



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

Θέμα: *«Επίδραση διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων, στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια τομάτας»*

Μιχάλης Λαγωνικός

A.M: 1418

Φοιτητής του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Επιβλέπων

N. Κατσούλας, Αν. Καθηγητής

ΒΟΛΟΣ, 2019

**«Επίδραση διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στο μικροκλίμα και
την καλλιέργεια τομάτας»**

**«Effect of double polyethylene cover materials on greenhouse
microclimate and crop production»**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

N. Κατσούλας, Αν. Καθηγητής (Επιβλέπων),

Σ. Πετρόπουλος, Επ. Καθηγητής (Μέλος)

Χ. Λύκας, Επ. Καθηγητής (Μέλος)

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο των προπτυχιακών μου σπουδών, στο Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, το έτος 2019. Η διεξαγωγή της πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη τουκ. Νικόλαο Κατσούλα, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω τον κύριο Κατσούλα, που μου πρόσφερε την ευκαιρία να εργαστώ και να εκπαιδευτώ πάνω στο αντικείμενό μου. Η βοήθειά του ήταν καθοριστικής σημασίας καθώς με καθοδήγησε και συνετέλεσε στην κατανόηση του αντικειμένου μου. Θέλω να ευχαριστήσω ακόμα τον κύριοΚωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών, για την περαιτέρω βοήθεια που μου προσέφερε καθώς και την συστηματική στήριξη του και την καθοδήγηση στην πορεία συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θέλω να εκφράσω την απεριόριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για την στήριξή της όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η μελέτη της επίδρασης της σκίασης διαφορετικών υλικών κάλυψης, στην ανάπτυξη της καλλιέργειας τομάτας. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, διερευνήθηκε η χρήση διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου. Πραγματοποιήθηκε έτσι σύγκριση δυο διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου, όπου το ένα ήταν ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Gr1), ενώ το δεύτερο αποτελούνταν από ένα διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Gr2). Για να γίνει η εκτίμηση της επίδρασης των υλικών κάλυψης στις καλλιέργειες τομάτας των δυο θερμοκηπίων αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις δυο καλλιέργειες αυτές, οι οποίες αφορούσαν το ύψος των φυτών, τον αριθμό και το μήκος των φύλλων τους, αλλά και μετρήσεις οι οποίες αφορούσαν την παραγωγή όπως είναι το μέσο βάρος των καρπών, ο συνολικός αριθμός των καρπών, το συνολικό χλωρό βάρος τους καθώς και το ξηρό βάρος αυτών. Ως τελικό αποτέλεσμα των παραπάνω σημειώθηκε πως δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα θερμοκήπια με τα διαφορετικά υλικά κάλυψης. Αυτό προκύπτει καθώς στα τρία θερμοκήπια η μέση τιμή της ημερίσιας ηλιακή ακτινοβολίας κυμαίνεται τον μήνα Φεβρουάριο, από 7.4 στο Gr1 και 6.8 στο Gr2 ενώ το ποσοστό διαπερατότητας εμφανίζει τιμές, 63% και 58% στα δυο θερμοκήπια αντίστοιχα. Σε ότι αφορά την κατανάλωση ενέργειας στα δυο θερμοκήπια προκύπτει πως για τις ανάγκες των θερμοκηπίων απαιτήθηκαν, 1500lt στο Gr1 και 750lt στο Gr2 καυσίμων. Τέλος φαίνεται να υπάρχει και μια μείωση στην κατανάλωση του καυσίμου για την θέρμανση του θερμοκηπίου με το διπλό φύλλο κάλυψης, γεγονός που μπορεί να ισοσταθμίσει την εμφάνιση πιθανού κόστους από τις απώλειες φυτών.

Πίνακας Περιεχομένων

<i>Ευχαριστίες</i>	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	0
1.1.ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....	1
1.2.ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	4
1.2.1.ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	4
1.3.ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	5
1.3.1.ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	5
1.3.2.ΨΥΞΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	7
1.3.3.ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	9
1.3.3.1.ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	10
1.3.4.ΥΓΡΑΣΙΑ.....	11
1.3.5.ΣΚΙΑΣΗ	12
1.4.ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	15
1.4.1.Γυαλί ως υλικό κάλυψης	16
1.4.2.Πολυανθρακικά φύλλα.....	17
1.4.3.Πολυαιθυλενικές μεμβράνες	18
1.4.4.Υλικά κάλυψης με επιλεκτικότητα στο φως	18
1.5.ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	20
1.6.ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	21
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	22
2.1.ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	23
2.2.ΦΥΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ.....	25
2.3.ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	26
2.4.ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	26
2.5.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ.....	27
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	29
3.1.ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΑ ΤΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	30
3.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	33
3.2.1.ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	33
3.2.2.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	35

3.2.3.ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	37
3.2.4.ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	38
3.3.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	39
3.3.1.ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ.....	39
3.3.2.ΜΗΚΟΣ ΦΥΛΛΩΝ	40
3.3.3.ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΩΝ.....	41
3.3.4.ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ	42
3.3.5.ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΑΞΙΑΝΘΩΝ	43
3.3.6.ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΛΛΩΝ	43
3.3.7.ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ	45
3.3.7.ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ.....	46
3.3.8.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ..	48
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
Βιβλιογραφία.....	53

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Το θερμοκήπιο αποτελεί μια στεγασμένη και περιφραγμένη αγροτική περιοχή, με στόχο την προστασία των φυτών που καλλιεργούνται μέσα στον χώρο αυτό (**Εικόνα 1**). Με τον τρόπο αυτό το καλλιεργούμενο τμήμα γης απομονώνεται από το περιβάλλον με την χρήση ενός διάφανου, στην ηλιακή ακτινοβολία, υλικού κάλυψης. Η πρώτη εμφάνιση του θερμοκηπίου στην Ευρώπη, χρονολογείται το 1680 στην Βοημία, όπου καλλιεργήθηκαν οι πρώτες ορχιδέες της Ευρώπης (**Διαδικτυακή πηγή:** <https://el.wikipedia.org/wiki>). Ο βασικός λόγος κατασκευής και χρήσης του υπήρξε η ανάγκη για παραγωγή φυτών εκτός εποχής. Για παράδειγμα η καλλιέργεια λαχανικών ή και καλλωπιστικών φυτών σε περιόδους όπου τα φυτά αυτά δεν μπορούν να ευδοκιμήσουν. Συνήθως τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για την προστασία των φυτών από το κρύο κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Έτσι στην περίπτωση των λαχανοκομικών θερμοκηπίων, ο βασικός ρόλος τους είναι η δημιουργία συγκεκριμένου μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ευνοϊκό για την ανάπτυξη των λαχανικών.

Τί ορίζεται όμως ως μικροκλίμα; Ως μικροκλίμα ορίζεται το σύνολο των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε έναν ομοιογενή χώρο περιορισμένης έκτασης, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Οι κλιματικοί παράγοντες αυτοί, οι οποίοι μπορούν να υποστούν τροποποιήσεις στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, ανάλογα με τις απαιτήσεις των καλλιεργούμενων σε αυτά φυτών, είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική υγρασία καθώς και η συγκέντρωση του CO₂. Οι τροποποιήσεις στους παραπάνω παράγοντες πραγματοποιούνται με βασικό γνώμονα τις απαιτήσεις των καλλιεργούμενων φυτών αλλά και το κόστος αυτών (FAO 2013).

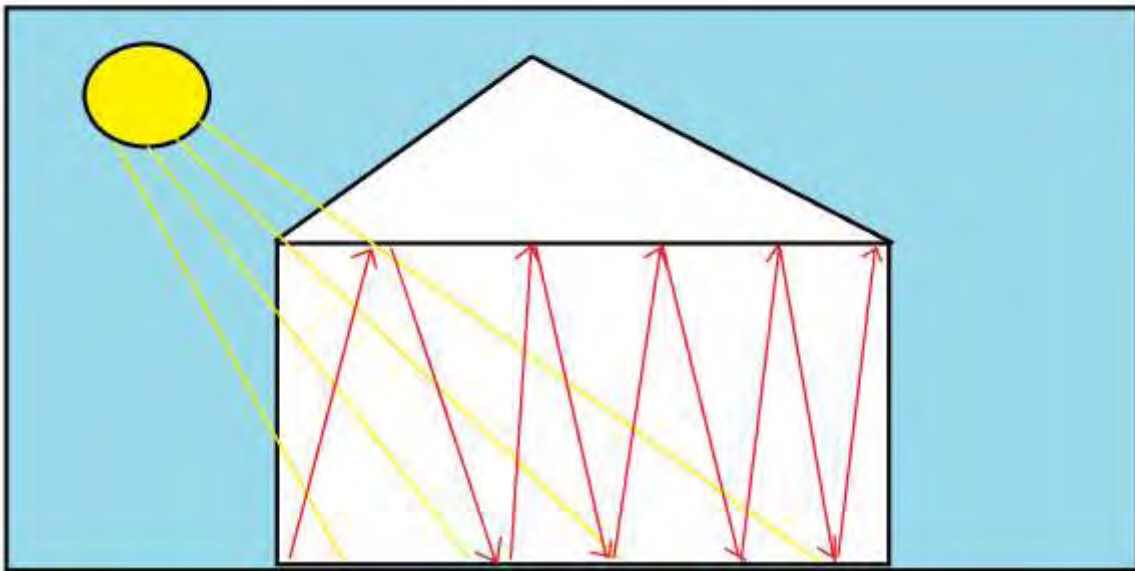


Εικόνα 1: Απεικόνιση κατασκευής θερμοκηπίου (Διαδικτυακή πηγή: GreenhouseFactory).

Πώς όμως επιδρά η κατασκευή του Θερμοκηπίου στην τροποποίηση του μικροκλίματος; Όπως προαναφέραμε οι παράγοντες που μπορεί να υποστούν τροποποιήσεις και έτσι να καθορίσουν το μικροκλίμα μιας καλλιέργειας είναι η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική υγρασία καθώς και η συγκέντρωση CO₂. Το θερμοκήπιο λοιπόν επιδρά ως εξής στους παράγοντες αυτούς (FAO 2013):

- I. **Παγίδευση της θερμικής ακτινοβολίας:** Στην κατασκευή των θερμοκηπίων, όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιείται για την κάλυψή τους διάφανο υλικό, διαπερατό στην ηλιακή ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα το διάφανο αυτό υλικό, έχει την ιδιότητα να επιτρέπει μόνο σε χαμηλό ποσοστό την διέλευση μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας ($> 2500\text{nm}$). Αντίθετα εμφανίζει υψηλή διαπερατότητα στην υπεριώδη, την φωτεινή καθώς και την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία (700 – 2500nm). Μιλώντας για υπέρυθρη ακτινοβολία, γίνεται λόγος για ένα είδος θερμικής ακτινοβολίας (700nm – 1mm). Ως εκ τούτου, η ενέργεια που περιέχεται στην φωτεινή καθώς και στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία, απορροφάται από τα στοιχεία του θερμοκηπίου και από το έδαφος. Με τον τρόπο αυτό, τα μέρη αυτά του θερμοκηπίου θερμαίνονται και με την σειρά τους εκπέμπουν μεγάλα ποσά θερμικής ακτινοβολίας. Η θερμική αυτή ακτινοβολία με την σειρά της, δεν είναι δυνατό να εξέλθει από το θερμοκήπιο.

Αυτό οφείλεται όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στη χαμηλή διαπερατότητα του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου στο είδος αυτό ακτινοβολίας. Έτσι η παραγόμενη θερμική ακτινοβολία παραμένει στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και το θερμαίνει εσωτερικά (**Εικόνα 2**). Το φαινόμενο αυτό έχει σημαντικότερο ρόλο κατά την διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Κατά την διάρκεια της νύχτας εμφανίζεται πτώση της θερμοκρασίας, όμως η θερμική ακτινοβολία η οποία παραμένει εγκλωβισμένη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, τείνει να μειώσει την θερμοκρασιακή αυτή πτώση που παρατηρείται την νύχτα.



Εικόνα 2: Σκίτσο απεικόνισης της λειτουργίας του θερμοκηπίου ως παγίδα θερμικής ακτινοβολίας. Στο σκίτσο οι κίτρινες ακτίνες του ηλίου προσομοιάζουν την φωτεινή και εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία που μπορεί να διαπερνά το υλικό κάλυψης και να απορροφάται από τα τμήματα του θερμοκηπίου και το έδαφος. Αυτά με την σειρά τους θερμαίνονται και εκπέμπουν υψηλά ποσά θερμικής ακτινοβολίας η οποία παραμένει εντός του θερμοκηπίου λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του υλικού κάλυψης στην θερμική ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει εσωτερικά.

- II. Παρεμπόδιση κίνησης αέρα:** Το υλικό κάλυψης το οποίο χρησιμοποιείται στην κάλυψη των θερμοκηπίων εμφανίζει μια ακόμα ιδιότητα, λειτουργώντας ως ανεμοφράκτης. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την σημαντική μείωση ανταλλαγής αέρα μεταξύ του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Έτσι με τον τρόπο αυτό διαμορφώνεται και διατηρείται ένα ξεχωριστό μικροκλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς αυτό μπορεί να διατηρεί στο εσωτερικό του την θερμοκρασία, την υγρασία αλλά και την συγκέντρωση του CO₂, ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες

που επικρατούν.

1.2.ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στο ξεκίνημα της εγκατάστασης του θερμοκηπίου, σημαντικοί παράγοντες για την έκβαση της καλλιέργειας αποτελούν το μέρος όπου θα γίνει η εγκατάσταση του θερμοκηπίου, οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτό, αλλά και άλλοι παράγοντες όπως το φυτό που θα καλλιεργηθεί και οι ιδιαιτερότητές του καθώς επίσης και αν η διάθεσή του θα γίνεται στην τοπική αγορά ή και στο εξωτερικό. Η επιλογή της σωστής περιοχής, όπου το κλίμα αυτής θα παίζει ένα θετικό ρόλο στην εγκατάσταση της καλλιέργειας και θα μειώνει το κόστος για την διατήρηση των βέλτιστων συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αλλά και η επιλογή της αγοράς στην οποία θα διατίθεται το προϊόν ώστε να μειώνεται το κόστος μεταφοράς των προϊόντων θα συμβάλλουν σημαντικά στην καλή πορεία της καλλιέργειας και στην ευκολότερη διαχείριση αυτής από τον παραγωγό.

1.2.1.ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Συνήθως τα καλλιεργούμενα φυτά εντός των θερμοκηπίων, είναι φυτά τα οποία ευημερούν σε θερμές περιόδους και για το λόγο αυτό χρειάζονται προστασία από τις χαμηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Συνεπώς οι σημαντικότεροι παράμετροι για τις υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες και την επιλογή του αγρού όπου θα γίνει η εγκατάσταση των προστατευόμενων καλλιεργειών είναι οι εξής (FAO, 2013):

- **Ηλιακή ακτινοβολία:** Σημαντικός παράγοντας για την διατήρηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια καλλιέργεια εξαρτάται άμεσα από την διάρκεια της ημέρας στην περιοχή αλλά και το ποσοστό αυτής που διαπερνά το υλικό κάλυψης. Έτσι η διάρκεια της ημέρας σε μια περιοχή καθώς επίσης και η ηλιακή ακτινοβολία η οποία απορροφάται από το υλικό διαχωρισμού, συνυπολογίζονται ώστε να εξαχθεί το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας την οποία δέχεται η καλλιέργεια ημερησίως.
- **Θερμοκρασία:** Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά την εναλλαγή των εποχών στην διάρκεια του έτους, αποτελεί έναν ακόμα σημαντικό παράγοντα. Ιδανικά γίνεται επιλογή περιοχών οι οποίες εμφανίζουν μεγαλύτερη σταθερότητα της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του έτους καθώς επίσης και σταθερότερη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία.
- **Άλλες παράμετροι:** Σημαντικοί παράγοντες είναι η θερμοκρασία του εδάφους, η οποία είναι στενά συνδεδεμένη με την θερμοκρασία του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, οι άνεμοι, οι βροχοπτώσεις στην περιοχή καθώς επίσης και η σύσταση του

αέρα. Μιλώντας για σύσταση του αέρα της περιοχής, γίνεται λόγος για την υγρασία αλλά και την περιεκτικότητα σε CO₂.

Η περιοχή εγκατάστασης έχει σημαντικό ρόλο και στον τύπο του θερμοκηπίου που θα επιλεγεί για την καλλιέργεια. Για παράδειγμα σε περιοχές με υψηλό ποσοστό βροχοπτώσεων, το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για την προστασία της καλλιέργειας από την βροχή.

