



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΠΙΠΕΡΙΑΣ (*California Wonders L.*)
ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ



ΜΠΑΝΤΙΛΕΣΚΑ ΜΑΡΓΑΡΙΤΑ, ΑΜ: 12031

ΜΟΝΤΑΝΑΡΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ, ΑΜ: 12093

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΚΑΥΓΑ ΑΓΓΕΛΙΚΗ

ΑΜΑΛΙΑΔΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2020

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ	7
2.1. Θερμοκρασία και καλλιέργειες θερμοκηπίου	7
2.2. Ηλιακή ακτινοβολία - Φωτισμός θερμοκηπίου	8
3. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (IR) - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	10
3.1. Υπέρυθρη Ακτινοβολία	10
3.2. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο & Φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	12
3.3. Φωτοβολταϊκά συστήματα	13
3.4. Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οροφή θερμοκηπίου.....	14
4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ.....	17
4.1. Βοτανικά χαρακτηριστικά Πιπεριάς.....	17
4.2. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες.....	18
4.3. Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Πιπεριάς	19
4.4. Εχθροί και Ασθένειες	20
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	21
5.1. Παραγωγή Σπορόφυτων Πιπεριάς.....	21
5.2. Πειραματικά θερμοκήπια και αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (ΑΜΣ)	21
5.3. Όργανα και αισθητήρες ελέγχου μικροκλίματος πειραματικών θερμοκηπίων.....	24
5.4. Μετεωρολογικός σταθμός και μετρητικά όργανα μακρο-κλίματος.....	27
5.5. Πειραματική διαδικασία συγκομιδής καλλιέργειας.....	29
6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	31
6.1. Αποτελέσματα Ηλιακής Ακτινοβολίας & Θερμοκρασίας.....	31
6.2. Αποτελέσματα απόδοσης παραγωγής.....	33
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	38
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	39

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 πειραματική καλλιέργεια πιπεριάς σε θερμοκήπια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης με σκοπό την διερεύνηση της επίδρασης της σκίασης Φωτοβολταϊκών πλαισίων (PVs) στις παραμέτρους ανάπτυξης και παραγωγής των καρπών των φυτών της πιπεριάς (*California Wonders L.*) και την ενεργειακή αποδοτικότητα του θερμοκηπίου. Η πειραματική διαδικασία έγινε στο εργαστήριο Τεχνολογίας Θερμοκηπίων και Βιοκλιματολογίας. Η επίβλεψη της πειραματικής διαδικασίας και η καθοδήγηση της συγγραφής έγινε από την Αν. Καθηγήτρια του τμήματος κ. Αγγελική Καυγά.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος κ. Μπαρούχα για την παραχώρηση του εργαστηρίου Εδαφολογίας για τις μετασυλλεκτικές μεταχειρίσεις των καρπών των φυτών της πιπεριάς. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την κα Ευαγγελοπούλου Φωτεινή και τον κ. Τσιχλιά Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία τους σε όλη την πειραματική διαδικασία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας για το οικονομικό ισοζύγιο των θερμοκηπίων και τα Φωτοβολταϊκά (PVs) πλαίσια μπορούν να θεωρηθούν ως εναλλακτική λύση για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμαντικών αναγκών τους. Από την άλλη πλευρά, 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. Στόχος της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη ενός θερμοκηπίου χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης με χρήση υπέρυθρης θέρμανσης και κάλυψη των υπόλοιπων ενεργειακών αναγκών με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του θερμοκηπίου. Επίσης, να διερευνηθεί η επίδραση της μερικής σκίασης που προκαλούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στις παραμέτρους ανάπτυξης και στα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών. Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται από μια πλήρη περίοδο καλλιέργειας μέσα σε δύο θερμοκήπια. Υλοποιήθηκαν δύο επιλογές θερμοκηπίου με και χωρίς φωτοβολταϊκά αντίστοιχα. Καλλιεργήθηκε πιπεριά (California Wonder L.) ως δοκιμαστική καλλιέργεια για μια περίοδο τριών μηνών. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τον φωτισμό του εσωτερικού χώρου και την θερμοκρασία του θερμοκηπίου και τους δείκτες ανάπτυξης των φυτών. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με την συμβατική καλλιέργεια. Αναλύεται ο σχεδιασμός και η ενεργειακή απόδοση της ανωτέρω φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

ABSTRACT

Energy demand of greenhouses is an important factor for their economics and photovoltaics (PV) can be considered an alternative solution to cover their electrical and heating needs. On the other hand, 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 develop a low energy demand greenhouse by using IR heating and the cover of remaining energy needs by the installation of PV panels on the greenhouse's roof. Also, to investigate the effect of PV panels induced partial shading on growth parameters and physiological characteristics of plants. Experimental results are presented from a full cultivation period inside two greenhouses, with and without PV correspondingly. Pepper (California Wonder L.) is used as the test crop for a three months period. The results include electrical energy output, greenhouse inside space lighting and temperature and plant growing. Results are compared to conventional cultivation. The design and energy performance of the above PV installation modes is analyzed and results are presented.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θερμοκήπια είναι σύνθετα παραγωγικά συστήματα αγροτικών προϊόντων, 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). Το κόστος της ενέργειας είναι γύρω στο 50% του κόστους του παραγόμενου προϊόντος και αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο στην οικονομική ανάπτυξη των θερμοκηπίων.

Η θερμοκρασία και ο φωτισμός είναι οι κυριότεροι παράγοντες και επηρεάζουν την καλλιέργεια και παραγωγή των φυτών. Καθώς ένα μικρό μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση, το μεγαλύτερο μέρος αυξάνει τη θερμοκρασία του φυτού. Το υψηλό επίπεδο φωτισμού δεν είναι πάντα ωφέλιμο καθώς υπερθερμαίνει τα φυτά, προκαλώντας δυσλειτουργίες στον μηχανισμό φωτοσύνθεσης και στην πρόσληψη νερού και διατροφικών στοιχείων.

Στην κεντρική και βόρεια Ευρώπη απαιτείται κυρίως θέρμανση και τεχνητός φωτισμός των θερμοκηπίων λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της μικρής ηλιοφάνειας. Στην Μεσογειακή λεκάνη και στην Ελλάδα, οι κλιματικές συνθήκες είναι πιο ήπιες και έτσι απαιτούνται θέρμανση και τεχνητός φωτισμός τον χειμώνα λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και της μικρής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, δροσισμός και μείωση του φωτισμού το καλοκαίρι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και της μεγάλης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν πιο σύνθετο τον έλεγχο των συνθηκών στο εσωτερικό τους και έτσι δυσκολεύουν μια οικονομικά αποδοτική λύση και οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και δροσισμό αποτελούν πρωταρχικό κόστος λειτουργίας, επηρεάζοντας σημαντικά το κόστος παραγωγής (De Pascale and Maggio, 2004 ; De Pascale and Stanghellini, 2011).

Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας και το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια, οδήγησε σε εκτενείς προσπάθειες αξιοποίησης των ήπιων μορφών ενέργειας όπως είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από βιομάζα και η ηλιακή ενέργεια.

Αν και η κύρια λειτουργία των θερμοκηπίων βασίζεται στην ηλιακή ενέργεια, η αξιοποίηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας όπως οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά δεν παρουσιάζουν μεγάλη διείσδυση όσον αφορά την αξιοποίησή τους στα θερμοκηπιακά συγκροτήματα. Εκτεταμένα πειράματα σε θερμοκήπια από διάφορους ερευνητές με χρήση φωτοβολταϊκών στη οροφή τους, έδειξαν την αποτελεσματικότητα αυτής της εφαρμογής (Nayak et al, 2008; Yano et al, 2009; Fatnasi et al, 2015; Marucci et al, 2016; Lamnatou et al, 2013; Hassanien et al, 2016). Τα τελευταία χρόνια, έχουν κατασκευαστεί θερμοκήπια με φωτοβολταϊκά πλαίσια ενσωματωμένα στις οροφές τους. Ορισμένα από αυτά

χρησιμοποιούν αδιαφανή ή ημι-διαφανή φωτοβολταϊκά πάνελ πυριτίου (PVs), ενώ άλλα χρησιμοποιούν φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτού φιλμ (Thin films photovoltaics -TPVs) ή οργανικά φωτοβολταϊκά (OPVs). Πρόκειται για τα τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκά, που εκτός από το μικρό βάρος, έχουν το πλεονέκτημα να είναι διαφανή, εύκαμπτα και να βγαίνουν σε διάφορα χρώματα λόγω της εκλεκτικής φασματικής τους απορρόφησης. Στις περισσότερες στέγες θερμοκηπίου, τα φωτοβολταϊκά πυριτίου είναι ενσωματωμένα στην οροφή με νότιο προσανατολισμό, ενώ στην περίπτωση των OPV καλύπτουν μερικώς ή ολικώς την οροφή του θερμοκηπίου.

Τα συστήματα Υπέρουθρης Θέρμανσης (IR) μπορούν να διατηρήσουν αποτελεσματικά ευνοϊκές περιβαλλοντικές συνθήκες στον φυτικό θόλο. Φωτοβολταϊκά πλαίσια προτείνεται να τοποθετηθούν στην οροφή των θερμοκηπίων και να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων. Το σημαντικότερο είναι η βέλτιστη εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων επειδή μειώνουν την ηλιακή ακτινοβολία που περνά μέσα από το κάλυμμα και εισέρχεται στο θερμοκήπιο και χρησιμοποιείται για φωτοσύνθεση από φυτά του θερμοκηπίου. Ο συνδυασμός της θέρμανσης με υπέρυθη ακτινοβολία και των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα ένα θερμοκήπιο χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Στόχος της παρούσας εργασίας σε πρώτο επίπεδο μελέτης είναι να μελετηθεί η εφαρμογή φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή θερμοκηπίου όσον αφορά την επίδρασή τους στην ανάπτυξη των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, δύο μικρά πειραματικά θερμοκήπια εξοπλισμένα με υπέρυθη θέρμανση, με ανάπτυξη καλλιέργειας πιπεριάς με και χωρίς φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή, συγκρίνονται υπό ταυτόσημες καιρικές συνθήκες σχετικά με το αποτέλεσμα της σκίασης στην παραγωγικότητα των καλλιεργούμενων φυτών και του ενεργειακού κέρδους από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τα αποτελέσματα από τα θερμοκήπια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης που δοκιμάστηκαν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ευρύτερη εφαρμογή τους, δεδομένης της αποτελεσματικότητάς τους ως προς το κόστος λειτουργίας τους.

Σε δεύτερο επίπεδο έρευνας που διεξήχθη στο Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών (ΕΙΕ), μελετήθηκε πλέον η επίδραση της IR θέρμανσης και της σκίασης από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια στο φυτοχημικό προφίλ των πιπεριών, συμπεριλαμβανομένου του αντιοξειδωτικού προφίλ (FRAP), της δραστηριότητας δέσμευσης ριζών (προσδιορισμός ABTS), του ολικού φαινολικού περιεχομένου (ανάλυση Folin-Ciocalteu), καθώς και των φαινολικών και μεταβολικών προφίλ (προφίλ LC-MS και NMR). Τα αποτελέσματα από μια πλήρη καλλιεργητική περίοδο μέσα στα δύο θερμοκήπια συγκρίθηκαν με τη συμβατική καλλιέργεια και παρουσιάστηκαν τα φωτομετρικά και τα φασματοσκοπικά αποτελέσματα (Kavga et al, 2018)

2. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν έναν από τους πιο δυναμικούς τομείς της πρωτογενούς παραγωγής στην Ελλάδα όπως συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης συμβάλλοντας σημαντικά στην εθνική οικονομία. Από τα φυτά θερμής εποχής, στα ελληνικά θερμοκήπια καλλιεργούνται σε αξιόλογη έκταση η τομάτα, η μελιτζάνα, η πιπεριά, το αγγούρι, το κολοκύθι, το πεπόνι, το καρπούζι και το νωπό φασολάκι. 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.

