

**«ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ»
«Σχολή Γεωπονικών Επιστημών»
«Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού
Περιβάλλοντος»
«ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ»
«Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος»**

**«ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

«ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ»

**«Αξιολόγηση της επίδρασης νέου τύπου διπλού φύλλου κάλυψης
θερμοκηπίων, στο
μικροκλίμα και την καλλιέργεια τομάτας»**

Παντελίδης Πρόδρομος

ΒΟΛΟΣ 2019

[1]

**«Αξιολόγηση της επίδρασης νέου τύπου διπλού φύλλου κάλυψης
θερμοκηπίων, στο
μικροκλίμα και την καλλιέργεια τομάτας»**

Παντελίδης Πρόδρομος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Κ. Κίττας (Μέλος)

Ομότιμος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Σ. Πετρόπουλος (Μέλος)

Επίκουρος Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Copyright © ΠΑΝΤΕΛΙΑΔΗΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι βασική παράμετρος στην οποία βασίζεται η υγεία της καλλιέργειας και συνεπώς η παραγωγή και η πρόσοδος που θα αποφέρει. Σκοπός αυτού του πειράματος είναι η μελέτη της επίδρασης που έχει ένα νέου τύπου 7-στρωματικού πλαστικού κάλυψης θερμοκηπίων στην απόδοση της καλλιέργειας τομάτας συνάμα με την κατανάλωση καυσίμου θέρμανσης. Γι αυτό μελετήθηκαν τρία θερμοκήπια που το ένα ήταν καλυμμένο με το νέου τύπου πλαστικό κάλυψης, το δεύτερο ήταν καλυμμένο με δύο φύλλα κάλυψης πολυαιθυλενίου, ίδια μεταξύ τους, που είχαν κενό αέρα ανάμεσα τους και το τρίτο είναι ο μάρτυρας καλυμμένο με ένα φύλλο πολυαιθυλενίου.

Η φύτευση της καλλιέργειας τομάτας έγινε στις 5 Δεκεμβρίου 2015 και οι μετρήσεις διήρκησαν ως τις 30 Ιουνίου 2016. Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετρήθηκαν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία που επικρατούσαν εντός των τριών θερμοκηπίων. Επίσης μετρήθηκε και η κατανάλωση πετρελαίου που είχε κάθε θερμοκήπιο ξεχωριστά. Όσων αφορά την καλλιέργεια μετρήθηκαν το ύψος των φυτών, το μήκος των σύνθετων φύλλων, ο αριθμός των κόμβων και των σταυρών που είχαν τα φυτά και τέλος η παραγωγή που έδωσαν σε κάθε θερμοκήπιο.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές σε όλες τις παραμέτρους που μετρήθηκαν στα τρία θερμοκήπια παρά μόνο στην κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση και στην παραγωγή. Στην κατανάλωση πετρελαίου φάνηκε σημαντική η διαφορά μιας και στα θερμοκήπια με τα διπλά φύλλα (νέου τύπου και κλασσικό) η κατανάλωση ήταν περίπου η μισή. Στην παραγωγή εμπορεύσιμου καρπού εντοπίστηκε επίσης μία διαφορά, με το θερμοκήπιο μάρτυρα να δίνει μεγαλύτερη παραγωγή 2.250 κιλά περίπου, ενώ το θερμοκήπιο με το νέου τύπου πλαστικό έδωσε περίπου 1.750 κιλά και το τρίτο θερμοκήπιο με τα διπλά κλασσικά φύλλα 2.090 κιλά περίπου. Η διαφορά αυτή δεν θεωρείται σημαντική αν την συγκρίνουμε με το οικονομικό όφελος που προσφέρει η μείωση κατανάλωσης πετρελαίου για θέρμανση.

Λέξεις κλειδιά: Σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, κατανάλωση ενέργειας, αειφορία

Summary

Greenhouse cover materials are a key parameter on which the health of the crop is based and hence the yield and the profit to make. The purpose of this experiment is to study the effect of a new 7 - layer type of plastic greenhouse cover on the yield of tomato cultivation along with the heating fuel consumption. For this purpose three greenhouses were studied, one covered with the new type of plastic cover, the second covered with two polyethylene cover sheets, which had a blank air between them, and the third was the control covered with a polyethylene sheet.

Transplanting of tomato was done on December 5, 2015 and the measurements lasted until June 30, 2016. During the experiment, the temperature, relative humidity, and solar radiation were measured within the three greenhouses. The oil consumption of each greenhouse was also measured. For cultivation, the height of the plants, the length of the composite leaves, the number of knots and crosses the plants had, and finally the yield they gave in each greenhouse were measured.

The results showed that there were no significant differences in all parameters measured in the three greenhouses except in oil consumption for heating. There, the difference between the double-glazed greenhouses (new and classic) seemed to be significant, with the consumption being about half. There was also a difference in the production of marketable fruit, with the clear greenhouse having greater production but not considered sufficiently significant compared to the economic benefit of reducing the oil consumption for heating.

Key words: Relative humidity, solar radiation, energy consumption, sustainability

Εγώ, ο Παντελίδης Πρόδρομος, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή ή Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή άλλο Προπτυχιακό ή Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον κο Παντελίδη Πρόδρομο

Ο επιβλέπων καθηγητής: Κατσούλας Νικόλαος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ:	
1.1 Γενική εισαγωγή	9
1.2 Θερμοκήπια	10
1.3 Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα	15
1.4 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων	16
1.5 Τα προβλήματα των θερμοκηπίων	17
1.6 Σκοπός της εργασίας	19
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	
2.1 Τα θερμοκήπια	20
2.2 Περιγραφή των μετρήσεων	27
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	
3.1 Μετρήσεις του μικροκλίματος των θερμοκηπίων και της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση	31
3.2 Μετρήσεις των χαρακτηριστικών των φυτών	40
3.3 Μετρήσεις της παραγωγής	47
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	53
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Εισαγωγή

Η γεωργία είναι από τους σημαντικότερους πρωτογενείς τομείς παραγωγής παγκοσμίως αλλά και στην Ελλάδα. Το κλίμα στην Ελλάδα είναι μεσογειακό, αλλά λόγω της μορφολογίας της υπάρχουν πολλά διαφορετικά μικροκλίματα σε ολόκληρη την επικράτεια της. Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες στην Ελλάδα κυμαίνονται από +10,0 έως +20,7 °C. Ωστόσο, δεδομένου ότι η Ελλάδα είναι γενικά μια ορεινή χώρα, οι πραγματικές μέσες θερμοκρασίες ποικίλλουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή (https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμα_της_Ελλάδας). Γενικά επικρατεί κρύο το χειμώνα και ζέστη το καλοκαίρι αλλά οι θερμοκρασίες δεν είναι απαγορευτικές για πληθώρα αγροτικών ειδών, γεγονός που καθιστά τη γεωργία στην Ελλάδα σημαντικό τομέα της οικονομίας της. Η ελληνική χλωρίδα διαθέτει γύρω στα 1.500 ενδημικά φυτά, και πολλά από αυτά ευδοκιμούν σχεδόν αποκλειστικά στην Ελλάδα. Πολλά είδη αρωματικών φυτών ανήκουν σε αυτά, ο κρόκος Κοζάνης, η μαστίχα Χίου κ.α.

Το πρόβλημα στην Ελλάδα είναι ότι σε γενικές γραμμές ο κλήρος που κατέχει ο κάθε παραγωγός είναι μικρός και ο εξοπλισμός του απαρχαιωμένος. Η ελληνική γεωργία απασχολεί 528.000 αγρότες, το 12% του συνολικού εργατικού δυναμικού. Παράγει μόνο το 3,6% του εθνικού ΑΕΠ (περίπου 15 δισεκατομμύρια ευρώ ετησίως) (https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωργία_στην_Ελλάδα). Επίσης υπάρχει δυσκολία δημιουργίας υγιών συνεταιρισμών που θα μπορούσαν να δώσουν κάποια ώθηση στη γεωργία και στην οικονομία.

Ο εκσυγχρονισμός της αγροτικής ανάπτυξης στην Ελλάδα θεωρείται επιβεβλημένος καθώς υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες. Πρέπει να γίνει στροφή σε νέες τεχνολογίες και νέες μεθόδους καλλιέργειας, όπως σύγχρονα θερμοκήπια, γεωργία ακριβείας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, που μπορούν να βοηθήσουν σε μεγαλύτερες παραγωγές, περισσότερο αειφόρες και με μεγαλύτερη πρόσοδο για τον παραγωγό.

1.2 Θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια είναι γεωργικές κατασκευές διαφόρων τύπων, που αποτελούνται από ένα σκελετό που καλύπτεται από υλικά κάλυψης που επιτρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία να εισχωρήσει εντός. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό των θερμοκηπίων είναι ότι επιτρέπουν την καλλιέργεια οποιουδήποτε φυτού προστατεύοντας το από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες (χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες, χιόνι, χαλάζι, βροχή, αέρα) και από τις διάφορες ασθένειες και τα έντομα – εχθρούς (Briassoulis et al, 1997).

Για να γίνει αντιληπτό πόσο ανερχόμενη τεχνολογία είναι τα θερμοκήπια επισημαίνεται ότι το 1998 παρήχθησαν παγκοσμίως 89,80 εκατομμύρια τόννοι εδώδιμης τομάτας εκ των οποίων περίπου 11,60 εκατομμύρια τόννοι παρήχθησαν εντός θερμοκηπίων. Η καλυπτόμενη επιφάνεια από θερμοκήπια παγκοσμίως το 1998 άγγιξε τα 450.000 εκτάρια (ή 4.500.000 στρέμματα) (Martinez, 1999) εκ των οποίων 100.000 εκτάρια στην λεκάνη της Μεσογείου (Baudoin, 1999).

Στα σύγχρονα θερμοκήπια υπάρχει η δυνατότητα αυτόματου συστήματος παρακολούθησης πολλών παραμέτρων που επηρεάζουν την υγεία των φυτών και την παραγωγή. Μέσα στα θερμοκήπια υπάρχει η δυνατότητα παρακολούθησης της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους, της σχετικής υγρασίας, της συγκέντρωσης του CO₂, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της υγρασίας του εδάφους. Επιπλέον μπορούν να παρατηρούνται και εκτός των θερμοκηπίων η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η κατεύθυνση και η ταχύτητα του αέρα και το ύψος των βροχοπτώσεων (Radojević et al., 2014).

Εντός του θερμοκηπίου ο κάθε παραγωγός μπορεί να ελέγξει και να ορίσει τις συνθήκες που θα επικρατούν. Μπορεί να ορίσει το εύρος της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας που θα επικρατεί, την ημέρα και τη νύχτα, καθώς επίσης και την ηλιακή ακτινοβολία που θα εισχωρεί. Επίσης μπορεί εύκολα να ελέγξει και τον πληθυσμό των εντόμων που θα κυκλοφορούν και τις ασθένειες που προκαλούνται από μύκητες και βακτήρια. Στην καλλιέργεια της τομάτας συγκεκριμένα ο έλεγχος των παρασίτων αναλογεί σε λιγότερο από το 2% του συνολικού κόστους της καλλιέργειας (Oskam et al., 1992)

Τα θερμοκήπια μπορούν να έχουν σύστημα θέρμανσης και δροσισμού, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, σύστημα καταμέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας και σύστημα σκίασης εφόσον η ηλιακή ακτινοβολία ξεπερνά ένα ορισμένο όριο και σύστημα αφύγρανσης για την περίσσεια σχετική υγρασία.

Η καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο μπορεί να είναι παραδοσιακή, δηλαδή στο χώμα, όπως γίνεται σε όλες τις αροτραίες καλλιέργειες ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της υδροπονίας, όπου η καλλιέργεια τοποθετείτε σε ένα αδρανές υλικό που έχει την τάση να συγκρατεί νερό και τα διάφορα θρεπτικά συστατικά (θρεπτικό διάλυμα) που χρειάζεται η καλλιέργεια για να αναπτυχθεί κανονικά και να δώσει τη μέγιστη δυνατή παραγωγή. Τα υδροπονικά συστήματα ξεχωρίζουν σε «ανοιχτά» όπου όσο θρεπτικό διάλυμα δεν απορροφάται από τα φυτά, χάνεται, και σε «κλειστά» όπου το θρεπτικό διάλυμα που περισσεύει, συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται (Merle and Jensen, 1997). Μελέτες σε διαφορετικά υδροπονικά υποστρώματα έδειξαν ότι κλειστά συστήματα δεν παρουσίασαν καμία διαφορά σε σύγκριση με τα ανοιχτά, στην ανάπτυξη των φυτών, στην παραγωγή και στην ευρωστία των φύλλων του φυτού (Zekki, et al., 1996). Η μόνη μέθοδος που επηρεάστηκε αρνητικά ήταν η καλλιέργεια σε λεπτό στρώμα θρεπτικού διαλύματος (NFT). Η μέθοδος της υδροπονίας έχει ως βασικό πλεονέκτημα ότι εφόσον η καλλιέργεια δεν έρχεται σε επαφή με το χώμα δεν κινδυνεύει από τις ασθένειες που μπορεί να μεταδώσει το χώμα (έντομα, μύκητες, βακτήρια). Επιπλέον η υδροπονική καλλιέργεια μπορεί να ελεγχθεί σε πολύ μεγάλο ποσοστό δημιουργώντας το ευνοϊκότερο περιβάλλον για την καλλιέργεια, και γι αυτό έχει πολύ μεγάλες στρεμματικές αποδόσεις σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους.

Πίνακας 1.1: Ενδεικτική στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας βρώσιμης ντομάτας στην Ελλάδα (σε τόνους ανά στρέμμα ετησίως)

1.	Υπαίθρια συμβατική καλλιέργεια	6 - 8
2.	Παραδοσιακό θερμοκήπιο	11 – 12
3.	Υδροπονική καλλιέργεια	50
4.	Υπαίθρια βιολογική καλλιέργεια	Λιγότερο από 5

Πίνακας 1.2: Κατανομή υδροπονικών θερμοκηπίων στην Ελλάδα (σε στρέμματα)

Βόρεια Ελλάδα	400
Κεντρική Ελλάδα	150
Δυτική Ελλάδα	100
Αττική και νησιά	300
Πελοπόννησος	450
Κρήτη	350
ΣΥΝΟΛΟ	1750

Πηγή: Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία 2008

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει η προσπάθεια εξέλιξης των θερμοκηπίων εφαρμόζοντας νέους τρόπους διαχείρισης της καλλιέργειας με στόχο πάντα την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση των εισροών. Νέες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια και κερδίζουν συνέχεια έδαφος είναι:

- Η εκμετάλλευση γεωθερμικών κοιτασμάτων. Η γεωθερμική ενέργεια είναι μία φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα (Φυτίκας και Ανδρίτσος, 2004). Θερμοκήπια κατασκευάζονται πάνω σε γεωθερμικά κοιτάσματα στην προσπάθεια τους να εκμεταλλευτούν αυτήν την ενέργεια κυρίως για θέρμανση αλλά και για την ψύξη στο εσωτερικό τους
- Η εξέλιξη των “κάθετων” θερμοκηπίων. Τα «κάθετα» θερμοκήπια είναι υδροπονικά θερμοκήπια που τα φυτά που προορίζονται για παραγωγή τοποθετούνται σε επίπεδα κάθετα μεταξύ τους, το ένα πάνω από το άλλο (The state of vertical farming – September 2016. ASSOCIATION FOR VERTICAL FARMING). Αυτό γίνεται για εξοικονόμηση χώρου. Τα θερμοκήπια αυτά ανάλογα με την κατασκευή τους εκμεταλλεύονται το φυσικό φως, αλλά ενδέχεται να χρειάζονται και βοηθητικό φως με λάμπες LED (εικ. 1.1). Σύμφωνα με τα τελευταία δεδομένα, ένα στρέμμα σύγχρονου υδροπονικού θερμοκηπίου, δίνει έξι με επτά συγκομιδές και 400.000 μαρούλια το έτος. Ένα «κάθετο» θερμοκήπιο μπορεί να δώσει από οκτώ έως δώδεκα συγκομιδές και 1.200.000 τεμάχια το έτος. (<https://www.yraithros.gr/ekdoseis/thermokipia-2018/>).



Εικόνα 1.1: Το «κάθετο» θερμοκήπιο Sky Green στη Σιγκαπούρη.

- Η δημιουργία θερμοκηπίων με φώτα LED (Light-Emitting Diodes). Είτε τοποθετούνται φώτα LED για την υποβοήθηση της καλλιέργειας τις μέρες με λίγο φως (μέρες του χειμώνα με μικρή ηλιοφάνεια, συννεφιασμένες μέρες), είτε ανάβουν την νύχτα για προώθηση της παραγωγής. Αυτό ισχύει σε κανονικά θερμοκήπια που επιτρέπουν το φως να εισχωρήσει. Πλέον κατασκευάζονται θερμοκήπια με υλικά κάλυψης που δεν επιτρέπουν το φως του ήλιου να περάσει οπότε έχουν φώτα LED που δίνουν φως σε διάφορα μήκη κύματος ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Η ανάπτυξη του φυτού εξαρτάται σημαντικά από την ένταση του φωτός, από την ποιότητα του, από την κατεύθυνση του και φυσικά από τη διάρκεια του (Kami et al., 2010; Ouzounis et al., 2015). Πλέον έχουν αναπτυχθεί φώτα LED, μονοχρωματικά και πολυχρωματικά, που εκπέμπουν φως σε διάφορα μήκη κύματος από υπεριώδεις (280–315 nm) μέχρι και υπέρυθρο (700–750 nm) και σχεδόν αντικαθιστούν το φυσικό φως στα φυτά, προωθώντας την φυσιολογικά το πρωτογενή και δευτερογενή μεταβολισμό τους (Bantis et al., 2018).
- Η δημιουργία υδροπονικών θερμοκηπίων που ποτίζονται με νερό από ενυδρεία που περιέχουν ζωντανά ψάρια. Αυτή η μέθοδος αποκαλείται aquaponics. . Η πλειοψηφία των αποβλήτων που παράγονται από τα ψάρια

έχει τη μορφή αμμωνίας, τα οποία αποβάλλονται τόσο από του ουροποιητικού τους σύστημα, όσο και από τα βράγχια. Η Αμμωνία (NH_3) είναι ένα άχρωμο, οξύ και ασφυκτικό αέριο, και αποτελείται από άζωτο και υδρογόνο, και είναι πολύ διαλυτό στο νερό. Η αμμωνία διασπάται μέσω της νιτροποίησης σε νιτρικά, με την βοήθεια βακτηρίων, τα οποία είναι θρεπτικά και απορροφούνται από τα φυτά. Οπότε σε αυτά τα θερμοκήπια φεύγει το νερό από τα ενυδρεία, φιλτράρεται, η αμμωνία μετατρέπεται σε νιτρικό άλας, αυτό το θρεπτικό νερό χρησιμοποιείται για το πότισμα της καλλιέργειας και ότι περισσεύει επιστρέφει καθαρό στα ενυδρεία (<https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics>) (Εικ. 1.2).

