



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

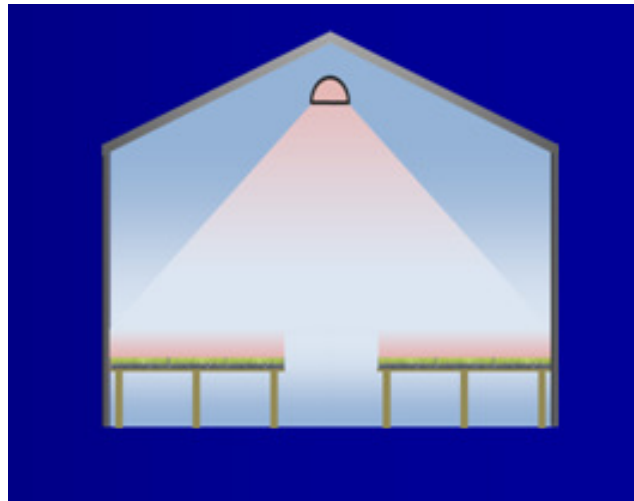
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΜΕ ΦΥΤΩΝ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ  
(*Solanum melongena* L.) ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ ΚΑΙ  
ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ (IR) ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ



ΤΣΙΧΛΙΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ , ΑΜ: 12032

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΑΥΓΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΑΜΑΛΙΑΔΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2019

## Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	6
1.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες .....	6
1.2. Συμβατικά συστήματα θέρμανσης - Υπέρυθρη Ακτινοβολία (IR) .....	8
2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ .....	11
2.1. Βοτανικά χαρακτηριστικά Μελιτζάνας .....	11
2.2. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες.....	11
2.3. Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Μελιτζάνας.....	12
2.4. Εχθροί και Ασθένειες .....	12
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	13
3.1. Παραγωγή σπορόφυτων Μελιτζάνας .....	13
3.2. Πειραματικά θερμοκήπια και αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (ΑΜΣ) .....	13
3.3. Όργανα και αισθητήρες ελέγχου μικροκλίματος πειραματικών θερμοκηπίων.....	16
3.4. Μετεωρολογικός σταθμός και μετρητικά όργανα μακρο-κλίματος.....	19
3.5. Πειραματική διαδικασία συγκομιδής καλλιέργειας.....	21
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	23
4.1. Ενεργειακά αποτελέσματα .....	23
4.2. Αποτελέσματα απόδοσης παραγωγής.....	24
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	28
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	29

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών, στο Τμήμα Γεωπονίας (πρώην τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας) της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών.

Η εργασία έχει αντικείμενο την διερεύνηση της επίδρασης της Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR) στις παραμέτρους ανάπτυξης και παραγωγής φυτών μελιτζάνας (*Solanum melongena* L.) και την ενεργειακή αποδοτικότητα του θερμοκηπίου. Η πειραματική διαδικασία έγινε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Θερμοκηπίων και Βιοκλιματολογίας και στο εργαστήριο Φυσιολογίας και Βιοχημείας Φυτών, στις εγκαταστάσεις του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων, στην Αμαλιάδα. Η επίβλεψη της πειραματικής διαδικασίας και η καθοδήγηση της συγγραφής έγινε από την Αν. Καθηγήτρια του τμήματος κ. Αγγελική Καυγά.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή του τμήματος κ. Ζερβουδάκη για την παραχώρηση του εργαστηρίου Φυσιολογίας και Βιοχημείας Φυτών για τις μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις των καρπών των φυτών της μελιτζάνας. Επίσης θε ήθελα να ευχαριστήσω την κα Ευαγγελοπούλου Φωτεινή για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία της σε όλη την πειραματική διαδικασία

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το οικονομικό ισοζύγιο των θερμοκηπίων. Τα συστήματα θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) διαθέτουν το πλεονέκτημα της ακριβούς στόχευσης και της εστιασμένης αντιστάθμισης των ενεργειακών απωλειών και είναι κατάλληλα για τη δημιουργία τοπικών συνθηκών θερμοκρασίας σε ανοικτούς ή θερμικά μη προστατευμένους χώρους με αποτέλεσμα τη συνολική μείωση των θερμικών απωλειών και συνεπώς τη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση. Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει την επίδραση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) στις παραμέτρους ανάπτυξης και παραγωγής φυτών μελιτζάνας (*Solanum melongena* L.) και την ενεργειακή αποδοτικότητα του θερμοκηπίου. Πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται από μια πλήρη καλλιεργητική περίοδο μέσα σε δύο πανομοιότυπα πειραματικά θερμοκήπια μικρής κλίμακας, με σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης και θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής αντίστοιχα. Παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η ενεργειακή απόδοση και η ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στα δύο θερμοκήπια. Τα φυτά στο θερμοκήπιο με την υπέρυθρη θέρμανση έδωσαν σημαντικά υψηλότερη παραγωγή συγκριτικά με αυτά στο θερμοκήπιο με την συμβατική θέρμανση. Από τη διακύμανση των θερμοκρασιών των δύο θερμοκηπίων προέκυψε ότι το θερμοκήπιο με την υπέρυθρη θέρμανση παρουσίαζε ομαλή κατανομή θερμοκρασίας στον φυτικό θόλο, ενώ η θερμοκρασία στον εσωτερικό αέρα ήταν μικρότερη 2-3 °C σε σχέση με την θερμοκρασία των φυτών, με σημαντική μείωση των ενεργειακών απωλειών σύμφωνα με τις αρχές της θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία.

## ABSTRACT

Energy demand of greenhouses is an important factor for their economics. Infrared (IR) radiation heating systems possess the advantage of high directional control and focused compensation of energy losses, appropriate for creating local temperature conditions in open or thermally unprotected spaces resulting in an overall reduction of heat losses and consequently heating energy needs. The objective of this research is to investigate the effect of infrared radiation (IR) on the growth and production parameters of eggplant (*Solanum melongena* L.) and the greenhouse energy efficiency. Extensive experimental results are presented from a full cultivation period inside two identical, small scale experimental greenhouses, with IR and forced air heating system, correspondingly. The design, energy performance and plant growth and production results from the two greenhouses are presented. Infrared-heated greenhouse plants yielded significantly higher yields than air-heated greenhouse. Comparison of the temperatures of the two greenhouses showed that the infrared heating greenhouse had a smooth temperature distribution in the plant canopy while the indoor air temperature was lower 2-3 °C than the temperature of the plant, with significant reduction of energy losses in accordance with infrared radiation operation principles.

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται για να προστατεύουν τις καλλιέργειες, να αυξάνουν την παραγωγικότητά τους και να κάνουν πιο αποτελεσματική την χρήση ενέργειας, νερού, λιπασμάτων και φυτοπροστασίας. Οι καλλιέργειες εντός των θερμοκηπίων δεν είναι μόνο απλή στέγαση της καλλιέργειας. Ολόκληρο το μικροκλίμα αλλάζει. Αυτές οι αλλαγές είναι προβλέψιμες όταν λαμβάνονται υπόψη οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τις ιδιότητες του φωτός/ακτινοβολίας, των αρχών που καθορίζουν την μεταφορά θερμότητας, του ενεργειακού ισοζυγίου και της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Αυτό που ή τεχνολογία πραγματικά επηρεάζει είναι η δυνατότητα τροποποίηση τους μικροκλίματος για αύξηση της παραγωγικότητας. Σε ένα τεχνολογικά εξοπλισμένο θερμοκήπιο το κλίμα ελέγχεται από ένα σύνολο μέτρων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους λαμβάνοντας υπόψη το ισοζύγιο ενέργειας, υδρατμών και CO<sub>2</sub>. Στις περιοχές με εύκρατο κλίμα, ένα θερμοκήπιο θερμαίνεται για να ελέγχεται η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα. Δεδομένου ότι ο πραγματικός στόχος είναι η καλλιέργεια, ο έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου πρέπει να εστιάζεται στην θερμοκρασία της καλλιέργειας.

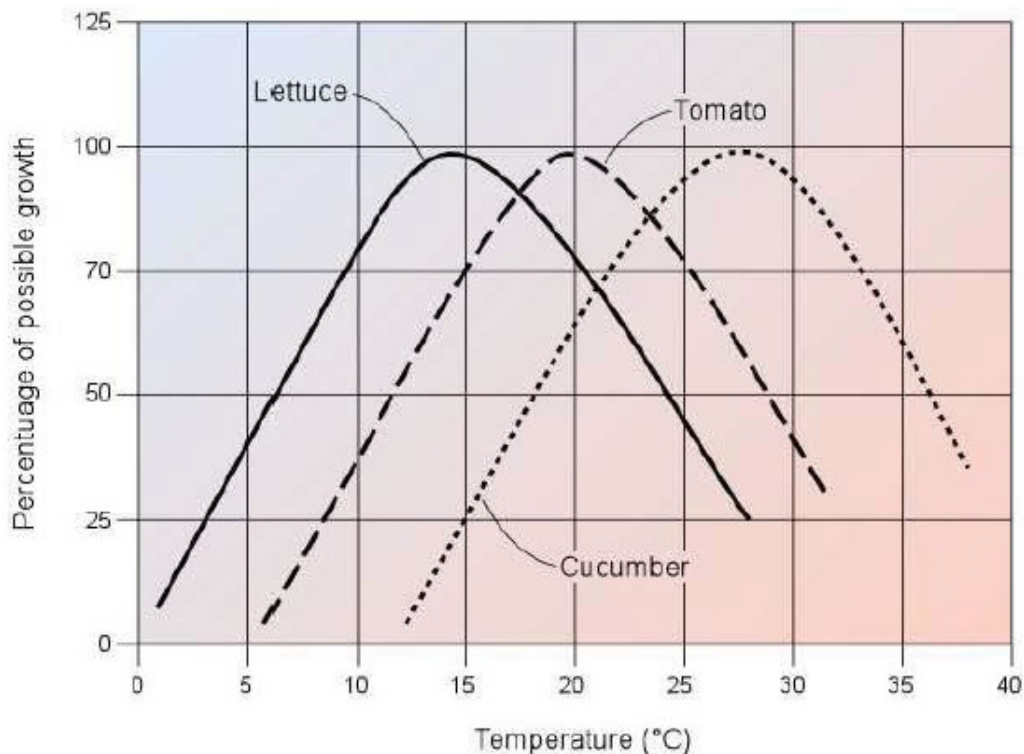
Τα θερμοκήπια αποτελούν μονάδες εντατικής καλλιέργειας για αγροτικά προϊόντα, τα οποία χρειάζονται βέλτιστο συνδυασμό παραγόντων μικροκλίματος και διαδικασιών, όπως ο φωτισμός, η θέρμανση, η ψύξη και ο εξαερισμός, δημιουργώντας ένα ελεγχόμενο περιβάλλον το οποίο επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο καλλιέργειας, την ποιότητα και την ποσότητα των προϊόντων, με αποτέλεσμα τη συνολική υψηλότερη παραγωγικότητα των καλλιεργούμενων φυτών (Kaushik and Chel, 2011, Vox et al., 2010; Giacomelli et al., 2012, Vadiiee and Martin, 2014). Στις Μεσογειακές χώρες, όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι συνήθως αρκετή για να καλύψει τις φωτοσυνθετικές ανάγκες των περισσότερων θερμοκηπιακών καλλιεργειών και δεν απαιτείται συνήθως τεχνητός φωτισμός, αλλά η θέρμανση του θερμοκηπίου αποτελεί από άποψη κόστους, την πιο απαιτητική λειτουργία κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων, επηρεάζοντας σημαντικά το κόστος παραγωγής (De Pascale and Maggio, 2004 ; De Pascale and Stanghellini, 2011). Γενικά όμως στα θερμοκήπια σε Δυτική Ευρώπη και Μεσογειακή λεκάνη είναι απαραίτητη η θέρμανση και ο τεχνητός φωτισμός τον χειμώνα καθώς επίσης σκίαση και δροσισμός το καλοκαίρι. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό αποτελούν πρωταρχικό κόστος λειτουργίας.

