ_r)**. Αν η περιεκτικότητα σε υγρασία αυξηθεί σε επίπεδα πάνω από θ_r , το ψ μειώνεται σε μετρήσιμα επίπεδα. Γενικά, όσο περισσότερο αυξάνεται η περιεκτικότητα ενός υποστρώματος σε υγρασία σε επίπεδα πάνω από θ_r , τόσο περισσότερο μειώνεται η μύζηση ψ που ασκεί το υπόστρωμα στο νερό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, για την κατανόηση της υδραυλικής συμπεριφοράς ενός υποστρώματος σε καλλιεργητικές συνθήκες, είναι αρκετό να προσδιοριστεί η ΧΚΥ του

για εύρος μύζησης από 0 έως 100 kPa ή ακόμη και έως 10 kPa. Εντούτοις, για να ληφθεί μία επιστημονικά πιο ολοκληρωμένη περιγραφή των φυσικών ιδιοτήτων ορισμένων υποστρωμάτων, ΧΚΥ μπορεί να και για αρκετά υψηλότερα επίπεδα μύζησης, της τάξεως των 10^3 ή ακόμα και 10^6 kPa. Στις περιπτώσεις αυτές, για την δημιουργία της ΧΚΥ, αντί των τιμών μύζησης που αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές του θ , λαμβάνεται ο **δεκαδικός λογάριθμος της μύζησης**. Αυτό γίνεται για να είναι δυνατόν να παρατηρηθεί καλύτερα η αλλαγή της περιεκτικότητας σε υγρασία στις χαμηλές τιμές μύζησης που είναι σημαντικές για την καλλιεργητική συμπεριφορά του υποστρώματος (περίπου 0 έως 100 cm στήλης νερού ή 0 έως 10 kPa) και παράλληλα να μπορεί να υπάρχει μία εικόνα για τον τρόπο μεταβολής των δύο αυτών μεγεθών στις πολύ υψηλές τιμές μύζησης. Ο προσδιορισμός της ΧΚΥ για πολύ υψηλές τιμές μύζησης (ψ μέχρι και 10^6 kPa δεν έχει πρακτική αξία δεδομένου ότι, ήδη σε μικρότερες τιμές ψ , η θ πρακτικά σταθεροποιείται (τείνει ασυμπτωματικά) στο επίπεδο της υπολειμματικής υγρασίας (θ_r).

Στις καλλιεργείες εκτός εδάφους, το ύψος του υποστρώματος στα φυτοδοχεία (γλάστρες, σάκοι, κ.λπ.) συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 5 και 20 cm (Raviv *et al.*, 2002). Αυτό σημαίνει ότι η μύζηση στην κατάσταση υδατοϊκανότητας μεταβάλλεται κατά ύψος από την τιμή 0 στον πυθμένα μέχρι την τιμή 20 cm στήλης νερού (2 kPa) στην ανώτερη επιφάνειά του και επομένως η μέση τιμή της είναι τα 10 cm (1 kPa). Με βάση αυτό το σκεπτικό, η τιμή 1 kPa θεωρείται συμβατικά ίση με την μύζηση που έχει ένα υπόστρωμα τοποθετημένο σε ένα σύνηθες φυτοδοχείο (σάκος, γλάστρα, κ.λπ.) στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας (de Boodt and Verdonck, 1972). Για τον λόγο αυτό, η περιεκτικότητα ενός υποστρώματος σε υγρασία η οποία, σύμφωνα με την ΧΚΥ του, αντιστοιχεί σε τιμή μύζησης 1 kPa (10 cm στήλης νερού), συμβατικά θεωρείται ίση με την υδατοχωρητικότητα του φυτοδοχείου θ_{cc} (Raviv *et al.*, 2002). Συνεπώς, σύμφωνα με το Σχήμα 2.13, η υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου του κόκου, του πετροβάμβακα, του περλίτη και της τύρφης ισούται με 79%, 48%, 31% και 58%, αντίστοιχα.

Για να γίνει κατανοητό τι πληροφορίες παρέχει μία ΧΚΥ, θα πρέπει να εισαχθεί η έννοια της διαθεσιμότητας νερού για τα φυτά. Είναι γνωστό ότι η απορρόφηση νερού από τα φυτά οφείλεται στο ωσμωτικό δυναμικό των κυττάρων της ρίζας το οποίο πρέπει να υπερβαίνει σημαντικά το δυναμικό του νερού που περιέχεται στους πόρους του υποστρώματος. Για να συμβαίνει όμως αυτό χωρίς να αναγκάζεται το φυτό να υψώσει το ωσμωτικό δυναμικό των κυττάρων του σε επίπεδα πάνω από τα κανονικά,

γεγονός που θα το έθετε σε κατάσταση καταπόνησης, θα πρέπει η μύζηση που ασκεί το υπόστρωμα στο νερό να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη. Γενικά, θεωρείται ότι το νερό που υπάρχει στο περιβάλλον της ρίζας είναι **εύκολα διαθέσιμο για τα φυτά** (ΕΔΝ) όταν η τιμή μύζησης που του ασκεί το υπόστρωμα κυμαίνεται από 1 kPa (υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου) μέχρι 5 kPa, δηλαδή μεταξύ 10 cm και 50 cm στήλης νερού (Bunt, 1988). Σχετικά εύκολα διαθέσιμο είναι επίσης και το νερό που συγκρατείται με τιμές μύζησης από 5 έως 10 kPa (de Boodt and Verdonck, 1972). Η διαφορά στην περιεκτικότητα ενός υποστρώματος σε νερό μεταξύ τιμών μύζησης 5 και 10 kPa καλείται **ρυθμιστική χωρητικότητα σε νερό** (WBC από τα αρχικά του όρου στα Αγγλικά: water buffering capacity). Γενικά, νερό που συγκρατείται με υψηλότερες τιμές μύζησης από 10 kPa θεωρείται δύσκολα διαθέσιμο για τα καλλιεργούμενα φυτά (Raviv *et al.*, 2002). Απολύτως μη διαθέσιμο για τα συνήθη καλλιεργούμενα φυτά είναι το νερό που συγκρατείται με μύζηση υψηλότερη από 1500 kPa (Bunt, 1988). Από φυσιολογική άποψη, το νερό που συγκρατείται με μύζηση μεγαλύτερη από 10 kPa στα υποστρώματα μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά, αλλά με όλο και μεγαλύτερη δυσκολία καθώς το ψ αυξάνεται. Για να προσλάβει το φυτό νερό που συγκρατείται με τιμές μύζησης σημαντικά μεγαλύτερες από 10 kPa, θα πρέπει να προσαρμόσει ανάλογα το ωσμωτικό δυναμικό των κυττάρων. Η διαδικασία της προσαρμογής του ωσμωτικού δυναμικού των κυττάρων σε αυξημένες τιμές μύζησης στο υπόστρωμα είναι παρόμοια με αυτή που παρατηρείται κάτω από συνθήκες έκθεσης σε ξηρασία (drought), η οποία καταπονεί τα φυτά (Chaves *et al.*, 2003). Η καταπόνηση που προκαλούν οι υψηλές τιμές μύζησης του νερού στο περιβάλλον των ριζών (πολύ χαμηλό δυναμικό θεμελιώδους μάζας) μειώνει σημαντικά τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και επομένως και την παραγωγή τους. Γι' αυτόν τον λόγο η περιεκτικότητα των υποστρωμάτων σε υγρασία σε συνθήκες καλλιεργητικής πράξης συνιστάται να διατηρείται συνεχώς σε σχετικά υψηλά επίπεδα, ώστε η μύζηση που ασκείται στο νερό να κυμαίνεται μεταξύ 1 έως 5 kPa και σε κάθε περίπτωση να μην υπερβαίνει τα 10 kPa. Για να επιτευχθεί αυτό, τα φυτά που καλλιεργούνται σε υποστρώματα θα πρέπει να ποτίζονται συχνά με ανάλογη προσαρμογή της δόσης νερού ανά κύκλο άρδευσης.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι η υδατοχωρητικότητα φυτοδοχείου που λαμβάνεται από την ΧΚΥ του υποστρώματος με προβολή της τιμής μύζησης 1 kPa στο θ είναι μία συμβατική τιμή, η οποία είναι σταθερή και χαρακτηριστική για ένα υπόστρωμα. Η πραγματική θ_{cc} όμως μπορεί να διαφέρει από φυτοδοχείο σε φυτοδοχείο,

ανάλογα με το ύψος του αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υποστρώματος (Milks *et al.*, 1989b). Ο υπολογισμός της πραγματικής θ_{cc} μπορεί να γίνει είτε εργαστηριακά, με απλή μέτρηση της θ σε όλο το υπόστρωμα ενός φυτοδοχείου το οποίο πρώτα έχει ποτιστεί καλά μέχρι να φθάσει σε κατάσταση υδατοϊκανότητας, είτε θεωρητικά, χρησιμοποιώντας την ΧΚΥ. Για τον θεωρητικό υπολογισμό όμως πρέπει να υπάρχει μαθηματική εξίσωση που αποδίδει την ΧΚΥ. Αν η μαθηματική εξίσωση που αποδίδει την ΧΚΥ για ένα συγκεκριμένο υπόστρωμα ολοκληρωθεί στο διάστημα από 0 έως h , όπου h το ύψος του υποστρώματος μέσα σε ένα φυτοδοχείο, προκύπτει η πραγματική θ_{cc} για το συγκεκριμένο υπόστρωμα στο συγκεκριμένο φυτοδοχείο (Savvas, 2009).

Όπως προαναφέρθηκε, η ΧΚΥ είναι μία καμπύλη που προσδιορίζεται εμπειρικά μέσω έκθεσης του υποστρώματος σε διαδοχικές τιμές μύζησης (ψ) και μέτρησης των αντίστοιχων τιμών θ . Επομένως, για να καταστρωθεί μία εξίσωση που περιγράφει την ΧΚΥ, τα ζεύγη τιμών (ψ , θ) πρέπει να υποβληθούν σε μη γραμμική ανάλυση της παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας κατάλληλες πρότυπες μαθηματικές εξισώσεις (μαθηματικά μοντέλα). Από παλαιότερα έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μαθηματικές εξισώσεις για την περιγραφή της σχέσης μεταξύ της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία (θ) και της μύζησης (ψ) τόσο για τα εδάφη όσο και για τα υποστρώματα. Οι πιο πολλές εξισώσεις όμως, ενώ ήταν κατάλληλες για κάποιους τύπους ΧΚΥ αποδεικνυόταν τελείως ακατάλληλες για άλλα πορώδη μέσα σε διαφορετικού τύπου ΧΚΥ. Η μόνη μέχρι σήμερα μαθηματική εξίσωση που αποδείχθηκε κατάλληλη για την περιγραφή διαφορετικών τύπων ΧΚΥ είναι αυτή των van Genuchten (1980) και van Genuchten and Nielsen (1985) η οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκε για εδάφη. Όπως όμως απέδειξαν οι Milks *et al.* (1989a), η εξίσωση αυτή είναι κατάλληλη και για τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για εκτός εδάφους καλλιέργειες. Η εξίσωση που χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο από τους παραπάνω ερευνητές για την εμπειρική περιγραφή της σχέσης $\theta(\psi)$ σε εδάφη και υποστρώματα είναι η εξής (Εικόνα 2.13):

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (ah)^n]^m$$

όπου:

θ (%): περιεκτικότητα υποστρώματος σε νερό

h (cm): μύζηση υποστρώματος

θ (%): περιεκτικότητα σε νερό στον κορεσμό

θ (%): υπολειμματική περιεκτικότητα υποστρώματος σε νερό

a, m, n : σταθερές εξαρτώμενες από την φύση του υποστρώματος

Εικόνα 2.13: Εξίσωση που περιγράφει τη σχέση $\theta(\psi)$

(<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar01.pdf>)

Η παραπάνω εξίσωση έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλους ερευνητές, όπως οι Wallach *et al.* (1992), οι Da Silva *et al.* (1993), οι Raviv *et al.* (1999), οι Bougoul *et al.* (2005) και οι Gizas and Savvas (2007), ως πρότυπο για την μαθηματική περιγραφή της σχέσης μεταξύ θ και ψ σε υποστρώματα καλλιέργειας.