1.3.ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η κατασκευή του θερμοκηπίου στηρίζεται στο κλιματογράφημα που πραγματοποιείται, για την περιοχή εγκατάστασης του θερμοκηπίου. Όπως προαναφέραμε, στις περισσότερες περιοχές το θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για την προστασία των φυτών από το ψύχος τους ψυχρούς μήνες του έτους, και κυρίως για την καλλιέργεια των λαχανικών. Για τις καλλιέργειες αυτές, το θερμοκρασιακό εύρος κυμαίνεται από τους 10°C, ως κατώτερο όριο, και τους 35°C, ως ανώτερο όριο, για να μπορέσουν να ευδοκιμήσουν. Σε περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου φθάσει σε θερμοκρασιακές τιμές μικρότερες των 10°C, τότε απαιτείται θέρμανση του θερμοκηπίου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί εδώ ότι η θερμοκρασία του θερμοκηπίου δεν θα πρέπει να ξεπερνά τους 35°C για μεγάλες περιόδους. Συνεπώς και η υπέρβαση της θερμοκρασίας αυτής σε αντίστοιχη περίπτωση απαιτεί την ψύξη του θερμοκηπίου (FAO 2017). Στον καθορισμό της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου παίζουν σημαντικό ρόλο η σκίαση του θερμοκηπίου καθώς επίσης και η υγρασία στο εσωτερικό του.

1.3.1.ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο κατάλληλος αερισμός του θερμοκηπίου αποτελεί σημαντικό παράγοντα τόσο στην ρύθμιση της θερμοκρασίας όσο και της υγρασίας. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητο ένα αξιόπιστο σύστημα αερισμού του θερμοκηπίου, για να επιτευχθούν οι κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό αποτελεί ακόμη πιο σημαντικό στοιχείο της κατασκευής του θερμοκηπίου τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι τρόποι αερισμού του θερμοκηπίου είναι:

- Φυσικός τρόπος αερισμού θερμοκηπίου: Αποτελεί τρόπο αερισμού του θερμοκηπίου με τον οποίο δεν απαιτείται κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας για την επίτευξή του. Για την επίτευξή του χρησιμοποιούνται πλευρικοί αεραγωγοί, ή αεραγωγοί ορόφης ή ακόμα και συνδυασμός αυτών. Έτσι με την βοήθεια αυτών, κρύος αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από τους πλευρικούς

αεραγωγούς(ανοίγματα - παράθυρα, ενώ ταυτόχρονα θερμός αέρας εξάγεται από τους αεραγωγούς της οροφής του θερμοκηπίου. Το γεγονός αυτό συμβαίνει λόγω των μαζών αέρα, οι οποίες έχουν διαφορετική πυκνότητα λόγω της διαφορετικής τους θερμοκρασίας. Τα θερμά στρώματα αέρα καταλαμβάνουν τον χώρο στο υψηλότερο τμήμα του θερμοκηπίου ενώ τα ψυχρά στο κάτω μέρος του θερμοκηπίου. Με αυτήν την διακίνηση του αέρα το εσωτερικό του θερμοκηπίου αερίζεται αλλά ταυτόχρονα ψύχεται (FAO, 2017). Η είσοδος εντόμων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου από τους χρησιμοποιούμενους αεραγωγούς, αποφεύγεται με την τοποθέτηση λεπτού πλέγματος στους αεραγωγούς. Πέραν όμως της παρεμπόδισης της διείσδυσης εντόμων, μειώνουν και τον ρυθμό αερισμού των θερμοκηπίων και συμβάλουν στην επίτευξη υψηλότερων θερμοκρασιών και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Katsoulas *et al.*, 2006). Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως ο μηχανισμός φυσικού αερισμού του θερμοκηπίου εμφανίζει μια σειρά μειονεκτημάτων όπως είναι:

- η εξάρτηση της απόδοσής του από τις συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή. Σε περιοχές με μειωμένη ή ανύπαρκτη ταχύτητα ανέμων, ο αερισμός των θερμοκηπίων είναι περιορισμένος.
- Αύξηση του κόστους του αερισμού ανάλογα με το μέγεθος του θερμοκηπίου.
- Δυναμικός αερισμός θερμοκηπίου: Εναλλακτικός τρόπος αερισμού του θερμοκηπίου λόγω των μειονεκτημάτων του φυσικού τρόπου αερισμού. Στηρίζεται στην δημιουργία ροής αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Για την δημιουργία αυτής της ροής αέρα χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες οι οποίοι βρίσκονται στην μια πλευρά του θερμοκηπίου και αναρροφούν τον εσωτερικό αέρα προς το εξωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ αντίθετα ανοίγματα που βρίσκονται στην άλλη πλευρά του θερμοκηπίου επιτρέπουν την είσοδο αέρα σε αυτό (**Εικόνα 3**). Η χρήση ηλεκτρικών ανεμιστήρων αποτελεί έναν πολύ καλό τρόπο αερισμού του θερμοκηπίου όμως δεν χαρακτηρίζεται ως ενεργειακά αποδοτικός λόγω των μεγάλων ποσών ενέργειας που απαιτούνται για την επίτευξή του (FAO 2017).



Εικόνα 3: Χρήση μηχανικού αερισμού σε θερμοκήπιο. Εξαγωγή εσωτερικού αέρα (αριστερά) και εισαγωγή εξωτερικού αέρα στο θερμοκήπιο (δεξιά) (Katsoulas *et al.*, 2006).

1.3.2. ΨΥΞΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω μέσω του αερισμού του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται και σε ένα βαθμό η μείωση της θερμοκρασίας του. Όταν όμως οι συνθήκες στο εξωτερικό περιβάλλον απαιτούν την μείωση της θερμοκρασίας σε μεγαλύτερο ποσοστό τότε ο αερισμός δεν μπορεί να συντελέσει στην μείωση αυτή. Για τον λόγο αυτό συνήθως από τους παραγωγούς χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα ψύξης του θερμοκηπίου. Συνήθως το σύστημα ψύξης που χρησιμοποιείται είναι αυτό της ψύξης με εξάτμιση. Η διαδικασία αυτή ψύξης βασίζεται στην μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα θερμότητα μέσω της διαδικασίας εξάτμισης του νερού, η οποία τροφοδοτείται απευθείας στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου με την βοήθεια ψεκαστήρων. Τα συνηθέστερα συστήματα ψύξης των θερμοκηπίων είναι:

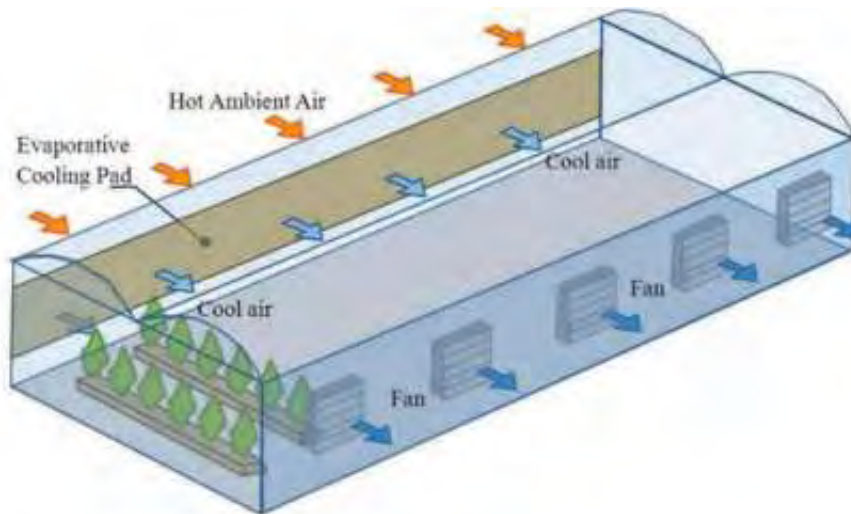
- ~ Σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης (Fogsystem): Η λειτουργία του συστήματος αυτού βασίζεται στον ψεκασμό σταγονιδίων νερού στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, πάνω από τα φυτά. Ο ψεκασμός του νερού πραγματοποιείται σε πολύ μικρά σταγονίδια της τάξης μεγέθους των 2 έως 60μm, όπως τα αντίστοιχα σταγονίδια νερού που υπάρχουν στην ομίχλη (**Εικόνα 4**). Με τον τρόπο αυτόν πραγματοποιείται η καλύτερη επαφή του νερού με τον αέρα καθώς μεγαλύτερη επιφάνεια σταγονιδίων νερού έρχονται σε επαφή με τον αέρα πάνω από τα φυτά. Η ελεύθερη πτώση λόγω του βάρους των σταγονιδίων αυτών πραγματοποιείται με πολύ μικρή ταχύτητα και ο αέρας που ρέει στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για τον αερισμό του, παρασύρει τα σταγονίδια αυτά καθυστερόντας περαιτέρω την ταχύτητα πτώσης τους (FAO 2017). Αποτέλεσμα του μηχανισμού αυτού είναι η υψηλή εξάτμιση του νερού κρατώντας το φύλλωμα των φυτών ξηρό. Ταυτόχρονα

αυξάνεται η σχετική υγρασία και επιτυγχάνεται η ψύξη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



Εικόνα 4: Ψύξη με εξάτμιση με την χρήση συστήματος τεχνητής ομίχλης ψεκασμού σταγονιδίων νερού(Katsoulas *et al.*, 2006).

~ Σύστημα ψύξης με την χρήση ανεμιστήρα και υγρή παρειά (FanandPadcoolingsystem): Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε καλλιέργειες καλλωπιστικών φυτών οι οποίες βρίσκονται εγκατεστημένες σε περιοχές με ιδιαίτερα θερμό κλίμα. Η λειτουργία του συστήματος αυτό στηρίζεται στην εισαγωγή αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου, στο εσωτερικό μέσω δομών που καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια του θερμοκηπίου. Πραγματοποιείται τακτικά ο ψεκασμός των δομών αυτών με νερό και έτσι διατηρούνται μόνιμα υγρές. Το νερό από τις δομές αυτές που παρομοιάζουν σε «μαξιλάρια» (υγρή παρειά), εξατμίζεται και ψύχει τον αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει η υγρασία στο εξωτερικό περιβάλλον να βρίσκεται σε χαμηλότερα επίπεδα από ότι στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (**Εικόνα 5**).



Εικόνα 5: Απεικόνιση του συστήματος ψύξης με την χρήση ανεμιστήρων. Πραγματοποιείται διοχέτευση του αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και ψύξη αυτού μέσω εξάτμισης του νερού (Francoetal., 2014).

1.3.3.ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο βασικότερος λόγος χρήσης του θερμοκηπίου στις περισσότερες περιοχές, είναι η προστασία των καλλιεργούμενων φυτών από το ψύχος κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Το πρόβλημα της χαμηλής θερμοκρασίας επιλύεται με την διοχέτευση ζεστού αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε να επιτευχθεί η διοχέτευση ζεστού αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι τα εξής:

- Θερμαντήρες αέρα (αερόθερμα): Πρόκειται για μονάδες που διαθέτουν αυτόνομα κιβώτια καύσης φυσικού λαδιού ή καύσιμου πετρελαίου. Παράγουν με τον τρόπο αυτό θερμό αέρα ο οποίος κατανέμεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με την χρήση ανεμιστήρα. Οι μονάδες αυτές μπορεί να βρίσκονται τοποθετημένες στο έδαφος είτε στηριζόμενες σε υψηλότερα σημεία του θερμοκηπίου (**Εικόνα 6**). Γενικά αποτελούν έναν από τους πιο διαδεδομένους τρόπους θέρμανσης του θερμοκηπίου καθώς εμφανίζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων όπως το ότι ιδιαίτερα υψηλό κόστος τους, η εύκολη τοποθέτησή τους καθώς και η εύκολη επέκτασή τους σε περίπτωση που απαιτείται (FAO, 2017).



Εικόνα 6: Απεικόνιση των θερμαντήρων αέρα που έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό θερμοκηπίου (Katsoulas *et al.*, 2006).

- Κεντρικός σωλήνας θέρμανσης: Το σύστημα θέρμανσης αυτό στηρίζεται στην παραγωγή ατμού ή ζεστού νερού. Η παραγόμενη θερμότητα διοχετεύεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με την βοήθεια μηχανισμού ακτινοβολίας. Ένας κεντρικός σωλήνας από χάλυβα ή πλαστικό βρίσκεται τοποθετημένος περιμετρικά του θερμοκηπίου είτε κάτω από τους πάγκους όπου βρίσκονται τα φυτά είτε σε υψηλότερα σημεία του θερμοκηπίου. Έτσι η θερμότητα παράγεται στα κεντρικά σημεία του συστήματος όπως είναι ο λέβητας και διοχετεύεται μέσω των σωλήνων περιφερειακά στην καλλιέργεια είτε κοντά στις ρίζες των φυτών είτε στην κορυφή αυτών. Επιτυγχάνεται με τον τρόπο αυτό η δημιουργία ενός θερμού περιβάλλοντος με χαμηλή ροή αέρα. Το γεγονός αυτό προσφέρει συνθήκες ευνοϊκότερης ανάπτυξης των φυτών αλλά προσφέρει και την δυνατότητα στον παραγωγό για ευκολότερο έλεγχο εμφανιζόμενης νόσου στην καλλιέργεια (FAO, 2017).

1.3.3.1. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η κάλυψη των αναγκών θέρμανσης των θερμοκηπίων είναι δυνατόν να γίνει με πηγές θερμότητας χαμηλού επιπέδου από 45°C έως και 85°C. Για το λόγο αυτό τα θερμοκήπια είναι πλέον κατάλληλα για την χρήση γεωθερμικών πόρων. Τα τελευταία 25 χρόνια σε θερμοκήπια πολλών χωρών γίνεται παραγωγή λαχανικών, όπου πραγματοποιείται θέρμανση του θερμοκηπίου με την χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στην θέρμανση των

θερμοκηπίων εμφανίζει μια σειρά πλεονεκτημάτων:

- i. Έχει μειωμένο κόστος σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας.
- ii. Το σύστημά της χαρακτηρίζεται από ευκολία χρήσης και διατήρησης.
- iii. Η εύκολη πρόσβαση σε γεωθερμικές δεξαμενές χαμηλής ενθαλπίας από κοντινά θερμοκήπια.
- iv. Χρήση τοπικών διαθέσιμων πηγών ενέργειας, αυξάνοντας έτσι την αποδοτικότητα.

1.3.4. ΥΓΡΑΣΙΑ

Ένας από τους δυσκολότερους παράγοντες του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, που απαιτεί ρύθμιση και έλεγχο είναι η υγρασία. Συνήθως αυξημένα προβλήματα ελέγχου της υγρασίας προκύπτουν κατά τους χειμερινούς μήνες του έτους. Η υψηλή υγρασία προκύπτει όταν ο ζεστός αέρας του θερμοκηπίου έρθει σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες. Ο θερμός αέρας με τον τρόπο αυτόν ψύχεται και όταν η θερμοκρασία των επιφανειών των θερμοκηπίων είναι αρκετά χαμηλή, κάτω από την θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα, τότε οι υδρατμοί του αέρα συμπυκνώνονται στην επιφάνεια του θερμοκηπίου ή των φύλλων των φυτών της καλλιέργειας, σχηματίζοντας σταγονίδια νερού. Ιδιαίτερα υψηλή εμφάνιση υγρασίας παρατηρείται επίσης και μέσα στην ημέρα τις ώρες που μεσολαβούν από την ώρα δύσης του ηλίου έως και την ώρα ανατολής του. Συνήθως κατά την διάρκεια της ημέρας όπου υπάρχει ηλιοφάνεια δεν έχουμε εμφάνιση υγρασίας λόγω της θερμικής ακτινοβολίας που θερμαίνει το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Σπάνια θα λέγαμε ότι παρατηρείται υγρασία κατά την διάρκεια της ημέρας, σε περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένη συννεφιά.

Η ρύθμιση της υγρασίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα καθώς η εμφάνιση της σχετίζεται με την ανάπτυξη μυκήτων και σπορίων αυτών καθώς και άλλων παθογόνων. Αυτό φυσικά έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ασθενειών στην καλλιέργεια και την μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντική ζημία για τον παραγωγό.

Οι παραγωγοί συχνά ακολουθούν κάποια μέθοδο για την ρύθμιση της υγρασίας. Οι μέθοδοι οι οποίες είναι διαθέσιμες και συχνά ακολουθούνται από τους παραγωγούς είναι οι εξής:

- ~ **Συνδυαστική χρήση συστημάτων θέρμανσης και εξαερισμού:** με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται η θέρμανση του εσωτερικού του θερμοκηπίου, ενώ περιοδικά πραγματοποιείται άνοιγμα του συστήματος εξαερισμού ώστε να αντικαθίσταται ο

εσωτερικός υγρός αέρας με τον ξηρό εξωτερικό.