THE AQUAPONICS CYCLE

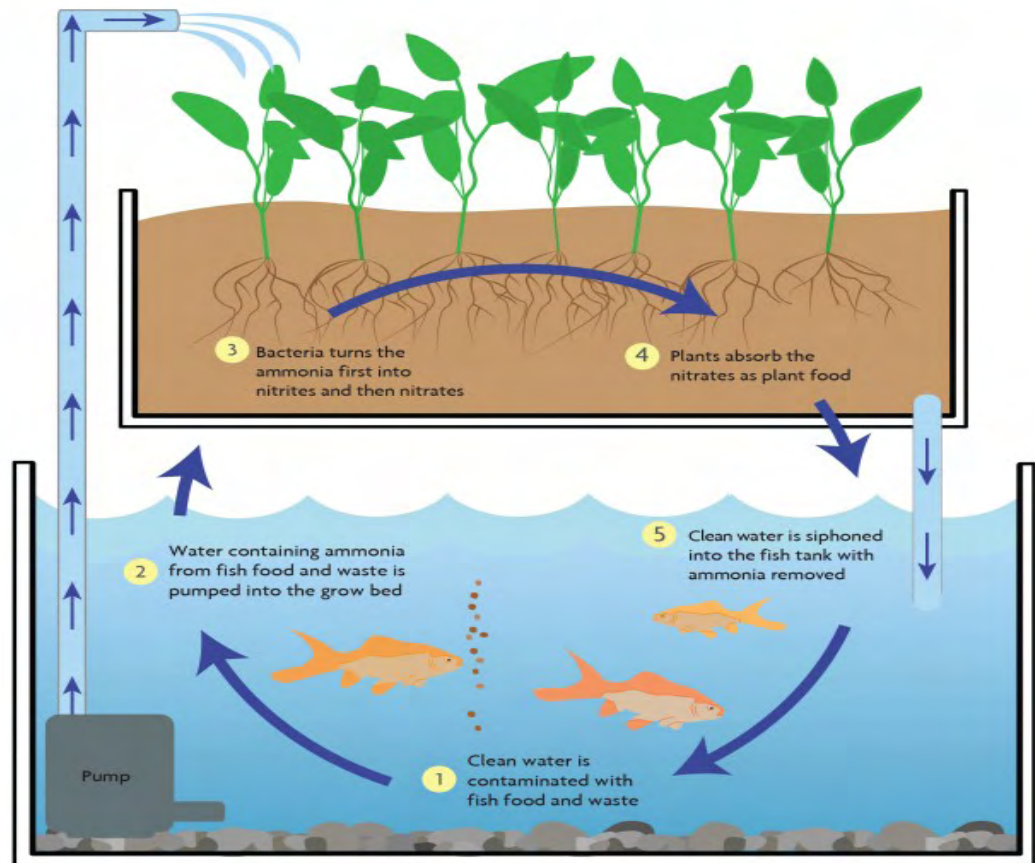
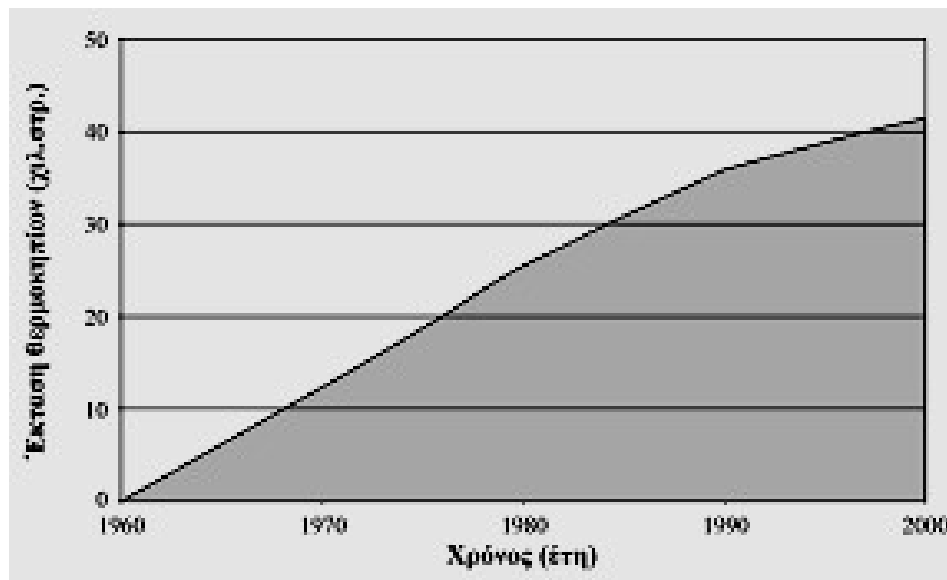


Illustration by Jillian Helvey
Source: aquaponichowto.com

Εικόνα 1.2: Το σχέδιο ενός aquaponic θερμοκηπίου.

1.3 Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα

Γρήγορη είναι η ανάπτυξη των θερμοκηπίων στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια. Η συνολική έκταση των θερμοκηπίων το 1967 ήταν 2.700 στρέμματα, 20.600 στρέμματα το 1977, 37.000 στρέμματα το 1987 και 42.500 στρέμματα το 2000 (Briassoulis et al, 1997) (Εικ.1.3).



Εικόνα 1.3: Η εξέλιξη της έκτασης των θερμοκηπίων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2000

Οι τελευταίες μετρήσεις έδειξαν ενδεικτικά, ότι το 2015 οι συνολικές εκτάσεις καλλιεργούμενων λαχανικών χωρίς κάλυψη στον αγρό, στη χώρα ανήλθαν σε 738.116 στρέμματα, μειωμένες κατά 18,3%, σε σχέση με τα 904.137 στρέμματα το 2012. Σε ότι αφορά τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, από τα 52.932 στρέμματα το 2012, οι εκτάσεις ανήλθαν το 2015 πανελλαδικά σε 59.736 στρέμματα, αυξημένες κατά 12,8% (<https://www.yraithros.gr/ekdoseis/thermokiipia-2018>). Τα περισσότερα θερμοκήπια βρίσκονται σε περιοχές της Νοτίου Ελλάδος. Στην Κρήτη βρίσκεται το 40% περίπου των θερμοκηπίων. Ο χειμώνας στην Κρήτη είναι ήπιος (τον Ιανουάριο η ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται 6 – 10 °C) που συνεπάγεται ότι η ανάγκη θέρμανσης δεν είναι επιβεβλημένη. Τα φυτά αναπτύσσονται κανονικά, και το κόστος παραγωγής είναι αρκετά μειωμένο. Είναι χαρακτηριστικό ότι τα περισσότερα θερμοκήπια δεν έχουν καθόλου σύστημα θέρμανσης (Ντόγρας, 2003).

Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται κυρίως λαχανικά και σε ένα μικρό ποσοστό καλλωπιστικά φυτά. Τη μερίδα του λέοντος την έχει η καλλιέργεια τομάτας και

ακολουθεί η καλλιέργεια του αγγουριού και μετά τα λοιπά λαχανικά. Η παραγωγή τομάτας στην Ελλάδα σε θερμαινόμενα και μη θερμαινόμενα θερμοκήπια, φτάνει τα 17.650 στρέμματα (Olympios, 1991).

1.4 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Στα θερμοκήπια μπορούν να χρησιμοποιηθούν 3 διαφορετικοί τύποι υλικών κάλυψης. Μπορούν να καλυφθούν με γυαλί, πλαστικά πάνελ και φύλλα (σχεδόν αποκλειστικά φύλλα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας, γνωστό και ως LDPE - Low Density PolyEthylene). Αυτοί οι τύποι μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε μονή στρώση ή διπλή (στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκαν και διπλά φύλλα κάλυψης). Η επιλογή του κατάλληλου υλικού κάλυψης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η αρχική επένδυση, το κόστος συντήρησης, η επιδιωκόμενη παραγωγή, οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής και η τεχνολογική υποστήριξη και ανάπτυξη που υπάρχει (Papadopoulos and Hao, 1997). Η επίδραση των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων στην παραγωγή καλλιέργειας λαχανικών εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις συνθήκες καλλιέργειας (Reiersen and Sebesta, 1981; Papadopoulos and Jewett, 1984; Van Winden et al. 1984). Η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία των φύλλων μέσα στα θερμοκήπια εξαρτώνται από τη μετάδοση του φωτός που επιτρέπουν τα υλικά κάλυψης μέσω της διαπερατότητας τους (Noble and Holder, 1989; Papadopoulos and Hao, 1997).

Το γυαλί είναι ένα ανθεκτικό υλικό αλλά συνάμα βαρύ. Χρειάζεται βαριά κατασκευή στήριξης με εκτεταμένο σκελετό (πολλές κολώνες στο έδαφος και στο ταβάνι), δεδομένου ότι κάθε κομμάτι γυαλιού δεν μπορεί να είναι μεγάλο, λόγω του βάρους του και της ευθραυστότητας του. Απόρροια του εκτεταμένου σκελετού κατασκευής ενός γυάλινου θερμοκηπίου είναι αύξηση του κόστους και η είσοδος λιγότερης ηλιακής ακτινοβολίας που επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή. Γενικά ισχύει ότι 1% απώλεια φωτός ισοδυναμεί με 1% απώλεια παραγωγής (Briassoulis et al., 1997). Σημαντική παράμετρος είναι ότι το γυαλί έχει διάρκεια ζωής γύρω στα 15 χρόνια. Μετά την πάροδο αυτής της περιόδου αποδυναμώνουν και είναι περισσότερο εύθραυστα που σημαίνει ότι χρειάζονται αντικατάσταση.

Τα πλαστικά πάνελ έχουν πολύ λιγότερο βάρος σε σύγκριση με το γυαλί. Είναι άκαμπτα, είναι ανθεκτικά και κάθε κομμάτι μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο, που

σημαίνει ότι ένα θερμοκήπιο τέτοιου τύπου έχει λιγότερα κατασκευαστικά υλικά, μικρότερο κοστολόγιο και μεγαλύτερη εισροή φωτός εντός. Τα πλαστικά πάνελ χρειάζονται αντικατάσταση περίπου μετά από 10 χρόνια διότι χάνουν γύρω στο 20% της ηλιακής διαπερατότητας τους με ότι αυτό συνεπάγεται.

Τέλος ως υλικό κάλυψης θερμοκηπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και απλά φύλλα. Τα φύλλα είναι το πιο ελαφρύ υλικό, μπορεί να φτάσει σε πλάτος και τα 10 – 12 μέτρα ανά κομμάτι και απαιτεί τη μικρότερη κατασκευή. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούταν, κυρίως παλιότερα, ακόμη και ξύλα για τη δημιουργία σκελετού θερμοκηπίου που καλυπτόταν με φύλλα. Αυτή η μέθοδος δεν είναι η ενδεικνυόμενη πρώτον γιατί με τα ξύλα είναι πολύ εύκολο να κοπεί το φύλλο στα σημεία επαφής και δεύτερον δεν είναι εύκολο να δοθεί στο θερμοκήπιο ακριβώς το σχήμα που χρειάζεται. Σήμερα τα θερμοκήπια κατασκευάζονται κυρίως με γαλβανιζέ σωλήνες. Είναι ελαφροί, εύκολοι στην τοποθέτηση και στο δέσιμο μεταξύ τους (πιο σταθερή κατασκευή) και έχουν και σχέδια καμπυλωμένα για όπου χρειάζεται. Τα φύλλα κάλυψης χρειάζονται αντικατάσταση ανά 2 – 3 χρόνια περίπου διότι χάνουν τη διαύγεια τους.

Στην Ελλάδα τα θερμοκήπια καλύπτονται κυρίως από φύλλα, λιγότερα από πάνελ και ακόμα λιγότερα από γυαλί. Οι βαριές κατασκευές με ανθεκτικά υλικά (πάνελ και γυαλί) αφορούν κυρίως τις βόρειες χώρες που το κλίμα είναι πιο άστατο με χαμηλές θερμοκρασίες, περισσότερες βροχές και χιόνια. Στην Ελλάδα που το κλίμα είναι πιο ήπιο προτιμούνται κατασκευές λιγότερο ανθεκτικές. Τα θερμοκήπια με φύλλα κάλυψης έχουν μικρότερο κόστος κατασκευής, λιγότερα υλικά και πιο φθηνά, αλλά έχουν μέσα στα χρόνια περισσότερα εργατικά διότι τα αναλώσιμα αλλάζουν πιο συχνά. Αντίθετα τα πιο ανθεκτικά θερμοκήπια έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, συνεπώς λιγότερα εργατικά μέσα στα χρόνια αλλά με μεγαλύτερο κόστος κατασκευής (Briassoulis et al., 1997).

1.5 Τα προβλήματα των θερμοκηπίων

Όπως προαναφέρθηκε, μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους για τη στρεμματική απόδοση της θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι η σωστή επιλογή υλικών κάλυψης. Από τα υλικά κάλυψης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η θερμοκρασία που θα διατηρηθεί εντός του θερμοκηπίου. Η υψηλή θερμοκρασία (> 26°C) είναι

επιβλαβής στην παραγωγή της τομάτας όχι μόνο επειδή μειώνει τη συγκομισμένη ποσότητα αλλά υποβαθμίζει και την ποιότητα του καρπού (Slack et al., 1988). Επιπρόσθετα η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου μπορεί να διατηρηθεί χαμηλά τους καλοκαιρινούς μήνες (που αγγίζει υψηλές τιμές >35°C), είτε με σύστημα δροσισμού με ανεμιστήρες είτε με σύστημα σκίασης. Το σύστημα δροσισμού χαμηλώνει την σχετική υγρασία γύρω από το φυτό προκαλώντας αύξηση της αναπνοής και άρα συνθήκες καταπόνησης λόγω έλλειψης νερού μέσα στο φυτό. Η σκίαση από την άλλη δεν προκαλεί αύξηση της αναπνοής του φυτού αλλά μείωση της φωτοσύνθεσης λόγω μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή μείωση της παραγωγής (Kittas et al., 2003). Συνεπώς χρειάζεται μελέτη για να γίνει ένας συνδυασμός υλικού κάλυψης με το σύστημα δροσισμού ανάλογα με το μικροκλίμα για τη βέλτιστη παραγωγή. Το επόμενο βήμα στην τεχνολογία των θερμοκηπίων είναι η ολική εξάπλωση του ελέγχου όλων των παραμέτρων μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών (Baille, 2001).

Τα υλικά κάλυψης ανάλογα με τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες διαφέρουν σε θερμική διαστολή, πυκνότητα και στην ευαισθησία τους στην ελαστικότητα και τη διάβρωση. Με βάση τα θερμικά και οπτικά τους χαρακτηριστικά διαφέρουν και στις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Επομένως η μετάδοση της θερμικής ακτινοβολίας διαφέρει από υλικό σε υλικό (Al-Mahdouri et al., 2013). Όσο λιγότερες οι απώλειες θερμότητας τόσο χαμηλότερη η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, που θεωρείται από τους πιο περιοριστικούς παράγοντες για τη δημιουργία νέων θερμοκηπίων.

Επίσης από τα υλικά κάλυψης εξαρτάται και η ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που θα εισαχθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο περιορισμός της ηλιακής ακτινοβολίας περιορίζει την απόδοση, όπως και η πληθώρα ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί συνθήκες καταπόνησης στα φυτά και εγκαύματα στα φύλλα και τους καρπούς, και οδηγεί και αυτό σε περιορισμό της παραγωγής. Η ορθή ανάπτυξη των φυτών μέσα στο θερμοκήπιο είναι μία πολύπλοκη διαδικασία που ρυθμίζεται από το γενετικό υλικό του φυτού και από το ρυθμιζόμενο μικροκλίμα εντός του θερμοκηπίου (Katsoulas and Kittas, 2008). Γενικότερα τα υλικά κάλυψης είναι οι κύριοι ρυθμιστές του μικροκλίματος του θερμοκηπίου, και εφόσον γίνει σωστή επιλογή και εφαρμογή θα περιοριστούν σημαντικά οι διάφορες απώλειες, με αποτέλεσμα λιγότερες εισροές,

λιγότερα εργατικά (μικρότερο κοστολόγιο) και εν τέλει πάντα θα υπάρχουν μεγαλύτερες αποδόσεις εμπορεύσιμου προϊόντος και μεγαλύτερη πρόσοδος.