2.14 Αξιολόγηση υποστρώματος με βάση την XKY

Από καλλιεργητική άποψη, ιδανικό υπόστρωμα θεωρείται αυτό που έχει αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού (υψηλό θ), αλλά ταυτόχρονα και υψηλή αεροπερατότητα (υψηλό A). Το άθροισμα των περιεκτικοτήτων του υποστρώματος σε νερό (θ) και αέρα (A) είναι πάντοτε σταθερό και ίσο με το ενεργό πορώδες. Επομένως, η υπερβολική αύξηση της θ οδηγεί σε υπερβολική μείωση της A και αντίστροφα. Θα πρέπει επομένως να υπάρχει μία ισορροπία μεταξύ της θ και της A , ώστε κανέναν από δύο να μην υπερβαίνει κάποια όρια σε βάρος του άλλου. Σε καλλιεργητικές συνθήκες (ελεύθερη στράγγιση), η μέγιστη περιεκτικότητα των υποστρωμάτων σε υγρασία και επομένως η ελάχιστη περιεκτικότητα σε αέρα είναι αυτές που υφίστανται στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας (θ_{cc} και A_{cc} αντίστοιχα).

Όσον αφορά την ικανότητα ενός υποστρώματος να συγκρατεί υγρασία και να παρέχει ικανοποιητικές ποσότητες νερού στα φυτά, αυτή αξιολογείται κυρίως μέσω υπολογισμού του εύκολα διαθέσιμου νερού ή του αθροίσματος αυτού και της ρυθμιστικής χωρητικότητας σε νερό. Τόσο το ένα όσο και το άλλο μέγεθος

υπολογίζονται εύκολα με βάση τον ορισμό τους για ένα συγκεκριμένο υπόστρωμα όταν είναι γνωστή η ΧΚΥ του τελευταίου.

Μία άλλη πληροφορία που δίνει η ΧΚΥ είναι ο τρόπος μεταβολής της περιεκτικότητας νερού και αέρα κατά ύψος μέσα σε ένα υπόστρωμα που περιέχεται σε ένα φυτοδοχείο. Στον πυθμένα του φυτοδοχείου όπου η μύζηση είναι μηδενική, η περιεκτικότητα σε υγρασία στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας προσεγγίζει την τιμή του ενεργού πορώδους και επομένως η περιεκτικότητα σε αέρα αγγίζει το μηδέν. Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους, το ύψος του υποστρώματος μέσα στο φυτοδοχείο δεν υπερβαίνει τα 20 cm ενώ συνήθως είναι αρκετά χαμηλότερο. Από την ΧΚΥ μπορεί εύκολα να διαπιστωθεί πόσο μειώνεται η θ στην κατάσταση της υδατοϊκανότητας καθώς αυξάνεται το ύψος του υποστρώματος και επομένως πόσο αυξάνεται η A από την μηδενική τιμή που υφίσταται στον πυθμένα του φυτοδοχείου (Σάββας Δ., 2011).

Κεφάλαιο 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Τοποθεσία του πειράματος

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της διαχείρισης άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη, έγιναν μετρήσεις παραγωγής κατά την περίοδο Φεβρουαρίου- Μαΐου 2012.

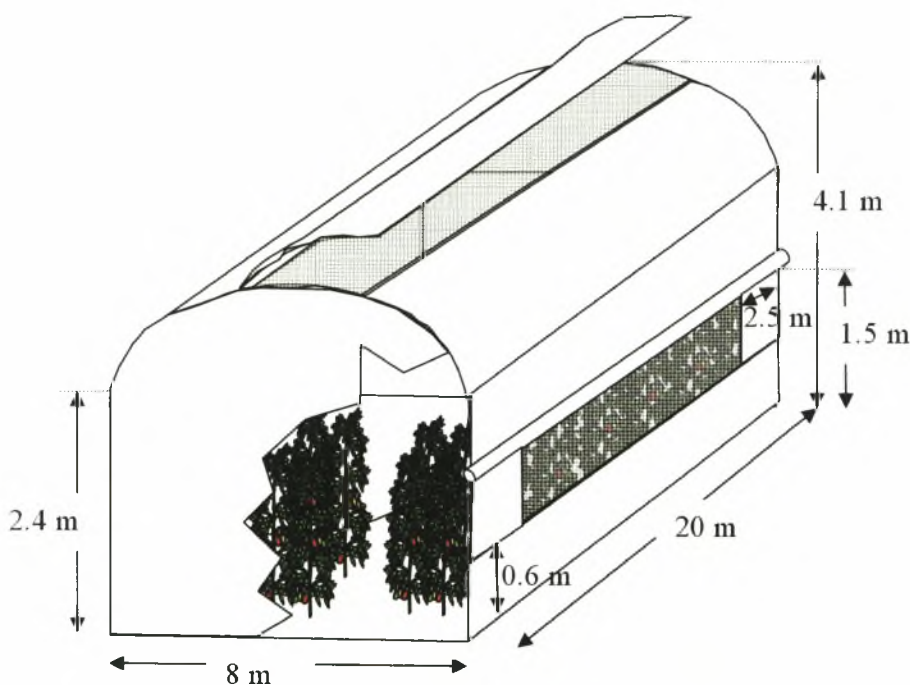
Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, οι οποίες βρίσκονται στην περιοχή του Βελεστίνου, σε απόσταση 17km από την πόλη του Βόλου, νοτιοδυτικά του Νομού Μαγνησίας. Συγκεκριμένα το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 22'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 44'$ και το υψόμετρο της περιοχής είναι 85m. Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε Νοτιοανατολικά προς Βορειοδυτικά (συνήθως τις πρωινές ώρες) είτε Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά (συνήθως τις απογευματινές ώρες).



Εικόνα 3.1.: Το θερμοκήπιο που διεξήχθει το πείραμα

3.2. Το θερμοκήπιο

Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένα θερμοκήπιο, τροποποιημένο τοξωτό, επιφάνειας 160m^2 (20m μήκος και 8m πλάτος), όγκου 572m^3 , ύψος ορθοστάτη 2,4m και ύψος κορφιά 4,1m. Το θερμοκήπιο είχε προσανατολισμό Βορρά-Νότο με απόκλιση του άξονά του από το Βορρά περίπου 36° ανατολικά και είχε σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη από πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου. Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Τα υλικά κάλυψης είχαν πάχος 0,18mm και κατασκευάστηκαν από τη βιομηχανία «Πλαστικά Κρήτης ABEE».



Εικόνα 3.2.: Πειραματικό θερμοκήπιο

3.3. Αερισμός

Το θερμοκήπιο διέθετε πλαϊνά ανοίγματα κατά μήκος των δύο μεγάλων πλευρών με διαστάσεις των ανοιγμάτων $0,9\text{m} \times 15\text{m}$ ή $13,5\text{m}^2$ το καθένα, με τη βοήθεια των οποίων γινόταν ο αερισμός. Το ποσοστό των ανοιγμάτων αερισμού (ως προς το καλυμμένο έδαφος) ήταν 16.87%. Τα παράθυρα για τον αερισμό ελέγχονταν αυτόματα

με τη χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Τα παράθυρα ξεκινούσαν να ανοίγουν όταν η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ξεπερνούσε τους 23°C , ενώ όταν η θερμοκρασία έφτανε τους 28°C τα παράθυρα είχαν το μέγιστο άνοιγμα τους. Ακόμη, το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με έναν ανεμομεικτη αέρα αποδοτικότητας $4500\text{m}^3\text{h}^{-1}$, τοποθετημένο σε ύψος 2,6m από το έδαφος.



Εικόνα 3.3.1: Αερισμός θερμοκηπίου με παράθυρα



Εικόνα 3.3.2.: Ανεμομεικτης αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

3.4. Θέρμανση

Η θέρμανση του θερμοκηπίου γίνεται με αερόθερμα και επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης, με τη θερμοκρασία του αέρα να διατηρείται στους 15°C κατά τη διάρκεια της νύχτας και τους 21°C κατά τη διάρκεια της ημέρας. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα πλαστικών σωλήνων ανακλυκλοφορίας ζεστού νερού, ήταν τοποθετημένο στο έδαφος και παράλληλα με τις γραμμές της καλλιέργειας, ενώ το αερόθερμο ήταν τοποθετημένο στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου σε απόσταση 3m από την επιφάνεια του εδάφους και σε απόσταση 0,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, το οποίο τροφοδοτούνταν με θερμό νερό από τον ίδιο λέβητα με το σύστημα των επιδαπέδιων σωλήνων και παρείχε ζεστό αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούνταν από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Τόσο το αερόθερμο όσο και το σύστημα των επιδαπέδιων σωληνώσεων τροφοδοτούνταν με ζεστό νερό από τον ίδιο λεβητοκαυστήρα που ήταν τοποθετημένος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο λεβητοκαυστήρας, παραγωγής ζεστού νερού ισχύος 175W, χρησιμοποιούσε ως καύσιμη ύλη, το πετρέλαιο.

3.5. Άρδευση-Λίπανση

Η παροχή του νερού και του λιπάσματος γινόταν με το σύστημα της στάγδην άρδευσης. Οι σωληνώσεις που οδηγούσαν το θρεπτικό διάλυμα από τις δεξαμενές στους σταλάκτες και από εκεί στα φυτά ήταν κατασκευασμένες από PVC. Οι σταλάκτες ήταν τύπου στενής οπής, με παροχή 1 L/h και σε κάθε φυτό είχε τοποθετηθεί ένας σταλάκτης. Η δόση και η διάρκεια της άρδευσης και η ποιότητα του θρεπτικού διαλύματος, ελέγχονταν και γίνονταν αυτόματα με το πρόγραμμα MACQU (Management and Control for Quality in Greenhouse). Εφαρμόστηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με το οποίο το απορρέον θρεπτικό διάλυμα δεν χρησιμοποιείται. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος πραγματοποιούνταν με τη χρήση ενός H/Y με κατάλληλα λογισμικό (MACQU), μιας σειράς δοσομετρικών αντλιών, ενός πεχαμέτρου, ενός αγωγιμομέτρου και τριών δεξαμενών. Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του θρεπτικού διαλύματος για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια ήταν

2.1 mS cm⁻¹ και το pH ήταν 5,6. Η άρδευση βασιζόταν στην ηλιακή ακτινοβολία και πραγματοποιούνταν όταν η διαπνοή των φυτών ξεπερνούσε τα 150 ml για τον περλίτη. Ο ρυθμός απορροής dr διατηρούνταν στο 35% περίπου. Η άρδευση γινόταν 8 φορές τη μέρα με διάρκεια 10 λεπτά.