### **1.1. Επίδραση της θερμοκρασίας στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες**

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν έναν από τους πιο δυναμικούς τομείς της πρωτογενούς παραγωγής στην Ελλάδα συμβάλλοντας σημαντικά στην εθνική οικονομία του τόπου μας. Όπως είναι γνωστό, πρόκειται για την πλέον εντατική μορφή καλλιέργειας, η οποία απαιτεί υψηλό κόστος παραγωγής. Επομένως, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι εκείνοι οι απαραίτητοι παράγοντες που οδηγούν στην επιτυχία της καλλιέργειας. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλει στην επιτυχία μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι η ρύθμιση των συνθηκών του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου.

Μια από σημαντικότερες συνιστώσες που διαμορφώνουν το περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου θεωρείται πολύ σημαντικός παράγοντας και ασκεί επιρροή στην ταχύτητα της πορείας των φυσιολογικών διεργασιών που συντελούν στην ανάπτυξη του φυτού (εικόνα 1). Η καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας γίνεται σε ένα ορισμένο εύρος τιμών, το οποίο καλείται βέλτιστο και για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες βρίσκεται μεταξύ 10 °C και 30 °C.

Ως βέλτιστη θερμοκρασία αναφέρεται η ευνοϊκή θερμοκρασία στην οποία τα ένζυμα που είναι ευαίσθητα στην θερμότητα και υπεύθυνα για τις βιοχημικές αντιδράσεις του φυτού ενεργοποιούνται και το φυτό αναπτύσσεται απρόσκοπτα κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες. Για την καλύτερη ανάπτυξη και απόδοση των διαφόρων φυτών πρέπει να υπάρχει άριστη θερμοκρασία ημέρας και νύχτας. Η θερμοκρασία της νύχτας πρέπει πάντα να είναι χαμηλότερη από αυτήν της ημέρας. Για τις περισσότερες καλλιέργειες η άριστη θερμοκρασία νύχτας κυμαίνεται στους 14-18 °C, ενώ της ημέρας στους 25-27 °C.



Εικόνα 1: Ποσοστιαία ανάπτυξη κηπευτικών σε σχέση με την θερμοκρασία

Στην βιβλιογραφία δίνεται ένα εύρος βέλτιστων θερμοκρασιών (ημερήσιων και νυχτερινών) για τα κυριότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια και μερικές γενικές αρχές μπορούν να αναδειχθούν όπως:

- Τα περισσότερα φυτικά είδη απαιτούν ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας. Αυτό διότι καθαρή ανάπτυξη της καλλιέργειας συμβαίνει όταν η φωτοσύνθεση είναι μεγαλύτερη από την αναπνοή. Κατά την διάρκεια της ημέρας η βέλτιστη θερμοκρασία στο

θερμοκήπιο είναι αυτή που δίνει την μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της παραγωγής της φωτοσύνθεσης και της κατανάλωσης της αναπνοής, δηλ. αυτή που δίνει την μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση (σχήμα 2-1). Την νύχτα που δεν υπάρχει φωτοσύνθεση η θερμοκρασία των φυτών διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα για να μειωθεί ο ρυθμός αναπνοής. Μερικά ιθαγενή είδη των τροπικών περιοχών (τα περισσότερα φυλλώδη φυτά) συνήθως αναπτύσσονται καλύτερα εντός μιας σταθερής θερμοκρασίας ημέρας - νύχτας.

- Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την περιοχή και την τοποθεσία (συνολική διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια)
- Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (ριζοβολία, φύτευμα, ανθοφορία, βολβοποίηση κλπ)
- Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν ανάλογα με τους αντικειμενικούς στόχους του καλλιεργητή σε σχέση με την απόδοση παραγωγής

## **1.2. Συμβατικά συστήματα θέρμανσης - Υπέρυθρη Ακτινοβολία (IR)**

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας των φυτών του θερμοκηπίου είναι σημαντική για την ανάπτυξη και τη καρποφορία τους. Η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου τη νύχτα επηρεάζεται πολύ από την εξωτερική θερμοκρασία, το είδος και το μέγεθος της επιφάνειας του καλύμματος του θερμοκηπίου και τη ταχύτητα του ανέμου. Η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη θέρμανση του θερμοκηπίου εξαρτάται και από την επιθυμητή ελάχιστη θερμοκρασία, που καθορίζεται από το είδος του φυτού που καλλιεργείται.

Τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίου βασίζονται είτε στην κυκλοφορία του ζεστού νερού μέσω συστήματος σωληνώσεων είτε στην χρήση θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής (Teitel et al., 1999, Perdignes et al., 2006). Περισσότερο αποτελεσματικές επιλογές έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές, συμπεριλαμβανομένου του συνδυασμού πλαστικών σωλήνων θέρμανσης (Barzitanas, 2005) και επιδαπέδιας θέρμανσης. Ο σχεδιασμός και ο λειτουργικός στόχος των συμβατικών συστημάτων είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου στη θερμοκρασία που είναι η βέλτιστη για την ανάπτυξη των φυτών. Έτσι, οι παραπάνω μέθοδοι, προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία των φυτών, πρέπει να θερμαίνουν τον αέρα του θερμοκηπίου στην ίδια ή ακόμη και σε ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία από την τιμή που προορίζεται ως επιθυμητή για τα φυτά δημιουργώντας έτσι το Όλον κλίμα (εικόνα 2). Αυτή η πρακτική έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας του καλύμματος και λόγω των διαφυγών θερμού αέρα μέσω των ανοιγμάτων προς το εξωτερικό περιβάλλον, που προκαλούνται από τις αναπόφευκτες κατασκευαστικές ατέλειες της δομής του θερμοκηπίου.

Μια εναλλακτική μέθοδος θέρμανσης των φυτών στο θερμοκήπιο είναι η χρήση Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR) χαμηλής έντασης. Ένα υπέρυθρο σύστημα προσομοιάζει την ηλιακή ακτινοβολία. Όπως ο ήλιος, έτσι και το σύστημα εκπέμπει υπέρυθρη ενέργεια προς όλες τις

κατευθύνσεις. Η εκπεμπόμενη υπέρυθρη ενέργεια απορροφάται από τις ψυχρές επιφάνειες χωρίς φυσική επαφή με την πηγή θερμότητας ή μέσω θέρμανσης του περιβάλλοντος αέρα, όπως συμβαίνει με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Οι επιφάνειες θερμαίνονται και στην συνέχεια απελευθερώνουν θερμότητα στο περιβάλλον με συναγωγή αυξάνοντας την περιβαλλοντική θερμοκρασία.

Οι απώλειες συναγωγής από το σύστημα αν δεν καλύπτεται από ανακλαστήρα είναι μεγάλες. Οι ανακλαστήρες τοποθετούνται επάνω από το σύστημα ακτινοβολίας και κατευθύνουν την υπέρυθρη προς τα κάτω. Η υπέρυθρη ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα όταν απορροφάται από τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία της. Μεγάλη σημασία έχει ο βαθμός απόδοσης του υπέρυθρου συστήματος, δηλαδή το ποσοστό της καταναλισκόμενης ισχύος που τελικώς μεταδίδεται με ακτινοβολία στο στόχο (φυτά και έδαφος) και δεν χάνεται από την πηγή με συναγωγή. Στόχος πάντα στην τεχνολογία των υπέρυθρων συστημάτων είναι η μεγιστοποίηση του βαθμού απόδοσης του συστήματος καυστήρα-σωλήνα-ανακλαστήρα.

Το κύριο πλεονέκτημα της θέρμανσης IR είναι η άμεση απόδοση θερμότητας από την πηγή ενέργειας στον φυτικό θόλο (δέκτης), εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη να αυξηθεί η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου για να αποδώσει την απαραίτητη θερμότητα μέσω συναγωγής. Ως αποτέλεσμα, το κάλυμμα του θερμοκηπίου και ο εσωτερικός αέρας μπορούν να παραμείνουν σε σημαντικά χαμηλότερες θερμοκρασίες από την ενδεικνυόμενη θερμοκρασία για τα φυτά, με ταυτόχρονη μείωση των ενεργειακών απωλειών έως και 50%. Τα συστήματα θέρμανσης IR μπορούν να διατηρούν αποτελεσματικά ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες στον φυτικό θόλο δημιουργώντας έτσι τοπικό μικροκλίμα (Εικόνα 2), οι οποίες προάγουν την ομοιόμορφη, ποσοτική και ποιοτική ανάπτυξη των φυτών και καταστέλλουν τους εχθρούς και τις ασθένειες των φυτών. Επιπλέον, όταν ο φυτικός θόλος διατηρείται σε υψηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα του θερμοκηπίου, η πιθανότητα συμπύκνωσης υγρασίας στην επιφάνεια των φυτών μειώνεται δραστικά (Teitel et al., 2000).