- ~ **Απορρόφηση της εμφανιζόμενης υγρασίας με χρήση υγροσκοπικού υλικού:**
Πραγματοποιείται με την επαφή του αέρα του θερμοκηπίου με το υγροσκοπικό υλικό. Κατά την επαφή αυτή ο υδρατμός απορροφάται από το υλικό και η λανθάνουσα ενέργεια εξάτμισης απελευθερώνεται. Η τεχνική αυτή δεν αποτελεί ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική καθώς η χρήση χημικών σε προστατευμένες καλλιέργειες θερμοκηπίων αποφεύγεται.
- ~ **Χρήση αντι-σταγονικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου:** Η χρήση υλικών κάλυψης αποτελεί σημαντική μέθοδο για την διαχείριση της υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου. Γίνεται έτσι χρήση υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου, το οποίο μειώνει την υγρασία στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου καθώς η συμπύκνωση πραγματοποιείται στους τοίχους του θερμοκηπίου και απομακρύνονται έτσι οι υδρατμοί από την ατμόσφαιρα αυτού. Οι υδρατμοί αυτοί καταλήγουν στο έδαφος, καθώς το νερό κυλάει από τα ψηλότερα μέρη του θερμοκηπίου προς το έδαφος.

1.3.5. ΣΚΙΑΣΗ

Η σκίαση του θερμοκηπίου αποτελεί έναν τρόπο ψύξης του θερμοκηπίου. Είναι σαφές όμως πώς δεν προτιμάται για την ψύξη του θερμοκηπίου και αποτελεί την λιγότερο επιλεγόμενη μέθοδο για ψύξη του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός θερμοκηπίου. Παρά το γεγονός αυτό η σκίαση μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την προστατευόμενη καλλιέργεια. Όπως είναι αναμενόμενο μπορεί να μειώσει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η καλλιέργεια. Κατά συνέπεια, μειώνει με τον τρόπο αυτό και την φωτοσύνθεση που πραγματοποιείται με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μπορεί όμως σε πολλές περιπτώσεις και να αυξήσει την φωτοσύνθεση αφού μειώνοντας την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και βελτιώνοντας το άνοιγμα των στοματίων, αυξάνεται η φωτοσύνθεση και ταυτόχρονα να μειώνεται η μιτοχονδριακή αναπνοή. Άμεσο αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η αύξηση τους κέρδους σε άνθρακα, των φυτών της καλλιέργειας, και κατά συνέπεια αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας. Ακόμη βελτιώνει την ποιότητα των προϊόντων με την μείωση της έκθεσής τους στην έντονη ακτινοβολία αλλά αυξάνει επίσης και το κλάσμα της διάχυτης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται περισσότερο από τα φυτά (FAO, 2017).

Για την σκίαση των θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται ορισμένες τεχνικές όπως:

- **Εξωτερικά δίκτυα σκίασης:** Δίκτυα σκίασης τοποθετούνται στην κορυφή του θερμοκηπίου. Θεωρείται κινητός τρόπος σκίασης καθώς μπορούν να φερόνται και να επανατοποθετούνται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τις απαιτήσεις της προστατευόμενης καλλιέργειας σε ηλιακή ακτινοβολία. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία 15 χρόνια στον τομέα της γεωργίας (Cohen *et al.*, 2005; Castellano *et al.*, 2008) (**Εικόνα 7**).



Εικόνα 7: Τοποθέτηση εξωτερικών δίκτυα στην οροφή θερμοκηπίου για την μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

- **Χρήση χρωματισμένων δικτύων:** Όμοια με την τοποθέτηση εξωτερικών πανιών, χρησιμοποιούνται και εσωτερικά του θερμοκηπίου χρωματιστά δίκτυα ώστε να μειωθεί το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που καταλήγει στα φυτά της προστατευόμενης καλλιέργειας (**Εικόνα 8**). Έχει παρατηρηθεί όμως ότι η μέθοδος αυτή έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση του αερισμού της καλλιέργειας καθώς τα δίκτυα αυτά τοποθετούνται πάνω ακριβώς από τα φυτά.



Εικόνα 8: Τοποθέτηση χρωματιστών διχτυών στο πάνω μέρος της προστατευόμενης καλλιέργειας εντός του θερμοκηπίου (FAO, 2017).

- *Τοποθέτηση φιλμ νερού πάνω από την οροφή του θερμοκηπίου.*
- *Χρήση υγρού μεταξύ των τοιχών του θερμοκηπίου.*
- *Βαφή (άσπρισμα) του εξωτερικού μέρους του θερμοκηπίου:* Αποτελεί έναν εύκολο στην χρήση τρόπο επίτευξης σκίασης του θερμοκηπίου (**Εικόνα 9**). Έχει επίσης χαμηλό κόστος για τους παραγωγούς και δεν επηρεάζει καθόλου τον αερισμό του θερμοκηπίου όπως σε αντίστοιχη περίπτωση συμβαίνει με την χρήση διχτυών όπου πραγματοποιείται μείωση του αερισμού του θερμοκηπίου. Παρά το γεγονός αυτό όμως εμφανίζει και μια σειρά μειονεκτημάτων καθώς δεν αποτελεί ιδιαίτερα ευέλικτη μέθοδο αφού η εφαρμογή της βαφής αλλά και το πόσο πυκνή χρησιμοποιείται είναι παράγοντες οι οποίοι δεν μεταβάλλονται εύκολα και την διάρκεια της ζεστής περιόδου του χρόνου. Τέλος ενώ όπως προαναφέραμε έχει εύκολη εφαρμογή η απομάκρυνση του υλικού βαφής είναι ιδιαίτερα δύσκολη με το πέρας της ζεστής περιόδου όπου η ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται σημαντικά.



Εικόνα 9: Σκίαση θερμοκηπίου με την μέθοδο εξωτερικής βαφής του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου (FAO 2017).

1.4.ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ

Ίσως ο πλέον σημαντικότερος παράγοντας για την κατασκευή και εγκατάσταση μιας προστατευόμενης καλλιέργειας, είναι η επιλογή των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου. Ο ρόλος τους είναι τόσο σημαντικός καθώς είναι εκείνα που θα μετατρέψουν τον σκελετό του θερμοκηπίου σε έναν κλειστό προστατευόμενο χώρο για την καλλιέργεια φυτών. Αποτελεί τον φραγμό διαχωρισμού του εξωτερικού περιβάλλοντος, με το εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου. Υπάρχουν και εδώ διάφορα υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κάλυψης ενός θερμοκηπίου. Οι τρεις τύποι των υλικών αυτών είναι:

- ✓ Το γυαλί
- ✓ Πολυανθρακικά φύλλα
- ✓ Μεμβράνες πολυαιθυλενίου

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως και οι τρεις κατηγορίες υλικών εμφανίζουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται περισσότερο πλαστικά υλικά (φύλλα πολυαιθυλενίου) κάλυψης κυρίως για οικονομικούς λόγους.

1.4.1.Γυαλί ως υλικό κάλυψης

Πρώτο στην λίστα των υλικών κάλυψης θερμοκηπίου βρίσκεται το γυαλί. Το γυαλί αποτελεί ένα ανόργανο υλικό, το οποίο είναι προϊόν τήξης. Έχει υποστεί την διαδικασία ψύξης του και σταθεροποίησής του χωρίς κρυστάλλωση. Εμφανίζει τα εξής μορφολογικά χαρακτηριστικά **(Εικόνα 10)**:

- ✓ Είναι σκληρό και εύθραυστο.
- ✓ Είναι διαφανές με υψηλή περατότητα στο φως.
- ✓ Επιτρέπει την διέλευση του φωτός, το οποίο με συγκεκριμένη διαμόρφωση του γυαλιού μπορεί να το διαχέει στο χώρο εντός του θερμοκηπίου.
- ✓ Ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας καθώς και τις καιρικές συνθήκες μπορεί να χρησιμοποιείται θολό ή/και χρωματισμένο για την επίτευξη σκίασης.
- ✓ Δεν μεταβάλλει τις οπτικές του ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου.
- ✓ Αποτελεί ένα ανακυκλώσιμο υλικό μετά την αντικατάστασή του.
- ✓ Εμφανίζει υψηλή ανθεκτικότητα στην πάροδο του χρόνου και τις αλλαγές των καιρικών συνθηκών.



Εικόνα 10:Θερμοκήπιο το οποίο διαθέτει ως υλικό κάλυψης το γυαλί (Διαδικτυακή πηγή:europgress.com)

1.4.2. Πολυανθρακικά φύλλα

Τα πολυανθρακικά φύλλα αποτελούν ένα οικονομικό υλικό κάλυψης θερμοκηπίου. Συγκαταλλέγονται επίσης στα ενεργειακά αποδοτικά υλικά και αποτελεί μια καλή εναλλακτική επιλογή υλικού κάλυψης αντι του γυαλιού, κυρίως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται άκαμπτη κάλυψη (**Εικόνα 11**). Χαρακτηρίζονται από υψηλή ανθεκτικότητα ενώ οι αντίστοιχες μεμβράνες πολυαιθυλενίου χρειάζονται αλλαγή κάθε 4 χρόνια. Ακόμη αποτελούν υλικό το οποίο δεν παρεμποδίζει την μεταφορά του φωτός στο εσωτερικού του θερμοκηπίου και εμφανίζει ίδια απόδοση στο προσπίπτον ηλιακό φως με το γυαλί. Τέλος σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται με διπλό τοίχωμα, διαθέτει υψηλό συντελεστή μόνωσης και μάλιστα ελαφρώς μεγαλύτερο από τον αντίστοιχο των πολυαιθυλενικών μεμβρανών (FAO, 2017).



Εικόνα 11: Εμφάνιση πολυανθρακικών φύλλων ως υλικό κάλυψης θερμοκηπίου (Διαδικτυακή πηγή: el.construct-yourself.com).

1.4.3. Πολυαιθυλενικές μεμβράνες

Ο τρίτος τύπος υλικού που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των θερμοκηπίων είναι οι μεμβράνες πολυαιθυλενίου. Οι μεμβράνες αυτές εμφανίζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (FAO, 2017):

- ◆ Είναι οικονομικό υλικό.
- ◆ Συγκαταλλάγεται στα ενεργειακά αποδοτικά υλικά.
- ◆ Μπορεί να επηρεάσει το περιβάλλον του θερμοκηπίου καθώς με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει εξελιχθεί η τεχνολογία τους και μπορούν να δημιουργήσουν κατάλληλες συνθήκες ανάπτυξης για τις καλλιέργειες.
- ◆ Συμμετέχει στον έλεγχο της ποσότητας αλλά και της ποιότητας, της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, μέσω της προσθήκης ρητίνης στις μεμβράνες πολυαιθυλενίου.
- ◆ Πολύ καλό μονωτικό υλικό. Κυρίως όταν χρησιμοποιείται με διπλό τοίχωμα και ο ενδιάμεσος χώρος φουσκώνει με αέρα, επιτυγχάνεται πολύ καλή μόνωση και έτσι αυξάνει την ενεργειακή απόδοση ενώ ταυτόχρονα μειώνει το κόστος θέρμανσης καθώς έχουμε λιγότερες απώλειες θερμότητας.
- ◆ Βασικό μειονέκτημα των πολυαιθυλενικών μεμβρανών αποτελεί η ανθεκτικότητά τους καθώς εμφανίζεται μειωμένη και απαιτείται η συχνή αντικατάστασή τους.

Τα πολυανθρακικά φύλλα καθώς επίσης και οι μεμβράνες πολυαιθυλενίου, αποτελούν τα πλέον διαδεδομένα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμοκηπίων. Άλλα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται επίσης στην κάλυψη των θερμοκηπίων είναι η σελλουλόζη, τα φύλλα EVA, τα φύλλα πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), τα φύλλα πολυβινυλοφθοριδίου (PVF) καθώς επίσης και τα φύλλα πολυεστέρα.

1.4.4. Υλικά κάλυψης με επιλεκτικότητα στο φως

Τα υλικά κάλυψης με επιλεκτικότητα στο φως, είναι πλαστικά υλικά τα οποία έχουν υποστεί κάποια επεξεργασία έτσι ώστε να επιτευχθεί αλλαγή στα οπτικά χαρακτηριστικά τους. Η επεξεργασία τους αυτή συμβάλλει, στην μείωση της περατότητας των υλικών αυτών, σε ακτινοβολία ορισμένου μήκους κύματος, ενώ αντίστοιχα να ενισχύει την περατότητα της ακτινοβολίας ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος. Η επιλογή του υλικού με επιλεκτικότητα

στο φως πραγματοποιείται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες και φυσικά τις ανάγκες της καλλιέργειας για ηλιακή ακτινοβολία.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα πλαστικά φύλλα με περατότητα στην UV-B ακτινοβολία. Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει πως σε καλλιέργειες που έχουν χρησιμοποιηθεί τα πλαστικά αυτά φύλλα, τα φυτά της καλλιέργειας εμφάνιζαν ανάπτυξη μικρότερων μεσογονατίων και επίσης τα νεαρά φυτάρια αυξάναν την σύνθεση ανθοκυανινών με αποτέλεσμα να σκληραγωγούνται πολύ πιο γρήγορα. Ο χρωματισμός επίσης του άνθους τους ήταν πολύ πιο έντονος από ότι σε αντίστοιχες καλλιέργειες όπου δεν χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά φύλλα με περατότητα στην UV-b ακτινοβολία. Όλα τα παραπάνω, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι αυξάνουν την ανθεκτικότητα των φυτών της καλλιέργειας σε υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας. Ως μειονέκτημα, σημειώθηκε το γεγονός η ακτινοβολία αυτή ευνόησε την ανάπτυξη εντόμων καθώς επίσης και την παραγωγή σπορίων ορισμένων μυκήτων. Το γεγονός αυτό αποτελεί θετικό παράγοντα μόνο σε καλλιέργειες που απαιτούν Βομβύνους για επικονίαση.

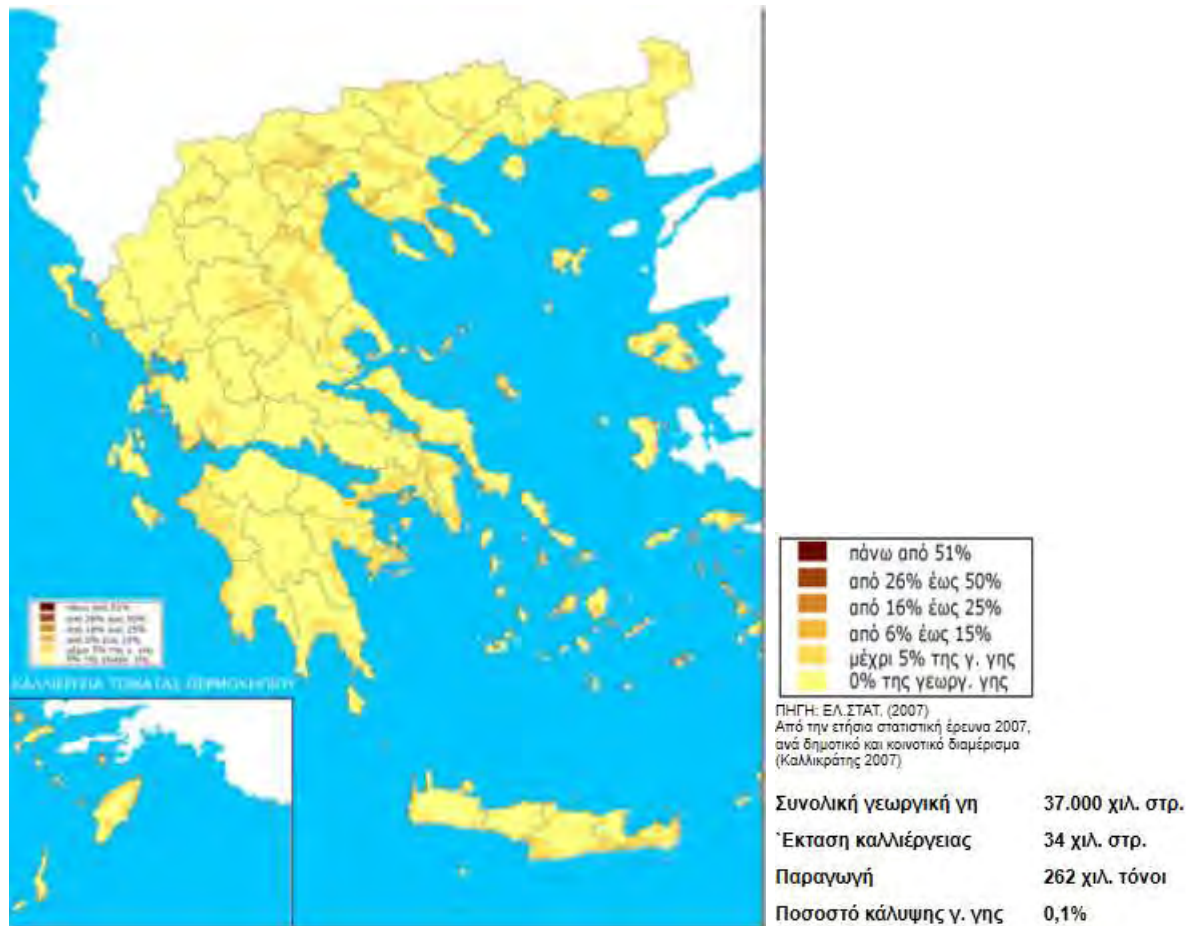
Τα υλικά αυτά που μπορεί να έχουν υποστεί κάποια τροποποίηση ώστε να εμφανίζουν επιλεκτικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία, περιέχουν χρωστικές που μπορούν να αντανακλούν την υπέρυθρη ακτινοβολία, ή επίσης μάκρο- ή μικρο-δομές που μπορούν να μετασχηματίζουν το φυσικό φως σε διάχυτο. Στην πρώτη περίπτωση, όπου τα υλικά διαθέτουν χρωστικές, είναι δυνατός ο έλεγχος του μικροκλίματος του θερμοκηπίου κυρίως κατά τις θερμές περιόδους του χρόνου. Οι χρωστικές αυτές έχουν την ικανότητα να μειώνουν την εισερχόμενη ηλιακή θερμότητα χωρίς να παρεμποδίζουν την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Hemmingeta., 2006a). Σε αντίστοιχες μελέτες που έχουν διεξαχθεί φαίνεται η ηλιακή θερμότητα να μειώνεται έως και 50% χωρίς να παρεμποδίζεται η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία στην προστατευόμενη καλλιέργεια ακτινοβολία (Hemmingeta., 2006a).