1.6 Σκοπός της εργασίας

Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων στην Ελλάδα χρησιμοποιούν για υλικό κάλυψης τα φύλλα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (LDPE). Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει δημιουργήσει φύλλα θερμοκηπίων που έχουν πολλαπλές ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά περίπτωση. Επιπλέον ιδιότητες φύλλων θερμοκηπίων που έχουν αναπτυχθεί είναι:

- Θερμομόνωση
- Διάχυση του φωτός
- Αντι-σταγονική ιδιότητα
- Αντι-ομιχλική ιδιότητα
- Δροσισμός
- Έλεγχος των ασθενειών
- Φωτοεκλεκτικές ιδιότητες

Η εταιρία «Πλαστικά Κρήτης» ανέπτυξε ένα νέου τύπου φύλλο κάλυψης για θερμοκήπια 7 – στρωματικό. Η τεχνολογία 7 – στρώσεων είναι πατέντα από τα «Πλαστικά Κρήτης» και ουσιαστικά είναι ένα φύλλο το οποίο εσωτερικά αποτελείται από δύο 3 – στρωματικά φύλλα με κενό αέρος ανάμεσα τους.

Ο σκοπός της εργασίας είναι να εξεταστεί το ποσοστό της επίδρασης που έχει αυτό το νέου τύπου φύλλου σε καλλιέργεια τομάτας. Θα γίνει σύγκριση τριών θερμοκηπίων με διαφορετικά φύλλα κάλυψης πάνω στην επιρροή που έχουν στην ανάπτυξη καλλιέργειας τομάτας. Θα παρατηρηθούν χαρακτηριστικά του μικροκλίματος του θερμοκηπίου (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία), η κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση και η ανάπτυξη και η απόδοση συγκεκριμένης ποικιλίας τομάτας και να παρατηρηθούν τυχόν πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα του νέου τύπου φύλλου κάλυψης. Για τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν 3 θερμοκήπια, ένα θερμοκήπιο «μάρτυρας» καλυμμένο με απλό φύλλο αιθυλενίου, ένα θερμοκήπιο καλυμμένο με δύο κλασσικά

φύλλα αιθυλενίου ξεχωριστά μεταξύ τους και ένα θερμοκήπιο με το νέου τύπου διπλό φύλλο κάλυψης που προορίζεται για έλεγχο.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1.Τα θερμοκήπια

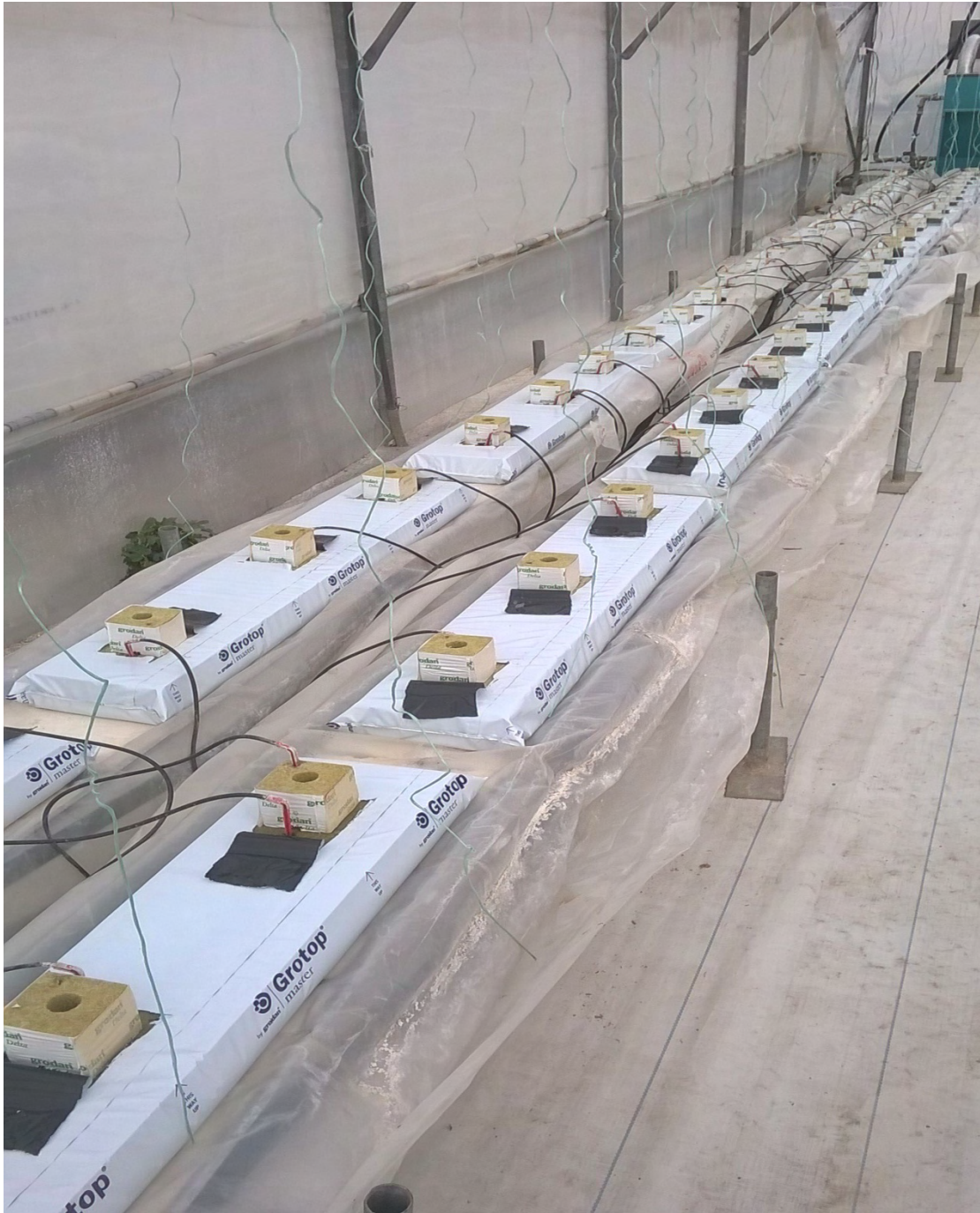
Το πείραμα έλαβε χώρα στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στην περιοχή του Βελεστίνου 17 χιλιόμετρα μακριά από το Βόλο. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m

Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν τρία παραπλήσια θερμοκήπια με ίδιο προσανατολισμό. Τα θερμοκήπια είχαν τύπο τροποποιημένο τοξωτό με διαστάσεις 20×8 μέτρα. Τα παράθυρα ανοίγανε μέχρι ύψος 1,50 μέτρα από 0,60 μέτρα που ξεκινούσανε, το ύψος του ορθοστάτη ήτανε 2,40 μέτρα ενώ η κορυφή του θερμοκηπίου στο κέντρο έφτανε στα 4,10 μέτρα (Εικ.2.1).



Εικόνα 2.1: Ένα από τα τρία τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια που έγινε το πείραμα.

Σε όλα τα θερμοκήπια ίσχυαν ακριβώς τα ίδια όσον αφορά το πότισμα, την λίπανση, την θέρμανση και τον αερισμό. Η τεχνική της καλλιέργειας που εγκαταστάθηκε ήταν υδροπονική. Τοποθετήθηκαν πλάκες πετροβάμβακα διαστάσεων $100 \times 15 \times 7,5$ εκατοστών πάνω σε λαμαρίνες σε ύψος λιγότερο του 1 μέτρου. Σε κάθε πλάκα τοποθετήθηκαν 3 κύβοι πετροβάμβακα $100 \times 100 \times 65$ χιλιοστά, όπου κάθε κύβος είχε εγκατεστημένο ένα φυτό τομάτας και ποτιζότανε από το δικό του μεκκάκι (Εικ. 2.2 και 2.3).



Εικόνα 2.2: Τρεις κύβοι πετροβάμβακα τοποθετημένοι πάνω στην πλάκα.



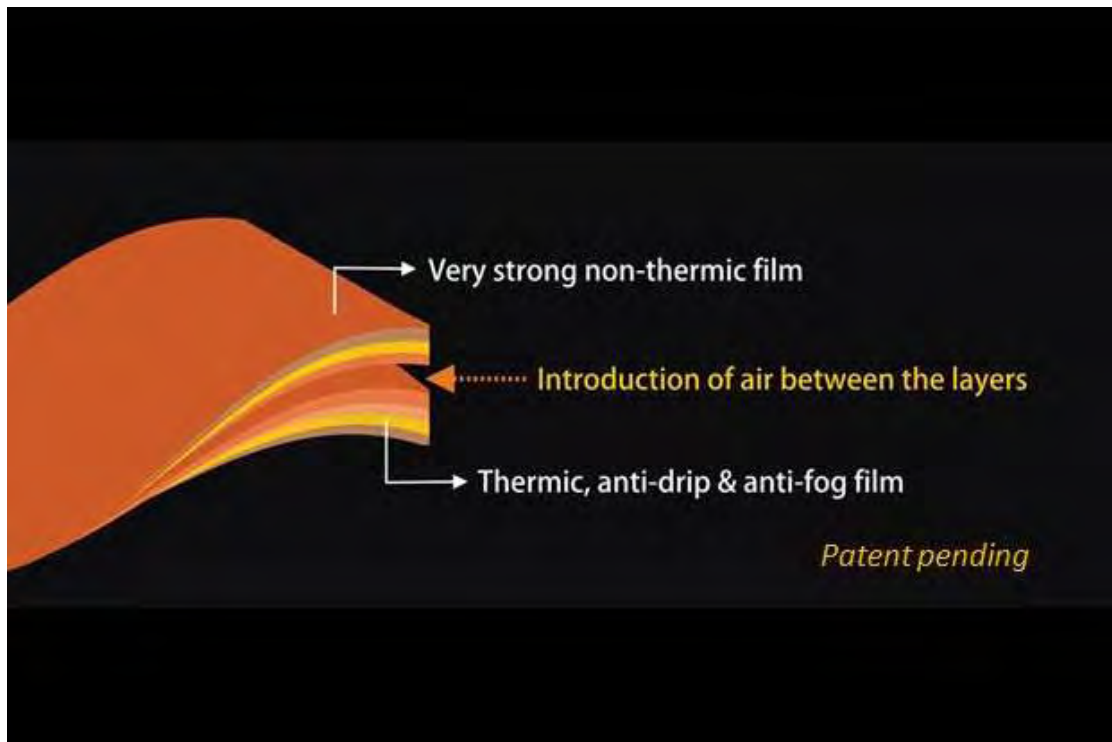
Εικόνα 2.3: Ένα φυτό τοποθετημένο σε κάθε κύβο πετροβάμβακα με το δικό του μπεκάκι ποτίσματος.

Η επικονίαση μέσα στα θερμοκήπια έγινε με τη βοήθεια βομβύνων (*Bombas terrestris*). Το φυτό της τομάτας είναι αυτογονιμοποιούμενο που σημαίνει ότι οι στήμονες και ο στύλος βρίσκονται στο ίδιο άνθος. Οι στήμονες βρίσκονται πάνω από το στύλο, που είναι πιο κοντός, και με μία μικρή δόνηση πέφτει η γύρη μέσα στο στύλο και γίνεται η επικονίαση. Αυτό το είδος βομβύνων έχει επικρατήσει σαν επικονιαστής επειδή παράγει ισχυρές θωρακικές δονήσεις οι οποίες μεταδίδονται μέσω των ποδιών του στα άνθη και πραγματοποιείται η επικονίαση. Επιπλέον συλλέγουν τροφή ταχύτερα και δεν σταματούν ακόμα και σε δύσκολες καιρικές συνθήκες και χαμηλές θερμοκρασίες (Corpée, 2010). Αποτέλεσμα της χρήσης του βομβύνου είναι η υψηλότερη παραγωγή καρπών και η καλύτερη ποιότητα αυτών σε σύγκριση με εκείνους που προέρχονται από άνθη που δε δέχονται τη βοήθεια του εντόμου. Οι βομβύνοι τοποθετήθηκαν στο ύψος των φυτών για να έχουν καλύτερα αποτελέσματα(Εικ. 2.4).



Εικόνα 2.4: Βομβόνοι τοποθετημένοι μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα τρία θερμοκήπια διέφεραν στα φύλλα κάλυψης. Το πρώτο θερμοκήπιο που εφεξής θα το αποκαλούμε GR1 ήταν καλυμμένο από ένα νέου τύπου φύλλο κάλυψης πολυαιθυλενίου 7στρωματικό, όπου αποτελείται από δύο 3στρωματικά φύλλα που χωρίζονται με ένα κενό στρώμα. Το φύλλο αυτό έχει πάχος 360 μm και αποτελείται από δύο φύλλα 180 μm (Εικ.2.5).



Εικόνα 2.5: Απεικόνιση της σύνθεσης του νέου τύπου διπλού φύλλου (πηγή: <https://www.seven-layer.com/en/evo-7-layer-greenhouse-films>)

Αφού εγκατασταθεί ως ένα (δωδεκαγωνικό) στην οροφή του θερμοκηπίου, στη συνέχεια, γίνεται ο διαχωρισμός των δύο δωδεκαγωνικών φύλλων με ειδικό μηχανισμό διοχέτευσης αέρα μεταξύ τους (Εικ.2.6).



Εικόνα 2.6: Μηχανισμός διοχέτευσης αέρα μεταξύ των δύο 3 - στρωματικών φύλλων από τα οποία αποτελείται το νέου τύπου 7 - στρωματικό φύλλο κάλυψης

Το πλεονέκτημα αυτού του νέου τύπου υλικού κάλυψης είναι ότι ενώ είναι διπλό τοποθετείται ως μονό, το οποίο συνεπάγεται ότι έχει τα χαρακτηριστικά του διπλού φύλλου κάλυψης, αλλά χρειάζεται το μισό χρόνο τοποθέτησης και άρα τα μισά εργατικά έξοδα.

Το δεύτερο θερμοκήπιο (GR2) ήταν καλυμμένο από ένα απλό κλασικό φύλλο πολυαιθυλενίου ενώ το τρίτο (GR3) από δύο κλασικά φύλλα πολυαιθυλενίου με κενό αέρος ανάμεσα τους.

Η εγκατάσταση των υλικών έγινε το τελευταίο 10ήμερο του Νοεμβρίου 2015. Η τομάτα ήτανε ποικιλίας Ελπίδα και μεταφυτεύθηκε στις 5 Δεκεμβρίου 2015. Σε κάθε θερμοκήπιο υπήρχαν περίπου 320 φυτά, 10 πλάκες πετροβάμβακα επί 3 κύβους σε κάθε πλάκα επί 4 διπλές σειρές (Εικ.2.7).



Εικόνα 2.7: Τα θερμοκήπια όπως ήτανε στημένα.

Η λίπανση ήταν η ίδια με την λίπανση που ακολουθούν οι παραγωγή της περιοχής. Το πότισμα ήταν ακριβώς το ίδιο. Το σύστημα ήτανε κλειστό που σημαίνει ότι το νερό της απορροής συλλέγονταν σε δεξαμενές και επαναχρησιμοποιούταν.

Το μικροκλίμα στα τρία θερμοκήπια επίσης ήτανε ρυθμισμένο να είναι το ίδιο. Τους κρύους μήνες κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία διατηρούνταν στους 18°C ενώ τη νύχτα στους 14°C, με τη βοήθεια συστήματος θέρμανσης που έκαίγε πετρέλαιο. Τους θερμούς μήνες όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 23°C άνοιγαν τα πλαϊνά παράθυρα αλλά και της οροφής σταδιακά, με το μέγιστο άνοιγμα να το έχουν όταν η θερμοκρασία άγγιζε τους 28°C και πάνω.

Στα θερμοκήπια εφαρμόστηκε σκίαση με ασβέστωμα για τον περιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας εντός. Η πρώτη εφαρμογή σκίασης έγινε στις 25 Μαΐου. Ακόμη 2 εφαρμογές έγιναν στην πορεία λόγω βροχόπτωσης η οποία απομάκρυνε τμήμα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για το ασβέστωμα.

Δεδομένου ότι τα τρία θερμοκήπια ήτανε παραπλήσια και το σύστημα θέρμανσης ορισμένο το ίδιο και στα τρία, έγινε η παραδοχή ότι οι διαφορές στην κατανάλωση

πετρελαίου οφείλεται στις απώλειες που έχει κάθε θερμοκήπιο που εξαρτώνται από τα φύλλα κάλυψης.

Η άρδευση, η λίπανση, ο αερισμός και η θέρμανση των θερμοκηπίων γινότανε αυτόματα μέσω ειδικού προγράμματος που ήταν εγκατεστημένο σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.

2.2.Περιγραφή των μετρήσεων

Σε κάθε θερμοκήπιο επιλέχθηκαν 8 φυτά για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Τα 4 φυτά επιλέχθηκαν στην αρχή του πειράματος, σημαδεύτηκαν, και μετριόντουσαν τα χαρακτηριστικά τους σε κάθε μέτρηση μέχρι το τέλος του πειράματος. Αυτήν η τεχνική, παρακολούθηση της εξέλιξης συγκεκριμένων φυτών, συμβάλλει στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για το πώς επηρεάζουν τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του κάθε θερμοκηπίου στην καλλιέργεια (Εικ. 2.8).



Εικόνα 2.8: "Σημαδεμένο" φυτό που παρακολουθούνταν τα χαρακτηριστικά του σε κάθε μέτρηση.