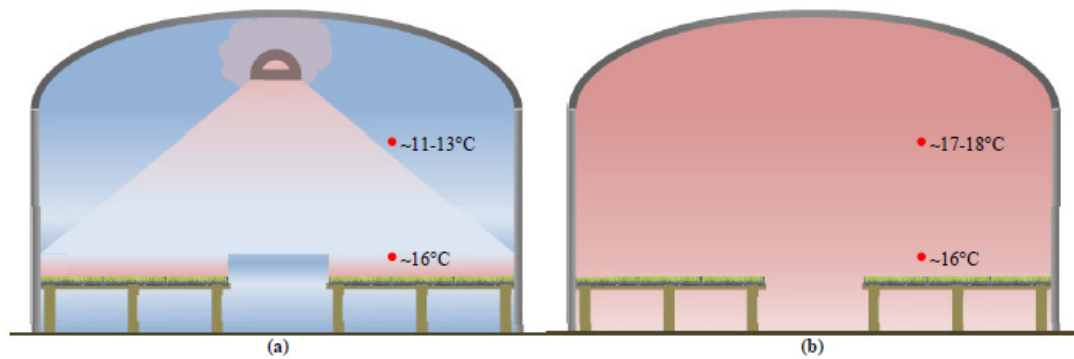
Η εφαρμογή της θέρμανσης IR σε πειραματικά και παραγωγικό θερμοκήπιο έχει δείξει εξοικονόμηση ενέργειας κατά 40-50% και συνέβαλε στη βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος (Kavga et al, 2009, 2012, 2015, 2018, Brodie et al, 2012). Τα συστήματα θέρμανσης IR επειδή αντισταθμίζουν μόνο τις απώλειες θερμότητας του φυτικού θόλου, έχουν ελάχιστες ή καθόλου απαιτήσεις για υποστηρικτικά και βοηθητικά συστήματα (λέβητες, κυκλοφορητές, σωληνώσεις θέρμανσης, ανεμιστήρες κλπ.) και επομένως, μπορούν να ανταποκρίνονται πολύ γρήγορα στις αλλαγές της εξωτερικής θερμοκρασίας. Αν και η ενεργειακή απόδοση παρέχει το κύριο κίνητρο για την υιοθέτηση της θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία, τα συστήματα υπέρυθρης θέρμανσης μπορούν αποτελεσματικά να διατηρήσουν ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες στον φυτικό θόλο.

Η εξοικονόμηση ενέργειας οφείλεται στα εξής:

- Η χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου.



- Μειώνεται η στρωμάτωση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα λιγότερες θερμικές απώλειες με συναγωγή/ακτινοβολία από το κάλυμμα και μειωμένες διαφυγές αέρα λόγω των αναπόφευκτων κατασκευαστικών ατελειών του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2: Σχηματική απεικόνιση θέρμανσης θερμοκηπίου με IR θέρμανση (a) και συμβατική θέρμανση (b).

Στόχος της παρούσας μελέτης σε πρώτο επίπεδο μελέτης είναι να επαληθεύσει και να αποδείξει τα οφέλη της θέρμανσης IR σε καλλιεργούμενα φυτά μελιτζάνας. Πιο συγκεκριμένα, την συγκριτική αξιολόγηση της ενεργειακής αποδοτικότητας δύο πειραματικών θερμοκηπίων με συμβατική και υπέρυθη θέρμανση υπό ταυτόσημες καιρικές συνθήκες και την επίδρασή των δύο επιλογών θέρμανσης στην παραγωγικότητα των καλλιεργούμενων φυτών.

Σε δεύτερο επίπεδο έρευνας που διεξήχθη στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ), μετρήθηκαν η συνολική φαινολική περιεκτικότητα, η αντιοξειδωτική και η αντιριζική δραστηριότητα δείχνοντας υψηλότερους δείκτες στους καρπούς μελιτζάνας από το συμβατικό σε σύγκριση με το θερμοκήπιο υπέρυθρης θέρμανσης (IR). Αυτό οδηγεί σε πιο ομοιόμορφη παραγωγή όσον αφορά το φυτοχημικό προφίλ στο θερμοκήπιο θέρμανσης υπέρυθρης ακτινοβολίας, κάτι που θα μπορούσε να έχει θετικό αντίκτυπο στις εμπορικές εφαρμογές. Το ποιοτικό LC-MS φυτοχημικό προφίλ των καρπών μελιτζάνας από τα δύο θερμοκήπια αποκάλυψε την ύπαρξη πολυάριθμων βιοδραστικών ενώσεων, ορισμένες από τις οποίες ήταν χαρακτηριστικές μόνο των φρούτων μελιτζάνας από το θερμαινόμενο με IR θερμοκήπιο. Συνολικά, αποδείχτηκε ότι η IR ακτινοβολία επηρέασε τον δευτερογενή μεταβολισμό των μελιτζανών μέσω της ενίσχυσης της βιοσύνθεσης συγκεκριμένων ενώσεων έναντι άλλων (Sinanoglou et al, 2019).

## **2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΛΙΤΖΑΝΑΣ**

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena* L., Οικογένεια Solanaceae) είναι παραδοσιακά καλλιεργούμενο φυτό, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου, με καλή προσαρμοστικότητα τόσο στα ανοικτά χωράφια όσο και στα θερμοκηπιακά συστήματα καλλιέργειας. Η μελιτζάνα είναι κηπευτικό θερμής εποχής και καλλιεργείται για τους καρπούς της. Η μελιτζάνα είναι ιθαγενές φυτό της Ινδίας, της Κίνας και Κεντρικής Ασίας. Στην Ευρώπη ήρθε μέσω του Βυζαντίου από τους Άραβες τον 12<sup>ο</sup>-13<sup>ο</sup> αιώνα και από τότε αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά της Μεσογειακής διατροφής.

### **2.1. Βοτανικά χαρακτηριστικά Μελιτζάνας**

Η μελιτζάνα είναι θαμνώδες φυτό και οι βλαστοί του έχουν ορθόκλαδη ανάπτυξη. Το ύψος του φυτού κυμαίνεται από 60 εκατοστά έως και 1 μέτρο. Το ριζικό σύστημα μπορεί να φτάσει τα 100, ίσως και τα 120, εκατοστά βάθος. Οι βλαστοί είναι τρυφεροί και πράσινοι στην αρχή, ενώ ξυλοποιούνται αργότερα. Γενικά είναι εύθραυστοι κι έτσι είναι σχεδόν απαραίτητο να δέχονται κάποια υποστήριξη, ιδίως κατά την περίοδο της καρποφορίας του.

Τα φύλλα είναι ακέραια και τοποθετημένα κατ' εναλλαγή πάνω στο βλαστό. Είναι μεγάλα σε μέγεθος, ελλειψοειδή και φέρουν έντονο χνοασμό τόσο στην άνω όσο και στην κάτω επιφάνεια, ενώ μπορεί να φέρουν άκανθες πάνω στις νευρώσεις.

Τα άνθη εμφανίζονται μόνα τους ή σε μικρές ταξιανθίες (2-3). Είναι αυτογονιμοποιούμενα και σε πολύ μικρό ποσοστό σταυρογονιμοποιούμενα. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η ύπαρξη των εντόμων για τη γονιμοποίηση του άνθους.

Ο καρπός της μελιτζάνας είναι ράγα. Ανάλογα με την ποικιλία, το σχήμα, όσο και το χρώμα του, ο καρπός παρουσιάζει μεγάλη ποικιλομορφία. Έτσι υπάρχουν καρποί, σφαιρικοί ωοειδής ή απιοειδής. Το χρώμα του μπορεί να είναι από ανοιχτό μέχρι βαθύ ιώδες. Ακόμα υπάρχουν ποικιλίες λευκού ή πράσινου χρώματος καρπού.

### **2.2. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες**

Η μελιτζάνα είναι φυτό θερμής εποχής κι επομένως απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για να αναπτυχθεί. Συγκεκριμένα, η ιδανική θερμοκρασία ανάπτυξης κυμαίνεται από 20–22°C, ενώ θερμοκρασίες μικρότερες μπορούν να προκαλέσουν αρκετές παραμορφώσεις στο φυτό. Επίσης, η μελιτζάνα είναι φυτό που του αρέσει πολύ το φως. Χρειάζεται έντονο φωτισμό καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης της, έτσι ώστε να αναπτυχθεί ικανοποιητικά και να δώσει μεγάλες αποδόσεις. Η φύτευση μπορεί να ξεκινήσει από τον Απρίλιο μέχρι και τον Μάιο, ανάλογα με τις συνθήκες της περιοχής. Αρκετό καιρό πριν την φύτευση καλό είναι να οργωθεί το έδαφος σε βάθος 30-40 cm. Γενικά η μελιτζάνα αναπτύσσεται καλά σε όλους τους τύπους εδαφών, εκτός από τα πολύ αργιλώδη. Συνίσταται να φυτεύονται σε αμμοπηλώδη έως πηλώδη, εμπλουτισμένα με οργανική ουσία. Το έδαφος θα πρέπει να

είναι καλά αεριζόμενο κι αποστραγγιζόμενο. Για την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών το pH του εδάφους θα πρέπει να κυμαίνεται από 5.8 έως 7.0

### **2.3. Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Μελιτζάνας**

Ο πολλαπλασιασμός της **μελιτζάνας** γίνεται με σπορά σε σπορείο σε ατομικά γλαστράκια ή δίσκο σποράς και στη συνέχεια μεταφύτευση στις τελικές θέσεις της καλλιέργειας. Οι σπόροι πριν χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από ασθένειες με εμβάπτιση τους σε ζεστό νερό θερμοκρασίας 50°C για 25 λεπτά. Η μελιτζάνα θεωρείται από τα εύκολα μεταφυτευόμενα λαχανικά καθώς σχηματίζει εύκολα ριζικό σύστημα. Η χρήση του σπορείου θεωρείται ουσιαστικό στάδιο της καλλιέργειας, καθώς οι χαμηλές θερμοκρασίες στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών θα καθυστερήσουν αρκετά την ανάπτυξη τους. Το σπορείο μπορεί να είναι ανοικτό, όταν πρόκειται να γίνει όψιμη υπαίθρια καλλιέργεια ή μέσα σε θερμοκήπιο για παραγωγή σποροφύτων μέσα στο χειμώνα και μεταφύτευση νωρίς την άνοιξη στην υπαίθρια καλλιέργεια. Ο πολλαπλασιασμός ξεκινάει με σπορά σε αλίες (τμήμα του χωραφιού) και στη συνέχεια μεταφύτευση γυμνόριζων φυτών στις τελικές θέσεις. Εναλλακτικά μπορεί να γίνει σπορά σε ατομικά γλαστράκια ή σταθερούς δίσκους από πλαστικό ή φελιζόλ και στη συνέχεια μεταφύτευση στις τελικές θέσεις. Η μεταφύτευση των φυτών από το σπορείο στις τελικές θέσεις γίνεται μόλις αυτά αποκτήσουν 3-4 πραγματικά φύλλα. Εφαρμόζεται ακόμα και η τεχνική της διπλής μεταφύτευσης. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο αφράτο και να περιέχει κυρίως τύρφη, για τον καλύτερο αερισμό του ριζικού συστήματος και την καλύτερη ανάπτυξη των φυτών. Το βάθος σποράς στο σπορείο είναι μόλις 0,5cm. Τα σοβαρότερα προβλήματα που παρατηρούνται στην ανάπτυξη των νεαρών σποροφύτων στο σπορείο είναι η πυκνή σπορά (όταν επιλέγεται η στρωμάτωση σε κιβώτιο σποράς) και η επιφανειακή σπορά με αποτέλεσμα την αποτυχία φυτρώματος των σπόρων. Ο αριθμός των σπόρων σε 1g είναι περίπου 230 - 270. Για να προκύψουν φυτά που θα καλύψουν καλλιέργεια 1 στρέμματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 15g σπόρου και έκταση σπορείου 8-10m<sup>2</sup>. Το βάθος σποράς δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1cm. Οι σπόροι διατηρούν τη φυτρωτική τους ικανότητα για 5 περίπου χρόνια και η κατάλληλη θερμοκρασία για το φύτευμα τους είναι 20-25°C. Είναι όμως προτιμότερο να χρησιμοποιούνται σπόροι από την προηγούμενη καλλιεργητική χρονι

### **2.4. Εχθροί και Ασθένειες**

Η μελιτζάνα είναι φυτό ευαίσθητο και επιρρεπής σε ασθένειες και κυρίως μυκητολογικής φύσεως. Ο βοτρυτής, ο περονόσπορος, το ωίδιο και η σκληροτίνια θεωρούνται οι πιο συχνές και άκρως επικίνδυνες ασθένειες. Η μελιτζάνα όπως συμβαίνει με τα περισσότερα κηπευτικά, προσβάλλεται από πολλούς εχθρούς όπως τα έντομα εδάφους, τους νηματώδεις, τη λιριόμυζα, τον δορυφόρο .