Σε ότι αφορά τα υλικά που περιέχουν μάκρο- ή μικρο-δομές, μετασχηματίζουν το εισερχόμενο φυσικό φως σε διάχυτο, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ομοιόμορφη κατανομή του φωτός σε όλα τα σημεία του θερμοκηπίου αλλά και όλα τα μέρη του φυτού. Η μετατροπή αυτή σημειώνεται χωρίς ουσιαστικές μειώσεις στο βαθμό διάχυσης. Παρόλα αυτά σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται μείωση διαχόμενου φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Hemming and Reinder, 2007). Μελέτες όμως που έχουν πραγματοποιηθεί σε καλλιέργειες θερμοκηπιακού αγγουριού, έχουν δείξει αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας κατά 8 – 10% , με την χρήση ως υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου, πλαστικών υλικών με διάχυση φυσικού

φωτός (Hemming *et al.*, 2006b ;Hemming *et al.*, 2008).

1.5.ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Συνολικά η εκτιμώμενη γεωργική έκταση στην Ελλάδα υπολογίζεται , σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ στις 37.000.000 στρέμματα (**Εικόνα 12**). Από την έκταση αυτή , η έκταση που αντιστοιχεί σε προστατευόμενες καλλιέργειες, είναι 5.600 εκτάρια. Η έκταση αυτή αντιστοιχεί περίπου στο 0,15% της συνολικής γεωργικής έκτασης στην Ελλάδα. Το ποσοστό της έκτασης αυτής, το οποίο χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια λαχανικών είναι περίπου 92%, δηλαδή περίπου 5.200 εκτάρια, ενώ μόλις το 8% αυτής (400 εκτάρια) χρησιμοποιείται για καλλωπιστικά φυτά (D. Savvas *et al.*, 2016). Το 93% των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων διαθέτουν πλαστικό υλικό κάλυψης. Ταυτόχρονα το 96% των θερμοκηπίων που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια λαχανικών είναι επίσης καλυμμένα με πλαστικό υλικό (D. Savvas *et al.*, 2016).



Εικόνα 12: Απεικόνιση της καλλιεργούμενης έκτασης στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ. 2007).

Από όσα προαναφέρθηκαν γίνεται σαφές πως στην Ελλάδα τα περισσότερα θερμοκήπια, ειδικά εκείνα με στόχο την καλλιέργεια λαχανικών, έχουν ως υλικό κάλυψης το πλαστικό παρά το γυαλί. Χρησιμοποιούνται όμως στην χώρα μας και γυάλινα θερμοκήπια κυρίως στην καλλιέργεια καλλωπιστικών φυτών (D. Savvas *et al.*, 2016). Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στην Ελλάδα πρώτη είναι η θερμοκηπιακή καλλιέργεια τομάτας και αγγουριού οι οποίες ακολουθούνται από την καλλιέργεια πιπεριού.

Στον ελλαδικό χώρο την πρώτη θέση στην παραγωγή προϊόντων από καλλιέργειες θερμοκηπίου εμφανίζει η περιοχή της Κρήτης η οποία ακολουθείται από την Πελοπόννησο. Τις δυο αυτές περιοχές ακολουθούν η Μακεδονία, η Θεσσαλία, η Κεντρική Ελλάδα, η Ήπειρος και τέλος τα νησιά του Αιγαίου (D. Savvas *et al.*, 2016).

1.6.ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο, την μελέτη της επίδρασης της σκίασης διαφορετικών υλικών κάλυψης, στην ανάπτυξη της καλλιέργειας τομάτας, ώστε να επιτευχθούν μελλοντικά συνθήκες οι οποίες θα αυξάνουν τα ποσοστά παραγωγής. Πραγματοποιήθηκε έτσι σύγκριση δυο διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου:

- ~ ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Θερμοκήπιο – μάρτυρας),
- ~ Ένα απλό διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

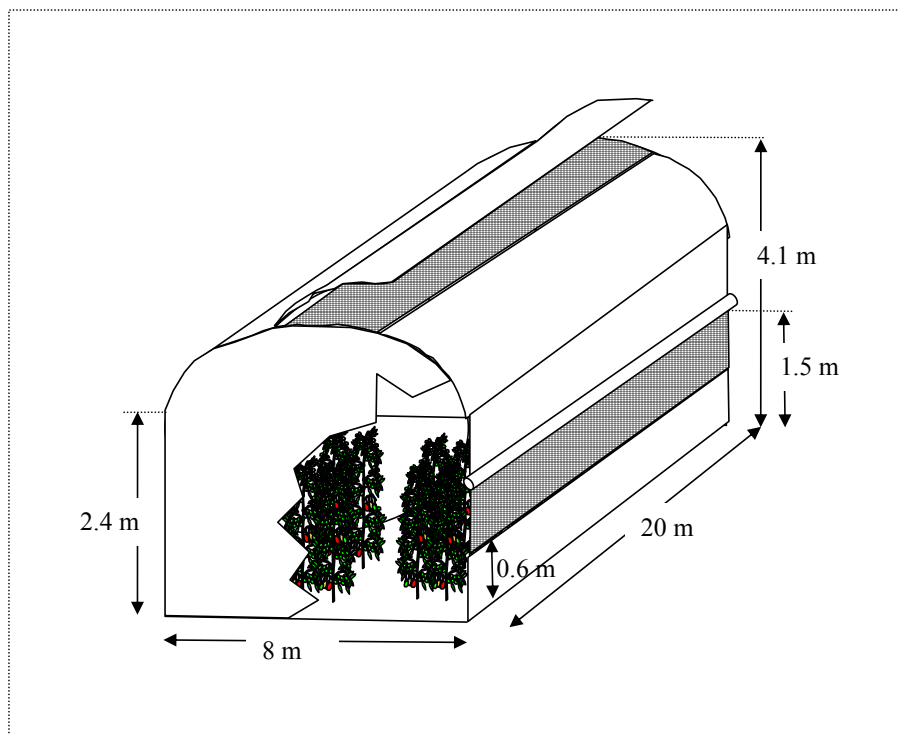
Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά θερμοκήπια τα οποία εμφανίζουν παρόμοιες κατασκευαστικές ιδιότητες (**Εικόνα13**). Πιο συγκεκριμένα, διαθέτουν όμοιες διαστάσεις (**Εικόνα 14**), καθώς επίσης και ίδιο σύστημα άρδρευσης, λίπανσης, αερισμού και θέρμανσης. Η βασική διαφορά των θερμοκηπίων αυτών είναι το υλικό κάλυψής τους καθώς ένα θερμοκήπιο καλύφθηκε φύλλα πολυεθυλενίου.



Εικόνα 13: Θερμοκήπια που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος.

Πιο συγκεκριμένα τα χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων ήταν τα εξής (**Εικόνα 14**):

- ⊙ Ύψος κορφιά 4.1 m.
- ⊙ Ύψος ορθοστάτη 2.4 m.
- ⊙ Πλάτος 8m.
- ⊙ Μήκος 20m.



Εικόνα 14: Εξωτερική άποψη των θερμοκηπίων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι διαστάσεις αυτών.

Τα θερμοκήπια αυτά, με τα παραπάνω χαρακτηριστικά όπως προαναφέρθηκαν εμφανίζουν έκταση 160m^2 το κάθε ένα. Η κατασκευή τους επίσης αποτελείται από γαλβανισμένο χάλυβα και για την κάλυψή του εδάφους χρησιμοποιήθηκε λευκό πλαστικό εδάφους. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν αξιολογήθηκαν για την χρονική περίοδο από τον Δεκέμβριο του 2015 έως και τον Ιούνιο του 2016.

Σε ότι αφορά τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, όπως προαναφέρθηκε ήταν διαφορετικά στο κάθε θερμοκήπιο. Έτσι στο πρώτο θερμοκήπιο (Gr1) που χρησιμοποιήθηκε, ως υλικό κάλυψης τοποθετήθηκε απλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου. Στο δεύτερο θερμοκήπιο (Gr2) τοποθετήθηκε διπλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου PE(**Εικόνα 15**).

Θερμοκήπιο		Κωδικός υλικού
1 (απλό φύλλο PE)		TUV 3965
2 (δύο φύλλα PE)	Εξωτερικό	UV 2996
	Εσωτερικό	TUV 3992

Εικόνα 15: Χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν, για την κάλυψη των θερμοκηπίων, όπως αυτά δίνονται από την Πλαστικά Κρήτης ABEE.

2.2.ΦΥΤΕΥΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΤΟΜΑΤΑΣ

Τα θερμοκήπια που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιήθηκαν για την μεταφύτευση των φυτών τομάτας, ποικιλίας Ελπίδα. Η μεταφύτευσή τους πραγματοποιήθηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2015 (**Εικόνα 16**). Σε κάθε ένα από τα δυο θερμοκήπια πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση 320 φυτών τομάτας σε διάταξη 8 γραμμών. Ως υπόστρωμα της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε πετροβάμβακας (πρώτη χρήση) και η μέθοδος λίπανσης των καλλιεργειών είναι η αντίστοιχη που εφαρμόζεται από τους τοπικούς παραγωγούς.



Εικόνα 16: Απεικόνιση της καλλιέργειας έπειτα από την μεταφύτευσή της στις 10/12/2015.

2.3.ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τα θερμοκήπια όπου έγινε η εγκατάσταση των φυτών τομάτας, διέθεταν ελεγχόμενο αερισμό. Αυτό διεξήχθη με την χρήση πλαϊνών συνεχών παραθύρων, διαστάσεων 15m πλάτος και 0,9m ύψος. Πέραν της ύπαρξης των πλαϊνών παραθύρων, χρησιμοποιήθηκε και ένα ενιαίο παράθυρο οροφής μήκους 20m. Ο έλεγχος των παραθύρων αυτών πραγματοποιήθηκε με την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος αναγνώριζε την μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και μόλις αυτή ξεπερνούσε τους 23°C, δίνονταν από αυτόν κατάλληλη εντολή για το άνοιγμα των παραθύρων.

2.4.ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κάθε ένα από τα δυο θερμοκήπια διέθεταν ίδιο σύστημα θέρμανσης. Το σύστημα αυτό αποτελούνταν από ένα καυστήρα ισχύος 48.8 KW και από έναν λέβητα ο οποίος χρησιμοποιούνταν ώστε να θερμαίνει το νερό στους 50°C. Μετά την θέρμανση του νερού, αυτό διοχετεύονταν σε ένα επιδαπέδιο σύστημα πλαστικών σωληνώσεων καθώς επίσης και σε ένα αερόθερμο οροφής. Το αερόθερμο αυτό βρισκονταν τοποθετημένο στο βόρειο άκρο του θερμοκηπίου και σε ύψος 3.5m. Το σύστημα των σωλήνων όπου κυκλοφορούσε το θερμαινόμενο νερό κάλυπτε την επιφάνεια του θερμοκηπίου ως εξής:

- ✓ Στο κάτω μέρος κάθε πάγκου φύτευσης εκτείνονταν ένας σωλήνας όπου διοχετεύονταν ζεστό νερό.
- ✓ Κάθε σειρά καλλιέργειας διέθετε ένα σωλήνα ξεχωριστό σωλήνα.
- ✓ Σε κάθε πάγκο εκτός του σωλήνα ροής θερμού νερού, είχε τοποθετηθεί και αντίστοιχος σωλήνας επιστροφής νερού.

Σε ότι αφορά το αερόθερμο, η λειτουργία του είχε ρυθμιστεί ως εξής:

- ✓ Κατά την διάρκεια της ημέρας λειτουργούσε ώστε να διατηρεί την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στους 18°C.
- ✓ Κατά την διάρκεια της νύχτας λειτουργούσε ώστε να διατηρεί την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στους 14°C.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να σημειωθεί πως η επιδαπέδια θέρμανση είχε κυρίως επικουρικό ρόλο και θέτονταν σε λειτουργία στην περίπτωση όπου το αερόθερμο δεν μπορούσε να διατηρήσει την επιθυμητή θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου. Και τα δυο

αυτά συστήματα θέρμανσης ελέγχονταν από ένα κεντρικό σύστημα το οποίο πραγματοποιούσε συνεχείς μετρήσεις της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2.5.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ

Ο κύριος στόχος της εργασίας μας υπήρξε η αξιολόγηση των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιήθηκε μέσω της εκτίμησης μιας σειράς παραγόντων όπως:

1. Οι ενεργειακές απώλειες των θερμοκηπίων όπου χρησιμοποιήθηκε το εκάστοτε υλικό κάλυψης.
2. Η διαμόρφωση του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αυτών.
3. Η ανάπτυξη της καλλιέργειας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων.
4. Η παραγωγική απόδοση της καλλιέργειας η οποία εγκαταστάθηκε στα θερμοκήπια αυτά.

Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από μετρήσεις, οι οποίες αφορούν:

- I. Την κατανάλωση καυσίμων συνολικά για την περίοδο από τον Δεκέμβριο του 2015 έως και τον Μάρτιο του 2016.
- II. Το μικροκλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία.
- III. Το μικροκλίμα στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Δηλαδή αντίστοιχα η θερμοκρασία, η υγρασία αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου.
- IV. Το ύψος των φυτών.
- V. Τον αριθμό των ανθέων και των καρπών τους.
- VI. Την διαδικασία της φωτοσύνθεσης.
- VII. Την απόδοση των φυτών.

Για την μέτρηση του μικροκλίματος στο εσωτερικό και εξωτερικό του θερμοκηπίου, πραγματοποιούνταν μετρήσεις κάθε 10 λεπτά της ώρας ενώ αντίστοιχα οι μετρήσεις που αφορούσαν την ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιούνταν κάθε 10 με 15 ημέρες. Τέλος οι μετρήσεις που αφορούσαν την παραγωγή των καλλιεργειών πραγματοποιούνταν 1 με 2 φορές την εβδομάδα.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως τα προϊόντα που προέκυψαν από την παραπάνω πειραματική διαδικασία, παρέχονταν δωρεάν στο Κοινωνικό Παντοπωλείο του Δήμου Βόλου (**Διαδικτυακή πηγή:**<http://www.taxydromos.gr/Topika/224965-freskes-tomates-sto-koinwniko->

pantopwleio.html).

Οι μετρήσεις στις οποίες αναφερθήκαμε και παραπάνω χωρίζονται σε καταστροφικές και μη καταστροφικές.

- **Μη καταστροφικές μετρήσεις:** όπου αφορούσαν το ύψος και το μήκος των προς μελέτη φυτών. Για την καταμέτρηση τους επιλέχθηκαν 6 φυτά. Τα 4 από τα οποία ήταν τα ίδια φυτά από την αρχή της πειραματικής διαδικασίας έως και το πέρας αυτής, ενώ τα άλλα δυο επιλέγονταν τυχαία κάθε 10 με 15 ημέρες, οπότε και πραγματοποιούνταν η καταμέτρηση των φυτών.
- **Καταστροφικές μετρήσεις:** όπου αφορούσαν το ύψος των φυτών, τον αριθμό των φύλλων και των ταξιανθών τους, το νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων αλλά και του βλαστού των φυτών καθώς επίσης και το νωπό και ξηρό βάρος των καρπών, έπειτα από ξήρανση των φυτών σε κατάλληλους φούρνους με θερμοκρασία ξήρανσης τους 80°C για 48 ώρες. Για τον σκοπό αυτό έγινε επιλογή τριών φυτών από κάθε θερμοκήπιο. Οι συνολικές καταστροφικές μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν συνολικά 4 για όλη την διάρκεια του πειράματος, μια κάθε 20 ημέρες.