3.6. Εγκατάσταση καλλιέργειας και υπόστρωμα

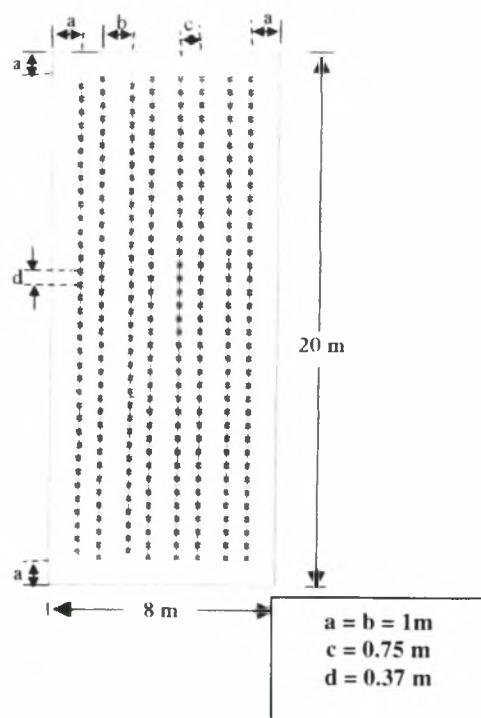
Το Μάρτιο του 2012 εγκαταστάθηκε στο θερμοκήπιο καλλιέργεια τομάτας (*Lycopersicum esculentum*), ποικιλία *Erani*. Πρόκειται για ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη, με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής του καρπού. Τα φυτά μεταφυτεύτηκαν στις 14 Μαρτίου στο υπόστρωμα ως σπορόφυτα. Η καλλιέργεια γινόταν σε υδροπονικό σύστημα για να επιτευχθεί ομοιομορφία συνθηκών στη ρίζα, κάτι που δεν επιτυγχάνεται στο έδαφος και για την αποφυγή ασθενειών του εδάφους. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν περλίτης, της εταιρίας ISOCON Perloflor Hydro 1, σε σάκους μήκους 1m και πλάτους 0,2m και ήταν τοποθετημένοι σε απόσταση 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους. Συνολικά στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκαν 112 σάκοι υποστρώματος, από τους οποίους οι 70 σάκοι περιείχαν περλίτη. Οι σάκοι τοποθετήθηκαν σε πάγκους σε ύψος 0,5m πάνω από το έδαφος. Οι πάγκοι είχαν κλίση 1-2% για την υποβοήθηση της στράγγισης. Το θρεπτικό διάλυμα παρέχονταν στο φυτό με τη βοήθεια σταλακτήρων με παροχή 4 L h⁻¹. Το κλάδεμα και η διαμόρφωση της καλλιέργειας γινόταν σύμφωνα με την τεχνική που ακολουθείται από τους περισσότερους παραγωγούς στη χώρα μας, δηλαδή μονοστέλεχο φυτό τομάτας.



Εικόνα 3.6.: Εγκατάσταση της καλλιέργειας (20/3/2012)

3.7. Διάταξη φυτών

Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε σε 4 διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0,33 m επί της γραμμής και 0,75 m μεταξύ των γραμμών της διπλής σειράς, δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια πυκνότητα φυτών $2,4 \text{ φυτά/m}^2$ εδάφους. Από τις 4 διπλές σειρές ασχοληθήκαμε με μόνο με τις σειρές που έχουν ως υπόστρωμα τον περλίτη, ενώ τα υπόλοιπα έχουν για υπόστρωμα τον πετροβάμβακα. Πιο συγκεκριμένα, οι σειρές με τον περλίτη, αριθμώντας από την αριστερή πλευρά προς τη δεξιά, είναι η 1^η, το δεύτερο μισό τμήμα της 2^{ης} σειράς, η 4^η, η 6^η, το πρώτο μισό τμήμα της 7^{ης} σειράς και η 8^η σειρά. Η 1^η και 8^η σειρά, κοντά στα παράθυρα, είναι οι μάρτυρες, με τους οποίους δεν ασχοληθήκαμε κατά την πραγματοποίηση του πειράματος. Το πλάτος του διαδρόμου ήταν 1m (Εικόνα). Η επιλογή του δείγματος των φυτών, έγινε με τη βοήθεια πλήρως τυχαιοποιημένου σχεδίου. Τα φυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις ήταν επισημασμένα με κόκκινη κορδέλα.



Εικόνα 3.7.: Διάταξη και αποστάσεις των φυτών τομάτας στο θερμοκήπιο

3.8. Καλλιεργητικές τεχνικές

Η καλλιέργεια της ποικιλίας πραγματοποιήθηκε με τις συνηθισμένες καλλιεργητικές τεχνικές που ακολουθούν οι παραγωγοί.

3.8.1. Στήριξη των φυτών

Τα φυτά υποστηρίχθηκαν με πλαστικό σπάγκο, ο οποίος ήταν δεμένος στα οριζόντια σύρματα του θερμοκηπίου με ειδικό εξάρτημα και το σύστημα διαμόρφωσης που ακολουθήθηκε ήταν το μονοστέλεχο.

3.8.2. Βλαστολόγημα

Οι πλάγιοι βλαστοί αφαιρούνταν με το χέρι σε τακτά χρονικά διαστήματα (τουλάχιστον μια φορά την εβδομάδα).

3.8.3. Αποφύλλωση – Κορυφολόγημα

Μετά τη συγκομιδή των καρπών της πρώτης ταξικαρπίας αφαιρέθηκαν τα υποκείμενα φύλλα, ώστε να δημιουργηθούν καλύτερες συνθήκες αερισμού στο μικροπεριβάλλον του φυτού. Το ίδιο επαναλήφθηκε στη δεύτερη ταξικαρπία. Οι κορυφές των φυτών αφαιρέθηκαν στα μέσα του Μαΐου, για να μην μεγαλώσει άλλο το φυτό και να πάρουμε την επιθυμητή παραγωγή.

3.8.4. Επεμβάσεις με χημικά

Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, εξαιτίας της εμφάνισης του εντόμου Tuta absoluta στο θερμοκήπιο, πραγματοποιήθηκε επέμβαση με χημικό. Το χημικό σκεύασμα που εφαρμόσαμε ήταν το Altacor 35WG. Για την καταπολέμηση της Tuta absoluta στη τομάτα το Altacor εφαρμόστηκε σε δόση 3g σε 25 λίτρα νερό.

3.8.5. Έλεγχος εχθρών και ασθενειών

Στο θερμοκήπιο γινόταν συστηματικός έλεγχος των εντόμων και των ασθενειών. Τοποθετήθηκαν μπλε και κίτρινες παγίδες για τον έλεγχο του θρίπα και του αλευρώδη αντίστοιχα.

Επίσης σε επιλεγμένες θέσεις μέσα αλλά και έξω από τα πλαϊνά ανοίγματα των θερμοκηπίων υπήρχαν εντομολογικές παγίδες για την αντιμετώπιση των αφίδων.

3.9. Περιγραφή των μετρήσεων

Για τη μελέτη της ξηρής ουσίας των φυτών επιλέχθηκαν τυχαία 4 φυτά σε στην 4^η και 6^η σειρά με περλίτη και στην 2^η και 7^η σειρά με τον περλίτη επιλέχθηκαν τυχαία 2 φυτά. Η λήψη των μετρήσεων γινόταν σχεδόν κάθε δεκαπέντε μέρες. Επιλέχθηκαν φυτά μη καχεκτικά, όχι προσβεβλημένα από ασθένειες και έντομα, με κορυφή και γενικά σε φυσιολογικό επίπεδο ανάπτυξης. Σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (Zeno 3200, COASTAL ENVIRONMENTAL SYSTEMS, Inc. 820 First Avenue South) κάθε 10 λεπτά καταγραφόταν, έξω και μέσα από το θερμοκήπιο, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα (HD9009TRR Αισθητήρας Σχετικής Υγρασίας και θερμοκρασίας Αέρα του οίκου DELTAOHM Ιταλίας), η υγρασία του υποστρώματος (EC-5 SOIL MOISTURE SENSOR, ΤΗΣ DECAGON DEVICES, & ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ WCM, GROGAN), καθώς και η ολική ηλιακή ακτινοβολία (LP PYRA 02 Πυρανόμετρο Class A του οίκου DELTAOHM Ιταλίας). Όλες οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα και καταγράφονταν η μέση τιμή τους κάθε 10 λεπτά.

Οι μετρήσεις αφορούσαν:

Α) Για ανάπτυξη φυτών

- Ύψος φυτού σε cm
- Αριθμό φύλλων πριν την πρώτη ταξιανθία
- Αριθμό φύλλων ή ταξιανθιών
- Μήκος ενός εκ των τριών φύλλων μεταξύ των ταξιανθιών σε cm

Για τις μετρήσεις των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών χρησιμοποιήθηκε εύκαμπτη, πλαστική μετροταινία, με ακρίβεια μέτρησης $\pm 0,5\text{cm}$. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων δινόταν ιδιαίτερη έμφαση στο να περιορίζεται όσο το δυνατόν λιγότερο η επαφή με τα φυτά, γιατί θα επηρεαζόταν η αύξηση και η ανάπτυξή τους.

B) Για παραγωγή

- Αριθμό συγκομισμένων καρπών ανά υπόστρωμα και μπλοκ γραμμής
- Βάρος συγκομισμένων καρπών ανά υπόστρωμα και μπλοκ γραμμής σε g

Επιπλέον σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων κάθε 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 30 δευτερόλεπτα) καταγραφόταν:

- Έξω από το θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα και η ολική ηλιακή ακτινοβολία.
- Μέσα στο θερμοκήπιο: η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα, η ολική ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του καλύμματος του θερμοκηπίου (thermistors), η διαπνοή των φυτών (διάταξη λυσιμέτρου) και η ενέργεια που απέδιδε το σύστημα θέρμανσης.

3.9.1. Μέτρηση του ύψους

Το ύψος μετρήθηκε των φυτών μετρήθηκε στις 21/3/2012, 3/4/2012, 18/4/2012, 4/5/2012, 16/5/2012 και 29/5/2012. Η μέτρηση του μήκους πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια απλής ταινίας και η ακρίβεια της μέτρησης ήταν της τάξεως του 0,5cm.

Ως ύψος του φυτού είχε οριστεί το μήκος του κεντρικού βλαστού από τον λαιμό του φυτού μέχρι το σημείο εμφάνισης του φύλλου στην κορυφή με μήκος μικρότερο από 10cm.



Εικόνα 3.9.1.1.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 20/3/2012.



Εικόνα 3.9.1.2.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 3/4/2012.



Εικόνα 3.9.1.3.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 11/4/2012.



Εικόνα 3.9.1.4.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 18/4/2012.



Εικόνα 3.9.1.5.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 26/4/2012.



Εικόνα 3.9.1.6.: Το ύψος των φυτών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη στις 14/5/2012.

3.9.2. Μέτρηση αριθμού φύλλων

Η μέτρηση αφορούσε το συνολικό αριθμό των φύλλων ανά φυτό.

3.9.3. Μέτρηση του μήκους των φύλλων

Το μήκος (M) των φύλλων μετρήθηκε στις 21/3/2012, 3/4/2012, 18/4/2012, 4/5/2012, 16/5/2012 και 29/5/2012. Η μέτρηση γινόταν ανά δεκαπέντε μέρες.

Ως μήκος (M) του φύλλου είχε οριστεί η απόσταση από τη βάση του μίσχου έως την άκρη του ελάσματος. Από κάθε φυτό η μέτρηση γινόταν σε ένα εκ των τριών φύλλων μεταξύ των ταξιανθιών. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η μέση φυλλική επιφάνεια ανά φυτό από τον τύπο:

$$LA= 0.32*L*W$$

Όπου:

L: το μήκος των φύλλων σε cm

W: το πλάτος των φύλλων σε cm, και

LA: η φυλλική επιφάνεια ανά φύλλο.