### 3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### 3.1. Παραγωγή σπορόφυτων Μελιτζάνας

Για την παραγωγή σποροφύτων μελιτζάνας, χρησιμοποιήθηκε σπόρος της ποικιλίας τσακώνικη και έγιναν τεχνικές Εγγενούς αναπαραγωγής των σπορόφυτων σε θερμοκήπιο-σπορείο. Η ποικιλία Τσακώνικη, είναι τοπική ποικιλία της Πελοποννήσου, έχει καρπούς επιμήκεις, με ρίγες χρώματος άσπρου – βιολετί, είναι πολύ παραγωγική και κατάλληλη για πρώιμη καλλιέργεια. Χρησιμοποιηθήκαν γλαράκια με φυτόχωμα στα οποία είχε προηγηθεί απολύμανση του φυτοχώματος (με το φυτοπροστατευτικό previcur) και έγινε φύτευση των σπόρων σε βάθος 3 cm και ελαφρύ πότισμα ταυτόχρονα. Σε σταθερή θερμοκρασία σπορείου 25 °C μετά από 7 ημέρες φύτρωσαν οι σπόροι και σε σύνολο 40 ημερών τα τελικά σπορόφυτα έτοιμα για μεταφύτευση στο θερμοκήπιο. Για τις 40 ημέρες παραγωγής των σποροφύτων γίνονταν καθημερινοί έλεγχοι υγρασίας, 2 λιπάνσεις κάθε 15 ημέρες με φωσφορούχα σκευάσματα και χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα atonik για ενίσχυση ριζοβολίας. Την ημέρα της φύτευσης των σποροφύτων στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε ένας ψεκασμός με χαλκούχο σκεύασμα kocite για πρόληψη μυκητολογικών ασθενειών

#### 3.2. Πειραματικά θερμοκήπια και αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (ΑΜΣ)

Χρησιμοποιήθηκαν δύο πανομοιότυπα πειραματικά θερμοκήπια μικρής κλίμακας που βρίσκονται στη νοτιοδυτική Ελλάδα, ως πεδίο δοκιμής των δύο επιλογών θέρμανσης που εξετάστηκαν, η θέρμανση με θερμό αέρα (συμβατική θέρμανση) και η θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία. Δύο εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης ήταν διαθέσιμα: (1) μια μονάδα θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής με δύο επίπεδα ισχύος (1 και 2 kW) με ένα μικρό ανεμιστήρα που προωθούσε την ανάμιξη αέρα και (2) ένα σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης IR που αποτελείται από τέσσερις λαμπτήρες με ανακλαστές βολβών (Συνολική ισχύς 1 kW, γωνία δέσμης 50 °) τοποθετημένη στις γωνίες του θερμοκηπίου και μία ανύψωση 1 m πάνω από τα φυτά (Εικόνα 3α). Και τα δύο θερμοκήπια είναι κατασκευασμένα από πλαίσιο αλουμινίου, με υλικό κάλυψης υαλοπίνακες πάχους 3mm. Έχουν τον ίδιο προσανατολισμό και βρίσκονταν στο ίδιο πεδίο με επαρκή απόσταση μεταξύ τους για να αποφεύγουν αμοιβαίες παρεμβολές. Οι διαστάσεις τους είναι πλάτος 2,13 μ., μήκος 2,00 μ., ύψος υδρορροής 1,00 μ. και συνολικό ύψος κορυφής 1,50 μ. Η επιφάνεια βάσης κάθε θερμοκηπίου Ar είναι ίση με 4.26 m<sup>2</sup>, η επιφάνεια καλύμματος του θερμοκηπίου είναι Ac = 14.05 m<sup>2</sup> και ο όγκος του θερμοκηπίου είναι V = 5.33 m<sup>3</sup>. Πολύ κοντά στα θερμοκήπια είναι εγκατεστημένος αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (ΑΜΣ) για παρακολούθηση των συνθηκών του κλίματος στην περιοχή των θερμοκηπίων κοντά (Εικόνα 3β)



Εικόνα 3α. Τα πειραματικά θερμοκήπια, εξοπλισμένα με σύστημα υπέρυθρη θέρμανσης (αριστερά) και συμβατικής θέρμανσης (δεξιά).



Εικόνα 3β. Τα πειραματικά θερμοκήπια και ο Μετεωρολογικός σταθμός.

Ως πειραματική καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η μελιτζάνα (*Solanum melongena* L.). Τα φυτά καλλιεργήθηκαν στο έδαφος. Σε κάθε θερμοκήπιο φυτεύτηκαν 16 νεαρά μελιτζάνας, σχηματίζοντας τέσσερις σειρές τεσσάρων φυτών το καθένα και οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 36 cm x 24 cm. (φυτό με φυτό x γραμμή κατά γραμμή).

Χρησιμοποιήθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης (Εικόνα 4). Η βελτιστοποίηση της άρδευσης γινόταν με τη χρήση μετρήσεων υγρασίας εδάφους σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους στο επιθυμητό επίπεδο. Η παροχή κάθε σταλλάκτη ήταν 2lit / h. Η δόση άρδευσης κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν 3,6 lit ανά φυτό.

Η λίπανση των φυτών έγινε με υδατοδιαλυτά λιπάσματα. Οι επαναλαμβανόμενες αναλύσεις φύλλων προσάρμοσαν ανάλογα την εφαρμογή λιπασμάτων. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, σε κάθε φυτό χορηγήθηκαν 120 gr N, 280 gr P, 160 gr K, 12 gr Mg και 18 g Ca. Για το πρόγραμμα λίπανσης, ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους πριν από την εγκατάσταση των φυτών. Το πλήρες βάρος και το ξηρό βάρος καθώς και η περίμετρος και το μήκος των καρπών μελιτζάνας μετρήθηκαν μετά την λήξη της καλλιέργειας.



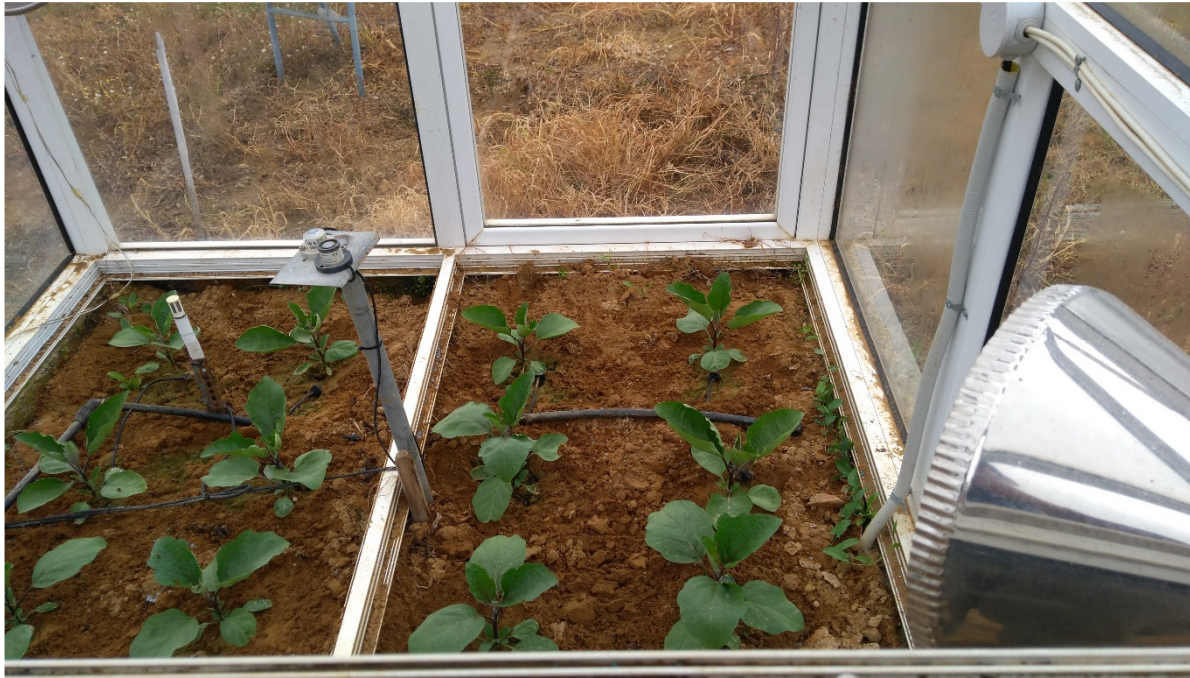
Εικόνα 4. Νεαρά φυτά μελιτζάνας. Διακρίνεται το σύστημα άρδευσης

### 3.3. Όργανα και αισθητήρες ελέγχου μικροκλίματος πειραματικών θερμοκηπίων

Οι παράμετροι του εσωτερικού μικροκλίματος που παρακολουθούνται και στα δύο θερμοκήπια είναι η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος  $T_a$  και η θερμοκρασία καλύμματος  $T_c$ , οι θερμοκρασίες φυτών σε διάφορες θέσεις στον φυτικό θόλο, καθώς και η σχετική υγρασία και οι ροές ακτινοβολίας δηλαδή η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία, (Εικόνα 4, 5α & 5β).