Τέλος πραγματοποιήθηκε και η αντίστοιχη στατιστική ανάλυση, η οποία αφορούσε τις παραπάνω μετρήσεις. Η στατιστική αυτή ανάλυση έγινε με την χρήση του προγράμματος SPSSStatisticsversion 20. Για την συσχέτιση των παραπάνω μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος General Linear Model – Repeated Measures. Με την μέθοδο αυτή ήταν δυνατή η σύγκριση των μέσων όρων των αγρονομικών μετρήσεων που πραγματοποιήσαμε. Το αντίστοιχο επίπεδο σημαντικότητας σύμφωνα με την μέθοδο αυτή ήταν $p < 0.05$. Να σημειωθεί πως με την παραπάνω στατιστική μελέτη πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αγρονομικών μετρήσεων για τις πιθανές διαφορές που εμφάνιζαν τα φυτά μεταξύ των τριών θερμοκηπίων και όχι μεταξύ των φυτών του ίδιο θερμοκηπίου.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1.ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΣΤΑ ΤΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Όπως περιγράφηκε και στην προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιήθηκαν κατασκευαστικά όμοια θερμοκήπια για τις ανάγκες του πειράματός μας. Την πρώτη μέρα της μεταφύτευσης των φυτών τομάτας η εικόνα των δυο θερμοκηπίων φαίνεται στις **εικόνες 17** και **18** που ακολουθούν. Από τις εικόνες αυτές φαίνεται η εγκατάσταση του θερμοκηπίου καθώς επίσης και τα συστήματα που εγκαταστάθηκαν για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και του αερισμού των θερμοκηπίων.



Εικόνα 17: Άποψη του 1^{ου} Θερμοκηπίου κατά την πρώτη μέρα μεταφύτευσης των φυτών τομάτας.



Εικόνα 18: Άποψη του 2^{ου} Θερμοκηπίου κατά την πρώτη μέρα μεταφύτευσης των φυτών τομάτας.

Η εικόνα αυτή των θερμοκηπίων διαφέρει σημαντικά με την αντίστοιχη εικόνα τους έπειτα από ένα τρίμηνο. Πιο συγκεκριμένα στις 10/03/2016 έγινε λήψη εικόνων από τον εσωτερικό χώρο των τριών θερμοκηπίων. Στις **εικόνες 19** και **20** φαίνεται ο εσωτερικός χώρος των τριών θερμοκηπίων μετά από το τρίμηνο καλλιέργειας. Από τις εικόνες αυτές φαίνεται η σημαντική ανάπτυξη των φυτών εντός των θερμοκηπίων. Στην **εικόνα 21** φαίνεται ο εσωτερικός χώρος του θερμοκηπίου την 1^η Ιουνίου, όπου διακρίνονται καθαρά και οι πρώτοι ώριμοι καρποί των φυτών.



Εικόνα 19: Άποψη του 1^{ου} Θερμοκηπίου μετά από τρεις μήνες από την πρώτη μέρα μεταφύτευσης των φυτών τομάτας.



Εικόνα 20: Άποψη του 2^{ου} Θερμοκηπίου μετά από τρεις μήνες από την πρώτη μέρα μεταφύτευσης των φυτών τομάτας.



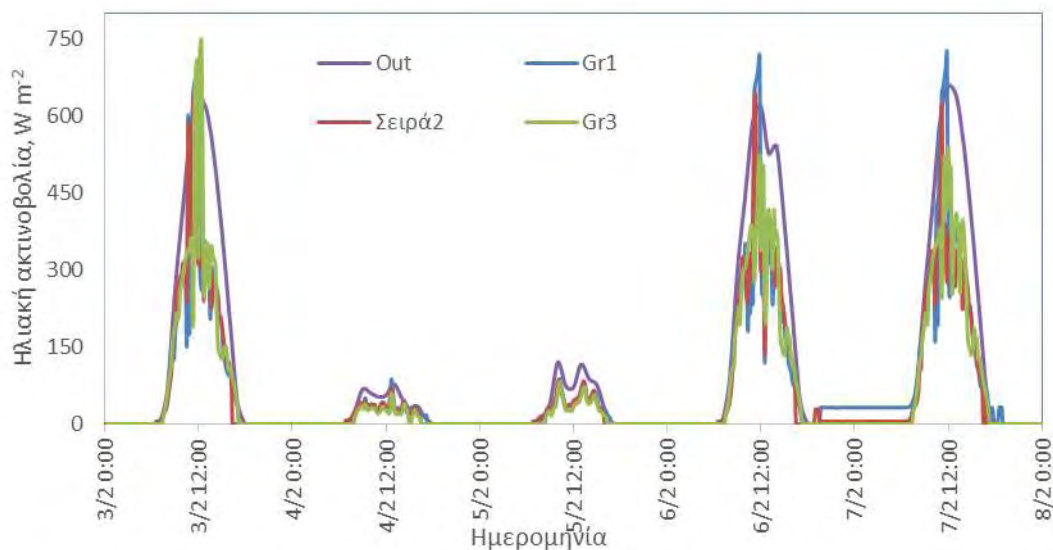
Εικόνα 21: Άποψη του Θερμοκηπίου μετά από έξι μήνες από την πρώτη μέρα μεταφύτευσης των φυτών τομάτας.

3.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Έπειτα από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα θερμοκήπια, πραγματοποιήθηκε η ανάλυσή τους ώστε να εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα, για την επίδραση των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν, στις καλλιέργειες των φυτών τομάτας. Έτσι στην συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται οι καταγραφές που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία καθώς και τη σχετική υγρασία κατά την διάρκεια του πειράματος μας.

3.2.1.ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζεται η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αυτή καταγράφηκε στα δυο θερμοκήπια κατά την διάρκεια 5 ημερών, τον μήνα Φεβρουάριο (**Εικόνα 22**). Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτει, πως στα θερμοκήπια οι τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας δεν διαφοροποιούνται σημαντικά. Συνεπώς τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς την διέλευση του φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.



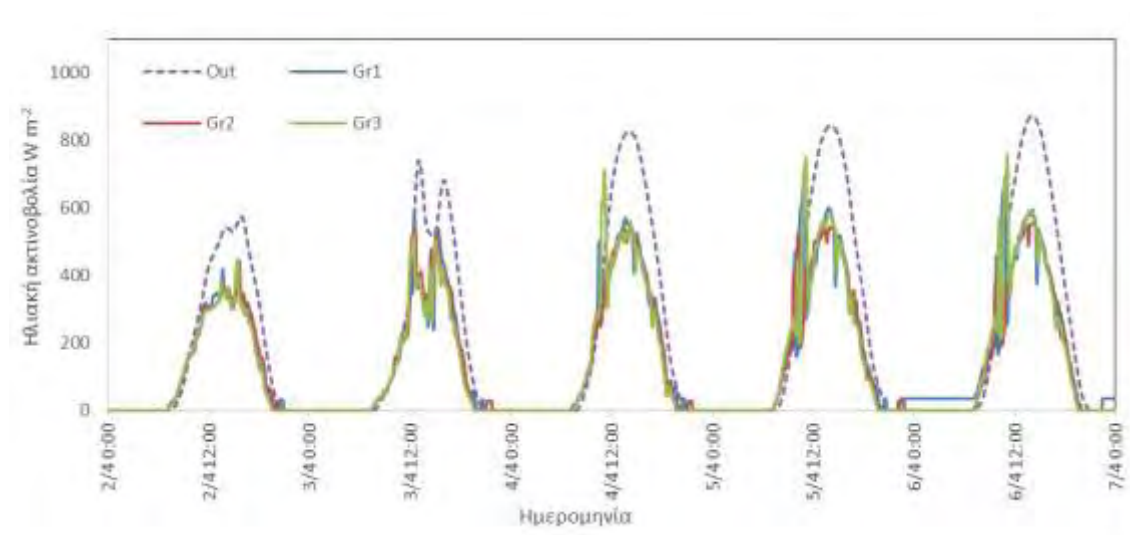
Εικόνα 22: Διακύμανση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα από τις 3 Φεβρουαρίου έως και τις 7 Φεβρουαρίου 2016.

Πιο αναλυτικά η μέση ηλιακή εισερχόμενη ακτινοβολία στα θερμοκήπια, τον μήνα Φεβρουάριο, ήταν της τάξης των $7\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$, ενώ στο εξωτερικό περιβάλλον η αντίστοιχη μέση ηλιακή ακτινοβολία ήταν της τάξης των $12\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ (**Πίνακας 1**). Σε ότι αφορά την μέση διαπερατότητα των τριων θερμοκηπίων στην ηλιακή ακτινοβολία, το μήνα Φεβρουάριο, όπως αυτής καταγράφηκε, φαίνεται να φθάνει σε ποσοστό το 60% (**Πίνακας 1**) και μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στα δυο θερμοκήπια είναι παρόμοια.

Πίνακας 1: Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης μέσης τιμής ηλιακής ακτινοβολίας των Θερμοκηπίων καθώς και της διαπερατότητας αυτών.

	Gr1	Gr2	Out
Μέση τιμή ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)	7.4	6.8	11.8
Διαπερατότητα (%)	63	58	

Μεταγενέστερες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5 ημερών του μήνα Απριλίου, αφορούν και πάλι την ημερήσια εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στα τρια θερμοκήπια που χρησιμοποιήθηκαν (**Εικόνα 25**). Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτει, σε πλήρη συμφωνία με τις αντίστοιχες μετρήσεις του μήνα Φεβρουαρίου, πως τα τρια θερμοκήπια δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 23: Διακύμανση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά το χρονικό

διάστημα από τις 2 Απριλίου έως και τις 6 Απριλίου 2016.

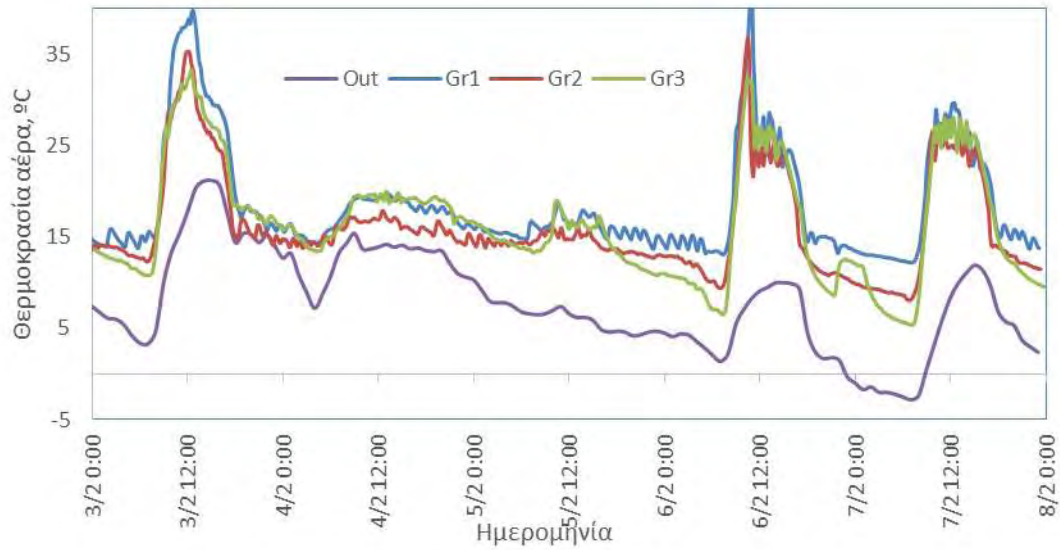
Η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία η οποία εισέρχονταν στα δυο θερμοκήπια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της τάξης των 13 έως 14 MJm⁻²d⁻¹, ενώ οι αντίστοιχες τιμές στο εξωτερικό περιβάλλον ήταν της τάξης των 20,6 MJm⁻²d⁻¹ (**Πίνακας 2**). Σύμφωνα με τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως η μέση διαπερατότητα των θερμοκηπίων στην ηλιακή ακτινοβολία είναι όμοια και ανέρχεται σε ποσοστό στο 65 – 70% (**Πίνακας 2**).

Πίνακας 2: Συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης μέσης τιμής ηλιακής ακτινοβολίας των Θερμοκηπίων καθώς και της διαπερατότητας αυτών, για τον μήνα Απρίλιο.

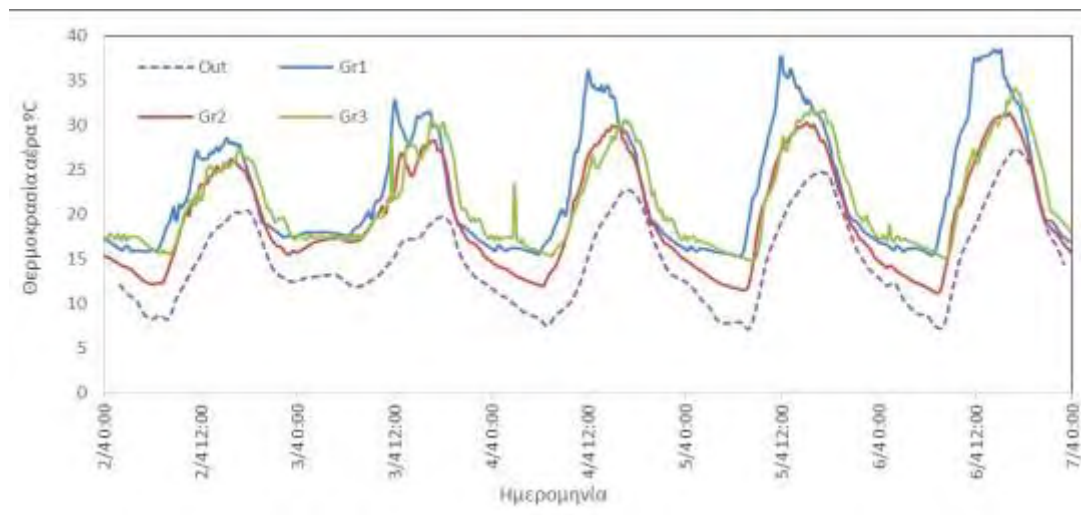
	Gr1	Gr2	Out
Μέση τιμή ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (MJm ⁻² d ⁻¹)	14.6	13.4	20.6
Διαπερατότητα (%)	71	65	

3.2.2.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Έπειτα από την ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας για τα δυο θερμοκήπια, μεμονωμένα, ακολούθησε μελέτη των καταγραφών των θερμοκρασιών του αέρα που σημειώνονται στα τρία θερμοκήπια, για τους μήνες Φεβρουάριο και Απρίλιο. Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε, πως δεν εμφανίζονται σημαντικές διαφορές στις θερμοκρασίες του αέρα στον εσωτερικό αλλά και εξωτερικό χώρο των θερμοκηπίων, για τον μήνα Φεβρουάριο. Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της ημέρας, η θερμοκρασία του αέρα στα δυο θερμοκήπια έφτανε τους 23.1 °C και 24.2 °C, στα Gr1, Gr2, αντίστοιχα. Αντίστοιχα η μέση τιμή της θερμοκρασίας του αέρα κατά την διάρκεια της νύχτας ήταν, 14.2 °C και 15.2 °C, στα Gr1, Gr2 (**Εικόνα 24**). Οι τιμές των θερμοκρασιών για τα τρία θερμοκήπια, τον μήνα Απρίλιο, όπως διαφαίνεται από το γράφημα που ακολουθεί δείχνει πως οι καταγραφές των θερμοκρασιών είναι όμοιες συνεπώς δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές μεταξύ των θερμοκηπίων (**Εικόνα 25**).



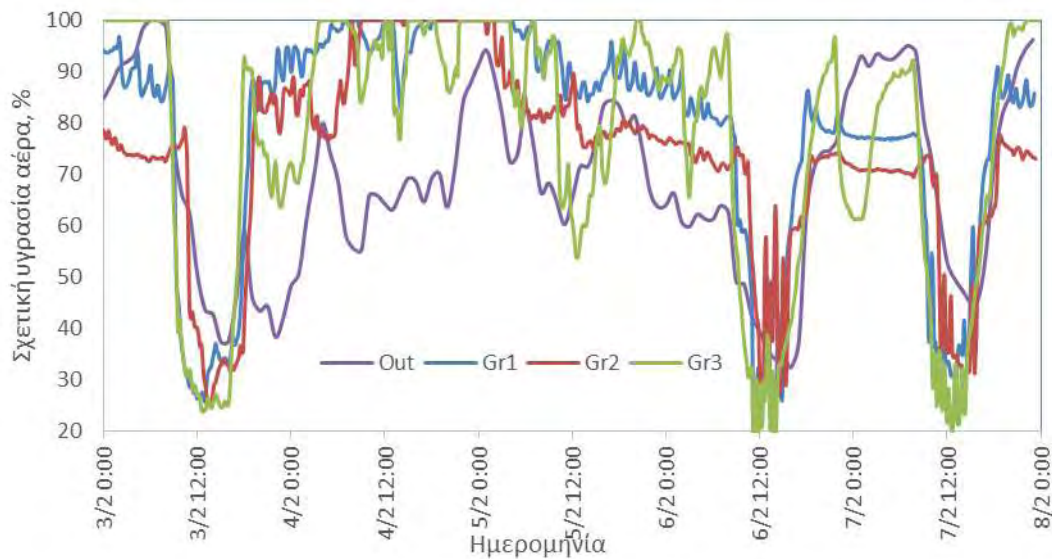
Εικόνα 24: Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5ημερών του μήνα Φεβρουαρίου 2016.