Τα άλλα 4 φυτά ήταν τυχαία. Σε κάθε μέτρηση γινόταν η επιλογή 4 φυτών τυχαία, διαφορετικών κάθε φορά, μέσα σε κάθε θερμοκήπιο. Αυτή η τεχνική βοηθάει στην διασπορά των μετρήσεων, δηλαδή παρακολουθείται αν σε όλο το θερμοκήπιο η ανάπτυξη των φυτών είναι ίδια όπως και στα σταθερά φυτά, ή αν υπάρχει σημαντική διαφορά. Αν υπάρχει σημαντική διαφορά σημαίνει, ή ότι η επιλογή των σταθερών φυτών ήταν λάθος, ή ότι πρέπει να γίνει αναθεώρηση του πειράματος για να μπορέσουν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για τα δεδομένα που μελετώνται. Τα φυτά που ήταν στις άκρες του θερμοκηπίου, ήτοι οι γραμμές 1 και 8, απορρίφθηκαν από τις μετρήσεις, διότι θεωρείται ότι έχουν διαφορετικό μικροκλίμα και άρα διαφορετικά αποτελέσματα. Στο κέντρο του θερμοκηπίου τα δεδομένα θεωρείται ότι είναι τα ίδια, ενώ στις άκρες λόγω των διαρροών θεωρείται ότι μπορεί να έχουν σημαντική απόκλιση από τα υπόλοιπα, και γι αυτό απορρίπτονται από τις μετρήσεις.

Στα 8 φυτά που επιλέγονταν κάθε φορά (4 σταθερά και 4 τυχαία) γινόταν μετρήσεις που αφορούσαν το ύψος τους, το μήκος του σύνθετου φύλλου, και τον αριθμό των κόμβων και των σταυρών που είχε. Η μέτρηση του ύψους ξεκινούσε από τη βάση του φυτού μέχρι την κορυφή και γινόταν με μεζούρα. Η μέτρηση του σύνθετου φύλλου, ήταν το μήκος του, που ξεκινούσε από τον κορμό του φυτού μέχρι την άκρη του φύλλου (Εικ.2.9). Το σύνθετο φύλλο που επιλέγονταν για την μέτρηση κάθε φορά, ήταν το μεσαίο που βρίσκονταν μεταξύ δύο γειτονικών σταυρών. Δηλαδή αν μεταξύ των δύο σταυρών υπήρχαν 5 κόμβοι επιλέγονταν το φύλλο που βρίσκονταν στον τρίτο κόμβο, ενώ αν υπήρχαν 6 κόμβοι επιλέγονταν το φύλλο που βρίσκονταν είτε στον τρίτο, είτε στον τέταρτο κόμβο. Τα φύλλα που βρίσκονταν στους πρώτους κόμβους (κοντά στον πρώτο σταυρό ανάμεσα στους δύο που εξετάζονταν κάθε φορά), είχαν προλάβει να μεγαλώσουν πολύ, ενώ τα φύλλα που βρίσκονταν στους τελευταίους (κοντά στον δεύτερο σταυρό ανάμεσα στους δύο που εξετάζονταν κάθε φορά) ήταν πολύ μικρά. Γι αυτό τα μεσαία φύλλα θεωρούνταν πιο αντιπροσωπευτικά και γι αυτό αυτά επελέγησαν.



Εικόνα 2.9: Σύνθετο φύλλο τομάτας. Το μήκος του ξεκινάει από τη βάση του (εκεί που ενώνεται με τον κορμό του φυτού) μέχρι την άκρη.

Όσον αφορά τα φυτά γινότανε μετρήσεις και στον αριθμό των κόμβων που σχηματίζανε και στον αριθμό των σταυρών (ταξιανθιών) τους.

Η πρώτη μέτρηση έγινε στις 22 Δεκεμβρίου 2015 (17 ημέρες μετά την μεταφύτευση) και έπειτα γινόταν κάθε 20 ημέρες περίπου, με τελευταία μέτρηση στις 27 Απριλίου 2016 (144 ημέρες μετά την μεταφύτευση).

Επιπλέον μετρήθηκε και η παραγωγή των φυτών. Μετρήθηκε η παραγωγή εμπορεύσιμων και μη εμπορεύσιμων καρπών καθώς επίσης και ο αριθμός εμπορεύσιμων καρπών που συλλέγονταν κάθε φορά. Η ποιότητα του καρπού της τομάτας για νωπή κατανάλωση χαρακτηρίζεται από το φυσιολογικό χρώμα, το κανονικό μέγεθος, το ομοιόμορφο σχήμα και από την έλλειψη φυσιολογικών ανωμαλιών και σημαδιών σήψης (Dorais et al., 2001). Αυτοί οι καρποί θεωρούνται εμπορεύσιμοι. Αυτές οι μετρήσεις αρχίσανε 1 Απριλίου 2016 (118 ημέρες μετά την μεταφύτευση) και τελειώσανε στις 29 Ιουνίου 2016 (207 ημέρες μετά την μεταφύτευση) και γινόταν περίπου 2 φορές την εβδομάδα.

Πέρα από τις μετρήσεις που αφορούσανε τα φυτά μέσα στα θερμοκήπια ήταν εγκατεστημένα και μηχανήματα που μετρούσανε το μικροκλίμα εντός. Οι μετρήσεις αυτές γίνονταν κάθε 10 λεπτά και αφορούσανε τη σχετική υγρασία (RH), την θερμοκρασία (Ta) και την ηλιακή ακτινοβολία (SR). Την σχετική υγρασία του αέρα

την μετρούσε υγρόμετρο, το οποίο έβγαζε αποτελέσματα επί τις εκατό (%). Την θερμοκρασία την μετρούσε θερμομέτρο σε βαθμούς Κελσίου (°C). Την ηλιακή ακτινοβολία, πυρανόμετρο και έβγαζε αποτελέσματα σε ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) (Εικ.2.10). Όλα τα όργανα ήταν τοποθετημένα στο κέντρο κάθε θερμοκηπίου, με τα θερμομέτρα και τα υγρόμετρα να βρίσκονται στο ύψος των φυτών (γύρω στο 1,50 μέτρο), ενώ τα πυρανόμετρα ήταν τοποθετημένα ψηλά στο θερμοκήπιο, πάνω από τα φυτά, ώστε να μην σκιάζονται από οτιδήποτε και επηρεάζονται στις μετρήσεις.



Εικόνα 2.10: Πυρανόμετρο τοποθετημένο κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου.

Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν τελικώς, επεξεργάστηκαν με τα προγράμματα Excel Microsoft με το οποίο έγιναν τα αντίστοιχα διαγράμματα για να παρακολουθηθεί η εξέλιξη των δεδομένων και του στατιστικού προγράμματος SPSS για να βρεθεί τι στατιστικό σφάλμα ενδεχομένως υπάρχει στις μετρήσεις, μιας και το πείραμα έλαβε χώρα μια χρονιά και δεν είναι δυνατόν να βγουν γενικά, ασφαλή συμπεράσματα.

Κατά την επεξεργασία των μετρήσεων με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS πραγματοποιήθηκε one-way Analysis of Variance (one –way ANOVA) για τις

8 μετρήσεις απ' όπου παρατηρήθηκε η επίδραση του παράγοντα «υλικό κάλυψης» στις εκάστοτε μεταβλητές για πιθανότητα $P=0,05$.

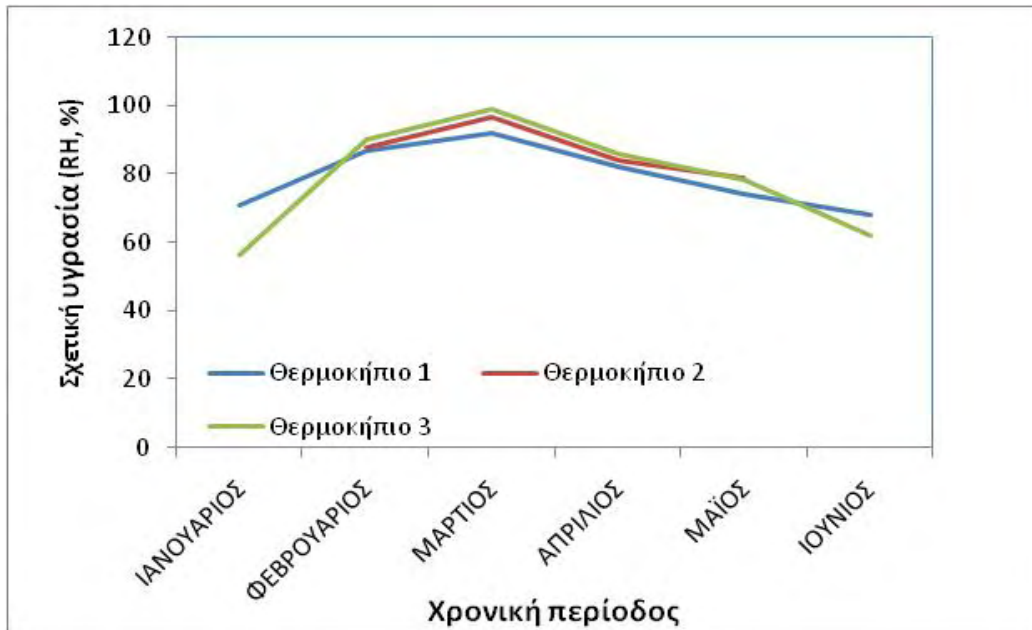
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μετρήσεις του μικροκλίματος των θερμοκηπίων και της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση

Όπως προαναφέρθηκε έγιναν μετρήσεις του μικροκλίματος εντός των τριών θερμοκηπίων που επικεντρώθηκαν στην θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}\text{C}$), στην ηλιακή ακτινοβολία ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) και στην σχετική υγρασία (%) που επικρατούσαν μέσα καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος.

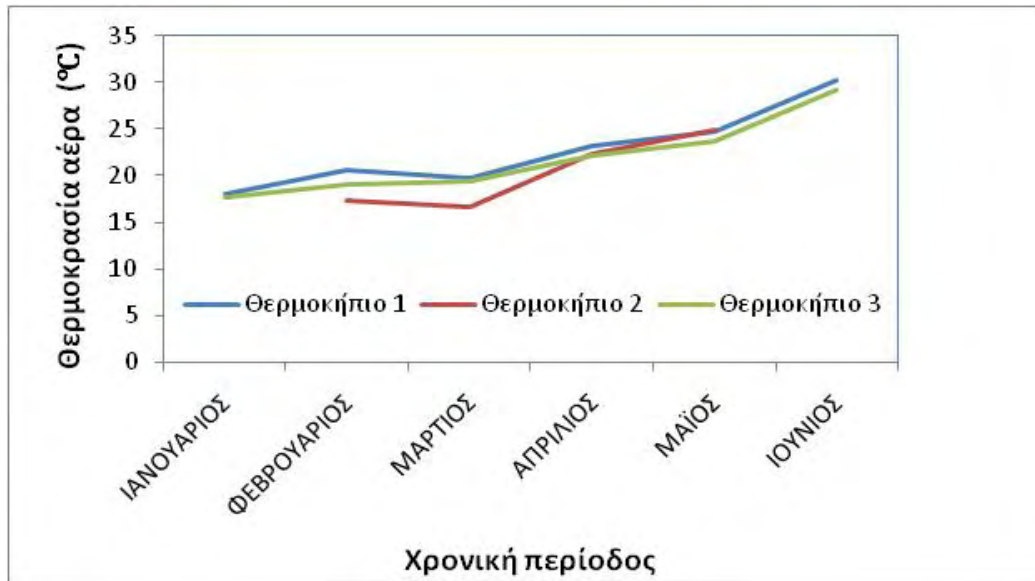
Από τις μετρήσεις που συλλέχθηκαν βγήκε ένας Μέσος Όρος για το κάθε δεδομένο, για όλη την περίοδο του πειράματος για κάθε θερμοκήπιο ξεχωριστά. Εν συνεχεία έγιναν διαγράμματα για το πώς μεταβάλλεται το κάθε στοιχείο (T_a , SR , RH) μέσα στο χρόνο σε κάθε θερμοκήπιο για να φανεί αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές από θερμοκήπιο σε θερμοκήπιο, γεγονός που θα οφείλεται κυρίως στα φύλλα κάλυψης, μιας και είναι η μοναδική σημαντική διαφορά που έχουν τα θερμοκήπια μεταξύ τους.

Παρακάτω εμφανίζονται αναλυτικά τα διαγράμματα με τους Μέσους Όρους του κάθε δεδομένου σε κάθε θερμοκήπιο για πιο σαφή εικόνα.



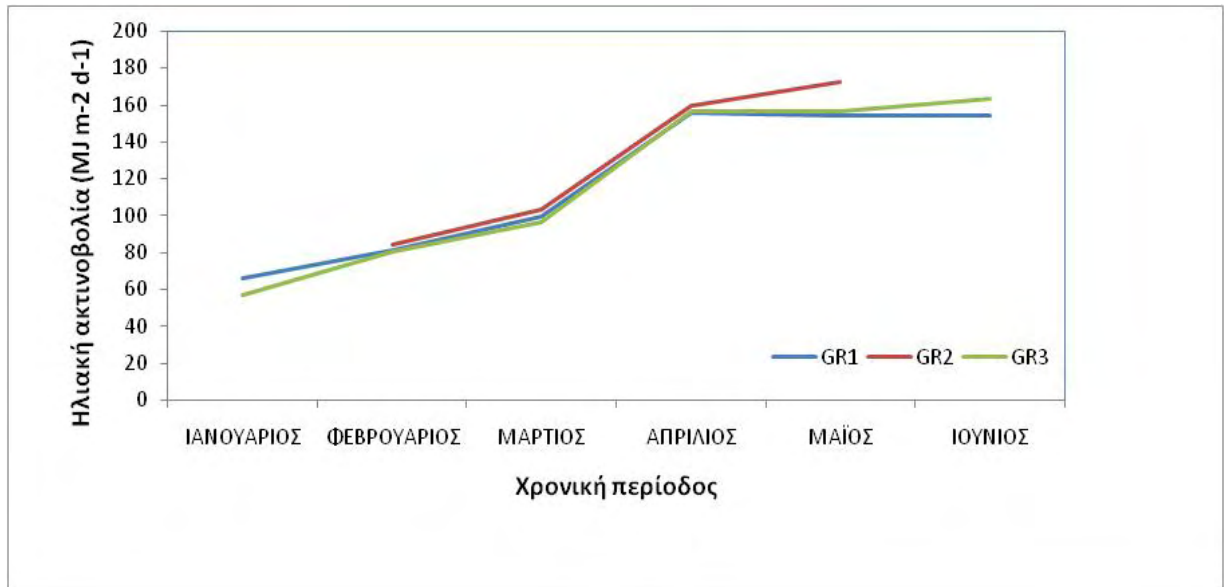
Εικόνα 3.1: Η σχετική υγρασία όπως διαμορφώθηκε και στα τρία θερμοκήπια κατά την περίοδο του πειράματος.

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα (Εικ. 3.1) η σχετική υγρασία στα τρία θερμοκήπια δεν είχε μεγάλη απόκλιση. Για την περίοδο Φεβρουαρίου – Μαΐου η διακύμανση είναι ίδια και στα τρία θερμοκήπια και η διαφορά τους δεν ξεπερνά σε καμία περίπτωση τις 7 μονάδες. Το GR1 σε όλη τη διάρκεια του πειράματος διατηρεί τη σχετική υγρασία σε χαμηλότερες τιμές από τα άλλα δύο θερμοκήπια.



Εικόνα 3.2: Η θερμοκρασία όπως διαμορφώθηκε και στα τρία θερμοκήπια κατά την περίοδο του πειράματος.

Ούτε η θερμοκρασία είχε μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τριών θερμοκηπίων (Εικ. 3.2). Τα θερμοκήπια διέφεραν μεταξύ τους 1 - 3°C σε όλη την περίοδο. Το GR1 φαίνεται να είναι το πιο «ζεστό» θερμοκήπιο, γεγονός που δικαιολογεί γιατί έχει και τη μικρότερη σχετική υγρασία σε σύγκριση με τα άλλα όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

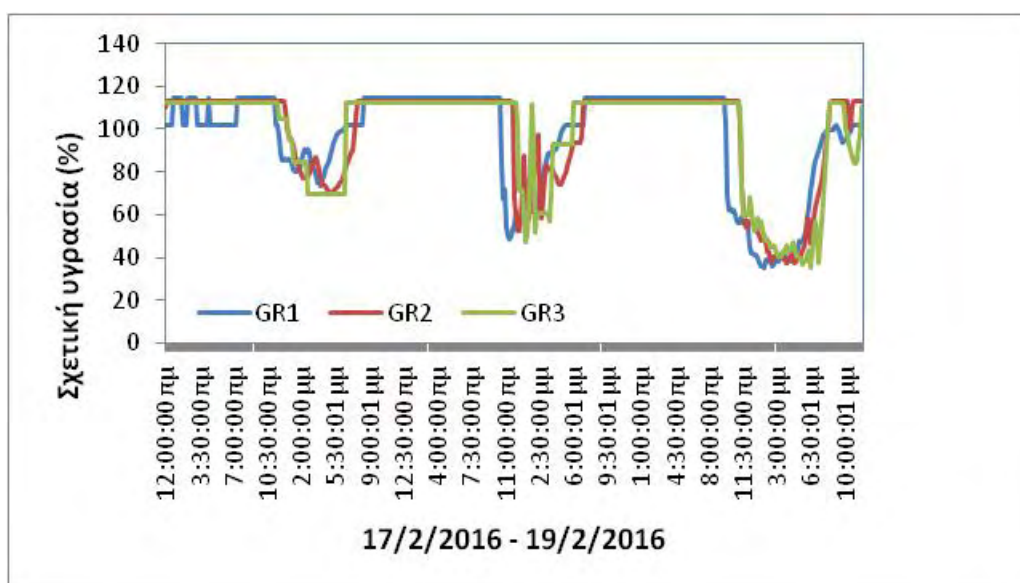


Εικόνα 3.3: Η ηλιακή ακτινοβολία όπως διαμορφώθηκε και στα τρία θερμοκήπια κατά την περίοδο του πειράματος.