Για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας των φυτών γινόταν άθροισμα της επιφάνειας όλων των φύλλων του φυτού.

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Για τον υπολογισμό του δείκτη φυλλικής επιφάνειας πολλαπλασιάστηκε η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό με την πυκνότητα των φυτών.

3.9.4. Μέτρηση αριθμού και βάρους καρπών

Οι ώριμοι καρποί συγκομίστηκαν και ζυγίστηκαν με την βοήθεια ηλεκτρονικού ζυγού ακριβείας, οπού μετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των καρπών και το συνολικό βάρος των καρπών ανά φυτό, από τις 2/5/2012 έως τις 14/6/2012, και υπολογίστηκε το άθροισμα και το βάρος των καρπών.

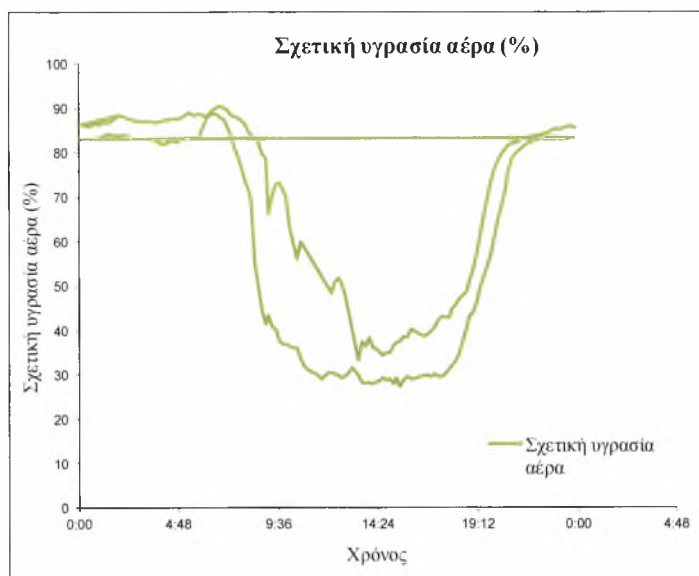
3.9.5. Στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων και η συγκομιδή των αποτελεσμάτων έγινε μέσω του MS Excel και του στατιστικού πακέτου SPSS 20.0 των Windows. Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων στο στατιστικό πακέτο SPSS πραγματοποιήθηκε one-way Analysis of Variance (one-way ANOVA) και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (repeated measures), προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση της άρδευσης στις παραμέτρους που μελετήθηκαν, για πιθανότητα $P=0,05$.

Κεφάλαιο 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

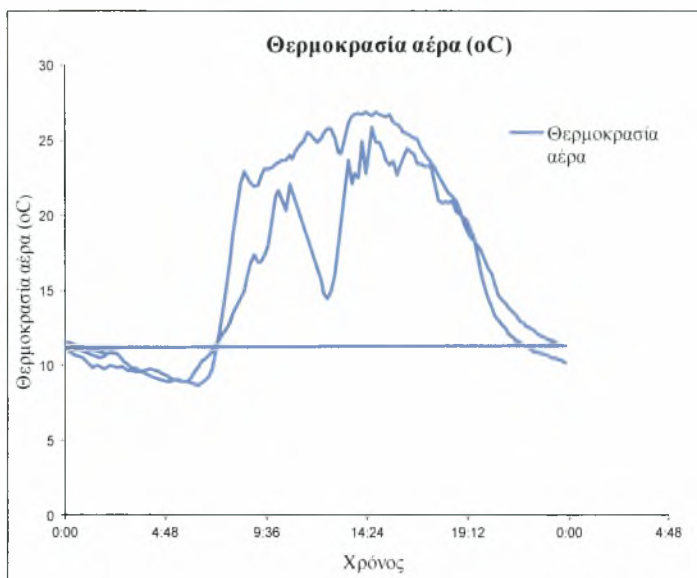
4.1. Κλιματικά δεδομένα

Απρίλιος



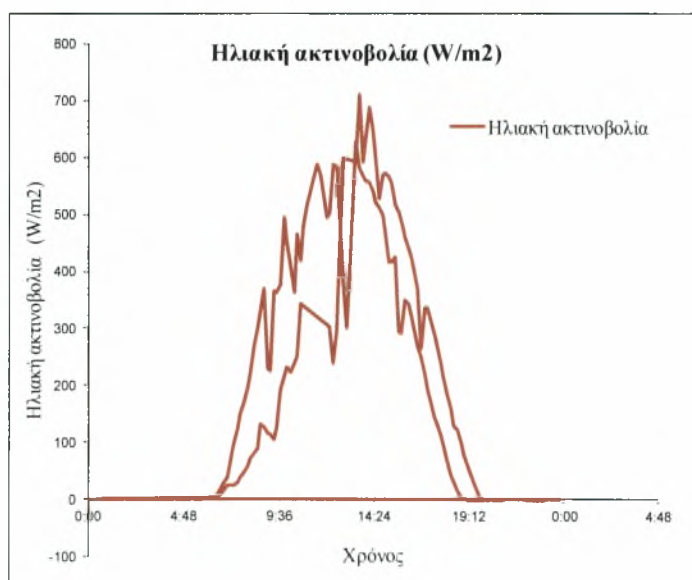
Σχήμα 4.1.1. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της σχετικής υγρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Απριλίου.

Παρατηρούμε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας του αέρα κυμαίνονται μεταξύ 80-90% , ενώ κατά τις ώρες 9:30 – 19:00 η υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 30-60%.



Σχήμα 4.1.2. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Απριλίου.

Παρατηρούμε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες η θερμοκρασία του αέρα πέφτει στους 10 - 12 °C, ενώ κατά τις ώρες 9:30 – 19:00 η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από 15 έως 27°C με την μέγιστη τιμή να αποκτά γύρω στις 14:30.



Σχήμα 4.1.3. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Απριλίου.

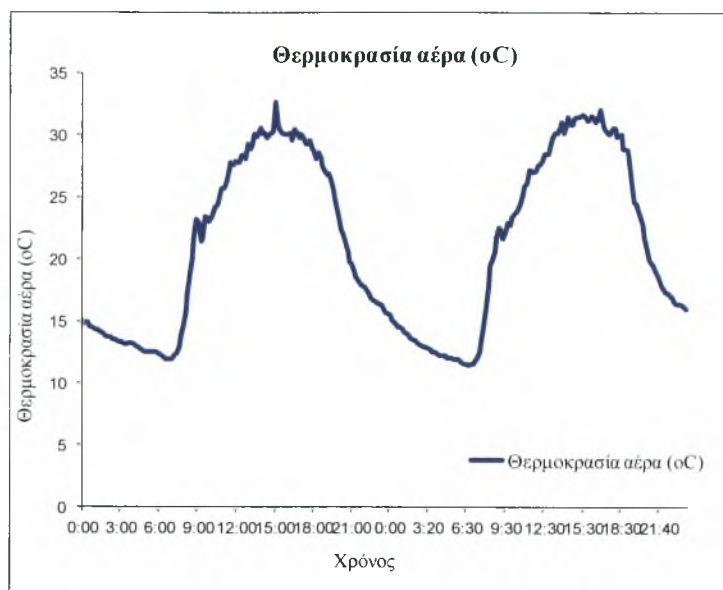
Παρατηρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία παίρνει την μέγιστη τιμή 700 (W/m²) γύρω στις 14:30.

Μάιος



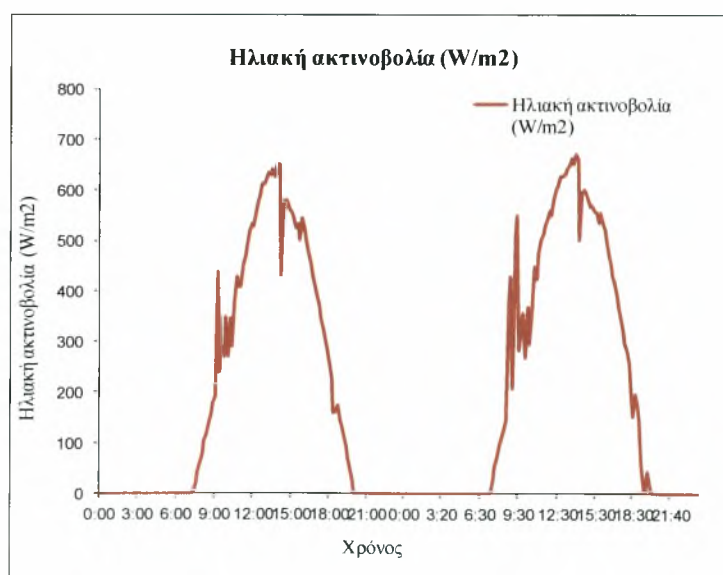
Σχήμα 4.1.4. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της σχετικής υγρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Μαΐου.

Παρατηρούμε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες τα επίπεδα της σχετικής υγρασίας του αέρα ξεπερνούν το 90% , ενώ κατά τις ώρες 9:30 – 19:00 η υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 30-70%.



Σχήμα 4.1.5. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Μαΐου.

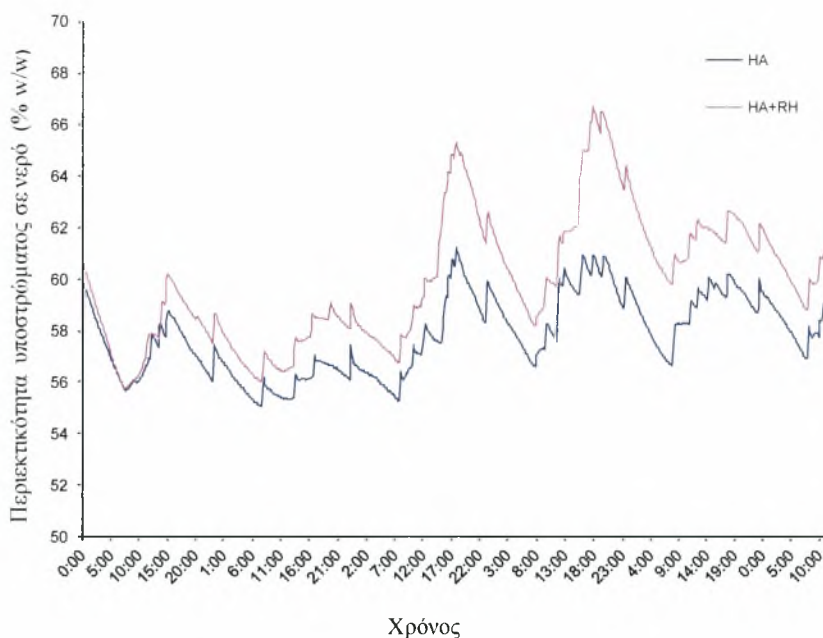
Παρατηρούμε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες η θερμοκρασία του αέρα πέφτει στους 12 - 15 °C, ενώ κατά τις ώρες 9:30 – 19:00 η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από 20 έως 32°C με την μέγιστη τιμή να αποκτά γύρω στις 15:00.



Σχήμα 4.1.6. : Ενδεικτική ημερήσια πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο κατά τις δύο πρώτες ημέρες του Μαΐου.