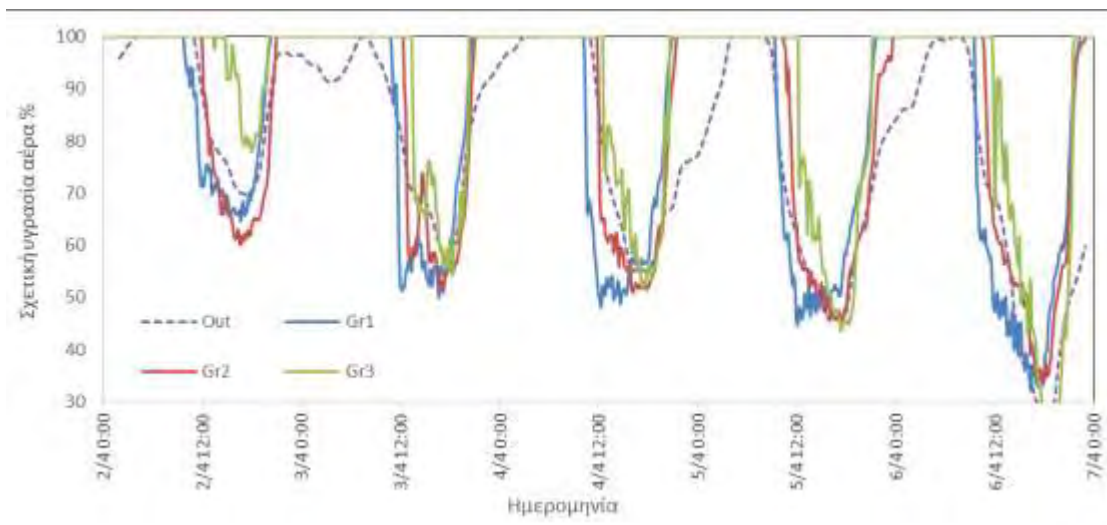
Εικόνα 25: Διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5ημερών του μήνα Απριλίου 2016.

3.2.3.ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Αντίστοιχες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και για την σχετική υγρασία στο εσωτερικό αλλά και εξωτερικό περιβάλλον των θερμοκηπίων. Όμοια με τις παραπάνω καταγραφές, οι αντίστοιχες για την σχετική υγρασία πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5 ημερών του μήνα Φεβρουάριου (**Εικόνα 26**) και 5 ημερών του μήνα Απρίλιου (**Εικόνα 27**). Όπως διαφαίνεται από τα γραφήματα που ακολουθούν (**Εικόνα 27** και **εικόνα 28** αντίστοιχα), η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας, τον μήνα Φεβρουάριο σημειώνεται να είναι 72% και 65%, στα Gr1, Gr2, αντίστοιχα. Όμοια οι τιμές κατά την διάρκεια της νύχτας ήταν 88% και 95%, στα Gr1, Gr2, αντίστοιχα. Βλέπουμε επίσης την ομοιογένεια των καταγραφών για τις μετρήσεις σχετικής υγρασίας τον μήνα Απρίλιο και συνδυαστικά από τα αποτελέσματα των δυο μηνών εξάγεται τον συμπέρασμα πως τα τρία θερμοκήπια δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές ως προς την σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό τους περιβάλλον.



Εικόνα 27: Διακύμανση των τιμών της σχετικής υγρασίας, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5 ημερών του μήνα Φεβρουάριο 2016.



Εικόνα 29: Διακύμανση των τιμών της σχετικής υγρασίας, όπως αυτή καταγράφηκε στα Θερμοκήπια αλλά και στο εξωτερικό περιβάλλον αυτών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια 5ημερών του μήνα Απριλίου 2016.

3.2.4.ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να γίνει εκτίμηση της επίδρασης των υλικών κάλυψης στην κατανάλωση ενέργειας, μετρήθηκε η ποσότητα των καυσίμων που απαιτήθηκαν για την θέρμανση των θερμοκηπίων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η διατήρηση ίδιας θερμοκρασίας στα τρία θερμοκήπια (κατά τη διάρκεια της νύχτας 12-15°C και κατά τη διάρκεια της ημέρας 18°C) και για την χρονική περίοδο από τον Δεκέμβριο του 2015 έως και τον Μάρτιο του 2016. Οι μετρήσεις αυτές μας έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα του **Πίνακα 3**.

Πίνακας 3: Ποσότητα καυσίμων που καταναλώθηκε σε κάθε θερμοκήπιο όπου χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό υλικό κάλυψης.

GR1	GR2
1500 L	750 L

Αντιστοιχώντας τις παραπάνω ποσότητες καυσίμων στην καλλιεργημένη επιφάνεια του θερμοκηπίου (130m²), προκύπτει πως η μέση κατανάλωση καυσίμου για την περίοδο από τον Δεκέμβριο του 2015 έως και τον Μάρτιο του 2016 αντιστοιχεί σε 11.5 L m⁻² και 5.8 L m⁻² για τα Gr1, Gr2, αντίστοιχα. Από την αντιστοιχία αυτή διαφαίνεται πως το θερμοκήπιο με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου εμφανίζει κατανάλωση καυσίμων που αντιστοιχεί στη μισή ποσότητα καυσίμων

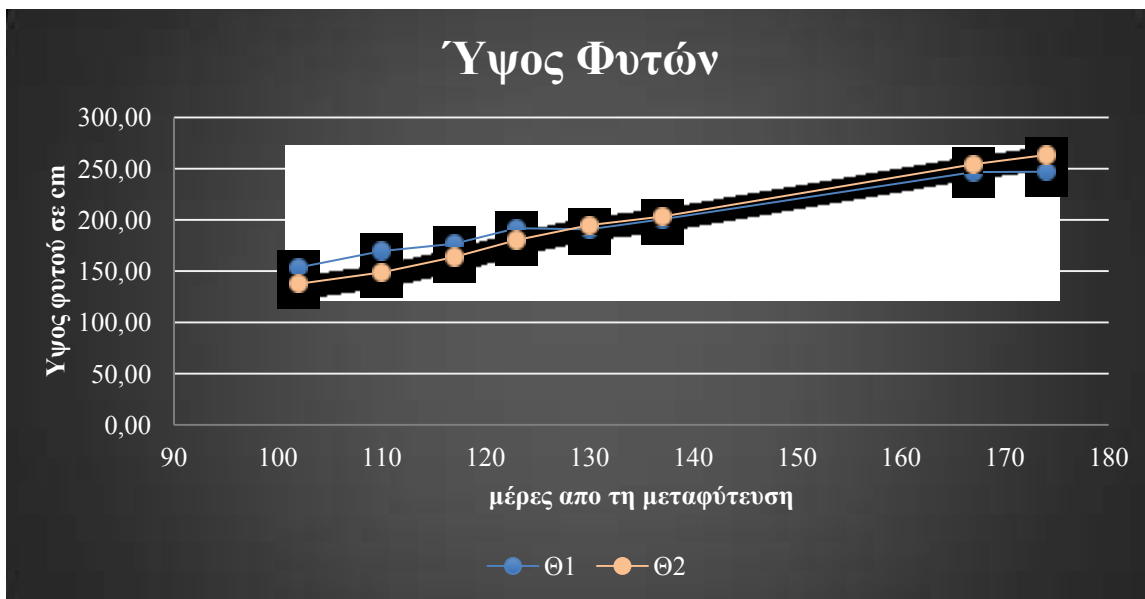
που καταναλώθηκε στο θερμοκήπιο με το απλό φύλλο κάλυψης πολυαιθυλενίου.

3.3.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Στις ενότητες που ακολουθούν παρατίθενται τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν, αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, του θερμοκηπίου Gr1, του θερμοκηπίου με το απλό φύλλο κάλυψης, και του θερμοκηπίου Gr2, του θερμοκηπίου με το διπλό φύλλο κάλυψης.

3.3.1.ΥΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

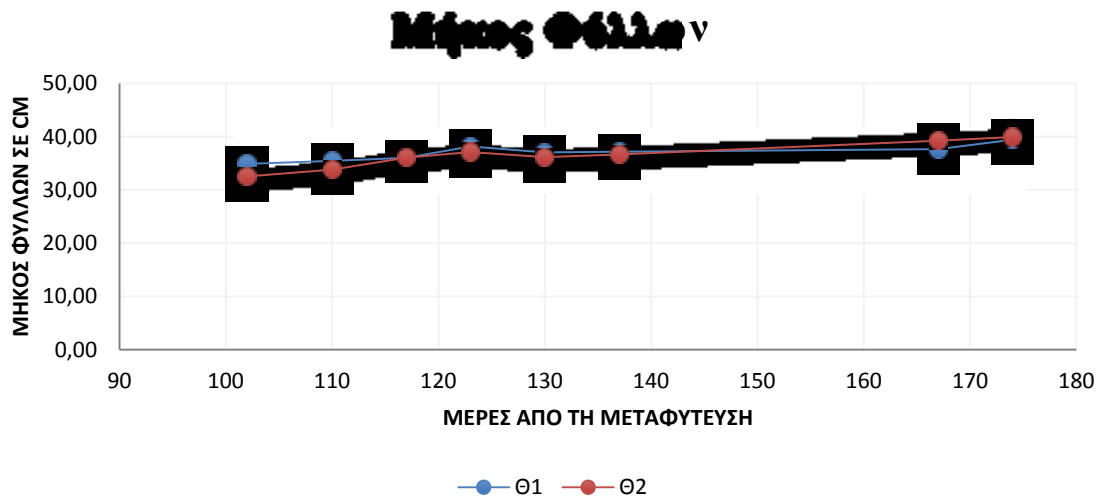
Από την επεξεργασία των μετρήσεων για το ύψος των φυτών στα θερμοκήπια, προκύπτει το γράφημα που ακολουθεί (**Εικόνα 30**). Στο γράφημα αυτό παρατηρούμε ότι έχουν πραγματοποιηθεί καταγραφές στα φυτά του Θερμοκηπίου 1, το οποίο διαθέτει απλό φύλλο κάλυψης και στα φυτά του θερμοκηπίου 2 το οποίο διαθέτει διπλό φύλλο κάλυψης (Gr2). Προκύπτει επίσης πως τα φυτά της καλλιέργειας του θερμοκηπίου 1 εμφανίζουν σε συντομότερο χρονικό διάστημα μεγαλύτερο ύψος σε σχέση και με τα φυτά του θερμοκηπίου 2. Η διαφορά αυτή στην ανάπτυξη των φυτών φαίνεται να παύει να υφίσταται καθώς έπειτα από τον δεύτερο μήνα μετά την μεταφύτευση τα φυτά του θερμοκηπίου 2 εμφανίζουν εντονότερους ρυθμούς ανάπτυξης. Σύμφωνα λοιπόν με την στατιστική ανάλυση των μετρήσεων, προκύπτει πως μέχρι τα μέσα Μαρτίου τα φυτά του θερμοκηπίου με το διπλό φύλλο κάλυψης εμφανίζουν ταχύτερους ρυθμούς ανάπτυξης έναντι των φυτών του Θερμοκηπίου 1 με το απλό φύλλο κάλυψης. Στην συνέχεια όμως οι διαφορές αυτές σταδιακά μειώθηκαν καθώς τα φυτά του θερμοκηπίου 2 αύξησαν τους ρυθμούς ανάπτυξής τους, με τελικό αποτέλεσμα τα φυτά να εμφανίζουν παρόμοια ύψη σε όλα τα θερμοκήπια.



Εικόνα 30: Διακύμανση του ύψους των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.2.ΜΗΚΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

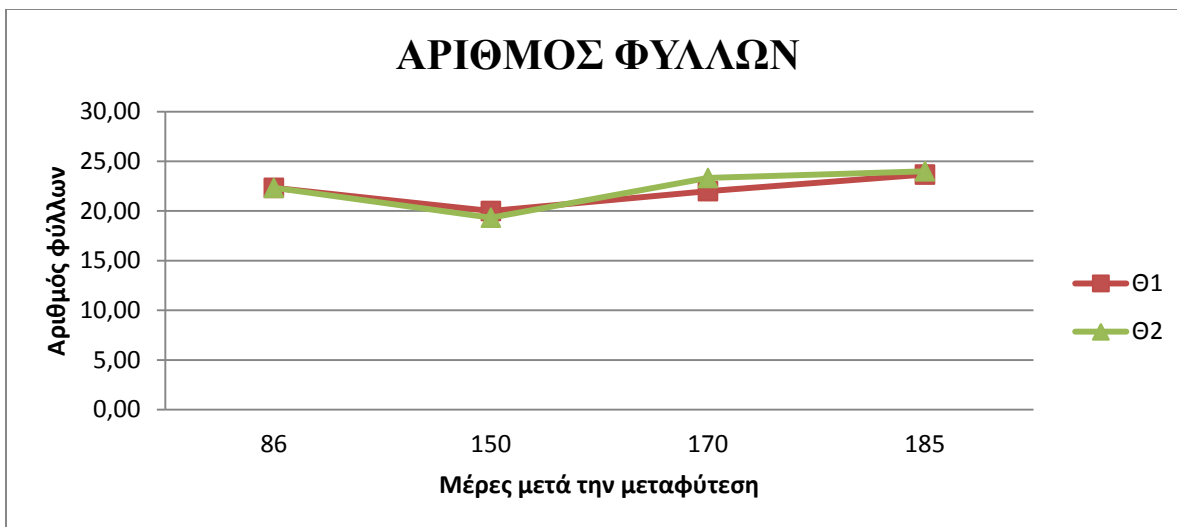
Από τις αντίστοιχες μετρήσεις που αφορούν το μήκος των φύλλων των φυτών, όπως αυτές καταγράφηκαν στα θερμοκήπια, προκύπτει το γράφημα που ακολουθεί (**Εικόνα 31**). Όπως φαίνεται από το γράφημα αυτό, το μήκος των φύλλων των φυτών κυμαίνεται από 30 έως 40cm στα φυτά που καλλιεργήθηκαν και στα δυο θερμοκήπια 1 και 2. Συνεπώς τα φυτά στα δυο θερμοκήπια δεν εμφανίζουν στατιστικά σημαντική διαφορά στο μήκος των φύλλων τους.



Εικόνα 31: Διακύμανση του μήκους των φύλλων των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.3.ΑΡΙΘΜΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

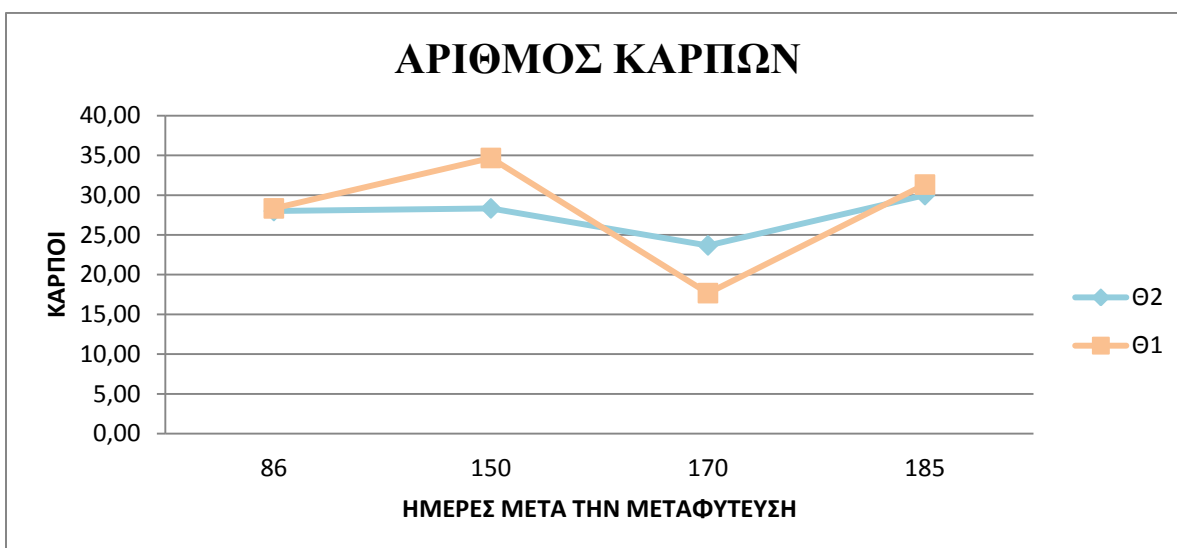
Το γράφημα που ακολουθεί, προκύπτει από τις μετρήσεις που αφορούν τον αριθμό των φύλλων των φυτών στα δυο θερμοκήπια (**Εικόνα 32**). Με το πέρας των ημερών παρατηρείται μια μικρή αύξηση του αριθμού των φύλλων των φυτών και στα δυο είδη θερμοκηπίων που χρησιμοποιήθηκαν. Από την εικόνα αυτή προκύπτει πως η διαφορετικότητα του υλικού κάλυψης στο κάθε θερμοκήπιο δεν επηρέασε σημαντικά την μεταβολή του αριθμού των φύλλων στα φυτά τομάτας που καλλιεργήθηκαν σε αυτά.