Οι φυσιολογικές μεταβολές που εκδηλώνονται εξαιτίας της επίδρασης των διαφόρων παραγόντων του περιβάλλοντος, είναι από τα βασικότερα προβλήματα της ανάπτυξης των φυτών στα θερμοκήπια. Πρέπει συνεπώς, να είναι γνωστό πώς ένα εξωτερικό ερέθισμα γίνεται αντιληπτό από το φυτό και μετατρέπεται σε μεταβολικές διαδικασίες, οι οποίες αλλάζουν την ποσότητα και την ποιότητα της αύξεσης.

Σπουδαιότεροι εξωτερικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αύξηση του φυτού είναι: (i) Θερμοκρασία (ii) Σύνθεση του αέρα (CO_2 , O_2 , CO , κ.α.), (iii) Φως, (iv) Νερό και (v) Θρεπτικά στοιχεία

2.1. Θερμοκρασία και καλλιέργειες 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. Η καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας γίνεται σε ένα ορισμένο εύρος τιμών, το οποίο καλείται βέλτιστο και για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες βρίσκεται μεταξύ $10\text{ }^\circ\text{C}$ και $30\text{ }^\circ\text{C}$. 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.

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.

2.2. Ηλιακή ακτινοβολία - Φωτισμός θερμοκηπίου

Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται ως η μεταφορά της ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός που για το κενό είναι 3×10^8 m/sec. Η φασματοσκοπική κατανομή της είναι σχεδόν εξολοκλήρου στα μικρά μήκη κύματος και έχει τιμή από 0-3μ. Για το λόγο αυτό η ηλιακή ακτινοβολία καλείται ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος. Η ηλιακή ακτινοβολία που παρέχει στο φυτό την απαραίτητη ενέργεια για φωτοσύνθεση, αποτελεί ένα μικρό μέρος του συνολικού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα μήκη κύματος που περιλαμβάνει αντιστοιχούν στην υπεριώδη, στην ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία. Η μετάδοση θερμότητας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γίνεται μέσω του κενού.

Ο έλεγχος του περιβάλλοντος των θερμοκηπιακών καλλιεργειών αποσκοπεί στη δημιουργία βέλτιστων συνθηκών στο εσωτερικό των θερμοκηπίων με στόχο την αύξηση και ανάπτυξη των καλλιεργειών. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου συνίσταται από όλα τα φυσικά μεγέθη του χώρου που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών (κλίμα, θρεπτικά στοιχεία βιοτικοί παράγοντες). Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί μεγιστοποίηση καθενός από τους παραπάνω παράγοντες σε ένα άριστο επίπεδο, αλλά απαιτείται ρύθμιση καθενός σε συνδυασμό με το επίπεδο των άλλων παραγόντων (Kittas et al, 2005). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου είναι ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών και την παραγωγή χρήσιμη βιομάζας, καθώς και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο της καλλιέργειας, το θερμοκήπιο. Με στόχο την αύξηση της παραγωγής της φωτοσύνθεσης σε περιόδους που δεν είναι επαρκής φυσικός φωτισμός, χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός φωτισμός, ώστε να συμπληρώνεται 12-16 ώρες φως την ημέρα.

Παρά το γεγονός ότι τα φυτά θεωρούνται ακίνητοι παθητικοί οργανισμοί που εξαρτώνται από το περιβάλλον, στην πραγματικότητα είναι πολύ δραστικοί οργανισμοί που αντιδρούν στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Δεδομένου ότι το φυσικό ηλιακό φως είναι ένα φαινόμενο με μεγάλη μεταβλητότητα, τα φυτά περιλαμβάνουν μηχανισμούς που επιτρέπουν την αντίδραση σε διαφορετικές ροές και κύκλους του φυσικού φωτός. Ως απόκριση στις συνθήκες φωτισμού μπορούν να ελέγξουν τον ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, τον ρυθμό λήψης νερού, το μήκος των κόμβων τους, το μέγεθος των φύλλων, τον προσανατολισμό και την πυκνότητα των χλωροπλαστών όπως επίσης να καθορίζουν τον βέλτιστο χρόνο βλάστησης και τις υπόλοιπες φυσιολογικές διαδικασίες (Agro Control System, 2010).

Μέσα στους χλωροπλάστες των φυτών η φωτεινή ενέργεια χρησιμοποιείται για την μετατροπή του ατμοσφαιρικού άνθρακα σε υδατάνθρακες μέσω της φωτοσύνθεσης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση απαιτείται πολύ μικρή ποσότητα ακτινοβολίας της τάξεως των 80-100 W/m². Λιγότερο από το 5% της συνολικής φωτεινής

ενέργειας που λαμβάνει ένα φυτό το χρησιμοποιεί για φωτοσύνθεση. Η μόνη πηγή ενέργειας για τα χλωροφυλλούχα φυτά είναι ακτινοβολούμενη ενέργεια του ηλίου. Το ορατό φάσμα αυτής της ακτινοβολίας, συνήθως ονομάζουμε φως και αποτελεί το πιο ενδιαφέρον τμήμα της ακτινοβολίας για τη ζωή των φυτών.

Το φως επηρεάζει πολλές φυσιολογικές διαδικασίες των φυτών. Επηρεάζει τη βλάστηση διαφόρων ειδών σπερμάτων, τη φωτοσύνθεση, τη διαπνοή, τη σύνθεση της χλωροφύλλης, τη σύνθεση και κατανομή των αυξινών, τη δραστηριότητα των ενζύμων, τη θερμοκρασία των φύλλων κ.α. Το ηλιακό φως έχει άμεση επίδραση στη φωτοσύνθεση. Επομένως, όταν ένταση του φωτός είναι τέτοια, ώστε να σχηματίζονται περισσότερες ουσίες από αυτές που καταναλώνονται από την αναπνοή, τότε το φυτό αρχίζει να αυξάνει σε ξηρό βάρος, καθώς αποταμιεύει υψηλής ενέργειας συστατικά, όπως είναι οι υδατάνθρακες και κυρίως το άμυλο. Όταν οι αποταμιευτικές ουσίες (υδατάνθρακες, λίπη κλπ.) διασπώνται, απελευθερώνεται ένα μέρος της ενέργειας με τη μορφή του ATP (Τριφωσφορική αδενοσίνη). Η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται στην αύξηση, αφού μέρος της καταναλώνεται για την επαναδόμηση συστατικών του πρωτοπλάσματος και του κυτταρικού τοιχώματος των νεοσχηματιζόμενων κυττάρων (Τσέκος, 2017). Κάθε φυτό απαιτεί τέτοια ένταση φωτός, ώστε οι ουσίες που συντίθενται να εξασφαλίζουν τουλάχιστον την απαιτούμενη ενέργεια για τη διατήρησή του στη ζωή. Επομένως, αν το φυτό δε σχηματίζει αρκετές αποταμιευτικές ουσίες από τις οποίες να προμηθευτεί την απαιτούμενη ενέργεια για την αύξηση, τότε δεν παραμένει ενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα, οπότε πρέπει να πεθάνει να περάσει μια περίοδο λήθαργου. Συνεπώς, αν η ένταση του φωτός αυξάνει μέχρι του μεγίστου ορίου της, αντίστοιχα αυξάνει και το ξηρό βάρος των φυτών. Σε αυτές τις οριακές περιπτώσεις οι βλαστοί αποκτούν μεγαλύτερο πάχος και περισσότερους στερεωτικούς ιστούς. Τα φύλλα επίσης γίνονται παχύτερα, με παχιά επιδερμίδα και ανεπτυγμένο δρυφακτοειδές παρέγχυμα (Τσέκος, 2017)

Η φωτοπερίοδος επηρεάζει ακόμη και την αύξηση φυτών που είναι ουδέτερα στο φωτοπεριοδισμό, μέσω του αθροίσματος της ακτινοβολίας που δέχονται. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της θερμοκηπιακής τομάτας, παρατεταμένη φωτοπερίοδος (14 ώρες), σε σχέση με το φυσικό φωτισμό, αύξησε το νωπό βάρος του βλαστού και την παραγωγή σε καρπό κατά 40-57% και 15-20% αντίστοιχα. Η μορφή της αύξησης μπορεί να επηρεαστεί άμεσα από την ένταση του φωτός στην οποία εκτίθενται τα φυτά.

Η ένταση του φωτός παίζει σημαντικό ρόλο στην τελική διαμόρφωση του φυτού. Η διεύθυνση από την οποία φθάνει το φως στους βλαστούς και στις ρίζες των φυτών είναι δυνατό να επηρεάσει την κατεύθυνση αύξησης (φωτοτροπισμός). Τέλος, οι έμμεσες επιδράσεις του φωτός στην ανάπτυξη του φυτού εκδηλώνονται με τη ρύθμιση του ανοίγματος των στομάτων, με τη μεταβολή της θερμοκρασίας του φυτού, τη σύνθεση της χλωροφύλλης και την ένταση της φωτοσύνθεσης (Τσέκος, 2017)

3. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (IR) - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1. Υπέρυθρη Ακτινοβολία

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.

Είναι γνωστό ότι οι συνολικές απαιτήσεις θέρμανσης των θερμοκηπίων καλύπτονται ως επί το πλείστον από τη χρήση συμβατικών καυσίμων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική επίδραση στον χρόνο καλλιέργειας, την ποιότητα και την ποσότητα των προϊόντων, αφού ο πρωταρχικός στόχος των θερμοκηπίων είναι να παράγουν αγροτικά προϊόντα εκτός της καλλιεργητικής περιόδου. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα είναι θέμα πρωταρχικής σημασίας να εφαρμοστούν εναλλακτικές τεχνολογίες θέρμανσης, με χαμηλό κόστος και αποδοτική-αξιόπιστη λειτουργία.

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 1). 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 αποτελεσματική μέθοδος θέρμανσης των φυτών στο θερμοκήπιο είναι η χρήση Υπέρυθρης Ακτινοβολίας (IR) χαμηλής έντασης. Η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί το 52% της ηλιακής ακτινοβολίας και διαιρείται σε δύο περιοχές: α) στην υπέρυθρη ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (0.78- 2.5μ) και β) στην υπέρυθρη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (>2.5μ). Η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση αλλά επιδρά στη φωτομορφογένεση όπως είναι ο φωτοπεριοδικός έλεγχος της άνθισης, ο λήθαργος των σπόρων και ο φωτοτροπισμός.

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.

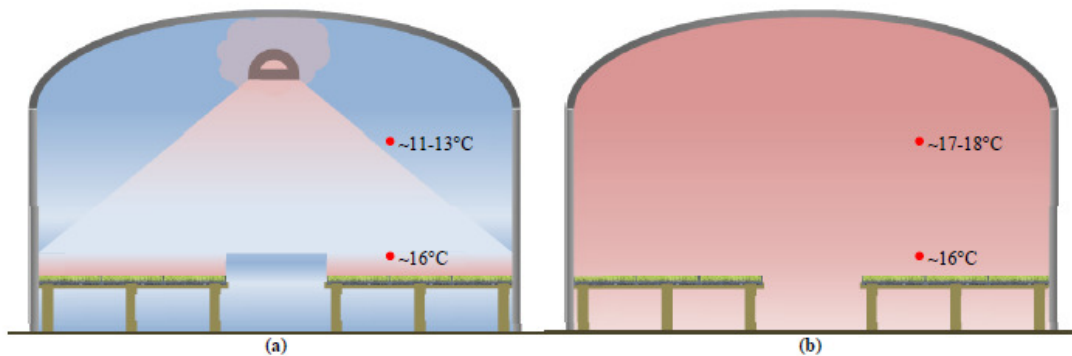
Οι απώλειες συναγωγής από το σύστημα αν δεν καλύπτεται από ανακλαστήρα είναι μεγάλες. Οι ανακλαστήρες τοποθετούνται επάνω από το σύστημα ακτινοβολίας και κατευθύνουν την υπέρυθρη προς τα κάτω. Η υπέρυθρη ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα όταν απορροφάται από τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία 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 1), 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 1: Σχηματική απεικόνιση θέρμανσης θερμοκηπίου με IR θέρμανση (a) και συμβατική θέρμανση (b).

3.2. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο & Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Η μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel, κατά τη διάρκεια πειραμάτων του.