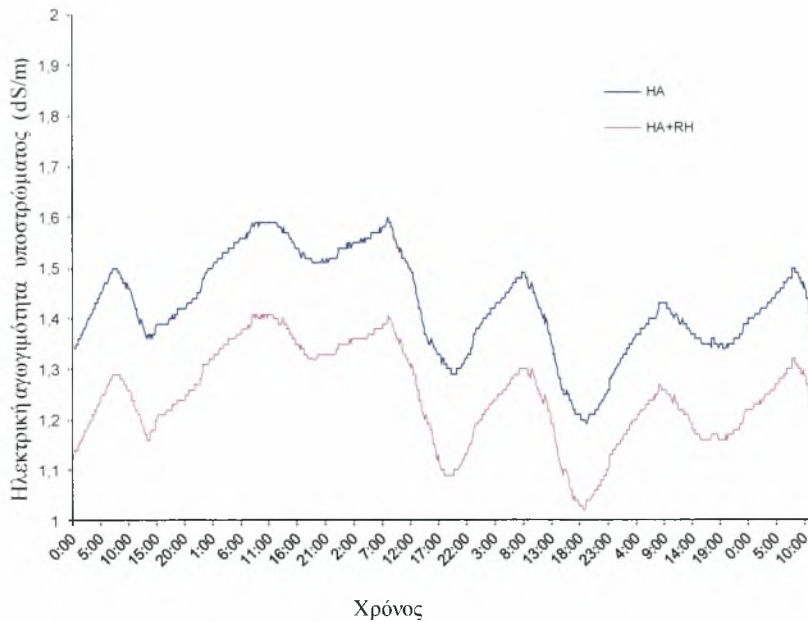
Παρατηρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία παίρνει την μέγιστη τιμή 690 (W/m^2) γύρω στις 14:30.

4.2. Αισθητήρες



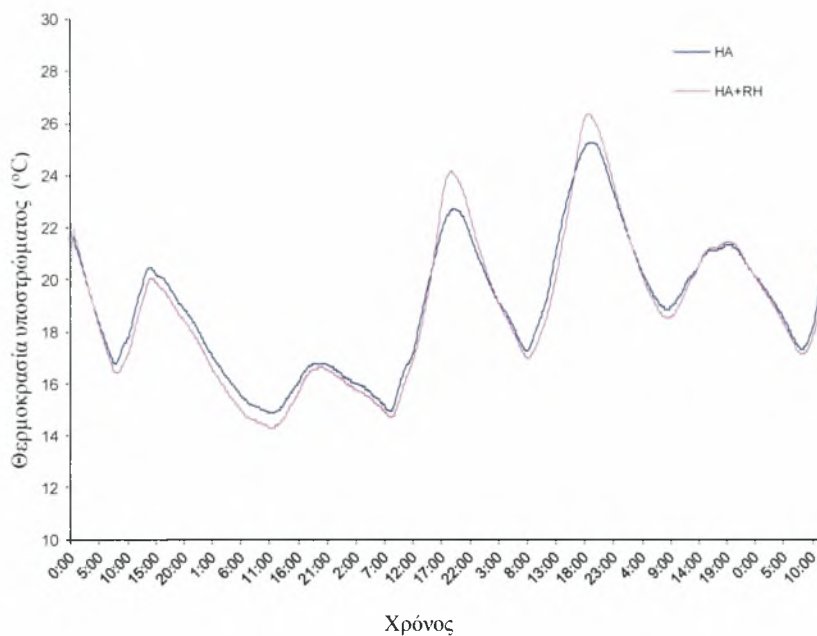
Σχήμα 4.2.1. : Ημερήσια πορεία της περιεκτικότητας σε νερό του υποστρώματος ανά μεταχείριση σε καλλιέργεια τομάτας σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα.

Από το διάγραμμα περιεκτικότητας του υποστρώματος σε νερό, παρατηρούμε ότι στη μεταχείριση όπου η άρδευση γίνεται με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία του υποστρώματος έχουμε μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών με μέγιστη τιμή το 66% τις ώρες 17:00 και 23:00, ενώ στην μεταχείριση που η άρδευση γίνεται σύμφωνα μόνο με την ηλιακή ακτινοβολία οι τιμές είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 55 – 61%.



Σχήμα 4.2.2. : Ημερήσια πορεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του υποστρώματος ανά μεταχείριση σε καλλιέργεια τομάτας σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα.

Από το παραπάνω διάγραμμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος, παρατηρούμε ότι στη μεταχείριση όπου η άρδευση γίνεται με βάση την ηλιακή ακτινοβολία έχουμε μεγαλύτερη τιμές που κυμαίνονται από 1,2 – 1,6 (dS/m) ενώ στην μεταχείριση που η άρδευση γίνεται σύμφωνα με την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία στο υπόστρωμα οι τιμές είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 1 – 1,4 (dS/m).



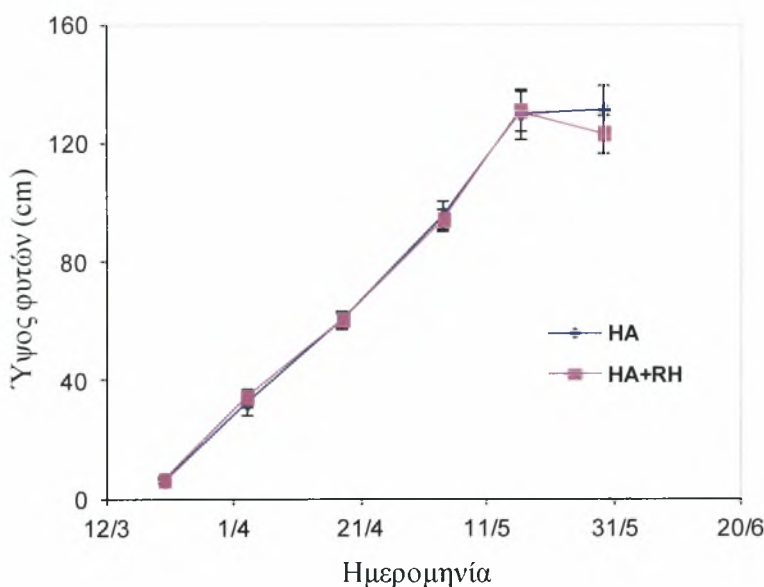
Σχήμα 4.2.3. : Ημερήσια πορεία της θερμοκρασίας του υποστρώματος (°C) ανά μεταχείριση σε καλλιέργεια τομάτας σε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα.

Από το παραπάνω σχήμα, παρατηρούμε ότι η διακύμανση των θερμοκρασιών στο υπόστρωμα ακολουθεί παρόμοια πορεία και στις δύο μεταχειρίσεις της άρδευσης και κυμαίνεται μεταξύ 14 και 26 °C, με μέγιστες τιμές θερμοκρασιών να αποκτούν γύρω στις 18:00.

4.3. Αποτελέσματα της καλλιέργειας

4.3.1. Ύψος φυτών

Στο Σχήμα 4.3.1. παρατηρείται η εξέλιξη του ύψους των φυτών, σε υπόστρωμα περλίτη, κατά τη διάρκεια του πειράματος στο θερμοκήπιο. Το ύψος των φυτών μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Σχήμα 4.3.1. : Ύψος φυτών τομάτας στο θερμοκήπιο. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+RH: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος. Οι γραμμές σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση των μέσων όρων των μετρήσεων.

Σύμφωνα με το Σχήμα 4.3.1., υπάρχει η ίδια τάση αύξησης του ύψους και στις δύο μεταχειρίσεις και φαίνεται να μην υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ύψος φυτών μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.3.1., καθώς η σημαντικότητα βρέθηκε ίση με 0,575. Παρατηρείται ωστόσο, κάποια μεταβολή μεταξύ 5^{ης} και 6^{ης} μέτρησης στο διάγραμμα. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει μια σταθερότητα του ύψους των φυτών που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ στα φυτά που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος παρατηρούμε μια μείωση του ύψους τους. Αυτό οφείλεται στο

κορυφολόγημα των φυτών που έγινε και στην υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω προβλήματος του συστήματος άρδευσης – λίπανσης, που έκανε τα φυτά καχεκτικά.

Οι Kittas et al. (2003) σε πείραμα που έκαναν με σκοπό να μελετήσουν τι επίδραση έχουν οι δύο διαφορετικοί τρόποι άρδευσης στην ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, απέδειξαν ότι το μήκος του στελέχους των φυτών διέφερε μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων. Επίσης, ο Ouima G. (2004) μελετώντας την επίδραση τριών διαφορετικών τύπων άρδευσης στην ανάπτυξη σποροφύτων λεμονιάς (*Citrus limon*), κατέληξε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών μεταξύ των τριών μεταχειρίσεων.

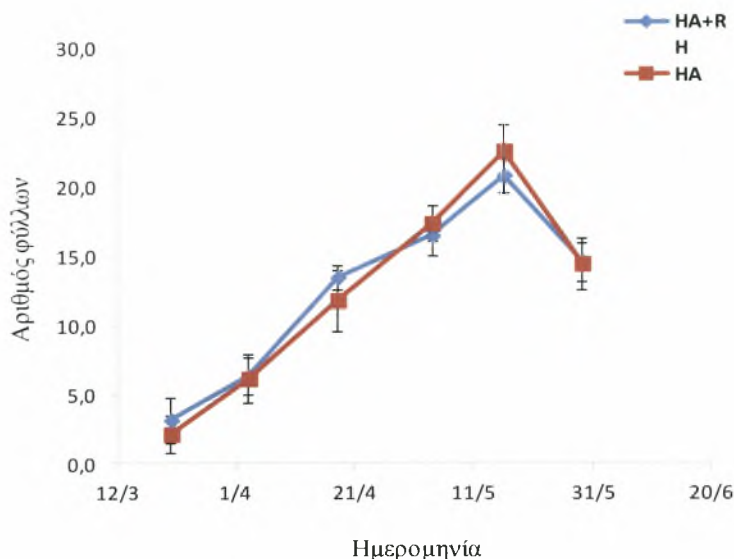
Πίνακας 4.3.1. : Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το ύψος των φυτών στους δύο διαφορετικούς τρόπους άρδευσης.

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	442270,125	1	442270,125	7414,592	,000
Treatment	20,056	1	20,056	,336	,575
Error	596,486	10	59,649		

4.3.2. Αριθμός φύλλων

Στο Σχήμα 4.3.2. παρουσιάζεται ο αριθμός των φύλλων των φυτών. Ο αριθμός φύλλων μετρήθηκε συνολικά 6 φορές.



Σχήμα 4.3.2. : Αριθμός φύλλων των φυτών. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+RH: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος. Οι γραμμές σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση των μέσων όρων των μετρήσεων.

Από το Σχήμα 4.3.2. παρατηρείται η ίδια τάση αύξησης του αριθμού φύλλων και στις δύο μεταχειρίσεις. Μεταξύ της 5^{ης} και 6^{ης} μέτρησης όμως, υπάρχει μια μείωση στον αριθμό των φύλλων, επειδή κάναμε αποφύλλωση της καλλιέργειας των κατώτερων υπερώριμων φύλλων. Στον παρακάτω Πίνακα 4.3.2. ωστόσο, φαίνεται ότι δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων στον αριθμό των φύλλων καθ'όλη την διάρκεια του πειράματος, καθώς η σημαντικότητα βρέθηκε ίση με 0,612.