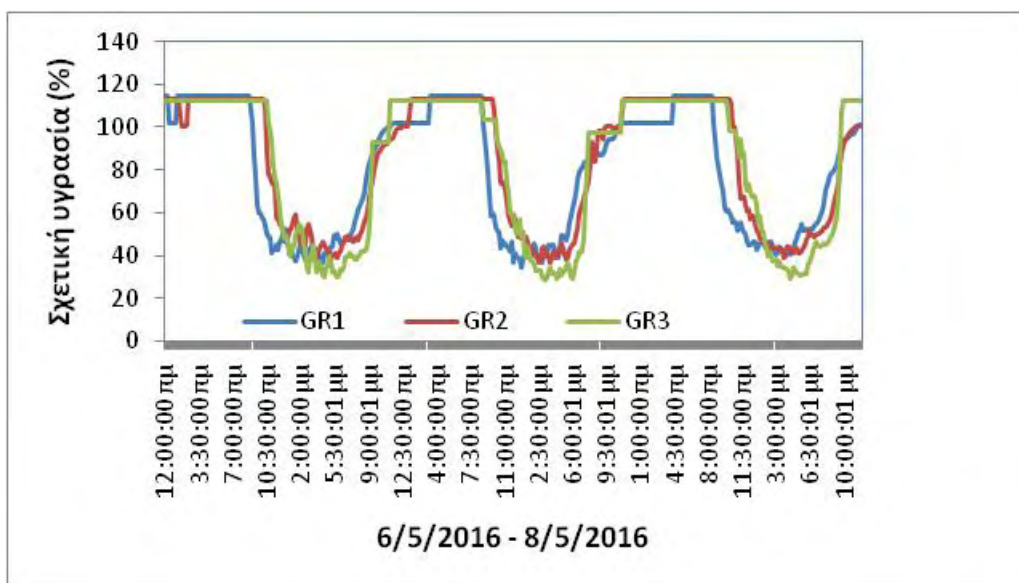
Και η τρίτη παράμετρος κινείται χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος (Εικ. 3.3). Ενδεικτικά αναφέρετε ότι το Μάιο εμφανίστηκε η μεγαλύτερη απόκλιση όπου τα GR1, GR2 και GR3 είχαν μέσους όρους 154, 172 και 156 MJ m⁻² d⁻¹. Το θερμοκήπιο με το μονό φύλλο κάλυψης (GR2) επιτρέπει περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία να εισέλθει. Αυτό οφείλεται στη διαπερατότητα που έχει κάθε φύλλο κάλυψης, διότι κάθε φύλλο απορροφά κάποια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία ποσότητα διαφέρει ανάλογα με τη σύνθεση του φύλλου κάλυψης. Οπότε κρίνεται φυσιολογικό στα θερμοκήπια με τα διπλά φύλλα να περνά λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία.

Δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις σε κανένα από τα τρία χαρακτηριστικά που πήραμε παρατηρήσεις. Γενικά φαίνεται να υπάρχει μία τάση τα θερμοκήπια με τα διπλά φύλλα κάλυψης (GR1, GR3) να διατηρούν πιο υψηλή θερμοκρασία αέρα εντός αλλά χαμηλότερη σχετική υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία από ότι το κλασσικό θερμοκήπιο (GR2) με ένα φύλλο κάλυψης. Αυτό κρίνεται φυσιολογικό καθώς τα θερμοκήπια με τα δύο φύλλα και το κενό αέρος ανάμεσα (GR1, GR3), είναι καλύτερα «μονωμένα» από το κλασσικό θερμοκήπιο (GR2), που σημαίνει ότι δεν αφήνουν τη θερμική ακτινοβολία να βγει προς τα έξω (διατήρηση υψηλότερης θερμοκρασίας) και εμποδίζει μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να εισέλθει όπως προαναφέρθηκε.

Για να επαληθεύσουμε το γεγονός ότι δεν υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τριών θερμοκηπίων παραθέτουμε διαγράμματα δύο τριημέρων του κάθε δεδομένου και στα τρία θερμοκήπια. Δηλαδή ολόκληρη την πορεία κάθε δεδομένου ανά δέκα λεπτά (όπως παίρνονται οι μετρήσεις από τα όργανα), για 3 μέρες συνεχόμενες. Παραθέτουμε ένα τριήμερο του Φεβρουαρίου (χειμώνας), με μεγάλη νύχτα και χαμηλή θερμοκρασία (Εικ. 3.4), και ένα τριήμερο του Μαΐου (άνοιξη) με μεγάλη μέρα και υψηλή θερμοκρασία (Εικ. 3.5). Τα τριήμερα είναι τα ίδια για όλα τα δεδομένα.

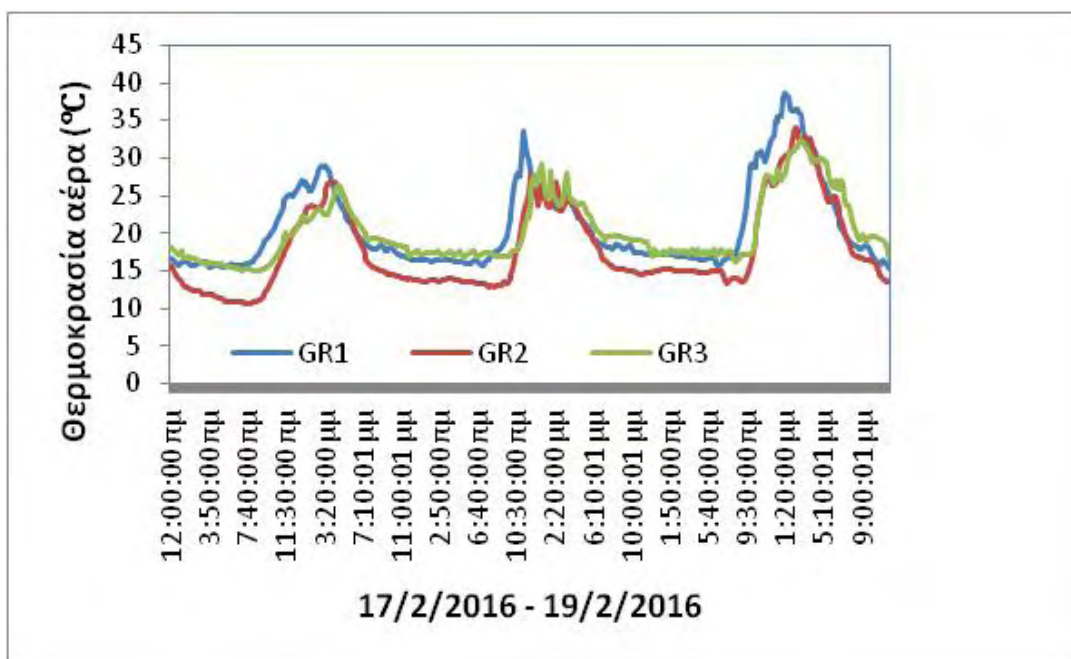


Εικόνα 3.4: Η μεταβολή της σχετικής υγρασίας και των τριών θερμοκηπίων ένα τριήμερο του Φεβρουαρίου.

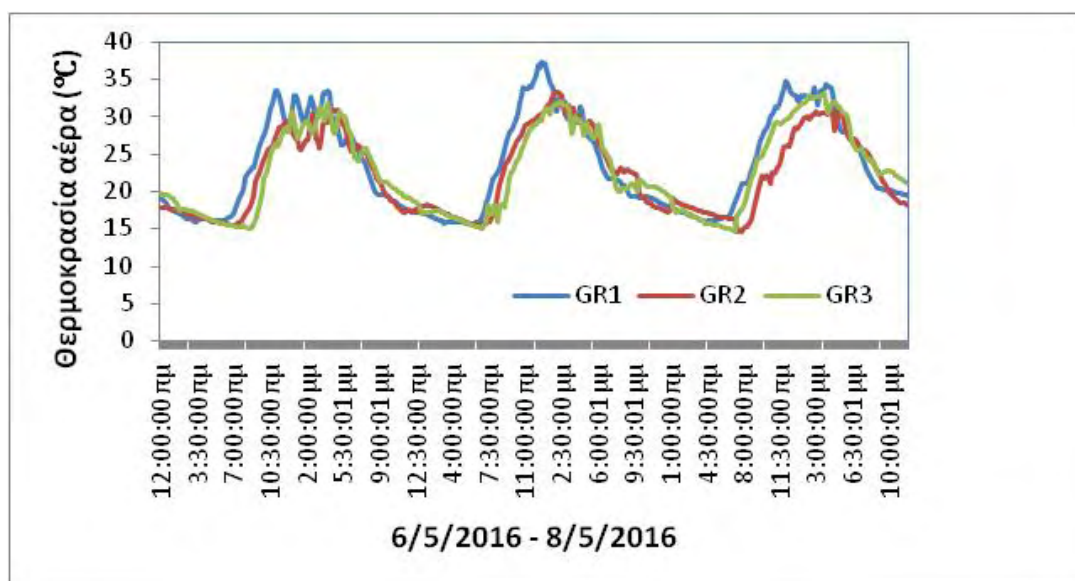


Εικόνα 3.5: Η μεταβολή της σχετικής υγρασίας και στα τρία θερμοκήπια ένα τρίμηρο του Μαΐου.

Η σχετική υγρασία διατηρείται στα ίδια επίπεδα και με την ίδια μεταβολή με μικρές αποκλίσεις και στα τρία θερμοκήπια και για τις δύο περιόδους. Ο Μέσος Όρος της σχετικής υγρασίας (%) των τριών θερμοκηπίων για το τρίμηρο του Φεβρουαρίου είναι για το GR1 96.83, για το GR2 98.69 και για το GR3 98.35. Αντίστοιχα για το τρίμηρο του Μαΐου είναι για το GR1 79.32, για το GR2 83.71 και για το GR3 82.76. Οι αποκλίσεις είναι μη σημαντικές και για τα δύο τρίμηρα.



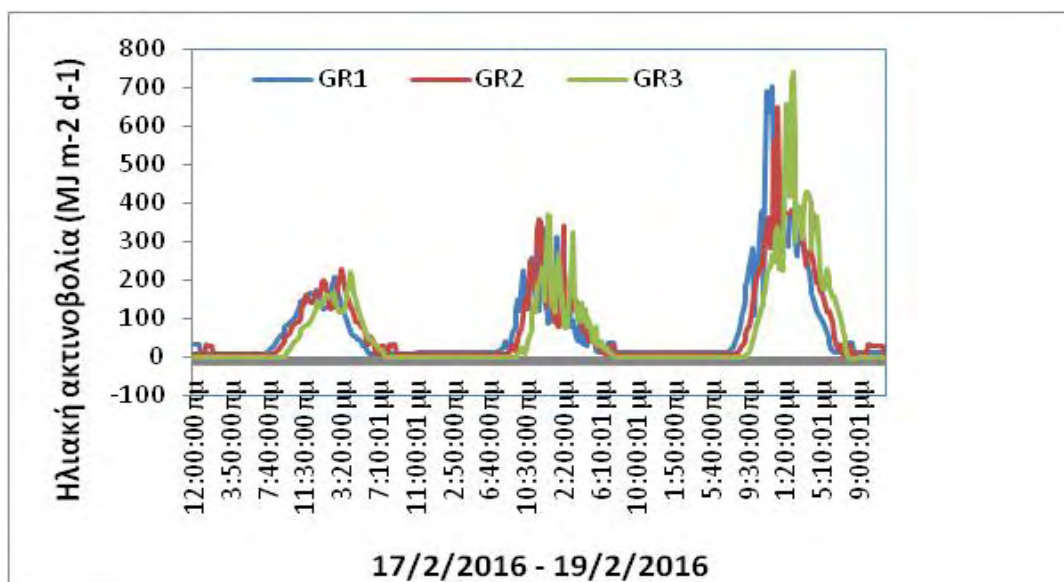
Εικόνα 3.6: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα εντός των τριών θερμοκηπίων, ένα τριήμερο του Φεβρουαρίου.



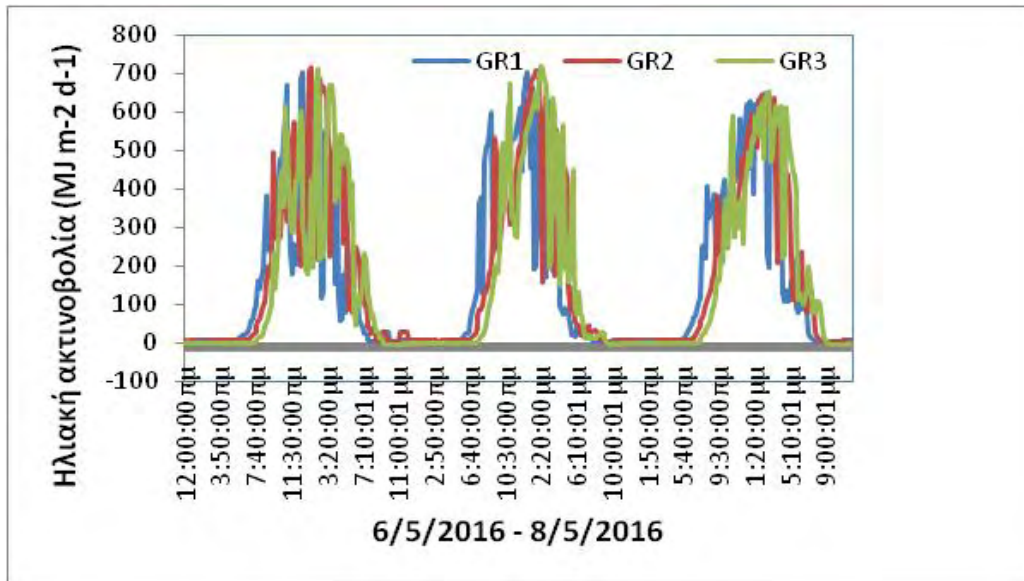
Εικόνα 3.7: Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα εντός των τριών θερμοκηπίων ένα τριήμερο του Μαΐου.

Η θερμοκρασία όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα (Εικ. 3.6, 3.7) συμβαδίζει και στα τρία θερμοκήπια και στα δύο υπό εξέταση τριήμερα, παρόλο που ανήκουν σε διαφορετικές περιόδους. Ο Μέσος Όρος των τριημέρων για τα θερμοκήπια (σε °C)

είναι για τον Φεβρουάριο 20.78, 17.85 και 20.20 για τα GR1, GR2 και GR3 θερμοκήπια αντίστοιχα, και για τον Μάιο 23.41, 22.33 και 22.63 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Οι αποκλίσεις δεν είναι σημαντικές ούτε σε αυτό το δεδομένο σε κανένα από τα δύο τριήμερα.



Εικόνα 3.8: Η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει μέσα και στα τρία θερμοκήπια ξεχωριστά ένα τριήμερο του Φεβρουαρίου.



Εικόνα 3.9: Η μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει μέσα και στα τρία θερμοκήπια ξεχωριστά ένα τριήμερο του Μαΐου.

Και η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλονταν μέσα στα τρία θερμοκήπια για τις ίδιες περιόδους κατά τον ίδιο τρόπο χωρίς ιδιαίτερες αποκλίσεις (Εικ. 3.8, 3.9). Ο Μέσος Όρος της ηλιακής ακτινοβολίας (σε $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) για το GR1 είναι 72.13, για το GR2 72.28 και για το GR3 66.71, το συγκεκριμένο τριήμερο του Φεβρουαρίου, ενώ αντίστοιχα για το συγκεκριμένο τριήμερο του Μαΐου για το GR1 είναι 173.35, για το GR2 174.57 και για το GR3 173.92. Γενικά δεν υπάρχει μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τριών θερμοκηπίων παρόλα αυτά όπως ήταν αναμενόμενο στα θερμοκήπια με τα διπλά καλύμματα (GR1 και GR3) εισέρχεται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία λόγω μικρότερης διαπερατότητας.

Όπως φαίνεται και σε αυτά τα διαγράμματα τα χαρακτηριστικά του μικροκλίματος που μας απασχόλησαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, δεν έχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους στα τρία θερμοκήπια παρόλο που τα φύλλα κάλυψης διαφέρουν.

Ένα επίσης σημαντικό δεδομένο που παρατηρήθηκε ήταν και η κατανάλωση πετρελαίου για την θέρμανση των τριών θερμοκηπίων. Από το Δεκέμβριο του 2015 μέχρι το Μάρτιο του 2016 μετρήθηκε η ποσότητα πετρελαίου που καταναλώθηκε, σε κάθε θερμοκήπιο ξεχωριστά, προκειμένου να επικρατούν οι ίδιες συνθήκες και στα τρία θερμοκήπια. Όπως προαναφέρθηκε κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία ήταν ρυθμισμένη να μην πέφτει κάτω από τους 18°C , ενώ κατά τη διάρκεια της

νύχτας όχι κάτω από τους 12°C. Η περίοδος αναφοράς είναι από το Δεκέμβριο μέχρι το Μάρτιο διότι από τον Απρίλιο η θέρμανση λειτουργούσε ελάχιστα, λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας.