Εικόνα 5α. Νεαρά φυτά μελιτζάνας στο συμβατικό θερμοκήπιο. Διακρίνονται οι αισθητήρες  
Θερμοκρασίας-υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και PAR



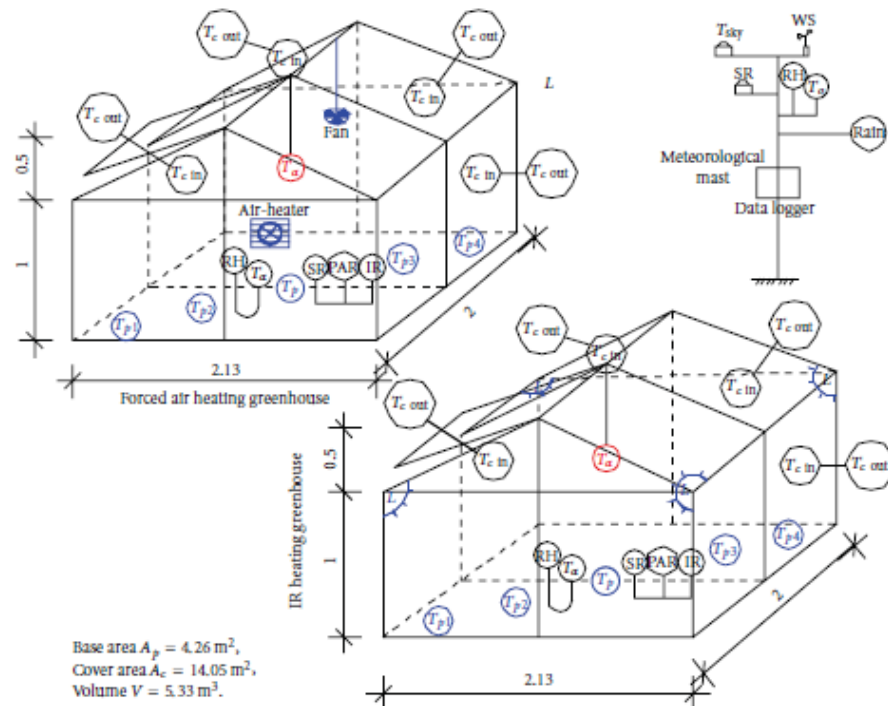
Εικόνα 5β. Νεαρά φυτά μελιτζάνας στο IR θερμοκήπιο. Διακρίνονται οι αισθητήρες Θερμοκρασίας-υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και PAR

Οι εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία του ουρανού και το επίπεδο βροχής, παρακολουθούνται σε ύψος 2,50m πάνω από το επίπεδο του εδάφους, σε αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό κοντά στα θερμοκήπια (Εικόνα 4).

Για (3) μήνες περίοδο λειτουργίας (Μάρτιος-Μάιος) και για τα δύο θερμοκήπια καταγράφηκαν όλα τα δεδομένα σε Data logger (CR1000) με μία μονάδα πολυπλεξίας (relay analogue multiplexer). Επειδή οι τιμές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν με τον χρόνο, τα δεδομένα σαρώνονται κάθε λεπτό, υπολογίζονται οι μέσοι όροι κάθε 10/λεπτο και καταγράφονται σε 24/h βάση στον Datalogger του σταθμού. Υπολογίζονται οι μέσες ολονύχτιες τιμές από τις αντίστοιχες χρονικές ακολουθίες βασιζόμενες στο διάστημα μεταξύ της απότομης αλλαγής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ανατολή και στην δύση του ήλιου καθώς και την αποκατάσταση σταθερών συνθηκών εντός των θερμοκηπίων. Το λογισμικό Analyzer 4.5 Datalogger χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων.

Η λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης ήταν αυτοματοποιημένη και ελέγχονταν με βάση την ενδεικνυόμενη θερμοκρασία νύχτας για την έγκαιρη ανάπτυξη της μελιτζάνας που είναι  $T_p = 16 \pm 1^\circ\text{C}$ . Το σύστημα θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία αναφοράς πέσει κάτω από  $15^\circ\text{C}$  και κλείνει όταν ξεπεράσει τους  $17^\circ\text{C}$  (Εικόνα 6).





Εικόνα 4: Σχηματική απεικόνιση των πειραματικών θερμοκηπίων και του Μετεωρολογικού σταθμού



Εικόνα 6. Τα πειραματικά θερμοκήπια, κατά την διάρκεια της νυχτερινής θέρμανσης.

Στα πειραματικά θερμοκήπια έλαβαν χώρα διάφορες σειρές πειραμάτων η πιστότητα των οποίων απαιτούσε συνεχή έλεγχο και καταγραφή του μικροκλίματος των θερμοκηπίων. Για την καταγραφή και τον έλεγχο του μικροκλίματος σε κάθε θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω αισθητήρες:

**Πυρανόμετρο (SP-LITE):** Αισθητήρας πυριτίου ο οποίος χρησιμοποιείται για να μετράει την ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται από ολόκληρο το ημισφαίριο με εύρος

φασματικής ανταπόκρισης 400-1100nm, περιοχή μετρήσεων 0–2000 W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -30 έως 70°C. Το συγκεκριμένο πυρανόμετρο χρησιμοποιείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω σε ιστό 0.5 m, για να μετράει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

**Ακτινόμετρο (PAR-LITE):** Αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της πυκνότητας ροής των φωτοσυνθετικών φωτονίων. Στην πράξη, αυτή η ποσότητα αποκαλείται PAR και συμβολίζει την Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation). Η μέτρηση αντιπροσωπεύει τον αριθμό των φωτονίων που λαμβάνονται από ολόκληρο το ημισφαίριο (εύρος πεδίου αντίχνευσης 180°), στο φασματικό εύρος 400 έως 700 nm της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά δευτερόλεπτο. Αυτά τα φωτόνια χρησιμοποιούνται από τα πράσινα μέρη των φυτών στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το ακτινόμετρο τοποθετείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω σε ιστό 0.5 m. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα εκφράζεται σε  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

**Πυρανόμετρο (CMP3):** Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδη επιφάνεια. Εξαιτίας της οριζόντιας φασματικής ευαισθησίας του (300–3000 nm), χρησιμοποιείται σε συνθήκες φυσικού φωτισμού, κάτω από φυτικές επιφάνειες, μέσα σε θερμοκήπια ή κτήρια και ανεστραμμένος για μέτρηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε  $\text{Wm}^{-2}$ .

**Αισθητήρας σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (S3CO3):** Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας (RH), και της θερμοκρασίας  $T_a$  του εσωτερικού περιβάλλοντος των θερμοκηπίων. Η περιοχή μετρήσεων όσον αφορά την σχετική υγρασία είναι 0-100% και όσον αφορά την θερμοκρασία είναι -40 έως 60°C. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε %.

**Θερμοζεύγη (T):** Αποτελούνται από δύο αγωγούς από διαφορετικά μέταλλα Cu(+)/Constantan(-), συγκολλημένα στο ένα τους άκρο. Όταν τα δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή αναπτύσσεται μεταξύ τους μια διαφορά δυναμικού E (Seebeck) που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το είδος των μετάλλων. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μικρή τους μάζα που τους επιτρέπει να έρχονται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον τους πολύ γρήγορα. Στα θερμοκήπια χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη τύπου T (χαλκού-κωνσταντάνης), διαμέτρου 0.5 mm και διαμέτρου 0.2 mm, με θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -180-400 °C

### 3.4. Μετεωρολογικός σταθμός και μετρητικά όργανα μακρο-κλίματος

Στην περιοχή των πειραματικών θερμοκηπίων υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός για συνεχή καταγραφή των αντιπροσωπευτικών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Φέρει κεντρικό ιστό σωληνωτού τύπου, ύψους 2.50 m και διαμέτρου 1.5" πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένοι σε βραχίονες στήριξης, οι αισθητήρες ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, υπέρυθρης

ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ουρανού, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου. Ο αισθητήρας ύψους βροχής είναι τοποθετημένος σε δευτερεύοντα ιστό ύψους 1.80 m. Επί του κεντρικού ιστού είναι τοποθετημένη και η μονάδα συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης μετρήσεων (Datalogger). Αναλυτικότερα:

**Πυρανόμετρο (SP-LITE): Πυρανόμετρο (SP-LITE):** Αισθητήρας πυριτίου ο οποίος χρησιμοποιείται για να μετράει την ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται από ολόκληρο το ημισφαίριο με εύρος φασματικής ανταπόκρισης 400-1100 nm, περιοχή μετρήσεων 0 – 2000 W/m<sup>2</sup> και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -30 έως 70°C. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε Wm<sup>-2</sup>.

**Πυργεόμετρο (CGR3):** Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (ροή ) πάνω σε μια επιφάνεια στην φασματική περιοχή 4500 – 42000 nm. Η ακτινοβολία που μετράει ο αισθητήρας είναι ουσιαστικά η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ουρανός. Θεωρώντας ότι ο ουρανός συμπεριφέρεται σαν ένα τέλειο μαύρο σώμα ο αισθητήρας μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογίσει την θερμοκρασία του ουρανού με κατάλληλο τύπο υπολογισμού που διαθέτει.

**Ανεμόμετρο (A100K):** Ο αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας ανέμου είναι τύπου τριών ημισφαιρικών ή κωνικών κυπέλλων με παλμική έξοδο με περιοχή μετρήσεων 0-75 m/sec, κατώφλι λειτουργίας 0.15 m/sec και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -50 έως 55 °C. Τα εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες μέρη του είναι κατασκευασμένα από μη οξειδωμένα υλικά.

**Αισθητήρας σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (MP101A):** Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας (RH), και της θερμοκρασίας  $T_o$  του εξωτερικού περιβάλλοντος των θερμοκηπίων. Γι αυτό τον λόγο διαθέτει αισθητήριο στοιχείο ιδιαίτερα ανθεκτικό σε βιομηχανικούς ρύπους και χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα. Ο αισθητήρας βρίσκεται σε κλωβό προστασίας και έχει περιοχή μετρήσεων όσον αφορά την σχετική υγρασία 0-100% και -40 έως 60°C όσον αφορά την θερμοκρασία.

**Αισθητήρας μέτρησης ύψους βροχής (52203):** Αισθητήρας τύπου ανατρεπόμενων καδίσκων που διαθέτει σύστημα οριζοντίωσης και ενσωματωμένη ενδεικτική φυσαλίδα. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτα υλικά και έχει μηχανισμό κατακράτησης ξένων υλών. Τα εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες μέρη του είναι μεταλλικά. Η στήριξή του να γίνεται με ιστό ύψους 1 m και αντηρίδες, ανθεκτικό στην όξινη και έντονη βροχόπτωση και γενικά στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Έχει ευαισθησία 0.1 mm/tip και θερμοκρασία λειτουργίας από 0 - 50 °C.

**Μονάδα συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης μετρήσεων (Datalogger, CR1000X):** Ο Datalogger CR100X του κατασκευαστικού Οίκου Campbell Αγγλίας, είναι μια μικρή και ερμητικά κλειστή μονάδα μέσα σε ανοξείδωτο περίβλημα, η οποία έχει ενσωματωμένη εξαιρετικά μεγάλη υπολογιστική ισχύ για συλλογή και επεξεργασία στοιχείων. Η μονάδα είναι εγκατεστημένη πάνω στον ιστό του μετεωρολογικού σταθμού,

προκειμένου να συλλέγει, να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει τις τιμές διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Η μονάδα έχει δυνατότητα δειγματοληψίας των σημάτων όλων των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι στις εισόδους της σε τακτά και προγραμματιζόμενα χρονικά διαστήματα στη διάρκεια του 24ώρου. Οι τιμές αυτές υφίστανται επεξεργασία με βάση σχετικά προγράμματα και εντολές, που είναι καταχωρημένα στη μνήμη της μονάδας και καταχωρούνται σε μνήμη εξόδου από όπου γίνεται μεταφορά σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ασύρματης ζεύξης.