Ειδικότερα κατά την πρόσκρουση φωτονίου σε ημιαγωγικό υλικό, μεταφέρεται η ενέργεια του σε ηλεκτρόνιο(e-) του υλικού, το οποίο φεύγει από την θέση ηρεμίας του και κινείται ελεύθερο, στον χώρο, αφήνοντας πίσω του μία κενή θέση (οπή, e+). Η συνεχόμενη δράση φωτονίων θα επιφέρει συνεχόμενη παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων και δημιουργία αντίστοιχων οπών. Η δημιουργούμενη πόλωση εξαιτίας της συσσώρευσης ηλεκτρονίων από τη μία μεριά και οπών από την άλλη, επιφέρει μία διαφορά δυναμικού εντός του ημιαγωγού. Η ένταση του δυναμικού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (παρεχόμενα φωτόνια)
- Το υλικό του ημιαγωγού (διαθεσιμότητα ηλεκτρονίων)
- Την στατιστική πιθανότητα σύγκρουσης φωτονίου-ηλεκτρονίου

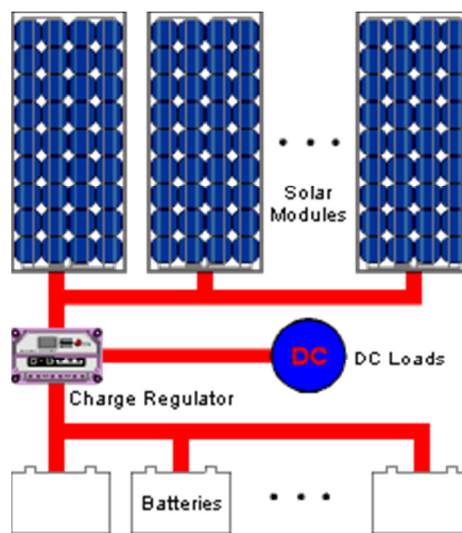
Οι δύο περιοχές, που από την μία είναι τα ηλεκτρόνια και από την άλλη οι οπές, ονομάζεται διεπαφή p-n. Στη μεριά τύπου p, έχουμε την περίσσια οπών, άρα και την θετική φόρτιση. Στην μεριά τύπου n, εμφανίζεται η περίσσια ηλεκτρονίων, οπότε έχουμε αρνητικό φορτίο. Όταν έρχονται σε επαφή (Junction) οι δύο περιοχές ηλεκτρόνια που βρίσκονται κοντά στην επαφή μεταπηδούν, από την περιοχή τύπου n στην περιοχή τύπου p,

αφήνοντας πίσω τους σπές. Έτσι δημιουργείται μία ανισορροπία στις δύο πλευρές της επαφής που κάποια στιγμή εμφανίζει ένα φράγμα δυναμικού.[42,47]

3.3. Φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από:

- το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη)
- το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (συσσωρευτές)
- τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Απεικόνιση τυπικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια) φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής

(κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία. Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ - τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο - σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα φωτοβολταϊκό πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Τα φωτοβολταϊκά panel συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές - οι μετατροπείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φωτοβολταϊκό σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (θερμοκήπιο, σταυλική εγκατάσταση, μονάδα παραγωγής) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

3.4. Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οροφή θερμοκηπίου

Τα φωτοβολταϊκά (PVs) πλαίσια χρησιμοποιούνται λιγότερο στα θερμοκήπια σε σύγκριση με άλλα κτίρια (Kyliili and Fokaides, 2014), αλλά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τους σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Τα φυτά που καλύπτονται από φωτοβολταϊκά συστήματα έδειξαν την αποτελεσματικότητα αυτής της εφαρμογής (Nayak και Tiwari, 2008; Yano et al., 2009; Fatnasi et al., 2015; Marucci και Carruccini, 2016; Lamnatou και Chemisana, 2013; Hassanien et al., 2016). Τα τελευταία χρόνια, έχουν κατασκευαστεί θερμοκήπια με φωτοβολταϊκά πλαίσια ενσωματωμένα στις στέγες τους. Μερικά από αυτά χρησιμοποιούν αδιαφανή (Cossu et al., 2014) ή ημι-διαφανή (PV Marucci et al., 2012), ενώ άλλα χρησιμοποιούν διαφανή λεπτή μεμβράνη ή οργανικά φωτοβολταϊκά (OPVs) που φαίνονται χρωματισμένα λόγω της επιλεκτικής φασματικής τους απορρόφησης (Emmott et al., 2013). Στις περισσότερες στέγες θερμοκηπίου τα PVs, είναι ενσωματωμένα στην οροφή με νότιο προσανατολισμό, ενώ στην περίπτωση OPV καλύπτουν μερικώς ή ολικώς την οροφή του θερμοκηπίου.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία που διέρχεται από τους υαλοπίνακες της οροφής και πέφτει στα φυτά του θερμοκηπίου. Αυτή η μείωση μπορεί να επηρεάσει τον επαρκή φωτισμό των φυτών, οπότε απαιτείται η βέλτιστη εγκατάσταση.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων σε θέρμανση (αντλία θερμότητας), δυναμικό εξαερισμό, τεχνητό φωτισμό και άλλες απαιτήσεις, λαμβάνοντας υπόψη τους τρόπους τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή θερμοκηπίου. Τα φωτοβολταϊκά σε οροφές θερμοκηπίου έχουν μελετηθεί σχετικά με τους τρόπους εγκατάστασης, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την επίδραση στην καλλιέργεια των φυτών. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προτείνεται να τοποθετούνται στην οροφή των θερμοκηπίων και να καλύπτουν ένα μέρος από αυτά, ώστε η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Τα θερμοκήπια έχουν προσανατολισμό Ανατολή-Δύση, ενώ το ηλιακό σύστημα έχει νότιο ή βορειοανατολικό προσανατολισμό, και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται σε ανατολικές και δυτικές επιφάνειες της οροφής του θερμοκηπίου. Σε αυτή την περίπτωση η σκίαση από τα εγκατεστημένα πάνελ "κινείται" κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφεύγοντας τη μόνιμη σκίαση των φυτών. Στην εργασία, Tripanagnostopoulos et al, 2017, μια λεπτομερής μελέτη για τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή θερμοκηπίων έδωσε ενδιαφέροντα αποτελέσματα όσον αφορά κυρίως την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το σύστημα θερμοκηπίου με φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτεί ειδική εγκατάσταση. Μόλις το 25% έως 50% της οροφής του θερμοκηπίου μπορεί να καλύπτεται με φωτοβολταϊκά, εξασφαλίζοντας την επαρκή διείσδυση του φωτός και επιτρέποντας την καλλιέργεια κάτω από τα πλαίσια.

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις οροφές του θερμοκηπίου μειώνει την ηλιακή ακτινοβολία που περνά μέσα από το υλικό κάλυψης. Αυτή η μείωση -ειδικότερα σε περιόδους χαμηλής έντασης φωτισμού (χειμώνας)-, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών να γίνεται υποτονική και η ανάπτυξή τους καχεκτική. Απαιτείται η βέλτιστη εγκατάσταση για τους τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό κάλυψης (τυπικός τύπος φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου, τύπος σωλήνων, ημιδιαφανές, thin films, συγκεντρωτικά).

Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σε οροφές θερμοκηπίου με άξονα προσανατολισμού Α-Δ, τα πλαίσια είναι συνήθως τοποθετημένα στις νότιες πλευρές της στέγης (Περράκης, 2010). Σε αυτά τα θερμοκήπια, η σκίαση των φυτών λόγω των πλαισίων δεν είναι ίδια για όλα τα φυτά κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ημερών, με ένα μέρος των οποίων να είναι συνεχώς σκιασμένο σχεδόν όλη την ημέρα, ενώ τα υπόλοιπα να φωτίζονται επαρκώς. Αυτή η κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο προκαλεί ανομοιογενή φυτική ανάπτυξη, με επίδραση στην καλλιέργεια.

Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, τα φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετούνται κατά γραμμές διεύθυνσης βορρά-νότου με κατάλληλη απόσταση γραμμή κατά γραμμή. Με τον τρόπο αυτό η σκίαση μετακινείται εντός του θερμοκηπίου με συνεχή εναλλαγή σκίασης-ηλίας στο κάθε φυτό της καλλιέργειας. Η δεύτερη επιλογή είναι η διάταξη τύπου σκακιέρας, που έχουμε παρόμοιο αποτέλεσμα, αλλά υπάρχει μεγαλύτερη δυσκολία και

κόστος εγκατάστασης, καθώς έχει και περισσότερες πιθανότητες εμφάνισης δυσλειτουργιών στη συνέχεια λόγω πολυπλοκότητας της εγκατάστασης.

Τα θερμοκήπια που προσφέρουν στέγες προσανατολισμού με κατεύθυνση Β-Ν, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορούν να τοποθετηθούν και στις δύο πλευρές της στέγης, τα οποία βλέπουν ανατολικά και δυτικά. Σε αυτή την περίπτωση εγκατάστασης φωτοβολταϊκού θερμοκηπίου, η σκίαση από τα εγκατεστημένα πλαίσια «κινείται» κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποφεύγοντας τη μόνιμη σκίαση των φυτών και επιτυγχάνοντας σχεδόν τον ίδιο φωτισμό των φυτών, με αποτέλεσμα μια αποτελεσματική καλλιέργεια (Tripanagnostopoulos et al, 2018).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παρακολούθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του φωτισμού του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου, επιλέγοντας κατάλληλη θέση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Σε περίπτωση που απαιτείται χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία εντός του θερμοκηπίου, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προσανατολίζονται κάθετα στην ηλιακή διαδρομή και παρέχουν το μέγιστο σε σκίαση. Από την άλλη πλευρά, εάν απαιτείται μέγιστη ηλιακή πρόσληψη εντός του θερμοκηπίου, τα επίπεδο των πάνελ προσανατολίζονται παράλληλα με την διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας και απορροφούν ελάχιστη ενέργεια.



Εικόνα 3. Ενσωματωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 2,5 MW, σε στέγη θερμοκηπίου στο Montelimar της Γαλλίας

4. ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΠΙΠΕΡΙΑΣ

Η πιπεριά σήμερα καλλιεργείται σε πολλά μέρη του κόσμου, τόσο σε ανοιχτές καλλιέργειες όσο και υπό κάλυψη. Όσον αφορά τις υπό κάλυψη εκτάσεις στην Ευρώπη, αναφέρεται ότι στην Ολλανδία καλλιεργείται κυρίως σε υαλόφρακτα θερμοκήπια σε 5.000 στρέμματα το χρόνο, που παράγονται περίπου 23.000 τόνους προϊόντος με μέση απόδοση 4,6 τόνους/στρέμμα. Στην Ιταλία, η καλλιέργεια της πιπεριάς υπό κάλυψη (υαλόφρακτα θερμοκήπια, πλαστικά τούνελ, χαμηλά τούνελ) καταλαμβάνει 25.000 στρέμματα, με μέση απόδοση 3.500 τόνους/στρέμμα. Οι πρώην ανατολικές Ευρωπαϊκές χώρες εξήγαγαν το 1996 στις δυτικές χώρες, πάνω από 54.000 τόνους προϊόντος. Την πρώτη θέση παραγωγής και εξαγωγής κατέχει η Ουγγαρία και δευτερευόντως η Βουλγαρία και η Σλοβακία, οι οποίες τροφοδοτούν τις αγορές της Δυτικής Ευρώπης, του Καναδά και των ΗΠΑ. Η Ισπανία είναι χώρα που εξάγει τις μεγαλύτερες ποσότητες (376.793 τόνους το 1996) με δεύτερη την Ολλανδία (με 226.806 τόνους). Χώρες όπως η Τουρκία και η Ιορδανία εμφανίζονται με τις μεγαλύτερες εξαγωγές το 1996, με 29.632 τόνους και 13.234 τόνους αντίστοιχα. Η κατανάλωση πράσινης πιπεριάς στη Βορειοδυτική Ευρώπη είναι της τάξης των 430.000 τόνων, από τους οποίους περίπου το 1/3 παράγεται στην Ευρώπη υπό προστασία ενώ το υπόλοιπο ποσό παράγεται σε ανοιχτές καλλιέργειες στην Ιταλία, Γαλλία, Ισπανία και σε μικρότερο βαθμό εισάγεται από Ισραήλ, Βόρεια Αφρική και ΗΠΑ. Συγκεκριμένα η Γερμανία εισάγει τις μεγαλύτερες ποσότητες πιπεριάς (244.986 τόνους το 1996) και ακολουθούν η Γαλλία (με 75.827 τόνους), το Ηνωμένο Βασίλειο (57.819 τόνους), η Ιταλία (31.587 τόνους). Η πιπεριά *Capsicum annuum var. annuum* ανήκει στην Οικογένεια Solanaceae. Καλλιεργείται σήμερα σε μεγάλες εκτάσεις στις εύκρατες και τροπικές ζώνες, κυρίως για τον καρπό της. Ο οποίος χρησιμοποιείται σαν λαχανικό ή μπαχαρικό – καρύκευμα.