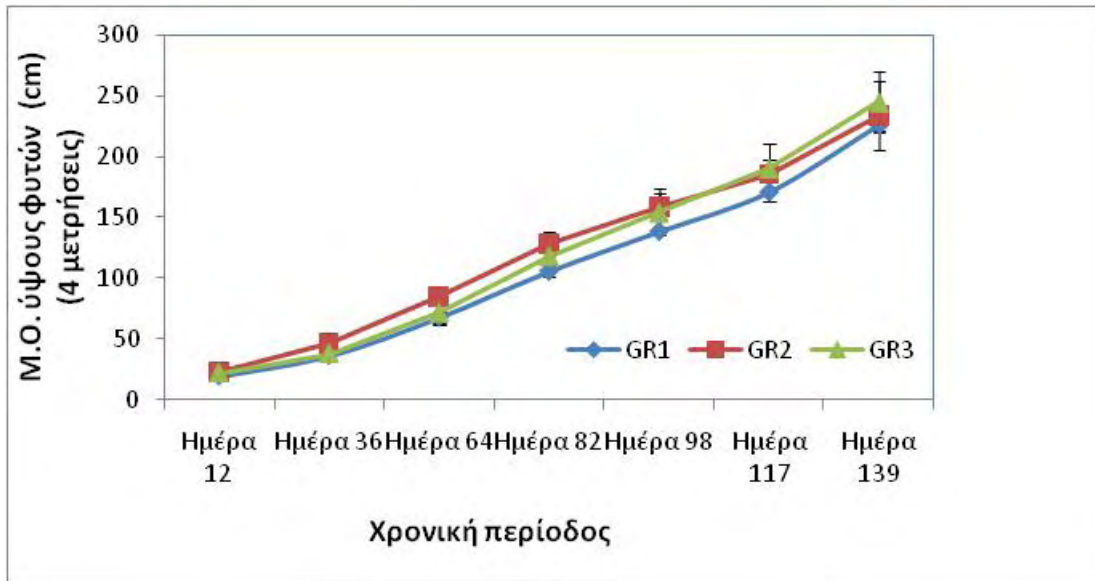
Τα αποτελέσματα έδειξαν τα εξής:

- Στο GR1 η συνολική κατανάλωση ήταν 588 L
- στο GR2 ήταν 1500 L
- ενώ στο GR3 η συνολική κατανάλωση πετρελαίου ήταν 750 L

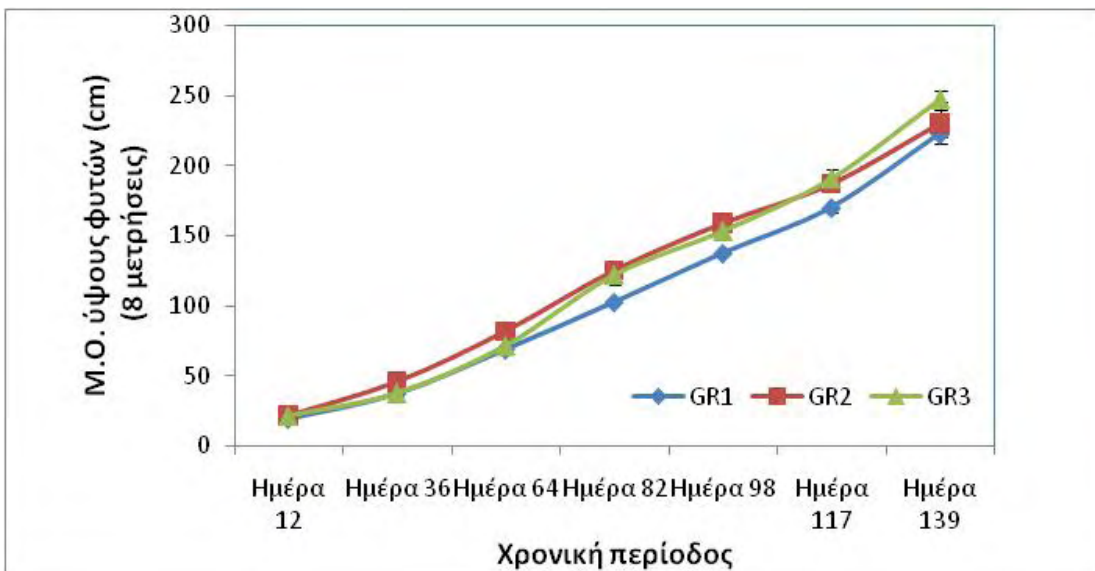
Δηλαδή το θερμοκήπιο με το διπλό κλασσικό φύλλο κάλυψης (GR3), για την περίοδο αναφοράς, είχε τη μισή κατανάλωση σε πετρέλαιο έναντι του θερμοκηπίου με το μονό κλασσικό φύλλο κάλυψης (GR2), ενώ το θερμοκήπιο με το νέου τύπου διπλό φύλλο κάλυψης (GR1) είχε ακόμη μικρότερη κατανάλωση για την ίδια περίοδο. Αυτή μπορεί να θεωρηθεί σημαντική διαφορά μεταξύ των θερμοκηπίων και σημαντικό εύρημα του πειράματος δεδομένου ότι το κόστος της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση του θερμοκηπίου θεωρείται από τα μεγαλύτερα προβλήματα του κλάδου.

3.2 Μετρήσεις των χαρακτηριστικών των φυτών

Οι μετρήσεις που έγιναν στα φυτά βασίστηκαν σε 4 σταθερά φυτά, τα ίδια από την αρχή μέχρι το τέλος του πειράματος, και σε 4 τυχαία, διαφορετικά κάθε φορά για την βοήθεια της διασποράς των αποτελεσμάτων. Όλα τα φυτά που επιλέχθηκαν ήταν από τις εσωτερικές γραμμές των θερμοκηπίων και όχι από τις άκρες. Τα αποτελέσματα που μας έδωσαν έγιναν δύο διαφορετικά διαγράμματα, ένα με τα σταθερά φυτά (4 μετρήσεις) και ένα διάγραμμα με τα 4 σταθερά και με τα 4 τυχαία φυτά (8 μετρήσεις).



Εικόνα 3.10: Η πορεία του ύψους των φυτών (4 μετρήσεις) στα τρία θερμοκήπια.



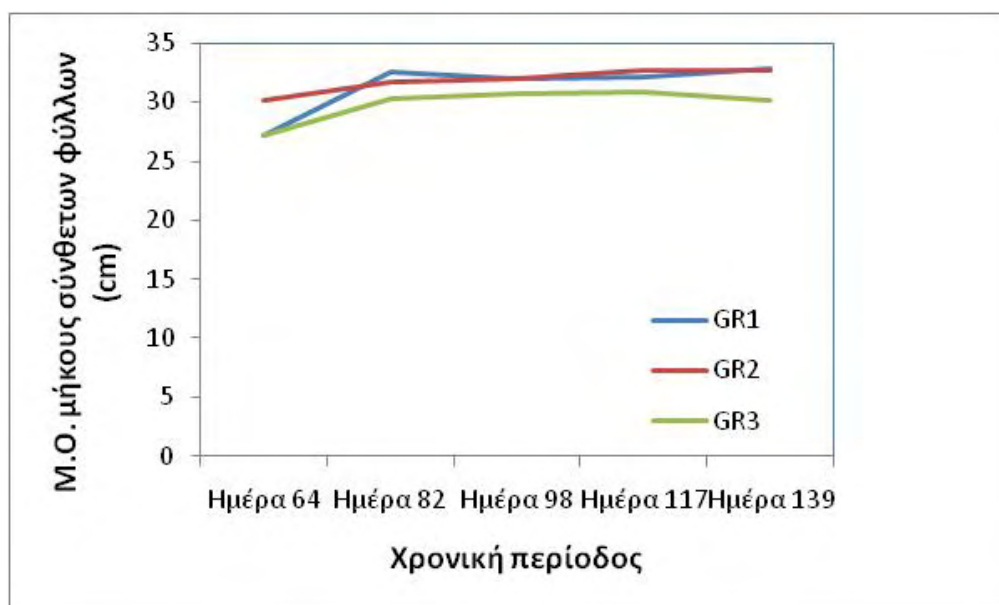
Εικόνα 3.11: Η πορεία του ύψους των φυτών (8 μετρήσεις) στα τρία θερμοκήπια.

Από τα δύο παραπάνω διαγράμματα (Εικ. 3.10, 3.11) φαίνεται ότι το ύψος των φυτών δεν διαφέρει σημαντικά μεταξύ των θερμοκηπίων και δεν επηρεάζεται και από τα τυχαία φυτά. Με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS προκύπτει ο εξής πίνακας (Πιν. 3.1).

Πίνακας 3.1: Η σύγκριση των Μ.Ο. του ύψους των φυτών (8 μετρήσεις) των τριών θερμοκηπίων και οι τυπικές αποκλίσεις τους με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS.

	ΥΨΟΣ	GR1		GR2		GR3	
	8 Μετρήσεις	Μ.Ο	ST. DEV	Μ.Ο	ST. DEV	Μ.Ο	ST. DEV
22/12/2015	Ημέρα 12	19,75	1	21,63	2,049	21,56	1,613
14/1/2016	Ημέρα 36	37,63	3,249	45,88	3,643	37,75	6,585
11/2/2016	Ημέρα 64	69,13	3,871	81,88	9,553	71,5	8,701
1/3/2016	Ημέρα 82	102,75	5,874	125,13	8,741	121,88	10,575
17/3/2016	Ημέρα 98	137,5	2,976	158,75	14,27	153,13	11,837
5/4/2016	Ημέρα 117	170	6	186,88	9,583	190,38	15,565
27/4/2016	Ημέρα 139	222,5	7,251	230	19,154	246,88	19,097

Φαίνεται πως όσον αφορά το ύψος, τα φυτά μεταξύ των θερμοκηπίων δεν διαφέρουν σημαντικά. Από το SPSS σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0,05$ προκύπτει ότι υπάρχει ομοιογένεια μεταξύ τους.

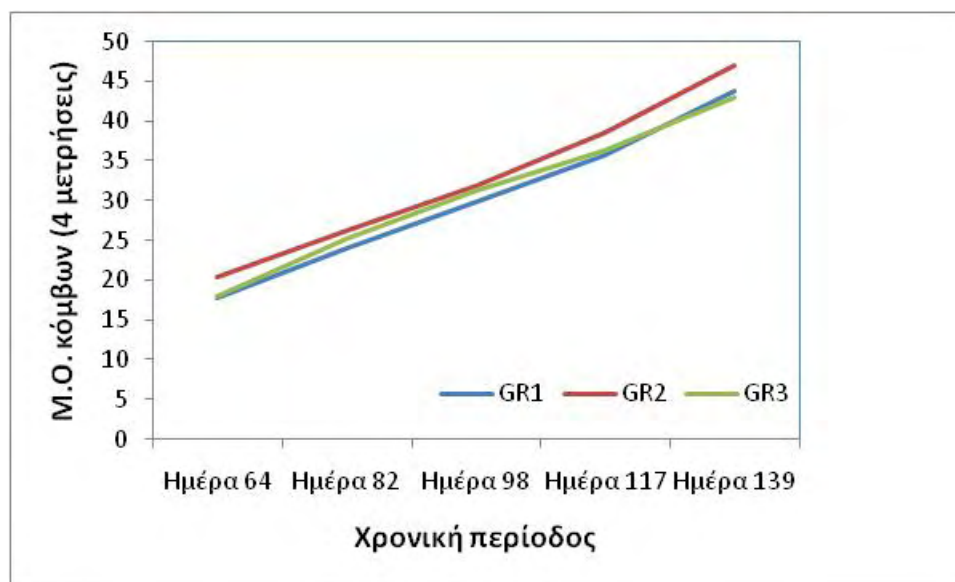


Εικόνα 3.12: Ο Μέσος Όρος του μήκους των σύνθετων φύλλων των φυτών στα τρία θερμοκήπια.

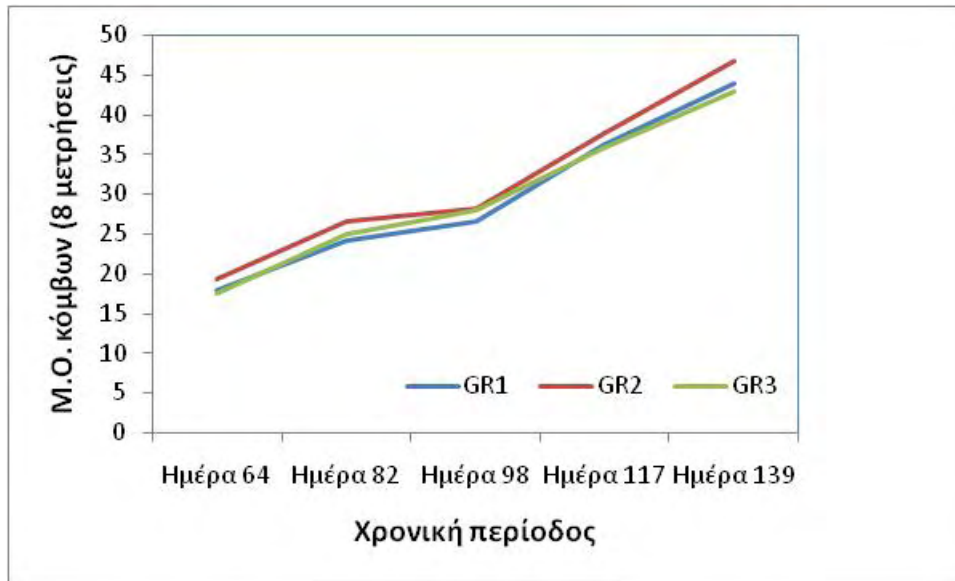
Πίνακας 3.2: Ο Μ.Ο. του μήκους των σύνθετων φύλλων στα τρία θερμοκήπια για κάθε μέτρηση.

Μήκος	11/2/2016	1/3/2016	17/3/2016	5/4/2016	27/4/2016
(cm)	Ημέρα 64	Ημέρα 82	Ημέρα 98	Ημέρα 117	Ημέρα 139
GR1	27,11	32,56	31,89	32	32,78
GR2	30,13	31,63	31,88	32,63	32,63
GR3	27,17	30,33	30,67	30,83	30,17

Ο Μ.Ο. του μήκους των σύνθετων φύλλων επίσης φαίνεται να μην διαφέρει σημαντικά μεταξύ των θερμοκηπίων (Εικ. 3.12, Πιν. 3.2). Στο GR3 φαίνεται τα φύλλα να είναι πιο μικρά αλλά η διαφορά δεν είναι σημαντική.



Εικόνα 3.13: Η πορεία του αριθμού των κόμβων που είχαν τα φυτά στα τρία θερμοκήπια (4 μετρήσεις).

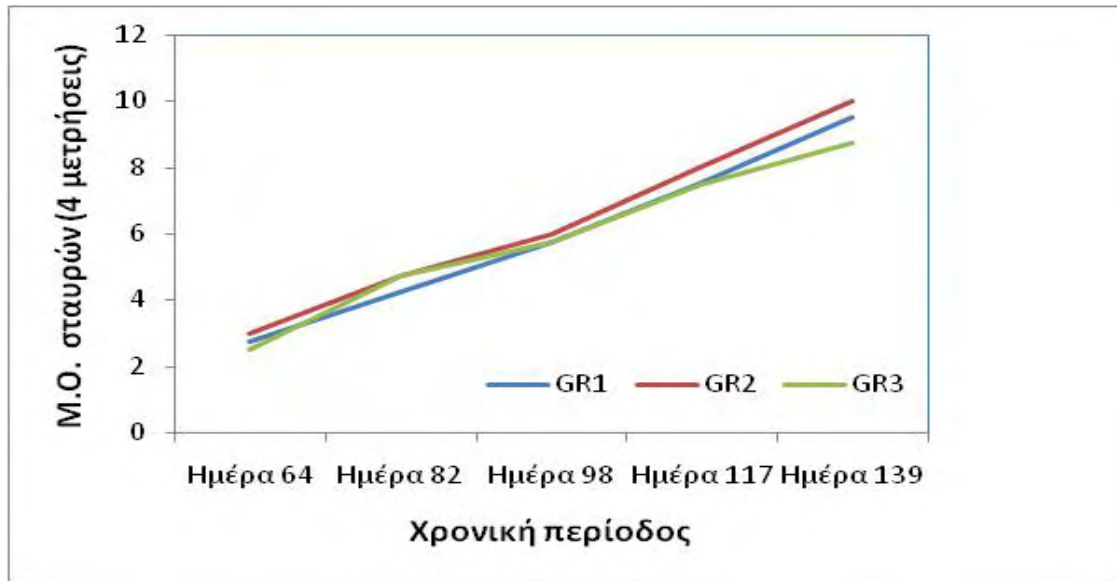


Εικόνα 3.14: Η πορεία του αριθμού των κόμβων που είχαν τα φυτά στα τρία θερμοκήπια (8 μετρήσεις).

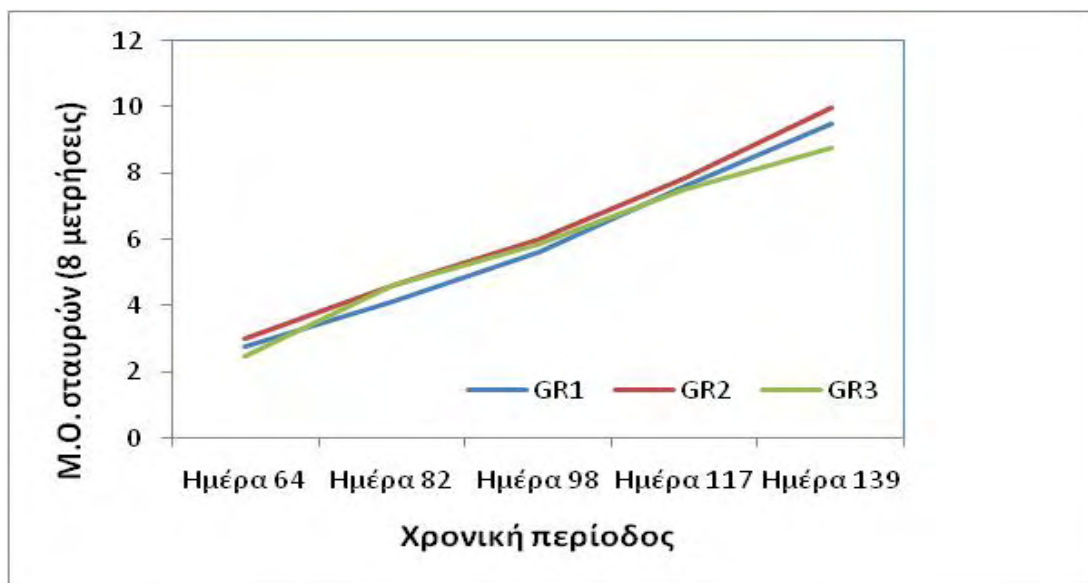
Οι κόμβοι των φυτών συμβαδίζουν και αυτοί κατά τη διάρκεια του πειράματος και στα τρία θερμοκήπια (Εικ. 3.13, 3.14). Μέσω του SPSS προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τις τυπικές αποκλίσεις (Πιν. 3.3).