**Σύστημα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων:** Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται ασύρματη (GSM) επικοινωνία (μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας), με τον απομακρυσμένο DataLogger (CR10X) που βρίσκεται στην περιοχή των πειραματικών θερμοκηπίων. Το σύστημα περιλαμβάνει εξοπλισμό σταθμού (modem ασύρματης ζεύξης, εξωτερική κεραία, Interface, σύνδεση GSM) και εξοπλισμό βάσης (modem σταθερής τηλεφωνίας).

**Analyzer 4.5 (Analyzer Datalogger Software):** Το πρόγραμμα Analyzer είναι μία 32bit client-server εφαρμογή και απευθύνεται σε όλους εκείνους που χρησιμοποιούν Dataloggers ή υπολογιστές με κάρτες συλλογής δεδομένων (D.A.C.) για την συλλογή μετρήσεων από αισθητήρες ή αναλυτές και επιθυμούν να αποθηκεύσουν τις τιμές αυτές σε μία κεντρική βάση δεδομένων με δυνατότητες παρουσίασης, επεξεργασίας, στατιστικής ανάλυσης, δημιουργίας γραφικών παραστάσεων, εκτυπώσεων, απεικόνισης σε χάρτη κλπ. Το πρόγραμμα λαμβάνει τις μετεωρολογικές μετρήσεις από τον Datalogger του μετεωρολογικού σταθμού με την χρήση modem. Τις μετρήσεις αυτές τις αποθηκεύει στην βάση δεδομένων που δημιουργεί το ίδιο, δημιουργώντας έτσι μία βάση πληροφοριών με όλα τα μετρούμενα μετεωρολογικά μεγέθη του σταθμού για όλο το χρονικό διάστημα λειτουργίας του.

### 3.5. Πειραματική διαδικασία συγκομιδής καλλιέργειας

Πραγματοποιήθηκαν 3 συγκομιδές από τις 21/05/2018 – 6/06/2018. 1η συγκομιδή: 21/05/2018, 2η συγκομιδή : 29/05/2018, 3η συγκομιδή : 6/06/2018 . Κατά την διαδικασία συγκομιδής έλαβαν χώρα τα ακόλουθα.

Μετά από την εξαγωγή των καρπών από τα θερμοκήπια κάθε καρπός μπήκε σε πλαστική σακούλα πάνω στην οποία αναγράφονταν η θέση του φυτού στο θερμοκήπιο από το οποίο συγκομίστηκε και γινόταν η μεταφορά του καρπού στο εργαστήριο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων των δεικτών ανάπτυξης και παραγωγής. Στο εργαστήριο κάθε καρπός υποβλήθηκε σε διαδικασία πλυσίματος με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή τραυματισμών. Διεξήχθησαν οι παρακάτω μετρήσεις. Έγινε ζύγιση ολοκλήρου του καρπού και μέτρημα του ολικού μήκους και της περιμέτρου των καρπών της μελιτζάνας . Στη συνέχεια κοβόταν ο καρπός στη μέση και τοποθετούνταν μέσα σε χάρτινη σακούλα στην οποία αναγράφονταν η θέση του φυτού στο θερμοκήπιο. Οι χάρτινες σακούλες με τους καρπούς μπήκαν στο πυριαντήριο για 3 μέρες στους 80°C για να αποξηραθούν.

Αμέσως μετά την ξήρανση διενεργήθηκε η διαδικασία αλέσματος των καρπών. Αρχικά η κάθε αποξηραμένη μελιτζάνα υποβάλλονταν στην διαδικασία σπασίματος του σκληρού αποξηραμένου καρπού με γουδί και στη συνέχεια τοποθετούταν σε μύλο άλεσης με περιστρεφόμενα μαχαιριά (blender). Οι αλεσμένοι καρποί κοσκινίζονταν με κόσκινο του 1 mm και το τελικό προϊόν τοποθετούταν σε μικρές πλαστικές αυτοσφράγγιστες σακούλες. Κάθε σακουλάκι ονομάστηκε ανάλογα με το όνομα του φυτού και το θερμοκήπιο καλλιέργειας.

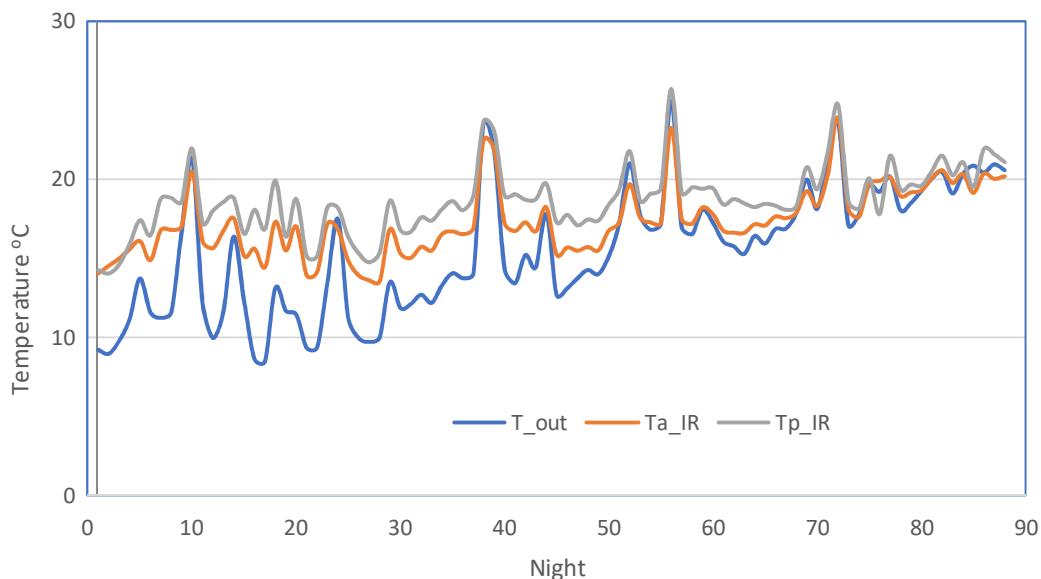
Τα παραπάνω δείγματα πήγαν στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ), όπου διεξήχθη το δεύτερο επίπεδο έρευνας κατά το οποίο μετρήθηκαν η συνολική φαινολική περιεκτικότητα, η αντιοξειδωτική και η αντιριζική δραστηριότητα των καρπών μελιτζάνας.

## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από την παράλληλη λειτουργία των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια των 90 ημερών της καλλιεργητικής περιόδου. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή όπου βρίσκονται τα θερμοκήπια σπάνια απαιτήσαν θέρμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, η εργασία επικεντρώθηκε στη νυχτερινή θέρμανση, για την οποία συλλέχθηκαν σημαντικές μετρήσεις και παρατηρήσεις για την ενεργειακή συμπεριφορά των πειραματικών θερμοκηπίων.

### 4.1. Ενεργειακά αποτελέσματα

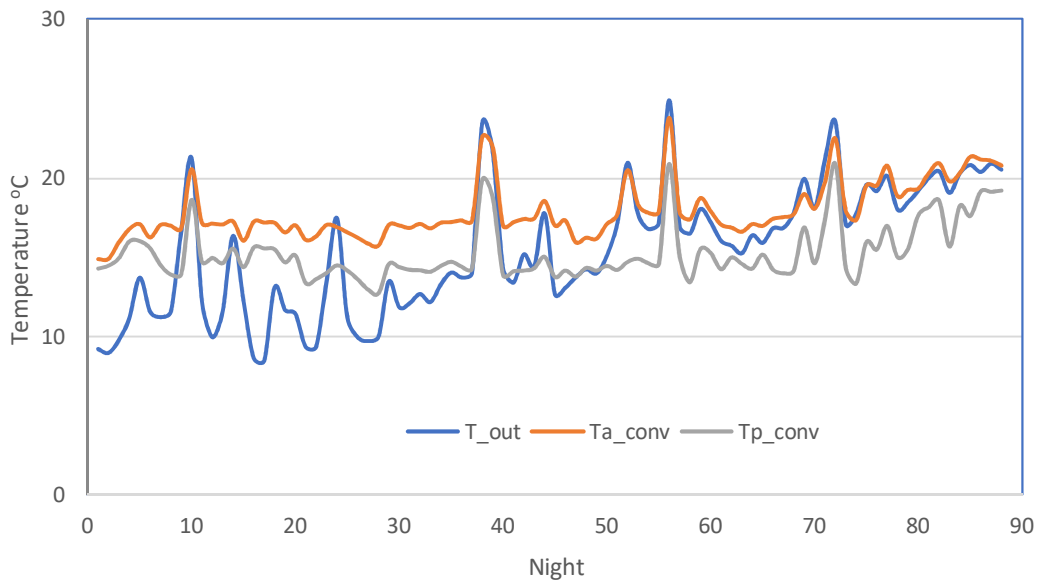
Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η εξέλιξη της νυχτερινής θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο με την υπέρυθη θέρμανση του εξωτερικού περιβάλλοντος ( $T_{out}$ ), του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου ( $T_{a\_IR}$ ) και της θερμοκρασίας του φυτικού θόλου ( $T_{p\_IR}$ ). Η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου ήταν χαμηλότερη από τη θερμοκρασία των φυτών, δημιουργώντας ένα τοπικό περιβάλλον στον φυτικό θόλο (τοπικό κλίμα) σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 1. Η μεταβολή της νυχτερινής θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος, εσωτερικού αέρα θερμοκηπίου και των φυτών στο θερμοκήπιο υπέρυθρης θέρμανση.

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η εξέλιξη της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο με την συμβατική θέρμανση του εξωτερικού περιβάλλοντος ( $T_{out}$ ), του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου ( $T_{a\_conv}$ ) καθώς και η θερμοκρασία του φυτικού θόλου ( $T_{p\_conv}$ ). Το διάγραμμα δείχνει ότι η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο με τον θερμό αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής ήταν ίδια ή λίγο υψηλότερη από τη θερμοκρασία των φυτών,

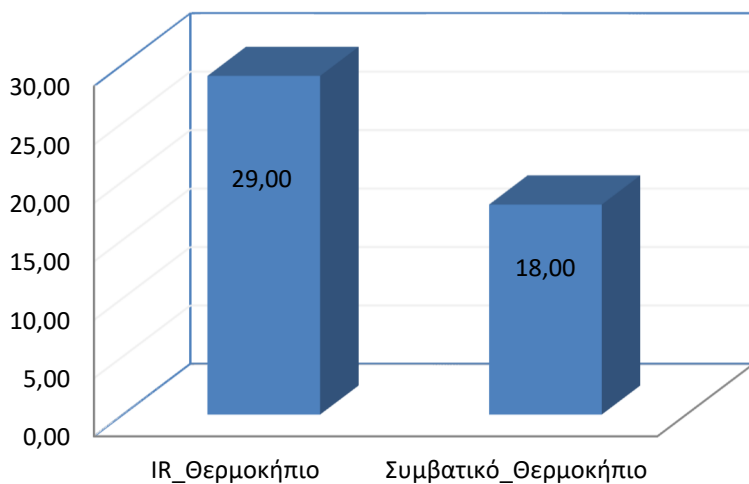
δημιουργώντας ισοθερμοκρασικό περιβάλλον σε όλο το εσωτερικό του θερμοκηπίου (όλον κλίμα).