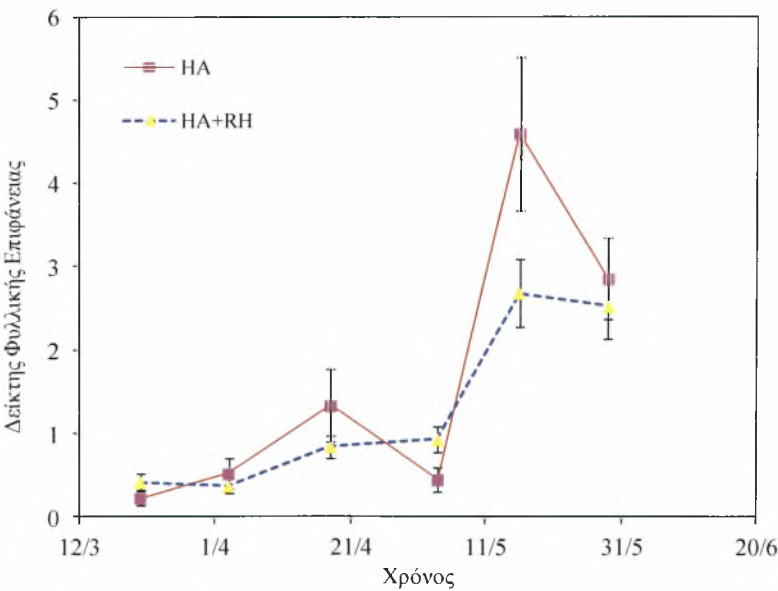
Πίνακας 4.3.2.: Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τον αριθμό των φύλλων των φυτών στους δυο διαφορετικούς τρόπους άρδευσης.

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	12534,722	1	12534,722	3870,069	,000
Treatment	,889	1	,889	,274	,612
Error	32,389	10	3,239		

4.3.3. Δείκτης φυλλικής επιφάνειας

Το φύλλο είναι σημαντικό όργανο για το φυτό και σχετίζεται με τη φωτοσύνθεση και την εξατμισοδιαπνοή. Ως εκ τούτου η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας είναι απαραίτητη στα περισσότερα αγρονομικά πειράματα που έχουν σχέση με την ανάπτυξη του φυτού (Blanco and Folegatti, 2003).



Σχήμα 4.3.3. : Διαγραμματική απεικόνιση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ανά μεταχείριση. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+ΥΥ: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος. Οι γραμμές σφάλματος δείχνουν την τυπική απόκλιση των μέσων όρων των μετρήσεων.

Στο Σχήμα 4.3.3., παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών τομάτας ανά μεταχείριση. Από στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προκύπτει πως δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων ως προς τον τρόπο άρδευσης όσον αφορά το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, καθώς η τιμή της σημαντικότητας είναι 0,196, όπως φαίνεται και στον παρακάτω Πίνακα 4.3.3. Η σημαντική μείωση, στο γράφημα, του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις δύο μεταχειρίσεις μεταξύ 5^{ης} και 6^{ης} μέτρησης οφείλεται στην αποφύλλωση της καλλιέργειας, καθώς και στην υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα λόγω προβλήματος του συστήματος άρδευσης – λίπανσης, που κατέστρεψε τα φυτά.

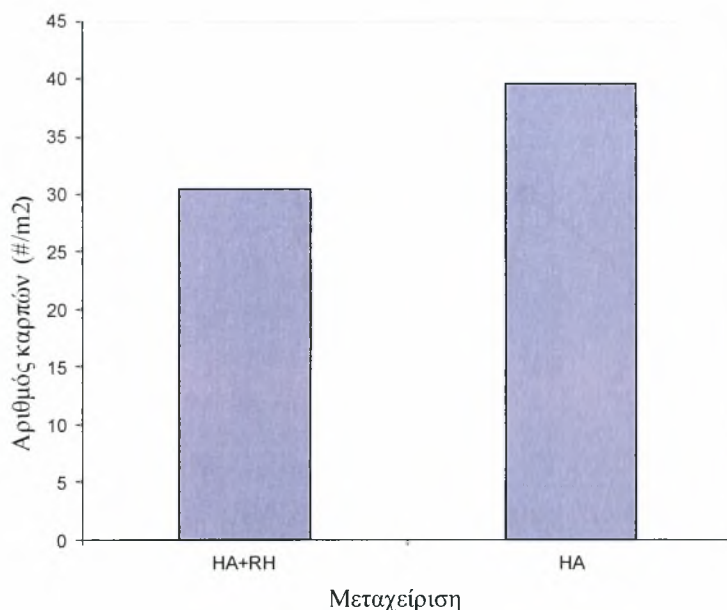
Οι Kittas et al. (2003) σε πείραμα που έκαναν με σκοπό να μελετήσουν τι επίδραση έχουν οι δύο διαφορετικοί τρόποι άρδευσης στην ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς, απέδειξαν ότι η συνολική φυλλική επιφάνεια διέφερε μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Πίνακας 4.3.3. : Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών στους δυο διαφορετικούς τρόπους άρδευσης.

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	21,176	1	21,176	47,035	,000
Treatment	,831	1	,831	1,847	,196
Error	6,303	14	,450		

4.3.4. Αριθμός καρπών



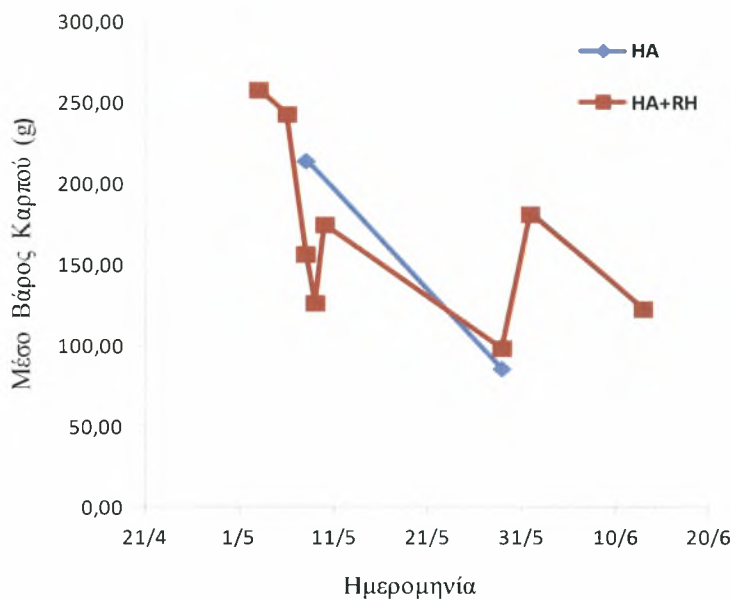
Σχήμα 4.3.4. : Αριθμός καρπών ανά μεταχείριση. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+ΥΥ: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος.

Από το παραπάνω Σχήμα 4.3.4 παρατηρούμε ότι μεταξύ των δυο μεταχειρίσεων στον τρόπο άρδευσης έχουμε σημαντική διαφορά ως προς τον αριθμό των καρπών τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη, όπως προέκυψε και από την στατιστική ανάλυση. Στα φυτά που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία πήραμε περισσότερους καρπούς.

Επίσης, και οι Elio Jovicich et al., σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο της Florida, σε καλλιέργεια πιπεριάς διαπίστωσαν ότι ο αριθμός των καρπών παρουσίαζε σημαντικές διαφορές μεταξύ δύο διαφορετικών τρόπων άρδευσης που εφάρμοσαν.

Ωστόσο, αξίζει να επισημανθεί ότι ο αριθμός των καρπών δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτικός της παραγωγικότητας της φυτείας, αφού αυτό είναι κάτι που καθορίζεται και από το βάρος των καρπών εκτός από τον αριθμό τους, ο οποίος όμως αποτελεί μέτρο του ρυθμού ανάπτυξης του φυτού.

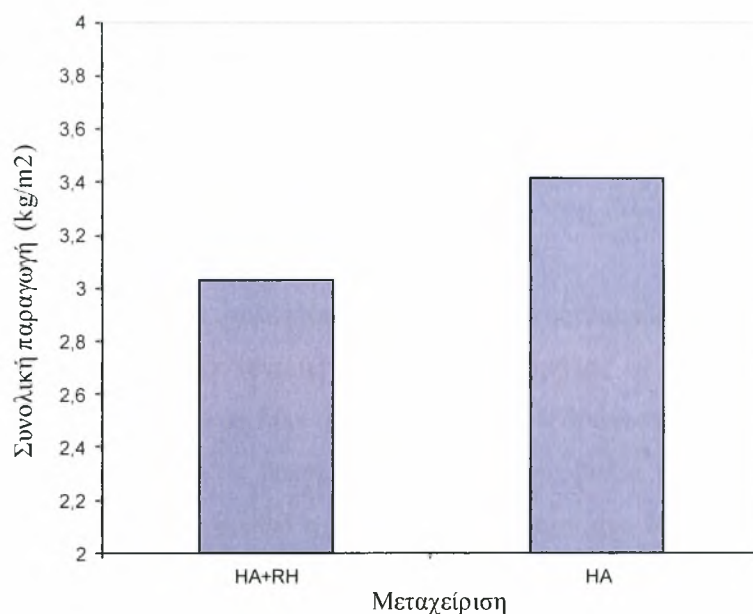
4.3.5. Μέσος βάρος καρπών



Σχήμα 4.3.5. : Μέσο βάρος καρπών ανά μεταχείριση. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+ΥΥ: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα, διακρίνουμε ότι τα φυτά που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος, έδωσαν καρπούς με μεγαλύτερο μέσο βάρος σε σχέση με τα φυτά που η άρδευση γινόταν με βάση μόνο την ηλιακή ακτινοβολία. Η μείωση στο γράφημα του μέσου βάρους του καρπού και στις μεταχειρίσεις τις τελευταίες ημέρες, οφείλεται στο γεγονός ότι η καλλιέργεια καταστράφηκε εξαιτίας της υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας που αναπτύχθηκε λόγω προβλήματος του συστήματος άρδευσης – λίπανσης. Για τον λόγο αυτό τις τελευταίες ημέρες έγινε συλλογή καρπών που ήταν ακόμα μικροί σε μέγεθος.

4.3.6. Συνολική παραγωγή



Σχήμα 4.3.6. : Συνολική παραγωγή ανά μεταχείριση. Όπου HA: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, και HA+ΥΥ: φυτά τομάτας που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος.

Από το παραπάνω σχήμα παρατηρείται ότι τα φυτά τα οποία αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία έδωσαν μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με τα φυτά που αρδεύονταν με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία υποστρώματος, και συγκεκριμένα $3,4 \text{ kg/m}^2$ και 3 kg/m^2 αντίστοιχα. Οι Kashyap και Panda (2003) σε πείραμα που έκαναν σε φυτά πατάτας για να δουν τι επίδραση είχε η διαθέσιμη εδαφική υγρασία σε αυτά, απέδειξαν ότι η συνολική παραγωγή κονδύλων παρουσίαζε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τρόπων διαχείρισης της άρδευσης. Διαφορές στην συνολική παραγωγή καρπών βρήκαν και οι Kittas et al. (2003) σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς.

Κεφάλαιο 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αποτελεσματική άρδευση συντελεί στην ποσοτική και ποιοτική βελτιστοποίηση της παραγωγής ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στην μείωση των εισροών στην καλλιέργεια και των ανεπιθύμητων εκροών από αυτή. Η διαχείριση της άρδευσης σχετίζεται με τον καθορισμό της συχνότητας και της δόσης που με τη σειρά τους βασίζονται στην εκτίμηση των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό και στη δυνατότητα συγκράτησης υγρασίας από το υπόστρωμα.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση της διαχείρισης άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν δύο τρόποι άρδευσης, η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και η άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία του υποστρώματος, με σκοπό να βρεθεί η επίδραση που έχουν στο ύψος των φυτών, στον αριθμό των φύλλων, στον αριθμό των παραγόμενων καρπών, στη φυλλική επιφάνεια, στο βάρος των καρπών, καθώς και στη συνολική παραγωγή.