4.1. Βοτανικά χαρακτηριστικά Πιπεριάς

Η πιπεριά είναι φυτό μονοετές ή διετές, ποώδες, με κορμό και βλαστούς, διακλαδίζεται και έχει την τάση να αναπτύσσεται προς τα πάνω. Οι βλαστοί είναι ελαφρά ξυλώδης στη βάση, χωρίς επεμβάσεις αναπτύσσονται σε ύψος 30–80cm, είναι εύθραυστοι και με το βάρος της καρποφορίας πολλές φορές σπάζουν. Αρχικά το φυτό αναπτύσσεται μονοστέλεχο, σχηματίζει κορμό (κύριο βλαστό), και στη συνέχεια διακλαδίζεται και σχηματίζει δύο και σπανιότερα τρεις βλαστούς (βλαστοί πρώτης τάξης). Μεταξύ των δύο αυτών βλαστών σχηματίζεται ο πρώτος οφθαλμός – άνθος που θα δώσει τον πρώτο καρπό. Ο οφθαλμός αυτός λέγεται βασικός οφθαλμός (crown bud). Κάθε βλαστός 1ης τάξης, μετά την παραγωγή ενός ή δύο φύλλων, διακλαδίζεται και δίνει δύο βλαστούς (βλαστοί 2ης τάξης), που στη διακλάδωση τους, φέρουν ανθοφόρους οφθαλμούς. Η ανάπτυξη συνεχίζεται με τον ίδιο τρόπο δηλαδή κάθε καινούργιος βλαστός διακλαδίζεται και στη διακλάδωση σχηματίζεται οφθαλμός που θα δώσει καρπό. Με τον τρόπο αυτό, αναπτύσσεται το φυτό (χωρίς επεμβάσεις) και παίρνει θαμνώδη μορφή. Τα φύλλα είναι απλά, λεπτά, ελλειπτικά, οξύληκτα, ακέραια με πράσινο χρώμα στην άνω επιφάνεια και πιο ανοιχτό πράσινο χρώμα

στην κάτω επιφάνεια. Ο μίσχος των φύλλων έχει μήκος 3-5cm. Η ρίζα είναι πασσαλώδης και φτάνει σε βάθος 90-120cm. Το φυτό έχει την ικανότητα να αναπτύσσει δυνατή κεντρική ρίζα, αλλά συνήθως αυτή κόβεται ή σταματά να αναπτύσσεται μετά τη φύτευση και δημιουργούνται πλευρικές διακλαδιζόμενες ρίζες που φτάνουν σε ανάλογο βάθος. Τα άνθη είναι μονήρη στις διακλαδώσεις των βλαστών και φέρουν μίσχο με 1,5cm μήκος. Φέρουν κωδωνοειδή κάλυκα με 5 ή περισσότερα οδοντωτά σέπαλα, που συνήθως μεγαλώνουν και περιβάλλουν την βάση του άνθους. Έχουν στεφάνη διαμέτρου 8-15mm με 5 ή περισσότερα πέταλα, που είναι συνήθως λευκά ή λευκοπράσινα. Φέρουν 5 ή περισσότερους στήμονες που βρίσκονται κοντά στη βάση της στεφάνης. Οι ανθήρες έχουν ιώδη απόχρωση και σκίζονται κατά μήκος. Η ωοθήκη είναι δίχωρη ή τριχωρη ή τετράχωρη και φέρει στύλο που είναι απλός άσπρος ή ιώδης. Τα άνθη είναι ερμαφρόδιτα, αυτογονιμοποιούμενα και μερικώς σταυρογονιμοποιούμενα. Είναι φυτό ουδέτερο στο φωτοπεριοδισμό δηλαδή για να σχηματιστούν και να εμφανιστούν τα άνθη, δεν επηρεάζονται σημαντικά από το μήκος της ημέρας. Στα άνθη της πιπεριάς, η ωρίμανση του στίγματος και των ανθέρων είναι ταυτόχρονη, η επικονίαση και η γονιμοποίηση γίνεται μετά το άνοιγμα του άνθους. Το άνθος παραμένει ανοιχτό για 2-3 ημέρες. Η αυτογονιμοποίηση ευνοείται γιατί ο ποδίσκος κύρτεται ώστε το άνθος να βλέπει προς τα κάτω, και έτσι πιο εύκολα η γύρη πέφτει πάνω στο στίγμα. Όσον αφορά την σταυρογονιμοποίηση τα έντομα και τα μυρμήγκια μπορεί να προκαλέσουν κάποια σταυρογονομοποίηση, αλλά είναι γνωστό πως τα άνθη της πιπεριάς δεν ελκύουν τις μέλισσες και τα έντομα. Όμως αν επιδιώκουμε την παραγωγή σπόρου θα πρέπει να λάβουμε μέτρα ώστε διαφορετικές ποικιλίες να μην φυτεύονται κοντά σε απόσταση 350-500m. Επίσης στα θερμοκήπια τοποθετείται σίτα, ώστε να εμποδίζεται η είσοδος των εντόμων. Ο καρπός είναι σαρκώδη ράγα ποικίλου σχήματος με ομφαλό στην κορυφή, υποβαστάζεται από έναν ποδίσκο λίγο ως πολύ μακρύ και εμφανίζεται όρθιος ή κυρτός προς τα κάτω. Είναι πολύχωρος και πολύσπερμος και φέρει κοιλότητα μεταξύ του πλακούντα και των τοιχωμάτων του καρπού. Αρχικά το χρώμα του είναι πράσινο ή πρασινοιώδες, και όταν ωριμάσει χρωματίζεται ερυθρός, καστανέρυθρος, κίτρινος, κιτρινοπράσινος, πορτοκαλί ή ιώδες. Το χρώμα του καρπού οφείλεται σε μείγμα καροτινοειδών, με κυριότερη ουσία την καψανθίνη (C40 H38 O3) και σε μικρότερο βαθμό στα α και β καροτίνη, ξανθοφύλλη, ζεαξανθίνη, κρυπτοφάνη.

4.2. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες

Η καλλιέργεια της πιπεριάς είναι αποδοτική μόνο σε περιβάλλον με ήπιο κλίμα, δεδομένου ότι πρόκειται για φυτό ευπαθές στο ψύχος, δηλαδή σε θερμοκρασίες κάτω από 12oC περίπου. Για ικανοποιητική εκμετάλλευση του παραγωγικού δυναμικού του φυτού απαιτείται μακρά βλαστική περίοδος με ευνοϊκές θερμοκρασίες, δεδομένου ότι τα φυτά των πρώιμων ποικιλιών αρχίζουν να συγκομίζονται περίπου 3-4 μήνες μετά τη σπορά και των όψιμων ποικιλιών μετά από 4-5 μήνες, ενώ η περίοδος των διαδοχικών συγκομιδών συνεχίζεται για πολλές εβδομάδες, εφόσον οι συνθήκες περιβάλλοντος ευνοούν την αύξηση και ανάπτυξη του φυτού. Άριστη αύξηση και ανάπτυξη της πιπεριάς επιτυγχάνεται

σε θερμοκρασίες ημέρας 20-25°C και νύχτας 16-20°C. Όταν η θερμοκρασία νύχτας ξεπερνά τους 20°C η καρπόδεση είναι φτωχή. Σε θερμοκρασίες κάτω από 15-16°C και πάνω από 30-32°C είτε δεν γονιμοποιούνται τα άνθη λόγω έλλειψης της γύρης, είτε απορρίπτονται οι νεαροί καρποί λόγω θερμικής καταπόνησης του φυτού. Άριστες θερμοκρασίες για επικονίαση είναι 20-25°C. Βρέθηκε πως τα είδη ή και οι ποικιλίες που παράγουν καυτερούς καρπούς αντέχουν περισσότερο σε υψηλές θερμοκρασίες και ίσως ορισμένες ευνοούνται από αυτές. Στις ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος περισσότερο ευαίσθητες είναι οι μεγαλόκαρπες ποικιλίες, οι οποίες παράγουν τότε παραμορφωμένους καρπούς λόγω ελλιπούς γονιμοποίησης. Σε χαμηλές θερμοκρασίες υποβαθμίζεται η γεύση και το άρωμα των παραγόμενων καρπών. Σύμφωνα με ορισμένα πειραματικά δεδομένα, οι άριστες θερμοκρασίες για την σύνθεση των ερυθρών χρωστικών ουσιών και γι' αυτό οι καρποί που ωριμάζουν αργά το φθινόπωρο (Οκτώβριο στην Β. Ελλάδα) έχουν φτωχό χρώμα. Για την σύνθεση των ερυθρών χρωστικών δεν απαιτείται φως. Η ελάχιστη θερμοκρασία για τη βλάστηση του σπόρου είναι 15°C και η άριστη 25-30°C. Είναι φωτοπεριοδικά ουδέτερο φυτό. Η **πιπεριά** ευδοκίμει σε αμμώδη και πηλώδη εδάφη, πλούσια σε οργανική ουσία. Άριστη τιμή pH ανάπτυξης είναι από 5,5-6,8, ενώ τα αργιλώδη εδάφη είναι ακατάλληλα για την καλλιέργειά της. Σε εδάφη με χαμηλή γονιμότητα, η ποιότητα των παραγόμενων καρπών είναι υποβαθμισμένη, ιδιαίτερα όσον αφορά το χρώμα. Η ανάπτυξη του φυτού είναι φτωχή σε αλατούχα εδάφη, καθώς και σε εκείνα με ανεπαρκή στράγγιση.

4.3. Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Πιπεριάς

Ο πολλαπλασιασμός της **πιπεριάς** 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 εμβάπτισή τους σε ζεστό νερό θερμοκρασίας 50°C για 25 λεπτά. Η πιπεριά 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 ανάπτυξή τους. Το σπορείο μπορεί να είναι ανοιχτό, όταν πρόκειται να γίνει όψιμη υπαίθρια καλλιέργεια ή μέσα σε θερμοκήπιο για παραγωγή σπορόφυτων μέσα στο χειμώνα και μεταφύτευση νωρίς την άνοιξη στην υπαίθρια καλλιέργεια. Ο πολλαπλασιασμός ξεκινάει με σπορά σε αλιές (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. Δηλαδή οι σπόροι στρωματώνονται σε κιβώτια σποράς (ξύλινα ή από φελιζόλ) και στη συνέχεια μεταφυτεύονται στο στάδιο της έκπτυξης των 2 κοτυληδονόφυλλων σε ατομικά γλαστράκια. Κατά την πρώτη μεταφύτευση τα φυτά πρέπει να διατηρούν όσο το δυνατόν περισσότερο ριζικό σύστημα. Ακολουθώ στο στάδιο των 5-6

πραγματικών φύλλων μεταφυτεύονται στις τελικές θέσεις. 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 δύο σοβαρότερα προβλήματα που παρατηρούνται στην ανάπτυξη των νεαρών σπορόφυτων 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 1 gr είναι περίπου 150-200. Για να προκύψουν φυτά που θα καλύψουν καλλιέργεια 1 στρέμματος, θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν 20-30gr σπόρου και έκταση σπορείου 10m². Το βάθος σποράς δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1cm. Οι σπόροι διατηρούν τη φυτρωτική τους ικανότητα για 5 περίπου χρόνια και κατάλληλες θερμοκρασίες για σπορά είναι 20-25°C. Οι ποικιλίες της πιπεριάς που είναι οι πιο διαδεδομένες εδώ στη χώρα μας είναι η Φλωρίνης καθώς και η Καυτερή Μακεδονίας. Υπάρχουν ποικιλίες που ενδείκνυνται για καλλιέργεια πιπεριάς κλειστού τύπου, άλλες για ανοικτού τύπου, ενώ οι περισσότερες ποικιλίες που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην αγορά θεωρούνται κατάλληλες και για τους δύο τύπους καλλιεργειών. Η πιπεριά η οποία καλλιεργείται στην περιοχή μας και κυρίως στην Κυπαρισσία που καλλιεργούνται εκατοντάδες στρέμματα σε θερμοκήπια είναι η ποικιλία California Wonder ύψους 60-70 cm με τετράγωνους καρπούς και στις περισσότερες περιπτώσεις τετράλοβους. Στο άγουρο στάδιο έχουν σκούρο πράσινο χρώμα, ενώ κατά την ωρίμανση τους κόκκινο. Πρώτη συγκομιδή μετά την μεταφύτευση 75 ημέρες.