Πίνακας 3.3: Η σύγκριση των Μ.Ο. των κόμβων των φυτών (8 μετρήσεις) των τριών θερμοκηπίων και οι τυπικές αποκλίσεις τους με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS.

	ΚΟΜΒΟΙ	GR1		GR2		GR3	
		Μ.Ο.	ST. DEV	Μ.Ο.	ST. DEV	Μ.Ο.	ST. DEV
11/2/2016	Ημέρα 64	17,88	1,12	19,25	1,83	17,5	1,51
1/3/2016	Ημέρα 82	24,13	1,36	26,5	1,51	24,88	1,36
17/3/2016	Ημέρα 98	26,63	3,58	28,13	4,29	27,88	3,68
5/4/2016	Ημέρα 117	36,25	2,32	37,75	1,83	35,88	1,64
27/4/2016	Ημέρα 139	43,88	2,1	46,75	1,28	42,88	1,55



Εικόνα 3.15: Η πορεία των σταυρών των φυτών στα τρία θερμοκήπια (4 μετρήσεις)



Εικόνα 3.16: Η πορεία των σταυρών των φυτών στα τρία θερμοκήπια (8 μετρήσεις).

Αφού οι κόμβοι δεν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ των φυτών των τριών θερμοκηπίων φυσιολογικό είναι να μην διαφέρουν και σταυροί σημαντικά (Εικ. 3.15, 3.16). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και οι τυπικές αποκλίσεις μέσω του προγράμματος SPSS (Πιν. 3.4).

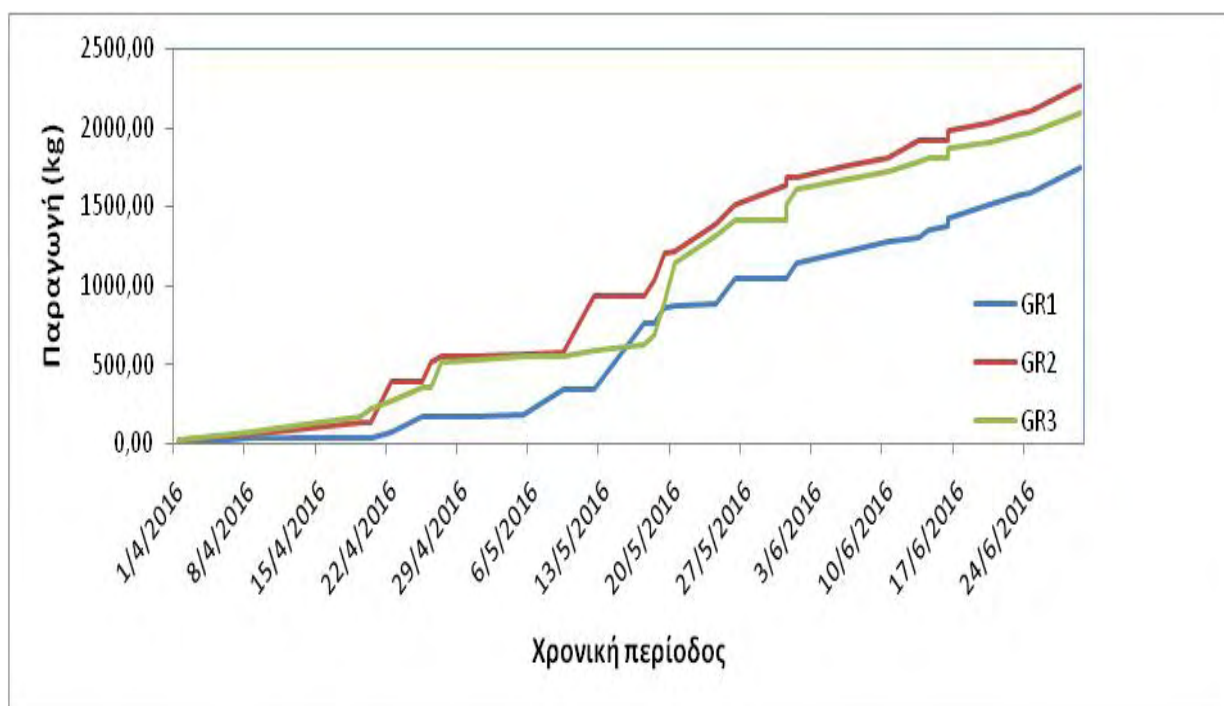
Πίνακας 3.4: Η σύγκριση των Μ.Ο. των σταυρών των φυτών (8 μετρήσεις) των τριών θερμοκηπίων και οι τυπικές αποκλίσεις τους με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS.

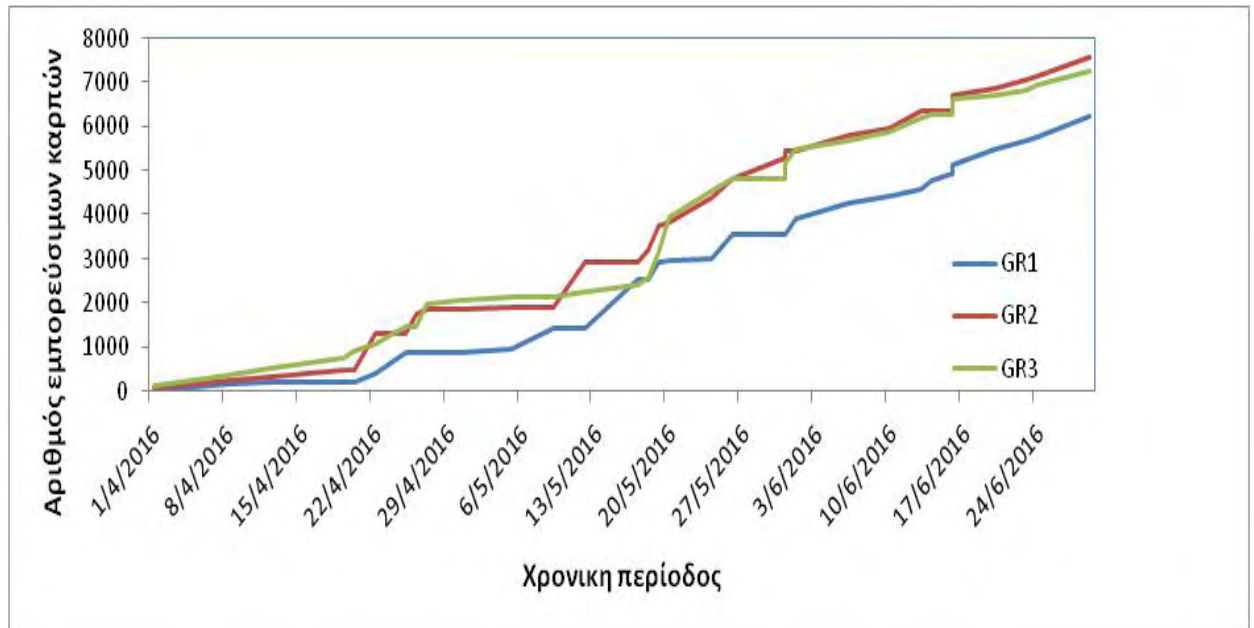
ΣΤΑΥΡΟΙ	GR1		GR2		GR3	
	M.O.	ST.DEV.	M.O.	ST.DEV.	M.O.	ST.DEV.
11/2/2016	2,75	0,46	3	0	2,5	0,54
1/3/2016	4,13	0,84	4,63	0,52	4,63	0,52
17/3/2016	5,63	0,52	6	0	5,88	0,35
5/4/2016	7,63	0,52	7,88	0,35	7,5	0,54
27/4/2016	9,5	0,54	10	0	8,75	0,46

Τα χαρακτηριστικά των φυτών στην εξέλιξη του πειράματος φαίνονται να μην διαφέρουν σημαντικά.

3.3 Μετρήσεις της παραγωγής

Τέλος μετρήθηκε και η παραγωγή που έδωσαν τα φυτά σε κάθε θερμοκήπιο. Μετρήσεις γίνονταν περίπου 2 φορές την εβδομάδα και αυτές αφορούσαν την παραγωγή των καρπών που θεωρούνταν εμπορεύσιμοι, το πλήθος των εμπορεύσιμων καρπών (Εικ. 3.17), καθώς και τα κιλά που συλλέγαμε κάθε φορά μη εμπορεύσιμων καρπών (Εικ. 3.18) για να συμπεράνουμε πόσο επηρεάζονταν αρνητικά τα φυτά σε κάθε θερμοκήπιο από το μικροκλίμα του.

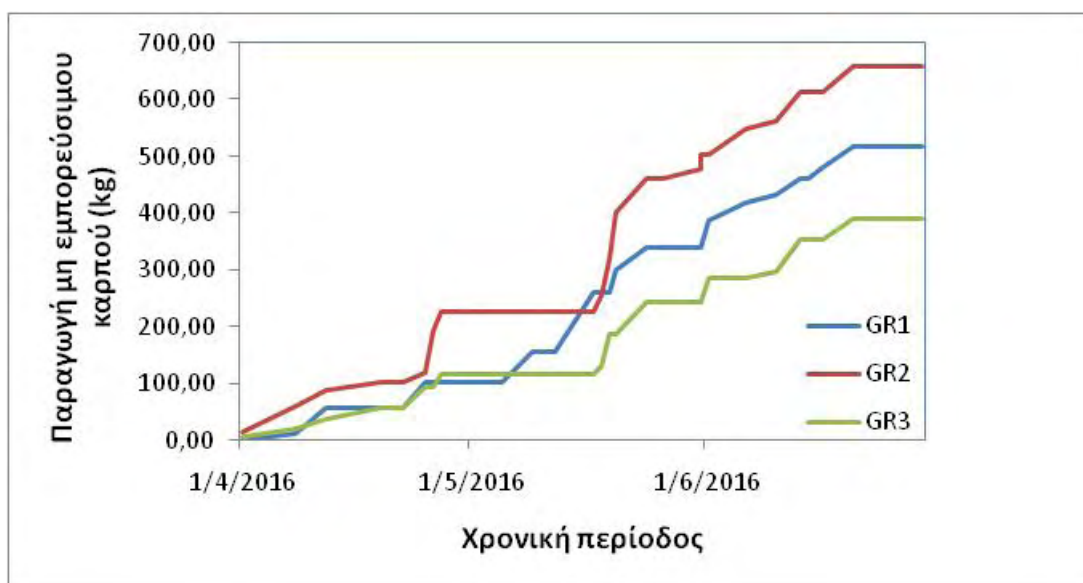




Εικόνα 3.17: α) Κιλά και β) τεμάχια εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχτηκαν.

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικ. 3.17) προκύπτει ότι το θερμοκήπιο με το απλό κλασσικό φύλλο κάλυψης (GR2) έχει την περισσότερη παραγωγή σε κιλά και σε τεμάχια εμπορεύσιμου καρπού. Λίγο παρακάτω ακολουθεί το θερμοκήπιο με το διπλό κλασσικό φύλλο (GR3) ενώ την μικρότερη παραγωγή την έχει το θερμοκήπιο με το νέου τύπου διπλό πλαστικό (GR1), αλλά όχι με μεγάλη διαφορά.

Το GR2 θερμοκήπιο παρουσίασε μεγαλύτερη παραγωγή και στους μη εμπορεύσιμους καρπούς (Εικ. 3.18). Μη εμπορεύσιμοι θεωρούνται οι καρποί που δεν έχουν κανονικό σχήμα αλλά χαρακτηρίζονται από ανομοιομορφία στο σχήμα τους, και όσοι είναι πολύ μικροί δηλαδή ζυγίζουν κάτω από 150 γραμμάρια.



Εικόνα 3.18: Κιλά μη εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχτηκαν.

Πίνακας 3.5: Μία γενική εικόνα των καρπών που συλλέχτηκαν από τα τρία θερμοκήπια.

GR1	ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ		ΜΗ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ	
	ΒΑΡΟΣ (kg)	Αρ.Καρπών	ΒΑΡΟΣ(kg)	Μ.Ο. βάρος καρπού εμπορεύσιμου
	1.751,73	6.245	516,17	0,28
GR2	ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ		ΜΗ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ	
	ΒΑΡΟΣ (kg)	Αρ.Καρπών	ΒΑΡΟΣ(kg)	Μ.Ο. βάρος καρπού εμπορεύσιμου
	2.256,51	7.617	657,37	0,30
GR3	ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ		ΜΗ ΕΜΠΟΡΕΥΣΙΜΗ	
	ΒΑΡΟΣ (kg)	Αρ.Καρπών	ΒΑΡΟΣ(kg)	Μ.Ο. βάρος καρπού εμπορεύσιμου
	2.091,59	7.242	391,1	0,29

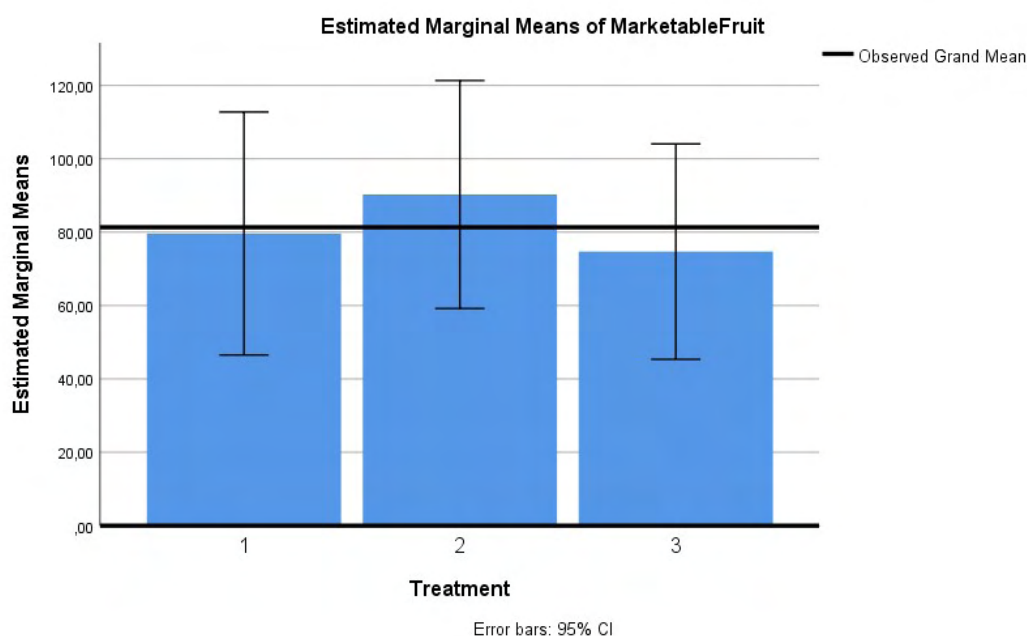
Γενικά το GR2 έδωσε μεγαλύτερη παραγωγή συνολικά (κιλά εμπορεύσιμων και μη εμπορεύσιμων καρπων). Ο Μέσος Όρος του βάρους των εμπορεύσιμων καρπών ήταν 0.28, 0.30 και 0.29 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα (Πιν. 3.5).

Το SPSS μας έδωσε τα εξής αποτελέσματα (Πιν.. 3.6):

Πίνακας 3.6: Τα αποτελέσματα του SPSS που αφορούν τη παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών.

Treatment	M.O.	Std. Deviation	N
GR1	79,62	89,45	22
GR2	90,26	85,47	25
GR3	74,70	58,99	28

Ο Μέσος Όρος των τριών θερμοκηπίων σε παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών (κιλά ανά συλλογή) είναι 79.62, 90.26 και 74.70 σε αριθμό συλλογών καρπού 22, 25, 28 φορές για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Η τυπικές αποκλίσεις για τα GR1, GR2 δεν είναι σημαντικές, ωστόσο το GR3 φαίνεται να διαφέρει αρκετά (Εικ. 3.19).