Από τα αποτελέσματα της καλλιέργειας που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4, γίνεται αντιληπτό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων ως προς τον τρόπο άρδευσης.

Όσον αφορά τις μετρήσεις του ύψους των φυτών, του αριθμού των φύλλων και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρίσεων.

Όσον αφορά τις μετρήσεις της συνολικής παραγωγής, του αριθμού και του μέσου βάρους των καρπών, προέκυψε ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο διαφορετικών μεταχειρίσεων ως προς τον τρόπο άρδευσης, εξαιτίας της υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας που αναπτύχθηκε στις ρίζες των φυτών λόγω βλάβης του συστήματος άρδευσης-λίπανσης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να σταματήσει γρηγορότερα το πείραμα γιατί τα φυτά καταστάφηκαν και κατ'επέκταση να μην έχουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα στην παραγωγή.

Οι Lizarraga et al., (2003) σε μελέτη τους πάνω σε φυτά τομάτας, βρήκαν ότι η μέθοδος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η καλύτερη μέθοδος προγραμματισμού άρδευσης σε πλαστικά κυρίως θερμοκήπια. Το σύστημα αυτό, επίσης, είναι κατάλληλο γιατί παρέχει νερό στα φυτά με βάση το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής (Sheldoford et. al.,

2004). Σημαντικό μειονέκτημα όμως, είναι ότι το σύστημα αυτό δε λειτουργεί σωστά κάτω από συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή τη νύχτα και οι καλλιέργειες περιστασιακά έχουν ανάγκη για άρδευση τη νύχτα (Sheldoford et. al., 2004). Επίσης, είναι μια μέθοδος η οποία λειτουργεί με βάση τη μετρούμενη ακτινοβολία στο εσωτερικό ή εξωτερικό του θερμοκηπίου (Lizarraga et al., 2003), αλλά δε λαμβάνει υπόψη της άλλους παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση νερού. Για αυτούς τους λόγους, οι καλλιεργητές μερικές φορές προσαρμόζουν τον έλεγχο αυτής της μεθόδου άρδευσης με βάση μετρήσεις κυρίως της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) (Sheldoford et. al., 2004). Η αξιοπιστία της άρδευσης με βάση την ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τη ρύθμιση των τοπικών συνθηκών, τον τύπο του υποστρώματος και τα χαρακτηριστικά του φυτού (Lizarraga et al., 2003).

Οι αισθητήρες υγρασίας παρέχουν την πληροφορία για τη διαθέσιμη ποσότητα νερού στο υπόστρωμα και παρέχουν την δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση της άρδευσης. Δεν μπορούν όμως ποτέ να δώσουν ακριβή αντιπροσωπευτική πληροφόρηση για όλη τη φυτεία και γι'αυτό είναι καλύτερα να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με μοντέλα διαπνοής (Αναστασίου, Παπαγεωργίου, 1999). Η υγρασία θα πρέπει να διατηρηθεί εντός του Εύκολα Διαθέσιμου Νερού (τυπικά 7% από τα επίπεδα της υδατοϊκανότητας για τον περλίτη) και όσο το δυνατόν εγγύτερα στην Υδατοϊκανότητα Φυτοδοχείου (υπολογίστηκε ίση με 42,11% για τον περλίτη). Η πτώση της υγρασίας στο υπόστρωμα κατά τη διάρκεια της νύχτας να μην είναι μεγαλύτερη από 10% (Stradiot, 2001, Lee, 2010).

Όσο αφορά την αξιολόγηση της άρδευσης ο προγραμματισμός με βάση τη συγκέντρωση ενέργειας από ηλιακή ακτινοβολία διατηρεί το υπόστρωμα πιο κοντά στην υδατοϊκανότητα φυτοδοχείου, δαπανώντας παρόμοιες ποσότητες νερού.

Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι αποτελεσματικότερος τρόπος άρδευσης, ανάμεσα στην άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και στην άρδευση με βάση την ηλιακή ακτινοβολία και την υγρασία του υποστρώματος, δεν υπάρχει και δεν μπορούμε να εξάγουμε ασφαλή συμπεράσματα διότι πήραμε παρόμοια αποτελέσματα. Επίσης, το χρονικό διάστημα διεξαγωγής του πειράματος ήταν περιορισμένο και ίσως χρειάζονται περεταίρω μελέτες.

Κεφάλαιο 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ι. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βάου Β., 2010. Αφρώδη θερμομονωτικά ανόργανα πολυμερή υλικά από περλίτη. Πτυχιακή εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα
- Γεωργίου Γ., Δημητρίου Δ., 2007. Υλοποίηση θερμοκηπίου με χρήση του μικροεπεξεργαστή Z80. Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ηρακλέους, Π., 2006. Επίδραση των απορροφητικών υλικών της υπεριώδους ακτινοβολίας στην παραγωγή ξηρής ουσίας θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Κανδηλά, Α., 2010. Συγκριτική μελέτη τεσσάρων υποστρωμάτων υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας, πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Καραπάνος, Γ.Χ., Αυτόματος έλεγχος κλίματος και υδρολίπανσης. Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Κίττας, Κ., 2002. Υδροπονία και υδροπονικές καλλιέργειες. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Κωστούλα Σ., 2008. Επίδραση της δόσης άρδευσης στην ανάπτυξη και παραγωγή αυτόριζων και εμβολιασμένων φυτών υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Μανωλαράκη, Χ., 2008. Αξιολόγηση της επίδρασης της χρήσης αντισταγονικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στο μικροκλίμα και στην καλλιέργεια. Μεταπτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 2006. Υδροπονικές Εγκαταστάσεις. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
- Μπίμπη Α., 2002. Συγκριτική διερεύνηση της παραγωγικότητας ανοικτού και κλειστού υδροπονικού συστήματος της καλλιέργειας τριανταφυλλιάς. Πτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Ολύμπιου Χ. Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.

- Παπαδόπουλος Π., 2012. Διερεύνηση δυνατοτήτων χρήσης συστήματος παρακολούθησης κλιματικών και φυσιολογικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο για έλεγχο της άρδευσης στο θερμοκήπιο. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Παπαφίγκου, Ζ., 2007. Επίδραση της συχνότητας άρδευσης στην ανάπτυξη και στην παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Παππά, Α., 2011. Επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στην κατανομή του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Πουλοβασίλης, Α., 2010. Εισαγωγή στις Αρδεύσεις. Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα.
- Σάββας Δ., 2011. Καλλιέργειες εκτός εδάφους. Υδροπονία, Υποστρώματα. Εκδόσεις Αγροτύπος.
- Τζώρτζος, Α., 2012. Διερεύνηση της επίδρασης της αλατότητας του θρεπτικού διαλύματος στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Τρυφωνόπουλος, Ι., 2012. Μελέτη της επίδρασης της μεθόδου διαχείρισης των απορροών στην ανάπτυξη υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.
- Τσιρογιάννης Ι. Α., 2011. Προσδιορισμός δεικτών θερμικής και υδατικής καταπόνησης καλλιεργειών για τη διαχείριση του μικροκλίματος και της άρδευσης στο θερμοκήπιο. Διδακτορική διατριβή.
- Χαρίτος, Ν.Κ., 1989. Υδροπονικές καλλιέργειες σε θερμοκήπιο. Γεωργική Τεχνολογία, Μάιος 1989.
- Χριστοφόρου, Α., 2011. Μελέτη της επίδρασης της δόσης άρδευσης, στην ανάπτυξη και παραγωγή υδροπονικής θερμοκηπιακής καλλιέργειας τομάτας σε τέσσερα υποστρώματα. Πτυχιακή διατριβή, Βόλος.

II. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Abou-Hadid, A.F., El-Shinawy, M.Z., El-Oksh, I., Gomaa, H., El-Beltagy, A.S., Cockshull, K.E., Tüzel, Y., Gül, A., 1994. Studies on water consumption of sweet pepper under plastic houses. Acta Hort. 366, 365-371.

- Baas, R., Bulle, A., Vonk Noordegraaf, C., 2004. Estimation of available water and evapotranspiration of potted plants with a frequency-domain sensor. *Acta Hort.* 644, 291-297.
- Barnes R.E., 1962. Perlite industry. *AIME Transactions (Mining)*, Vol. 223 pp. 180–183.
- Benoit, F., Ceustermans, N., 1995. A decade of research on ecologically sound substrates. *Acta Hort.* 408, 17-29.
- Benoit, F., Ceustermans, N., 1996. Polyurethane ether foam (PUR) an ecological substrate for soilless growing. *Polymer Recycling* 2, 109-115.
- Benton Jones Jr., 2005. *Hydroponics. A Practical Guide for Soilless Grower*. CRC Press.
- Bernstein, L. 1964. Effect of salinity on mineral composition and growth of plants. *Plant Anal. Fert. Prob.*, 4:25-44.
- Blanco, F.F., Folegatti, M.V., 2003. A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticulture brasileira* vol 21.
- Bougoul, S., Boulard, T., 2006. Water dynamics in two rockwool slab growing substrates of contrasting densities. *Sci. Hort.* 107, 399-404.
- Bougoul, S., Ruy, S., de Groot, F., Boulard, T., 2005. Hydraulic and physical properties of stonewool substrates in horticulture. *Sci. Hort.* 104, 391-405.
- Bunt, A.C., 1961. Some physical properties of pot-plant composts and their effect on growth. *Plant Soil* 13, 322-332.
- Bunt, A.C., 1988. *Media and mixes for container-growth plants*. Unwin Hayman, London.
- Bunt, A.C., 1991. The relationship of oxygen diffusion rate to the air-filled porosity of potting substrates. *Acta Hort.* 294, 215-224.
- Castilla, N. and Fereres. 1990b. The climate and water requirements of tomato in unheated plastic greenhouses. *Agricultural Mediterranean*, 120:268-274.
- Charpentier, S., Guérin, V., Morel, P., Tawegoum, R., 2004. Measuring water content and electrical conductivity in substrates with TDR (time domain reflectometry). *Acta Hort* 644, 283-290.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., 2003. Understanding plant responses to drought – From genes to the whole plant. *Functional Plant Biol.* 30, 239-264.

- Childs, E.C., 1940. The use of soil moisture characteristics in soil studies. *Soil Sci.* 50, 239-252.
- Dalton, F.N., Herkelarath, W.N., Rawlins, D.S., Rhoades J.D., 1984. Time-domain reflectometry: Simultaneous measurement of soil water content and electrical conductivity with a single probe. *Science* 224, 989-990.
- DaSilva, F.F., Wallach, R., Chen, Y., 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. *Plant Soil* 154, 119-126.
- Da Silva, F.F., Wallach, R., Chen, Y., 1995. Hydraulic properties of rockwool slabs used as substrates in horticulture. *Acta Hort.* 401, 71-75.
- De Boodt, m., Verdonck, O., 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hort.* 26, 37-44.
- De Graaf, R., 1985. The influence of thermal screening and moisture gap on the evapotranspiration of glasshouse tomatoes during the night. *Acta Hort.* 174, 57-66.
- FAO, 1990. Soilless culture for horticultural crop production.
- Fonteno, W.C., Nelson, P.V., 1990. Physical properties of and plant response to rockwool-amended media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115, 375-381.
- Fonteno, W.C., 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. In: Reed, D.W. (Ed.): *Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Ball Publishing, Batavia, Illinois, USA.
- Georgopoulos I., 2006. Mechanical behavior of granular media with soft particles, PhD dissertation, National Technical University of Athens.
- Gizas, G., Savvas, D., 2007. Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience* 42, 1274-1280.
- Gizas, G., Savvas D., Mitsios, I., 2001. Availability of macrocations in perlite and pumice as influenced by the application of nutrient solutions having different cation concentration ratios. *Acta hort.* 548, 277-284.
- Green, J.L. (1968). *Perlite-Advantages and Limitations as a Growth Media*. Colo. Flower Grow. Bull. 214. 6pp.
- Hall, D.A., Hitchon, G.M., and SZMIDT, R.A.K. (1989). *Proceedings 7th Int. Congr. Soilless Culture*, 177-183. ISOSC, Wageningen.