Είναι μια παραγωγική ποικιλία, ανθεκτική στο μωσαϊκό του καπνού στις υδρωμηκώσεις και στις τραχειομυκώσεις και σε ασθένειες που προκαλούνται από τα υψηλά επίπεδα υγρασίας μέσα στα θερμοκήπια όπως ο βοτρυτής. Στην περιοχή μας το κλίμα είναι αρκετά υγρό, γεγονός που κάνει την ποικιλία κατάλληλη καθώς η απόδοσή της είναι ικανοποιητική. Τέλος, η California Wonder έχει μεγάλο κύκλο καλλιέργειας και σχετικά μικρό χρονικό διάστημα πρώτης συγκομιδής μετά την μεταφύτευση και από συγκομιδή σε συγκομιδή. Συγκριτικά η California Wonder σε σχέση με τις άλλες ποικιλίες είναι πιο ανθεκτική σε ασθένειες που σχετίζονται με την υγρασία, είναι η πιο παραγωγική, έχει τις λιγότερες ημέρες αναμονής από συγκομιδή σε συγκομιδή και τα φυτά της συγκεκριμένης ποικιλίας έχουν πιο χονδρό κορμό από τις άλλες ποικιλίες κάτι που την κάνει πιο εύκολη στην καλλιέργεια της. Τέλος, η California Wonder είναι η καταλληλότερη ποικιλία για θερμοκηπιακή καλλιέργεια ενώ οι άλλες προτείνονται κυρίως για υπαίθρια καλλιέργεια.

4.4. Εχθροί και Ασθένειες

Η πιπεριά είναι φυτό ευαίσθητο και επιρρεπές σε ασθένειες και κυρίως μυκητολογικής φύσεως. Ο βοτρυτής, ο περονόσπορος, η ανθράκωση, το ωΐδιο και η σκληροτίνια θεωρούνται οι πιο συχνές και άκρως επικίνδυνες ασθένειες. Η πιπεριά όπως συμβαίνει με τα περισσότερα κηπευτικά, προσβάλλεται από πολλούς εχθρούς όπως τα έντομα εδάφους (αγρότιδες, κρεμμυδοφάγους) τους νηματώδεις, τη λιριόμυζα, το ακάρι, αργύρωσης και τους τετράνυχους.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. Παραγωγή Σπορόφυτων Πιπεριάς

Για την παραγωγή σποροφύτων πιπεριάς, χρησιμοποιήθηκε σπόρος της ποικιλίας *California Wonder* και έγιναν τεχνικές εγγενούς αναπαραγωγής των σπορόφυτων σε θερμοκήπιο-σπορείο. Η ποικιλία, *California Wonder* είναι ποικιλία μέσης πρωιμότητας. Το φυτό είναι ζωηρό και αναπτύσσεται προς τα άνω, σε ύψος 70-80cm, εφόσον δεν υποστρωθεί και κλαδευτεί. Ο καρπός είναι τρίλοβος-τετράλοβος διαστάσεων 10*9cm, τετράγωνος με χοντρά τοιχώματα, αντέχει στη μεταφορά και χρησιμοποιείται για νωπή κατανάλωση και μεταποίηση. Χρησιμοποιήθηκαν γλαράκια με φυτόχωμα στα οποία είχε προηγηθεί απολύμανση του φυτοχώματος (με το φυτοπροστατευτικό previcur) και έγινε φύτευση των σπόρων σε βάθος 4 cm και ελαφρύ πότισμα ταυτόχρονα. Σε σταθερή θερμοκρασία σπορείου 25 °C μετά από 9 ημέρες φύτρωσαν οι σπόροι και σε σύνολο 50 ημερών τα τελικά σπορόφυτα έτοιμα για μεταφύτευση στο θερμοκήπιο. Για τις 50 ημέρες παραγωγής των σποροφύτων γίνονταν καθημερινοί έλεγχοι υγρασίας, 3 λιπάνσεις κάθε 15 ημέρες με φωσφορούχα σκευάσματα και χρησιμοποιήθηκε το σκεύασμα Maxicrop για ενίσχυση ριζοβολίας. Την ημέρα της φύτευσης των σποροφύτων στο θερμοκήπιο πραγματοποιήθηκε ένας ψεκασμός με Mancozeb φυτοπροστατευτικό σκεύασμα για πρόληψη μυκητολογικών ασθενειών.

5.2. 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 με και χωρίς PVs panel επί της οροφής αντίστοιχα (PV θερμοκήπιο και θερμοκήπιο αναφοράς). Τα θερμοκήπια έχουν προσανατολισμό Α-Δ, με το ηλιακό σύστημα να είναι στραμμένο προς τον Νότο. Χρησιμοποιήθηκε σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης αποτελούμενο από 4 λαμπτήρες με ανακλαστήρες (1kW συνολικής ενεργείας, 50° γωνία δέσμης) τοποθετημένους εσωτερικά στις γωνίες του θερμοκηπίου και σε ύψος 1m πάνω από τα φυτά (Εικόνα 4α). 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 Αρ είναι ίση με 4.26 m², η επιφάνεια καλύμματος του θερμοκηπίου είναι Αc = 14.05 m² και ο όγκος του θερμοκηπίου είναι V = 5.33 m³. Πολύ κοντά στα θερμοκήπια είναι εγκατεστημένος αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός (ΑΜΣ) για παρακολούθηση των συνθηκών του κλίματος στην περιοχή των θερμοκηπίων κοντά (Εικόνα 3β)

Στην οροφή του ενός θερμοκηπίου είναι τοποθετημένα δυο φωτοβολταικά πλαίσια PVs πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si), $0,4 \text{ m}^2$ έκαστο, καλύπτοντας συνολικά $0,8 \text{ m}^2$ επιφάνεια οροφής. Δύο (2) Θερμοζεύγη T,(Cu-Ni) είναι συνδεδεμένα στην εμπρός και την πίσω επιφάνεια του PV για μέτρηση της θερμοκρασίας του. Ένα πυρανόμετρο είναι τοποθετημένο κάθετα στο PV για να μετρά την προσπίπτουσα σε αυτό ηλιακή ακτινοβολία (Εικόνα 4β). Συνεπώς, μετρώντας την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, υπολογίζεται η ενεργειακή απόδοση της εγκατάστασης.



Εικόνα 4α. Η πειραματική διάταξη μαζί με την καλλιέργειας πιπεριάς



Εικόνα 4β. Τα πειραματικά θερμοκήπια και ο Μετεωρολογικός σταθμός.

Ως πειραματική καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε η πιπεριά (*California Wonder*). Τα φυτά καλλιεργήθηκαν στο έδαφος. Σε κάθε θερμοκήπιο φυτεύτηκαν 16 νεαρά φυτώρια πιπεριάς σχηματίζοντας τέσσερις σειρές τεσσάρων φυτών το καθένα και οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 36 cm x 24 cm. (φυτό με φυτό x γραμμή κατά γραμμή). Στα παραγωγικά (εμπορικά) θερμοκήπια οι αποστάσεις φύτευσης είναι 30-50 cm μεταξύ των φυτών επί της γραμμής και 50-100 cm μεταξύ των γραμμών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εγκαθίστανται 3-5 χιλιάδες φυτά ανά στρέμμα καλλιέργειας. Στην περίπτωση των δυο μικρών ερευνητικών θερμοκηπίων η φύτευση έγινε πολύ πυκνή (κατά αναλογία 8.000 φυτά ανά στρέμμα) και ο λόγος ήταν ότι χρειαζόμασταν έναν ικανοποιητικό αριθμό φυτών (16 ανά θερμοκήπιο) ώστε να εξάγουμε ασφαλή αποτελέσματα.

Χρησιμοποιήθηκε σύστημα στάγδην άρδευσης (Εικόνα 5). 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 περιμέτρος και το μήκος των καρπών πιπεριάς μετρήθηκαν μετά την λήξη της καλλιέργειας.



Εικόνα 5. Νεαρά φυτά πιπεριάς. Διακρίνεται το σύστημα άρδευσης

5.3. 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 6α & 6β).



Εικόνα 6α. Νεαρά φυτά πιπεριάς στο συμβατικό θερμοκήπιο. Διακρίνονται οι αισθητήρες Θερμοκρασίας-υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και PAR

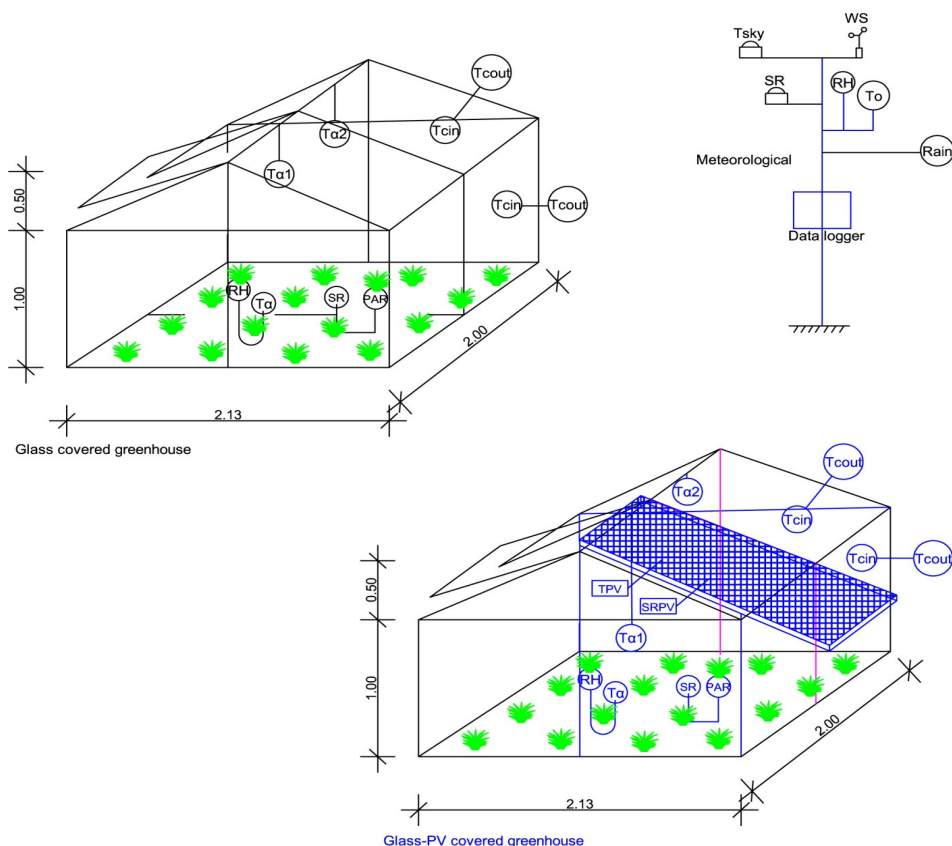


Εικόνα 6β. Νεαρά φυτά μελιτζάνας στο φωτοβολταϊκό θερμοκήπιο. Διακρίνονται οι αισθητήρες Θερμοκρασίας-υγρασίας, ηλιακής ακτινοβολίας και PAR

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 7).