Εικόνα 32: Διακύμανση του αριθμού των φύλλων των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.4.ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΡΠΩΝ

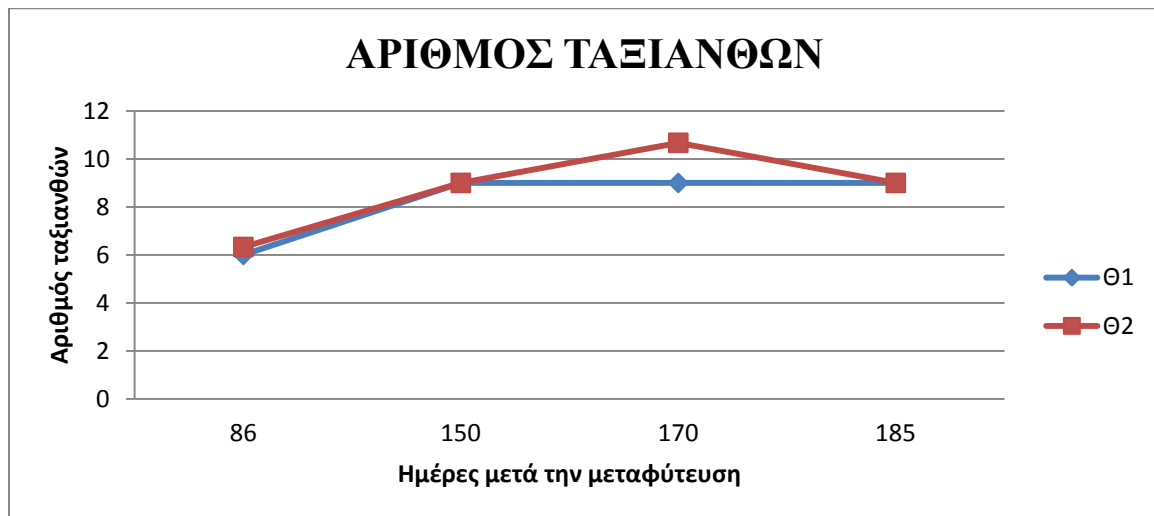
Σε ότι αφορά τον αριθμό των καρπών στις καλλιέργειες των διαφορετικών θερμοκηπίων σύμφωνα με το γράφημα που ακολουθεί βλέπουμε πως ο αριθμός των καρπών των φυτών κυμαίνεται από 15 έως 35 καρπούς (**Εικόνα 33**). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η αυξομείωση που παρατηρείται στην τρίτη μέτρηση οφείλεται στην συγκομιδή κάποιων καρπών από τα φυτά ώστε να αποφευχθεί το σπασίμο του βλαστού.



Εικόνα 33: Διακύμανση του αριθμού των καρπών των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.5. ΑΡΙΘΜΟΣ ΤΑΞΙΑΝΘΩΝ

Η εκτίμηση των μετρήσεων που αφορούν τον αριθμό των ταξιανθών, των φυτών των διαφορετικών θερμοκηπίων, οδήγησε στην κατασκευή του παρακάτω διαγράμματος (**Εικόνα 34**). Όπως βλέπουμε και στο γράφημα αυτό, ο αριθμός των ταξιανθών στα φυτά των θερμοκηπίων κυμάνθηκε από 6 έως 11. Η μέτρηση των ταξιανθών πραγματοποιούνταν έπειτα από κάθε καταστροφική μέτρηση.

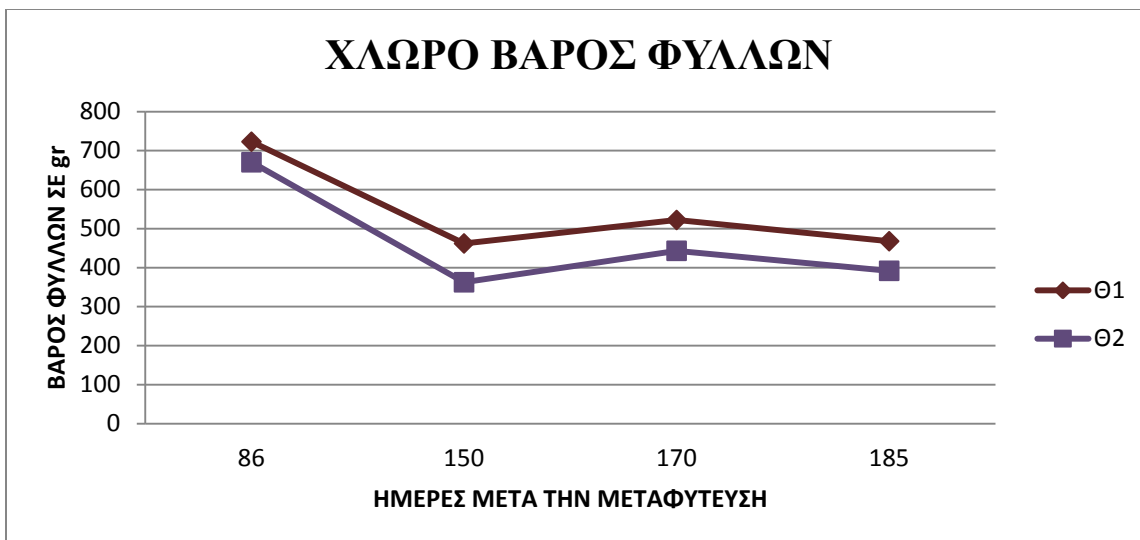


Εικόνα 34: Διακύμανση του αριθμού των ταξιανθών των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

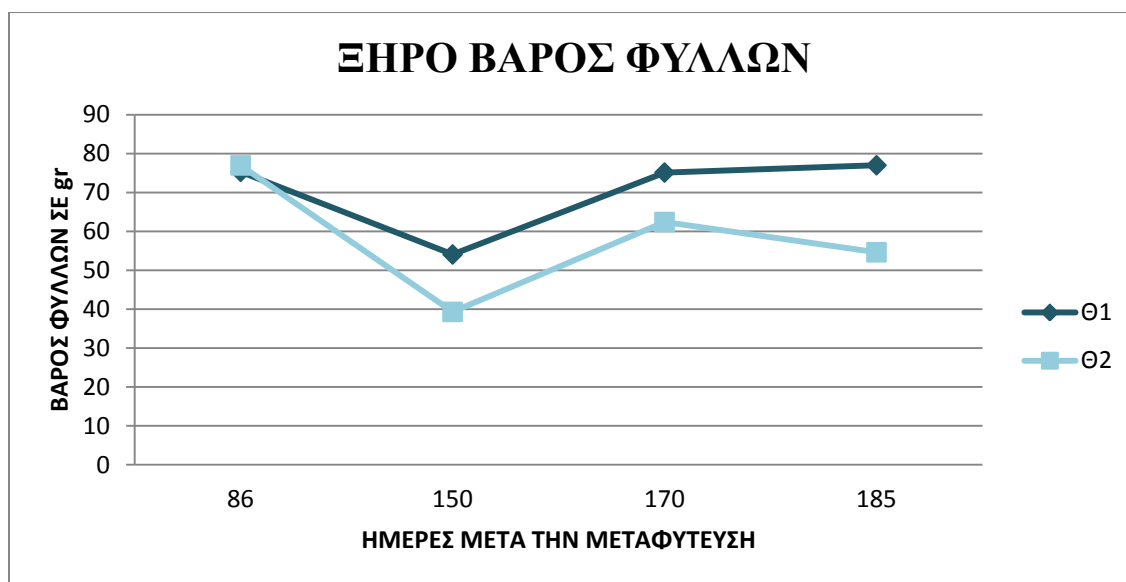
3.3.6. ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΦΥΛΛΩΝ

Αντίστοιχες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και για το χλωρό και ξηρό βάρος των φύλλων των φυτών. Από την ανάλυση των μετρήσεων αυτών προέκυψαν τα γραφήματα που ακολουθούν (**Εικόνα 35** και **36** αντίστοιχα). Από τα γραφήματα αυτά προκύπτουν τα παρακάτω:

- ✓ Το χλωρό βάρος των φύλλων των φυτών και στα δυο θερμοκήπια κυμαίνεται από 350gr έως 720 gr.
- ✓ Το ξηρό βάρος των φύλλων των φυτών και στα δυο θερμοκήπια κυμαίνεται από 40gr έως 80gr.



Εικόνα 35: Διακύμανση του χλωρού βάρους των φύλλων των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.



Εικόνα 36: Διακύμανση του ξηρού βάρους των φύλλων των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

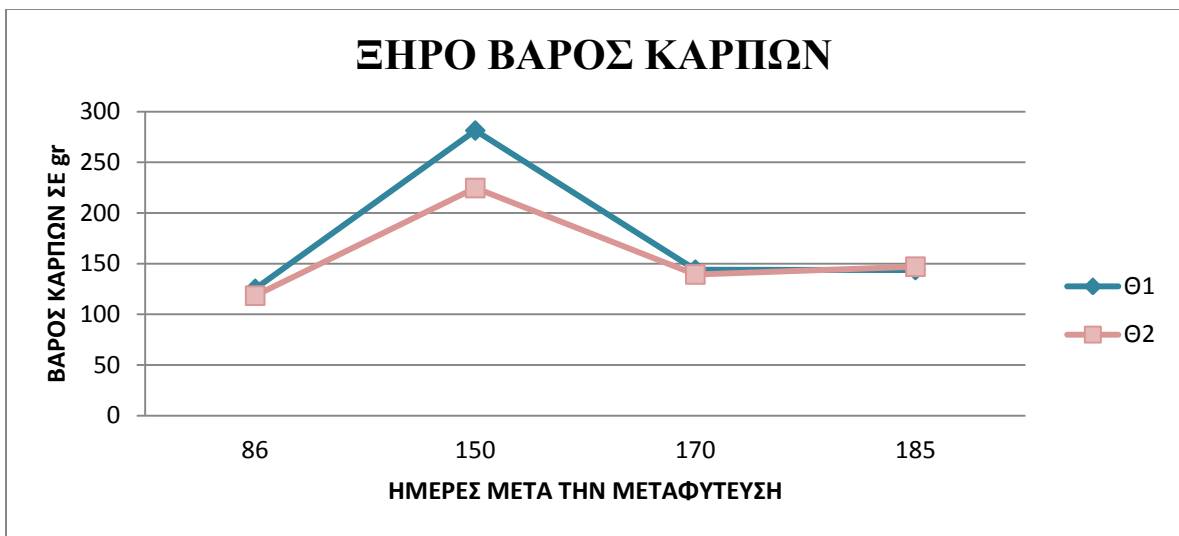
3.3.7.ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΚΑΡΠΩΝ

Από τις καταγραφές που αφορούν το χλωρό και ξηρό βάρος των καρπών, προκύπτουν τα δυο γραφήματα που ακολουθούν αντίστοιχα (Εικόνα 37 και 38). Από τα δυο αυτά γραφήματα εξάγουμε τα εξής συμπεράσματα:

- ο Το χλωρό βάρος των καρπών των φυτών και των δυο θερμοκηπίων κυμαίνεται από 2 κιλά έως και 5 κιλά.
- ο Αντίστοιχα το ξηρό βάρος των καρπών των φυτών και των δυο θερμοκηπίων κυμαίνεται από 100gr έως 300gr.



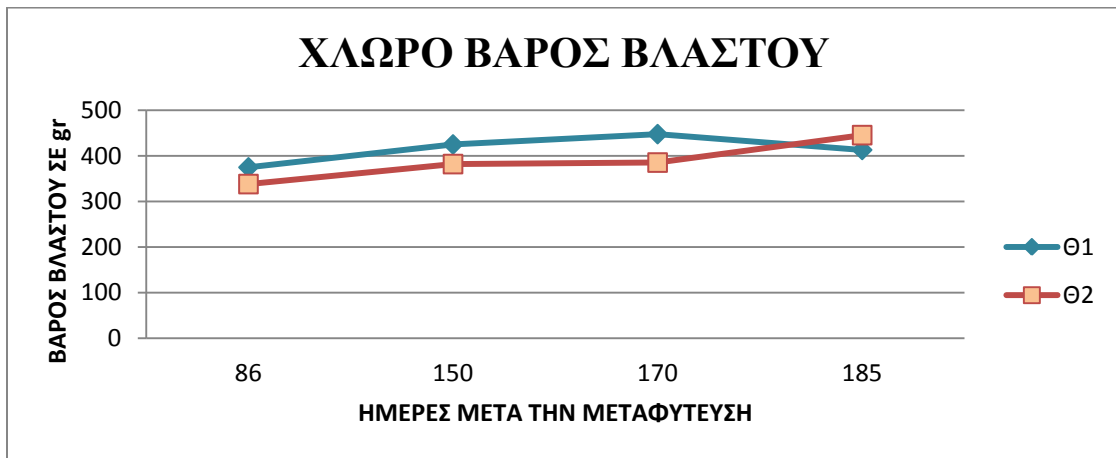
Εικόνα 37: Διακύμανση του χλωρού βάρους των καρπών των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.



Εικόνα 38: Διακύμανση του ξηρού βάρους των καρπών των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.7.ΧΛΩΡΟ ΚΑΙ ΞΗΡΟ ΒΑΡΟΣ ΒΛΑΣΤΟΥ

Σε ότι αφορά τις καταγραφές του χλωρού και ξηρού βάρους του βλαστού των φυτών των θερμοκηπίων, μια αντιπροσωπευτική εικόνα αποκτούμε από τα γραφήματα που ακολουθούν και έχουν προκύψει από τις μετρήσεις αυτές. Όπως παρατηρούμε το χλωρό βάρος του βλαστού των φυτών κυμαίνεται από 300gr έως 450gr, στα φυτά και των δυο θερμοκηπίων (**Εικόνα 39**). Αντίστοιχα για το ξηρό βάρος του βλαστού των φυτών παρατηρούμε ότι αυτό κυμαίνεται από 40gr έως 70gr στα φυτά και των δυο θερμοκηπίων (**Εικόνα 40**).



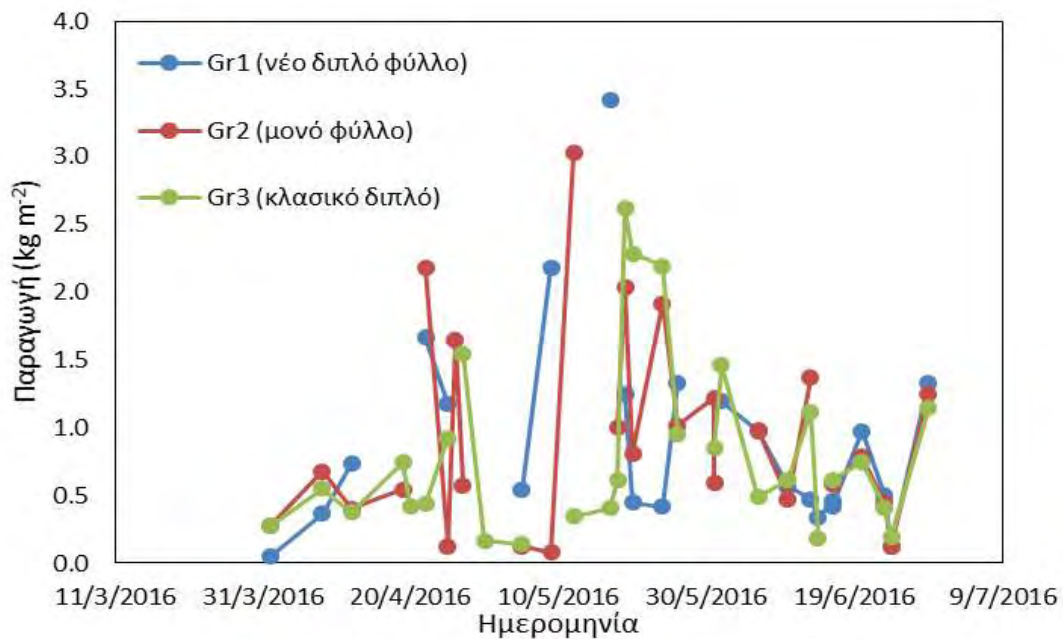
Εικόνα 39: Διακύμανση του χλωρού βάρους του βλαστού των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.



Εικόνα 39: Διακύμανση του ξηρού βάρους του βλαστού των φυτών με το πέρας του χρόνου για τα θερμοκήπια 1 και 2 αντίστοιχα.