- Hanna, H.Y., 2005. Properly recycled perlite saves money, does not reduce greenhouse tomato yield and can be reused for many years. *HortTechnology* 15, 342-345.
- Hanson, B.R., Donald M.M., 2006. Crop coefficients for drip-irrigated processing tomato. *Agricultural water management* 81: 381-399.
- Hanson, B.R., Peters, D., 2000. Soil type affects accuracy of dielectric moisture sensors. *Calif.Agric.* 54, 43-47.
- Hilhorst, M.A., Groenwold, J., de Groot, J.F., 1992. Water content measurements in soil and rockwool substrates: dielectric sensors for automatic in situ measurements. *Acta Hort.* 304, 209-218.
- Howard M. Resh, 1993. Hydroponic tomatoes for the home gardener. pp: 86-90, 95-98, 108-115.
- Howard M. Resh, 2001. Hydroponic food production. pp: 119-125, 465-468, 472, 480-484.
- Howard M. Resh, 2002. Hydroponic Food Production. A Definitive Guidebook Of Soilless Food-Growing Methods. Woodbridge Press.
- Jackson, D.K. (1974). Some Characteristics of Perlite as an Experimental Growth Medium. *Plant and Soil*, 40, 161-167.
- Jamei, M., Guiras, H., Chtourou, G., Kallel, A., Romero, E., Georgopoulos, I. Water retention properties of perlite as a material with crushable soft particles. *Engineering Geology*. Vol.122, Issues 3–4, 10 October 2011, Pages 261–271.
- Kadey, F.L. Jr., 1983. Perlite in Industrial minerals and rocks (5th ed.). Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, vol. 2 Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc, New York, pp. 997–1015.
- Katerji, N., Mastrorilli, M., Rana, G., 2008. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *Europ. J. Agron.* 28, 493-507.
- Katsoulas, N., Kittas, C., Dimokas, G., Lykas, Ch., 2006. Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosyst. Engin.* 93, 237-244.
- Kerkides, P., C. Olympios, M. Phychoyou, and A. Lagoudaki, 1997. The effect of saline irrigation water on crop growth and yield. *Proc. Int. Conf. on "water*

management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region". Vol. IV, pp 1-17, MAI Bari, Italy.

- Kiehl, P.A., Lieth, J.H. and Burger, D.W., 1992. Growth response of chrysanthemum to various container medium moisture tension levels. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 117(2), 224-229.
- Kipp, J.A., Kaarsemaker, S.C., 1995. Calibration of time domain reflectometry water content measurements in growing media. *Acta Hort.* 401, 49-55.
- Kizito, F., Cambell, C.S., Cambell, G.S., Cobos, D.R., Teare, B.L., Carter, B., Hopmans, J.W., 2008. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. *J. Hydrol.* 352, 367-321.
- Laboski, C.A.M. Lamb, J.A., Dowdy, R.H., Baker, J.M., Wright J., 2001. Irrigation scheduling for a sandy soil using mobile frequency domain reflectometry with a checkbook method. *J. Soil Water Conserv.* 56, 97-100.
- Ledieu, J., de Ridder, P., de Clerck, P., Dautrebande, S., 1986. A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. *J. Hydrol.* 88, 319-328.
- Lee, A., 2010. Water and EC management. *Practical Hydroponics & Greenhouses*, March/April, 2010.
- Lieth, J.H., Burger, D.W., 1989. Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114, 387-392.
- Lieth, J.H., Oki, L.R., 2008. Irrigation in soilless production. In: Raviv, M., Lieth, H.J., (eds). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier, Amsterdam, pp. 117-156.
- Lizarraga, A., Boesveld, H., Hibers, F., Robles, C., 2003. Evaluating irrigation scheduling of hydroponic tomato in Nivarra, Spain. *Irrig. and Drain.* 52, 177-188.
- Maas, E.V. 1984. Salt tolerance of plants. In, B.R. Christie (ED). *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 27-42.
- Marfà, O., Martinez, A., Orozo, R., Serrano, L., Martinez, F.X., 1993. The use of fine-grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. *Acta Hort.* 342, 339-347.
- Morrison, T.M., McDonald, D.C., Sutton, J.A., 1960. Plant growth in expanded perlite. *New Zeland J. Agric. Res.* 3, 592-597.

- Munoz-Carpena, R., Dukes, M.D., Li, Y.C., Klassen W., 2005. Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato. *HortTechnology* 15, 584-590.
- Murray, J.D., Lea-Cox, J.D., Ross, D., 2004. Time domain reflectometry accurately monitors and controls irrigation water applications in soilless substrates. *Acta Hort.* 633, 75-82.
- Naasz, R., Michel, J.-C., Charpentier, S., 2008. Water repellency of organic growing media related to hysteric water retention properties. *Europ. J. Soil Sci.* 59, 156-165.
- Ouma G., 2004. Root confinement and irrigation frequency affect growth of 'Rough lemon' (Citrus lemon) seedlings. Department of Botany and Horticultural, Maseno University, Kenya.
- Papachristodoulou, S., C. Papayannis and G.S. Panayiotou. 1992. Norm input-output data for the main crop and livestock enterprises of Cyprus. *Agricultural Economic Report 33*. Cyprus Agricultural Research Institute, pp. 233.
- Papp, C.P., M.A. Ball, and N. Terry, 1983. A comparative study of the effect of NaCl salinity on respiration, photosynthesis and leaf expansion growth in *Beta vulgaris*. *Plant. Cell and Env.* 6:675-677.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Incrocci, G., Malorgio, F., Battista, P., Bacci, L., Rapi, B., Marzioletti, P., Heming, J., Balendonck, J., 2009. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors* 9, 2809-2835.
- Perez – Alfocea F., M.T. Estan, M. Caro and M.C. Bolarin. 1993. Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and Soil*, 150:203-211.
- Prenger, J.J., Fynn, R.P., Hansen, R.C., 2002. A comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment. *Trans. ASAE* 45, 1779-1788.
- Raviv, M., Silber, S., Medina, S., 1998. The effect of medium disinfestations on cut rose productivity and on some chemical properties of tuff. *Sci. Hort.* 74, 285-293.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Medina, Sh., Krasnovsky, A., 1999. The effect of hydraulic characteristics of volcanic materials on yield of roses grown in soilless culture. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 124, 205-209.

- Raviv, M. and Blom, T.J., 2001. The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Sci Hortic.* (Amsterdam), 88, 257-276.
- Raviv, M., Lieth, J.H., Burger, D.W. and Wallach, R., 2001. Optimization of transpiration and potential growth rates of 'Kardinal' rose with respect to root-zone physical properties. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 126, 638-643.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., Bar-Tal, A., 2002. Substrates and their analysis. In: D. Savvas and H.C. Passam (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 25-201.
- Raviv, M., Wallach, R., Blom, T.J., 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance - a review. *Acta Hort.* 644, 251-259.
- Robinson, D.A., Jones, S.B., Wraith, J.M., Or, D., Friedman, S.P., 2003. A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soil using time domain reflectometry. *Vadose Zone J.* 2, 444-475.
- Roh, M.Y., Lee, Y.B., 1996. Control of amount and frequency of irrigation according to integrated solar radiation in cucumber substrate culture. *Acta Hort.* 440, 332-337.
- Savvas, D., Samantouros, K., Paralemos, D., Vlachakos, G., Stamatakis, M., Vassilatos, C., 2004. Yield and nutrient status in the root environment of tomatoes grown on chemical active and inactive inorganic substrates. *Acta Hort.* 644, 377-383.
- Savvas, D., 2009. Modern developments in the use of organic media in greenhouse vegetable and flower production. *Acta hort.* 819, 73-86.
- Savvas, D., Olympios, C., Passam, H.C., 2009. Management of nutrition and irrigation in soil-grown and soilless cultivations in mild-winter climates: problems, constraints and trends in the Mediterranean region. *Acta Hort.* 807, Vol. II, 415-426.
- Schröder, F.G., Lieth, H.J., 2002. Irrigation control in hydroponics, In: Savvas, D., Passam, H.C., (eds). *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 263-298.
- Silber, A., Bruner, M., Kenig, E., Reshef, G., Zohar, H., Posalski, I., Yehezkel, H., Shmuel, D., Cohen, S., Dinar, M., Matan, E., Dinkin, I., Cohen, Y., Karni, L., Aloni, B., Assouline, S., 2005. High fertigation frequency and phosphorus

- level: Effects on summer-grown bell pepper growth and blossom-end rot incidence. *Plant Soil* 270, 135-146.
- Stradiot, P., 2001. The Grodan water content meter for root management in stonewool. *Acta Hort.* 548, 71-78.
 - Szmidth, R.A.K., Hall, D.A., Hitchon, G.M., 1988. Development of perlite culture cultures for the production of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 221, 371-378.
 - Thompson, R.B., Gallardo, M., Valdez, L.C., Fernández, M.D., 2007. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agric. Water Manage.* 88, 147-158.
 - Van Os, E., Gieling, T.H., Lieth, H.J., 2008. Technical equipment in soilless production systems. In: Raviv, M., Lieth, H.J., (eds). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier, Amsterdam, pp. 157-207.
 - Wallach, R., 2008. Physical characteristics of soilless media. In Raviv, M., Lieth, H.J., (eds). *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier, Amsterdam, pp. 41-116.
 - Wallach, R., da Silva, F.F., Chen, Y., 1992a. Hydraulic characteristics of tuff (Scoria) used as a container medium. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117, 415-422.
 - Wallach, R., da Silva, F.F., Chen, Y., 1992b. Unsaturated hydraulic characteristics of composted agricultural wastes, tuff and their mixtures. *Soil Sci.* 153, 434-441.
 - White J. W. (1974) Criteria for selection of growing media for greenhouse crops. *Florists' review*.
 - Wilson, G.C.S. (1980). Perlite System for Tomato Production. *Acta Hort.*, 99, 159-166.
 - Wilson, G.C.S, Hall, D.A. and McGregor, A.J. (1984). Perlite Culture of Tomatoes. West of Scotland Agricultural College, Auchincruwe, Technical Note No. 219, 6 pp.
 - Wilson, G.C.S. and Hitchen, G.M. (1984). The Developments in Hydroponic Systems for the Production of Glasshouse Tomatoes. *Proceedings 6th Int. Congr. Soilless Culture*, 793-800. ISOSC, Wageningen.
 - Wilson, G.C.S. (1985). New Perlite System for Tomatoes and Cucumbers. *Acta Hort.*, 172, 151-156.

III. Διαδίκτυο

- <http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar01.pdf>
- <http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar03.pdf>
- <http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar06.pdf>
- <http://www.ictinternational.com.au/soils.htm>
- http://www.perlitecanada.com/en/1-perlite/perlite_propriete.html
- <http://www.perlite.net/>
- <http://www.peletico.com/Resources/Files/DIOPERLI.pdf>
- <http://mde-didaktiki.biol.uoa.gr/mde3/nifak/kalliergitikh%20texnikh.htm>
- http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3263/3/vaouv_foamed.pdf
- <http://www.valentine.gr/seeds1001.php>



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000122948