Για (3) μήνες περίοδο λειτουργίας (Φεβρουάριος-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 πιπεριάς που είναι $T_p = 17 \pm 1^\circ\text{C}$. Το σύστημα θέρμανσης τίθεται σε λειτουργία όταν η θερμοκρασία αναφοράς πέσει κάτω από 16°C και κλείνει όταν ξεπεράσει τους 18°C (Εικόνα 8).



Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση των πειραματικών θερμοκηπίων και του Μετεωρολογικού σταθμού



Εικόνα 8. Τα πειραματικά θερμοκήπια, κατά την διάρκεια της 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/m² 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 αντίληψης 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 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-κονσταντάνης), διαμέτρου 0.5 mm και διαμέτρου 0.2 mm, με θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -180-400 °C

5.4. 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/m² και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -30 έως 70°C. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε Wm⁻².

Πυργέομετρο (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

Το 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 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 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. 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.

5.5. Πειραματική διαδικασία συγκομιδής καλλιέργειας

Πραγματοποιήθηκαν 3 συγκομιδές από 26/04/2017 – 10/05/2017. 1η συγκομιδή: 26/04/2017, 2η συγκομιδή: 03/05/2017, 3η συγκομιδή: 10/05/2017 . Κατά την διαδικασία συγκομιδής έλαβαν χώρα τα ακόλουθα: Κόπηκαν οι καρποί από κάθε φυτό πιπεριάς από τα δυο θερμοκήπια και τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες στις οποίες αναγράφονταν το «όνομα» του κάθε φυτού και έγινε μεταφορά τους στο εργαστήριο για την 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 και πραγματοποιήθηκε έλεγχος για στίγματα σε κάθε καρπό. Έγινε ζύγιση ολοκλήρου του καρπού για τον προσδιορισμό του νωπού βάρους της κάθε πιπεριάς και διεξήχθησαν μετρήσεις της περιμέτρου και του ύψους του κάθε καρπού, καθώς και το πάχος φλοιού του καρπού της κάθε πιπεριάς. Τέλος κάθε πιπεριά τοποθετήθηκε σε ταψάκια αφού πρώτα είχαν αναγραφθεί σε αυτά το όνομα του θερμοκηπίου και του φυτού όπου πάρθηκε ο καρπός. Τα ταψάκια τοποθετήθηκαν στο πυριαντήριο στους 70 °C για την ξήρανση των καρπών (Εικόνα 9).

Αμέσως μετά την ξήρανση διενεργήθηκε η διαδικασία αλέσματος των καρπών. Αρχικά η κάθε αποξηραμένη πιπεριά 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 χιλιοστού και το τελικό προϊόν τοποθετούταν σε μικρές πλαστικές αυτοσφράγιστες 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 πιπεριάς.



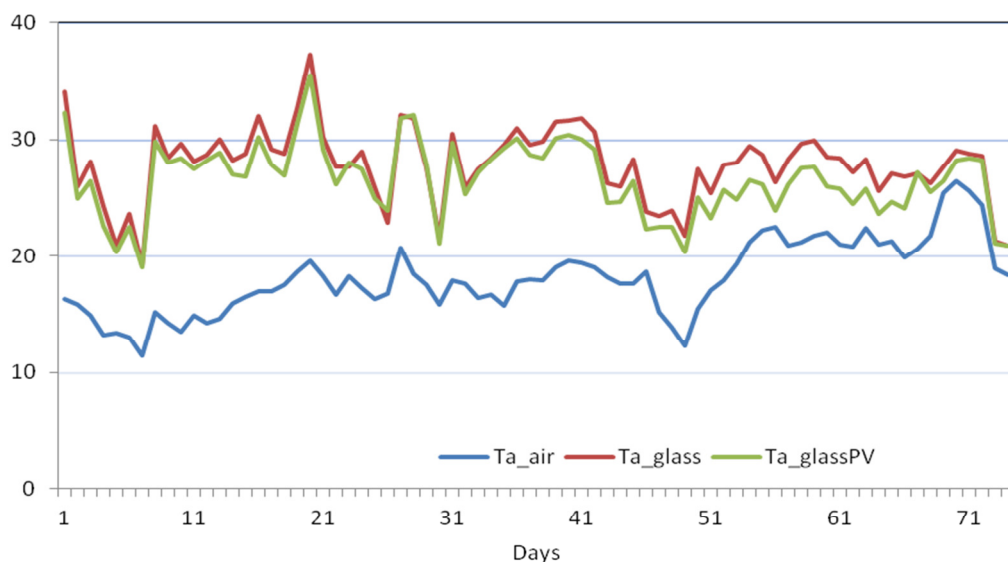
Εικόνα 9. Μετασυλλεκτικοί χειρισμοί καρπών πιπεριάς για τον προσδιορισμό των δεικτών ανάπτυξης

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα από την παράλληλη λειτουργία των δύο θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια των 90 ημερών (10/2/ - 10/05, 2017) της καλλιεργητικής περιόδου. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή όπου βρίσκονται τα θερμοκήπια λίγες φορές απαίτησαν θέρμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επομένως, μέρος της εργασίας επικεντρώθηκε εκτός από την ημερήσια και στη νυχτερινή θέρμανση, για την οποία συλλέχθηκαν σημαντικές μετρήσεις και παρατηρήσεις για την ενεργειακή συμπεριφορά των πειραματικών θερμοκηπίων με την χρήση Υπέρυθρης Θέρμανσης.

6.1. Αποτελέσματα Ηλιακής Ακτινοβολίας & Θερμοκρασίας

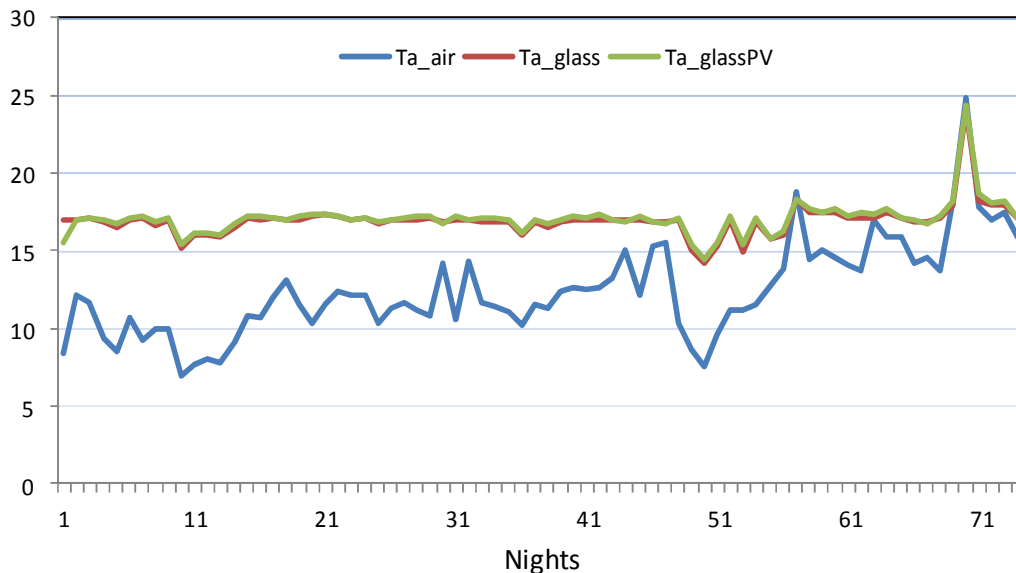
Στο διάγραμμα 1 παρουσιάζεται η εξέλιξη της ημερήσιας θερμοκρασίας στα πειραματικά θερμοκήπια και πιο συγκεκριμένα του εξωτερικού περιβάλλοντος (T_{a_air}), του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου με τα φωτοβολταϊκά ($T_{a_glassPV}$) και του θερμοκηπίου αναφοράς (T_{a_glass}). Το διάγραμμα δείχνει ότι, η θερμοκρασία στο εσωτερικό των δυο θερμοκηπίων είναι σχεδόν στο ίδιο επίπεδο με ελαφρώς υψηλότερες τιμές μέσα στο θερμοκήπιο αναφοράς. Η διαφορά που παρατηρείται οφείλεται στην προκαλούμενη σκίαση από το Φωτοβολταϊκό πάνελ και στον υφιστάμενο εξαερισμό στα δυο θερμοκήπια καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος που είχε ως αποτέλεσμα την συνεχή ανανέωση του αέρα.



Διάγραμμα 1. Διακύμανση των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών περιβάλλοντος και του εσωτερικού αέρα των θερμοκηπίων.

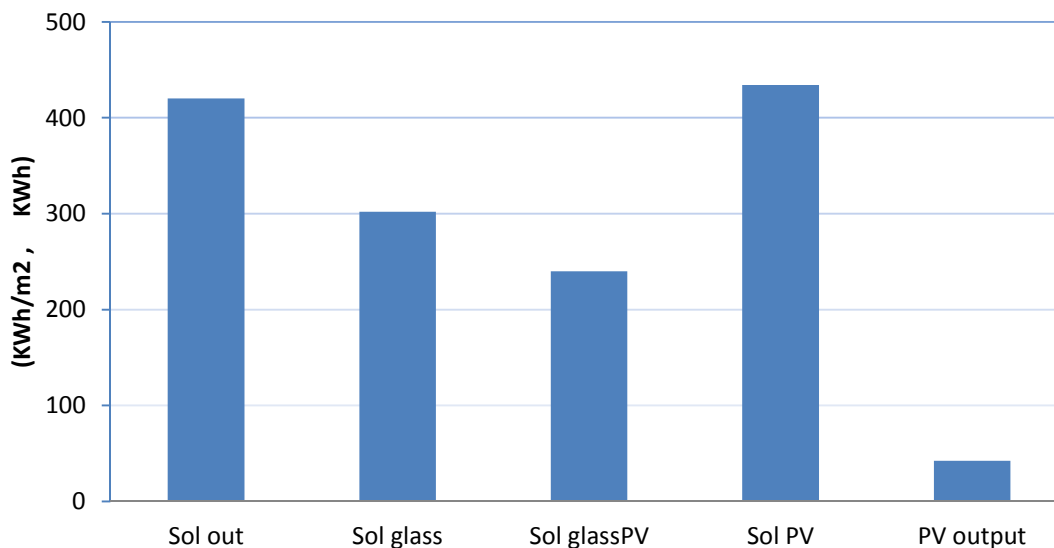
Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η εξέλιξη της νυχτερινής θερμοκρασίας στα πειραματικά θερμοκήπια που είναι εφοδιασμένα με υπέρυθρη θέρμανση και πιο συγκεκριμένα του εξωτερικού περιβάλλοντος (T_{a_air}), του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου με τα φωτοβολταϊκά ($T_{a_glassPV}$) και του θερμοκηπίου αναφοράς (T_{a_glass}). Παρατηρούμε ότι

οι θερμοκρασίες του εσωτερικού αέρα είναι στα ίδια επίπεδα και στα δυο θερμοκήπια. Η θερμοκρασία του αέρα των θερμοκηπίων είναι χαμηλότερη 2-3 °C από τη θερμοκρασία των φυτών, δημιουργώντας ένα τοπικό περιβάλλον στον φυτικό θόλο (τοπικό κλίμα) σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Διάγραμμα 2. Διακύμανση των μέσω νυκτερινών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και του εσωτερικού αέρα των πειραματικών θερμοκηπίων.