3.3.8.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

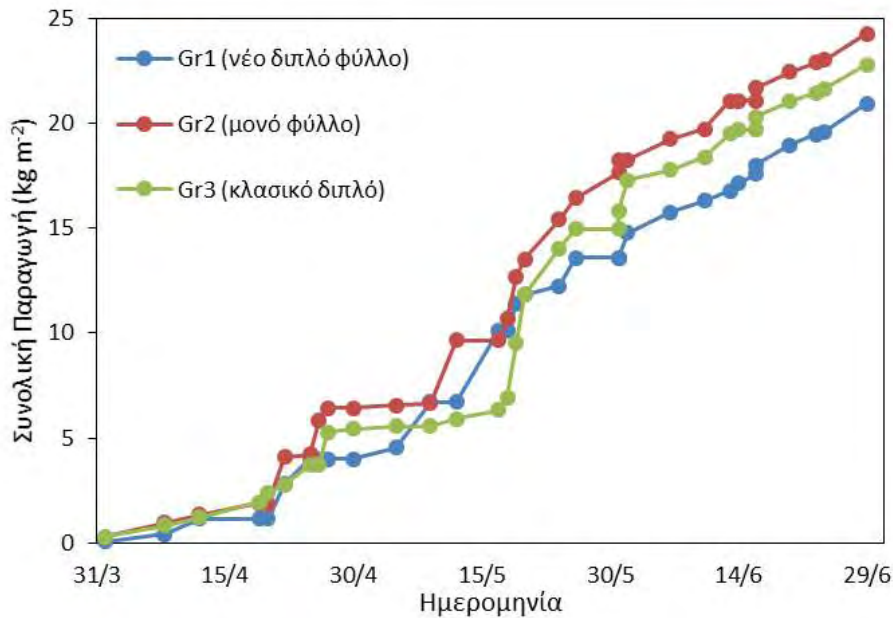
Σε ότι αφορά την επίδραση των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων στην παραγωγή και την ποιότητα των καλλιεργειών, προκύπτει ότι η συγκομιδή αυξήθηκε κατά την περίοδο Απριλίου και Μαΐου ενώ φαίνεται να σταθεροποιήθηκε τον μήνα Ιούνιο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί εδώ πως η συγκομιδή ξεκίνησε στα τέλη Μαρτίου και ολοκληρώθηκε στα τέλη Ιουνίου. Στο γράφημα που ακολουθεί παρατηρούμε την παραγωγή κάθε θερμοκηπίου όπως αυτές καταγράφηκαν κατά την διάρκεια της συγκομιδής. Προκύπτει συνεπώς, όπως προαναφέρθηκε πως η συγκομιδή αυξήθηκε κατά την περίοδο Απριλίου και Μαΐου ενώ φαίνεται να σταθεροποιήθηκε τον μήνα Ιούνιο (**Εικόνα 40**).



Εικόνα 40: Διακύμανση της παραγόμενης ποσότητας όπως αυτή προέκυψε από τις μετρήσεις κατά την διάρκεια της συγκομιδής και στα τρία θερμοκήπια.

Αθροιστικά η παραγόμενη ποσότητα στα θερμοκήπια που χρησιμοποιήθηκαν φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί (**Εικόνα 41**). Όπως προκύπτει και από το γράφημα αυτό, η παραγωγή όπως μετρήθηκε στα θερμοκήπια κατά την περίοδο της συγκομιδής ήταν 24.3 kg m^{-2} και 22.9 kg m^{-2} , αντίστοιχα. Πιο αναλυτικά φαίνεται πως το θερμοκήπιο 2 το οποίο διέθετετο νέο διπλό φύλλο κάλυψης εμφανίζει σε ποσοστό 6% μικρότερη παραγωγή εν συγκρίσει με το Θερμοκήπιο 2- μάρτυρα. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η μικρότερη παραγωγή που σημειώθηκε στο θερμοκήπιο με το διπλό φύλλο κάλυψης, σε σχέση με το θερμοκήπιο – μάρτυρα, πιθανόν να οφείλεται στην μικρότερη διαπερατότητα των θερμοκηπίων αυτών στην ηλιακή

ακτινοβολία.



Εικόνα 41: Διακύμανση της αθροιστικής παραγόμενης ποσότητας όπως αυτή προέκυψε από τις μετρήσεις κατά την διάρκεια της συγκομιδής και στα τρία θερμοκήπια.

Για να εκτιμηθεί το κόστος της μείωσης αυτής στην παραγωγή, υπολογίστηκε μια μέση τιμή μείωσης παραγωγής στα θερμοκήπια με το διπλό φύλλο της τάξης των 2.4 kg m^{-2} , και μια τιμή πώλησης της τομάτας ίση με 1€/κιλό . Σύμφωνα λοιπόν με τις τιμές αυτές υπολογίζεται το κόστος από την μείωση της παραγωγής στα 2.4€/m^2 . Παράλληλα υπολογίζοντας μια μέση τιμή της μείωσης στην κατανάλωση πετρελαίου στα θερμοκήπια με το διπλό φύλλο κάλυψης σε σχέση και με το θερμοκήπιο – μάρτυρα, της τάξεως των 6.4L/m^2 , καθώς επίσης και μια τιμή αγοράς του πετρελαίου ίση με 1.1€/L , υπολογίζεται τελικά το κέρδος από την μείωση στην κατανάλωση πετρελαίου στα 7€/m^2 . Έτσι προκύπτει ότι το κέρδος από την μείωση στην κατανάλωση πετρελαίου για την θέρμανση του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερο από το κόστος της μείωσης στην παραγωγή.

Ακόμα ο αριθμός των καρπών οι οποίοι μετρήθηκαν στα δυο θερμοκήπια ήταν 79.9 καρποί ανά m^2 και 71.0 καρποί ανά m^2 , αντίστοιχα. Στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 4**), συγκεντρώνονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με το βάρος των καρπών στα τρία θερμοκήπια. Όπως προκύπτει και από τον παρακάτω πίνακα για το θερμοκήπιο 2 το μέσο βάρος των καρπών ανέρχεται στα 230g ενώ τέλος στο θερμοκήπιο 2 στα 232g . Στον **Πίνακα 5**

που ακολουθεί, καταγράφεται και η συνεκτικότητα των καρπών των δυο θερμοκηπίων, σε σχέση με το υλικό κάλυψης αλλά και την ημερομηνία συγκομιδής. Από την ανάλυση της συνεκτικότητας των καρπών, προκύπτει πως μεταξύ των δυο παραγόντων αυτός με την μεγαλύτερη παραλλακτικότητα είναι η ημερομηνία συγκομιδής με ποσοστό 97,3%. Σε ότι αφορά τα υλικά κάλυψης, σημαντικότερες διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο κατά τις δυο πρώτες μετρήσεις, όπου οι καρποί των θερμοκηπίων 1 και 2 είχαν μεγαλύτερη συνεκτικότητα.

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικός πίνακας μέσης τιμής των βαρών των καρπών στα τρία θερμοκήπια.

Ημερομηνία συγκομιδής	ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ	
	1	2
21/04	166.6±86.5	251.3±58.6
11/05	304.6±80.0	230.8±51.1
17/5	262.1±52.3	253.5±51.5
26/5	230.2±56.3	248.0±114.9
1/6	243.6±45.3	224.5±79.6
8/6	205.3±49.2	229.5±81.9
21/6	196.8±82.5	186.4±64
Μέση τιμή	230	232

Πίνακας 5: Συνεκτικότητα των καρπών (τιμές σε N/mm) σε σχέση με το υλικό κάλυψης και την ημερομηνία συγκομιδής.

Θερμοκήπιο	Ημερομηνία συγκομιδής			ΕΣΔ
	1 ^η (25-05)	2 ^η (04-06)	3 ^η (18-06)	
1	40.2 β (α)	19.9 β(β)	16.5 α(β)	4.5
2	42.7 α(β)α)	16.8 β(β)	19.1 α(β)	5.3
ΕΣΔ	1.6	4.2	6.3	

Σε ότι αφορά το χρώμα των καρπών, η σύγκριση πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του δείκτη της φωτεινότητας του χρώματος. Όπως φαίνεται και στον **πίνακα 6**, ο δείκτης L, της φωτεινότητας του χρώματος δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές, τόσο σε σχέση με το υλικό κάλυψης όσο και με την ημερομηνία συγκομιδής. Παρατηρείται όμως μια σταδιακή μείωση της φωτεινότητας του χρώματος των καρπών στο θερμοκήπιο 1, από την πρώτη προς την τρίτη συγκομιδή. Αντίθετα στο θερμοκήπιο 2 παρατηρείται σταδιακή αύξηση της φωτεινότητας του

χρώματος των καρπών.

Πίνακας 6: Χρώμα των καρπών (τιμή του δείκτη $L \pm$ τυπική απόκλιση) σε σχέση με το υλικό κάλυψης και την ημερομηνία συγκομιδής.

Θερμοκήπιο	Ημερομηνία συγκομιδής		
	1 ^η (25-05)	2 ^η (04-06)	3 ^η (18-06)
1	33.54±0.04	32.36±0.04	29.5±0.03
2	33.93±0.03	30.47±0.04	32.77±0.05

Σε ότι αφορά το δείκτη χρώματος a , σύμφωνα με τον οποίο προκύπτει το κατά πόσο ένας καρπός είναι πράσινος (αρνητικές τιμές) ή κόκκινος (θετικές τιμές), εμφανίζονται και πάλι ορισμένες διαφορές σε σχέση με το υλικό κάλυψης και την ημερομηνία συγκομιδής. Το νέο υλικό κάλυψης φαίνεται να σχετίζεται με καρπούς εντονότερου κόκκινου χρώματος, σε σχέση με τα άλλα δυο υλικά, στην 1^η και 3^η συγκομιδή. Αντίστοιχα παρατηρήθηκε και μια σταδιακή μείωση του κόκκινου χρώματος, στο 1^ο και 2^ο υλικό κάλυψης (**Πίνακας 7**).

Πίνακας 7: Χρώμα των καρπών (τιμή του δείκτη $a \pm$ τυπική απόκλιση) σε σχέση με το υλικό κάλυψης και την ημερομηνία συγκομιδής.

Θερμοκήπιο	Ημερομηνία συγκομιδής		
	1 ^η (25-05)	2 ^η (04-06)	3 ^η (18-06)
1	33.54±0.04	32.36±0.04	29.5±0.03
2	33.93±0.03	30.47±0.04	32.77±0.05

Ακόμα σε ότι αφορά τον δείκτη χρώματος b , ο οποίος δηλώνει το πόσο μπλέ (αρνητικές τιμές) ή πόσο κίτρινος (θετικές τιμές) είναι ένας καρπός, παρατηρείται μια σταδιακή μείωση σε όλα τα υλικά κάλυψης σε σχέση με την ημερομηνία συγκομιδής. Οι μειώσεις εμφανίζονται στο 1^ο και 2^ο υλικό κάλυψης όμοιες. Τέλος σε όλες τις ημερομηνίες συγκομιδής στο θερμοκήπιο με το 2^ο υλικό κάλυψης προέκυψαν καρποί με περισσότερο κίτρινο χρώμα, σε σχέση με τα άλλα δυο υλικά (**Πίνακας 8**).

Πίνακας 8: Χρώμα των καρπών (τιμή του δείκτη $b \pm$ τυπική απόκλιση) σε σχέση με το υλικό κάλυψης και

την ημερομηνία συγκομιδής.

	Ημερομηνία συγκομιδής		
Θερμοκήπιο	1 ^η (25-05)	2 ^η (04-06)	3 ^η (18-06)
1	30.14±0.15	26.27±0.02	26.39±0.13
2	30.9±0.15	27.84±0.03	28.63±0.06

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω συμπεράσματα, το διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης εμφανίζει μια σειρά πλεονεκτημάτων για την καλλιέργεια καθώς, συμβάλλει σημαντικά στην μείωση της απώλειας ενέργειας από το θερμοκήπιο, γεγονός που οδηγεί στην καλύτερη διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ακόμη παρατηρήθηκε πως μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση του θερμοκηπίου. Οι δυο αυτοί παράγοντες έχουν μεγάλη σημασία για τον παραγωγό και την επίτευξη της διατήρησης των θερμοκηπίων. Ακόμη η χρήση του διπλού φύλλου πολυαιθυλενίου δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή και την ποιότητα των παραγόμενων καρπών, των καλλιεργειών. Συνεπώς η χρήση αυτού δεν έχει σημαντικές επιδράσεις στην ποιότητα των καρπών.

Παρόλα αυτά από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε, το διπλό φύλλο κάλυψης πολυαιθυλενίου φαίνεται να μειώνει το ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας του θερμοκηπίου κατά 3-5%. Το γεγονός αυτό, πιθανόν συνδέεται με την μείωση της παραγωγής στο θερμοκήπιο με το διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου εν συγκρίσει με την παραγωγή στο θερμοκήπιο-μάρτυρα. Η μικρή αυτή μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή κατά 10% όπως σημειώθηκε.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, θα λέγαμε πως ο παραγωγός έχει σαφώς ένα σημαντικό κέρδος από την χρήση του διπλού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικό κάλυψης, από την μείωση την κατανάλωσης καυσίμων και της απώλειας ενέργειας. Έχει όμως ένα κόστος από την μείωση της παραγωγής του θερμοκηπίου κατά 10%. Η μελέτη της παρούσας εργασίας αποτελεί πηγή νέων ερωτημάτων για συνεχή έρευνα της χρήση των υλικών αυτών ως υλικά κάλυψης στα θερμοκήπια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκε η επίδραση της χρήσης διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίου, στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια φυτών τομάτας. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής συγκρίθηκαν με αντίστοιχες μετρήσεις σε θερμοκήπιο που διέθετε απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, ως υλικό κάλυψης.

Τα υλικό κάλυψης αποτελούνταν από δυο φύλλα, το κάθε ένα από τα οποία διέθετε τρία στρώματα και είχαν παραχθεί ξεχωριστά (κλασσικό διπλό φύλλο κάλυψης, για το θερμοκήπιο 2). Αντίστοιχα στο 1^ο Θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε απλό φύλλο κάλυψης και αποτέλεσε για το πείραμα μας, το θερμοκήπιο – μάρτυρα.

Έπειτα από την καλλιέργεια και την ανάπτυξη των φυτών τομάτας στα θερμοκήπια αυτά με τα διαφορετικά υλικά κάλυψης, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Τα διπλά φύλλα κάλυψης εμφάνισαν μικρή μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας, της τάξης του 3 – 5%.
2. Συμβάλλουν στην σημαντική μείωση της απώλειας ενέργειας.
3. Συμβάλλουν στην συνολική μείωση στην κατανάλωση καυσίμων για την θέρμανση των θερμοκηπίων.
4. Δεν σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στην παραγωγή και την ποιότητα των καρπών μεταξύ των θερμοκηπίων με τα διαφορετικά υλικά κάλυψης.
5. Παρατηρήθηκε μια μέση μείωση στην παραγωγή των θερμοκηπίων με τα διπλά φύλλα κάλυψης, σε σχέση με το απλό φύλλο κάλυψης της τάξης των 10%. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την μικρότερη διαπερατότητα των θερμοκηπίων με το διπλό φύλλο κάλυψης σε σχέση με το θερμοκήπιο – μάρτυρα.

Τα παραπάνω συμπεράσματα αφορούν την περίοδο καλλιέργειας από τον Δεκέμβριο 2015 έως τον Ιούνιο 2016. Προκειμένου να μπορούν να γενικευθούν με ασφάλεια θα πρέπει να γίνει επανάληψη των πειραμάτων για τουλάχιστον μία ακόμη περίοδο καλλιέργειας.

Βιβλιογραφία

Castellano, S., Scarascia, G.M., Russo, G., Briassoulis, D., Mistriotis, A., Hemming, S.

&Waaijenbergh, D. 2008. Plastic nets in agriculture: A general review of types and applications. *Appl. Eng. Agric.*, 24(6): 799–808.

Castilla, N. 2007. Invernaderos de plástico: Tecnología y manejo (2nd ed.). MundiPrensaLibros, Madrid.

Cohen, S., Raveh, E., Li, Y., Grava, A. &Goldschmidh, E.E. 2005. Physiological response of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shading screens. *Sci. Hort.* 107(1): 15–35.

Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops. Principles for Mediterranean climate areas. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2013. ISBN 978-92-5-107649-1.

Hemming, S., Kempkes, F., Van der Braak, N., Dueck, T. &Marissen, N. 2006a. Greenhouse cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.*, 719: 97–106.

Hemming, S., van der Braak, N., Dueck, T., Elings, A. &Marissen, N. 2006b. Filtering natural light by the greenhouse covering – More production and better plant quality by diffuse light? *Acta Hort.*, 711: 105–110.

Hemming, S. &Reinders, U. 2007. Light diffusion improves growth. *Flower Tech*, 10(6): 24–25.

Savvas, D., Ropokis, A., Ntatsi, G. and Kittas, C. (2016). Current situation of greenhouse vegetable production in Greece. *Acta Hort.* 1142, 443-448
DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1142.67