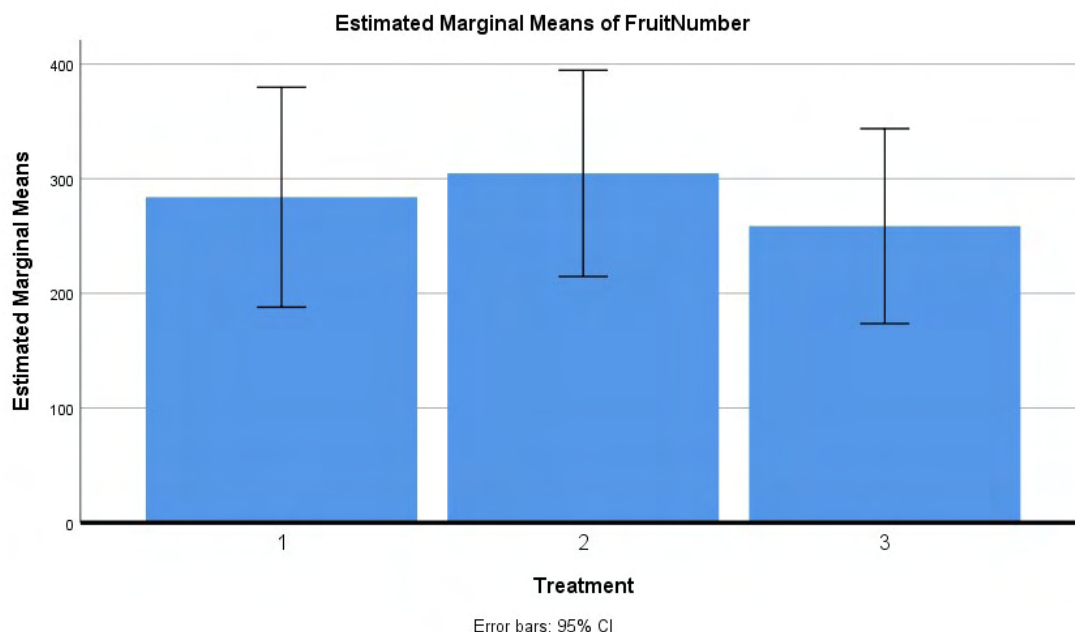
Εικόνα 3.19: Ιστόγραμμα από την συνολική απόδοση των εμπορεύσιμων καρπών

Ο αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχτηκαν σε κάθε θερμοκήπιο έδωσε μέσω SPSS (Πιν. 3.7):

Πίνακας 3.7: Τα αποτελέσματα του SPSS για τα κομμάτια εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχτηκαν.

Treatment	Mean	Std. Deviation	N
GR1	283,86	248,84	22
GR2	304,68	249,52	25
GR3	258,64	180,01	28

Ο Μέσος Όρος των τριών θερμοκηπίων σε παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών (αριθμός καρπών ανά συλλογή) είναι 283.86, 304.68 και 258.64 σε αριθμό συλλογών καρπού 22, 25, 28 φορές για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Η τυπικές αποκλίσεις για τα GR1, GR2 επίσης δεν είναι σημαντικές, ωστόσο το GR3 και σε αυτό το πίνακα φαίνεται να διαφέρει αρκετά (Εικ. 3.20).

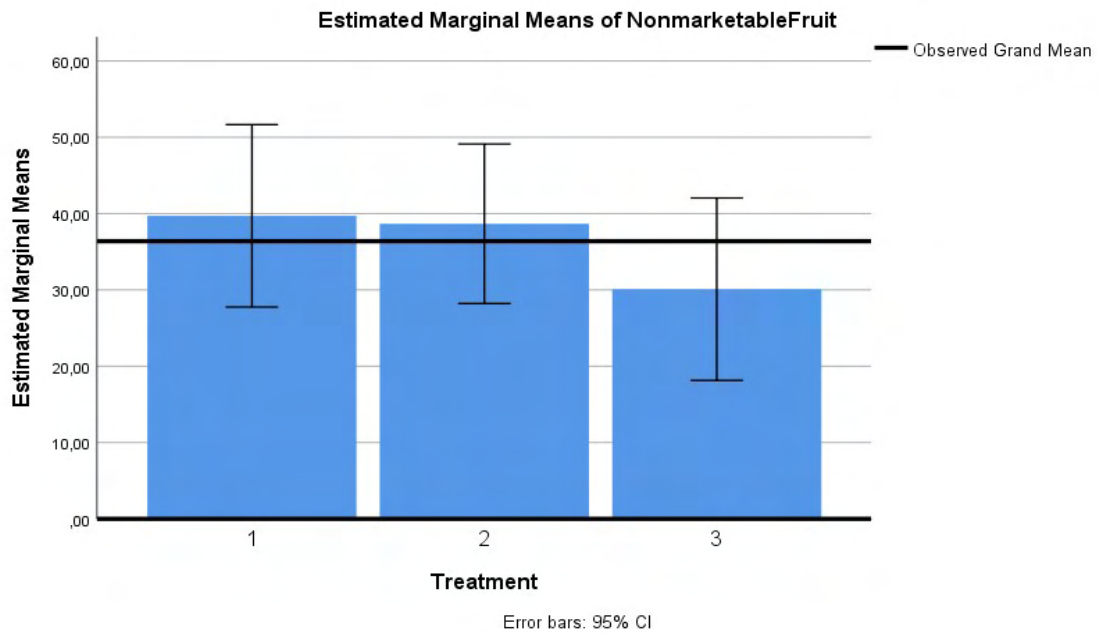


Εικόνα 3.20: Ιστόγραμμα από τον αριθμό των εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχτηκαν.

Πίνακας 3.8: Τα αποτελέσματα του SPSS που αφορούν τα κιλά μη εμπορεύσιμου καρπού.

Treatment	M.O.	Std. Deviation	N
GR1	39,71	23,46	13
GR2	38,67	21,72	17
GR3	30,08	18,35	13

Ο Μέσος Όρος των τριών θερμοκηπίων σε παραγωγή μη εμπορεύσιμων καρπών (κιλά ανά συλλογή) είναι 39.71, 38.67 και 30.08 σε αριθμό συλλογών καρπού 13, 17 και 13 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Και εδώ οι τυπικές αποκλίσεις για τα GR1, GR2 δεν είναι σημαντικές, ενώ το GR3 και σε αυτό το πίνακα (Πιν. 3.8, Εικ. 3.21) φαίνεται να διαφέρει αρκετά.



Εικόνα 3.21: Ιστόγραμμα από την συνολική απόδοση των μη εμπορεύσιμων καρπών.



Εικόνα 3.22: Μέρος από το συλλεχθέν καρπό από το GR2 στις 27/4/2016

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα τρία θερμοκήπια δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε κανένα μετεωρολογικό δεδομένο. Ενδεικτικά αναφέρετε ότι ο Μέσος Όρος της ηλιακής ακτινοβολίας που εισήλθε σε κάθε θερμοκήπιο για την περίοδο του πειράματος ήταν 118.39, 129.72 και 118.06 ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Ο Μέσος Όρος της σχετικής υγρασίας (%) που επικρατούσε ήταν 79.13, 86.97 και 78.79 και της θερμοκρασίας του αέρα ($^{\circ}\text{C}$) 22.71, 20.37 και 21.76 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι τα θερμοκήπια με τα διπλά πλαστικά κάλυψης (GR1, GR3) διατηρούν τη θερμοκρασία του αέρα σε υψηλότερες τιμές που έχει σαν συνεπακόλουθο να διατηρούν και τη σχετική υγρασία χαμηλότερα, και επίσης στα συγκεκριμένα θερμοκήπια εισέρχεται λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία λόγω της μειωμένης διαπερατότητας που προκαλεί το επιπλέον πλαστικό.

Η κατανάλωση πετρελαίου (L) για την θέρμανση των θερμοκηπίων ήταν:

GR1	GR2	GR3
588 L	1500 L	750 L

Εδώ η διαφορά είναι ξεκάθαρη. Τα θερμοκήπια με τα διπλά πλαστικά (GR1, GR3) έχουν τη μισή, και λιγότερο, κατανάλωση από το κλασικό (GR2).

Τα χαρακτηριστικά των φυτών επίσης δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών θερμοκηπίων.

Ο Μέσος Όρος στο ύψος των φυτών σε cm στις 27/4/2016 (139 μέρα από τη μεταφύτευση) που ήταν η τελευταία μέτρηση που έγινε, ήταν 226.26, 233.75 και 245 στα σταθερά φυτά (4 μετρήσεις) και 222.50, 230 και 246.88 στα σταθερά και στα τυχαία φυτά (8 μετρήσεις) για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα.

Στις 27/4/2016 ο Μέσος Όρος του μήκους των σύνθετων φύλλων ήταν 32.78, 32.63 και 30.17 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Ο Μέσος Όρος (8 μετρήσεις) των κόμβων ήταν 43.88, 46.75 και 42.88 και ο Μέσος Όρος (8 μετρήσεις) των σταυρών ήταν 9.50, 10 και 8.75 για τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα.

Όσον αφορά την παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών σε κάθε θερμοκήπιο, συλλέχθηκαν (σε kg) 1751.73, 2256.51 και 2091.59 με Μέσο Όρο βάρους καρπού (σε kg) 0.28, 0.30 και 0.29 από τα GR1, GR2 και GR3 αντίστοιχα. Υπάρχει λίγο

μεγαλύτερη παραγωγή εμπορεύσιμων καρπών στο κλασσικό θερμοκήπιο (GR2) έναντι των άλλων (GR1 και GR3).

Μολονότι το GR1 είχε την χαμηλότερη παραγωγή συνολικά, το SPSS έδειξε ότι δεν είχε σημαντική διαφορά από το GR2 ούτε στα κιλά των εμπορεύσιμων - μη εμπορεύσιμων καρπών, ούτε στον αριθμό των εμπορεύσιμων καρπών που συλλέχθηκαν. Αυτό οφείλεται διότι ήταν λιγότερες οι φορές που έγινε συλλογή καρπού στο GR1. Αντιθέτως στο GR3 φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση από το GR2 καθότι αυτή η ποσότητα συλλέχθηκε σε περισσότερες επαναλήψεις έναντι των άλλων.

Εν κατακλείδι το απλό κλασσικό θερμοκήπιο με το ένα φύλλο κάλυψης (GR2) έδωσε την περισσότερη παραγωγή ανάμεσα στα τρία υπό μελέτη θερμοκήπια, η οποία πιθανότατα αποδίδεται στην χαμηλότερη ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στα GR1 και GR3 εξαιτίας των διπλών φύλλων κάλυψης. Όμως το GR2 είχε διπλάσια κατανάλωση πετρελαίου από ότι είχαν τα άλλα δύο θερμοκήπια, δηλαδή είχε περισσότερη διαρροή θερμότητας από ότι είχαν τα άλλα. Δηλαδή τα διπλά φύλλα συντηρούσαν την θερμότητα εντός καλύτερα.

Συγκρίνοντας τις δύο παραμέτρους που διέφεραν αρκετά μεταξύ των θερμοκηπίων βγαίνει το συμπέρασμα πως το νέου τύπου 7 – στρωματικό φύλλο κάλυψης δίνει χαμηλότερη παραγωγή εμπορεύσιμου καρπού έναντι του κλασσικού μονού φύλλου πολυαιθυλενίου, 79.62 κιλά έναντι 90.26 κιλά (αποτελέσματα SPSS) αλλά έχει πολύ χαμηλότερη κατανάλωση πετρελαίου 588 L έναντι 1500 L. Δεδομένου της υψηλής αξίας του πετρελαίου θέρμανσης (>1 ευρώ/ L) η διαφορά αυτή καθίσταται περισσότερο σημαντική από τη διαφορά της παραγωγής.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν αφορούν την περίοδο καλλιέργειας μεταξύ Δεκεμβρίου 2015 έως τον Ιούνιο του 2016. Τα συμπεράσματα αυτά δεν μπορούν να θεωρηθούν ασφαλή διότι είναι συμπεράσματα μιας χρονιάς. Για να μπορέσουν να γενικευτούν χρειάζεται το ίδιο πείραμα να γίνει τουλάχιστον άλλη μία καλλιεργητική περίοδο.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Mahdouri, A., Baneshi, M., Gonome, H., Okajima, J., and Maruyama, S. (2013). Evaluation of optical properties and thermal performances of different greenhouse covering materials. *Solar Energy* 96, 21-32.
- Coppee, A. (2010). *Bombus terrestris (L. 1758) : A complex species or a species complex ? Intraspecific pheromonal and genetic variations of Bombus terrestris (L.) - Impacts on the speciation*. Phd dissertation, universite de mons, Mons, Belgium.
- Erhioui, B.M., Gosselin, A., Hao, X., Papadopoulos, A.P., and Dorais, M. (2002). Greenhouse Covering Materials and Supplemental Lighting Affect Growth, Yield, Photosynthesis, and Leaf Carbohydrate Synthesis of Tomato Plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 127(5), 819-824.
- Baille, A. (2001). Trends in Greenhouse Technology for Improved Climate Control in mild Winter Climates. *Acta horticultrae* 559,161-168.
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., and Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Scientia Horticulturae* 235, 437-451.
- Baudoin, W.O. (1999). Protected cultivation in the Mediterranean region. *Acta Hort* 486, 23-30.
- Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Gratraud, J., and Von Eslnr, B. (1997). Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview, *Journal of Agricultural Engineering Research* 67(2), 81-96.
- Cemek, B., Demir, Y., Uzun, S., and Ceyhan, V. (2006). The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. *Energy* 31(12), 1780-1788.
- Dorais, M., Papadopoulos A.P., and Gosselin, A. (2001). Greenhouse Tomato Fruit Quality, *Horticultural Reviews* 26, 239-319.
- Kami, C., Lorrain, S., Hornitschek, P., and Fankhauser, C. (2010) Chapter Two - Light-Regulated Plant Growth and Development, *Plant Development* 91, 29-66.
- Katsoulas, N., Kittas, C. (2008). Impact of greenhouse microclimate on plant growth and development with special reference to the solanaceae. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 2(1), 31-44.

- Kittas, C., Bartzanas, T., and A. Jaffrin, A. (2003). Temperature Gradients in a Partially Shaded Large Greenhouse equipped with Evaporative Cooling Pads. *Biosystems engineering* 85(1), 87-94.
- Martinez, P.F. (1999). An Overview of the Southern European Greenhouse Industry. In *21st Annual Canadian Greenhouse Conference*. Oct 27, 1999. University of Guelph.
- Jensen, M.H. (1997). Hydroponics. *Hort Science* 32(6), 1018-1020.
- Mourad, A.,-H.,I., and Dehbi, A. (2014). On use of trilayer low density polyethylene greenhouse cover as substitute for monolayer cover. *Plastics, Rubber and Composites* 43(4), 111-121.
- Noble, R., and Holder, R. (1989). Pot plant production under various greenhouse cladding materials. *Journal of Horticultural Science* 64(4), 485-493.
- Olympios, C.M. (1991). The situation of protected cultivation in Greece. *Plasticulture* 91, 5-16.
- Oskam A.J, Van Zeijts H., Thijessen G.J, Wossink G.A.A., and Vijftigschild R. (1992). *Pesticide use and pesticide policy in the Netherlands*. Pudoc, Wageningen
- Ouzounis, T., Rosenqvist, E., and Ottosen, C. (2015). Spectral effects of artificial light on plant physiology and secondary metabolism. *Hortscience* 50(8), 1128–1135.
- Papadopoulos, A.P., and Hao, X. (1997). Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 68(1–4), 113-123.
- Papadopoulos, A.P., and Hao, X. (1997). Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 70(2–3), 165-178.
- Papadopoulos, A.P., and Jewett, T.J. (1984). Comparative tomato growth, development and yield in twin wall PVC panel and single glass greenhouse. *Acta Hort.* 148, 611-617.
- Radojević, N., Kostadinović, D., Vlajković, H., and Veg, E. (2014). Microclimate Control in Greenhouses. *FME Transactions* 42(2), 167-171.
- Reiersen D., and Sebesta, Z. (1981). A comparison Of the effects of single glass and double acrylic sheeting on plant growth and development. *Acta Hort.* 115, 401-408.

Slack, G., and Hand, D.W. (1983). The effect of day and night temperatures on the growth, development and yield of glasshouse cucumbers. *Journal of Horticultural Science* 58(4), 567-573.

Subin M.C., Lourence J.S., Karthikeyan R. and Periasamy C. (2018). Analysis of materials used for Greenhouse roof covering - structure using CFD. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 346.

Van Winden, C.M.M., Van Uffelen, J.A.M., and Welles, G.W.H. (1984). Comparison Of the Effect of Single and Double Glass Greenhouses on Environmental Factors and Production of Vegetables. *Acta Horti* 148, 567-573

Zekkl H., Gauthier, L., and Gosselin, A. (1996). Growth productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without solution recycling. *Journal of the American Society for Horticultural Science. American Society for Horticultural Science (J AM SOC HORTIC SCI)* 121(6), 1082–1088

ΝΤΟΓΡΑΣ, Κ. (2003). *Ειδική λαχανοκομία 1*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

ΝΤΟΓΡΑΣ, Κ. (2004). *Καλλιέργεια λαχανικών στο θερμοκήπιο*. Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη

Φυτίκας, Μ. και Ανδρίτσος, Ν. (2004). *Γεωθερμία*. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη

WWW Document Υraithros.gr. (2018). Μικρά και σταθερά βήματα κάνουν οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες, πρόκληση η καθετοποίηση. [Online]. Διαθέσιμο στη ηλεκτρονική σελίδα <<https://www.yraithros.gr/ekdoseis/thermokipia-2018/>> [Διαβάστηκε στις 5 Αυγούστου 2019]

WWW Document plastikakritis.com. (2019). EVO® 7-layer greenhouse films. [Online]. Διαθέσιμο στη ηλεκτρονική σελίδα <<https://www.seven-layer.com/en/evo-7-layer-greenhouse-films>> [Διαβάστηκε στις 5 Αυγούστου 2019]

WWW Document el.wikipedia.org. (2019). Κλίμα της Ελλάδας. [Online]. Διαθέσιμο στη ηλεκτρονική σελίδα <https://el.wikipedia.org/wiki/Κλίμα_της_Ελλάδας> [Διαβάστηκε στις 5 Αυγούστου 2019]

WWW Document el.wikipedia.org. (2019). Γεωργία στην Ελλάδα. [Online]. Διαθέσιμο στη ηλεκτρονική σελίδα

<https://el.wikipedia.org/wiki/Γεωργία_στην_Ελλάδα> [Διαβάστηκε στις 5 Αυγούστου 2019]

WWW Document en.wikipedia.org. (2019). Aquaponics. [Online]. Διαθέσιμο στη ηλεκτρονική σελίδα <<https://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics>> [Διαβάστηκε στις 5 Αυγούστου 2019]