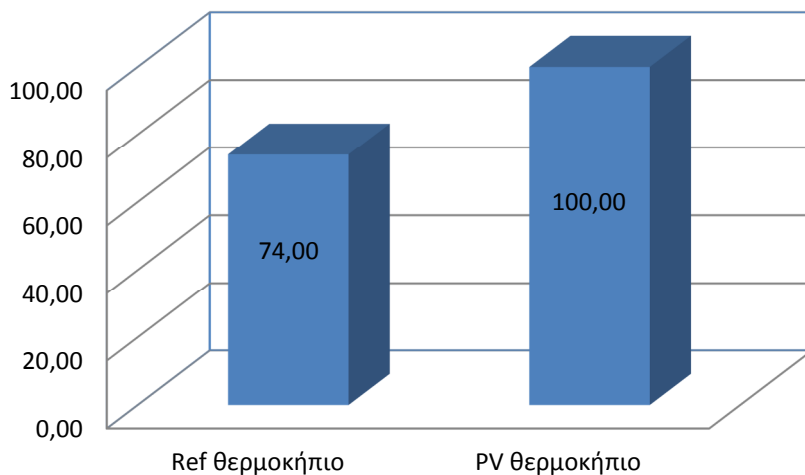
Στο διάγραμμα 3 παρουσιάζονται τα αθροιστικά αποτελέσματα προσπίπτουσας (Sol out) και εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας στα πειραματικά θερμοκήπια (Sol glass, Sol glassPV) καθώς και στα φωτοβολταϊκά πλαίσια (PVs). Παρατηρούμε ότι οι τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου αναφοράς και του θερμοκηπίου με φωτοβολταϊκά πάνελ είναι χαμηλότερες από την προσπίπτουσα ακτινοβολία αντίστοιχα, λόγω της αντανάκλασης και απορρόφησης από το κάλυμμα του θερμοκηπίου. Με βάση τα συνολικά καταγεγραμμένα δεδομένα για την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση παράγει ηλεκτρική ενέργεια με απόδοση περίπου 12,5%.



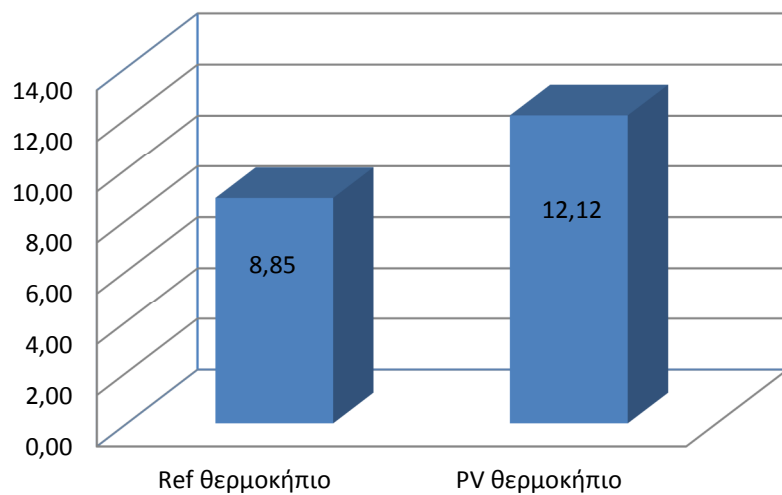
Διάγραμμα 3: Προσπίπτουσα και Εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια στα πειραματικά θερμοκήπια και στα PVs πλαίσια

6.2. Αποτελέσματα απόδοσης παραγωγής

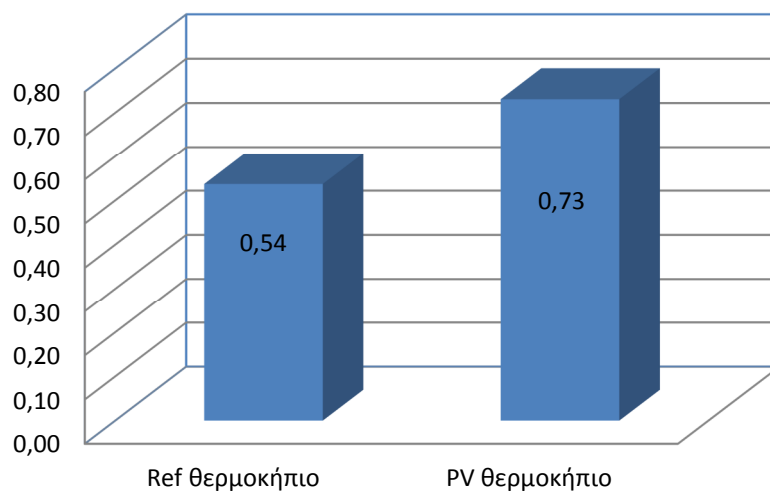
Στα διαγράμματα 3α, 3β και 3γ παρουσιάζονται επιμέρους αποτελέσματα που αφορούν τους δείκτες ανάπτυξης των παραγόμενων καρπών ανά θερμοκήπιο και πιο συγκεκριμένα τον αριθμό, το συνολικό βάρος και το ξηρό βάρος των παραγόμενων καρπών. Ειδικότερα, όπως παρατηρείται στο συνολικό συγκριτικό διάγραμμα 3, τα αποτελέσματα δείχνουν σημαντική αύξηση της συνολικής παραγωγής καρπών στο PV θερμοκήπιο. Το θερμοκήπιο που δέχεται σκίαση παράγει μεγαλύτερο αριθμό καρπών με αποτέλεσμα το συνολικό βάρος των παραγόμενων καρπών να είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που παράγεται στα θερμοκήπιο αναφοράς



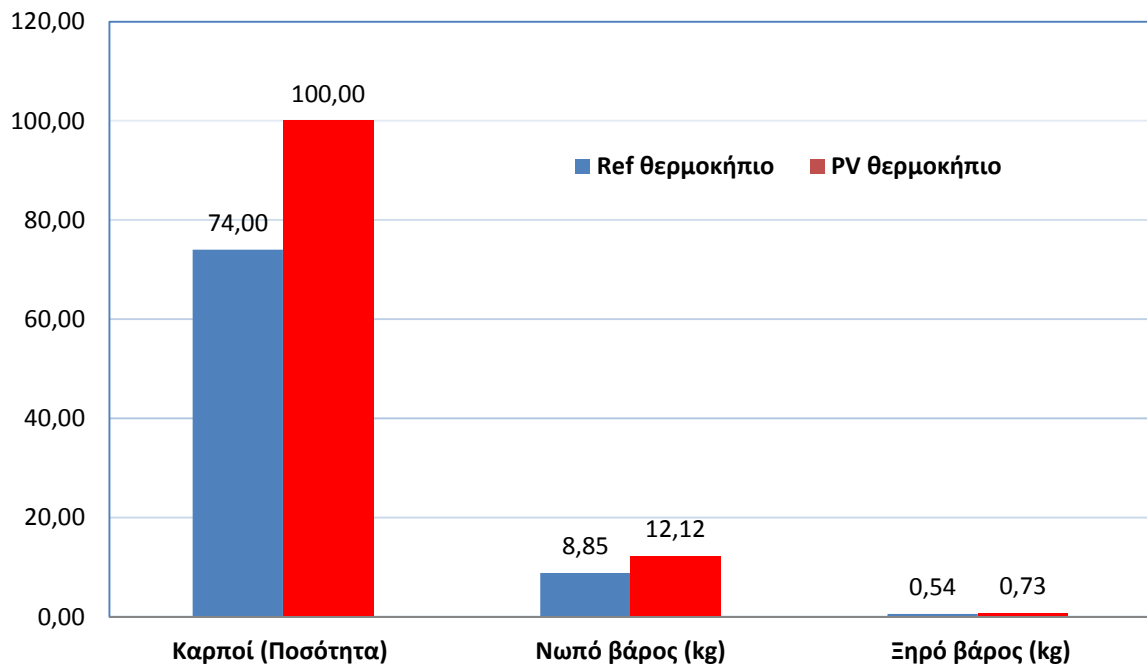
Διάγραμμα 3α: Απόδοση παραγωγής (καρποί πιπεριάς)



Διάγραμμα 3β: Συνολικό νωπό βάρος (gr)

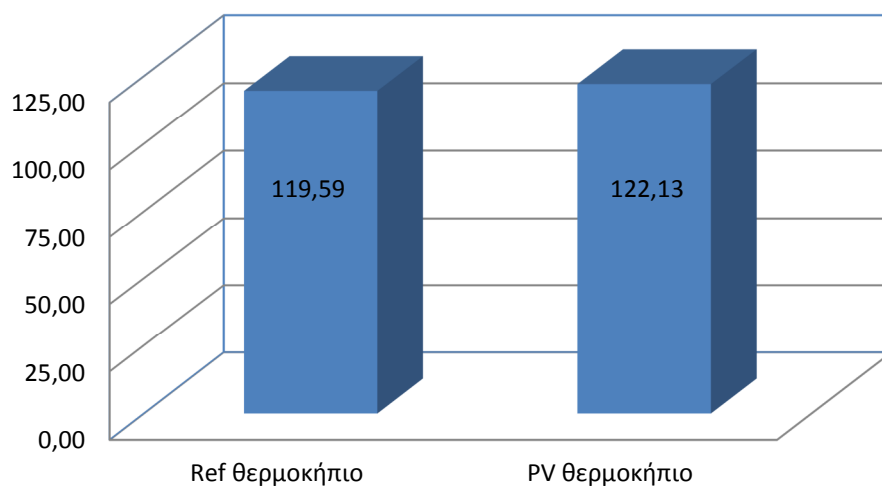


Διάγραμμα 3γ: Συνολικό ξηρό βάρος (gr)

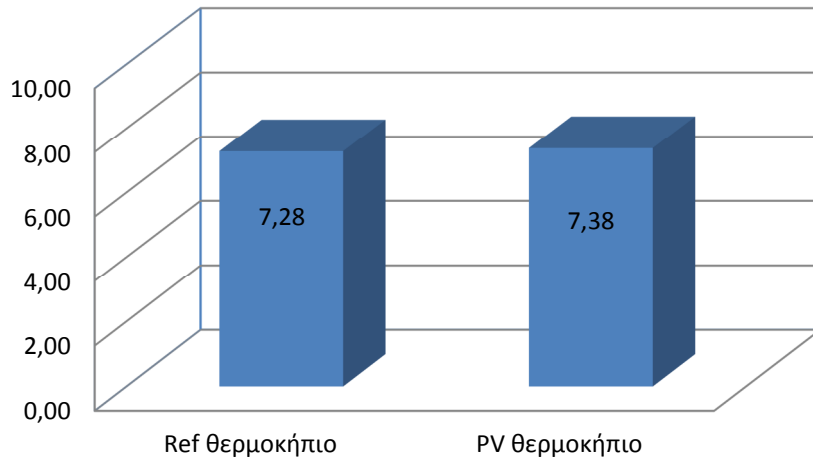


Διάγραμμα 3. Ποσοτική απόδοση πειραματικών θερμοκηπίων.

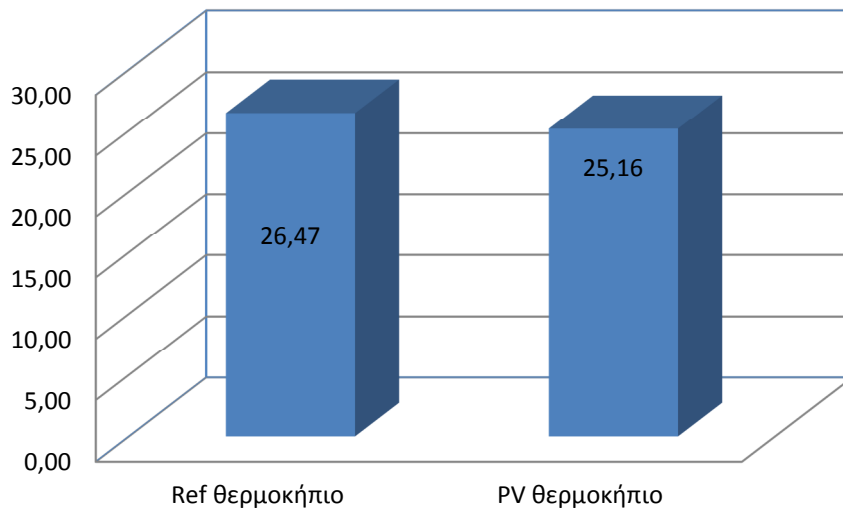
Στο διάγραμμα 4α, 4β, 4γ, 4δ, 4ε, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεικτών ανάπτυξης (ποσοτικά χαρακτηριστικά) των παραγόμενων καρπών πιπεριάς από τα δύο θερμοκήπια, ήτοι το μέσο νωπό και ξηρό βάρος ανά καρπό, η μέση περίμετρος, το μέσο ύψος και το μέσο πάχος των καρπών πιπεριάς στα δύο θερμοκήπια με τις διαφορετικές μεταχειρίσεις σκίασης λόγω των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Παρατηρούνται παρόμοιες μέσες τιμές στα ποσοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Επίσης οι καρποί που παρήχθησαν είναι οπτικά ομοιόμορφοι και στα δύο θερμοκήπια.