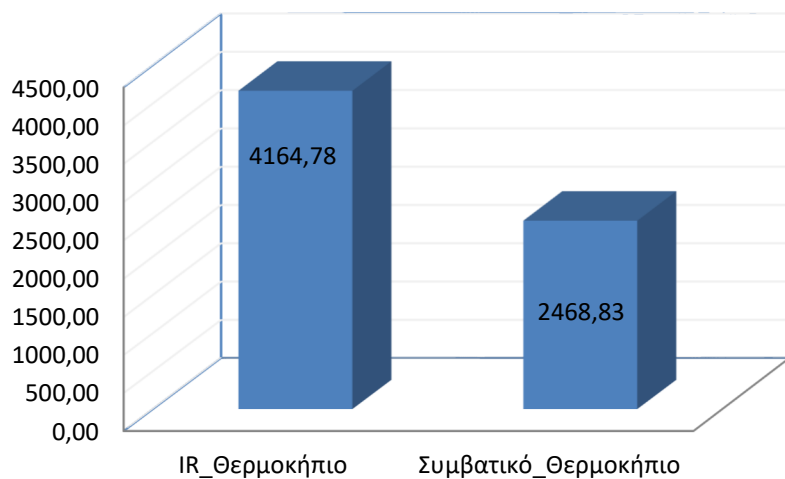
Διάγραμμα 2. Διακύμανση μέσω νυχτερινών θερμοκρασιών εξωτερικού περιβάλλοντος, εσωτερικού αέρα θερμοκηπίου και φυτών, στο θερμοκήπιο με την συμβατική θέρμανση.

#### 4.2. Αποτελέσματα απόδοσης παραγωγής

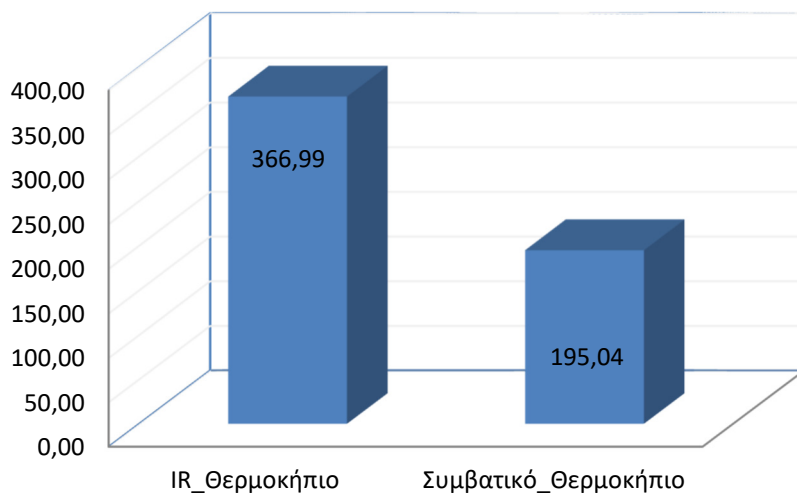
Στα διαγράμματα 3α, 3β και 3γ παρουσιάζονται επιμέρους αποτελέσματα που αφορούν τον αριθμό των παραγόμενων καρπών ανά θερμοκήπιο, το συνολικό βάρος και το ξηρό βάρος των παραγόμενων καρπών. Ειδικότερα, όπως παρατηρείται στο συνολικό συγκριτικό διάγραμμα 3, τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική αύξηση της συνολικής παραγωγής καρπών στο θερμοκήπιο με την υπέρυθη ακτινοβολία (IR) έναντι του θερμοκηπίου με την συμβατική θέρμανση.



Διάγραμμα 3α: Απόδοση παραγωγής (καρποί μελιτζάνας)

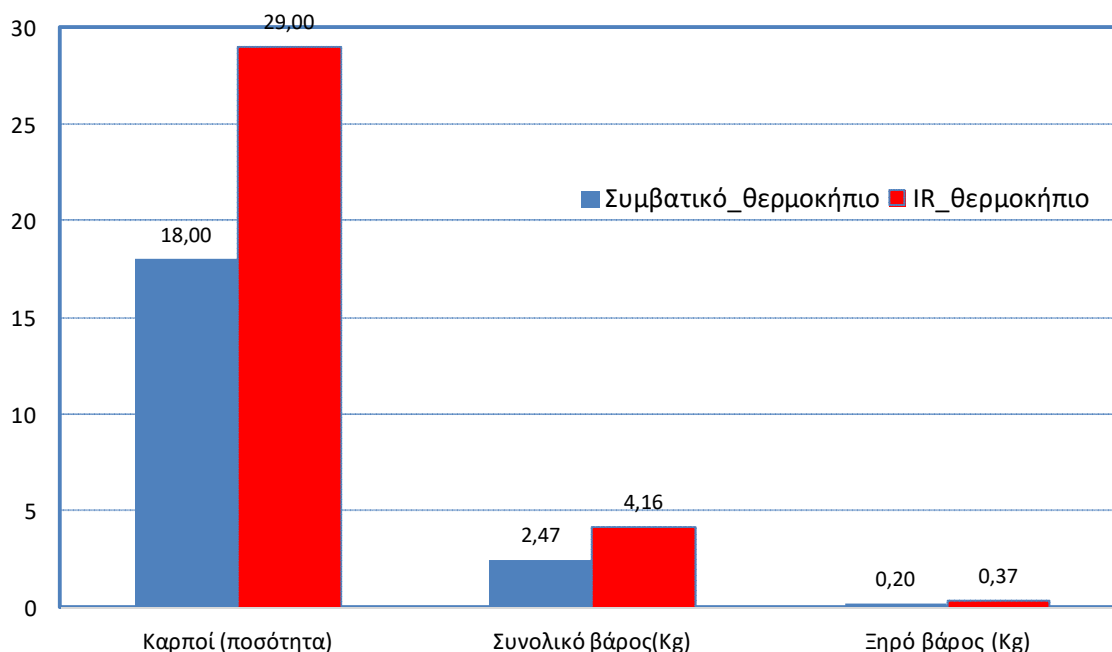


Διάγραμμα 3β: Συνολικό νωπό βάρος (gr)



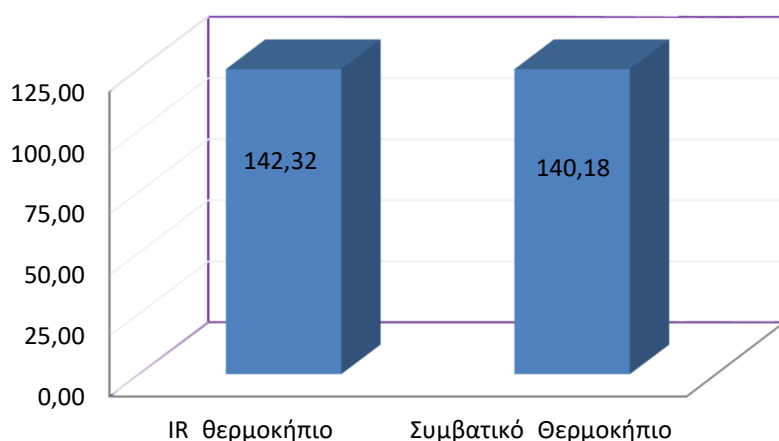
Διάγραμμα 3γ: Συνολικό ξηρό βάρος (gr)



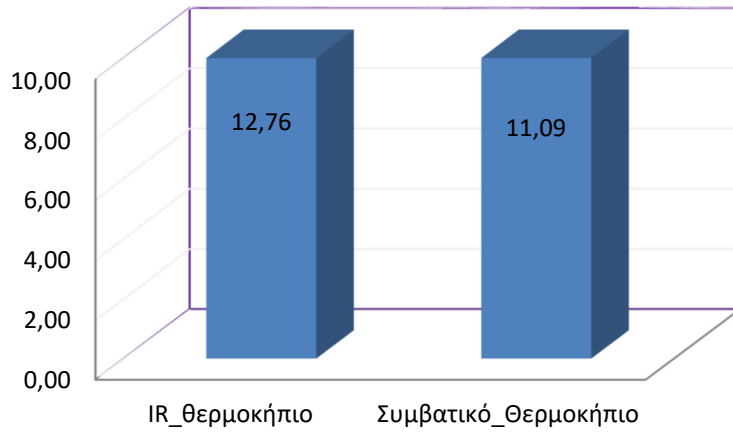


Διάγραμμα 3. Ποσοτική απόδοση θερμοκηπίων.

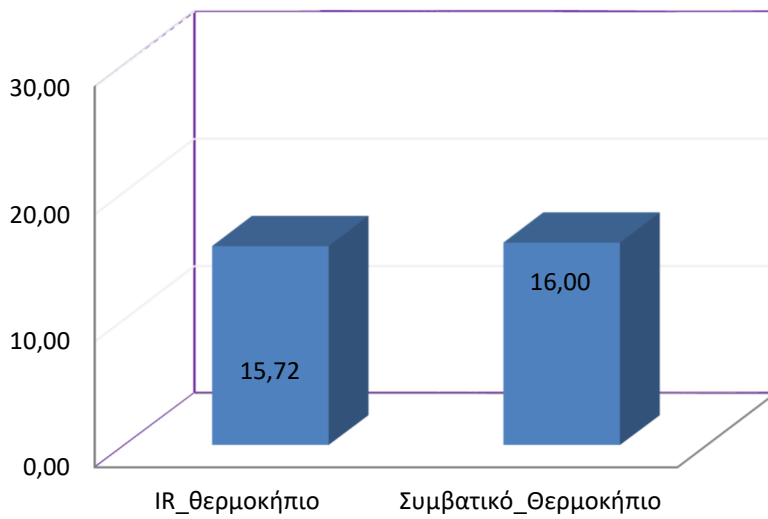
Στο διάγραμμα 4α, 4β, 4γ, 4δ, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεικτών ανάπτυξης (ποσοτικά χαρακτηριστικά) των παραγόμενων καρπών μελιτζάνας, ήτοι το μέσο νωπό και ξηρό βάρος ανά καρπό, η μέση περίμετρος και το μέσο ύψος των καρπών μελιτζάνας στα δύο θερμοκήπια με τις διαφορετικές μεταχειρίσεις θέρμανσης. Όπως παρατηρείται στο συνολικό συγκριτικό διάγραμμα 4, το μέσο βάρος των παραγόμενων καρπών δεν επηρεάστηκε από το διαφορετικό σύστημα θέρμανσης των δύο θερμοκηπίων. Επίσης, το διαφορετικό σύστημα θέρμανσης δεν επηρέασε και τους υπόλοιπους δείκτες ανάπτυξης των παραγόμενων καρπών, δηλαδή, το μέσο ξηρό βάρος, τη μέση περίμετρο και το μέσο ύψος των καρπών και ομοιόμορφοι καρποί παρήχθησαν και στις δύο μεταχειρίσεις θέρμανσης.