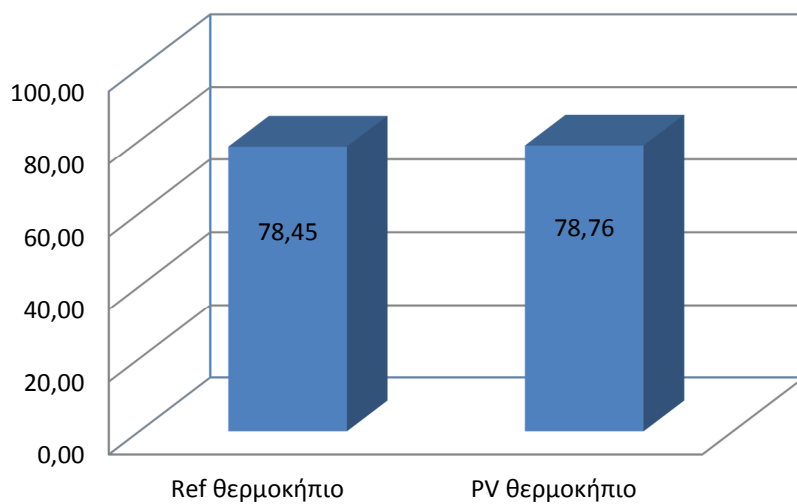
Διάγραμμα 4α: Μέσο νωπό βάρος καρπών (gr)



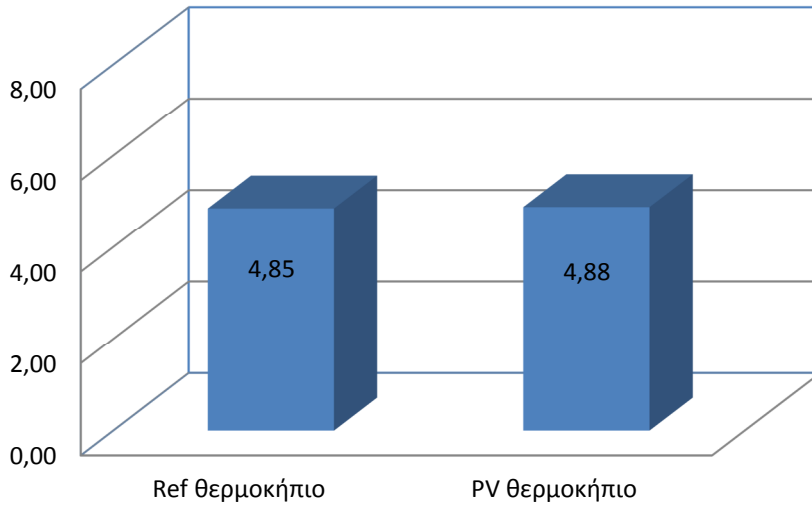
Διάγραμμα 4β: Μέσο ξηρό βάρος καρπών (gr)



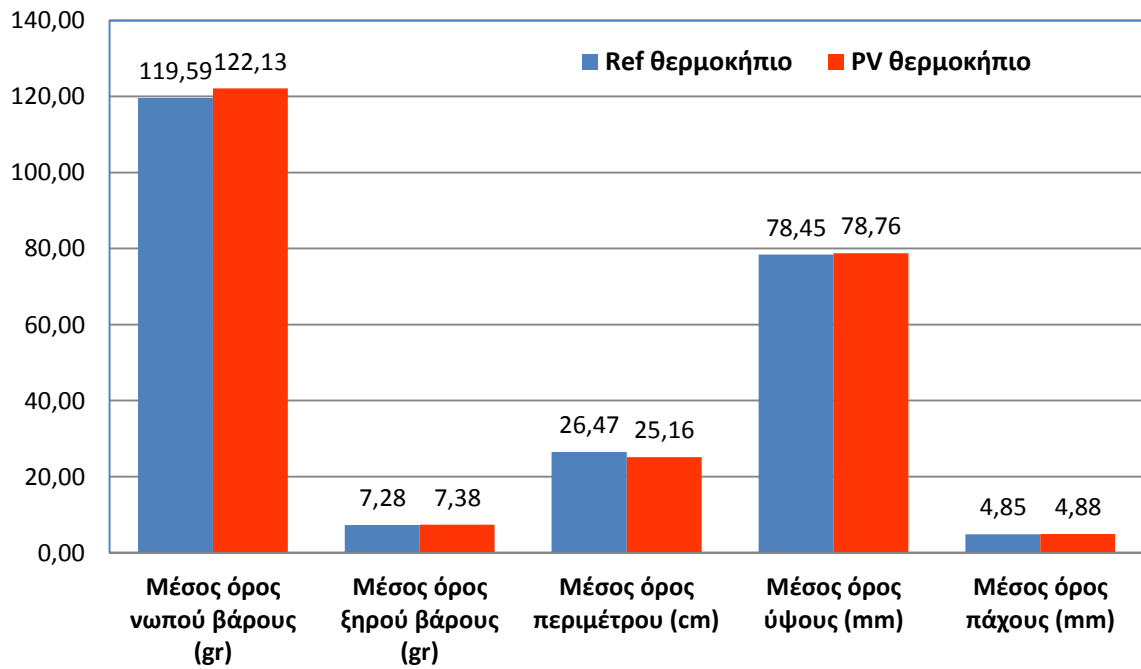
Διάγραμμα 4γ: Μέση περίμετρος καρπών (cm)



Διάγραμμα 4δ: Μέσο ύψος καρπών (cm)



Διάγραμμα 4ε: Μέσο πάχος καρπών (cm)



Διάγραμμα 4. Μέσες τιμές των δεικτών ανάπτυξης των καρπών πιπεριάς

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, συγκρίθηκαν δύο τύποι πειραματικών θερμοκηπίων το ένα με φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή και το άλλο ως θερμοκήπιο αναφοράς. Η εγκατάσταση PV panels τοποθετημένη στην οροφή πειραματικού θερμοκηπίου διερευνήθηκε σε σχέση:

- Με την επίδραση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου
- Με την διακύμανση των ημερήσιων και νυχτερινών θερμοκρασιών
- Με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και,
- Με την επίδραση της προκαλούμενης σκίασης στην ανάπτυξη των φυτών

Για ένα μικρό ποσοστό (~ 20%) κάλυψης της οροφής του θερμοκηπίου με Φωτοβολταϊκά πανελ, επιτυγχάνεται σημαντική ενεργειακή συμβολή στις ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου χωρίς σημαντικές επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών. Και στα δύο θερμοκήπια είναι εγκατεστημένη θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία. Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα ήταν στα ίδια επίπεδα και για τα δυο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Η νυχτερινή θερμοκρασία του αέρα των θερμοκηπίων είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία των φυτών, δημιουργώντας ένα τοπικό κλίμα στον φυτικό θόλο σύμφωνα με τις αρχές λειτουργίας της υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η απόδοση στην παραγωγή αυξήθηκε ελαφρώς στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού θερμοκηπίου ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές όσον αφορά τους δείκτες ανάπτυξης των καρπών πιπεριάς. Τα παραπάνω διερευνήθηκαν σε καθεστώς ήπιων σχετικά καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην ΝΔ Ελλάδα

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, η σκίαση έχει επηρεάσει μάλλον θετικά την παραγωγικότητα του φωτοβολταϊκού θερμοκηπίου, χωρίς να επηρεάζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών πιπεριάς. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η κάλυψη μόνο ενός μικρού ποσοστού (π.χ. 20%) της στέγης του θερμοκηπίου με φωτοβολταϊκά μπορεί να συμβάλει σημαντικά στις ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου χωρίς να μειώσει την ανάπτυξη των φυτών. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά της στέγης του θερμοκηπίου μπορεί να καλύψει ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας που χρειάζεται ένα θερμοκήπιο ή ακόμη και τις συνολικές ενεργειακές ανάγκες ενός χαμηλής ενέργειας θερμοκηπίου.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα θερμοκήπια μικρής κλίμακας έχουν κοινά χαρακτηριστικά με θερμοκήπια εμπορικής κλίμακας, τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται εδώ μπορούν να θεωρηθούν πολλά υποσχόμενα για περαιτέρω μελέτες σε θερμοκήπια μεγάλης κλίμακας. Θα ήταν σκόπιμο να διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα του πειραματικού και χαμηλής ενέργειας θερμοκηπίου σε ένα παραγωγικό θερμοκήπιο κηπευτικών 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>.

Cossu M., Murgia L., Ledda L., Deligios P.A., Sirigu A., Chessa F., and Pazzona A., 2014. Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity. *Applied Energy*, 133, 89-100.

De Pascale, S., and Maggio, A. (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, A. (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>

Emmott Ch.J.M., Roehr J.A., Campoy-Quiles m., Kirchartz Th., Urbina A., Ekins-ankes N.J., and Nelson J. , 2013.Organic photovoltaic greenhouses: a unique application for semi-transparent PV. *Energy Environ Sci.* 8, 1317-1328.

Fatnasi H., Poncet Ch., Bazzano M. M., Brun R., and Bertin N. 2015. A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate. *Solar Energy*, 120, 575-584.

Giacomelli, G., Sase, S., Cramer, R., Hoogeboom, J., MacKenzie, A., Parbst, K., Scarascia-Mugnozza, G., Selina, P., Sharp, D.A., Voogt, J.O., van Weel, P.A., Mears, D. (2012). Greenhouse production systems for people. *Acta Horticulturae* 927:23-38 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.1>.

Hassanien Reda Hassanien Emam, Li Ming, and Lin Wei Dong. 2016. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 989-1001.

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

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

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., 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., 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.

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.

Kittas, C., Karamanci, M., Katsoulas, N., 2005. Air temperature in a forced ventilation greenhouse with rose crop. *Energy Build.* 37, 807-812.

Kylili A., and Fokaides P. A. 2014. Investigation of building integrated photovoltaics potential in achieving the zero energy building target. *Indoor and Built Environment*, 23, 92-106.

Lamnatou Chr, and Chemisana D. 2013. Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: Fresnel lenses, NIR- and UV-blocking materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 271-287.

Marucci A., and Cappuccini A. Dynamic 2016. photovoltaic greenhouse: Energy efficiency in clear sky conditions. *Applied Energy*. 170, 362-376.

Marucci A., Monarca D., Cecchini M., Colantoni A., Manzo A., Cappuccini A. 2012. The Semitransparent Photovoltaic Films for Mediterranean Greenhouse: A New Sustainable Technology. *Mathematical Problems in Engineering* Volume. Article ID 451934.

Nayak S., and Tiwari G.N. 2008. Energy and Exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse. *Energy and Buildings* 40, 201-2021.

Perdigones, A., 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>.

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>.

Trypanagnostopoulos G., Kavga A., Souliotis M., and Tripanagnostopoulos Y., 2017. Contribution of roof installed photovoltaics to performance improvement of greenhouses. *Renewable Energy*, 111, 724-731

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>

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)

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.

Yano A., Furue A., Kadowaki M., Tanaka T., Hiraki E., Miyamoto M., and Ishizu F. Noda S. 2009. Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse. *Biosystems Engineering*, 103, 228-238.

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

Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος, Τεχνολογία Θερμοκηπίων, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα 2017.

C. Stanghellini, B. Ooster, E. Heuvelink, Θερμοκήπια, Επιστημονική Επιμέλεια, Νικόλαος Κατσούλας, Εκδόσεις Πεδίο, Αθήνα 2019.

B. Περράκη, Νέες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2010

Τσέκος Ιωάννης, Φυσιολογία Φυτών 3η έκδοση, Εκδόσεις Κυριακίδη Δέσποινα Θεσσαλονίκη, 2017