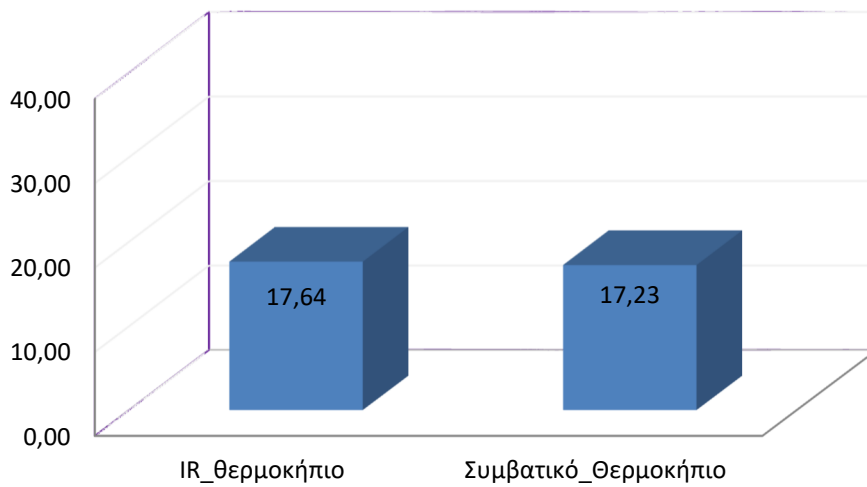
Διάγραμμα 3α: Μέσο νωπό βάρος καρπών (gr)



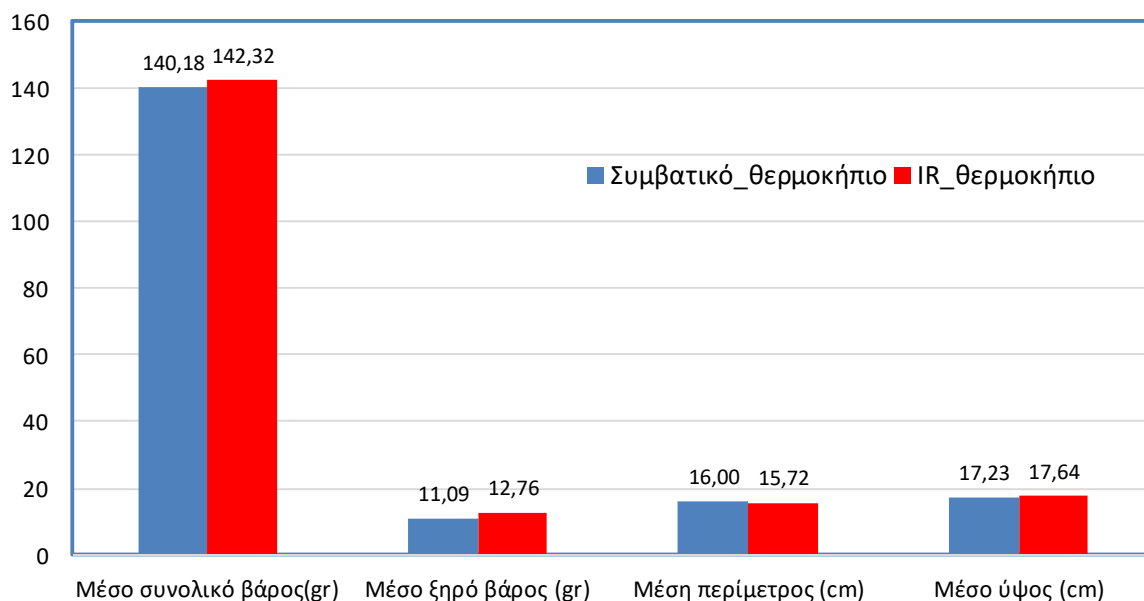
Διάγραμμα 4β: Μέσο ξηρό βάρος καρπών (gr)



Διάγραμμα 4γ: Μέση περίμετρος καρπών (cm)



Διάγραμμα 4δ: Μέσο ύψος καρπών (cm)



Διάγραμμα 4. Μέσες τιμές των δεικτών ανάπτυξης των καρπών μελιτζάνας

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραγωγή της καλλιέργειας μελιτζάνας ελέγχθηκε σε δύο όμοια πειραματικά θερμοκήπια με διαφορετικό σύστημα θέρμανσης. Στο ένα θερμοκήπιο εφαρμόστηκε υπέρυθρη θέρμανση ενώ στο δεύτερο συμβατική θέρμανση με θερμό αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής. Και τα δύο συστήματα θέρμανσης διατήρησαν την θερμοκρασία στον φυτικό θόλο στην ενδεικνυόμενη για την καλλιέργεια. Το σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης είχε ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου να είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία των φυτών 2-3 °C δημιουργώντας τοπικό κλίμα, ενώ στο συμβατικό σύστημα θέρμανσης ο αέρας του θερμοκηπίου ήταν στην ίδια ή ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία από την επιθυμητή θερμοκρασία των φυτών δημιουργώντας ισοθερμοκρασιακό κλίμα στο θερμοκήπιο .

Συγκεκριμένα, η εφαρμογή του συστήματος της υπέρυθρης θέρμανσης στο θερμοκήπιο για την παραγωγή μελιτζάνας είχε ικανοποιητικά αποτελέσματα, δημιουργώντας ομαλή κατανομή θερμοκρασίας στον φυτικό θόλο και ταυτόχρονα ο αέρας του θερμοκηπίου ψυχρότερος από αυτόν στο θερμοκήπιο με τη συμβατική θέρμανση, γεγονός που οδηγεί σε σημαντική μείωση των ενεργειακών απωλειών. Οι ευνοϊκότερες συνθήκες που δημιούργησε το σύστημα της υπέρυθρης θέρμανσης στον φυτικό θόλο των συγκριτικά με τη συμβατική θέρμανση οδήγησαν σε καλύτερη ανάπτυξη και παραγωγή των καλλιεργούμενων φυτών μελιτζάνας.

Θα ήταν σκόπιμο να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα με εφαρμογή της υπέρυθρης θέρμανσης σε ένα παραγωγικό θερμοκήπιο κηπευτικών. Προκειμένου να διερευνηθεί περαιτέρω η επίδραση της IR ακτινοβολίας στις παραμέτρους ανάπτυξης και τα φυσιολογικά

χαρακτηριστικά των κηπευτικών συνολικά, είναι αναγκαία πειράματα σε παραγωγικά θερμοκήπια και με ταυτόχρονη ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bartzanas, T. T. (2005). Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption. *Biosystems Engineering*, 91(4), 487-499.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.04.012>.

Brodie, G., Ryan, C. and Lancaster, C. (2012). Microwave technologies as part of an integrated weed management strategy: A review. *Intl. J. Agron.*, 2012, 1-14

<http://dx.doi.org/10.1155/2012/636905>.

De Pascale, S., and Maggio, F. (2004). Sustainable protected cultivation at Mediterranean climate, perspectives and challenges. *Acta Horticulturae*, 691, 29-42

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.691.1>.

De Pascale, S., and Maggio, F. (2011). High temperature control in Mediterranean greenhouse production: the constraints and the options. *Acta Horticulturae*, 893, 103-116

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.893.6>

Giacomelli, G., Sase, S., Cramer, R., Hoogeboom, J., MacKenzie, J., Parbst, K., Scarascia-Mugnozza, G., Selina, P., Sharp, D., Voogt, J.O., van Weel, P., Mears, D. (2012). Greenhouse production systems for people. *Acta Horticulturae* 927:23-38

<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.1>.

Kaushik, G. and Chel, S. (2011). Renewable energy for sustainable agriculture. *Agron. Sustainable Development*, 31(1), 91-118 doi:<http://dx.doi.org/10.1051/agro/2010029>.

Kavga, A., Panidis, Th., Bontozoglou, V. and Pantelakis, S. (2009). Infra-Red Heating of Greenhouses Revisited: An Experimental and Modeling Study. *Transactions of the ASABE*, 52(6):2055-2065.

Kavga, A., Alexopoulos, G., Bontozoglou, B., Pantelakis, S., Panidis, Th. (2012). Experimental Investigation of the Energy Needs for a Conventionally and an Infrared-Heated Greenhouse. *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 2012, Article ID 789515, 16 pages. doi:10.1155/2012/789515

Kavga, A., and Panidis, Th. (2015). Implementation Results of Infrared Heating (IR) in a Production Greenhouse. *Applied Engineering in Agriculture*, 31(1), 143-151, doi: [10.13031/aea.31.10747](https://doi.org/10.13031/aea.31.10747).

Kavga, A., Strati, I., Sinanoglou, V.J., Sotiroudis, G., Christodoulou, P. and Zoumpoulakis, P. (2019). Evaluating the experimental cultivation of peppers in low energy demand greenhouses. An interdisciplinary study. *Journal of Food Science and Technology*, 99 (2): 781–789 DOI10.1002/jsfa.9246.

Perdigones, J., García, J.L., Pastor, M., Benavente, R.M., Luna, L., Chaya, C. and de la Plaza, S. (2006). Effect of heating control strategies on greenhouse energy efficiency: experimental results and modelling. Transactions of the ASABE, 49(1), 143-155. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.20232>.

Vassilia J. Sinanoglou, Angeliki Kavga, Irini F. Strati, Georgios Sotiroudis, Dimitra Lantzouraki and Panagiotis Zoumpoulakis (2019). Effects of Infrared Radiation on Eggplant (*Solanum melongena* L.) Greenhouse Cultivation and Fruits' Phenolic Profile, Foods, 8(12), 630 [doi:10.3390/foods8120630](https://doi.org/10.3390/foods8120630)

Teitel, M., Segal, L., Shklyar, A., & Barak, M. (1999). A comparison between pipe and air heating methods for greenhouses. J. Agric. Eng. Res., 72(3), 259-273 <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0370>

Teitel, M., Shklyar, A., Elad, Y., Dikhtyar, V. and Jerby, E. (2000). Development of a microwave system for greenhouse heating. Acta Horticulturae, 534, 189-195 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.534.21>.

Vadiee A, and Martin, V. (2014). Energy management strategies for commercial greenhouses. Applied Energy 14, 880-888 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.089>

Vox G, Teitel M, Pardossi A, Minuto A, Tinivella F, Schettini E (2010). Sustainable greenhouse systems. In: Salazar A, Rios I (Eds). Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management. Nova Science Publishers, Inc. pp 1-79.

Γενική Λαχανοκομία (2016). Σάββας Δημήτριος, Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα

Τεχνολογία Θερμοκηπίων (2017). Μαυρογιανόπουλος Γεώργιος, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα

Θερμοκήπια (2019). C. Stanghellini, B. Ooster, E. Heuvelink, Επιστ. Επιμ. Νικόλαος Κατσούλας, Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα