

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
Αριθμ. Πρωτοκόλλου: 353  
Ημερομηνία: 1-7-2011

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ»**

**Πτυχιακή Διατριβή**

**Δημήτρης Αναγνωστόπουλος**

**Επιβλέπων**

**Καθηγητής Κωνσταντίνος Κίττας**

**Νέα Ιωνία, 2011**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος  
Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ»**

**Πτυχιακή Διατριβή**

**Δημήτρης Αναγνωστόπουλος**

**Επιβλέπων**

**Καθηγητής Κωνσταντίνος Κίττας**

**Νέα Ιωνία, 2011**



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

Αριθ. Εισ.: 9785/1  
Ημερ. Εισ.: 08-07-2011  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ  
2011  
ΑΝΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ»**



Κ. Κίττας (Επιβλέπων) Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Γεωργικές Κατασκευές

Σπ. Φουντάς (Μέλος) Επίκουρος Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Γεωργική Μηχανολογία

Κ. Κατσούλας (Μέλος) Επίκουρος Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα θερμοκήπια

Δημήτρης Αναγνωστόπουλος

«ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΚΟΝΤΙΝΗΣ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ  
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ»





**Δημήτρης Αναγνωστόπουλος 2011, «Μελέτη ενός ανακλαστικού της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων», Προπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία.**

16 Προκαταρτικές σελίδες, 123 Σελίδες, 49 Πίνακες, 10 Σχήματα, 26 Εικόνες, 34 Γραφήματα, 60 Βιβλιογραφικές παραπομπές.

### **Περίληψη**

Σε πολλές περιοχές του κόσμου κατά τους θερινούς μήνες καταγράφονται ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες και δημιουργούν σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη των καλλιεργειών τόσο από άποψη ποιότητας (ηλιοκάματα) αλλά και από άποψη τελικών αποδόσεων. Στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες το πρόβλημα αυτό εντείνεται γιατί μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας (ιδιαίτερα η θερμική) εγκλωβίζεται στο χώρο του θερμοκηπίου και έχουμε υπερθέρμανση. Έτσι, σ' αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητος ο επιπλέον δροσισμός του θερμοκηπίου διότι ο φυσικός αερισμός με παράθυρα δεν αρκεί. Γι' αυτό τον σκοπό έχουν αναπτυχθεί αρκετά συστήματα δροσισμού (τεχνητή ομίχλη, υγρή παρειά κ.α.) αλλά απαιτούν αρκετές δαπάνες ενέργειας. Ωστόσο, μπορούν να εφαρμοστούν και μέθοδοι που να μη απαιτούν μεγάλο κόστος λειτουργίας, όπως η σκίαση με κουρτίνες ή με λεύκανση. Όμως, οι μέθοδοι αυτοί δεν αφήνουν να εισέλθει στο θερμοκήπιο θερμική ακτινοβολία αλλά μαζί μ' αυτή δεν επιτρέπουν και την είσοδο φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας και έτσι μπορεί να υπάρξει αναστολή ανάπτυξης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί εκλεκτικά υλικά κάλυψης θερμοκηπίων που έχουν ως ιδιότητα να ανακλούν μεν την θερμική ακτινοβολία και να παρέχεται δροσισμός αλλά να επιτρέπουν την είσοδο φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας.

Στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος μελετήθηκε ένα νέο υλικό κάλυψης της εταιρείας Πλαστικά Κρήτης ΑΕ, IR-NIR-PE, που ανακλά την θερμική ακτινοβολία. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της εφαρμογής ενός φύλλου IR-NIR-PE στην ανάπτυξη της καλλιέργειας τομάτας, στο κλίμα και στην κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση κατά την διάρκεια του χειμώνα. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αυτά που προέκυψαν από θερμοκήπιο μάρτυρα με κάλυψη από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (IR-PE). Και τα δύο θερμοκήπια ήταν στο αγρόκτημα του Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας στο Βελεστίνο.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα ανάπτυξης της καλλιέργειας το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές αλλά δεν ήταν στατιστικά σημαντικές οι

διαφορές σε σχέση με το θερμοκήπιο εφαρμογής πέραν του ύψους. Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ήταν μεγαλύτερη για το θερμοκήπιο εφαρμογής αλλά οι διαφορές με το μάρτυρα δεν ήταν στατιστικά σημαντικές. Έτσι, ίσως το υλικό IR-NIR-PE παρουσιάζει κάποιες μονωτικές ιδιότητες κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Συμπερασματικά, το υλικό κάλυψης IR-NIR-PE έχει τις δυνατότητες να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου καθώς το καλοκαίρι παρέχει τον απαραίτητο δροσισμό αλλά και τον χειμώνα δεν δημιουργεί σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη και στην απόδοση της καλλιέργειας μας.

## Πρόλογος και Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά πρώτα απ' όλους τον επιβλέποντα Καθηγητή και Διευθυντή στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κύριο Κωνσταντίνο Κίττα για την καθοδήγηση του, την στήριξη και τις συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα ακόμα να εκφράσω την εκτίμηση μου και τις ευχαριστίες μου στον κύριο Νικόλαο Κατσούλα, Επίκουρο Καθηγητή Γεωργικών Κατασκευών γιατί η στήριξη, οι συμβουλές και οι γνώσεις που μου παρείχε σε θέματα θερμοκηπίων και ελέγχου περιβάλλοντος καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής εργασίας ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της αλλά και για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή. Ακόμη, δεν μπορώ να μην ευχαριστήσω τον κύριο Σπυρίδων Φουντά, Επίκουρο Καθηγητή στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, για τον χρόνο που αφιέρωσε ως μέλος της τριμελούς επιτροπής αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου παρείχε σ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Δεν θα μπορούσα να μην αναγνωρίσω την συμβολή της συμφοιτήτριας μου Κανάρη Αντωνία στο πρακτικό μέρος που αφορούσε τις αγρονομικές μετρήσεις της παρούσας πτυχιακής διατριβής. Επίσης οφείλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου το συμφοιτητή και φίλο μου Δημοσθένη Στάθη για την υποστήριξη και βοήθεια του στην διαδικασία του πειράματος.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και στο στενό φιλικό μου περιβάλλον, για την κατανόηση και την στήριξη τους που μου προσφέρουν σε κάθε βήμα της ζωής μου.

*Στους γονείς και στην αδερφή μου,*

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κεφάλαιο 1 . Γενική Εισαγωγή .....</b>	<b>17</b>
<i>1.1 Γενικά .....</i>	<i>19</i>
1.1.1 Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα .....	19
1.1.2 Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα .....	22
1.1.3 Υψηλές θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο τους θερινούς μήνες .....	23
1.1.4 Ο παράγοντας σκίαση .....	25
1.1.5 Μέθοδοι σκίασης θερμοκηπίου .....	25
1.1.6 Νέες τάσεις και ιδιότητες πλαστικών υλικών κάλυψης .....	31
1.1.7 Ο ρόλος της ηλιακής ακτινοβολίας στα φυτά και η διαχείριση της στο θερμοκήπιο.....	41
<i>1.2 Αντικείμενο και δομή της εργασίας .....</i>	<i>43</i>
<b>Κεφάλαιο 2 . Θεωρητική Ανάλυση .....</b>	<b>45</b>
<i>2.1 Ολοκληρωμένο ηλιακό σύστημα ψύξης θερμοκηπίου με υλικό κάλυψης που ανακλά την NIR ακτινοβολία.....</i>	<i>47</i>
<i>2.2 Ανάκλαση NIR ακτινοβολίας μέσω εφαρμογής χρωστικών.....</i>	<i>50</i>
<i>2.3 Αξιολόγηση υλικών κάλυψης όσο αφορά την διαχείριση και την ανάκλαση NIR ακτινοβολίας .....</i>	<i>54</i>
<i>2.4 Εφαρμογή υγρών διαλυμάτων στην οροφή του θερμοκηπίου για την ανάκλαση της NIR ακτινοβολίας.....</i>	<i>59</i>
<i>2.5 Μέθοδοι δροσισμού θερμοκηπίου με έμφαση στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας.....</i>	<i>69</i>
<b>Κεφάλαιο 3 . Πειραματικός Εξοπλισμός .....</b>	<b>75</b>
<i>3.1 Θερμοκήπιο .....</i>	<i>77</i>
<i>3.2 Το υλικό κάλυψης.....</i>	<i>78</i>
<i>3.3 Επιλογή Φυτού .....</i>	<i>79</i>
<i>3.4 Εγκατάσταση Καλλιέργειας.....</i>	<i>79</i>
<i>3.5 Καλλιεργητική τεχνική .....</i>	<i>80</i>
3.5.1 Υποστύλωση.....	80
3.5.2 Κλάδεμα.....	80
3.5.3 Γονιμοποίηση καλλιέργειας τομάτας .....	80
3.5.4 Άρδευση και Λίπανση καλλιέργειας .....	81
3.5.5 Θέρμανση καλλιέργειας .....	82

3.5.6	Ψύξη θερμοκηπίου.....	83
<b>3.6</b>	<b>Επιλογή φυτών-παρατηρήσεων.....</b>	<b>84</b>
<b>3.7</b>	<b>Παράγων περονόσπορος.....</b>	<b>85</b>
<b>3.8</b>	<b>Κλιματικές μετρήσεις.....</b>	<b>86</b>
3.8.1	Θερμοκρασίας και υγρασίας.....	86
3.8.2	Μέτρηση μικρού μήκους ακτινοβολίας.....	86
3.8.3	Καταγραφή μετρήσεων.....	87
<b>3.9</b>	<b>Αγρονομικές μετρήσεις.....</b>	<b>87</b>
3.9.1	Φυλλική επιφάνεια.....	89
3.9.2	Αριθμός κόμβων.....	89
3.9.3	Μήκος μεσογονατίων διαστημάτων.....	89
<b>3.10</b>	<b>Κατανάλωση ενέργειας.....</b>	<b>90</b>
<b>Κεφάλαιο 4 . Αποτελέσματα και Συζήτηση.....</b>		<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>Αποτελέσματα.....</b>	<b>93</b>
<b>4.2</b>	<b>Αποτελέσματα αγρονομικών μετρήσεων.....</b>	<b>93</b>
4.2.1	Αποτελέσματα ύψους φυτών.....	94
4.2.2	Αποτελέσματα φυλλικής επιφάνειας.....	96
4.2.3	Αποτελέσματα αριθμού φύλλων.....	98
4.2.4	Αποτελέσματα αριθμού ανθέων.....	100
4.2.5	Αποτελέσματα αριθμού καρπών.....	102
4.2.6	Αποτελέσματα σταυρών.....	105
4.2.7	Αποτελέσματα κόμβων.....	107
4.2.8	Αποτελέσματα μεσογονατίων διαστημάτων.....	109
<b>4.3</b>	<b>Κλιματικές παρατηρήσεις.....</b>	<b>110</b>
4.3.1	Θερμοκρασία.....	110
4.3.2	Σχετική Υγρασία.....	115
4.3.3	Σχόλια και παρατηρήσεις για θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες.....	119
<b>4.4</b>	<b>Ταχύτητα ανέμου.....</b>	<b>119</b>
<b>4.5</b>	<b>Κατανάλωση Ενέργειας.....</b>	<b>120</b>
4.5.1	Κατανάλωση ενέργειας αερόθερμου.....	120
4.5.2	Κατανάλωση επιδαπέδιου συστήματος θέρμανσης.....	121
4.5.3	Συνολική κατανάλωση ενέργειας και με τα δύο συστήματα.....	123
4.5.4	Σχόλια-Παρατηρήσεις για την κατανάλωση ενέργειας.....	124

<b>4.6</b>	<b><i>Ηλιακή ακτινοβολία</i></b> .....	<b>125</b>
4.6.1	Αποτελέσματα Ηλιακής ακτινοβολίας .....	125
4.6.2	Σχόλια-Παρατηρήσεις .....	127
	<b>Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα</b> .....	<b>129</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Συμπεράσματα</i></b> .....	<b>131</b>
	<b>Κεφάλαιο 6 Βιβλιογραφία</b> .....	<b>133</b>

## Κατάλογος Πινάκων

<i>Πίνακας 1: Εκτάσεις θερμοκηπίων σε στρέμματα στην Ελλάδα( Ελληνική στατιστική Υπηρεσία , 2007)</i>	20
<i>Πίνακας 2: Οι 14 πρώτες χώρες στην Ευρώπη σε στρεμματική έκταση(Eurostat, 2007)</i>	21
<i>Πίνακας 3: Ιδιότητες ειδικού φύλλου με φυσαλίδες (Πλαστικά Κρήτης, 2008).</i>	30
<i>Πίνακας 4: Υλικά κάλυψης και οι ιδιότητες του σε κάποιες παραμέτρους (www.hyplast.be).</i>	41
<i>Πίνακας 5: Αποτελέσματα καταμέτρησης ενέργειας και απόδοσης με κάθε τύπο επιφάνειας (Soneveld et al., 2008).</i>	49
<i>Πίνακας 6: Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για τα κύτταρα του PV (Soneveld et al., 2008).</i>	50
<i>Πίνακας 7: Αναλυτικά οι παρατηρήσεις προσρόφησης ακτινοβολίας που καταγράφηκαν σ' όλο το μήκος κύματος.</i>	51
<i>Πίνακας 8: Μετρήσεις σε κάθε υλικό κάλυψης κατά μέσο όρο προσρόφησης PAR και NIR ακτινοβολίας παρατηρώντας τις μεγάλες διαφορές σε συνθήκες ηλιοφάνειας και συννεφιάς (Hemming et al., 2005)...</i>	56
<i>Πίνακας 9: Η απορρόφηση (σε ροή φωτονίων) PAR και NIR ακτινοβολίας ανάλογα το θερμοκήπιο και το υλικό κάλυψης (Kittas et al. ,1999).</i>	58
<i>Πίνακας 10: Οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στο δωμάτιο και στα φύλλα σε θερμοκήπιο με φυσικό εξαερισμό σε σχέση με το θερμοκήπιο που είχε το νερό στην οροφή (Nilsen et al., 1984).</i>	63
<i>Πίνακας 11: Οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στο δωμάτιο και στα φύλλα σε θερμοκήπιο με φυσικό εξαερισμό σε σχέση με το θερμοκήπιο που είχε διάλυμα <math>\text{CuSO}_4</math> στην οροφή (Nilsen et al., 1984).....</i>	64
<i>Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά παραγωγής ανάλογα την μέθοδο ψύξης που εφαρμόζουμε (Nilsen et al., 1984).</i>	64
<i>Πίνακας 13: Παρατηρήσεις θερμοκρασίας εξωτερικά αλλά και σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογή (Meca et al., 2004).</i>	69
<i>Πίνακας 14: Παρατηρήσεις υγρασίας εξωτερικά αλλά και σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογής (Meca et al., 2004).</i>	69
<i>Πίνακας 15: Συνολική, εμπορεύσιμη και μη εμπορεύσιμη παραγωγή σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογής (Meca et al., 2004).</i>	70
<i>Πίνακας 16: Σύσταση θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε.</i>	81
<i>Πίνακας 17: Ημέρες συλλογής μετρήσεων των αγρονομικών χαρακτηριστικών.</i>	88
<i>Πίνακας 18: Αποτελέσματα ύψους καλλιέργειας στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.</i>	94
<i>Πίνακας 19: Πίνακας ANOVA για το ύψος καλλιέργειας στα δύο θερμοκήπια.</i>	95
<i>Πίνακας 20: Αποτελέσματα φυλλικής επιφάνειας στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.....</i>	97
<i>Πίνακας 21: Πίνακας ANOVA για την φυλλική επιφάνεια στα δύο θερμοκήπια.</i>	97
<i>Πίνακας 22: Αποτελέσματα αριθμού φύλλων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.</i>	99
<i>Πίνακας 23: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό φύλλων στα δύο θερμοκήπια.</i>	99
<i>Πίνακας 24: Αποτελέσματα από τον αριθμό ανθέων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα. ....</i>	101
<i>Πίνακας 25: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των ανθέων.....</i>	101
<i>Πίνακας 26: Αποτελέσματα από τον αριθμό καρπών στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα. ...</i>	103
<i>Πίνακας 27: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των καρπών.</i>	104
<i>Πίνακας 28: Αποτελέσματα από τον αριθμό σταυρών στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα. ...</i>	106
<i>Πίνακας 29: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των σταυρών.</i>	106
<i>Πίνακας 30: Αποτελέσματα από τον αριθμό κόμβων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα. ...</i>	108
<i>Πίνακας 31: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των κόμβων.</i>	108
<i>Πίνακας 32: Αποτελέσματα από τα μήκη των μεσογονατίων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.</i>	109
<i>Πίνακας 33: Πίνακας ANOVA για το μήκος μεσογονατίων διαστημάτων.....</i>	110
<i>Πίνακας 34: Μέσος όρος των θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .</i>	111
<i>Πίνακας 35: Μέσος όρος των πρωινών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .</i>	112
<i>Πίνακας 36: Μέσος όρος των νυχτερινών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .</i>	114
<i>Πίνακας 37: Μέσος όρος από τις σχετικές υγρασίας που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .</i>	115
<i>Πίνακας 38: Μέσος όρος από τις πρωινές σχετικές υγρασίες που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου.</i>	116
<i>Πίνακας 39: Μέσος όρος από τις νυχτερινές σχετικές υγρασίες που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .</i>	118
<i>Πίνακας 40: Μέση κατανάλωση ενέργειας στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.....</i>	120



<i>Πίνακας 41: Μέση κατανάλωση πετρελαίου στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.....</i>	121
<i>Πίνακας 42: Μέσο κόστος πετρελαίου στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.....</i>	121
<i>Πίνακας 43: Μέση κατανάλωση ενέργειας στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.....</i>	122
<i>Πίνακας 44: Μέση κατανάλωση πετρελαίου στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.....</i>	122
<i>Πίνακας 45: Μέσο κόστος πετρελαίου στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.....</i>	122
<i>Πίνακας 46: Μέση κατανάλωση ενέργειας στα δύο θερμοκήπια στις 15/11/2009.....</i>	123
<i>Πίνακας 47: Μέση κατανάλωση πετρελαίου στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.....</i>	123
<i>Πίνακας 48: Μέσο κόστος πετρελαίου στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.....</i>	123
<i>Πίνακας 49: Μέση απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας στα δύο θερμοκήπια και εξωτερικά στις 14/11/2009.....</i>	125

## Κατάλογος Εικόνων

<i>Εικόνα 1: Εξωτερικό σκίαστρο που φιλτράρει την NIR ακτινοβολία (Kempkes, 2008).....</i>	27
<i>Εικόνα 2: Μηχανισμός δροσισμού λειτουργίας με υλικά κάλυψης (Πλαστικά Κρήτης, 2008 και <a href="http://www.masterpaklb.com">http://www.masterpaklb.com</a>).....</i>	28
<i>Εικόνα 3: Τρόπος με ειδικά φύλλα με φυσαλίδες (bubbles) (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	30
<i>Εικόνα 4 :Χρωματισμός τριαντάφυλλου με UV-open films αριστερά σε σχέση με το δεξιά που έχει αναπτυχθεί σε UV-blocking films (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	33
<i>Εικόνα 5:Πλαστικό που τροποποιεί το φως (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	34
<i>Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας φύλλου που διαχέει την εισερχόμενη ακτινοβολία (<a href="http://www.masterpaklb.com">http://www.masterpaklb.com</a>).....</i>	34
<i>Εικόνα 7: Εξοπλισμός για τον έλεγχο μηχανικής αντίστασης υλικού κάλυψης (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	37
<i>Εικόνα 8:Υλικό κάλυψης HALS+UV (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	37
<i>Εικόνα 9: Φαινόμενο αντισταγονικής ιδιότητας υλικών (<a href="http://www.masterpaklb.com">http://www.masterpaklb.com</a>).....</i>	38
<i>Εικόνα 10: Φαινόμενο θερμομονωτικών ιδιοτήτων υλικών (Πλαστικά Κρήτης, 2008).....</i>	39
<i>Εικόνα 11: Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό του πειράματος (100 m<sup>2</sup>) (Soneveld et al., 2008).....</i>	48
<i>Εικόνα 12: Αριστερά διακρίνουμε το θερμοκήπιο εφαρμογής ενώ δεξιά το αφρό που έχει εφοδιαστεί ανάμεσα στα δύο φύλλα πολυαιθυλενίου (Aberkani, 2009).....</i>	68
<i>Εικόνα 13: Τα διάφορα σκίαστρα που μελετήθηκαν (Moller, 2010).....</i>	74
<i>Εικόνα 14: Η κατασκευαστική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε.....</i>	77
<i>Εικόνα 15: Άποψη του θερμοκηπίου του μάρτυρα με μπλε βέλος και του θερμοκηπίου εφαρμογής με πράσινο.....</i>	78
<i>Εικόνα 16: Το θερμοκήπιο εφαρμογής του Super thermic + high NIR reflection υλικού κάλυψης.....</i>	78
<i>Εικόνα 17: Άποψη καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια του πειράματος.....</i>	79
<i>Εικόνα 18: Κλίπ με τυλιγμένο σπάγκο ως τρόπος υποστύλωσης της καλλιέργειας.....</i>	80
<i>Εικόνα 19: Κυψέλη εντόμου bombus terrestris.....</i>	81
<i>Εικόνα 20: Η μονάδα λίπανσης με σύστημα Venturi.....</i>	82
<i>Εικόνα 21: Απεικονίζονται ο θερμοστάτης (α), το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (β) καθώς και το αερόθερμο (γ).....</i>	83
<i>Εικόνα 22: Φυτό παρατηρήσεων επισημασμένο με χάρτινο καρτελάκι και αριθμημένο.....</i>	85
<i>Εικόνα 23: Προσβολή από περονόσπορο στα θερμοκήπια.....</i>	86
<i>Εικόνα 24: Ανάπτυξη καρπών καλλιέργεια ντομάτας κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.....</i>	87
<i>Εικόνα 25: Αποικόνιση ανάπτυξης και αύξησης της καλλιέργειας κατά την διάρκεια του πειράματος ..</i>	88
<i>Εικόνα 26: Μέτρηση μήκους και πλάτους φύλλου με μεζούρα μέτρησης κατά την διάρκεια του πειράματος.....</i>	89

## Κατάλογος Σχημάτων

<i>Σχήμα 1: Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2007 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).....</i>	19
<i>Σχήμα 2:Ποσοστιαία Αναλογία κάθε περιοχής σε εκτάσεις θερμοκηπίων.....</i>	21
<i>Σχήμα 3: Καλυμμένη έκταση με θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα (Συνολική έκταση 2 800 000 στρέμματα εκτός της Κίνας, Πηγή: ICAP).....</i>	22
<i>Σχήμα 4: Δράση UV-block υλικού σε πληθυσμούς αλευρώδεις (Mitwiwa et al., 2005).....</i>	35

<b>Σχήμα 5:</b> Η επιφάνεια της οροφής του θερμοκηπίου σχεδιασμένη παραβολικά (αριστερά) και κυλινδρικά (δεξιά) (Soneveld et al., 2008).....	48
<b>Σχήμα 6:</b> (1) Πολλαπλό Θερμοκήπιο αμφικλινές με fiberglass (2) Θερμοκήπιο δύο μονάδων αμφικλινές με φύλλο πολυαιθυλενίου (3) Τούνελ θερμοκήπιο με φύλλο πολυαιθυλενίου (Kittas et al., 1999).....	57
<b>Σχήμα 7:</b> Διάφορες εφαρμογές στο αμφίκυρτο θερμοκήπιο δύο μονάδων με γυαλί (Kittas et al., 1999). 58	
<b>Σχήμα 8:</b> Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, εξωτερικά με άσπρες μπάρες, στο R με γκρι και γραμμές και στο S1 με γκρι μπάρες (García et al., 2010). .....	72
<b>Σχήμα 9:</b> Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, εξωτερικά με άσπρες μπάρες, στο F με γκρι και γραμμές και στο S2 με γκρι μπάρες (García et al., 2010). .....	73
<b>Σχήμα 10:</b> Αριστερά τα αποτελέσματα της απορρόφησης της PAR και δεξιά της NIR ακτινοβολίας (Moller, 2010). .....	74

## Κατάλογος Γραφημάτων

<b>Γράφημα 1:</b> Σύγκριση μεταξύ ενός φύλλου δροσισμού και ενός απλού φύλλου (Πλαστικά Κρήτης, 2008). .....	31
<b>Γράφημα 2:</b> Χρήση UV-block υλικού και μείωση στο πληθυσμό από αφίδες (Costa et al., 2001). .....	35
<b>Γράφημα 3:</b> Καμπύλη αντοχής-επιμήκυνσης υλικού (Πλαστικά Κρήτης, 2008). .....	36
<b>Γράφημα 4:</b> Σύγκριση ενός απλού φύλλου με ένα θερμικό φύλλο στην διαπερατότητα (Πλαστικά Κρήτης, 2008). .....	40
<b>Γράφημα 5:</b> Παρατήρηση ανάκλασης της PAR ακτινοβολίας (300-700nm) και της NIR ακτινοβολίας (700-2400nm) των δύο υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν, μεταλλικό πολυστρωματικό και διηλεκτρικό πολυστρωματικό πλαστικό (Soneveld et al., 2008). .....	47
<b>Γράφημα 6:</b> Παραγωγή ενέργειας ανάλογα την ώρα ημέρας στις παραβολικές επιφάνειες (πράσινη και κόκκινη καμπύλη που συμπίπτουν) και κυλινδρικές επιφάνειες (μπλε καμπύλη) (Soneveld et al., 2008). 49	
<b>Γράφημα 7:</b> Αποδοτικότητα ενέργειας κάθε υλικού (με τον υπολογισμό την κβαντικής απόδοσης (QE)) ανάλογα το μήκος κύματος. Με πράσινο το υλικό Ge, με μπλε το Si, με κόκκινο το GaSb, με πορτοκαλί το CIS (Soneveld et al., 2008). .....	50
<b>Γράφημα 8:</b> Απεικόνιση της απορρόφησης ακτινοβολίας από μήκη κύματος 300-1100 nm. Είναι φανερό η χαμηλότερη προσρόφηση NIR ακτινοβολίας από 700nm και μετά της χρωστικής NIR-R έναντι της N (Blanchard et al., 2010). .....	51
<b>Γράφημα 9:</b> Ηλιακή ενέργεια στο θερμοκήπιο ανάλογα το μήκος κύματος που έχει η ακτινοβολία στις χρωστικές Solarflair 870, η Solarflair 875 και στην συμβατική μέθοδο της λεύκανσης (Conventional Shedding) (Von Elsner, 2001). .....	53
<b>Γράφημα 10:</b> Η παραγωγή (kg/m <sup>2</sup> ) που παρουσίασαν τα θερμοκήπια με Kool lite Plus ( ) και Astrolux (----) (Verlodt et al., 1997). .....	57
<b>Γράφημα 11:</b> Απορρόφηση ακτινοβολίας από 300-1100nm στο διάλυμα Fe (τρίγωνο), στο διάλυμα CuSO <sub>4</sub> (τετράγωνο) και στο νερό (κύκλος) (Feuermann et al., 1998). .....	61
<b>Γράφημα 12:</b> Απορρόφηση ακτινοβολίας από 400-1400 nm από ακριλικό υλικό κάλυψης εφοδιασμένο: με νερό 10mm (1), 20mm (2), 50mm (3), με αέρα (4) , με 13mm 0,5% CuSO <sub>4</sub> (5), με 13mm 0,5% CuCl <sub>2</sub> (6), με 13mm 1,5% CuSO <sub>4</sub> (7) και με 13mm 1,5% CuCl <sub>2</sub> (8) (Nilsen et al., 1984). .....	62
<b>Γράφημα 13:</b> (α) Η απορρόφηση της NPAR ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας ανάλογα το υλικό ή το υγρό που χρησιμοποιείται. (β) Η απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας ανάλογα το υλικό κάλυψης ή το υγρό που χρησιμοποιείται (Abdel-Ghany et al., 2001). .....	65
<b>Γράφημα 14:</b> (α) Η διακύμανση της θερμοκρασίας φυτού σε σχέση το LAI ανάλογα το υλικό κάλυψης ή υγρό που χρησιμοποιείται. (β) Η διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους σε σχέση το LAI ανάλογα το υλικό κάλυψης ή υγρό που χρησιμοποιείται. Ως Tam ορίζεται η ατμοσφαιρική εξωτερική θερμοκρασία (Abdel-Ghany et al., 2001). .....	66
<b>Γράφημα 15:</b> Διακύμανση των θερμοκρασιών φύλλου στο γυάλινο θερμοκήπιο και το θερμοκήπιο που εφαρμόστηκε CuCl <sub>2</sub> κατά την διάρκεια μιας ημέρας τον χειμώνα (α) και το καλοκαίρι (β) στην περιοχή της Νοτιοδυτικής Γαλλίας (Van Bavel et al., 1980). .....	67
<b>Γράφημα 16:</b> Το % ανοίγματος στα παράθυρα οροφής ανάλογα την θερμοκρασία (Μπαρτζιάνας, 1999). .....	84
<b>Γράφημα 17:</b> Το % ανοίγματος στα πλαϊνά παράθυρα ανάλογα την θερμοκρασία (Μπαρτζιάνας, 1999). .....	84
<b>Γράφημα 18:</b> Εξέλιξη ύψους στα δύο θερμοκήπια. ....	94
<b>Γράφημα 19:</b> Εξέλιξη φυλλικής επιφάνειας στα δύο θερμοκήπια. ....	96
<b>Γράφημα 20:</b> Εξέλιξη αριθμού φύλλων στα δύο θερμοκήπια. ....	98
<b>Γράφημα 21:</b> Εξέλιξη ανθέων στα δύο θερμοκήπια. ....	100

<i>Γράφημα 22: Εξέλιξη καρπών στα δύο θερμοκήπια.....</i>	<i>103</i>
<i>Γράφημα 23: Εξέλιξη κόμβων στα δύο θερμοκήπια.....</i>	<i>105</i>
<i>Γράφημα 24: Εξέλιξη κόμβων στα δύο θερμοκήπια.....</i>	<i>107</i>
<i>Γράφημα 25: Εξέλιξη μεσογονατίων στα δύο θερμοκήπια.....</i>	<i>109</i>
<i>Γράφημα 26: Διακύμανση των θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στην εφαρμογή και εξωτερικά.....</i>	<i>111</i>
<i>Γράφημα 27: Διακύμανση πρωινών θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.....</i>	<i>113</i>
<i>Γράφημα 28: Διακύμανση νυχτερινών θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.....</i>	<i>114</i>
<i>Γράφημα 29: Διακύμανση της σχετικής υγρασίας στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.....</i>	<i>115</i>
<i>Γράφημα 30: Διακύμανση πρωινής σχετικής υγρασίας στο μάρτυρα, στην εφαρμογή και εξωτερικά.....</i>	<i>117</i>
<i>Γράφημα 31: Διακύμανση νυχτερινής σχετικής υγρασίας στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.....</i>	<i>118</i>
<i>Γράφημα 32: Ταχύτητα ανέμου κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.....</i>	<i>120</i>
<i>Γράφημα 33: Διακύμανση της περατότητας σε ηλιακή ακτινοβολία που παρουσιάζουν τα δύο θερμοκήπια σε σχέση με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία που καταγράφεται στις 14/11/2009.....</i>	<i>126</i>
<i>Γράφημα 34: Διακύμανση PAR ακτινοβολίας εξωτερικά των θερμοκηπίων.....</i>	<i>127</i>

## **Κεφάλαιο 1 . Γενική Εισαγωγή**

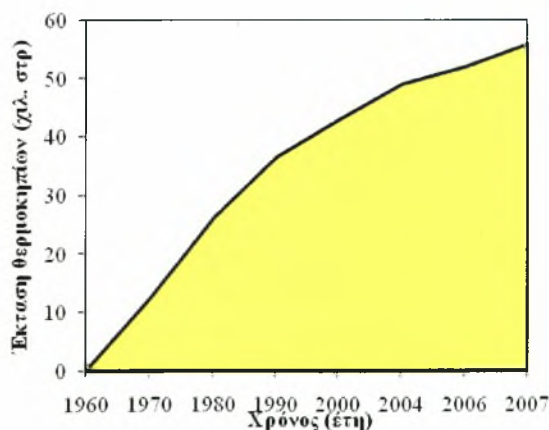


## 1.1 Γενικά

### 1.1.1 Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Η ανάγκη της αγοράς για τροφοδοσία σε λαχανικά και άνθη καθ' όλη την διάρκεια του έτους αλλά και οι ραγδαίες συνεχείς κλιματικές αλλαγές (έλλειψη υδάτινων πόρων, ακραίες θερμοκρασίες κ.α.) καθιστούν απαραίτητη την ανάπτυξη του κλάδου των θερμοκηπίων. Έτσι, ο έλεγχος των παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή και το κόστος στο θερμοκήπιο παίζουν σημαντικό ρόλο. Γι' αυτό ακριβώς τον λόγο τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια συνεχής ερευνά για θέματα που αφορούν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου όπως η θέρμανση, στο αερισμό και στο δροσισμό των θερμοκηπίων. Κύριο ρόλο σ' αυτές τις προσπάθειες παίζει η τεχνολογία και οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αλλά και μέθοδοι φιλικές προς το περιβάλλον που θα εξοικονομούν ενέργεια.

Στην Ελλάδα η εγκατάσταση των πρώτων θερμοκηπίων έγινε το 1955, ενώ την εικοσαετία 1960-1980 οι εκτάσεις των θερμοκηπίων δεκαπλασιάστηκε. Τα τελευταία χρόνια όμως η εξάπλωση των θερμοκηπίων στην χώρας μας προχωρά με χαμηλούς ρυθμούς. Παρόλα αυτά το ήπιο κλίμα σε αρκετές περιοχές της Ελλάδος ευνοούν την ανάπτυξη του κλάδου των θερμοκηπίων. Ενδεικτικό είναι ότι χώρες με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες όπως η Ισπανία και η Ιταλία δραστηριοποιούνται έντονα στο κλάδο.

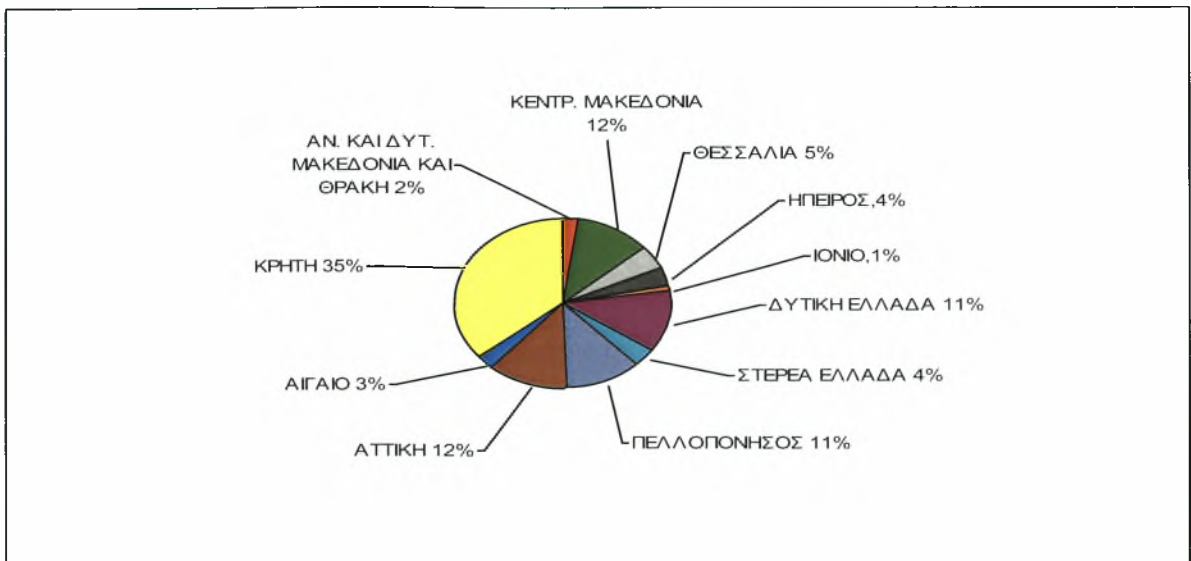


**Σχήμα 1:** Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2007 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

Οι εκτάσεις των θερμοκηπίων στην Ελλάδα σήμερα εκτιμούνται περίπου στα 55890 στρ. (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2007) με τις περιοχές τις Κρήτης να αποτελούν το 35% της έκτασης έπειτα ακολουθούν οι περιοχές της Αττικής, Κεντρικής Μακεδονίας, Πελοποννήσου με ένα ποσοστό 12% περίπου το κάθε διαμέρισμα ενώ οι άλλες περιοχές της Ελλάδος παρουσιάζουν εμφανώς χαμηλότερα ποσοστά. Από αυτές τις εκτάσεις των θερμοκηπίων της Ελλάδας τα 7286 στρέμματα είναι εμπορικά ανθοκήπια, τα 44731 στρέμματα είναι θερμοκήπια λαχανικών και τα 3873 είναι θερμοκήπια ανθέων.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ & ΘΡΑΚΗ	1067
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	6548
ΔΥΤΙΚΗ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	140
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	2516
ΗΠΕΙΡΟΣ	2192
ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ	407
ΔΥΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	6372
ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	2084
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	6262
ΑΤΤΙΚΗ	6715
ΒΟΡΕΙΟ ΑΙΓΑΙΟ	606
ΝΟΤΙΟ ΑΙΓΑΙΟ	875
ΚΡΗΤΗ	20106

*Πίνακας 1: Εκτάσεις θερμοκηπίων σε στρέμματα στην Ελλάδα( Ελληνική στατιστική Υπηρεσία , 2007)*



*Σχήμα 2: Ποσοστιαία Αναλογία κάθε περιοχής σε εκτάσεις θερμοκηπίων*

Όσον αφορά τις εκτάσεις των θερμοκηπίων στη Ευρώπη η Ισπανία, Ιταλία και Τουρκία (θερμοκήπια χωρικού τύπου κυρίως) έχουν μακράν τις περισσότερες εκτάσεις από τις υπόλοιπες χώρες, κοντά το 75% των εκτάσεων της Ευρώπης. Παρόλα αυτά τα θερμοκήπια με τον πιο πλήρη τεχνολογικά εξοπλισμό τα έχει η Ολλανδία που έρχεται 4<sup>η</sup> σε έκταση στην Ευρώπη.

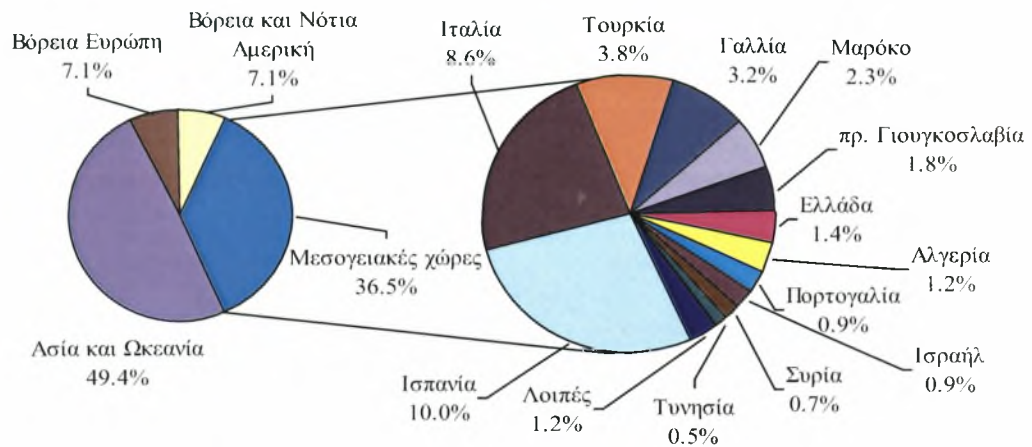
Χώρα	Έκταση σε στρέμματα	Χώρα	Έκταση σε στρέμματα
Βουλγαρία	21000	<b>Ολλανδία</b>	<b>102000</b>
Βέλγιο	22000	Πολωνία	63000
Γερμανία	32000	Πορτογαλλία	22000
Ελλάδα	53000	Ρουμανία	31000
<b>Ισπανία</b>	<b>660000</b>	Ην.Βασίλειο	20000
<b>Ιταλία</b>	<b>346000</b>	Σκόπια	23000
Ουγγαρία	18000	<b>Τουρκία</b>	<b>540000</b>

*Πίνακας 2: Οι 14 πρώτες χώρες στην Ευρώπη σε στρεμματική έκταση (Eurostat, 2007)*

Η καλυμμένη έκταση με θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα ανέρχεται στα 2 800.000 στρέμματα (εκτός της Κίνας η οποία έχει περίπου 6.000.000 στρέμματα καλυμμένα με απλές κατασκευές και για τα οποία δεν υπάρχουν επαρκή στατιστικά



στοιχεία) εκ των οποίων το 50% περίπου βρίσκεται στην Ασία (Σχήμα 3). Οι Μεσογειακές χώρες κατέχουν το 36.5% της παγκόσμιας καλυμμένης έκτασης.



**Σχήμα 3:** Καλυμμένη έκταση με θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα (Συνολική έκταση 2 800 000 στρέμματα εκτός της Κίνας, Πηγή: ICAP).

### 1.1.2 Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

- Κόστος κατασκευής:** Δεδομένου της οικονομικής ύφεσης του υπάρχει στις μέρες μας θεωρείται αρκετά δαπανηρή η κατασκευή ενός πλήρους εξοπλισμένου θερμοκηπίου που θα είναι ικανό να καλύψει τις ανάγκες τις αγορές όλη την διάρκεια του έτους. Η απόσβεση βέβαια της κατασκευής είναι δυνατή σε σύντομο χρονικό διάστημα αν αναπτυχθεί ένα οργανωμένο σύστημα εμπορίας των προϊόντων.
- Κόστος συντήρησης του θερμοκηπίου:** Εκτός του κόστος εγκατάστασης ένα θερμοκήπιο έχει και ανάγκες συντήρησης της κατασκευής. Είναι απαραίτητο αν χρησιμοποιούνται πλαστικά υλικά κάλυψης να γίνεται αντικατάσταση κάθε 2-3 χρόνια. Αν βέβαια υπάρχει γυαλί δεν χρειάζεται αλλαγή αλλά είναι πιο δαπανηρό σαν υλικό κα απαιτεί πιο βαριά κατασκευή αλλά είναι επιρρεπές σε καταστάσεις όπως χαλάζι, χιόνι κτλ..
- Ρύθμιση παραγόντων ανάπτυξης καλλιέργειας:** Στο θερμοκήπιο προκειμένου να εξασφαλιστεί παραγωγή προϊόντος καθ' όλη την διάρκεια του έτους είναι απαραίτητο να ρυθμίσουμε παράγοντες όπως θερμοκρασία, ακτινοβολία και υγρασία. Η **θέρμανση** του θερμοκηπίου αποτελεί την πιο

δαπανηρή ρύθμιση που πρέπει να εξασφαλίσουμε κατά την διάρκεια του χρόνου. Στην Ελλάδα όμως λόγω του ήπιου χειμώνα σε πολλές περιοχές κυρίως στην νότια Ελλάδα δεν είναι μεγάλες οι ανάγκες για θέρμανση. Ιδιαίτερο πρόβλημα ωστόσο είναι ο **δροσισμός και ο αερισμός** των θερμοκηπίων στην Ελλάδα καθώς κατά τους θερινούς μήνες αναπτύσσονται πολύ υψηλές θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου. Ακόμη, υπάρχει κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η πιθανότητα **ηλιοκαυμάτων** στην καλλιέργεια και έτσι είναι απαραίτητη και η ύπαρξη συστημάτων σκίασης της ακτινοβολίας.

- **Ανάγκη ύπαρξης καταρτισμένου προσωπικού:** Για την ρύθμιση των παραπάνω παραγόντων είναι απαραίτητο το προσωπικό που εργάζεται να είναι καταρτισμένο. Ακόμη, χρειάζεται και εξειδικευμένο προσωπικό για την σωστή εμπορία των προϊόντων.
- **Υποβάθμιση εδαφών:** Λόγω της μεγάλης έντασης χρήσης της γης έχουμε υποβάθμιση των εδαφών. Ακόμη, η απολύμανση τους αν τυχόν έχουμε καμιά προσβολή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί καθώς ουσίες όπως το βρωμιούχο μεθύλιο έχουν καταργηθεί. Η λύση σ' αυτό το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι η χρήση υδροπονικών συστημάτων.
- **Έλλειψη ανταγωνιστικότητας:** Λόγω του κόστους που αναφέρθηκε παραπάνω δεν δημιουργούνται πλήρως εξοπλισμένα θερμοκήπια στο κατάλληλο μέγεθος έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος παραγωγής και να διεισδύσεις στην αγορά με χαμηλότερες τιμές. Επιπλέον, λόγω της έλλειψης σωστού συστήματος εμπορίας δεν γίνεται έρευνα για τις ανάγκες της αγοράς. Τέλος, η Ελλάδα είναι μακριά από τα κέντρα κατανάλωσης της Ευρώπης και το κόστος μεταφοράς θεωρείται σημαντικό.

### 1.1.3 Υψηλές θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο τους θερινούς μήνες

Με τις αλλαγές στο περιβάλλον που έχουν επιφέρει αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας είναι απαραίτητο σε πολλά μέρη του κόσμου ο δροσισμός των θερμοκηπίων ιδιαίτερα του μήνες του καλοκαιριού. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά του μήνες αυτούς μπορεί να προκαλέσουν:

- Υπερβολική διαπνοή που έχει ως αποτέλεσμα την πρόσκαιρη ως και μόνιμη μάρανση.
- Την αναστολή της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης λόγω της μετουσίωσης ενζύμων φωτοσύνθεσης (πάνω από 45 °C) αλλά και λόγω του κλεισίματος των στομάτων (Καραταγλής, 1999).
- Ελαττώνεται η αναπνοή. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για θερμοκρασίες πάνω των 30 °C τα ένζυμα της αναπνοής καταστρέφονται.

Η μείωση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους:

- **Με εξαερισμό των θερμοκηπίων:** Μπορεί να είναι **φυσικό αερισμός** που αφορά τις ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος μέσω των ανοιγμάτων της οροφής και των πλαϊνών. Ακόμα, μπορεί να είναι **δυναμικός αερισμός** που ο φυσικός αερισμός ενισχύεται με ανεμιστήρες που αναρροφούν τον αέρα από έξω προς τα μέσα.
- **Με δροσισμό:** Που μπορεί να γίνει είτε με το **σύστημα της υγρής παρειάς (cooling system)** και ανεμιστήρα είτε με **σύστημα υδρονέφωσης (fog-system)**.
- **Με σκίαση των θερμοκηπίων:** Που πραγματοποιείται η ψύξη με μείωση του ποσοστού ενέργειας ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο.

Τέλος, ο στόχος μας με την μείωση των υψηλών θερμοκρασιών κατά την διάρκεια του καλοκαιριού είναι μπορούμε να επιτύχουμε:

- Να δημιουργήσουμε περιβάλλον με τη μικρότερη δυνατή διακύμανση θερμοκρασιών ημέρας/νύχτας.
- Να μειώσουμε την εξατμισοδιαπνοή των φυτών.
- Να δημιουργήσουμε φιλικότερο περιβάλλον εργασίας στους εργαζομένους.

#### 1.1.4 Ο παράγοντας σκίαση

Το ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου περιγράφεται από την σχέση (Κίττας, 2001)

$$R_n \times (1-a) = \beta \times k \times (T_i - T_o) + p \times c_p \times N \times (Vol/A_s) \times (T_i - T_o)$$

$R_n$  = Καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια του θερμοκηπίου ( $Wm^{-2}$ )

$T_i, T_o$  = Θερμοκρασία εντός και εκτός θερμοκηπίου.

$a$  = λόγος της ροής της λανθάνουσας θερμότητας προς την καθαρή ακτινοβολία.

$k$  = συντελεστής εναλλαγής θερμότητας του τοιχώματος του θερμοκηπίου εξαρτώμενης από το είδος του υλικού και την ταχύτητα του ανέμου ( $Wm^{-2} ^\circ C^{-1}$ )

$\beta$  = λόγος της επιφάνειας του τοιχώματος του θερμοκηπίου προς την επιφάνεια του εδάφους.

$A_s$  = επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου ( $m^2$ )

$Vol$  = όγκος του θερμοκηπίου ( $m^3$ )

$N$  = ρυθμός ωριαίας ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου ( $h^{-1}$ )

Ο παράγοντας που επηρεάζει την σκίαση είναι ο παράγοντας  **$R_n$**  που εξαρτάται από :

- την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο
- την μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία στο επίπεδο του εδάφους του εδάφους και των φυτών του θερμοκηπίου που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του συντελεστή εκπομπής των τοιχωμάτων
- την μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολίας στο επίπεδο του εδάφους και των φυτών του θερμοκηπίου που είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του συντελεστή εκπομπής του εδάφους και των φυτών.

#### 1.1.5 Μέθοδοι σκίασης θερμοκηπίου

Οι μέθοδοι σκίασης του θερμοκηπίου διακρίνονται στις μεθόδους που με **διαρκή σκίαση** που πραγματοποιείται με λεύκανση ή με σκίαστρο σε σταθερή θέση ή με ειδικά υλικά κάλυψης που φιλτράρουν την ηλιακή ακτινοβολία ή σε μεθόδους με **προσωρινή σκίαση** που πραγματοποιείται με ύφασμα-κουρτίνα που ξεδιπλώνεται αυτόματα ή με το χέρι.

### **1.1.5.1 Λεύκανση**

Τα τοιχώματα του θερμοκηπίου στην περίπτωση αυτή είναι περασμένα με ένα παχύ στρώμα που έχει ως βάση τον ασβέστη και την κιμωλία. Μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι το χαμηλό κόστος αλλά και ότι καταφέρνουμε να διατηρήσουμε την θερμοκρασία στο εσωτερικό σε αποδεκτά επίπεδα. Το πρόβλημα που παρουσιάζει είναι ότι επηρεάζει την φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη της καλλιέργειας το πρωί αλλά και σε περιόδους συννεφιάς. Τέλος, το υλικό απομακρύνεται με βούρτσισμα και νερό.

Τώρα πλέον έχουν αναπτυχθεί και διατίθενται στην αγορά βαφές σκίασης (ReduHeat) που επιτρέπουν την διέλευση της PAR ακτινοβολίας ενώ ανακλάτε το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου φάσματος. Έτσι, ούτε η φωτοσυνθετική δράση μειώνεται σημαντικά, ούτε έχουμε υπερθέρμανση του θερμοκηπίου με είσοδο NIR ακτινοβολίας (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

### **1.1.5.2 Σκίαστρα**

Έχουν αναπτυχθεί υφάσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σκίαση των θερμοκηπίων. Ακόμα πλέον υπάρχουν λεπτά στρώματα αλουμινίου που μπορούν να χρησιμοποιηθούν το καλοκαίρι για δροσισμό αφού ανακλούν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας αλλά και τον χειμώνα για θερμομόνωση για μείωση κατανάλωσης καυσίμου. Αυτό που πρέπει να προσεχθεί στα σκίαστρα είναι η αεροπερατότητα τους γιατί διαφορετικά μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στον αερισμό του θερμοκηπίου. Ακόμα, σε σχέση με την λεύκανση είναι πιο δαπανηρός τρόπος άλλα έχει την επιλογή να απομάκρυνσης και ξεδιπλώματος σε περίπτωση συννεφιάς και τις πρώτες πρωινές ώρες. Γενικά αναφέρεται ότι η σκίαση μπορεί να επιφέρει ως και 5 °C δροσισμό (Κίττας, 2001). Τα σκίαστρα διακρίνονται σε εσωτερικά και εξωτερικά.

Τα εσωτερικά σκίαστρα θεωρούνται ένας αποτελεσματικός τρόπος για την μη είσοδο της έγγυς υπέρυθρης ακτινοβολίας (NIR) και έτσι είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος δροσισμού. Ωστόσο, μαζί με την NIR ακτινοβολία περιορίζεται και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία και κάτι τέτοιο έχει αρνητικές συνέπειες στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Από την άλλη τα εξωτερικά σκίαστρα παρουσιάζουν καλύτερη κυκλοφορία του αέρα στο θερμοκήπιο. Όμως έχουν σημαντικά

μειονεκτήματα όπως η πολύπλοκη κατασκευή και τον κίνδυνο καταστροφής από καιρικές συνθήκες.



*Εικόνα 1: Εξωτερικό σκίαστρο που φιλτράρει την NIR ακτινοβολία (Kempkes, 2008).*

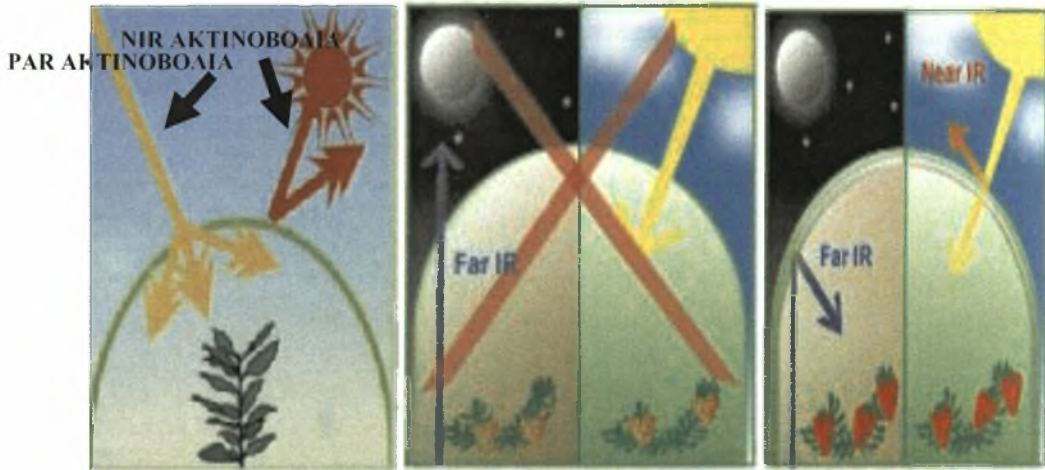
### **1.1.5.3 Υλικά κάλυψης για την σκίαση και δροσισμό των θερμοκηπίων**

Τα τελευταία χρόνια ενθαρρυντικά αποτελέσματα έχουν δείξει κάποια ειδικά υλικά κάλυψης που έχουν αναπτυχθεί και σκοπό έχουν να φιλτράρουν ή ανακλούν τις ακτινοβολίες του φασματικού φάσματος κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μην επιτρέπεται η θέρμανση του θερμοκηπίου αλλά και να μην επηρεάζεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα της καλλιέργειας. Γενικά, στο φάσμα του ορατού από 300-700 nm (PAR) η φωτοσυνθετική δραστηριότητα υφίσταται ενώ από 800 nm και πάνω (NIR) οι ακτινοβολίες μεταφέρουν μόνο θερμότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και δεν χρησιμοποιούνται για φωτοσύνθεση.

Η αρχή λειτουργίας των υλικών είναι (<http://www.masterpaklb.com>):

- Κατά την διάρκεια της ημέρας μειώνεται η είσοδο της έγγυς υπέρυθρης ακτινοβολίας (θερμικής).

- Κατά την διάρκεια της νύχτα αυξάνεται η θερμοκρασία διότι η FIR που ανακλάται στο έδαφος δεν επιτρέπεται να εξέλθει από το χώρο του θερμοκηπίου.
- Τέλος λειτουργεί εκλεκτικά και απορροφά PAR ακτινοβολία.



*Εικόνα 2: Μηχανισμός δροσισμού λειτουργίας με υλικά κάλυψης (Πλαστικά Κρήτης, 2008 και <http://www.masterpaklb.com>)*

Ακόμα, σύμφωνα με τον Kempkes (2008) οι καταστάσεις που πρέπει να διαμορφώνουν τα υλικά είναι:

1. Να παρέχουν εξαερισμό-δροσισμό στο θερμοκήπιο και σωστή διαχείριση CO<sub>2</sub>.
2. Οι πιθανές επιπτώσεις από εξάτμιση της υγρασίας να μην επηρεάζουν την ισορροπία της καλλιέργειας μας.
3. Να έχει επίδραση στην θερμοκρασία του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.
4. Βελτιωμένη διαχείριση της καλλιέργειας και της παραγωγής σε ένα περιβάλλον θερμοκηπίου με μειωμένη NIR ακτινοβολία (άρα και θερμότητα).

Η εφαρμογή τέτοιων υλικών κάλυψης μπορεί να οδηγήσει σε (<http://www.masterpaklb.com>):

- Πρωιμότητα παραγωγής, μεγαλύτερες αποδόσεις, καλύτερη ποιότητα και ομοιομορφία ανάπτυξης.
- Μειωμένη εξατμισοδιαπνοή άρα και καλύτερη ποιότητα.
- Εξοικονόμηση ενέργειας θέρμανσης.

Μερικά υλικά κάλυψης που μπορούν χρησιμοποιηθούν γι' αυτό τον σκοπό είναι τα εξής:

- **Πλαστικά που παρεμποδίζουν συγκεκριμένου μήκους κύματος ακτινοβολίες (Interference effect)**

Τα υλικά κάλυψης αυτά αφορούν πλαστικά με ειδικές χρωστικές βασισμένες στη Mica (είδος πέρλας) που μπορούν να ανακλάσουν την πράσινη και NIR ακτινοβολία εξασφαλίζοντας τον δροσισμό του θερμοκηπίου αλλά και διάχυση φωτός. Αρνητικό είναι το υψηλό κόστος αλλά από την άλλη προσφέρει λιγότερο στρες στην καλλιέργεια από υψηλές θερμοκρασίες αλλά και επιτρέπει και την είσοδο του μπλε και κόκκινου φωτός για την φωτοσύνθεση του φυτού.

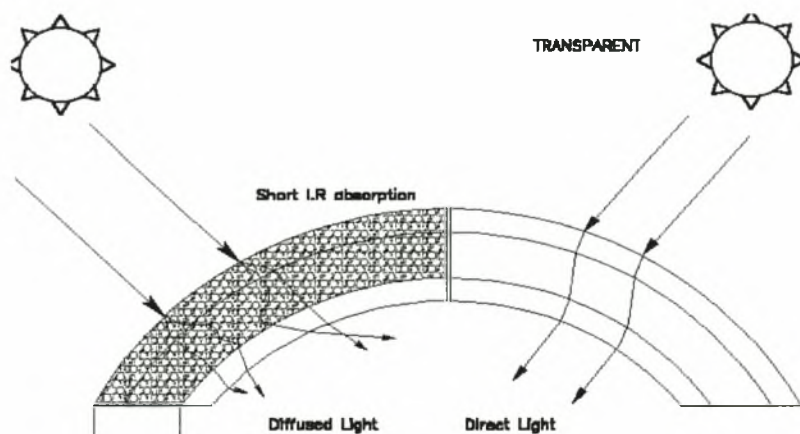
- **Άσπρα πλαστικά φύλλα σκίασης**

Πρόκειται κυρίως για πλαστικά φύλλα κάλυψης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φυτώρια καλλωπιστικών και κωνοφόρων που είναι ευαίσθητα σε εγκαύματα. Ναι μεν προσφέρουν σημαντικό δροσισμό στο θερμοκήπιο αλλά από την άλλη δεν επιτρέπουν σε καμία ακτινοβολία να εισέρχεται άρα μειώνεται ο ρυθμός φωτοσύνθεσης έτσι και ο ρυθμός ανάπτυξης της καλλιέργειας.

- **Ειδικά φύλλα με φυσαλίδες (bubbles)**

Πρόκειται για υλικά κάλυψης που περιέχουν εγκλωβισμένες φυσαλίδες CO<sub>2</sub>. Οι φυσαλίδες αυτές καταφέρνουν να λειτουργούν σαν θερμικό εμπόδιο με δύο τρόπους: Αφ' ενός εμποδίζουν τη διαφυγή της άπω υπέρυθρης ακτινοβολίας (7-13μ) που ακτινοβολεί το «μαύρο σώμα» κατά τη διάρκεια της νύχτας, αφ' ετέρου εμποδίζουν την είσοδο της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (700-2500nm) που φθάνει στη γη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, προστατευόμαστε κατά την διάρκεια την νύχτας όπου πέφτει η θερμοκρασία μέσω της πρώτης λειτουργίας ενώ την ημέρα που διατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι επιτυγχάνεται δροσισμός.





*Εικόνα 3: Τρόπος με ειδικά φύλλα με φυσαλίδες (bubbles) (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

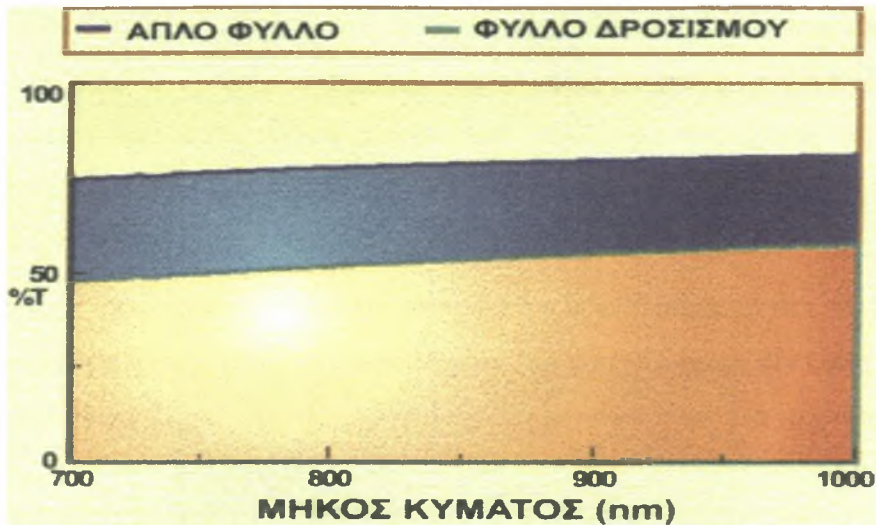
Διαπερατότητα P.A.R. (400-700):	88-90%
- F.I.R. (7-13μ):	90%
- Μείωση θερμοκρασίας περιβάλλοντος:	5-10°C
- Μείωση αρδευτικών αναγκών	20-30%

*Πίνακας 3: Ιδιότητες ειδικού φύλλου με φυσαλίδες (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

- **Ειδικά Ασημί φύλλα (cooling films)**

Τα υλικά κάλυψης αυτά έχουν σαν βάση τον ΑΙ με αποτέλεσμα να ανακλάται η NIR. Το καλοκαίρι μπορούν να επιτευχθεί δροσισμό 5 °C με 7 °C και έτσι προσφέρει καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης για την καλλιέργεια. Ακόμα, τα συγκεκριμένα υλικά έχουν θερμομονωτικές ιδιότητες κατά την διάρκεια της νύχτας. Κατασκευαστικά θεωρούνται πιο ανθεκτικά σε σχέση με τα φύλλα με φυσαλίδες CO<sub>2</sub> λόγω της ομοιομορφίας του πλαστικού.

Στο παρακάτω γράφημα 1 γίνεται μια σύγκριση μεταξύ ενός φύλλου δροσισμού και ενός απλού φύλλου. Το απλό φύλλο παρουσιάζει μια ανάκλαση της τάξεως περίπου στα 50% ενώ το φύλλο δροσισμού περίπου στο 75%, πράγμα που το καθιστά πιο αποδοτικό στην ψύξη στο χώρο του θερμοκηπίου.



*Γράφημα 1: Σύγκριση μεταξύ ενός φύλλου δροσίσμου και ενός απλού φύλλου (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

### 1.1.6 Νέες τάσεις και ιδιότητες πλαστικών υλικών κάλυψης

Τα πλαστικά κάλυψης που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως κλασματικά αποσπάσματα νάφθας, που υποβάλλονται σε πολυμερισμό και το πιο διαδεδομένο είναι το πολυαιθυλένιο. Σκοπός πλέον είναι η παραγωγή «πολυστρωματικών» φύλλων (από 3 στρώσεις και πάνω), ώστε να μπορούν να προστίθενται όσο το δυνατό περισσότερα υλικά, χωρίς τον κίνδυνο ασυμβατότητας ή αδρανοποίησης κάποιου. Ακόμη, γίνεται συνδυασμός πολυμερών και πρόσθετων για να έχουμε τις ιδανικές ιδιότητες έτσι ώστε να δημιουργείται ένα υλικό κάλυψης που θα παρέχει τα εξής:

1. Τρία διαφορετικά πολυμερή.
2. Τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς σταθεροποίησης.
3. Παράγοντες IR (θερμομόνωση).
4. Παράγοντες για διάχυση φωτός.
5. Παράγοντες για μη δημιουργία σταγόνων και αποφυγή ομίχλης.

Οι ιδιότητες των πλαστικών κάλυψης των θερμοκηπίων που εξετάζονται σήμερα είναι τα εξής:

- Οπτικές ιδιότητες.
- Μηχανικές ιδιότητες.
- Έλεγχος ασθενειών.
- Αντισταγονικές, αντιομιχλικές ιδιότητες.

- Διάρκεια ζωής υλικού κάλυψης.
- Θερμομονωτικές και δροσιστικές ιδιότητες.

### Οπτικές ιδιότητες

Εκτός από τα παραπάνω υλικά κάλυψης που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και ανακλούν την NIR ακτινοβολία για τον δροσισμό του θερμοκηπίου, υπάρχουν και πλαστικά κάλυψης που διαμορφώνουν την UV ακτινοβολία. Μερικά από αυτά είναι:

- **UV-open films:** Είναι πλαστικά φύλλα που επιτρέπουν όλη την UV-A και UV-B ακτινοβολία να εισέλθουν μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου. Τα πλεονεκτήματα των υλικών αυτών είναι η ενίσχυση του χρωματισμού (αρκετές ποικιλίες τριανταφυλλιάς), την σκλήρυνση και την μικρότερη επιμήκυνση των στελεχών. Ακόμη, θετικό τους στοιχείο είναι ότι δεν επηρεάζουν την δράση των βομβίνων. Ωστόσο, δεν πρέπει να παραβλέψουμε ορισμένα αρνητικά που προσδίδει η UV ακτινοβολία που αναφέρθηκαν και σε προηγούμενη παράγραφο που είναι η παλαίωση του υλικού κάλυψης, ότι ευνοεί την σποριοποίηση των μυκήτων και προσανατολίζει τα έντομα.
- **UV-blocking films:** Είναι υλικά κάλυψης που απορροφούν UV ακτινοβολία ως 370-380 nm. Τα θετικά που προσδίδουν στο χώρο του θερμοκηπίου είναι η μείωση του πληθυσμού των εντόμων και των ιώσεων, η μείωση της σποριογένεσης των μυκήτων, η μειωμένη χρήση αγροτοχημικών. Ακόμα, σύμφωνα με τους Kittas et al. (2006) σε καλλιέργεια μελιτζάνας εφαρμόστηκε υλικό κάλυψης που μπλοκάρει την UV ακτινοβολία και συγκρίθηκε με θερμοκήπιο μάρτυρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το θερμοκήπιο εφαρμογής παρουσίασε μεγαλύτερη ποιότητα (μεγαλύτερους καρπούς) αλλά και μεγαλύτερη παραγωγή κατά 20%.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες αμφιβολίες στην χρήση τους όπως είναι ότι σε συνεργασία με το κλίμα μπορεί να επηρεάσουν την δραστηριότητα των βομβίνων. Οι αμφιβολίες αυτές ωστόσο απορρίπτονται σύμφωνα με έρευνα των Dyer και Chittka (2003) που απέδειξαν ότι το οπτικό σύστημα

των βομβίνων μπορεί να προσαρμοστεί σε περιβάλλον χωρίς UV ακτινοβολία. Ακόμη, ανάμεσα στους πληθυσμούς που μειώνονται μπορεί κάποια από αυτά να είναι ωφέλημα. Τέλος, με την χρήση των UV-blocking films έχουν παρατηρηθεί μεταχρωματισμοί με ιώδες χρώμα σε άνθη, καρπούς και φύλλα (Πλαστικά Κρήτης, 2008).



*Εικόνα 4 :Χρωματισμός τριαντάφυλλου με UV-open films αριστερά σε σχέση με το δεξιά που έχει αναπτυχθεί σε UV-blocking films (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

- **Πλαστικά που τροποποιούν το φως:** Είναι πλαστικά φύλλα που περιέχουν ειδικές χρωστικές που έχουν την δυνατότητα να μετατρέπουν την UV ακτινοβολία σε ερυθρά ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό της φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας. Είναι ιδανικά για δρεπτά άνθη κυρίως καθώς σε πειράματα που έγιναν σε καλλιέργειας τριανταφυλλιάς παρουσίασαν αύξηση παραγωγής ως και 25-50%. Ωστόσο, η χρήση του είναι περιορισμένη καθώς παρουσιάζουν υψηλό κόστος (ως και 2-3 φορές ακριβότερο από τα συμβατικά υλικά κάλυψης).



*Εικόνα 5: Πλαστικό που τροποποιεί το φως (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

- **Πλαστικά που διαχέουν την εισερχόμενη ακτινοβολία:** η διάχυση της εισερχόμενης ακτινοβολίας στον χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να οδηγήσει σε (<http://www.masterpaklb.com>):
  - Αύξηση της φωτοσύνθεσης σε περιπτώσεις που υπάρχει σκίαση μεταξύ των φυτών.
  - Μείωση φωτοτροπισμού.
  - Μείωση ηλιακών εγκαυμάτων στους βλαστούς και τα φύλλα.

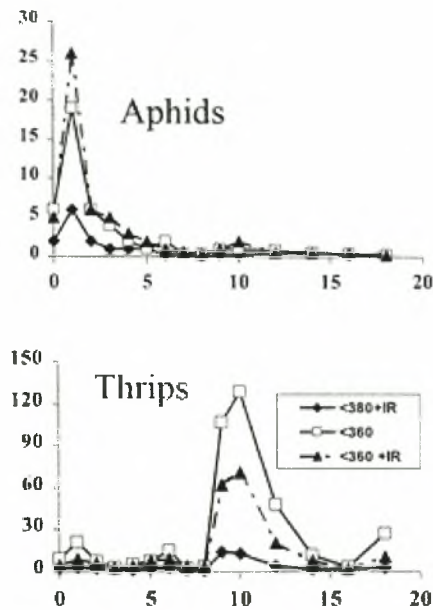


*Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας φύλλου που διαχέει την εισερχόμενη ακτινοβολία (<http://www.masterpaklb.com>).*

### **Έλεγχος ασθενειών**

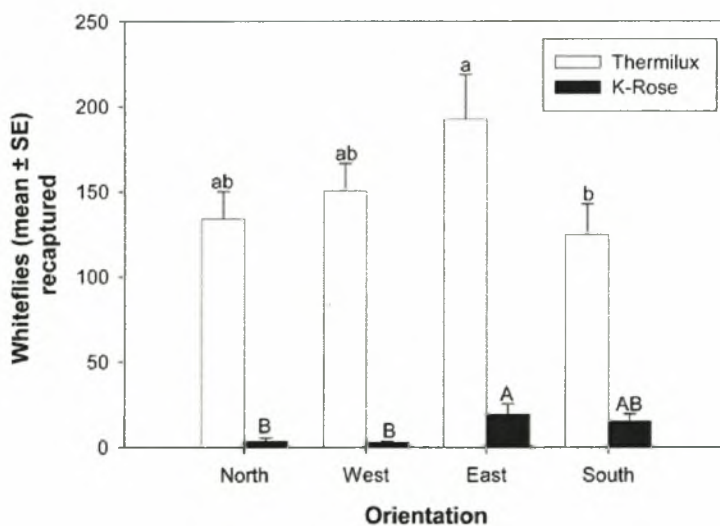
Το υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των ασθενειών είναι το UV-blocking διότι όπως αναφέρθηκε μειώνει την σποροπώση των μυκήτων αλλά και των πληθυσμό των εντόμων. Παρακάτω στο γράφημα 2 φαίνεται ενδεικτικά η μείωση στο πληθυσμό από αφίδες και θρίπες με την χρήση του υλικού που απορροφά

UV σε αντίστοιχο πείραμα που πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τους Costa et al. (2001). Μάλιστα το υλικό που έδειξε τις καλύτερες ιδιότητες είναι ο συνδυασμός φύλλου που απορροφά UV ακτινοβολία ως και 380nm αλλά ταυτόχρονα και IR.



*Γράφημα 2: Χρήση UV-block υλικού και μείωση στο πληθυσμό από αφίδες (Costa et al., 2001).*

Ακόμα στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε και την αποτελεσματική δράση UV-block υλικού (K-Rose) απέναντι σε αλευρώδεις σύμφωνα με τους Mutwiwa et al. (2005) έναντι συμβατικού υλικού που απορροφά την UV (Thermilux).



*Σχήμα 4: Δράση UV-block υλικού σε πληθυσμούς αλευρώδεις (Mutwiwa et al., 2005).*

Τέλος, σύμφωνα με τους Antignus et al. (1996) η χρήση UV-block υλικού έχει όχι μόνο την μείωση των αφίδων αλλά ως τελικό αποτέλεσμα και την μείωση της

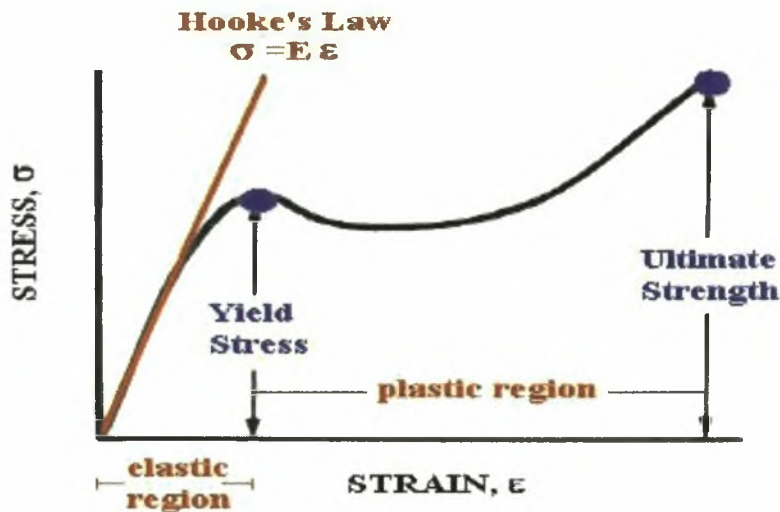
μετάδοσης του ιού TYLCV. Χαρακτηριστικά τρία υλικά UV-block έδειξαν 50%, 30% και 20% μετάδοση του ιού έναντι 90% που έδειξε το φύλλο που απορροφά UV.

### Μηχανικές ιδιότητες

Οι κρίσιμες μηχανικές ιδιότητες ενός πλαστικού υλικού κάλυψης ενός θερμοκηπίου είναι οι εξής:

- Αντοχή σε εφελκυσμό στη θραύση.
- Επιμήκυνση σε εφελκυσμό στην θραύση.
- Αντοχή σε σχίσιμο.
- Αντοχή σε κρούση.

Στο γράφημα 3 διακρίνουμε την καμπύλη αντοχής- επιμήκυνσης όπου στον άξονα των y απεικονίζεται ως stress η δύναμη που ασκείται ενώ στο άξονα των x απεικονίζεται ως strain η επιμήκυνση του υλικού. Όταν η δύναμη που ασκείται είναι μικρότερη του yield stress τότε το υλικό βρίσκεται ακόμα στην ελαστική περιοχή και μετά την εφαρμογή της δύναμη επανέρχεται στην αρχική κατάσταση, αντίθετα όταν ασκείται δύναμη μεγαλύτερη του yield stress τότε το υλικό κάλυψης περνάει στην πλαστική περιοχή και δεν επανέρχεται στην συνέχεια στην αρχική του θέση.



Γράφημα 3: Καμπύλη αντοχής-επιμήκυνσης υλικού (Πλαστικά Κρήτης, 2008).



*Εικόνα 7: Εξοπλισμός για τον έλεγχο μηχανικής αντίστασης υλικού κάλυψης (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

### Διάρκεια ζωής πλαστικού

Οι παράγοντες που μελετάμε για την διάρκεια ζωής ενός πλαστικού υλικού κάλυψης είναι οι εξής:

1. **Η σταθεροποίηση:** Η UV ακτινοβολία όπως προαναφέρθηκε συμβάλει στην παλαίωση του υλικού κάλυψης και έτσι ως σταθερότητα ενός υλικού ορίζεται η προστασία από την UV ακτινοβολία. Όσο μεγαλύτερη σταθεροποίηση παρουσιάζει ένα πλαστικό τόσο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έχει. Υπάρχουν δύο συστήματα σταθεροποίησης, με **Νικέλιο + UV-απορροφητές** και με **HALS + UV-Απορροφητές**. Το σύστημα HALS + UV-Απορροφητές παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα καθώς προσδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο υλικό αλλά και επιτρέπει μεγαλύτερη είσοδο ακτινοβολίας. Ωστόσο, επηρεάζεται σημαντικά από την χρήση φυτοφαρμάκων και αδρανοποιείται.



*Εικόνα 8:Υλικό κάλυψης HALS+UV (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

2. **Πάχος του φύλλου.**



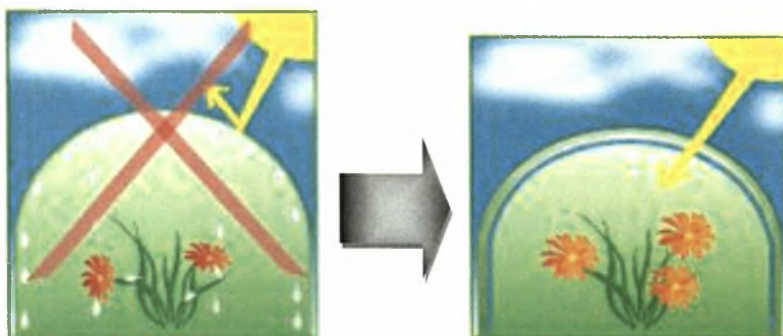
### 3. Εξωτερικοί παράγοντες όπως:

- i. Ο Σκελετός του θερμοκηπίου.
- ii. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται (μέταλλο, ξύλο, καρφιά κ.λ.π.)
- iii. Τρόπος απλώματος του πλαστικού (χαλαρό η υπερβολικά τεντωμένο).
- iv. Αερισμός και υγρασία.
- v. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για δροσισμό και σκίαση του θερμοκηπίου.
- vi. Βάψιμο του πλαστικού στα σημεία επαφής με το σκελετό.

**Φυτοφάρμακα και θειούχες ενώσεις:** Όπως αναφέρθηκε για την σταθεροποίηση του υλικού κάλυψης χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές HALS. Οι HALS είναι ενώσεις αλκαλικής συμπεριφοράς, επομένως αν έρθουν σε επαφή με όξινης αντίδρασης αγροχημικά όπως εκείνα που περιέχουν θειάφι και αλογόνα εξουδετερώνονται. Έτσι, ο χρόνος ζωής του πλαστικού μειώνεται στο μισό.

#### Αντισταγονικές και αντλιομυγλικές ιδιότητες

Με ειδικά πρόσθετα μπορούμε αποτρέψουμε την δημιουργία μη επιθυμητών σταγόνων στην οροφή του θερμοκηπίου. Οι σταγόνες υγρασίας συγκρατούνται στην οροφή και διαχέονται στην ατμόσφαιρα του μορφή με την εκδήλωση ομίχλης όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο δρόσου. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται συνήθως αργά το απόγευμα ή μετά την ανατολή του ηλίου. Για να αποτραπεί ωστόσο και το φαινόμενο της ομίχλης χρησιμοποιούνται και ειδικά πρόσθετα με βάση το φθόριο.



**Εικόνα 9:** Φαινόμενο αντισταγονικής ιδιότητας υλικών (<http://www.masterpaklb.com>).

Τα θετικά των υλικών κάλυψης που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό είναι η μεγαλύτερη διαπερατότητα στο φως, λιγότερες ασθένειες και αποφυγή

εγκαυμάτων. Από την άλλη αρνητικό είναι ότι παρατηρείται το φαινόμενο της ομίχλης το οποίο όμως μπορεί να αποτραπεί με το κατάλληλο πρόσθετο (F).

Οι Katsoulas et al. (2007) μελέτησαν ένα αντισταγονικό φύλλο πολυαιθυλενίου (AD-PE) σε σχέση με ένα αντιομιχλιτικό και αντισταγονικό φύλλο πολυαιθυλενίου (AF-AD-PE) και με έναν μάρτυρα με πολυαιθυλένιο. Το AD-PE παρουσίασε μεγαλύτερη υγρασία και φυλλική επιφάνεια έναντι των άλλων ενώ μεγαλύτερα ποσά συμπύκνωσης έδειξε ο μάρτυρας. Τέλος, το θερμοκήπιο του μάρτυρα και το AD-PE παρουσίασαν περισσότερες εφαρμογές σε μυκητοκτόνο έναντι του AF-AD-PE.

### Θερμομονωτικές και δροσιστικές ιδιότητες

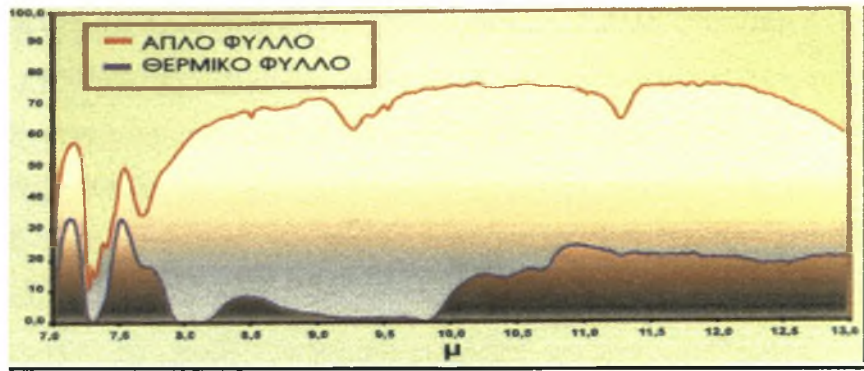
Τα φύλλα με θερμικές ιδιότητες έχουν την ικανότητα να απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία την ημέρα και να μην την επιτρέπουν να διαφύγει την νύχτα με την μορφή θερμότητα με υλικά χαμηλής διαπερατότητας. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται με θερμικές ιδιότητες είναι τα εξής:

- Ethylene-vinyl-acetate (EVA).
- Ethylene-butyl-acetate (EBA).
- Ανόργανα υλικά όπως καολίνης ,πυριτικό αργίλιο και υδροταλασίτης.



*Εικόνα 10: Φαινόμενο θερμομονωτικών ιδιοτήτων υλικών (Πλαστικά Κρήτης, 2008).*

Με την χρήση IR φύλλων (super thermic films) μπορούμε να επιτύχουμε διαπερατότητα ως και 5%. Όπως φαίνεται και στο γράφημα 4 ένα μη θερμικό φύλλο παρουσιάζει μια διαπερατότητα της τάξεως του 60% ενώ ένα θερμικό περίπου 13%.



**Γράφημα 4:** Σύγκριση ενός απλού φύλλου με ένα θερμικό φύλλο στην διαπερατότητα (Πλαστικά Κρήτης, 2008).

Ακόμα, τα θερμικά υλικά κάλυψης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής (Additives for Polymers, 1996) :

- Μπλε χρωστικές με ποικίλο βαθμό διαφάνειας και διακρίνονται τα προϊόντα:
  - Sunfast Blue, 248-8623
  - Sunfast Blue, 248-8515
  - Sunfast Blue, 249-8450
  - Sunfast Blue, 248-8485
- Υλικά που έχει σε μεγάλη περιεκτικότητα  $TiO_2$ . Χαρακτηρίστηκα αναφέρουμε το παράδειγμα του υλικού κάλυψης TiOna RCL-188.
- Υλικά που βελτιώνουν τις θερμικές ιδιότητες. Χαρακτηρίστηκα αναφέρουμε το παράδειγμα του υλικού κάλυψης IB100218 που μειώνει τη θερμοκρασία 1-3 °C και απορροφά επιλεκτικά PAR και NIR ακτινοβολία.
- Υλικά θερμοκηπίου έχοντας μονωτικές ιδιότητες για να διατηρείται ζεστό το θερμοκήπιο, όπως το BurnEx 2000.

Όσον αφορά τις δροσιστικές ιδιότητες που μπορούν να παρουσιάσουν υλικά κάλυψης έχουν προαναφερθεί ήδη σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος, στο σημείο αυτό μπορούμε να παραθέσουμε έναν πίνακα με σύγχρονα υλικά κάλυψης και της ιδιότητες που προσφέρουν σύμφωνα με τη εταιρεία Hyplast NV.

	Thermi- city	Diffusion	Anti- Fogging	UV- blocking	Cooling effect	Anti- dust	Mechanical strength	Resistance against pesticides
Hyticlear	no	no	no	no	no	yes	+	+
Hyticlear Nickel	no	no	no	no	no	yes	+	++
Hytithermic	yes	no	no	no	no	yes	+	+
Hytithermic Nickel	yes	no	no	no	no	yes	+	++
Hytibox	yes	no	yes	no	no	no	++	+
Hytirose	yes	yes	yes*	yes	no	no	++	+
Kool lite plus	yes	yes	yes*	yes*	yes	no	++	+
Hytitunnel	no	no	no	no	no	yes	+	+

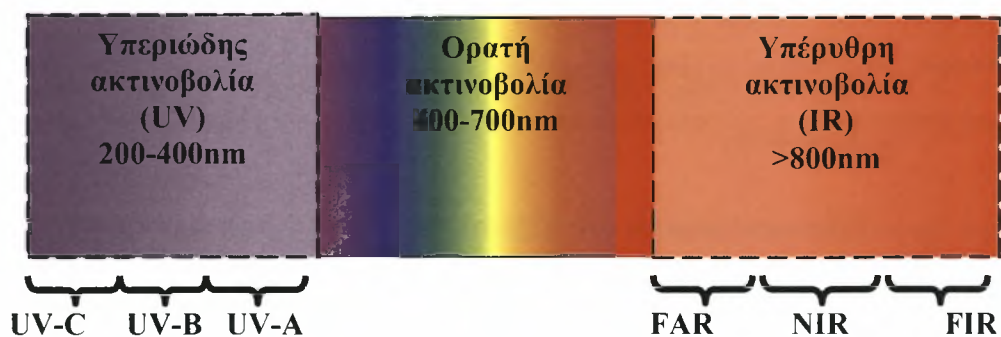
**Πίνακας 4:** Υλικά κάλυψης και οι ιδιότητες του σε κάποιες παραμέτρους

([www.hyplast.be](http://www.hyplast.be)).

### 1.1.7 Ο ρόλος της ηλιακής ακτινοβολίας στα φυτά και η διαχείριση της στο θερμοκήπιο

Ο ήλιος εκπέμπει φως σε ένα εύρος από ηλεκτρομαγνητικά κύματα που τα μετράμε από τα αντίστοιχα μήκη κύματος σε nm. Το ηλιακό φάσμα έτσι χωρίζεται σε τρεις ζώνες κυμάτων με διαφορετικές ιδιότητες όσο αφορά τα φυτά:

1. Την υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
2. Την ορατή ακτινοβολία που για τα φυτά ορίζεται ως φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR)
3. Την υπέρυθη ακτινοβολία (IR)



Η υπεριώδης γενικά είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι και ασκούν επίδραση της βιοχημικές αντιδράσεις των φυτών. Συγκεκριμένα, διακρίνεται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

- UV-C (200-280nm)
- UV-B (280-320nm)
- UV-A (320-400nm)

Η UV-C απορροφάται 100% από την στρατόσφαιρα, η UV-B επηρεάζει το ύψος το ύψος των φυτών και στον χρωματισμό της αλλά και την αλλοίωση των υλικών κάλυψης και τέλος η UV-C προκαλεί σποριοποίηση των μυκήτων , είναι χρήσιμη για τον προσανατολισμό των εντόμων καθώς της ευθύνεται για την αλλοίωση των υλικών κάλυψης. Κλασικό αρχικό σύμπτωμα εφαρμογής υπεριώδους ακτινοβολίας στα φύλλα είναι καστανές κηλίδες στην πάνω επιφάνεια τους (Γραφιαδελλη, 1987). Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι σκοπός είναι η ανάκλαση της UV ακτινοβολίας από το χώρο του θερμοκηπίου.

Η ορατή ακτινοβολία είναι αυτή που αντιλαμβανόμαστε βλέποντος την και θεωρείται ζώνη φωτεινών κυμάτων καθώς παρέχει φωτισμό. Όσον αφορά τα φυτά είναι η ζώνη της ηλιακής ακτινοβολίας που φωτοσυνθέτουν γι' αυτό και την ορίζουν και ως ενεργή φωτοσυνθετική ακτινοβολία (PAR). Περιλαμβάνει όλα τα χρώματα της ίριδας, τα οποία αποτελούν και της επιμέρους ζώνες της ορατής ακτινοβολίας ως εξής:

- Μώβ (violet, 400-430nm): Επηρεάζει την φωτοσύνθεση των φυτών.
- Λουλακί (indigo, 430-450nm): Επηρεάζει την φωτοσύνθεση των φυτών.
- Μπλε (blue, 450-520nm): Επηρεάζει πάρα πολύ την φωτοσύνθεση (θετικός φωτοτροπισμός, άνοιγμα στοματίων, αποφυγή εκχλοίωσης φυταρίων, συμβολή στην δημιουργία κυττοπλάσματος).
- Πράσινη (green, 520-565nm): Επηρεάζει ελάχιστα την φωτοσύνθεση
- Κίτρινη (yellow, 565-590nm): Δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την φωτοσύνθεση.
- Πορτοκαλί (orange, 590-625nm): Επηρεάζει ελάχιστα την φωτοσύνθεση και την φωτοπερίοδο.
- Κόκκινη (red, 625-700nm): Επηρεάζει σημαντικά την φωτοπερίοδο και την φωτομορφογένεση (βλαστικότητα σπόρων, άνθηση, ωρίμανση).

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω πρέπει να εξασφαλίζουμε την είσοδο της ορατής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο γιατί παίζει καθοριστικό ρόλο στην φωτοσύνθεση των φυτών.

Η IR ακτινοβολία αποτελείται από μη ορατές ακτίνες και χωρίς να προκαλούν φωτοχημικές αντιδράσεις. Η ζώνη αυτή ωστόσο παίζει σημαντικό ρόλο στην θέρμανση της ατμόσφαιρας. Διακρίνεται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

- IR-A ή υπέρυθρη (FAR, 700-800 nm).
- IR-B ή έγγυς υπέρυθρη (NIR, 800-1300 nm).
- IR-C ή μακριά υπέρυθρη (FIR, >1300nm).

Η FAR ακτινοβολία μπορεί να συμβάλει ελάχιστα στην φωτομορφογένεση των φυτών, η NIR είναι ανίκανη για την φωτοσύνθεση αλλά μεταφέρει θερμότητα στο θερμοκήπιο όπως κάνει αντίστοιχα σε μεγαλύτερο βαθμό όμως και η FIR ακτινοβολία. Έτσι, η IR ακτινοβολία μπορεί να μην προσφέρεται για φωτοσύνθεση ωστόσο μπορεί να δώσει λύσεις για την θέρμανση του θερμοκηπίου τον χειμώνα ενώ το καλοκαίρι έχουμε έναν λόγο παραπάνω να θέλουμε την ανάκλαση της καθώς υπερθερμαίνει το θερμοκήπιο και δημιουργεί εγκαύματα στα φυτά.

(Πλαστικά Κρήτης, 2008)

## 1.2 Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Από την εισαγωγή που προηγήθηκε γίνεται φανερό ότι είναι απαραίτητο να μειώσουμε τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο χώρο του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια του θέρους ώστε να μην προκύψουν αρνητικές συνέπειες στην παραγωγή. Αναφέρθηκαν ορισμένοι τρόποι επίτευξης της μείωσης των θερμοκρασιών και στην συνέχεια επικεντρωθήκαμε στην μέθοδο της σκίασης με μεγαλύτερη έμφαση στα υλικά κάλυψης που έχουμε την δυνατότητα να εφαρμόσουμε για δροσισμό και αποφυγή ηλιοκαμάτων.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης της ανάκλασης της έγγυς υπέρυθρης (NIR) με ειδικό ασημί φύλλο στο κλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Σκοπός είναι μέσα από αυτή την εφαρμογή η εξοικονόμηση ενέργειας και η αποφυγή χρήσης των άλλων μεθόδων σκίασης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού που κάτω υπό ορισμένες συνθήκες θα μείωναν την φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

Σε ένα θερμοκήπιο θα τοποθετηθεί το ειδικό θερμικό φύλλο ενώ ένα άλλο θερμοκήπιο θα χρησιμοποιηθεί ως μάρτυρας με υλικό PE. Η καλλιέργεια που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ντομάτας.

Το πρακτικό αντικείμενο της εργασίας είναι η καταγραφή μετρήσεων που αφορούν τον αριθμό των φύλλων, της διαστάσεις τους, το ύψος του φυτού, το μήκος των μεσογονατίων, τον αριθμό των καρπών και των σταυρών κατά την περίοδο 10/11/2009 ως 8/1/2010. Ακόμα, την περίοδο αυτή με αισθητήρες εκτιμήθηκαν στοιχεία κλίματος και η είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, υπολογίστηκε και η κατανάλωση ενέργειας που προέκυψε στα συστήματα θέρμανσης. Η περίοδο μελέτης είναι σημαντική καθώς δεν είναι καλοκαίρι και αυτό που θέλουμε κυρίως να δούμε είναι αν οι ιδιότητες του υλικού κάλυψης, που είναι η ανάκλιση ακτινοβολιών κυρίως μεγάλου μήκους, επηρεάζουν το κλίμα και την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Κατά την διάρκεια της μελέτης δηλαδή κατά τους χειμερινούς μήνες δεν μας ενδιαφέρει η ιδιότητα του δροσισμού τόσο γιατί εξασφαλίζεται από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Στην συνέχεια, τα αποτελέσματα περνάνε στο στατιστικό πακέτο SPSS και τέλος έχουμε την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Μετά τη γενική εισαγωγή που προηγήθηκε, στη συνέχεια γίνεται (*Κεφάλαιο 2*) βιβλιογραφική ανασκόπηση για πειράματα που έχουν χρησιμοποιηθεί παρόμοια υλικά κάλυψης και σκοπό είχαν την ανάκλιση της NIR ακτινοβολίας και τον δροσισμό του θερμοκηπίου. Σύμφωνα, με τις αναφορές που θα προκύψουν θα καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα στο τέλος του κεφαλαίου.

Κατόπιν, ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας όπου στο *Κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται ο πειραματικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του ειδικού ασημί φύλλου κάλυψης στο κλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Έπειτα, στο *Κεφάλαιο 4* παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής και γίνονται σχόλια και συγκρίσεις με προηγούμενες αναφορές σε πειράματα.

Τέλος, στο *Κεφάλαιο 5* καταλήγουμε σε συμπεράσματα και προτάσεις που οδηγούν στην χρήση του υλικού κάλυψης αν τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ενθαρρυντικά ή την εύρεση εναλλακτικών μεθόδων σε περίπτωση που τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά.

## **Κεφάλαιο 2 . Θεωρητική Ανάλυση**

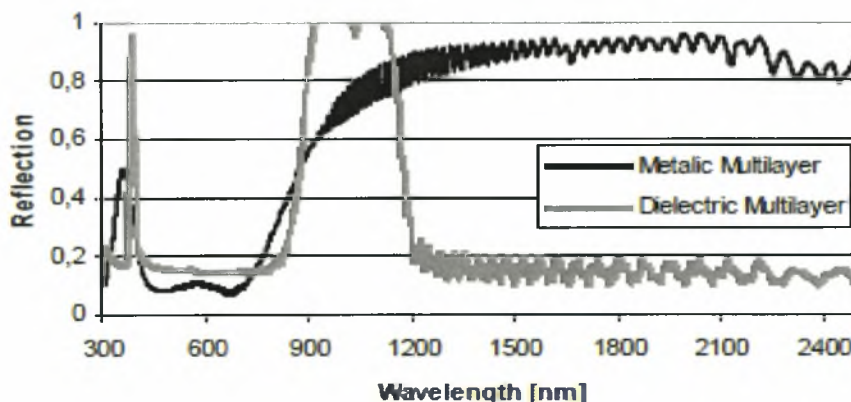




## 2.1 Ολοκληρωμένο ηλιακό σύστημα ψύξης θερμοκήπιου με υλικό κάλυψης που ανακλά την NIR ακτινοβολία

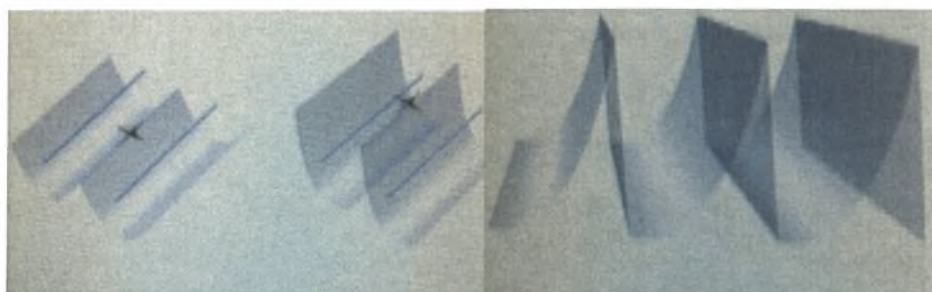
Οι Sonneveld et al. (2008) σχεδίασαν ένα θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης που έχει ενσωματωμένο φίλτρο ανάκλασης της NIR ακτινοβολίας και την μετέπειτα δέσμευση αυτής της ακτινοβολίας σε ένα ηλιακό σύστημα ψύξης που θα τροφοδοτεί με ενέργεια ένα σύστημα υγρής παρειάς. Επιπλέον, οι παραπάνω μελέτησαν και την κλίση και την γεωμετρία που θα έπρεπε να έχει η επιφάνεια που αντανακλά η NIR ακτινοβολία ώστε να έχουμε την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της ενέργειας αυτής.

Σε πρώτη φάση, η μελέτη αυτή αποτρέπει την είσοδο θερμότητας στο θερμοκήπιο με την χρήση ενός υλικού κάλυψης που αποτρέπει της είσοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι ειδικές επιλεκτικές φασματικές ιδιότητες του υλικού αυτού θα αποτρέψουν το 50% της ακτινοβολίας να εισέρχεται στο θερμοκήπιο μειώνοντας τις ανάγκες για ψύξη. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο υλικά, ένα μεταλλικό πολυστρωματικό και ένα διηλεκτρικό πολυστρωματικό πλαστικό. Το πολυστρωματικό πλαστικό υλικό έδειξε πολύ ικανοποιητική μετάδοση της PAR ακτινοβολίας και καλή ανάκλαση της NIR, ιδιαίτερα σε 900-1200 nm. Από την άλλη το μεταλλικό υλικό έδωσε λίγο μεγαλύτερη απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας και ήταν πιο αποτελεσματικό στην ανάκλαση της NIR σε μήκη από 900-1200, πράγμα σημαντικό ιδιαίτερα για κηπευτικές καλλιέργειες (Γράφημα 5).



*Γράφημα 5: Παρατήρηση ανάκλασης της PAR ακτινοβολίας (300-700nm) και της NIR ακτινοβολίας (700-2400nm) των δύο υλικών κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν, μεταλλικό πολυστρωματικό και διηλεκτρικό πολυστρωματικό πλαστικό (Sonneveld et al., 2008).*

Σε δεύτερη φάση είναι η εισαγωγή ενός αυτόματου ηλιακού συστήματος ψύξης. Η NIR ακτινοβολία θα αντανακλά σε επιφάνεια η οποία θα είναι σχεδιασμένη σε παραβολικό ή κυκλικό σχήμα και η αντανακλώμενη ηλιακή ενέργεια που προκύπτει θα συλλέγεται από ένα PV σώμα με σκοπό την εξασφάλιση ενέργειας για την λειτουργία ενός συστήματος υγρής παρειάς και ανεμιστήρα (Σχήμα 5). Οι δύο επιφάνειες μελετήθηκαν ως προς απόδοση τους σε ενέργεια, την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και το κόστος κατασκευής. Έτσι δημιουργήθηκαν δύο παραβολικές επιφάνειες, η μια με κατεύθυνση βορειονότιου προσανατολισμού και μια με κατεύθυνση ανατολικοδυτικού ως προς τον ήλιο και μια κυλινδρική επιφάνεια βορειονότιου προσανατολισμού. Η γεωμετρία των παραπάνω επιφάνειας που λειτουργεί ως κάτοπτρο έχει σχεδιαστεί με ειδικό λογισμικό έτσι ώστε να απορροφά την περισσότερη δυνατή ενέργεια.



*Σχήμα 5: Η επιφάνεια της οροφής του θερμοκηπίου σχεδιασμένη παραβολικά (αριστερά) και κυλινδρικά (δεξιά) (Soneveld et al., 2008).*

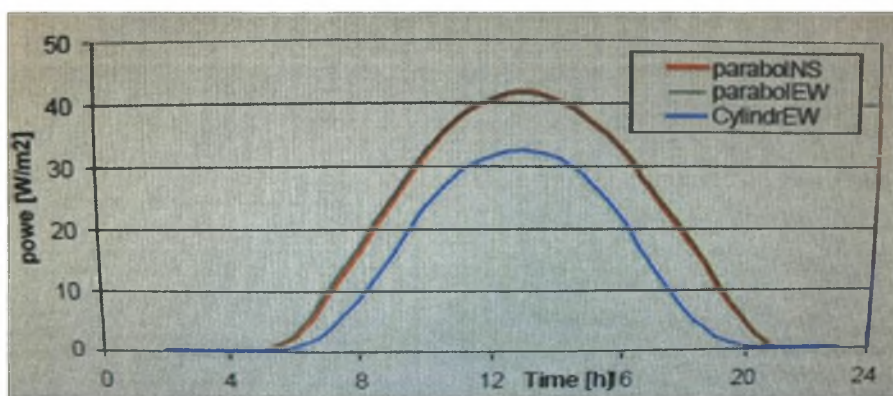


*Εικόνα 11: Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για τον σκοπό του πειράματος (100 m<sup>2</sup>) (Soneveld et al., 2008).*

Σύστημα	Μέγιστη ενέργεια(W/m <sup>2</sup> )	Καθημερινή ενέργεια(MJ/m <sup>2</sup> )	Απόδοση(KWh/m <sup>2</sup> )
Ακτινοβολία	925	31	8,6
Παραβολική επιφάνεια προς Β-Ν	41,7	1,3	0,4
Παραβολική επιφάνεια προς Α-Δ.	41,7	1,4	0,4
Κυλινδρική επιφάνεια προς Α-Δ.	32,7	0,9	0,3

**Πίνακας 5:** Αποτελέσματα καταμέτρησης ενέργειας και απόδοσης με κάθε τύπο επιφάνειας (Soneveld et al., 2008).

Από το πίνακα 5 παρατηρούμε ότι η παραβολική επιφάνεια σε παραγωγή ενέργειας είναι πιο αποτελεσματική από την κυλινδρική τόσο σε μέγιστη ενέργεια, σε καθημερινή βάση αλλά και σε απόδοση. Στο παρακάτω γράφημα 6 απεικονίζεται αυτή διαφορά παραγωγής ενέργειας και σε γράφημα ανάλογα την ώρα ημέρας με το μέγιστο να παρατηρείται κατά 13.00-14.00 σε κάθε περίπτωση.



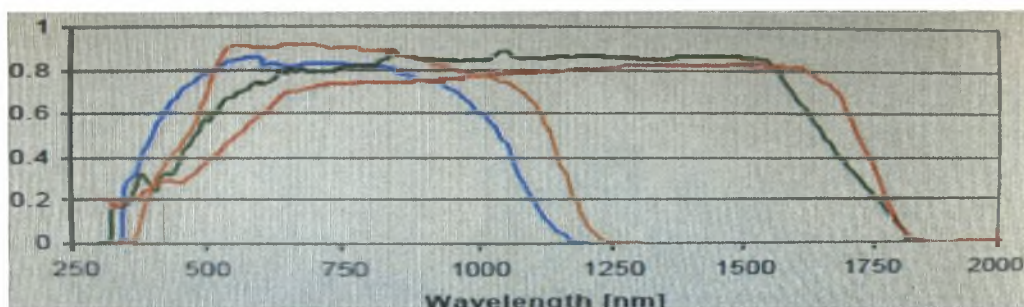
**Γράφημα 6:** Παραγωγή ενέργειας ανάλογα την ώρα ημέρας στις παραβολικές επιφάνειες (πράσινη και κόκκινη καμπύλη που συμπίπτουν) και κυλινδρικές επιφάνειες (μπλε καμπύλη) (Soneveld et al., 2008).

Το PV σώμα που χρησιμοποιείται χρειάζεται να ψύχεται λόγω του υψηλού θερμικού φορτίου που συγκεντρώνει από τις ακτινοβολίες. Για τα στοιχεία που θα αποτελούν το PV σώμα μελετήθηκαν ιδιότητες διαφόρων υλικών όπως Ge, GaSb, CIS και Si.

Σύστημα	Όγκος ισχύς (W/m <sup>2</sup> )	Αποδοτικότητα(%)	
		Για όλο το φάσμα	>750nm(NIR)
Ge	57,8	8,3	12,0
GaSb	45,8	6,4	9,5
CIS	63	12,7	13,1
Si	75,9	16,3	15,7

**Πίνακας 6:** Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για τα κύτταρα του PV (Soneveld et al., 2008).

Στο πίνακα 6 παρατηρούμε ότι το υλικό Si προσφέρει τις καλύτερες ιδιότητες από άποψη όγκος ισχύς αλλά και από άποψη αποδοτικότητας ενέργειας. Την αποδοτικότητα σε ενέργεια του κάθε υλικού ξεχωριστά σε όλο το μήκος του φάσματος μπορούμε να την δούμε στο γράφημα 7.

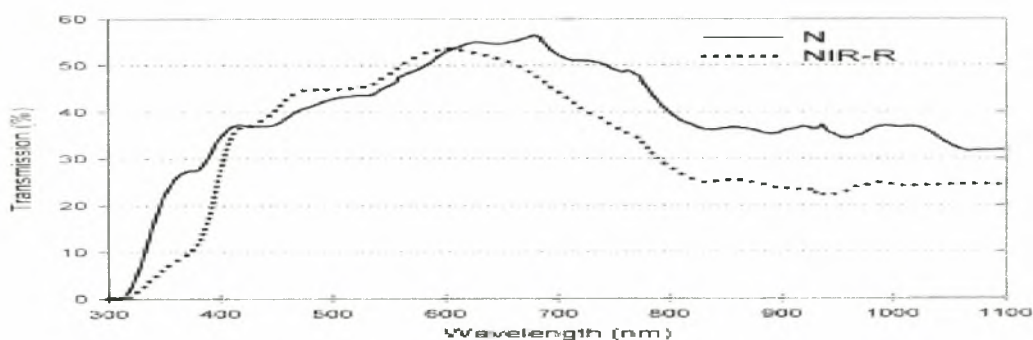


**Γράφημα 7:** Αποδοτικότητα ενέργειας κάθε υλικού (με τον υπολογισμό την κβαντικής απόδοσης (QE)) ανάλογα το μήκος κύματος. Με πράσινο το υλικό Ge, με μπλε το Si, με κόκκινο το GaSb, με πορτοκαλί το CIS (Soneveld et al., 2008).

## 2.2 Ανάκλαση NIR ακτινοβολίας μέσω εφαρμογής χρωστικών

Οι Blanchard et al. (2010), οι Lopez-Marin et al. (2007), οι Mutwiwa et al. (2007) και ο Von Elsner (2005) μελέτησαν χρωστικές που ανακλούν την NIR ακτινοβολία και τα αποτελέσματά τους ήταν ενθαρρυντικά όσο αφορά την ψύξη του θερμοκηπίου.

Οι Blanchard et al. (2010) μελέτησαν υλικά κάλυψης που ανακλούν επιλεκτικά την NIR ακτινοβολία (770-2200 nm) και όχι την PAR ακτινοβολία (400-700 nm) με σκοπό να μειώσουν το θερμικό φορτίο στο θερμοκήπιο. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν μια χρωστική που ανακλά την NIR ακτινοβολία (NIR-R) και μια ουδέτερη χρωστική σκίασης (N). Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιούταν NIR-R χρωστική σε σχέση με αυτό το θερμοκήπιο που είχε N χρωστική απορρόφησε 67% λιγότερη υπεριώδη ακτινοβολία Α, 8% λιγότερη ερυθρή (R), 24% λιγότερο βαθύ ερυθρό (F-R), 30% λιγότερο NIR, 4,7% περισσότερο στην μπλε ακτινοβολία, 4,5 % περισσότερο πράσινη ακτινοβολία ενώ στις PAR ακτινοβολία που είναι σημαντική για την φωτοσύνθεση δεν υπήρχε διαφορά στην απορρόφηση (Γράφημα 8, Πίνακας 7).



**Γράφημα 8:** Απεικόνιση της απορρόφησης ακτινοβολίας από μήκη κύματος 300-1100 nm. Είναι φανερό η χαμηλότερη προσρόφηση NIR ακτινοβολίας από 700nm και μετά της χρωστικής NIR-R έναντι της N (Blanchard et al., 2010).

Ακτινοβολία	Μήκος Κύματος(nm)	Προσρόφηση (%)	
		N χρωστική	NIR χρωστική
UV	315-380	20,2	6,7
Μπλε	400-500	38,9	40,8
Πράσινη	500-600	46,3	48,5
Κόκκινη	600-700	54,7	50,5
Υπέρυθρη	700-800	48,1	36,5
PAR	400-700	46,9	46,8
NIR	770-1100	36,4	25,4

**Πίνακας 7:** Αναλυτικά οι παρατηρήσεις προσρόφησης ακτινοβολίας που καταγράφηκαν σ' όλο το μήκος κύματος.

Ακόμα, υπήρχαν διαφορές στις θερμοκρασίες του αέρα αλλά και των φύλλων με το θερμοκήπιο που χρησιμοποιούσε την N χρωστική να έχει θερμοκρασίες υψηλότερες κατά 0,4- 1,5 °C στον αέρα και 0,7- 1,5 °C στα φύλλα. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι κάποια φυτά στο θερμοκήπιο με N χρωστική άνθιζαν 1-3 μέρες νωρίτερα σε σχέση με το άλλο θερμοκήπιο. Τέλος, το τελικό ύψος ήταν το ίδιο και στις δύο περιπτώσεις.

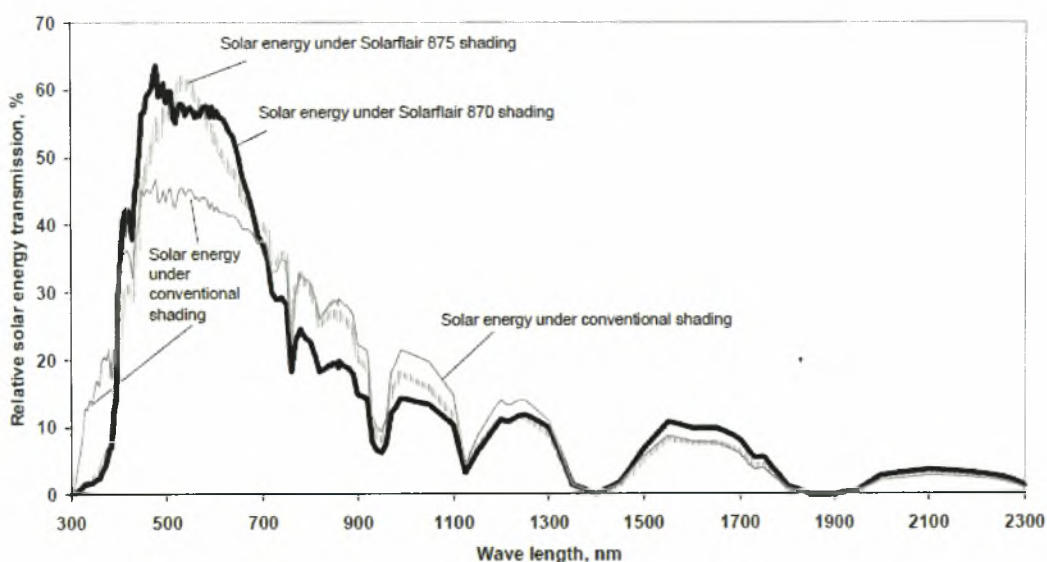
Σύμφωνα έτσι με τα παραπάνω οι Blanchard et al. (2010) αποδεικνύουν ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι NIR-R χρωστικές είναι πιο αποτελεσματικές στην ψύξη του θερμοκηπίου αλλά και δεν επηρεάζουν την φωτοσυνθετική δραστηριότητα σε σχέση με τις N ουδέτερες χρωστικές. Μειονεκτούν ίσως στο γεγονός ότι τα φυτά ανθίσουν οψιμότερα αλλά το τελικό μέγεθος θα είναι το ίδιο ωστόσο.

Οι Lopez- Marin et al. (2007) εφάρμοσαν χρωστικές που ανακλούν την NIR ακτινοβολία σε θερμοκήπιο και σε σύγκριση με την κοινή λεύκανση παρουσιάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, μεγαλύτερες αποδόσεις και καλύτερη ποιότητα καρπών.

Οι Mutwiwa et al. (2007) θεωρούν μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Ταυλάνδη ότι ένα σύστημα φυσικού εξαερισμού και ανάκλαση της NIR είναι ικανά να δώσουν λύσεις στην ψύξη των θερμοκηπίων σε περιοχές με υψηλή ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε στο χρωστική στο υλικό κάλυψης που ανακλά την NIR ακτινοβολία σε ένα θερμοκήπιο ενώ άλλο θερμοκήπιο αποτελούσε μάρτυρα. Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά καθώς η θερμοκρασία μειώθηκε κατά 4 °C κατά το νεαρό στάδιο του φυτού που σημαίνει μείωση της εισαγωγής της NIR ακτινοβολίας κατά 18%. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες ισορροπήθηκαν κατά την ωρίμανση της καλλιέργειας. Ακόμη, υπήρχε μείωση στην κατανάλωση νερού, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας από τον ανεμιστήρα, μείωση των προσβολών από ασθένειες και έντομα καθώς και μείωση της παρθενοκαρπίας. Ωστόσο, προβληματισμό προκαλεί το γεγονός ότι η παραγωγή ήταν μειωμένη αλλά και υπήρχε ένα μεγαλύτερο ποσοστό ραγισμένων καρπών σε σχέση με τον μάρτυρα που χρησιμοποιήθηκε.

Ο Von Elsner (2005) μελέτησε δύο είδη χρωστικών που είχαν σχεδιαστεί με ιδιότητες να ανακλούν επιλεκτικά την NIR ακτινοβολία. Η εφαρμογή των δύο χρωστικών (Solarflair 875 και Solarflair 870) έγινε σε φύλλα πολυαιθυλενίου, τα οποία συγκρίθηκαν με πλαστικό που είχε εφαρμοστεί λεύκανση. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν τη είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στα θερμοκήπια και συγκεκριμένα της PAR και της NIR ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στα

400-700 nm που είναι η PAR ακτινοβολία τα υλικά κάλυψης με τις χρωστικές απορροφούν πολύ περισσότερη ακτινοβολία έναντι του συμβατικού συστήματος λεύκανσης άρα έχουν πιο έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα τα φυτά. Μεταξύ των δύο χρωστικών δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στην απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας. Όσον αφορά την NIR (ως 1300 nm) ακτινοβολία η συμβατική μέθοδος της λεύκανσης απορροφά το μεγαλύτερο ποσοστό ακτινοβολίας, ακολουθεί η χρωστική Solarflair 875 και την μικρότερη απορρόφηση έχει η χρωστική Solarflair 870. Έτσι, ο Von Elsner (2001) απέδειξε ότι η χρήση χρωστικών είναι πιο αποτελεσματική μέθοδος ψύξης έναντι της μεθόδου της λεύκανσης καθώς όχι μόνο επιτρέπει λιγότερη NIR ακτινοβολία στο θερμοκήπιο άρα και λιγότερο θερμικό φορτίο αλλά ταυτόχρονα δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την φωτοσύνθεση. Τέλος, η σύγκριση των δύο χρωστικών δείχνει ότι η Solarflair 870 υπερτερεί διότι απορροφά την λιγότερη NIR ακτινοβολία (Γράφημα 9).



*Γράφημα 9: Ηλιακή ενέργεια στο θερμοκήπιο ανάλογα το μήκος κύματος που έχει η ακτινοβολία στις χρωστικές Solarflair 870, η Solarflair 875 και στην συμβατική μέθοδο της λεύκανσης (Conventional Sheding) (Von Elsner, 2001).*

Οι Imbron et al. (2007) σύγκριναν τρία διαφορετικά θερμοκήπια, ένας μάρτυρας με υλικό κάλυψης που δεν ανακλά την NIR ακτινοβολία (N0) και δύο εφοδιασμένα με χρωστικές που ανακλούν την NIR (N1 και N2). Αρχικά, μελετήθηκε η απορρόφηση σε PAR ακτινοβολία των τριών θερμοκηπίων. Το θερμοκήπιο N0 παρουσίασε την μεγαλύτερη απορρόφηση σε PAR ακολούθησε το N1 και τελευταίο



το N2. Τα τρία θερμοκήπια κατά μέσο όρο παρουσίασαν τις ίδιες θερμοκρασίες, όμοια ελάχιστες και μέγιστες. Άρα σ' αυτήν την περίπτωση οι χρωστικές μας δεν έδειξαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα.

### **2.3 Αξιολόγηση υλικών κάλυψης όσο αφορά την διαχείριση και την ανάκλαση NIR ακτινοβολίας**

Οι Shen et al. (2002), Kumar et. al. (2009), Hemming et al. (2005), Cemek (2005), Verlodt et al. (1997) και οι Kittas et al. (1999) ασχολήθηκαν με την σύγκριση και την αξιολόγηση διάφορων υλικών κάλυψης όσο αφορά την ικανότητα τους να απορροφούν PAR ακτινοβολία και να ανακλούν και να διαχειρίζονται την NIR ακτινοβολία. Ακόμη, οι Kittas et al. αξιολόγησαν και διάφορους τύπους θερμοκηπίων (αμφίκυρτο, αμφικλινές, τούνελ) όσον αφορά την ίδια ικανότητα με προηγούμενως.

Οι Shen et al. (2002) σε πειράματα που έκανε προσπάθησε να βρει ποια είναι η καλύτερη μέθοδος ψύξης του θερμοκηπίου σε τροπικές περιοχές και βρήκε ότι ο συνδυασμός συστήματος ανεμιστήρων με υλικό κάλυψης που αντανακλά επιλεκτικά την NIR ακτινοβολία είναι το ιδανικότερο σύστημα γιατί το θερμικό φορτίο μειώνεται ικανοποιητικά με την μείωση της εισόδου της NIR ακτινοβολίας, γιατί τα επίπεδα υγρασίας είναι αποδεκτά και γιατί άμα θέλουμε περαιτέρω σκίαση μπορούν να εφαρμοστούν χρωστικές.

Όμοια με τους Shen et al. (2002), οι Kumar et. al. (2009) καταλήγουν ότι ο συνδυασμός μιας παροχής αερισμού 15-30% μεγαλύτερη της φυσικής μαζί με ανακλαστικό πλαστικό κάλυψης αλλά και δίχτυα εντόμων στα πλαϊνά παράθυρα μπορεί να δώσει λύσεις δροσισμού σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές.

Οι Cemek et al. (2005) μελέτησαν σε καλλιέργεια μελιτζάνας τρία διαφορετικά υλικά κάλυψης, ένα που σταθεροποιεί την UV ακτινοβολία, ένα που απορροφά IR ακτινοβολία (άρα και NIR), ένα διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου και ένα απλό. Η απόδοση ήταν υψηλότερη στο διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου, το περισσότερο φως πέρασε στα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, η σχετική υγρασία ήταν μεγαλύτερη στο διπλό φύλλα όπως και η ταχύτερη ανάπτυξη των φυτών συναντήθηκε εκεί. Γενικά, το διπλό φύλλο προτείνεται για μεγαλύτερη παραγωγικότητα και λιγότερη κατανάλωση για θέρμανση σε περιοχές με το κλίμα του Εύξεινου πόντου. Το φύλλο με την απορρόφηση NIR ακτινοβολία επέφερε ενδιάμεσες καταστάσεις.

Οι Hemming et al. (2005) στο πλαίσιο ενός πειράματος στο πανεπιστήμιο του Wageningen σύγκριναν και αξιολόγησαν υλικά κάλυψης πλαστικά και γυάλινα που έχουν ιδιότητες να ανακλούν την NIR ακτινοβολία. Τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 5 από γυαλί (Borofloat glass 3.3mm (IR3 και IR5), Borofloat glass 2.7 mm (SIR), Borofloat glass 1.7 mm (SIR-IR), Car Glass GB, 4 από πολυαιθυλένιο (PE film PH1, PE film PH2, PE film SF1, PE film SF), 2 από σκληρό πολυαιθυλένιο (PET M1, PET M2) και δύο υλικά κάλυψης που είχαν λευκανθεί (ReduSol, ReduHeat). Για κάθε περίπτωση υλικού επιλέχθηκαν οι απαραίτητοι μάρτυρες. Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την PAR ακτινοβολία ήταν ενθαρρυντικά καθώς είχαμε ως και 90% διάδοση της στο θερμοκήπιο πράγμα που σημαίνει ότι η φωτοσυνθετική δραστηριότητα δεν επηρεάζεται σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα περισσότερο αποτελεσματικά ήταν τα υλικά από γυαλί μαζί με αυτά από σκληρό πολυαιθυλένιο ενώ τα η είσοδος της PAR ακτινοβολίας των απλών φύλλων πολυαιθυλενίων ήταν λιγότερο αποτελεσματική. Όσον αφορά τα δυο φύλλα που δέχτηκαν λεύκανση ήταν σαφώς αρκετά μειωμένη η δέσμευση της PAR ακτινοβολίας. Επιπλέον, μελετήθηκε η ικανότητα των υλικών να διώχνουν την ηλιακή ενέργεια, με το γυαλί να έχει την μικρότερη απορρόφηση ηλιακής ενέργειας αλλά και τα υπόλοιπα υλικά να απορροφούν εξίσου μικρές ποσότητες. Το παραπάνω βέβαια είναι λογικό αφού μιλάμε για υλικά που ανακλούν την NIR ακτινοβολία. Όσον αφορά τον κύριο παράγοντα που μελετάμε τα υλικά κάλυψης με γυαλί μειώνουν την είσοδο την NIR ακτινοβολίας κατά 50-70% ενώ τα πλαστικά κατά 25%. Ωστόσο, αυτό δεν επιφέρει υψηλότερες θερμοκρασίες στα θερμοκήπια με πλαστικά υλικά κάλυψης γιατί η θερμότητα στα θερμοκήπια με πλαστικά υλικά κάλυψης διαφεύγει πιο εύκολα σε σχέση με ένα γυάλινο θερμοκήπιο. Τέλος, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία του θερμοκηπίου με τη εφαρμογή των παραπάνω υλικών κάλυψης επέφεραν μια μείωση της θερμοκρασίας ένα βαθμό αλλά ταυτόχρονα υπήρχαν σημαντικές πτώσεις στις θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του χειμώνα που δεν είναι επιθυμητό.

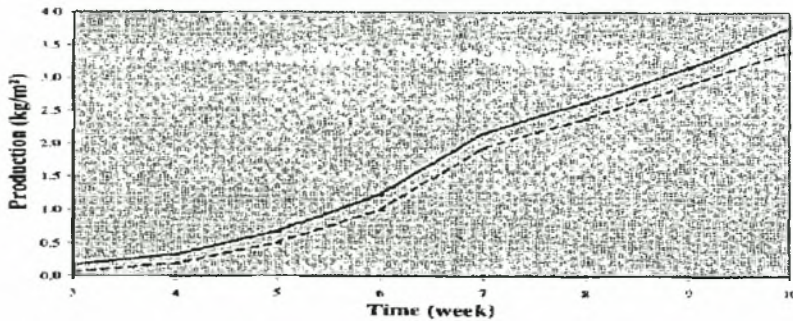
Υλικό	Καλοκαιρινή ημέρα		Συννεφιασμένη ημέρα	
	PAR (W/m <sup>2</sup> )	NIR(W/m <sup>2</sup> )	PAR (W/m <sup>2</sup> )	NIR(W/m <sup>2</sup> )
Γυαλί	268	137	99	34
Πολυαιθυλένιο	243	246	92	47
Σκληρό Πλαστικό	271	209	80	54
Εφ. Λεύκανσης	209	208	86	50

**Πίνακας 8:** Μετρήσεις σε κάθε υλικό κάλυψης κατά μέσο όρο προσρόφησης PAR και NIR ακτινοβολίας παρατηρώντας τις μεγάλες διαφορές σε συνθήκες ηλιοφάνειας και συννεφιάς (Hemming et al., 2005).

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω που μελέτησαν οι Hemming et al. (2005) δεν μπορούμε να καταλήξουμε πιο υλικό κάλυψης είναι το ιδανικό. Επίσης, η ανάκλαση της NIR ακτινοβολίας δεν είναι επιθυμητή κατά την διάρκεια του χειμώνα άρα υπάρχουν εμπόδια στην εφαρμογή των υλικών κάλυψης που ανακλούν την NIR ακτινοβολία. Μια λύση όντως είναι η λεύκανση κατά την διάρκεια του καλοκαιριού αλλά όπως είδαμε με αυτόν τον τρόπο μειώνεται πολύ η απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας άρα και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα ιδιαίτερα σε συννεφιασμένες μέρες.

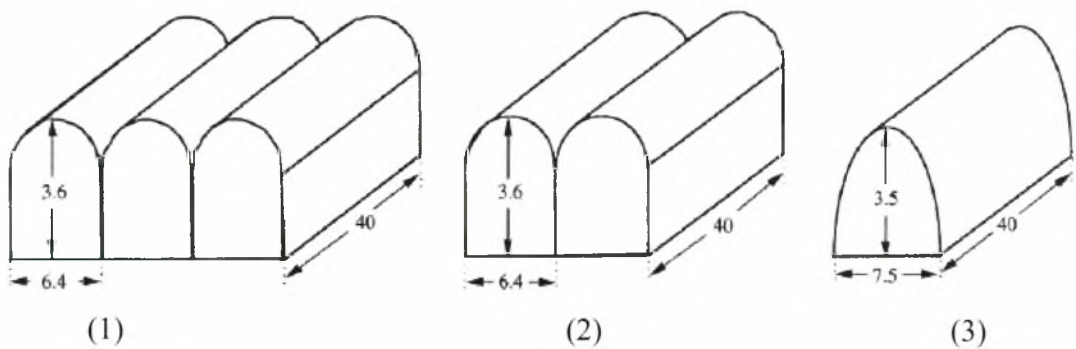
Οι Verlodt et al. (1997) μελέτησαν σε θερμές συνθήκες στην Τυνησία το υλικό κάλυψης Kool lite Plus σε τούνελ θερμοκήπιο σε καλλιέργεια τομάτας. Το υλικό κάλυψης ήταν εφοδιασμένο με ειδικές χρωστικές που ανακλούν μέρος της NIR ακτινοβολία αλλά και δεν επηρεάζουν την PAR ακτινοβολία. Οι παρατηρήσεις που έγιναν αφορούσαν την είσοδο της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, την θερμοκρασία αλλά και την ανάπτυξη της καλλιέργειας και πραγματοποιήθηκαν το καλοκαίρι αλλά και τον χειμώνα. Η σύγκριση έγινε με θερμικό υλικό κάλυψης, το Astrolux. Όσο αφορά την είσοδο της ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο το Kool lite Plus έδειξε μικρότερη απορρόφηση της NIR ακτινοβολίας που σημαίνει λιγότερο θερμικό φορτίο στο θερμοκήπιο αλλά και μικρότερη απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας έναντι του Astrolux που σημαίνει λιγότερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Στην συνέχεια, τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών ήταν ενθαρρυντικά για το Kool lite Plus καθώς παρουσία 1-2 °C χαμηλότερες θερμοκρασίες τα πρωινά θερμών ημερών και 4-5 °C τα απογεύματα. Όσον αφορά τις χειμερινές μετρήσεις ήταν παρόμοιες. Τέλος, όσον αφορά την παραγωγή το υλικό Kool lite Plus παρουσίασε υψηλότερη. Έτσι, οι Verlodt et al. (1997) έδειξαν ότι το Kool lite Plus υλικό κάλυψης μπορεί να είναι

αποτελεσματικό στην ψύξη του θερμοκηπίου σε θερμές περιοχές δίχως να επηρεάζει το φυτό κατά την διάρκεια ψυχρών ημερών.

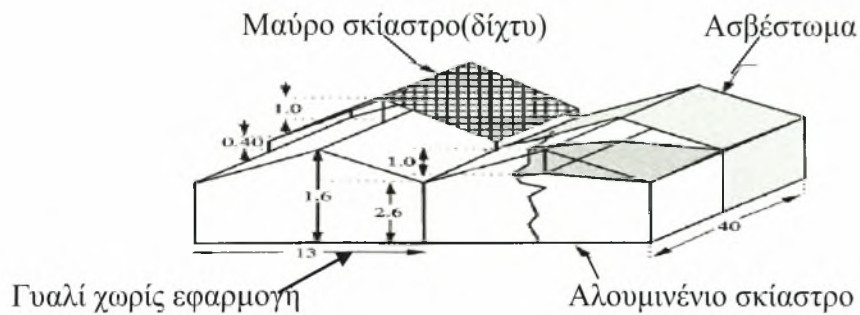


**Γράφημα 10:** Η παραγωγή ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) που παρουσίασαν τα θερμοκήπια με *Kool lite Plus* (—) και *Astrolux* (-----) (Verlodt et al., 1997).

Οι Kittas et al. (1999) σε ένα πείραμα στην περιοχή της Άρτας υπολόγισε την μετάδοση ακτινοβολίας μέσω της μέτρησης της ροής φωτονίων 400-1100 nm και συγκεκριμένα για την περιοχή της PAR και της NIR ακτινοβολίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υλικά κάλυψης σε διάφορους τύπους θερμοκηπίου όπως ένα φύλλο πολυαιθυλενίου σε θερμοκήπιο αμφικλινές δύο μονάδων, ένα φύλλο fiberglass σε ένα θερμοκήπιο αμφικλινές πολλαπλών μονάδων, ένα φύλλο πολυαιθυλενίου σε τούνελ θερμοκήπιο και γυαλί σε αμφίκυρτο θερμοκήπιο δύο μονάδων (Σχήμα 6). Για το γυαλί συγκεκριμένα μελετήθηκαν τρεις επιπλέον εφαρμογές, η επίδραση μαύρου σκίαστρου, η λεύκανση-ασβέστωμα και αλουμινένιου σκίαστρου (Σχήμα 7).



**Σχήμα 6:** (1) Πολλαπλό Θερμοκήπιο αμφικλινές με fiberglass (2) Θερμοκήπιο δύο μονάδων αμφικλινές με φύλλο πολυαιθυλενίου (3) Τούνελ θερμοκήπιο με φύλλο πολυαιθυλενίου (Kittas et al., 1999).



**Σχήμα 7:** Διάφορες εφαρμογές στο αμφίκυρτο θερμοκήπιο δύο μονάδων με γυαλί (Kittas et al., 1999).

Όσον αφορά (Πίνακας 9) την μεγαλύτερη απορρόφηση PAR ακτινοβολίας επέδειξαν με σειρά: Θερμοκήπιο τούνελ με πολυαιθυλένιο> Γυαλί χωρίς εφαρμογή> Θερμοκήπιο δύο μονάδων αμφικλινές με πολυαιθυλένιο> Θερμοκήπιο πολλαπλών μονάδων αμφικλινές με fiberglass. Οι υπόλοιπες εφαρμογές γυαλιού έδειξαν πολύ μικρότερη προσρόφηση PAR ακτινοβολίας σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους. Όσο αφορά την απορρόφηση NIR ακτινοβολίας: Θερμοκήπιο τούνελ με πολυαιθυλένιο> Θερμοκήπιο δύο μονάδων με πολυαιθυλένιο> Θερμοκήπιο πολλαπλών μονάδων με fiberglass > Γυαλί χωρίς εφαρμογή. Οι υπόλοιπες εφαρμογές γυαλιού έδειξαν και πολύ μικρότερη προσρόφηση NIR ακτινοβολίας σε σχέση με τις παραπάνω μεθόδους.

Θερμοκήπιο	Μήνας	PAR( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ )	NIR( $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ )
Γυαλί χωρίς εφαρμογή	Ιούνιος	820	856
Πολλαπλών μονάδων αμφικλινές με fiberglass	Ιούνιος	747	958
Τούνελ με φύλλο πολυαιθυλενίου	Οκτώβριος	649	840
Δύο μονάδων αμφικλινές με φύλλο πολυαιθυλενίου	Ιούνιος	740	1061
Γυαλί με αλουμινένιο σκίαστρο	Ιούνιος	242	288
Γυαλί με μαύρο σκίαστρο(δίχτυ)	Οκτώβριος	391	421
Γυαλί με ασβέστωμα	Οκτώβριος	364	367

**Πίνακας 9:** Η απορρόφηση (σε ροή φωτονίων) PAR και NIR ακτινοβολίας ανάλογα το θερμοκήπιο και το υλικό κάλυψης (Kittas et al., 1999).

Σύμφωνα με τα παραπάνω και με βάση αυτά που έχουν αναφερθεί, εμείς για την ψύξη του θερμοκηπίου θα θέλαμε ένα υλικό που να απορροφά λίγο NIR ακτινοβολία αλλά να μην επηρεάζεται σημαντικά η δέσμευση της PAR ακτινοβολίας. Έτσι, ως αρχική προσέγγιση θα επιλέγαμε ένα γυάλινο θερμοκήπιο αλλά δεν πρέπει να παραβλέπουμε ότι η θερμότητα σε ένα θερμοκήπιο με γυαλί διαφεύγει πιο δύσκολα απ' ό,τι σε ένα πλαστικό θερμοκήπιο που σημαίνει ότι ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας είναι αργός. Επιπλέον, οι Kittas et al. (1999) απέδειξαν ότι μεταξύ των πλαστικών υλικών κάλυψης και τύπου θερμοκηπίου δεν υπάρχει ο ιδανικός συνδυασμός ώστε να ικανοποιούνται οι ιδιότητες ψύξης που ζητάμε καθώς ο συνδυασμός φύλλου πολυαιθυλενίου σε τούνελ θερμοκήπιο και μεν απορροφά πάρα πολύ PAR ακτινοβολία αλλά απορροφά και την περισσότερη NIR, πράγμα ανεπιθύμητο, το fiberglass σε αμφικλινές πολλαπλών μονάδων θερμοκήπιο έδειξε να μεν χαμηλή απορρόφηση σε σχέση με τα άλλα υλικά NIR ακτινοβολίας αλλά είχε και τη μικρότερη απορρόφηση PAR ακτινοβολίας σε σχέση με τα άλλα πλαστικά υλικά, τέλος το αμφικλινές θερμοκήπιο δύο μονάδων με απλό πολυαιθυλένιο απορρόφα αρκετή NIR ακτινοβολία αλλά και λίγη σχετικά PAR ακτινοβολία.

Οι Sethi και Sharma (2007) εκτιμούν ότι με ανακλαστικά φύλλα αλουμινίου μπορούμε να πετύχουμε δροσισμό στον χώρο του θερμοκηπίου χαμηλότερες θερμοκρασίες 3-6 °C ενώ με χρήση κινούμενου νερού πετυχαίνουμε ως και 4-6 °C χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Οι Sethi et al. (2004) εφάρμοσαν ένα φύλλο πολυεστέρα αλουμινίου και παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία μειώνεται 3-4 °C ενώ παρατηρήθηκε και μείωση της ακτινοβολίας στο 43% σε σχέση με θερμοκήπιο χωρίς την εφαρμογή. Τέλος, η υγρασία αυξήθηκε 10%. Οι Sethi και Shidhu (2004) προσθέτουν στα αποτελέσματα ότι η καλλιέργεια χρυσάνθεμου που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα αυτό είχε 27% περισσότερη βλαστική ανάπτυξη.



#### **2.4 Εφαρμογή υγρών διαλυμάτων στην οροφή του θερμοκηπίου για την ανάκλαση της NIR ακτινοβολίας.**

Οι Brown (1939), Morris et al. (1958), Mannan και Cheema (1981), Canhan (1962), Feuermann et al. (1998), Nilsen et al. (1984), Abdel-Ghany et al. (2001), Van Bavel et al. (1980), Chaibi et al. (2003), Zeroni και Singh (1996), Shamim και McDonald (1995) και ο Aberkani (2009) μελέτησαν υγρά διαλύματα προσαρμοσμένα

στην οροφή των θερμοκηπίων που έχουν την δυνατότητα να ανακλούν επιλεκτικά την NIR ακτινοβολία και να απορροφούν την PAR.

Ο Brown (1939) ήταν ο πρώτος που με εφαρμογή ροής νερού στα υλικά κάλυψης προσπάθησε να περιορίσει στο χώρο του θερμοκηπίου τις υψηλές θερμοκρασίες, η οποίες προκαλούνται από την μετάδοση της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι Mannan και Cheema (1981) επίσης εφάρμοσαν την ροή νερού στην οροφή τους θερμοκηπίου σε περιοχές της Ινδίας. Παρατήρησαν ότι η ροή υγρού μειώνει ως και 10°C την θερμοκρασία σε σχέση με το θερμοκήπιο μάρτυρα.

Στην συνέχεια οι Morris et al. (1958) ήταν οι πρώτοι που εφάρμοσαν ρευστά διαλύματα πέρα του νερού στην οροφή του θερμοκηπίου που φιλτράρουν την έγγυς υπέρυθρη ακτινοβολία. Έπειτα, ο Canhan (1962) εφάρμοσε και αυτός ρευστά διαλύματα για να επιτύχει σκίαση και δροσισμό στο χώρο του θερμοκηπίου. Μεταξύ διαφόρων ρευστών υλικών ο Canhan (1962) απέδειξε ότι το Salivan Green είναι το ιδανικό.

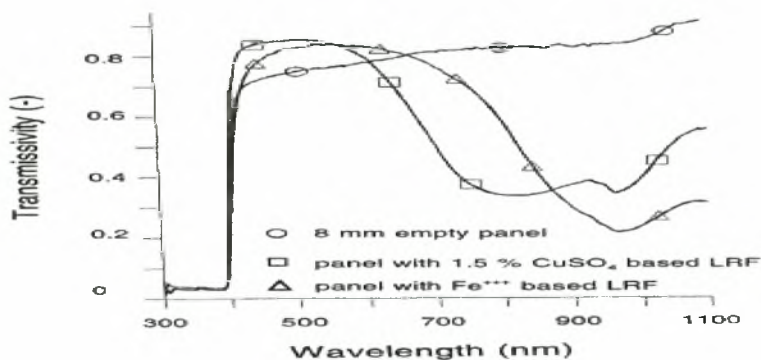
Οι Chaibi et. al. (2003) εφάρμοσαν στην οροφή θερμοκηπίου νερό για να περιορίσουν την είσοδο υπέρυθρης ακτινοβολίας και να μειώσουν την εξατμισοδιαπνοή. Αυτό το πείραμα έγινε για περιοχές που έχουν προβλήματα στην άρδευση λόγω νερού με πολλά άλατα. Οι Chaibi et. al. (2003) κατάφεραν με την εφαρμογή να μειώσουν την κατανάλωση νερού ωστόσο μειώθηκαν και παραγωγές καθώς η εφαρμογή απέκλειε και την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία. Έτσι, οι Chaibi et. al. (2003) κατέληξαν ότι πρέπει να δημιουργηθούν πιο εκλεκτικά υλικά κάλυψης ώστε να αντανακλούν κυρίως την NIR ακτινοβολία.

Σύμφωνα με τους Zeroni και Singh (1996) για να χρησιμοποιηθεί σε ένα υλικό κάλυψη η ροή ενός υγρού, για το υγρό πρέπει να εξεταστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- Ο βαθμός απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή παράμετρος ουσιαστικά καθορίζει και την μείωση της θερμοκρασίας αέρα.
- Την μετάδοση σε PAR ακτινοβολία, και συγκεκριμένα στο κόκκινο φως. Μάλιστα σύμφωνα με τους Sagar et al. (1988) αυτή η παράμετρος εκφράζεται και σε ροή φωτονίων και έτσι καθορίζει και την φωτοσυνθετική δυναμική που προσφέρει το υγρό που ρέει.

- Η παράμετρος που εκφράζεται με τον λόγο των ακτινοβολιών R/FR. Ακτινοβολίες που καθορίζουν μορφογενετικές δράσεις του φυτού όπως ανάπτυξης, βλάστηση σπόρων, άνθηση κ.α..

Οι Feuermann et al. (1998) μελέτησαν σε θερμοκήπιο 330 m<sup>2</sup> τρία διαλύματα που φιλτράρουν την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και του χειμώνα σε περιοχή (Sede Boker) που κυριαρχούν ξηρές συνθήκες. Το κάθε διάλυμα κυκλοφορούσε σε κοιλότητα σε πολυκαρβονικό φύλλο που χρησιμοποιήθηκε ως υλικό κάλυψης στην οροφή του θερμοκηπίου. Το ένα διάλυμα ήταν νερό με 1,5% CuSO<sub>4</sub>, το άλλο διάλυμα περιείχε νερό και Fe και το τρίτο μόνο νερό. Οι ιδιότητες των δύο διαλυμάτων ήταν παρόμοιες (Fe κα CuSO<sub>4</sub>) καθώς και στις δύο περιπτώσεις ο ρόλος του μετάλλου είναι να απορροφά την PAR ακτινοβολία που βοηθά στην φωτοσύνθεση και να ανακλά μέρος NIR ακτινοβολίας που εισάγει θερμότητα στο θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα της απορρόφησης τόσο της PAR ακτινοβολίας (400-700nm) όσο και της NIR (>700nm) φαίνονται στο επόμενο γράφημα 11.



**Γράφημα 11:** Απορρόφηση ακτινοβολίας από 300-1100nm στο διάλυμα Fe (τρίγωνο), στο διάλυμα CuSO<sub>4</sub> (τετράγωνο) και στο νερό (κύκλος) (Feuermann et al., 1998).

Στο γράφημα παρατηρούμε ότι όσον αφορά την απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας το διάλυμα με 1,5% CuSO<sub>4</sub> έχει την μεγαλύτερη απορρόφηση στο διάστημα από 300–500 nm με ελάχιστη διαφορά από το διάλυμα με Fe και τελευταίο ακολουθεί το υλικό με διάλυμα νερού. Στην συνέχεια όμως (500-700nm), το διάλυμα με Fe έχει εμφανώς μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας σε σχέση με το διάλυμα με 1,5% CuSO<sub>4</sub>. Συμπερασματικά, σ' όλο το εύρος της PAR ακτινοβολίας από 300 ως 700 nm υπολογίστηκε ότι το διάλυμα Fe είχε μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης κατά

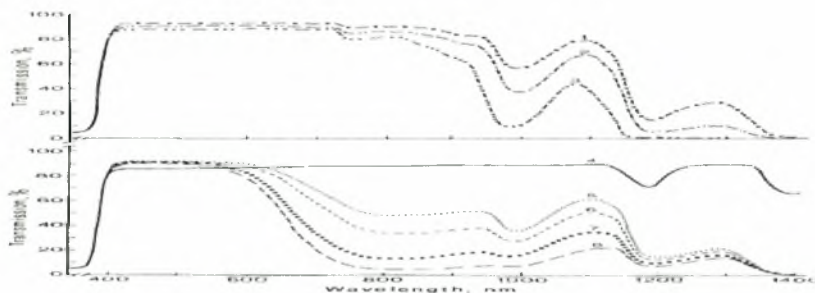


15% , το διάλυμα με 1,5%  $\text{CuSO}_4$  είχε μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης κατά 24% και τέλος το διάλυμα νερού 15%.

Όσον αφορά την απορρόφηση της NIR ακτινοβολίας το υλικό με διάλυμα νερού απορροφά τις μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας από 700-1100 nm με διαφορά μεγάλη από τα άλλα δύο υλικά. Όσον αφορά την σύγκριση μεταξύ των δύο άλλων υλικών, από 700-900nm το υλικό με Fe απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας ενώ για 900-1100 το υλικό με 1,5%  $\text{CuSO}_4$  είναι αυτό που προηγείται. Έτσι, οι Feuermann et al. (1998) κατέληξαν ότι λόγω της υψηλής δέσμευσης της PAR ακτινοβολίας, την χαμηλή απορρόφηση της NIR (χαρακτηριστικό επιθυμητό σε ξηρές συνθήκες) αλλά και ο περιβαλλοντικός χαρακτήρας έναντι του φυτοτοξικού υλικού με  $\text{CuSO}_4$  καθιστούν το υλικό με διάλυμα Fe κατάλληλο για το φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Τέλος, περαιτέρω έρευνα έδειξε ότι δημιουργεί σημαντική μείωση στην θερμοκρασία του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού αλλά το χειμώνα το θερμοκήπιο θα πρέπει να μένει κλειστό τελείως.

Οι Ghosal et al. (2003) μελέτησαν ένα σύστημα ροής νερού στην οροφή του θερμοκηπίου ως τρόπο δροσίσμου. Οι συγκρίσεις που έκαναν ήταν οι εξής: σκιασμένο θερμοκήπιο με ροή νερού, σκιασμένο θερμοκήπιο και ασκίαστο. Το θερμοκήπιο με ροή νερού και σκίαση έδειξε 6 °C διαφορά λιγότερους από το ασκίαστο και το θερμοκήπιο με σκίαση 2 °C λιγότερο από το ασκίαστο.

Οι Nilsen et al. (1984) μελέτησαν την επίδραση υγρών όπως άλατα χαλκού ή νερού στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (μέρος της είναι και η NIR), στο κλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη καλλιεργειών ντομάτας και μαρουλιού. Τα υγρά διοχετεύτηκαν ανάμεσα από διπλό φύλλο ακριλικό που χρησιμοποιούσε ως υλικό κάλυψης το θερμοκήπιο. Ως άλατα χαλκού χρησιμοποιήθηκαν το  $\text{CuCl}_2$  και το  $\text{CuSO}_4$ . Τα υγρά χρησιμοποιήθηκαν σε διάφορες δοσολογίες.



**Γράφημα 12:** Απορρόφηση ακτινοβολίας από 400-1400 nm από ακριλικό υλικό κάλυψης εφοδιασμένο: με νερό 10mm (1), 20mm (2), 50mm (3), με αέρα (4) , με 13mm

0,5%  $CuSO_4$  (5), με 13mm 0,5%  $CuCl_2$  (6), με 13mm 1,5%  $CuSO_4$  (7) και με 13mm 1,5%  $CuCl_2$  (8) (Nilsen et al., 1984).

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, το υλικό με υγρό  $CuSO_4$  έδειξε απορρόφηση NIR ακτινοβολίας 30-50% ενώ η απορρόφηση στα 660nm, που είναι η στιγμή που τα φυτά είναι στην πιο έντονη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, μειώθηκε μόλις στο 25%. Το υγρό  $CuCl_2$  έδειξε περίπου τα ίδια αποτελέσματα με το υγρό  $CuSO_4$ . Το νερό έδειξε την πλήρης απορρόφηση στην PAR ακτινοβολία ενώ η προσρόφηση της NIR ακτινοβολίας ήταν μεγαλύτερη σημαντικά σε σχέση με τα άλλα δύο υγρά (Γράφημα 12).

Η ένδειξη της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο που χρησιμοποιήσαμε το υγρό νερό έδειξε ότι αυξήθηκε από 1 °C ως 8 °C όσο αφορά τις μετρήσεις στα φύλλα σε σχέση με θερμοκήπιο που χρησιμοποιούσε φυσικό αερισμό. Για την θερμοκρασία αέρα σημειώθηκε όμως μείωση από 2 °C ως 8 °C στο θερμοκήπιο με το νερό στην οροφή (Πίνακας 10).

Θερμοκήπιο με φυσικό αερισμό (°C)		Θερμοκήπιο με νερό στην οροφή ως τρόπο ψύξης (°C)	
Φύλλου	Δωματίου	Φύλλου	Δωματίου
28,1	35,5	30,8	27
28,2	35,5	36,1	27
27	31	29,3	29
25,9	26,7	26,7	28

**Πίνακας 10:** Οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στο δωμάτιο και στα φύλλα σε θερμοκήπιο με φυσικό εξαερισμό σε σχέση με το θερμοκήπιο που είχε το νερό στην οροφή (Nilsen et al., 1984).

Από την άλλη οι ενδείξεις για το θερμοκήπιο με υγρό  $CuSO_4$  έδειξαν ότι είχαμε μείωση της θερμοκρασίας φύλλου 8 °C και μείωση της θερμοκρασίας αέρα 6°C έναντι θερμοκηπίου με χρήση φυσικού αερισμού (Πίνακας 11).

Θερμοκήπιο με φυσικό αερισμό(C°)		Θερμοκήπιο με CuSO <sub>4</sub> στην οροφή ως τρόπο ψύξης(C°)	
Φύλλου	Δωματίου	Φύλλου	Δωματίου
37,5	31,5	28,5	25

**Πίνακας 11:** Οι θερμοκρασίες που καταγράφηκαν στο δωμάτιο και στα φύλλα σε θερμοκήπιο με φυσικό εξαερισμό σε σχέση με το θερμοκήπιο που είχε διάλυμα CuSO<sub>4</sub> στην οροφή (Nilsen et al., 1984).

Όσον αφορά την παραγωγικότητα (Πίνακας 12) βλέπουμε ότι στο θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε το νερό στην οροφή σε καλλιέργεια μαρουλιού είχαμε αύξηση στο βάρος της κεφαλής στο διπλάσιο σε σχέση με θερμοκήπιο που χρησιμοποιούσε φυσικό εξαερισμό ενώ για το θερμοκήπιο με υγρό CuSO<sub>4</sub> σε καλλιέργεια ντομάτας είχαμε μείωση του βάρους των καρπών και παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση στο αριθμό καρπών/φυτό.

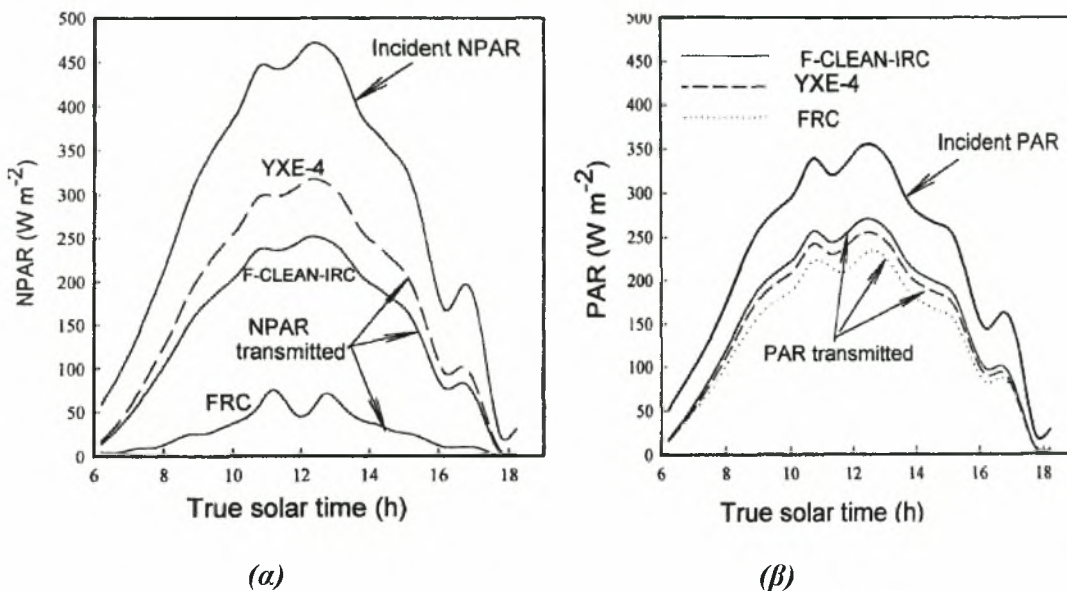
Χαρακτηριστικό/Τρόπος Ψύξης	Φυσικός αερισμός	Με υγρό διάλυμα
Βάρος Καρπών ντομάτας(kg)	2,1-3,9	3,3-4,7 (με CuSO <sub>4</sub> )
Καρπού/φυτό	42-72	71-95 (με CuSO <sub>4</sub> )
Βάρος μαρουλιού(g).	65	105 (με νερό)

**Πίνακας 12:** Χαρακτηριστικά παραγωγής ανάλογα την μέθοδο ψύξης που εφαρμόζουμε (Nilsen et al., 1984).

Έτσι , οι Nilsen et al. (1984) υποστηρίζουν ότι σύμφωνα με τα παραπάνω οι δύο εφαρμογές υγρών στην κορυφή ενός θερμοκηπίου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τόσο για μείωση την θερμοκρασίας κατά τους θερινούς μήνες αλλά και για την αύξηση της παραγωγής σε σχέση με ένα σύστημα φυσικού εξαερισμού.

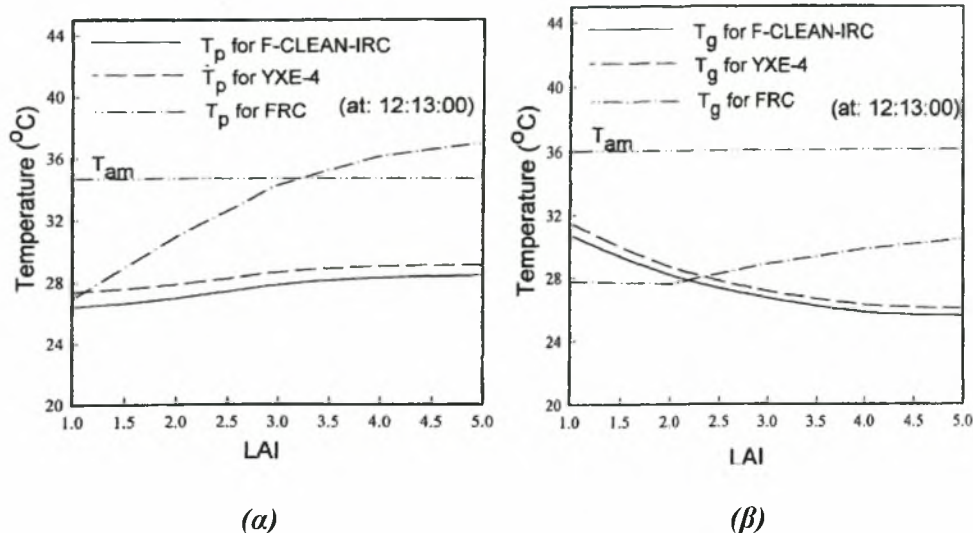
Οι Abdel-Ghany et al. (2001) σύγκριναν και αξιολόγησαν μια εφαρμογή όπου διοχετεύεται 1,5% CuSO<sub>4</sub> και νερό στην οροφή του θερμοκηπίου ανάμεσα σε δύο στρώματα πολυανθρακικού (fluid roof cover-FLC) σε σχέση με δύο πλαστικά υλικά κάλυψης (F-CLEAN-IRC και YXE-4) που έχουν την ιδιότητα να ανακλούν την NIR θερμοκρασία. Η FLC μέθοδος με την σειρά της μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αυτή για την ψύξη του θερμοκηπίου σε θερμά κλίματα καθώς δεν απορροφά ακτινοβολίες πέρα από το ενεργό φωτοσυνθετικό φάσμα λόγω του υγρού που διοχετεύει. Η αξιολόγηση έγινε με βάση την δέσμευση μη φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας (NPAR,

εμπεριέχεται η NIR), την θερμοκρασία του αέρα και την δέσμευση της PAR ακτινοβολίας. Όσον αφορά τον παράγοντα NPAR, τα πλαστικά φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν απορροφούν πάρα πολύ περισσότερο σε σχέση με την μέθοδο FLC. Από την άλλη όσον αφορά την PAR ακτινοβολία, η FLC μέθοδος υστερεί σε σχέση με τα πλαστικά κάλυψης όπου δεν επηρεάζεται σημαντικά η φωτοσυνθετική δραστηριότητα.



**Γράφημα 13:** (α) Η απορρόφηση της NPAR ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας ανάλογα το υλικό ή το υγρό που χρησιμοποιείται. (β) Η απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας ανάλογα το υλικό κάλυψης ή το υγρό που χρησιμοποιείται (Abdel-Ghany et al., 2001).

Τέλος, αν παρατηρήσουμε το αποτέλεσμα στην ψύξη του θερμοκηπίου σε μια ζεστή ημέρα με  $T=36\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε  $\text{LAI} > 2$  η εφαρμογή των πλαστικών κάλυψης δίνει 1-8  $^{\circ}\text{C}$  ( $T_{\text{φυτού}}$ ) και 1-4 ( $T_{\text{εδάφους}}$ ) χαμηλότερη θερμοκρασία από την αντίστοιχη μέθοδο FLC (Γράφημα 14).



**Γράφημα 14:** (α) Η διακύμανση της θερμοκρασίας φυτού σε σχέση το LAI ανάλογα το υλικό κάλυψης ή υγρό που χρησιμοποιείται. (β) Η διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους σε σχέση το LAI ανάλογα το υλικό κάλυψης ή υγρό που χρησιμοποιείται. Ως  $T_{am}$  ορίζεται η ατμοσφαιρική εξωτερική θερμοκρασία (Abdel-Ghany et al., 2001).

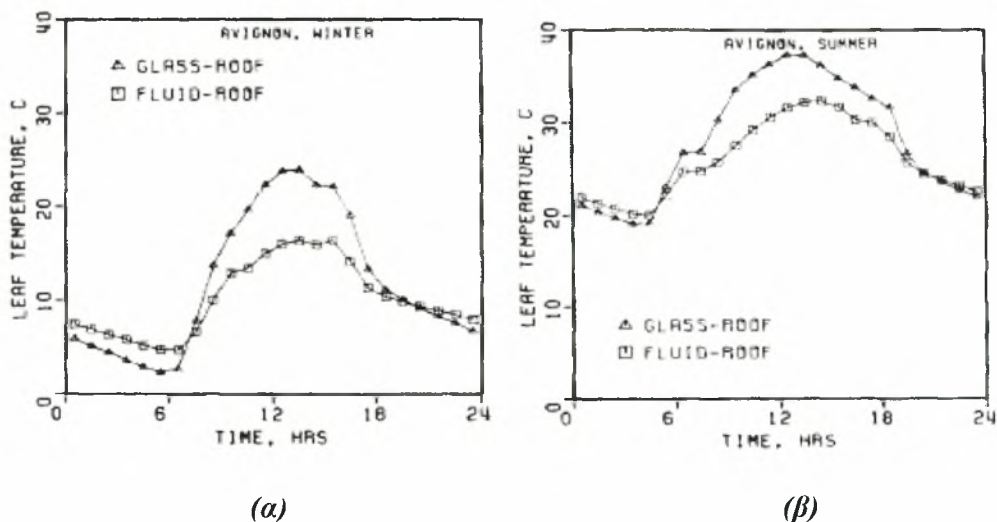
Έτσι, οι Abdel-Ghany et al. (2001) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα πλαστικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν σε συνδυασμό με ένα σύστημα φυσικού εξαερισμού μπορούν να εφαρμοστούν σε πολύ θερμά κλίματα.

Οι Van Bavel et al. (1980) χρησιμοποίησαν εφαρμογή υγρό διάλυμα  $CaCl_2$  ανάμεσα σε διπλό πολυκαρβονικό υλικό κάλυψης στην οροφή του θερμοκηπίου. Το υγρό διάλυμα είχε την δυνατότητα να ανακυκλώνεται από την οροφή προς μια δεξαμενή και το αντίθετο. Έτσι, υπήρχε η δυνατότητα να μειώσουμε την μη επιθυμητή εισαγόμενη ακτινοβολία που υπερθερμαίνει τα φυτά (NIR) και έτσι να δροσιστεί το θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της ημέρα. Για αυτό το σκοπό, μεταξύ άλλων υπολογίστηκαν η θερμοκρασία αέρα και φύλλου, το ποσοστό της NIR ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο αλλά και το ποσοστό της PAR ακτινοβολία γιατί δεν είναι επιθυμητό να μειωθεί αντίστοιχα και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού. Οι παρατηρήσεις καταγράφηκαν τόσο καλοκαίρι που καταγράφονται υψηλές θερμοκρασίες αλλά και τον χειμώνα. Η σύγκριση έγινε με μάρτυρα γυάλινο θερμοκήπιο και περιοχή πειράματος ήταν η νοτιοδυτική Γαλλία αλλά και το νοτιοκεντρικό Τέξας.

Όσον αφορά την PAR ακτινοβολία είχαμε ένα ικανοποιητικό ποσοστό εισαγωγής της μέσα στο θερμοκήπιο της τάξεως του 66% έναντι 75% του μάρτυρα. Σε συνδυασμό με την εισαγωγή της NIR ακτινοβολίας που ήταν 0% έναντι 75% του

μάρτυρα τα αποτελέσματα που αφορούν την μετάδοση της ακτινοβολίας ήταν πολύ ενθαρρυντικά για τη εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε .

Οι παρατηρήσεις που αφορούν την θερμοκρασία έγιναν όπως προαναφέρθηκε τόσο το καλοκαίρι (Ιούνιο) αλλά και τον χειμώνα (Φεβρουάριο) και τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στο παρακάτω γράφημα.



**Γράφημα 15:** Διακύμανση των θερμοκρασιών φύλλου στο γυάλινο θερμοκήπιο και το θερμοκήπιο που εφαρμόστηκε  $\text{CuCl}_2$  κατά την διάρκεια μιας ημέρας τον χειμώνα (α) και το καλοκαίρι (β) στην περιοχή της Νοτιοδυτικής Γαλλίας (Van Bavel et al., 1980).

Παρατηρώντας το γράφημα 15 βλέπουμε ότι η εφαρμογή του υγρού  $\text{CuCl}_2$  στην περιοχή της νοτιοδυτικής Γαλλίας, ναι μεν είναι αποτελεσματική κατά την διάρκεια την διάρκεια του καλοκαιριού έναντι του απλού γυάλινου θερμοκηπίου μειώνοντας την θερμοκρασία ως και περίπου  $7^\circ\text{C}$ , το χειμώνα όμως έχει αρνητικά αποτελέσματα καθώς έχουμε μια ανεπιθύμητη ψύξη ως και περίπου  $10^\circ\text{C}$  σε σχέση με το γυάλινο θερμοκήπιο (από περίπου  $22$  στους  $12^\circ\text{C}$ ). Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και για την άλλη περιοχή που μελετήθηκε το σύστημα (Νοτιοκεντρικό Τέξας).

Ο Aberkani (2009) μελέτησε την εφαρμογή αφρού ανάμεσα σε δύο φύλλα πολυαιθυλενίου στο Καναδά προκειμένου να διαχειριστεί την ακτινοβολία κατά την διάρκεια του χειμώνα για θέρμανση και κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, σε θερμές ημέρες για ψύξη. Το πείραμα έγινε στον Καναδά και εφαρμόστηκε σε δύο περιοχές. Στην μια περιοχή (Quebec City) μελετήθηκε διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου με αφρό ανάμεσα του σε σχέση με θερμοκήπιο-μάρτυρα που είχε μόνο διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ο αφρός ήταν έρεε συνέχει στην

κοιλότητα τον δύο φύλλων ως ένας τρόπος σκίασης ενώ το χειμώνα έρεε μόνο το βράδυ ως ένας τρόπος μόνωσης. Σ' αυτήν την περίπτωση η καλλιέργεια που αξιολογήθηκε ήταν της τομάτας. Στην δεύτερη με σύστημα σκίασης και ένα με τον αφρό μόνο ως μάρτυρα. Οι μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν την είσοδο της PAR και NIR ακτινοβολία, την ανάπτυξη των καλλιεργειών και το μικροκλίμα στο θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά την διάρκεια του χειμώνα η εφαρμογή του αφρού γενικά έδειξε μια αύξηση 5% στην PAR ακτινοβολία και μια αύξηση 18% στην NIR ακτινοβολία καθώς αυτή καταφέρνει και εισέρχεται στο θερμοκήπιο το πρωί που δεν ρέει ο αφρός και εγκλωβίζεται ως θερμότητα το βράδυ που ρέει ο αφρός στις κοιλότητες του υλικού κάλυψης. Κατά την διάρκεια θερμών ημερών ο αφρός ως μέθοδος έδειξε μια μείωση στην θερμοκρασία 2-6°C (με 40-60% σκίαση) καθώς η συνεχής ροή του δεν επέτρεπε μεγάλο μέρος της NIR ακτινοβολίας να εισέρχεται. Ακόμα ο αφρός ως μέθοδος σκίασης είχε ως αποτέλεσμα και την αύξηση της υγρασία από 5-12% και παρουσίασε μικρότερο φυσιολογικό στρές στα φυτά. Τέλος, το ενεργειακό απόθεμα που παρέμενε το βράδυ στο θερμοκήπιο με χρήση αφρού όλη την χρονιά ήταν αυξημένο από 33% ως και 64%. Έτσι, σύμφωνα με τα αποτελέσματα ο Aberkani έδειξε ότι η εφαρμογή αφρού κατά αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να δώσει λύσεις στην ψύξη των θερμοκηπίων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού αλλά ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθεί και το χειμώνα με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει μόνωση.



**Εικόνα 12:** Αριστερά διακρίνουμε το θερμοκήπιο εφαρμογής ενώ δεξιά το αφρό που έχει εφοδιαστεί ανάμεσα στα δύο φύλλα πολυαιθυλενίου (Aberkani, 2009).

Όμοια, οι Shamim and McDonald (1995) σε πειράματα που έκαναν βρήκαν ότι αν τοποθετηθεί 25 χιλιοστά αφρός στα τοιχώματα του θερμοκηπίου τότε μειώνεται η θερμοκρασία στον χώρο του θερμοκηπίου αρκετά γιατί μειώθηκε αντίστοιχα και η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο 50%.

## 2.5 Μέθοδοι δροσισμού θερμοκηπίου με έμφαση στην ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Ο Garzoli (1989) δήλωσε ότι ο δροσισμός σε υποτροπικές και τροπικές περιοχές στο καλοκαίρι μπορεί να επιτευχθεί με καλά αποτελέσματα με ένα φυσικό εξαερισμό, εξαεριστήρες και την παρουσία ενός σκίαστρου που ανακλά την θερμική ακτινοβολία.

Ο Meca et al. (2004) για να περιορίσουν τις υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων στην περιοχή της Αλμερίας σύγκριναν τρεις διαφορετικούς μεθόδους δροσισμού σε καλλιέργεια πιπεριάς, το σύστημα ομίχλης, σύστημα με θερμοκουρτίνα και εφαρμογή λεύκανσης. Για το σκοπό αυτό έγινε καταγραφή θερμοκρασιών και υγρασίας με ψυχρόμετρο στο κάθε θερμοκήπιο με την εκάστοτε εφαρμογή αλλά και εξωτερικά. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι ενδείξεις των θερμοκρασιών όπου όλα τα συστήματα παρουσιάζουν πιο θερμό κλίμα σε σχέση με το εξωτερικό καθώς η θερμότητα εγκλωβίζεται στον χώρο του θερμοκηπίου. Ωστόσο, μεταξύ των συστημάτων την καλύτερη ψύξη την επιτυγχάνουμε με το σύστημα της ομίχλης ενώ η εφαρμογή με θερμοκουρτίνα δημιουργεί το πιο θερμό περιβάλλον στον χώρο του θερμοκηπίου.

Εφαρμογή	Ένδειξη θερμοκρασίας(°C)
Εξωτερικά	20.9 ± 5.4
Σύστημα ομίχλης	22.4 ± 4.4
Σύστημα θερμοκουρτίνας	23.2 ± 5.6
Λεύκανση	22.6 ± 4.9

*Πίνακας 13: Παρατηρήσεις θερμοκρασίας εξωτερικά αλλά και σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογή (Meca et al., 2004).*

Αντίστοιχα, στον πίνακα 14 παρατηρούμε τις ενδείξεις της υγρασίας στον χώρο των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά. Στην περίπτωση της υγρασίας εξωτερικά παρατηρείται το μικρότερο ποσοστό ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασία καταγράφεται λόγω του φαινομένου της ομίχλης που δημιουργείται στην εφαρμογή που έχουμε το σύστημα της ομίχλης.

Εφαρμογή	Ένδειξη υγρασίας(%)
Εξωτερικά	59.3 ± 10.6
Σύστημα ομίχλης	75.9 ± 8.1
Σύστημα θερμοκουρτίνας	69.2 ± 14.6
Λεύκανση	70.6 ± 12.5

*Πίνακας 14: Παρατηρήσεις υγρασίας εξωτερικά αλλά και σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογής (Meca et al., 2004).*



Εκτός από κλιματικές παρατηρήσεις πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις που αφορούσαν την είσοδο της PAR ακτινοβολίας στα θερμοκήπια. Την μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας την παρουσίασε το σύστημα της ομίχλης με 58%, ακολούθησε η εφαρμογή λεύκανσης με 28% ενώ τελευταίο έρχεται το σύστημα της θερμοκουρτίνας με απορρόφηση μόλις 21%.

Τέλος, έγινε και η εκτίμηση της παραγωγής κάθε εφαρμογής. Επίσης, ανάλογα το σύστημα που εφαρμόστηκε έγινε και ποιοτική καταγραφή της παραγωγής σε εμπορεύσιμα ή όχι προϊόντα. Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν μπορούμε να τα διακρίνουμε στο πίνακα και παρατηρούμε ότι την υψηλότερη παραγωγή την παρουσίασε το σύστημα της ομίχλης αλλά το αρνητικό είναι ότι σημαντικό μέρος του τελικού προϊόντος είναι μη εμπορεύσιμο, έτσι την μεγαλύτερη παραγωγή εμπορεύσιμου προϊόντος την παρουσιάζει το θερμοκήπιο που εφαρμόστηκε λεύκανση.

Εφαρμογή	Συνολική παραγωγή(kg/m <sup>2</sup> )	Εμπορεύσιμη παραγωγή	Μη εμπορεύσιμη παραγωγή
Σύστημα ομίχλης	8,7	6,5	2,2
Σύστημα θερμοκουρτίνας	7,4	6,7	0,7
Λεύκανση	8	7,1	0,9

*Πίνακας 15: Συνολική, εμπορεύσιμη και μη εμπορεύσιμη παραγωγή σε κάθε θερμοκήπιο εφαρμογής (Meca et al., 2004).*

Έτσι, οι Meca et al. (2004) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μεταξύ των τριών μεθόδων που συγκρίθηκαν το πιο αποτελεσματικό για τον δροσισμό του θερμοκηπίου είναι το σύστημα της ομίχλης. Ωστόσο, με την χρήση του συστήματος παρατηρείται μεγάλη υποβάθμιση στην ποιότητα του τελικού προϊόντος σε σχέση με τις άλλες μεθόδους δροσισμού.

Οι Al-Helal και Al-Musalam (2000) μελέτησαν την χρήση της σκίασης ως μέθοδο ψύξης του θερμοκηπίου και την επίδραση της στην θερμοκρασία αέρα, στην υγρασία, στην υδατοκατανάλωση και στην ηλεκτρική κατανάλωση για ψύξη. Για το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν πέντε θερμοκήπια, τα τέσσερα με σκίαση 55%, 65%,70% και 80% αντίστοιχα με πράσινο πλαστικό δίχτυ ενώ το πέμπτο δεν είχαν εφαρμόσει σκίαση για να χρησιμοποιηθεί ως μάρτυρας. Σ' όλα τα θερμοκήπια υπήρχαν σύστημα ομίχλης και υγρής παρειάς για ψύξη. Το πείραμα έγινε τόσο το καλοκαίρι για να δούνε την δυνατότητες δροσισμού σε θερμές συνθήκες αλλά και φθινόπωρο για να δούνε την συμπεριφορά του υλικού σε στιγμές που δεν είναι απαραίτητος ο δροσισμός. Όσον αφορά τα αποτελέσματα, δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική

διαφορά στο χαρακτηριστικό της θερμοκρασίας αέρα. Αντίθετα, τα θερμοκήπια με σκίαση παρουσίασαν στατιστικά σημαντική υψηλότερη υγρασία σε σχέση με τον μάρτυρα. Στο θερμοκήπιο που εφαρμόστηκε σκίαση 80% είχαμε μείωση στην υδατοκατανάλωση 16% και στην ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας 19,3 %,ενώ για το θερμοκήπιο με 70% είχαμε μείωση στην ηλεκτρική ενέργεια στο 12,7%. Ωστόσο, στην υδατοκατανάλωση και στην ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας δεν είχαμε στατιστικά σημαντική διαφορά. Σ' αυτή την περίπτωση έδειξαν ότι μπορεί να υπάρχει λιγότερη κατανάλωση σε νερό και ενέργεια στο θερμοκήπιο με σκίαση αλλά παρ' όλα αυτά δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Οι Shukla et al. (2008) μελέτησαν τη εφαρμογή κουρτίνας για τον δροσισμό του θερμοκηπίου σε σχέση με σύστημα υγρής παρειάς. Βρέθηκε ότι κατά τον μήνα Μάιο το θερμοκήπιο που στήριζε τον δροσισμό του στην χρήση κουρτίνας έδειξε ως 5-8 °C χαμηλότερες θερμοκρασίες από το θερμοκήπιο με υγρή παρειά.

Ο Ali et al. (1990) σχεδίασε ένα θερμοκήπιο που θα μπορέσει να περιορίσει τις θερμές συνθήκες στο Κουβέιτ, ελέγχοντας την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην οροφή του θερμοκηπίου τοποθετήθηκε πλέγμα που είχε την ικανότητα να προκαλεί σκίαση 55%. Το καλό ήταν ότι το στρώμα σκίασης αυτό ήταν μετακινούμενο και μπορούσε να αλλάζε πορεία όταν οι συνθήκες το επέτρεπαν. Ακόμα το θερμοκήπιο ήταν εφοδιασμένο με ανεμιστήρες ενώ οι τοίχοι είχαν την εξής κατασκευή, άμμο-τσιμέντο-πολυαιθυλένιο-τσιμέντο-άμμος. Τέλος, τα παράθυρα άνοιγαν μόνο τον χειμώνα.

Οι Baille et al. (2000) μελέτησαν την επιρροή της λεύκανσης στο μικρόκλιμα του θερμοκηπίου σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς. Μετρήθηκαν παράμετροι όπως το μικρόκλιμα, η ηλιακή ακτινοβολία, η διαπνοή των φυτών και η κατανάλωση της καλλιέργειας σε νερό. Η μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώθηκε από το 0,62 στο 0,31. Έτσι, οι διαφορές σε θερμοκρασία και υγρασία που καταγραφίστηκαν ήταν σημαντικές. Η κατανάλωση της καλλιέργειας σε νερό ήταν σημαντικά λιγότερη μετά την λεύκανση. Γενικά, οι Baille et al. (2000) καταλήγουν ότι η λεύκανση είναι ένας φθηνός και αποτελεσματικός τρόπος δροσισμού το καλοκαίρι.

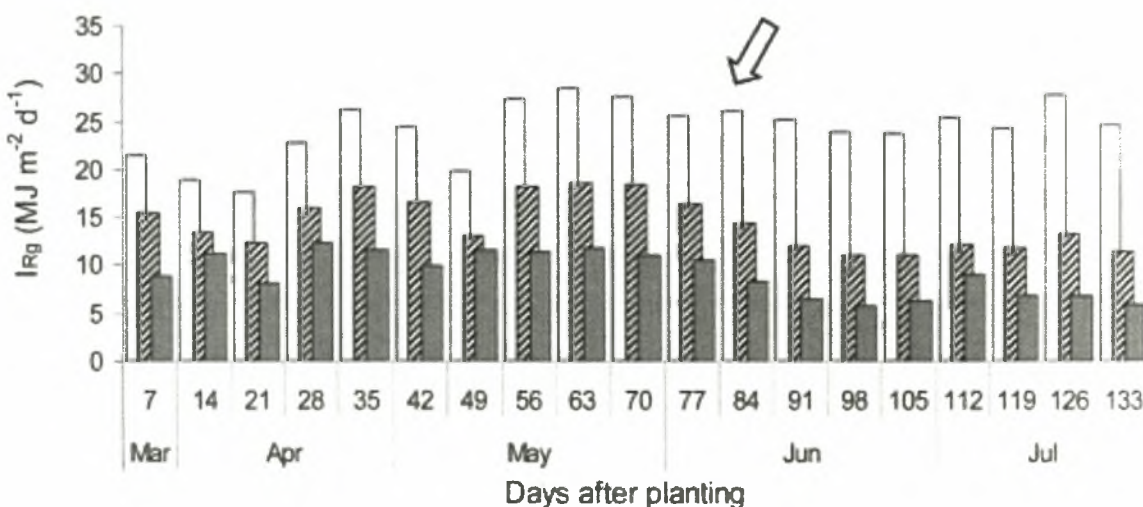
Οι Cohen και Fucks (1999) μελέτησαν την επίδραση ενός ειδικά διαμορφωμένου δίχτυ σκίασης σε καλλιέργεια πορτοκαλιάς και παρατήρησαν ότι μπορεί μεν να δέχεται το δένδρο λιγότερη PAR ακτινοβολία ωστόσο αφομοιώνει περισσότερο CO<sub>2</sub> και υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα. Έτσι, κατέληξαν στο

συμπέρασμα ότι η σκίαση βοηθά σε πιο αποτελεσματική φωτοσυνθετική δραστηριότητα.

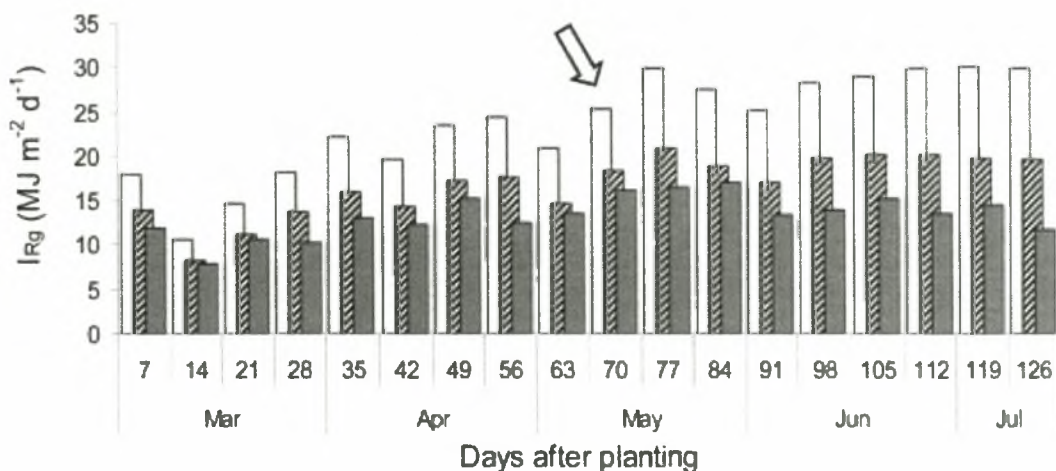
Οι Garcia et al. (2011) μελέτησαν για τον δροσισμό του θερμοκηπίου σύστημα ομίχλης και σκίαστρα. Στο πρώτο πείραμα σύγκριναν ένα σταθερό σκίαστρο (R) με ένα κινούμενο και ρυθμιζόμενο από την θερμοκρασία (S). Σε δεύτερο πείραμα σύγκριναν ένα σκίαστρο που μετακινείται αυτόματα από ρυθμίσεις θερμοκρασίας και ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με ένα σύστημα ομίχλης. Προέκυψαν αποτελέσματα απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και για τα δύο πειράματα και φαίνονται στα παρακάτω σχήματα.

Στην σύγκριση μεταξύ R και S1 στο σχήμα 8 παρατηρούμε ότι το θερμοκήπιο με σταθερό σκίαστρο (μπάρα γκρι με γραμμές) απορροφά περισσότερη ακτινοβολία από το αντίστοιχο με S1 σκίαστρο (γκρι μπάρα).

Στην σύγκριση μεταξύ F και S2 στο σχήμα 9 παρατηρούμε ότι το θερμοκήπιο με σύστημα ομίχλης (μπάρα γκρι με γραμμές) απορροφά περισσότερη ακτινοβολία από το αντίστοιχο με S2 σκίαστρο (γκρι μπάρα).



**Σχήμα 8:** Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, εξωτερικά με άσπρες μπάρες, στο R με γκρι και γραμμές και στο S1 με γκρι μπάρες (Garcia et al., 2010).

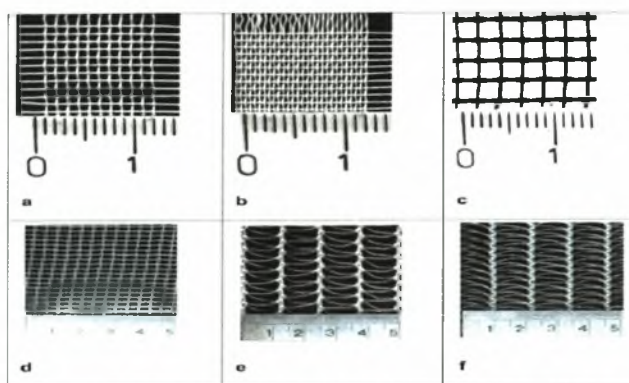


**Σχήμα 9:** Απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας, εξωτερικά με άσπρες μπάρες, στο F με γκρι και γραμμές και στο S2 με γκρι μπάρες (García et al., 2010).

Ακόμα, προέκυψαν αποτελέσματα για το μικροκλίμα και συγκεκριμένα για την θερμοκρασία. Το σύστημα με R παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες που φτάνουν ως 35 °C ενώ το σύστημα S1 χαμηλότερες και από 30 °C. Όσον αφορά την σύγκριση F με S2 παρουσίασαν θερμοκρασίες 30 °C και 25 °C αντίστοιχα.

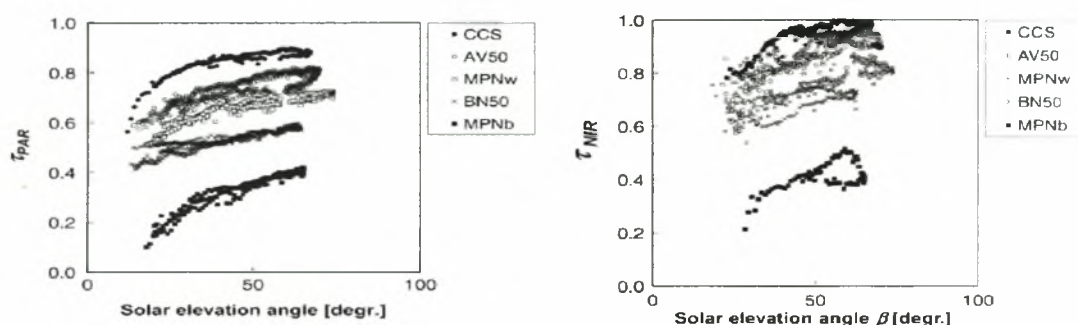
Έτσι, καταλήγουμε ότι για δροσισμό του θερμοκηπίου έναντι των άλλων συστημάτων το σταθερό σκίαστρο έχει τα χειρότερα αποτελέσματα όσο αφορά την θερμοκρασία. Η λύση που προέκυψαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα ήταν η μέθοδος με σκίαστρο που μετακινείται ανάλογα την θερμοκρασία και την ηλιακή ακτινοβολία καθώς παρουσίασε την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε δροσισμό αλλά και ικανοποιητική απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας.

Οι Moller et al. (2010) μελέτησε επτά διαφορετικά σκίαστρα και την μετάδοση που παρουσιάζουν σε παγκόσμια, PAR και NIR ακτινοβολία. Οι μετρήσεις της μετάδοσης έγιναν με αισθητήρες. Για τον σκοπό του πειράματος εξετάστηκαν πέντε υφασμάτινα σκίαστρα που ορίζονται ως εξής: MPNw (άσπρο), BN50w (άσπρο), CCS (κρυστάλλινο), AV50 (μαργαριτάρι, ως ενάντια στους ιούς υλικό) και LENO screen (λευκό). Ακόμα, μελετήθηκαν και άλλα δύο πλεκτά σκίαστρα, το ένα με 10% πλέγμα και το άλλο με 20%. Για τον προσδιορισμό της σκέδασης της ηλιακής ακτινοβολίας ένα υλικό MPN βάφτηκε μαύρο (MPNb).



**Εικόνα 13:** Τα διάφορα σκίαστρα που μελετήθηκαν (Moller, 2010).

Όσον αφορά την μετάδοση της PAR και NIR ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων ανάλογα με το σκίαστρο που χρησιμοποιήθηκε απεικονίζονται χαρακτηριστικά στα παρακάτω σχήματα τα αποτελέσματα από τα 4 διαφορετικά σκίαστρα.



**Σχήμα 10:** Αριστερά τα αποτελέσματα της απορρόφησης της PAR και δεξιά της NIR ακτινοβολίας (Moller, 2010).

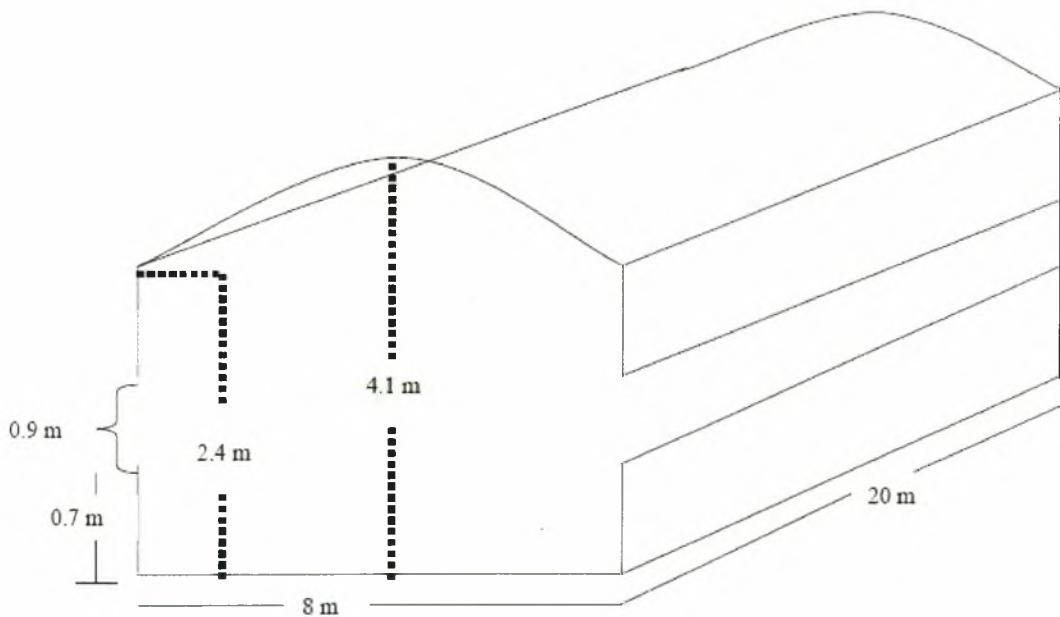
Σύμφωνα με την εργασία του Moller et al. (2010) συμπεραίνουμε ότι σκίαστρα λειτουργούν με ανάλογο τρόπο τόσο στην PAR όσο και στην NIR ακτινοβολίας, καθώς όποιο σκίαστρο παρουσιάζει μεγαλύτερη διαπερατότητα στην φωτοσυνθετική ακτινοβολία παρουσιάζει αντίστοιχα την μεγαλύτερη διαπερατότητα για την έγγυς υπέρυθρη, όμοια ίδια σειρά ισχύει για όλα τα σκίαστρα που μελετήθηκαν.

### **Κεφάλαιο 3 . Πειραματικός Εξοπλισμός**



### 3.1 Θερμοκήπιο

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε θερμοκήπια που διαθέτει το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα της σχολής, στο Βελεστίνο Νομού Μαγνησίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 44'$  και γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ} 79'$ , το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από το Βόλο. Τα δύο θερμοκήπια ήταν τροποποιημένα τοξωτά έκτασης  $160 \text{ m}^2$  το καθένα με μήκος 20 m, πλάτος 8 m ύψος κορυφιά 4.1 m και ύψος ορθοστάτη 2.10 m. Ο σκελετός των θερμοκηπίων ήταν από γαλβανισμένο χάλυβα (Νικολάου, 2010). Στο έδαφος του θερμοκηπίου είχε τοποθετηθεί αδιαφανές διπλής όψεως ασπρόμαυρο υλικό για την ανάκλαση την ακτινοβολία από το έδαφος στα φυτά αλλά και την μη ανάπτυξη ασθενειών και εχθρών. Τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής: α) για το ένα θερμοκήπιο φύλλο πολυαιθυλενίου με ιδιότητα IR-NIR-PE υλικό κάλυψης και β) για το άλλο θερμοκήπιο IR-PE καθώς χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας. Και τα δύο φύλλα PE είχαν μικρή διαπερατότητα στην μεγάλη μήκους (IR) ακτινοβολία.



**Εικόνα 14:** Η κατασκευαστική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε.





*Εικόνα 15: Άποψη του θερμοκηπίου του μάρτυρα με μπλε βέλος και του θερμοκηπίου εφαρμογής με πράσινο.*



*Εικόνα 16: Το θερμοκήπιο εφαρμογής του Super thermic + high NIR reflection υλικού κάλυψης*

### **3.2 Το υλικό κάλυψης**

Τα δύο υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν για να μελετήσουν την μετάδοση της NIR ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου εγκαταστάθηκαν ήταν από

πολυαιθυλένιο και εγκαταστάθηκαν στις 30/09/2009. Τα πλαστικά αυτά παρήχθησαν την Πλαστικά Κρήτης ABEE και ήταν τα εξής:

1. Super thermic + high NIR reflection (IR-NIR-PE): Το οποίο έχει την ιδιότητα την οποία μελετάμε δηλαδή μικρή περατότητα στην θερμική ακτινοβολία και να ανακλά μεγάλο μέρος της NIR ακτινοβολίας.
2. Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (IR-PE): Χωρίς την παραπάνω ιδιότητα καθώς χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας.

### 3.3 Επιλογή Φυτού

Η καλλιέργεια η οποία μελετήθηκε ήταν φυτό ντομάτας *Lycopersicon esculentum*, var. Lorelay. Το υβρίδιο αυτό είναι τύπου cluster, αυτογονιμοποιούμενο, απεριόριστης ανάπτυξης, με καρπό μεγάλης διάρκειας. Τα φυτά προμηθεύτηκαν από την εταιρία AGRIPANT και ήταν φυτρωμένα σε κύβους πετροβάμβακα GRODAN.



*Εικόνα 17: Άποψη καλλιέργειας τομάτας στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια του πειράματος.*

### 3.4 Εγκατάσταση Καλλιέργειας

Η τελική μεταφύτευση στα θερμοκήπια έγινε 02/02/2009. Σε κάθε θερμοκήπιο υπήρχαν τέσσερις διπλές γραμμές φύτευσης που απείχαν μεταξύ τους 1,5 m. Όσον αφορά τις αποστάσεις στην διπλή γραμμή τα φυτά τα φυτά απείχαν 0,75 m επάνω στην

γραμμή και 0,35 μεταξύ των γραμμών. Έτσι διαμορφώθηκε ένας πληθυσμός περίπου στα 2,1 φυτά/m<sup>2</sup>.

### 3.5 Καλλιεργητική τεχνική

#### 3.5.1 Υποστύλωση

Για την υποστύλωση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν σπάγκος με κλίπ που εφάρμοζαν στα οριζόντια σύρματα της οροφής του θερμοκηπίου. Έτσι, η μεταχείριση του κατεβάσματος των φυτών όταν μεγάλωνε το ύψος τους ήταν απλή καθώς ξετυλιγόταν απλά ο σπάγκος.



*Εικόνα 18: Κλίπ με τυλιγμένο σπάγκο ως τρόπος υποστύλωσης της καλλιέργειας*

#### 3.5.2 Κλάδεμα

Στα θερμοκήπια αφαίρεση πλάγιων βλαστών γινόταν κάθε βδομάδα προκειμένου να επιτρέπουμε τον καλύτερο φωτισμό του φυτού με την παρουσία τριών φύλλων ανά σταυρό. Ακόμη έγινε και ένα έντονο κλάδεμα στην βδομάδα από 16/12/2009 ως 23/12/2009 διότι η καλλιέργεια της τομάτας είχε προσβληθεί από περονόσπορο και έπρεπε να απομακρυνθούν τα προσβεβλημένα στελέχη.

#### 3.5.3 Γονιμοποίηση καλλιέργειας τομάτας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το υβρίδιο τομάτας που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτογονιμοποιούμενο και έτσι σε κάθε θερμοκήπιο εγκαταστάθηκε κυψέλη του εντόμου *bombus terrestris*.



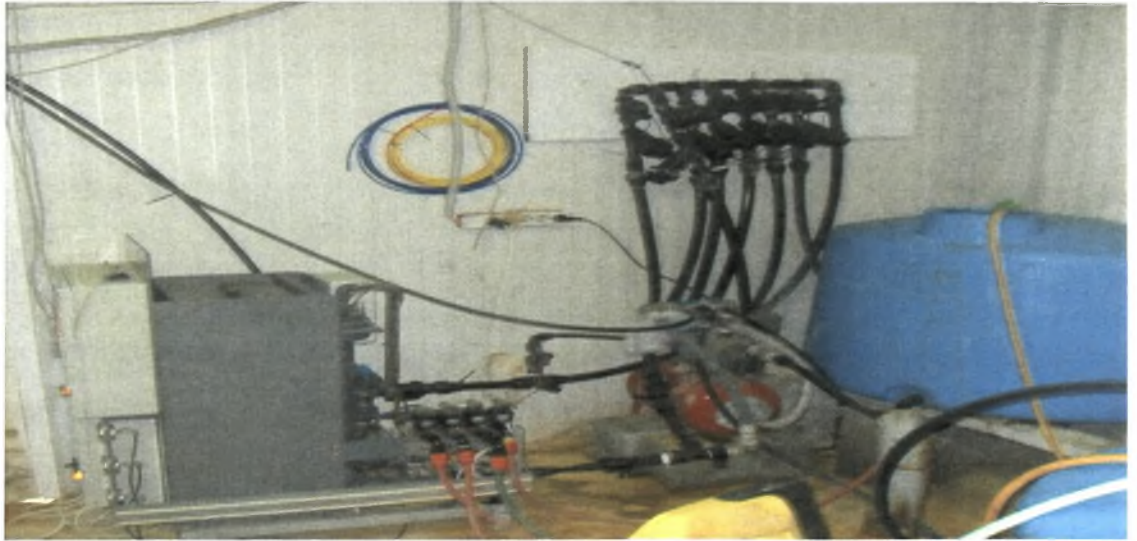
*Εικόνα 19: Κοψέλη εντόμου bombus terrestris*

### 3.5.4 Άρδευση και Λίπανση καλλιέργειας

Για την άρδευση και την λίπανση της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε στάγδην σύστημα με παροχή σταλαχτών  $1 \text{ Lh}^{-1}$ . Για την παρασκευή των θρεπτικών διαλυμάτων χρησιμοποιήθηκε ειδικό λογισμικό σε Η/Υ, δοσομετρικές αντλίες που ρυθμίζουν τις δοσολογίες κάθε στοιχείου από τις δεξαμενές των λιπασμάτων και του νερού, πεχάμετρο που υπολόγιζε το pH (θέλαμε 5,5 περίπου pH) και αγωγιμόμετρα για τον υπολογισμό την αγωγιμότητας του διαλύματος. Η εφαρμογή έγινε με ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με το απορρέων διάλυμα να μην χρησιμοποιείται.

<u>Στοιχείο</u>	<u>Συγκέντρωση (ppm)</u>
$\text{K}^+$	280
Mg	46
$\text{SO}_4^-$	40
$\text{PO}_4^-$	40
$\text{Ca}^{2+}$	164
$\text{NO}_3^-$	233

*Πίνακας 16: Σύσταση θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε.*



*Εικόνα 20: Η μονάδα λίπανσης με σύστημα Venturi.*

### 3.5.5 Θέρμανση καλλιέργειας

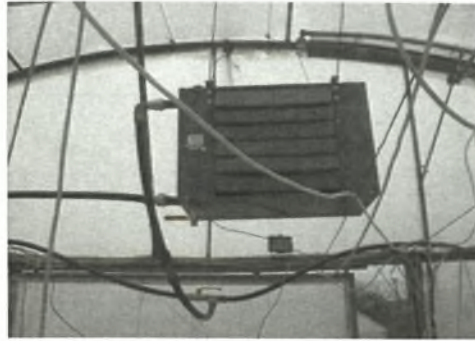
Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποιήθηκαν 2 καυστήρες πετρελαίου με ονομαστική ισχύ 48.8 kW ο κάθε ένας. Η θέρμανση γινόταν με αερόθερμα που σκοπό έχουν κυρίως την ρύθμιση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και με εύκαμπτους σωλήνες διανομής διαμέτρου 25 mm που είχαν τοποθετηθεί επάνω στο έδαφος, κοντά στα φυτά προκειμένου να ρυθμίζουν κυρίως την θερμοκρασία των φυτών. Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες είναι υψηλής θερμοκρασίας, μέχρι 45°C και η μετάδοση της θερμότητας του γίνεται με αγωγιμότητα προς το έδαφος και τις ρίζες των φυτών, με ακτινοβολία προς το υπέργειο μέρος των φυτών και με συναγωγή προς το περιβάλλον.



(α)



(β)



(γ)

*Εικόνα 21: Απεικονίζονται ο θερμοστάτης (α), το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (β) καθώς και το αερόθερμο (γ).*

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται μέσω των Data loggers με βάση τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου:

- Το αερόθερμο αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14°C και σταματά στους 14.8°C.
- Η επιδαπέδια θέρμανση αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.8°C και σταματά στους 15.3 °C.

Από 7/12/2009 ο έλεγχος τροποποιείται:

- Το αερόθερμο αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.5°C και σταματά στους 15°C.
- Η επιδαπέδια θέρμανση αρχίζει να λειτουργεί στην θερμοκρασία των 14.5°C και σταματά στους 15 °C.

### 3.5.6 Ψύξη θερμοκηπίου

Για την ψύξη του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε σύστημα φυσικού αερισμού με άνοιγμα των πλαϊνών και της οροφής παραθύρων. Η λειτουργία γινόταν αυτόματα μέσω Data loggers που είχαν ρυθμιστεί με βάση θερμοκρασίες-στόχους που θέλαμε να υπάρχουν στο θερμοκήπιο σε κάθε περίοδο ως εξής:

- Το παράθυρο οροφής αρχίζει να ανοίγει στους 18 °C και είναι τελείως ανοιχτό στους 26 °C.



**Γράφημα 16:** Το % ανοίγματος στα παράθυρα οροφής ανάλογα την θερμοκρασία (Μπαρτζιάνας, 1999).

- Τα παλινά παράθυρα αρχίζουν να ανοίγουν στους 22 °C και είναι τελείως ανοιχτά στους 28 °C.



**Γράφημα 17:** Το % ανοίγματος στα παλινά παράθυρα ανάλογα την θερμοκρασία (Μπαρτζιάνας, 1999).

### 3.6 Επιλογή φυτών-παρατηρήσεων

Προκειμένου να μελετηθούν οι ιδιότητες του Super thermic + high NIR reflection πραγματοποιήθηκαν αγρονομικές και κλιματικές μετρήσεις. Το δείγμα του πληθυσμού που εξετάστηκε ήταν τυχαίο δείγμα και έτσι ορίστηκαν 8 φυτά έπειτα από τυχαιοποίηση και επισημάνθηκαν με καρτελάκι που ανέγραφε αριθμούς από το 1 ως το 8. Έγιναν προσπάθειες όλες οι μεταχειρίσεις να είναι οι ίδιες στα φυτά και των δύο θερμοκηπίων έτσι ώστε να μην έχουμε πειραματικό σφάλμα λόγω τυχαία παραλλακτικότητας. Τέλος, να αναφέρουμε ότι φυτά επιλέχθηκαν μόνο από τις εσωτερικές σειρές για να μην έχουμε σφάλμα λόγω των περιθωρίων.



*Εικόνα 22: Φυτό παρατηρήσεων επισημασμένο με χάρτινο καρτελάκι και αριθμημένο*

### 3.7 Παράγων περονόσπορος

Κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές υγρασίας και χαμηλές τιμές θερμοκρασίας. Αυτές οι συνθήκες ήταν ικανές να εμφανιστούν συμπτώματα περονόσπορου τόσο στο θερμοκήπιο της εφαρμογής όσο και στο μάρτυρα σε μικρότερο βαθμό όμως. Συγκεκριμένα, ο περονόσπορος που προσβάλλει την ντομάτα είναι *Phytophthora infestans* και εμφανίζεται κυρίως στα φύλλα σε αρχικό στάδιο αλλά στην συνέχεια μπορεί να επεκταθεί στα καρποφόρα όργανα του φυτού όπως έγινε και στην περίπτωση των θερμοκηπίων που μελετήσαμε. Τα κύρια συμπτώματα που παρατηρήθηκαν ήταν καστανές ακανόνιστες περιοχές στα φύλλα και στους καρπούς. Για την αντιμετώπιση του περονόσπορου έγινε έντονο κλάδεμα στις 9/12 ως τις 16/12 για την απομάκρυνση των προσβεβλημένων στελεχών αλλά και διασυστηματικοί ψεκασμοί με μυκητοκτόνα (φαινυλαμίδια ή τα καρβαμιδικά) (Ηλιόπουλος, 2007).





*Εικόνα 23: Προσβολή από περονόσπορο στα θερμοκήπια.*

### **3.8 Κλιματικές μετρήσεις**

#### **3.8.1 Θερμοκρασίας και υγρασίας**

Προκειμένου να δούμε την αποτελεσματικότητα στην ψύξη του υλικού κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε ήταν απαραίτητο να πάρουμε μετρήσεις που αφορούν την θερμοκρασία και την υγρασία και να τις συγκρίνουμε με τις αντίστοιχες του μάρτυρα. Ακόμα, μέσω αυτό των παρατηρήσεων μπορούμε να υπολογίσουμε και τις ανάγκες ώρας λειτουργίας του καυστήρα για θέρμανση που μπορεί να έχει το θερμοκήπιο με το Super thermic + high NIR reflection υλικό κάλυψης σε σχέση με το θερμοκήπιο μάρτυρα.

Για το σκοπό μέτρησης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε η συσκευή MCQU climate control της οποίας οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν μέσα στην καλλιέργεια ενώ χρησιμοποιήθηκαν και thermistors σε ορισμένα φυτά.

#### **3.8.2 Μέτρηση μικρού μήκους ακτινοβολίας**

Προκειμένου να δούμε την αποτελεσματικότητα στην ανάκλαση της NIR ακτινοβολίας για το υλικό κάλυψης Super thermic + high NIR reflection ήταν απαραίτητο να πάρουμε μετρήσεις που αφορούν την ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο και να τις συγκρίνουμε με τις αντίστοιχες του μάρτυρα. Για το σκοπό

μέτρησης μικρού μήκους ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν δύο πυρανόμετρα τύπου KIPP&ZONEN CM6b πάνω από τα φυτά.

### 3.8.3 Καταγραφή μετρήσεων

Τα παραπάνω αποτελέσματα της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και την ακτινοβολίας που εισέρχεται και η επεξεργασία τους γινόταν με το σύστημα ZENO 3000 data logger.

### 3.9 Αγρονομικές μετρήσεις

Προκειμένου να δούμε την αύξηση και την ανάπτυξη της καλλιέργειας έγιναν και αγρονομικές παρατηρήσεις που αφορούσαν:

- Αριθμό φύλλων
- Αριθμό καρπών
- Ύψος φυτού
- Αριθμός σταυρών
- Αριθμός ανοιχτών ανθέων
- Μήκος και πλάτος φύλλων και έπειτα την φυλλική επιφάνεια
- Αριθμός κόμβων
- Μήκος μεσογονάτιων



*Εικόνα 24: Ανάπτυξη καρπών καλλιέργεια ντομάτας κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.*



*Εικόνα 25: Αποικόνιση ανάπτυξης και αύξησης της καλλιέργειας κατά την διάρκεια του πειράματος.*

Οι μετρήσεις των παραπάνω στοιχείων ξεκίνησαν από 10/11/2009 και επαναλαμβάνοντουσαν κάθε βδομάδα ως 8/1/2010. Πιο αναλυτικά:

Μετρήσεις
10/11/2009
18/11/2009
25/11/2009
2/12/2009
9/12/2009
16/12/2009
23/12/2009
30/12/2009
8/1/2010

*Πίνακας 17: Ημέρες συλλογής μετρήσεων των αγρονομικών χαρακτηριστικών.*

Για τον αριθμό των φύλλων, καρπών, σταυρών και ανθέων έγινε οπτική παρατήρηση, μέτρηση και καταγραφή των αριθμών. Όσον αφορά το μήκος, το πλάτος

των φύλλων και το ύψος του φυτού χρησιμοποιήθηκε μεζούρα μέτρησης. Το μήκος μεσογονατίων , ο αριθμός κόμβων και η φυλλική επιφάνεια υπολογίστηκαν από τύπους που θα δούμε παρακάτω.



*Εικόνα 26: Μέτρηση μήκους και πλάτους φύλλου με μεζούρα μέτρησης κατά την διάρκεια του πειράματος*

### **3.9.1 Φυλλική επιφάνεια**

Αφού έχουμε υπολογίσει με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως το μήκος και το πλάτος των φύλλων , η φυλλική επιφάνεια (LAI ) υπολογίζεται ως εξής (Κατσούπα, 2010):

$$LAI=(Μήκος*Πλάτος)* 0,32$$

### **3.9.2 Αριθμός κόμβων**

Ο αριθμός κόμβων προκύπτει από το άθροισμα των φύλλων και των σταυρών κάθε φυτού.

### **3.9.3 Μήκος μεσογονατίων διαστημάτων**

Το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων προέκυψε από το λόγο του ύψους του φυτού προς τον αριθμό των κόμβων.

### 3.10 Κατανάλωση ενέργειας

Για την αξιολόγηση των συνθηκών θερμοκρασίας και υγρασίας στα δύο θερμοκήπια έγινε εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας στα συστήματα θέρμανσης προκειμένου οι δύο παράμετροι να διατηρηθούν σταθεροί. Αρχικά, έγινε ο υπολογισμός της ενέργειας για το αερόθερμο, στην συνέχεια για το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης και τέλος το άθροισμα τους για τον υπολογισμό της συνολικής κατανάλωσης. Ως αναφορά για το κάθε σύστημα χρησιμοποιήθηκαν κρύες νύχτες του χειμώνα, για το σύστημα του αερόθερμου 18/12/2009, του επιδαπέδιου 4/12/2009 και ως συνολικό σύστημα η 15/11/2009.

Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας ήταν:

$$C=C_{pv} \cdot P \cdot \Delta T$$

Όπου  $C_{pv}$  η ειδική θερμότητα του νερού, όπου  $P$  η παροχή του νερού στο σύστημα θέρμανσης η ροή του υγρού και  $\Delta T$  η διαφορά της θερμοκρασίας στην είσοδο και έξοδο του νερού στο σύστημα θέρμανσης.

Τέλος, για τα αποτελέσματα που προέκυψαν έγινε στατιστική ανάλυση με το πρόγραμμα SPSS για να δούμε αν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στην κατανάλωση στα δύο θερμοκήπια, στους μάρτυρα και στο θερμοκήπιο εφαρμογής που έχουμε το υλικό Super thermic + high NIR reflection.

## **Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα και Συζήτηση**



#### **4.1 Αποτελέσματα**

Το υλικό κάλυψης *Super thermic + high NIR reflection* όπως αναφέρθηκε έχει ιδιότητες μικρής περατότητας στην θερμική ακτινοβολία και ανακλά μεγάλο μέρος της NIR. Έτσι, σκοπό έχει να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη του θερμοκηπίου κατά τους θερινούς μήνες αντί των παραδοσιακών μεθόδων σκίασης. Αυτές οι ιδιότητες του όμως δεν πρέπει να μελετηθούν μόνο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού αλλά και τους χειμερινούς μήνες καθώς το υλικό κάλυψης θα είναι μόνιμα στην οροφή του θερμοκηπίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Έτσι, στο θερμοκήπιο μπορεί να είναι απαραίτητη η μείωση της θερμοκρασίας λόγω των κατά την διάρκεια του καλοκαιριού όμως κατά την διάρκεια του χειμώνα μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να επιφέρει περαιτέρω ανάγκες σε θέρμανση που σημαίνει επιπλέον κόστος. Επομένως, για την αποτελεσματικότητα του υλικού κάλυψης *Super thermic + high NIR reflection* ήταν απαραίτητο να εκτιμηθεί η θερμοκρασία και η υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια των χειμερινών παρατηρήσεων. Ωστόσο, κατά την διάρκεια του χειμώνα οι κλιματικές συνθήκες στο χώρο του θερμοκηπίου ρυθμίζονται με την θέρμανση άρα έγινε εκτίμηση της κατανάλωσης για θέρμανση που απαιτεί το κάθε θερμοκήπιο ανάλογα με την απώλειες θερμότητας που παρουσιάζει αλλά και ανάλογα την θερμική ακτινοβολία που ανακλά.

Ακόμη, θα μας ενδιέφερε το υλικό κάλυψης να λειτουργεί επιλεκτικά στην ανάκλαση της NIR ακτινοβολίας μόνο και όχι της PAR ακτινοβολίας ώστε να μην επηρεαστεί η φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού και κατ' επέκταση η αύξηση και ανάπτυξη του. Επομένως, για το σκοπό αυτό ήταν απαραίτητο να υπολογιστεί μέσω των πυρανομέτρων η είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αλλά και αγρονομικές μετρήσεις που θα προσδιόριζαν την ανάπτυξη και την αύξηση του φυτού.

#### **4.2 Αποτελέσματα αγρονομικών μετρήσεων**

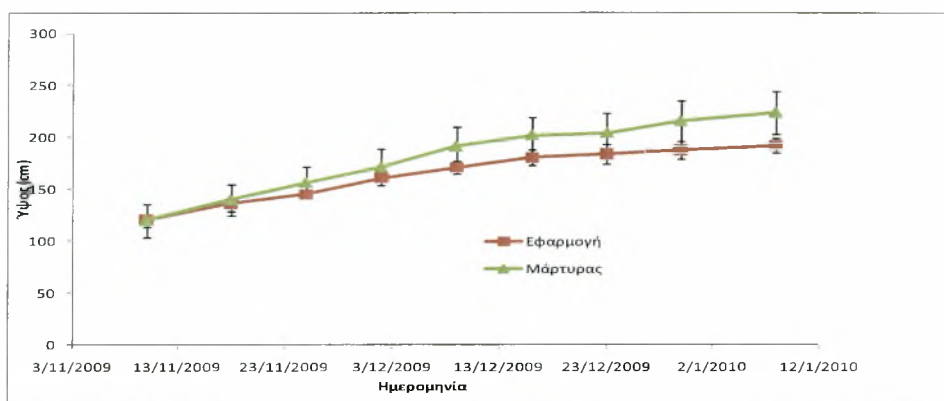
Για την μελέτη του των αγρονομικών χαρακτηριστικών στο θερμοκήπιο στο θερμοκήπιο με υλικό κάλυψης *Super thermic + high NIR* και στο θερμοκήπιο μάρτυρα με απλό πολυαιθυλένιο πάρθηκαν εννέα παρατηρήσεις από τις 10/11/2009 ως τις 8/01/2010 σε οχτώ επαναλήψεις- φυτά σε κάθε θερμοκήπιο. Από κάθε παρατήρηση υπολογίστηκε ο μέσος όρος των οχτώ επαναλήψεων-φυτών αλλά και οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις τους. Τέλος, με το λογισμικό του SPSS έγινε



στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων για να δούμε αν ο μέσος όρος του χαρακτηριστικού που μελετάται κάθε φορά του θερμοκηπίου με την εφαρμογή με τον μέσο όρο του αντίστοιχου χαρακτηριστικού. στο θερμοκήπιο του μάρτυρα διαφέρουν σημαντικά .

#### 4.2.1 Αποτελέσματα ύψους φυτών

Γενικά, το ύψος των φυτών και στις δύο περιπτώσεις αυξανόταν σε σχέση με το χρόνο παρατηρώντας και το γράφημα 18.



**Γράφημα 18:** Εξέλιξη ύψους στα δύο θερμοκήπια.

Συγκεκριμένα, τα φυτά και στις δύο περιπτώσεις αυξανόντουσαν κάθε εβδομάδα περίπου 13-16 cm ως τις 16/12/2009, έπειτα ο ρυθμός αύξησης μειώθηκε και διαμορφώθηκε περίπου στα 4 cm αύξησης για το θερμοκήπιο με την εφαρμογή και στα 2 cm για το θερμοκήπιο μάρτυρα ως τις 23/12/2009 και στην συνέχεια ως το τέλος είναι έναν εβδομαδιαίο ρυθμό αύξησης περίπου 8 cm (Πίνακας 17).

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Ύψος φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος (cm)	Ύψος φυτών μάρτυρα ως μέσος όρος (cm)
10/11/2009	119,83	119,66
18/11/2009	135,50	139,5
25/11/2009	144,66	156,33
2/12/2009	160,33	171,16
9/12/2009	170,33	191
16/12/2009	179,83	201,66
23/12/2009	183	203,66
30/12/2009	187,16	215,33
8/1/2010	191,33	223,33

**Πίνακας 18:** Αποτελέσματα ύψους καλλιέργειας στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Όσον αφορά τις διαφορές που παρατηρήθηκαν στα δύο θερμοκήπια, το ύψος και των δύο φυτών της εφαρμογής με το ειδικό υλικό κάλυψης και με το μάρτυρα στην αρχή των μετρήσεων στις 10/11/2009 ήταν παρόμοιοι αλλά καθώς περνούσε ο καιρός η διαφορά μεγάλωνε και διαμορφώθηκε στις 23/12/2009 στα 20 cm υπέρ του θερμοκηπίου του μάρτυρα. Στο τελικό στάδιο η διαφορά διαμορφώθηκε στα 12 cm υπέρ του θερμοκηπίου του μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσω όρων ύψους της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,9% (<5%), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε είναι σημαντική στο ύψος σε καλλιέργεια ντομάτας.

**Tests of Between-Subjects Effects**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	3188539,343	1	3188539,343	4412,853	,000
GR	7550,083	1	7550,083	10,449	,009
Error	7225,574	10	722,557		

**Πίνακας 19:** Πίνακας ANOVA για το ύψος καλλιέργειας στα δύο θερμοκήπια.

#### 4.2.1.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις

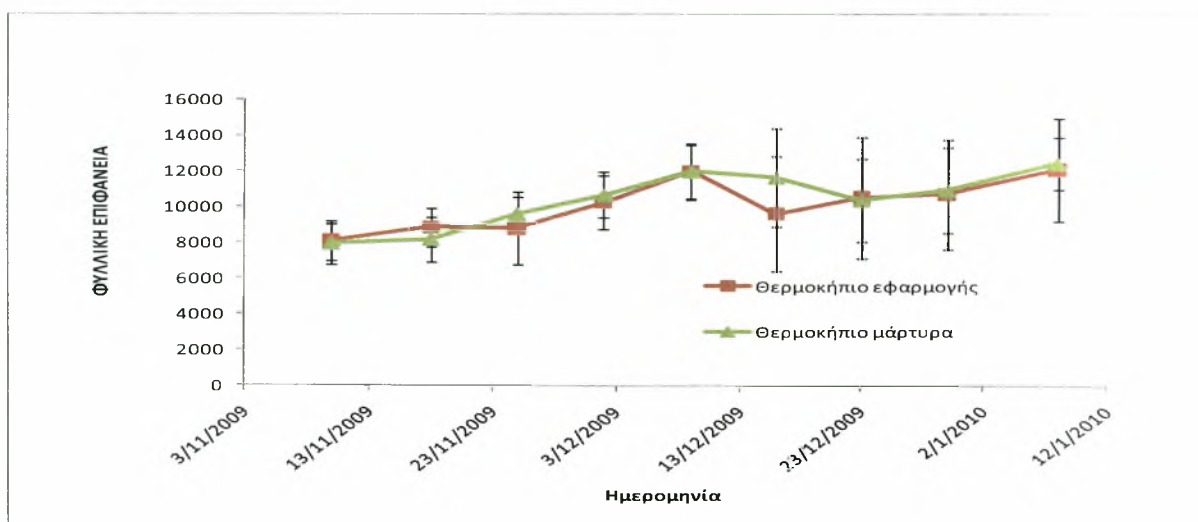
- Η μικρή αύξηση στο ύψος που παρατηρείται στις 23/12/2009 οφείλεται στο γεγονός στο το διάστημα 9/12 με 16/12 έγινε έντονο κλάδεμα λόγω περονόσπορου στα δύο θερμοκήπια και έτσι τα φυτά δεν κατάφεραν λόγω αφαίρεση πολλών προσβεβλημένων στελεχών να αποσυνθέτουν το ίδιο αποδοτικά με πριν.
- Μπορεί να τα φυτά του μάρτυρα να είναι σύμφωνα με την στατιστική ανάλυση σημαντικά ψηλότερα από τα φυτά του θερμοκηπίου εφαρμογής αλλά αυτό από μόνο του δεν σημαίνει ότι υπάρχει μείωση της παραγωγής. Αν δηλαδή στα άλλα αγρονομικά αποτελέσματα δεν υπάρχει σημαντική επίδραση τότε το χαρακτηριστικό αυτό του

μικρότερου ύψους στα φυτά της εφαρμογής μπορεί να είναι και ενθαρρυντικό γιατί σημαίνει πιο εύκολες καλλιεργητικές εργασίες σε χαμηλότερο ύψος.

#### 4.2.2 Αποτελέσματα φυλλικής επιφάνειας

Γενικά, το χαρακτηριστικό της φυλλικής επιφάνειας και στα δύο θερμοκήπια έχει τάση αύξησης με το χρόνο με εξαίρεση το διάστημα 9/12/2009 με 15/12/2009 που έχουμε μια ευδιάκριτη μείωση στην φυλλική επιφάνεια (Γράφημα 19).

Συγκεκριμένα, ο ρυθμός αύξησης της φυλλικής επιφάνειας αυξάνεται κάθε εβδομάδα παρατηρήσεων μέχρι τις 9/12/2009 και στα δύο θερμοκήπια με ένα εύρος από 760 cm<sup>2</sup> (10/11 ως 18/11) το λιγότερο ως περίπου 1734 cm<sup>2</sup> (2/12 ως 9/12) το μέγιστο για το θερμοκήπιο με την εφαρμογή ενώ το εύρος για το θερμοκήπιο του μάρτυρα ήταν από 244 cm<sup>2</sup> ως 1324 cm<sup>2</sup>. Ακόμη, υπάρχει μια έντονη μείωση της φυλλικής επιφάνειας ιδιαίτερα για το θερμοκήπιο της εφαρμογής από τις 9/12 ως τις 16/12/2009 ενώ για το θερμοκήπιο του μάρτυρα η μείωση είναι μικρότερη αλλά παρατηρείται και μια βδομάδα περισσότερο (ως 23/12).



*Γράφημα 19: Εξέλιξη φυλλικής επιφάνειας στα δύο θερμοκήπια.*

Όσον αφορά τις διαφορές που παρατηρήθηκαν στα δύο θερμοκήπια, η φυλλική επιφάνεια του θερμοκηπίου με την εφαρμογή στις πρώτες δύο παρατηρήσεις ήταν μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του μάρτυρα και έφτασε αυτή η διαφορά και ως 664 cm<sup>2</sup> (18/11). Στην συνέχεια όμως το θερμοκήπιο του μάρτυρα ανέκαμψε και

παρουσίασε ως το τέλος των παρατηρήσεων μεγαλύτερες τιμές φυλλικής επιφάνειας και η διαφορά με το θερμοκήπιο εφαρμογή κυμαινόταν σε ένα εύρος από 5cm<sup>2</sup> (9/12) ως 2038 cm<sup>2</sup> (16/12).

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Φυλλική επιφάνεια των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος (cm <sup>2</sup> )	Φυλλική επιφάνεια των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος (cm <sup>2</sup> )
10/11/2009	8103,52	7952,48
18/11/2009	8860,5344	8196,2656
25/11/2009	8825,28	9635,84
2/12/2009	10277,3344	10693,7056
9/12/2009	12011,7344	12017,3856
16/12/2009	9635,3056	11673,7056
23/12/2009	10526,72	10400,2656
30/12/2009	10729,7056	10948,2112
8/1/2010	12114,4	12442,0256

**Πίνακας 20:** Αποτελέσματα φυλλικής επιφάνειας στο θερμοκήπιο εφαρμογής και του μάρτυρα

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσων όρων φυλλικής επιφάνειας της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,738 (>0,05), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στην φυλλική επιφάνεια σε καλλιέργεια ντομάτας.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	1,141E10	1	1,141E10	490,973	,000
GR	2756166,750	1	2756166,750	,119	,738
Error	2,325E8	10	2,325E7		

**Πίνακας 21:** Πίνακας ANOVA για την φυλλική επιφάνεια στα δύο θερμοκήπια

#### 4.2.2.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις

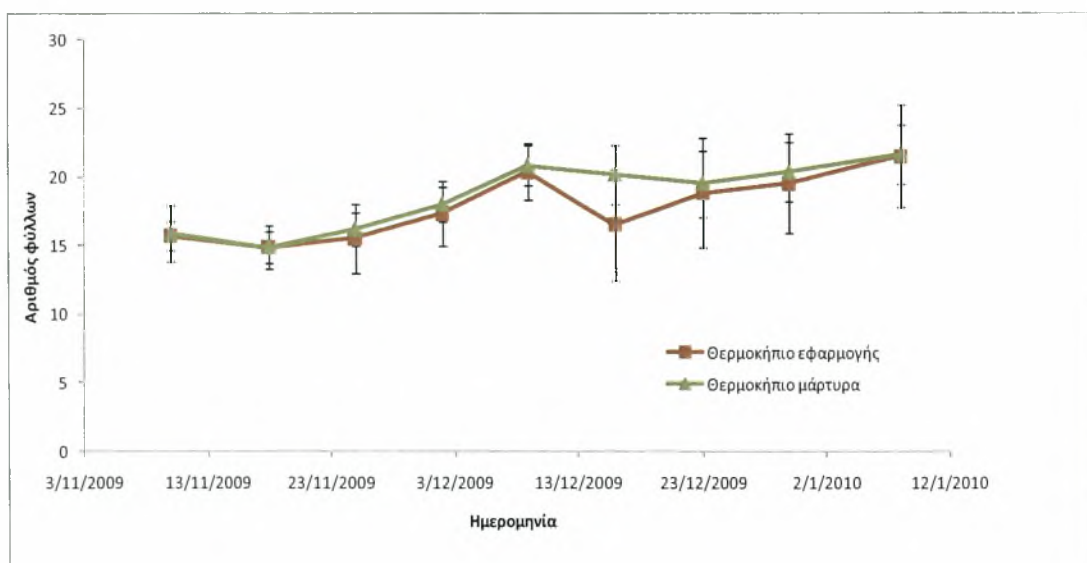
- Η έντονη μείωση της φυλλικής επιφάνειας και στα δύο θερμοκήπια αλλά ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο εφαρμογής στις 16/12/2009 οφείλεται

στο έντονο κλάδεμα που πραγματοποιήθηκε το διάστημα 9/12 με 16/12 για να απομακρυνθούν από το φυτό στελέχη προσβεβλημένα από περονόσπορο.

- Η στατιστική ανάλυση έδειξε ένα υψηλό ποσοστό μη σημαντικότητας 0,738. Κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται όχι μόνο στις διαφορές που παρατηρούνται στα δύο θερμοκήπια αλλά και στο γεγονός της μεγάλης παραλλακτικότητας που έχουν τα αποτελέσματα ιδιαίτερα από τις 16/12 ως και το τέλος των παρατηρήσεων.
- Η ύπαρξη μη στατιστικών διαφορών είναι ενθαρρυντικό για την χρήση του υλικού της εφαρμογής καθώς δεν επηρεάζεται και η φωτοσύνθεση σημαντικά.

#### 4.2.3 Αποτελέσματα αριθμού φύλλων

Γενικά, ο αριθμός φύλλων παρουσίασε αύξηση και στα δύο θερμοκήπια με μια εξαίρεση να αποτελεί το χρονικό διάστημα από 9/12/2009 ως τις 16/12/2009 όπου παρουσιάζεται έντονη πτώση ιδιαίτερα κιάλας στο θερμοκήπιο την εφαρμογής με το ειδικό υλικό κάλυψης. Στην συνέχεια όμως η πορεία των αριθμών φύλλων και στα δύο θερμοκήπια ήταν αυξητική.



*Γράφημα 20: Εξέλιξη αριθμού φύλλων στα δύο θερμοκήπια.*

Συγκεκριμένα, υπάρχει μια αύξηση περίπου 1 ως 3 φύλλα κάθε εβδομάδα παρατηρήσεων και στα δύο θερμοκήπια. Εξαίρεση αποτελεί το διάστημα από 10/11

ως 18/11 που έχουμε μια μείωση στο αριθμό των φύλλων αλλά και στο διάστημα από 9/12 ως 16/12 που παρατηρείται μια σημαντική μείωση τεσσάρων φύλλων όσο αφορά το θερμοκήπιο εφαρμογής.

Όσον αφορά τις διαφορές που παρατηρούνται στο αριθμό των φύλλων μεταξύ των δύο θερμοκηπίων είναι της τάξεως το πολύ του ενός φύλλου υπέρ του θερμοκηπίου του μάρτυρα αν εξαιρέσουμε την παρατήρηση στις 16/12/2009 που παρατηρήθηκε μεγάλη μείωση στον αριθμό των φύλλων του θερμοκηπίου με την εφαρμογή και έτσι η διαφορά σε σχέση με τον μάρτυρα διαμορφώθηκε στα τέσσερα περίπου φύλλα.

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Αριθμός φύλλων των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος	Αριθμός φύλλων των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος
10/11/2009	15,66	15,83
18/11/2009	14,83	14,83
25/11/2009	15,50	16,16
2/12/2009	17,33	18
9/12/2009	20,33	20,83
16/12/2009	16,5	20,16
23/12/2009	18,83	19,5
30/12/2009	19,5	20,33
8/1/2010	21,5	21,66

**Πίνακας 22:** Αποτελέσματα αριθμού φύλλων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσων όρων των αριθμών φύλλων της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,480 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στον αριθμό φύλλων σε καλλιέργεια ντομάτας.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	35715,704	1	35715,704	1070,282	,000
GR	17,926	1	17,926	,537	,480
Error	333,704	10	33,370		

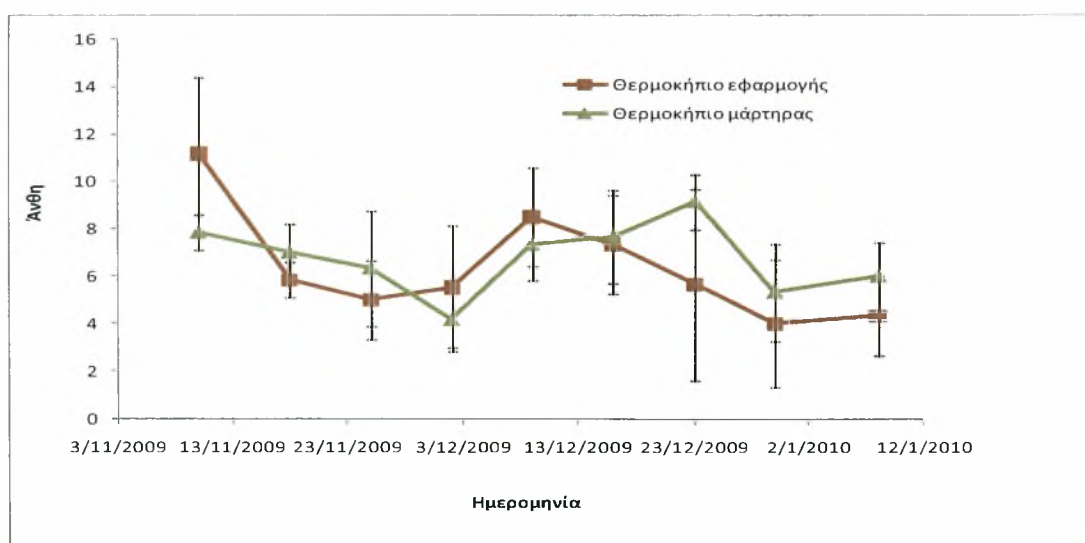
**Πίνακας 23:** Πίνακας ANOVA για τον αριθμό φύλλων στα δύο θερμοκήπια

#### 4.2.3.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις:

- Για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν και παραπάνω στην περίπτωση της φυλλικής επιφάνειας παρατηρείται μείωση στις 16/12.
- Σε σχέση με προηγούμενες αναφορές, οι Sherma και Shidha (2004) παρατήρησαν ότι σε ένα θερμοκήπιο με υλικό που ανακλά την θερμική ακτινοβολία παρατηρείται μεγαλύτερη βλάστηση. Ωστόσο, εμείς βρήκαμε το αντίθετο αλλά δεν είναι οι διαφορές στατιστικά σημαντικές.
- Η ύπαρξη μη στατιστικών διαφορών είναι ενθαρρυντικό για την χρήση του υλικού της εφαρμογής καθώς δεν επηρεάζεται και η φωτοσύνθεση σημαντικά.

#### 4.2.4 Αποτελέσματα αριθμού ανθέων

Γενικά, ο αριθμός των ανθέων δεν παρουσιάζει μια συγκεκριμένη τάση αύξησης ή μείωση αλλά μεταβάλλεται συνεχώς και στα δύο θερμοκήπια. Ωστόσο, φανερό είναι οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρουσιάζονται στις παρατηρήσεις και ιδιαίτερα στο θερμοκήπιο της εφαρμογής. Επιπλέον, οι επιμέρους διαφορές μεταβάλλονται συνεχώς μεταξύ των δύο θερμοκηπίων όσο αφορά το αριθμό των ανθέων.



*Γράφημα 21: Εξέλιξη ανθέων στα δύο θερμοκήπια*

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Αριθμός ανθέων των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος	Αριθμός ανθέων των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος
10/11/2009	11,16	7,83
18/11/2009	5,83	7
25/11/2009	5,00	6,33
2/12/2009	5,5	4,16
9/12/2009	8,5	7,33
16/12/2009	7,33	7,66
23/12/2009	5,66	9,16
30/12/2009	4	5,33
8/1/2010	4,33	6

**Πίνακας 24:** Αποτελέσματα από τον αριθμό ανθέων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσων όρων των αριθμών ανθέων της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,848 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στον αριθμό ανθέων σε καλλιέργεια ντομάτας.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	4524,083	1	4524,083	385,514	,000
GR	,454	1	,454	,039	,848
Error	117,352	10	11,735		

**Πίνακας 25:** Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των ανθέων

#### 4.2.4.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις:

- Λογικό είναι να μην υπάρχει έναν καθορισμένος ρυθμός αύξησης ή μείωσης στην περίπτωση των ανθέων γιατί είχαμε δύο κύματα άνθισης. Ένα στις 10/12 και μετά ακολούθησε μείωση γιατί τα άνθη σταδιακά γινόντουσαν καρπίδια και ένα 16/12 για το θερμοκήπιο εφαρμογής και στις 23/12 για το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Έπειτα ως το τέλος ακολούθησε μείωση γιατί τα άνθη μετατρέποντουσαν σε καρπούς.

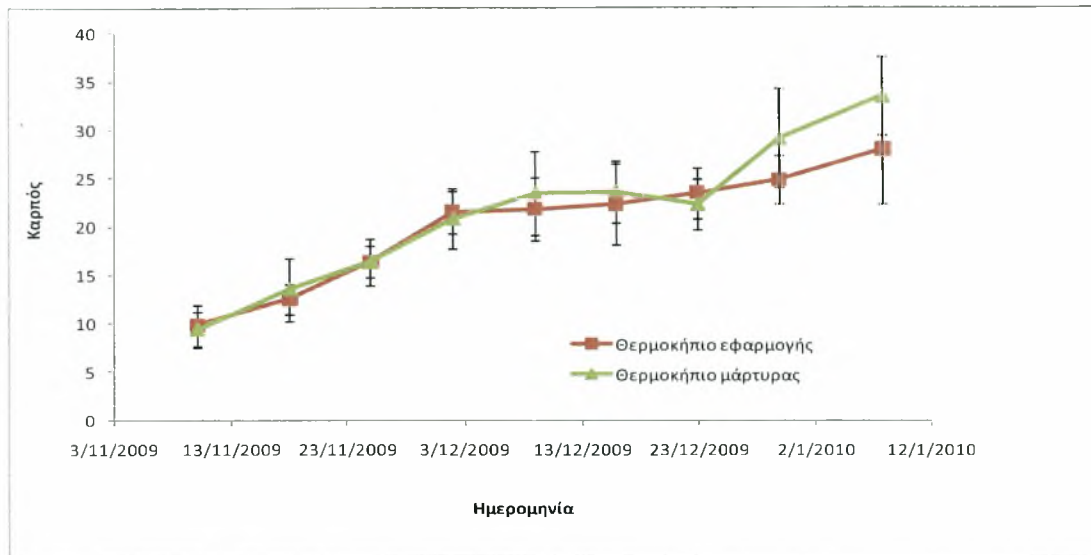


- Σ' αυτό ακριβώς το γεγονός οφείλονται και οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις που παρατηρούνται.
- Η στατιστική ανάλυση έδειξε ένα υψηλό ποσοστό μη σημαντικότητας 0,848. Κάτι τέτοιο μπορεί δεν οφείλεται μόνο στις διαφορές που παρατηρούνται στα δύο θερμοκήπια αλλά και στο γεγονός της μεγάλης παραλλακτικότητας που έχουν τα αποτελέσματα καθ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων.
- Σε προηγούμενες αναφορές όπως των Blanchard et al. (2010) παρατηρήθηκε οψιμότητα στην άνθιση όταν χρησιμοποιήθηκαν εφαρμογές που ανακλούν την θερμική ακτινοβολία. Έτσι, και στην δικιά μας περίπτωση οι διαφορές που καταγράφονται να οφείλονται στο γεγονός αυτό.
- Το ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στα άνθη ίσως είναι ένα ενθαρρυντικό στοιχείο για την τελική απόδοση σε καρπούς που θα δούμε στην επόμενη ενότητα.

#### **4.2.5 Αποτελέσματα αριθμού καρπών**

Γενικά, παρατηρείται αύξηση στον αριθμό των καρπών σε σχέση με την χρόνο και στα δύο θερμοκήπια. Εξάιρεση αποτελεί το διάστημα από 16/12 ως 23/12 που υπάρχει μια μικρή μείωση στο αριθμό των καρπών για το θερμοκήπιο του μάρτυρα μόνο.

Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια εβδομαδιαία αύξηση από δύο ως πέντε καρπούς ως τις 2/12, μετέπειτα ως τις 23/12 έχουμε μια σταθεροποίηση του αριθμού των καρπών και τέλος κατά την διάρκεια των δύο τελευταίων εβδομάδων παρατηρείται μια εβδομαδιαία αύξηση πέντε καρπών.



**Γράφημα 22:** Εξέλιξη καρπών στα δύο θερμοκήπια.

Όσον αφορά τις διαφορές που παρατηρούνται στο αριθμό των καρπών στα δύο θερμοκήπια μέχρι 23/12 είναι έχει το θερμοκήπιο της εφαρμογής με τον μάρτυρα περίπου τους ίδιους αριθμούς καρπών. Στις δύο τελευταίες παρατηρήσεις όμως ο μάρτυρας παρουσιάζει πέντε καρπούς περισσότερους σε σχέση με το θερμοκήπιο της εφαρμογής.

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Αριθμός καρπών των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος	Αριθμός καρπών των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος
10/11/2009	9,83	9,33
18/11/2009	12,5	13,5
25/11/2009	16,33	16,33
2/12/2009	21,5	20,83
9/12/2009	21,83	23,5
16/12/2009	22,33	23,66
23/12/2009	23,5	22,33
30/12/2009	24,83	29,16
8/1/2010	28	33,5

**Πίνακας 26:** Αποτελέσματα από τον αριθμό καρπών στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσων όρων των αριθμών καρπών της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,342 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της

εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στον αριθμό καρπών σε καλλιέργεια ντομάτας.

**Tests of Between-Subjects Effects**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	45182,231	1	45182,231	818,052	,000
GR	54,898	1	54,898	,994	,342
Error	552,315	10	55,231		

*Πίνακας 27: Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των καρπών.*

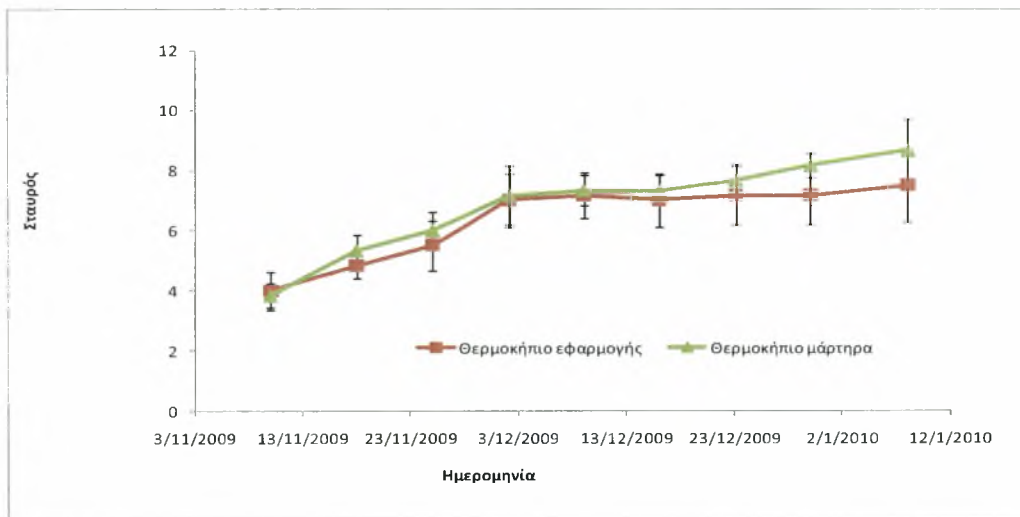
#### 4.2.5.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις:

- Η μείωση των καρπών στις 23/12 στο θερμοκήπιο του μάρτυρα, μπορεί να οφείλεται σε μη προσεκτικούς χειρισμούς κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων ή σε τυχών αφαίρεση καρπών λόγω προσβολής από περονόσπορο.
- Παρόλο που τα φυτά ως τις 23/12 έχουν το ίδιο αριθμό καρπών περίπου στην συνέχεια η διαφορά αυξάνει αρκετά υπέρ του θερμοκηπίου του μάρτυρα με πέντε καρπούς διαφορά. Κάτι τέτοιο όμως δεν ήταν ικανό να δώσει στατιστικά σημαντικά διαφορές γιατί αν δούμε οι παρατηρήσεις με αυτές τις μεγάλες διαφορές χαρακτηρίζονται και από μεγάλες τυπικές αποκλίσεις άρα και μεγάλη παραλλακτικότητα (30/12 και 8/1/2010).
- Σε σχέση με προηγούμενες αναφορές όπως των Verlodt et al. (1997), Nilsen et al. (1984) και Lopez- Marin et al. (2007) το θερμοκήπιο που ανακλά την έγγυς υπέρυθρη ακτινοβολία παρουσίασε μεγαλύτερη παραγωγή σε σχέση με θερμοκήπιο που δεν την ανακλούσε.
- Αντίθετα οι Mutwiwa et al. (2007) βρήκαν χαμηλότερες αποδόσεις σε καρπούς (όπως και στην περίπτωση μας) με την εφαρμογή υλικού με παρόμοιες ιδιότητες με το δικό μας.
- Το γεγονός ότι δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές είναι ενθαρρυντικό για την χρήση του υλικού τον χειμώνα και όλο τον χρόνο.

#### 4.2.6 Αποτελέσματα σταυρών

Γενικά, παρατηρούμε αύξηση των σταυρών σε σχέση με τον χρόνο και στα δύο θερμοκήπια. Το θερμοκήπιο του μάρτυρα ωστόσο παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό σταυρών καθ' όλη την διάρκεια.

Συγκεκριμένα, η εβδομαδιαία αύξηση των σταυρών κάθε βδομάδα δεν είχε συγκεκριμένο ρυθμό και κυμαινόταν σε ένα εύρος από 0,16 ως 1,5 για το θερμοκήπιο εφαρμογής με την μεγαλύτερη αύξηση να συντελείται τις τέσσερις πρώτες εβδομάδες (ως 2/12) και στην είχαμε κάπως σταθεροποίηση στο αριθμό των σταυρών ως το τέλος. Όσο αφορά το θερμοκήπιο μάρτυρα είχαμε μια εβδομαδιαία αύξηση που κυμαινόταν σε ένα εύρος από 0,15 ως 1,5 και σε αντίθεση η αύξηση των σταυρών διήρκεσε από την αρχή ως το τέλος των μετρήσεων.



**Γράφημα 23:** Εξέλιξη κόμβων στα δύο θερμοκήπια

Όσον αφορά τις διαφορές που παρατηρούνται στον αριθμό των σταυρών μεταξύ των δύο θερμοκηπίων κυμαινόταν σε ένα εύρος από 0,16 ως 0,50 ως 23/12 υπέρ του θερμοκηπίου του μάρτυρα. Στη συνέχεια όμως και συγκριμένα στις δύο τελευταίες μετρήσεις η διαφορά διπλασιάστηκε και έφτασε στην μονάδα. Τέλος, να τονιστεί ότι στην αρχή, στη πρώτη μέτρηση ήταν η μόνη φορά που το θερμοκήπιο της εφαρμογής είχε με μικρή διαφορά περισσότερους σταυρούς.

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Αριθμός σταυρών των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος	Αριθμός σταυρών των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος
10/11/2009	4	3,83
18/11/2009	4,83	5,33
25/11/2009	5,50	6
2/12/2009	7	7,16
9/12/2009	7,16	7,33
16/12/2009	7	7,33
23/12/2009	7,16	7,66
30/12/2009	7,16	8,16
8/1/2010	7,5	8,66

**Πίνακας 28:** Αποτελέσματα από τον αριθμό σταυρών στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσω όρων των αριθμών σταυρών της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,97 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στον αριθμό σταυρών σε καλλιέργεια ντομάτας.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	4680,750	1	4680,750	2321,033	,000
GR	6,750	1	6,750	3,347	,097
Error	20,167	10	2,017		

**Πίνακας 29:** Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των σταυρών.

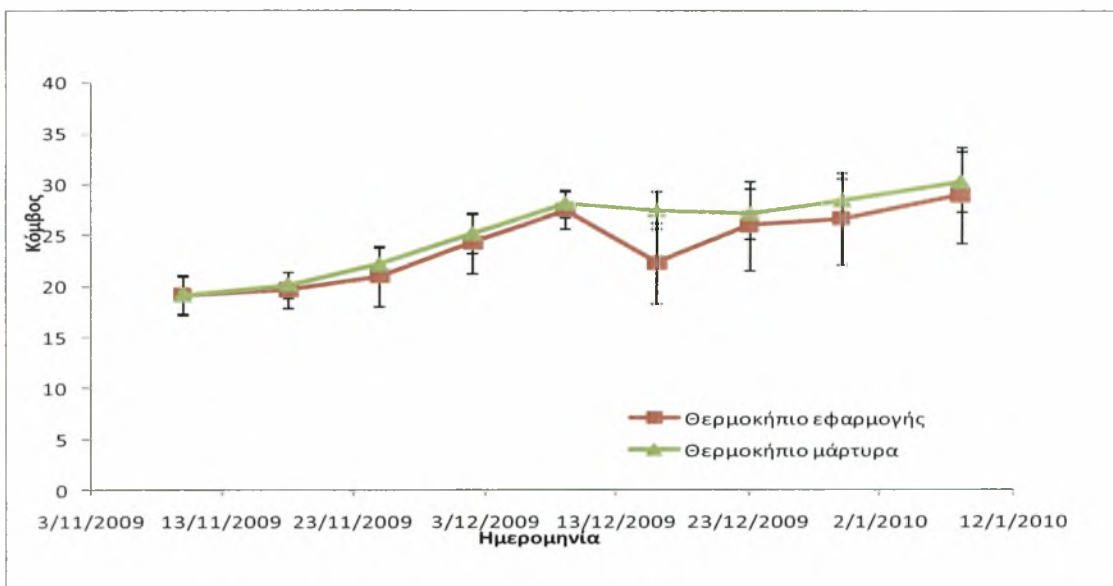
#### 4.2.6.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις:

- Ο σταυρός του φυτού μπορεί να φέρει άνθη ή καρπούς έτσι λογικό είναι ο αριθμός των σταυρών να αυξάνει με το πέρασμα του χρόνου καθώς τα καρποφόρα όργανα αυξάνουν.
- Η στατιστική διαφορά παρόλο που δεν ήταν σημαντική πλησίαζε να γίνει αφού είχε τιμή 0,097. Το θερμοκήπιο του μάρτυρα μπορεί να παρουσίαζε συνεχώς μεγαλύτερο αριθμό σταυρών ωστόσο ήταν φορές που οι διαφορές αυτές ήταν μικρές της τάξεως του 0,16 και υπήρχαν

περιπτώσεις που η τυπική απόκλιση ήταν υψηλή όπως στις 8/1/2010. Έτσι, αυτά τα δύο συντέλεσαν ώστε να μην βγει σημαντική η διαφορά.

#### 4.2.7 Αποτελέσματα κόμβων

Γενικά, παρατηρείται μια αύξηση των κόμβων σε σχέση με τον χρόνο και στα δύο θερμοκήπια ωστόσο είναι ένα διαστημα που στο θερμοκήπιο της εφαρμογής βλέπουμε μια έντονη μείωση των αριθμο των κόμβων αλλά στην συνέχεια ακολουθεί ξανά αύξηση. Ακόμη, καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσιάζει μεγαλύτερο αριθμό κόμβων.



*Γράφημα 24: Εξέλιξη κόμβων στα δύο θερμοκήπια*

Συγκεκριμένα, για το θερμοκήπιο του μάρτυρα έχουμε μια διαρκής αύξηση των κόμβων ως τις 9/12 με ένα εβδομαδιαίο ρυθμό αύξησης από κυμαίνεται 1 ως 3 κόμβους. Στην συνέχεια ως τις 23/12 ακολουθεί μια μικρή μείωση ενός κόμβου. Έπειτα ως το τέλος των παρατηρήσεων έχουμε αύξηση των κόμβων.

Όσον αφορά το θερμοκήπιο της εφαρμογής έχουμε παρόμοια αύξηση όπως στο θερμοκήπιο του μάρτυρα ως τις 9/12 αλλά στην συνέχεια έχουμε μια έντονη μείωση τεσσάρων κόμβων ως τις 23/12. Ακολουθεί αύξηση ως το τέλος των παρατηρήσεων.

Οι διαφορές που παρατηρούνται στον αριθμό των κόμβων ανάμεσα στο θερμοκήπιο του μάρτυρα και στο θερμοκήπιο της εφαρμογής είναι της τάξεως του ενός κόμβου περίπου κάθε εβδομάδα υπέρ του μάρτυρα. Εξαίρεση ωστόσο αποτελεί η πρώτη παρατήρηση που είχαμε ισοροπία αλλά και στις 23/12 που η διαφορά είχε διαμορφωθεί στους πέντε κόμβους υπέρ του μάρτυρα.

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Αριθμός κόμβων των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος	Αριθμός κόμβων των φυτών του μάρτυρα ως μέσος
10/11/2009	19,16	19,16
18/11/2009	19,66	20,16
25/11/2009	21,00	22,16
2/12/2009	24,3	25,16
9/12/2009	27,5	28,16
16/12/2009	22,33	27,5
23/12/2009	26	27,16
30/12/2009	26,66	28,5
8/1/2010	29	30,33

**Πίνακας 30:** Αποτελέσματα από τον αριθμό κόμβων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσω όρων των αριθμών κόμβων της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,345 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσοι όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στον αριθμό κόμβων σε καλλιέργεια ντομάτας.

#### Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	66057,787	1	66057,787	1465,719	,000
GR	44,083	1	44,083	,978	,346
Error	450,685	10	45,069		

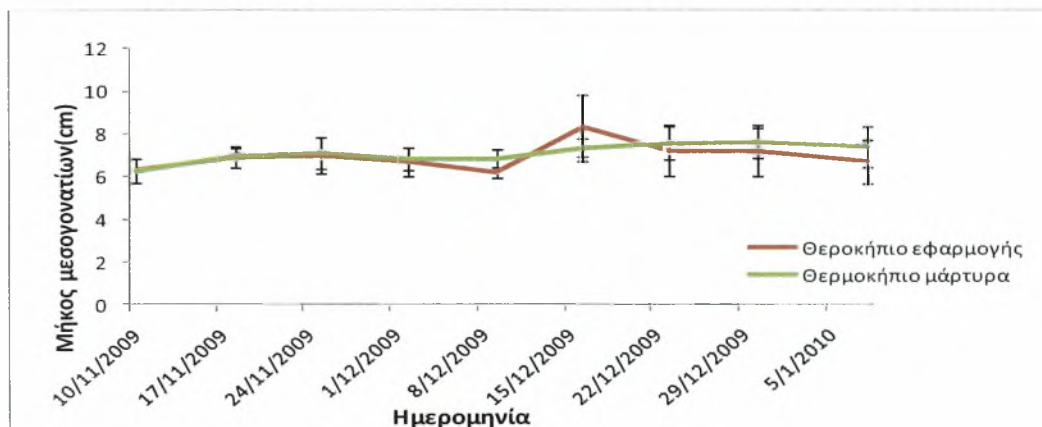
**Πίνακας 31:** Πίνακας ANOVA για τον αριθμό των κόμβων.

#### 4.2.7.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις

- Ο αριθμός των κόμβων προκύπτει από το άθροισμα των φύλλων και των σταυρών. Έτσι, αφού είχαμε αυξητική τάση στα φύλλα και στους σταυρούς όπως είδαμε προηγουμένως λογικό είναι το ίδιο να συμβαίνει και μέσα τους κόμβους.
- Αντίστοιχα η μείωση που παρατηρείται στις 16/12/2009 οφείλεται στο γεγονός ότι πραγματοποιήθηκε έντονο κλάδεμα στελεχών και φύλλων (άρα και κόμβων) που ήταν προσβεβλημένα από περονόσπορο.

#### 4.2.8 Αποτελέσματα μεσογονατίων διαστημάτων

Γενικά, βλέπουμε ότι το μήκος των μεσογονατίων διαστημάτων παραμένει σταθερό σε σχέση με το χρόνο όσο αφορά το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Από την άλλη, στο θερμοκήπιο εφαρμογής έχουμε ένα διάστημα μεγάλης αύξησης από 9/12 ως τις 16/12 και στην συνέχεια ακολουθεί μια μείωση του μήκους ως το τέλος των παρατηρήσεων.



Γράφημα 25: Εξέλιξη μεσογονατίων στα δύο θερμοκήπια.

Όσον αφορά τις διαφορές μεταξύ των δύο θερμοκηπίων, το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσιάζει μεγαλύτερο μήκος μεσογονατίων έναντι του θερμοκηπίου εφαρμογής στο μεγαλύτερο διάστημα των παρατηρήσεων. Εξαιρεση αποτελεί η παρατήρηση στις 16/12 όπου το θερμοκήπιο εφαρμογής παρουσιάζει μεγαλύτερο μήκος μεσογονατίων διαστημάτων.

Ημερομηνία παρατηρήσεων	Μήκος μεσογονατίων των φυτών εφαρμογής ως μέσος όρος (cm)	Μήκος μεσογονατίων των φυτών του μάρτυρα ως μέσος όρος (cm)
10/11/2009	6,29	6,28
18/11/2009	6,91	6,92
25/11/2009	6,98	7,08
2/12/2009	6,65	6,82
9/12/2009	6,2	6,78
16/12/2009	8,27	7,34
23/12/2009	7,19	7,53
30/12/2009	7,17	7,58
8/1/2010	6,7	7,39

Πίνακας 32: Αποτελέσματα από τα μήκη των μεσογονατίων στο θερμοκήπιο εφαρμογής και στον μάρτυρα.



Τέλος, όσο αφορά την στατιστική ανάλυση στο λογισμικό SPSS που έχει να κάνει με την σύγκριση των μέσω όρων του μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων της εφαρμογής με τον μάρτυρα παρουσιάστηκε μια σημαντικότητα της τάξεως του 0,583 ( $>0,05$ ), πράγμα που σημαίνει ότι οι δύο μέσω όροι δεν διαφέρουν σημαντικά άρα η επίδραση της εφαρμογής με το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιήθηκε δεν είναι σημαντική στο μήκος μήκους των μεσογονατίων διαστημάτων σε καλλιέργεια ντομάτας.

**Tests of Between-Subjects Effects**

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	5273,396	1	5273,396	1617,985	,000
GR	1,046	1	1,046	,321	,583
Error	32,592	10	3,259		

*Πίνακας 33: Πίνακας ANOVA για το μήκος μεσογονατίων διαστημάτων.*

#### 4.2.8.1 Σχόλια-Παρατηρήσεις

- Το μήκος των μεσογονατίων είναι ο λόγος του ύψους του φυτού προς τους κόμβους. Το ύψος και οι κόμβοι αυξάνονται σε σχέση με τον χρόνο και ο λόγος τους είναι σταθερός. Επομένως θα έχουμε και σταθερό μήκος μεσογονατίων διαστημάτων.
- Στις 16 /12 συναντάμε μια αύξηση στα μεσογονάτια γιατί έχουμε μείωση του παρανομαστή του λόγου, δηλαδή των κόμβων. Αυτό γίνεται λόγω του έντονου κλαδέματος που είχε προηγηθεί εξαιτίας του περονόσπορου.

### 4.3 Κλιματικές παρατηρήσεις

#### 4.3.1 Θερμοκρασία

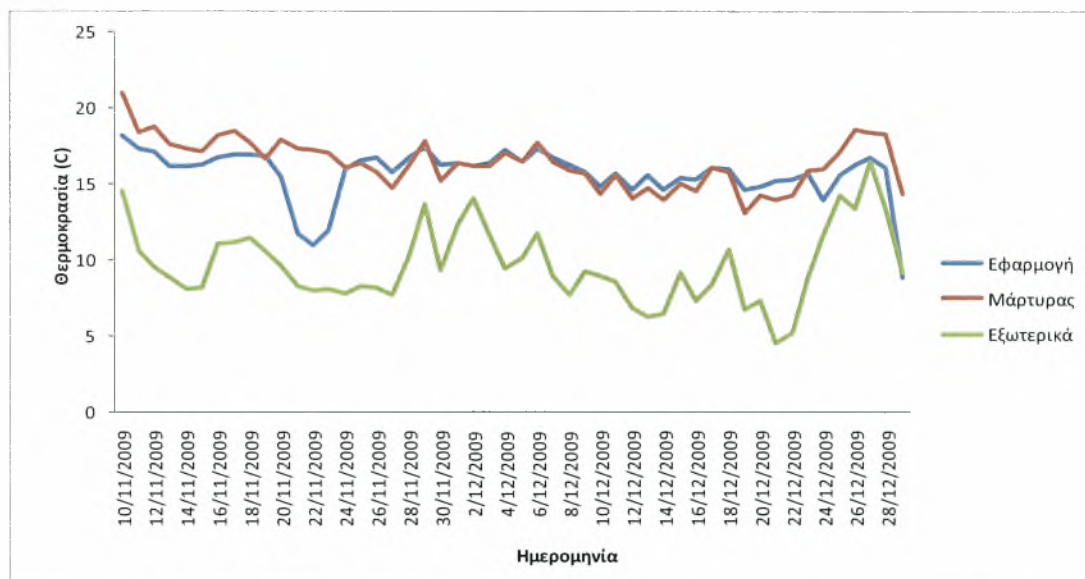
Στο πίνακα 34 διακρίνονται οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την υψηλότερη θερμοκρασία την παρουσιάζει το θερμοκήπιο του μάρτυρα, το οποίο απέχει 6,44 °C από την εξωτερική και 0,72 °C από την θερμοκρασία που παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής.

Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
Θερμοκρασία	15,65 °C	16,37 °C	9,93 °C

**Πίνακας 34:** Μέσος όρος των θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η πορεία των θερμοκρασιών στα δύο θερμοκηπίων αλλά κα της εξωτερικής από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009.

Σχεδόν σ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων οι θερμοκρασίες του μάρτυρα που καταγράφηκαν ήταν μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του θερμοκηπίου εφαρμογής εκτός από κάποιες εξαιρέσεις όπως στο διάστημα 10/12 με 23/12/2009.



**Γράφημα 26:** Διακύμανση των θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στην εφαρμογή και εξωτερικά.

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαινόταν από 14-18 °C εκτός από ένα διάστημα από τις 20 ως τις 24/11/2009 όπου καταγράφηκαν θερμοκρασίες από 11 ως 14 °C περίπου. Από τις 8/12/2009 ως το τέλος των παρατηρήσεων το εύρος των μετρήσεων μικραίνει και κυμαίνεται από 14 ως 16 °C.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαινόταν από 15-20 °C εκτός από λίγες περιπτώσεις όπως στις 10/11/2009 όπου καταγράφεται μέτρηση άνω των 20 °C και το διάστημα 10/12 ως 22/12 που παρατηρούνται κάποιες παρατηρήσεις κάτω των 15 °C.

Όσον αφορά τις εξωτερικές θερμοκρασίες παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις μετρήσεις και έχουμε ένα εύρος τιμών από 4 ως 16 °C.

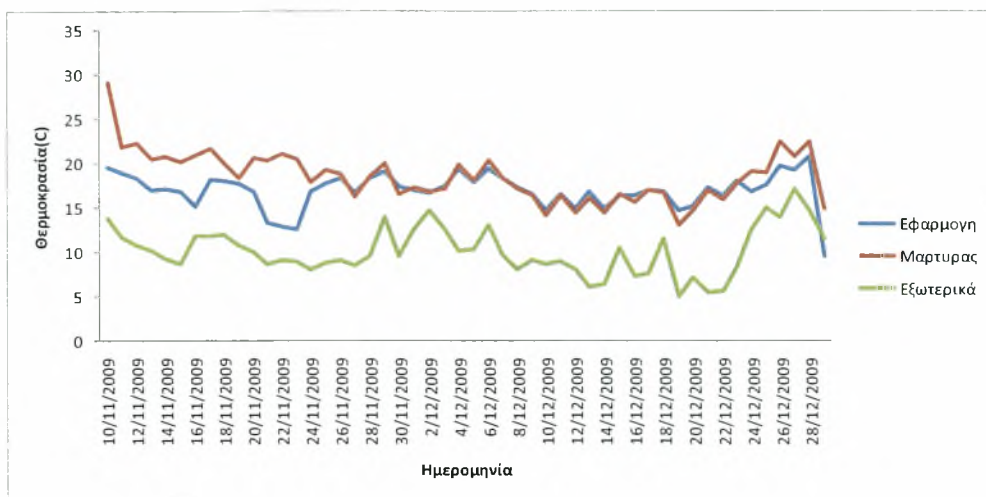
#### 4.3.1.1 Θερμοκρασίες τις πρωινές ώρες

Στο πίνακα 35 διακρίνονται οι πρωινές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την υψηλότερη θερμοκρασία την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής, το οποίο απέχει 6,8 °C από την εξωτερική και 0,55 °C από την θερμοκρασία που παρουσιάζει το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Οι ώρες που καταγράφηκαν πρωινές θερμοκρασίες ήταν από τις 7.00 ως 16.00.

<b>Υλικό κάλυψης-Συνθήκες</b>	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
<b>Θερμοκρασία</b>	16,92°C	16,37 °C	10,12 °C

*Πίνακας 35: Μέσος όρος των πρωινών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα και εξωτερικά του θερμοκηπίου .*

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πορεία των πρωινών θερμοκρασιών στα δύο θερμοκηπίων αλλά και της εξωτερικής από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Από τις 10/11 ως τις 26/11/2009 το θερμοκήπιο του μάρτυρα είχε διαρκώς μεγαλύτερη θερμοκρασία, στην συνέχεια όμως και ως το τέλος τα δύο θερμοκήπια είχαν τις ίδιες θερμοκρασίες περίπου.



**Γράφημα 27:** Διακύμανση πρωινών θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαινόταν από 15-20 °C εκτός από ένα διάστημα από τις 20 ως τις 24/11/2009 όπου καταγράφηκαν θερμοκρασίες από 12 ως 15 °C περίπου.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαινόταν από 15-20 °C εκτός από το διάστημα 10/12 ως 22/12 που παρατηρούνται κάποιες παρατηρήσεις κάτω των 15 °C.

Όσον αφορά τις εξωτερικές πρωινές θερμοκρασίες παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις μετρήσεις και έχουμε ένα εύρος τιμών από 5 ως 17 °C.

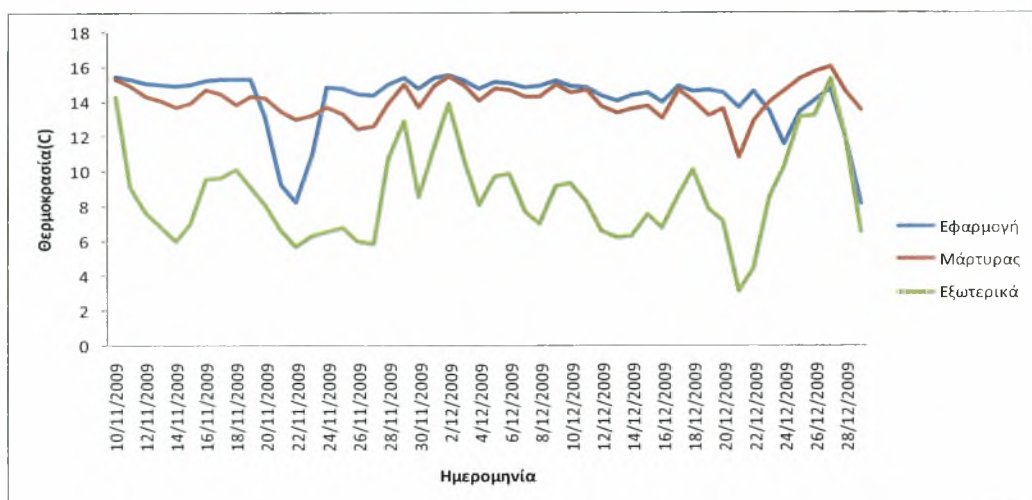
#### 4.3.1.2 Θερμοκρασίες τις νυχτερινές ώρες

Στο πίνακα 36 διακρίνονται οι νυχτερινές θερμοκρασίες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την υψηλότερη θερμοκρασία την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής, το οποίο απέχει 5,54 °C από την εξωτερική και 0,10 °C από την θερμοκρασία που παρουσιάζει το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Οι ώρες που καταγράφηκαν νυχτερινές θερμοκρασίες ήταν από τις 00.00 ως 4.00 και από 20.00 ως 00.00.

Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
Θερμοκρασία	14,17 °C	14,07 °C	8,63 °C

*Πίνακας 36: Μέσος όρος των νυχτερινών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .*

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η πορεία των νυχτερινών θερμοκρασιών στα δύο θερμοκηπίων αλλά κα της εξωτερικής από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Σ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων οι ενδείξεις του θερμοκηπίου εφαρμογής ήταν υψηλότερες από τις αντίστοιχες του μάρτυρα εκτός από το διάστημα 18/11 με 26/11/2009.



*Γράφημα 28: Διακύμανση νυχτερινών θερμοκρασιών στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.*

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι κυμαινόταν από 14-16 °C εκτός από τις 20 ως τις 24/11/2009 όπου καταγράφηκαν θερμοκρασίες από 8 ως 14 °C περίπου και τις 22/12 ως τις 26/12 που ήταν από 12-14 °C.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κυμαινόταν από 12-16 °C εκτός από τις 21/12 που έχουμε θερμοκρασία κάτω από τους 12 °C.

Όσον αφορά τις εξωτερικές πρωινές θερμοκρασίες παρατηρείται μεγάλη διακύμανση στις μετρήσεις και έχουμε ένα εύρος τιμών από 3 ως 15 °C.

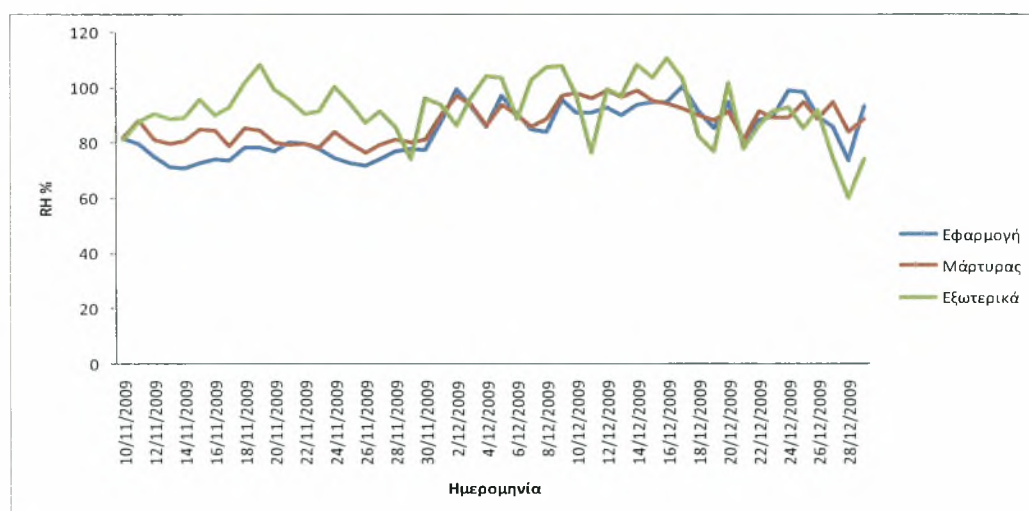
### 4.3.2 Σχετική Υγρασία

Στο πίνακα 37 διακρίνεται η σχετική υγρασία στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής, το οποίο απέχει 6,62 μονάδες από την εξωτερική τιμή και 2,76 μονάδες από το θερμοκήπιο του μάρτυρα.

Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
Σχετική Υγρασία (%)	84,69	87,45	92,31

*Πίνακας 37: Μέσος όρος από τις σχετικής υγρασίας που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα και εξωτερικά του θερμοκηπίου .*

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η πορεία της σχετικής υγρασίας στα δύο θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Σ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων οι ενδείξεις της σχετικής υγρασίας στον μάρτυρα υπερτερούν έναντι των αντίστοιχων του θερμοκηπίου εφαρμογής.



*Γράφημα 29: Διακύμανση της σχετικής υγρασίας στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.*

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία κυμαινόταν από 70 ως 80 από τις 10/11 ως τις 30/11/2009 ενώ στην συνέχεια και ως το τέλος των παρατηρήσεων από 80 ως 100.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία κυμαινόταν κατά κύριο λόγο από 80 ως 100 καθ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων.

Όσον αφορά την εξωτερική σχετική υγρασία κυμαινόταν κυρίως από 80 ως 120 με ορισμένα διαστήματα όπως από 12/12 ως 18/12 οι τιμές να ξεπερνάνε το 100 ή από τις 25 ως τις 28/12 που είχαμε μια πτώση κάτω από 80.

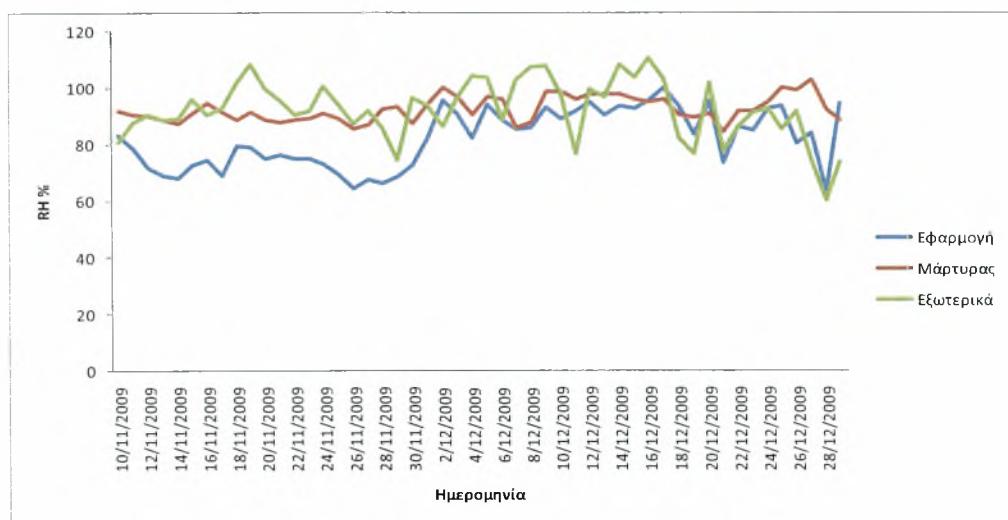
#### 4.3.2.1 Σχετική υγρασία κατά την διάρκεια της ημέρας

Στο πίνακα 38 διακρίνεται η σχετική υγρασία το πρωί, στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής, το οποίο απέχει 10,74 μονάδες από την εξωτερική τιμή και 5,49 μονάδες από το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Οι ώρες που καταγράφηκαν πρωινές θερμοκρασίες ήταν από τις 7.00 ως 16.00.

Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
Σχετική υγρασία (%)	81,96	87,45	92,70

*Πίνακας 38: Μέσος όρος από τις πρωινές σχετικές υγρασίες που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου.*

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η πορεία στις σχετικές υγρασίες το πρωί στα δύο θερμοκηπίων αλλά κα εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Σ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων των θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσίασε υψηλότερες τιμές υγρασίας κορεσμού το πρωί απ' ότι το αντίστοιχο της εφαρμογής.



**Γράφημα 30:** Διακύμανση πρωινής σχετικής υγρασίας στο μάρτυρα, στην εφαρμογή και εξωτερικά.

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία το πρωί κυμαινόταν από 60 ως 80 από τις 10/11 ως τις 1/12/2009 ενώ στην συνέχεια και ως το τέλος των παρατηρήσεων από 80 ως 100 κυρίως.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η πρωινή σχετική υγρασία κυμαινόταν κατά κύριο λόγο από 80 ως 100 καθ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων. Βασικά, ως τις στις 30/11 ήταν περίπου από 80 ως 90 ενώ στην συνέχεια και ως το τέλος από 90 ως 100.

Όσον αφορά την εξωτερική σχετική υγρασία το πρωί κυμαινόταν κυρίως από 80 ως 100 με ορισμένα διαστήματα όπως από 12/12 ως 17/12 οι τιμές να ξεπερνάνε το 100 ή από τις 25 ως τις 28/12 που είχαμε μια πτώση κάτω από 80.

#### 4.3.2.2 Σχετική υγρασία κατά την διάρκεια της νύχτας

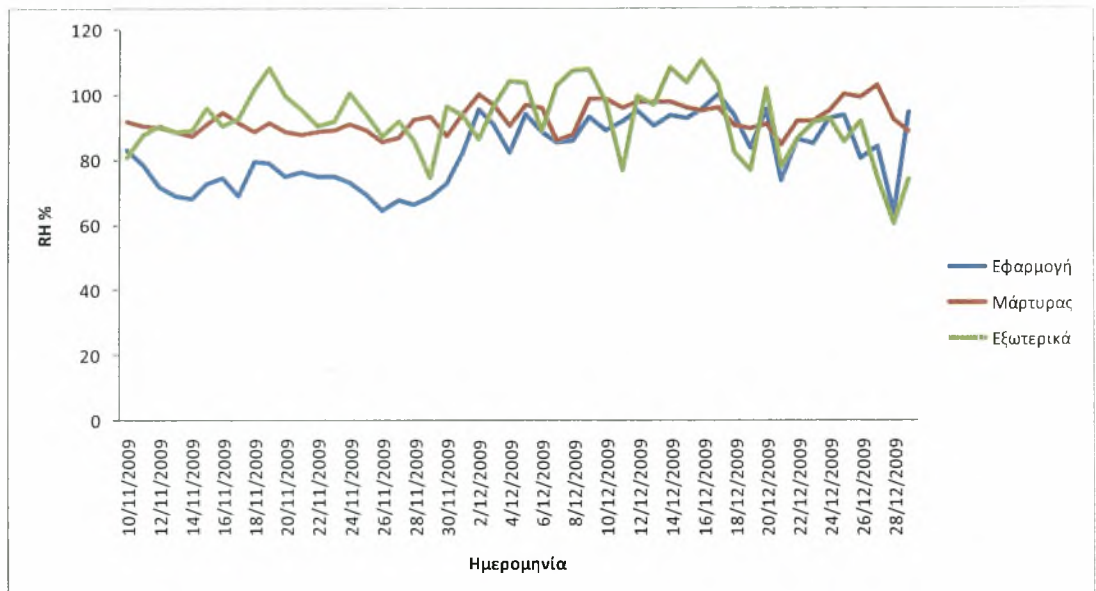
Στο πίνακα 39 διακρίνεται η σχετική υγρασία το πρωί, στο εσωτερικό των θερμοκηπίων αλλά και εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Την χαμηλότερη τιμή την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής, το οποίο απέχει 8,13 μονάδες από την εξωτερική τιμή και 5,11 μονάδες από το θερμοκήπιο του μάρτυρα. Οι ώρες που καταγράφηκαν νυχτερινές θερμοκρασίες ήταν από τις 00.00 ως 4.00 και από 20.00 ως 00.00.



Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR reflection	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
Σχετική υγρασία (%)	87,29	92,40	95,42

**Πίνακας 39:** Μέσος όρος από τις νυχτερινές σχετικές υγρασίες που καταγράφηκαν στο θερμοκήπιο εφαρμογής, στο θερμοκήπιο του μάρτυρα κα εξωτερικά του θερμοκηπίου .

Στα παρακάτω γραφήματα απεικονίζεται η πορεία της σχετικής υγρασίας την νύχτα στα δύο θερμοκηπίων αλλά κα εξωτερικά από τις 10/11/2009 ως τις 29/12/2009. Σ' όλη την διάρκεια των παρατηρήσεων το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές υγρασίας κορεσμού την νύχτα από τις αντίστοιχες ενδείξεις του θερμοκηπίου εφαρμογής.



**Γράφημα 31:** Διακύμανση νυχτερινής σχετικής υγρασίας στον μάρτυρα, στο θερμοκήπιο εφαρμογής και εξωτερικά.

Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την μπλε γραμμή παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία την νύχτα κυμαινόταν από 70 ως 80 από τις 10/11 ως τις 27/11/2009 ενώ στην συνέχεια και ως το τέλος των παρατηρήσεων από 80 ως 100 κυρίως.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η νυχτερινή σχετική υγρασία κυμαινόταν κατά κύριο λόγο από 80 ως 100 καθ' όλη την

διάρκεια των παρατηρήσεων. Βασικά, ως τις στις 30/11 ήταν περίπου από 80 ως 90 ενώ στην συνέχεια και ως το τέλος από 90 ως 100.

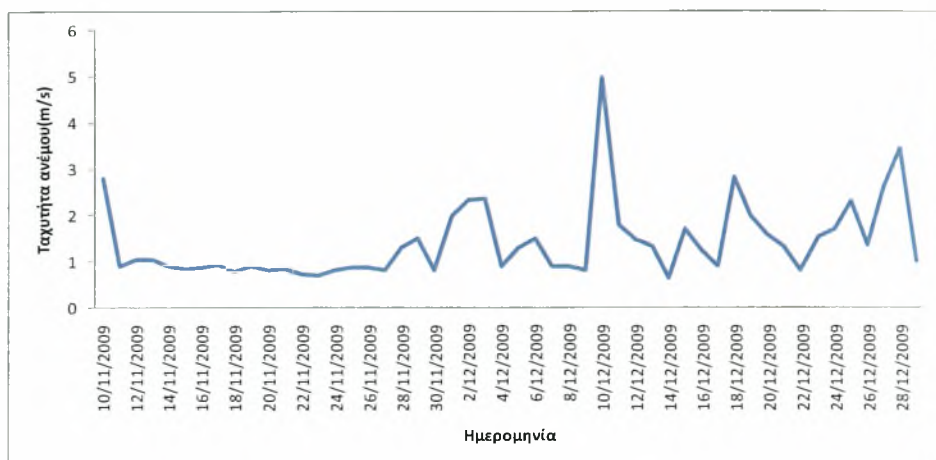
Όσον αφορά την εξωτερική σχετική υγρασία την νύχτα κυμαινόταν κυρίως από 80 ως 100 με ορισμένα διαστήματα όπως από 3/12 ως 10/12 οι τιμές να ξεπερνάνε το 100 ή από τις 25 ως τις 28/12 που είχαμε μια πτώση κάτω από 80.

#### 4.3.3 Σχόλια και παρατηρήσεις για θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες

- Και στα δύο θερμοκήπια παρουσιάστηκαν αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες από το εξωτερικό περιβάλλον και αυτό είναι λογικό καθώς στο εσωτερικό λειτουργούσε σύστημα θέρμανσης.
- Όμοια για τον ίδιο λόγο παρατηρούμε χαμηλότερες σχετικές υγρασίες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
- Το κλίμα στο χώρο του θερμοκηπίου ρυθμιζόνταν σταθερά με σύστημα θέρμανσης άρα δεν μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την επίδραση του υλικού στο κλίμα
- Συμπεράσματα μπορούμε να βγάλουμε στην συνέχεια που θα παρατηρήσουμε τις διαφορές που καταγράφονται σε κατανάλωση ενέργειας.
- Ο μόνος τρόπος που θα μπορούσαμε να εκτιμήσουμε την επίδραση του υλικού εφαρμογής στο κλίμα μέσω παρατηρήσεων θερμοκρασίας και υγρασίας κορεσμού θα ήταν αν απομονώναμε ημέρες χωρίς να λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό καθώς καταγράφηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες που ήταν αναγκαίο να ρυθμιστούν για να αναπτυχθεί η καλλιέργεια.

#### 4.4 Ταχύτητα ανέμου

Η τελευταία κλιματική ένδειξη που καταγράφηκε ήταν η ταχύτητα του ανέμου κατά την διάρκεια του πειράματος από τις 10/11 ως τις 29/12/2009. Κατά μέσο όρο κυριάρχησε άνεμος με ταχύτητα 1,4 m/s. Στο γράφημα παρακάτω διακρίνουμε την διακύμανση της ταχύτητας που παρουσίασε ο άνεμος κατά την διάρκεια των μετρήσεων και παρατηρούμε ότι κυμαινόταν κυρίως από 1 ως 3 m/s εκτός από την ένδειξη στις 10/11 όπου ο άνεμος έφτασε και τα 5 m/s.



*Γράφημα 32: Ταχύτητα ανέμου κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων.*

## 4.5 Κατανάλωση Ενέργειας

Για να μελετήσουμε τις απαιτήσεις σε θέρμανση άρα σε κατανάλωση πετρελαίου, υπολογίσαμε σύμφωνα με τον τύπο που αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα την κατανάλωση ενέργειας. Ως σημείο αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν παρατηρήσεις νύχτας όπου καταγράφονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και έτσι έχουμε δοκιμή του υλικού μας σε ιδανικές συνθήκες ώστε να εκτιμήσουμε την κατανάλωση ενέργειας .

### 4.5.1 Κατανάλωση ενέργειας αερόθερμου

Όσον αφορά την κατανάλωση του αερόθερμου χρησιμοποιήσαμε τις παρατηρήσεις νύχτας στις 18/12/2010 όπου καταγράφηκαν θερμοκρασίες 10,61 °C. Το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσίασε χαμηλότερη μέση κατανάλωση από το θερμοκήπιο εφαρμογής. Ενδεικτικά οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση ενέργειας(J/10min)
Super thermic + high NIR reflection	3783795,71
Μάρτυρας	3000045,71

*Πίνακας 40: Μέση κατανάλωση ενέργειας στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.*

Η διαφορά είναι 783750 J/10 min. Αν η θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου είναι 8568 Kcal/lit δηλαδή 35899 KJ/ lit που ισούται με 35.899.000 J/lit τότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας που εκφράζει την κατανάλωση σε λίτρα πετρελαίου.

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση πετρελαίου (lt/ 10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,11
Μάρτυρας	0,08

**Πίνακας 41:** Μέση κατανάλωση πετρελαίου στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.

Η διαφορά που προκύπτει είναι 0,03 λίτρα πετρελαίου περισσότερα ανά 10 λεπτά καταναλώνει το θερμοκήπιο εφαρμογής. Στην διάρκεια μιας μέρας δηλαδή με μέση θερμοκρασία 10 °C (όπως στην περίπτωση μας) θα είναι 4,32 lt.. Σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές τις αγοράς (Μάιος 2011) η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης ανέρχεται στα 0,88 euro/lt άρα σε κόστος οι διαφορές των δύο θερμοκηπίων δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Θερμοκήπιο	Μέσο κόστος πετρελαίου (euro/ 10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,09
Μάρτυρας	0,07

**Πίνακας 42:** Μέσο κόστος πετρελαίου στο αερόθερμο στα δύο θερμοκήπια στις 18/12/2009.

Έτσι, καταγράφεται μια συνολική διαφορά εκφρασμένη σε χρήματα για ένα 24ώρο με θερμοκρασία είναι 2,88 euro/ημέρα.

Τέλος, έγινε στατιστική ανάλυση με το πρόγραμμα SPSS για να δούμε αν οι διαφορές σε κατανάλωση στο αερόθερμο που σημειώνονται στα δύο θερμοκήπια είναι στατιστικά σημαντικές. Με εφαρμογή One-way ANOVA οι διαφορές μεταξύ του θερμοκηπίου εφαρμογής και του μάρτυρα δεν ήταν σημαντικές (Sig.0,611>0,05).

#### 4.5.2 Κατανάλωση επιδαπέδιου συστήματος θέρμανσης

Όσον αφορά το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης για να δούμε την συμπεριφορά του υλικού κάλυψης επιλέξαμε μια νύχτα όπου καταγράφηκαν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες άρα και υψηλή κατανάλωση θέρμανσης για το επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Αυτή η νύχτα ήταν στις 4/12 με εξωτερική θερμοκρασία 8,04 °C. Το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσίασε χαμηλότερη μέση

κατανάλωση από το θερμοκήπιο εφαρμογής. Ενδεικτικά οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση ενέργειας(J/10min)
Super thermic + high NIR reflection	4172237,14
Μάρτυρας	3348862,45

*Πίνακας 43: Μέση κατανάλωση ενέργειας στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009*

Η διαφορά είναι 823374,69 J/10 min. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δώσαμε στους υπολογισμούς για την θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου και για την τιμή του προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση πετρελαίου (lt/10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,12
Μάρτυρας	0,09

*Πίνακας 44: Μέση κατανάλωση πετρελαίου στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.*

Θερμοκήπιο	Μέσο κόστος πετρελαίου (euro/10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,102
Μάρτυρας	0,082

*Πίνακας 45: Μέσο κόστος πετρελαίου στο επιδαπέδιο σύστημα στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.*

Έτσι, καταγράφεται όσο αφορά την κατανάλωση σε λίτρα πετρελαίου μια διαφορά 0,03 lt/ 10min δηλαδή για ημέρα με θερμοκρασία 8,04 °C όπως η δικιά μας θα ανέλθει στα 4,32 lt. Αντίστοιχα, η έκφραση των διαφορών σε χρήμα μεταφράζεται στα 0,02 euro/10min δηλαδή 2,90 euro σε μια ημέρα.

Τέλος, έγινε στατιστική ανάλυση με το πρόγραμμα SPSS για να δούμε αν οι διαφορές σε κατανάλωση στο επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης με σωλήνες που σημειώνονται κατά την διάρκεια της ημέρας στα δύο θερμοκήπια είναι στατιστικά

σημαντικές. Με εφαρμογή One-way ANOVA οι διαφορές μεταξύ του θερμοκηπίου εφαρμογής και του μάρτυρα δεν ήταν σημαντικές (Sig.0,277>0,05).

#### 4.5.3 Συνολική κατανάλωση ενέργειας και με τα δύο συστήματα

Όσον αφορά το σύστημα θέρμανσης στο σύνολο του (αερόθερμο και επιδαπέδιο μαζί) για να δούμε την συμπεριφορά του υλικού κάλυψης επιλέξαμε μια νύχτα όπου καταγράφηκαν ιδιαίτερα χαμηλές θερμοκρασίες άρα και υψηλή κατανάλωση θέρμανσης. Αυτή η νύχτα ήταν στις 15/11 με εξωτερική θερμοκρασία 6,95 °C . Το θερμοκήπιο του μάρτυρα παρουσίασε χαμηλότερη μέση κατανάλωση από το θερμοκήπιο εφαρμογής. Ενδεικτικά οι τιμές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση ενέργειας(J/10min)
Super thermic + high NIR reflection	3727993,96
Μάρτυρας	3284870,42

**Πίνακας 46:** Μέση κατανάλωση ενέργειας στα δύο θερμοκήπια στις 15/11/2009.

Η διαφορά είναι 443123,54 J/10 min. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δώσαμε στους υπολογισμούς για την θερμογόνο δύναμη του πετρελαίου και για την τιμή του προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Θερμοκήπιο	Μέση κατανάλωση πετρελαίου (lt/10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,10
Μάρτυρας	0,09

**Πίνακας 47:** Μέση κατανάλωση πετρελαίου στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.

Θερμοκήπιο	Μέσο κόστος πετρελαίου (euro/10min)
Super thermic + high NIR reflection	0,09
Μάρτυρας	0,08

**Πίνακας 48:** Μέσο κόστος πετρελαίου στα δύο θερμοκήπια στις 4/12/2009.

Έτσι, καταγράφεται όσον αφορά την κατανάλωση σε λίτρα πετρελαίου μια διαφορά 0,01 lt/10min δηλαδή για μέρα με θερμοκρασία 6,95 °C όπως η δικιά μας θα

ανέλθει στα 1,44 lt. Αντίστοιχα, η έκφραση των διαφορών σε χρήμα μεταφράζεται στα 0,01 euro/10min δηλαδή 1,44 euro για μια ημέρα.

Τέλος, όσον αφορά την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, οι διαφορές σε συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρα δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (Sig.0,965>0,05).

#### **4.5.4 Σχόλια-Παρατηρήσεις για την κατανάλωση ενέργειας.**

- Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση εξαρτάται από τις θερμοκρασίες που παρατηρούνται στο εξωτερικό των θερμοκηπίων, τις απώλειες θερμότητας που παρουσιάζουν τα υλικά κάλυψης και γενικά τα θερμοκήπια αλλά και από την ικανότητα τους να απορροφούν την θερμική ακτινοβολία. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω είναι λογικό το θερμοκήπιο εφαρμογής να παρουσιάζει μεγαλύτερες ανάγκες για κατανάλωση ενέργειας καθώς δεν απορροφά θερμική ακτινοβολία.
- Ωστόσο, οι διαφορές που προέκυψαν δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Αυτό το στοιχείο είναι ενθαρρυντικό καθώς δηλώνει ότι το ανακλαστικό υλικό κάλυψης της NIR δεν επηρεάζει το κλίμα σε σημαντικό βαθμό ώστε να χρειάζεται θέρμανση πολύ μεγαλύτερη από ένα κλασικό υλικό κάλυψης.
- Όμοια οι Verloot et al. (1997) σε εφαρμογή που έκαναν ανακλαστικού φύλλου δροσισμού τον χειμώνα δεν παρατήρησαν σπουδαίες αλλαγές στο μικροκλίμα.
- Το γεγονός ότι οι διαφορές σε κατανάλωση ενέργειας που προέκυψαν δεν είναι σημαντικές ίσως να οφείλεται στο γεγονός ότι το θερμοκήπιο εφαρμογής μπορεί να παρουσιάζει καλύτερες μονωτικές ιδιότητες διότι όπως δεν αφήνει την θερμική ακτινοβολία να εισέλθει μπορεί αντίστοιχα να μην επιτρέπει εύκολα στην θερμική ενέργεια που παράγεται από τα συστήματα θέρμανσης να εξέλθει. Άλλωστε πρόσφατη έρευνα του Aberkani (2009) με εφαρμογή που ανακλά την θερμική ακτινοβολία κατέληξε ότι έχει και μονωτικές ιδιότητες τον χειμώνα.
- Όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω η κατανάλωση ενέργειας εξαρτάται από την θερμοκρασία που διαμορφώνεται στο χώρο του θερμοκηπίου. Στην βιβλιογραφική μας ανασκόπηση δεν βρέθηκαν άρα και δεν αναφέρονται εκτιμήσεις που να αφορούν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Έτσι, θα συγκρίνουμε με στοιχεία που αναφέρονται στην επίδραση ενός ανακλαστικού

υλικού κάλυψης στην θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου άρα και στην κατανάλωση για θέρμανση. Οι Verlodt et al. (1997), Sethi (2004) και Sethi και Sharma (2007) βρήκαν ότι σε θερμοκήπια με ανακλαστικά υλικά κάλυψης της NIR ακτινοβολίας παρατηρούμε χαμηλότερες θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου. Γενικότερα, όποια μέθοδος δροσισμού στηρίζεται στην ανάκλαση θερμική ακτινοβολίας και αναφέρεται στην βιβλιογραφική μας ανασκόπηση παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι, χαμηλότερες θερμοκρασίες σημαίνει και μεγαλύτερες ανάγκες για θέρμανση.

- Αν αθροίσουμε μεμονωμένα τα ημερήσια κόστη για το αερόθερμο (2,88 euro) και για το επιδαπέδιο σύστημα (2,90 euro) προκύπτει ημερήσια διαφορά κόστους στα δύο θερμοκήπια 5,78 euro. Εμείς βρήκαμε ωστόσο στην προσέγγιση που κάναμε σαν συνολικό σύστημα θέρμανσης μια διαφορά κόστους 1,44 euro. Η διαφορά αυτή παρατηρείται γιατί για το κάθε σύστημα έχουμε πάρει ως σημεία αναφοράς διαφορετικές ημερομηνίες άρα και διαφορετικές συνθήκες αλλά και διαφορετικές ρυθμίσεις στα συστήματα θέρμανσης. Κύριο σκοπός άλλωστε είναι η επίδραση του υλικού στην κατανάλωση του κάθε συστήματος. Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε ότι το κόστος για κατανάλωση εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις ρυθμίσεις που θα γίνουν που εξαρτώνται από καλλιέργεια αλλά και από τις συνθήκες τις περιοχής σε θερμοκρασία.

## 4.6 Ηλιακή ακτινοβολία

### 4.6.1 Αποτελέσματα Ηλιακής ακτινοβολίας

Για να προσδιορίσουμε το ποσό της ακτινοβολίας που διέρχεται από το κάθε υλικό απομονώσαμε μια ημέρα στις 14/11/2009 και παρατηρήσαμε την πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στα δύο θερμοκήπια αλλά και εξωτερικά.

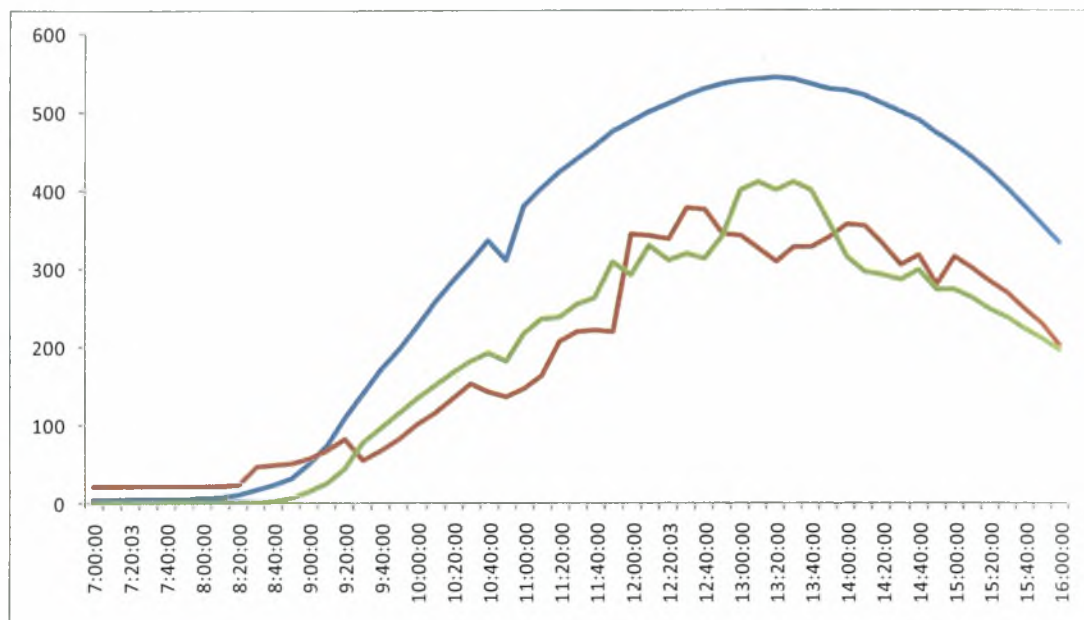
Υλικό κάλυψης-Συνθήκες	Super thermic + high NIR	Μάρτυρας	Εξωτερικά του θερμοκηπίου
<b>Ηλιακή Ακτινοβολία(W/m<sup>2</sup>)</b>	191,9727	192,42	314,4473

*Πίνακας 49: Μέση απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας στα δύο θερμοκήπια και εξωτερικά στις 14/11/2009.*

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η πορεία της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας στις 14/11/2009 που παρουσιάζουν τα δύο θερμοκήπια, του μάρτυρα



και της εφαρμογής αλλά και η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία που καταγράφεται. Κατά την διάρκεια της ημέρας δεν καταγράφηκαν μεγάλες διαφορές μεταξύ του μάρτυρα και του θερμοκηπίου εφαρμογής που προηγούταν.



**Γράφημα 33:** Διακύμανση της περατότητας σε ηλιακή ακτινοβολία που παρουσιάζουν τα δύο θερμοκήπια σε σχέση με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία που καταγράφεται στις 14/11/2009.

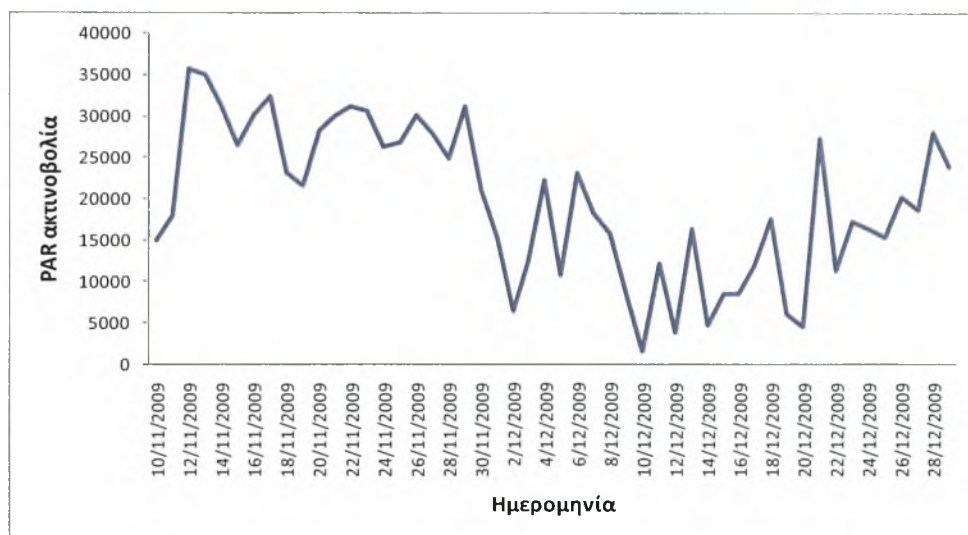
Στο θερμοκήπιο της εφαρμογής με την κόκκινη γραμμή παρατηρούμε ότι η απορρόφηση σε ηλιακή ακτινοβολία ως τις 12:00 παρουσίαζε κυρίως χαμηλότερες τιμές απορρόφησης από το θερμοκήπιο του μάρτυρα ενώ στην συνέχεια και ως τις 13:00 παρουσίασε υψηλότερη απορρόφηση από του μάρτυρα όπως και από τις 14:00 και μετά. Εντύπωση αποτελεί η χαμηλές απορροφήσεις όταν τα παράθυρα ανοίγουν 13.00 με 14:00 και αυτό οφείλεται μάλλον στην θέση των αισθητήρων. Η απορρόφηση έφτασε το πολύ ως 350 W/m<sup>2</sup> περίπου.

Στο θερμοκήπιο του μάρτυρα με την πράσινη γραμμή παρατηρούμε ότι η απορρόφηση σε ηλιακή ακτινοβολία στο μεγαλύτερο μέρος της ημέρας παρουσίασε μεγαλύτερη απορρόφηση ενώ στο διάστημα που άνοιξαν τα παράθυρα παρουσίασε πολύ μεγάλη απορρόφηση η οποία έγινε προσπάθεια να διορθωθεί και να περιοριστεί στην ανάλυση για να έχουμε σύγκριση σωστή μεταξύ των υλικών. Η απορρόφηση έφτασε το πολύ ως 400 W/m<sup>2</sup> περίπου.

Όσον αφορά την εξωτερική ακτινοβολία αυξήθηκε ως τις 13.30 περίπου και μετά ακολούθησε πτωτική τάση. Το μέγιστο απορρόφησης που παρουσίασε ήταν περίπου  $550 \text{ W/m}^2$

Τέλος, έγινε στατιστική ανάλυση με το πρόγραμμα SPSS για να δούμε αν οι διαφορές σε απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας που σημειώνεται στα δύο θερμοκήπια είναι στατιστικά σημαντική. Με εφαρμογή One-way ANOVA οι διαφορές μεταξύ του θερμοκηπίου εφαρμογής και του μάρτυρα δεν ήταν σημαντικές ( $\text{Sig.}0,986 > 0,05$ ).

Εκτός, από την εκτίμηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλο της το φάσμα έγινε και μέτρηση της PAR ακτινοβολίας στο εξωτερικό των θερμοκηπίου όπου κατά μέσο όρο ήταν 19636 .Ακόμα, στο γράφημα παρακάτω διακρίνουμε την διακύμανση που παρουσίασε η PAR ακτινοβολία κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων από 10/11 ως 29/12/2009.



*Γράφημα 34: Διακύμανση PAR ακτινοβολίας εξωτερικά των θερμοκηπίων.*

#### 4.6.2 Σχόλια-Παρατηρήσεις

- Την χαμηλότερη απορρόφηση σε ηλιακή ακτινοβολία την παρουσιάζει το θερμοκήπιο της εφαρμογής μας και αυτό είναι λογικό γιατί ανακλά την NIR ακτινοβολία από το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.
- Όμοια σε σύγκριση που έκαναν και Verlodt et al. (1997) κατέληξαν και αυτή ότι την χαμηλότερη ανάκλαση την παρουσιάζει το ανακλαστικό φύλλο της θερμικής ακτινοβολίας.
- Ωστόσο, η διαφορά αυτή που προέκυψε δεν είναι στατιστικά σημαντική, πράγμα που σημαίνει ότι αφού δεν παρουσιάζεται σημαντική διαφορά στην

απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας τότε το ίδιο μάλλον συμβαίνει και για την απορρόφηση της PAR ακτινοβολίας. Έτσι δεν έχουμε και επηρεασμό της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών μας.

- Σύμφωνα με το παραπάνω σχόλιο συμπεραίνουμε ότι το υλικό του θερμοκηπίου εφαρμογής μπορεί να ανακλά την NIR ακτινοβολία άλλα είναι εκλεκτικό στο υπόλοιπο φάσμα.
- Όσον αφορά την εκλεκτικότητα στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας που αναφέραμε την διαπίστωσαν σε ανακλαστικά υλικά κάλυψης της NIR που χρησιμοποίησαν και οι Soneveld et. al. (2008). Όμοια και οι Hemming et al. (2005), Chaibi et al. (2003), Abdel-ghany et al. (2001) και οι Van Bavel et al. (1980).
- Τέλος, στην αρχή των παρατηρήσεων στις 7:00 βλέπουμε ότι μόνο το θερμοκήπιο του μάρτυρα καταγράφει παρατηρήσεις απορρόφησης. Αυτό μάλλον οφείλεται στην θέση του αισθητήρα.

## **Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα**



## 5.1 Συμπεράσματα

Από την μελέτη του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου που ανακλά την θερμική ακτινοβολία, IR-NIR-PE κατά την διάρκεια του χειμώνα προέκυψαν τα εξής:

1. Οι αγρονομικές μετρήσεις έδειξαν ότι τα φυτά στο θερμοκήπιο του μάρτυρα υπερείχαν έναντι του θερμοκηπίου εφαρμογής. Αρκετές φορές τα αποτελέσματα ταίριαζαν με αντίστοιχα προηγούμενων αναφορών. Ωστόσο, οι διαφορές που προέκυψαν δεν ήταν στατιστικά σημαντικές και έτσι συμπεραίνουμε ότι το υλικό κάλυψης IR-NIR-PE δεν επιδρά αρνητικά στην ανάπτυξη και στην απόδοση της καλλιέργεια μας κατά την διάρκεια του χειμώνα.
2. Η κατανάλωση ενέργειας στο θερμοκήπιο εφαρμογής ήταν μεγαλύτερη έναντι του μάρτυρα. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές που προέκυψαν δεν ήταν στατιστικά σημαντικές και έτσι συμπεραίνουμε ότι το υλικό κάλυψης IR-NIR-PE δεν επιδρά αρνητικά σε μεγάλο βαθμό στην κατανάλωση ενέργειας κατά την διάρκεια του χειμώνα.
3. Τα αποτελέσματα κατανάλωσης ενέργειας εξαρτώνται από τις θερμοκρασίες που διαμορφώνονται στο χώρο του θερμοκηπίου. Σε προηγούμενες αναφορές βρέθηκε ότι υλικά που ανακλούν την θερμική ακτινοβολία παρουσιάζουν και χαμηλότερες θερμοκρασίες άρα και λογικά και μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας όπως στην δικιά μας περίπτωση.
4. Οι μη σημαντικές διαφορές σε κατανάλωση ενέργειας ίσως οφείλονται στο γεγονός ότι το υλικό κάλυψης IR-NIR-PE μπορεί να έχει μονωτικές ιδιότητες για την θερμότητα που προκύπτει από το σύστημα θέρμανσης.
5. Οι οπτικές ιδιότητες έδειξαν ότι το υλικό εφαρμογής απορροφά λιγότερη ακτινοβολία από το μάρτυρα. Το ίδιο παρατηρείται και σε προηγούμενες αναφορές. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικά σημαντικές άρα συμπεραίνουμε ότι το υλικό κάλυψης IR-NIR-PE δεν επιδρά αρνητικά στην απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας άρα και στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης κατά την διάρκεια του χειμώνα.
6. Οι μη στατιστικά σημαντικές διαφορές που προκύπτουν όσον αφορά τις οπτικές ιδιότητες ίσως οφείλονται στο γεγονός ότι παρουσιάζει εκλεκτική απορρόφηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτός από την NIR

ακτινοβολία. Αυτή η ιδιότητα του υλικού συμπίπτει με την αξιολόγηση αντίστοιχων υλικών σε προηγούμενες αναφορές.

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω αλλά και με προηγούμενες αναφορές ένα υλικό κάλυψης που ανακλά την θερμική ακτινοβολία όπως το IR-NIR-PE μπορεί να χρησιμοποιηθεί το καλοκαίρι στο θερμοκήπιο ως ένας οικονομικός τρόπος δροσισμού χωρίς να επηρεάζεται η φωτοσυνθετική δράση αλλά και τον χειμώνα χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά το κλίμα και η ανάπτυξη της καλλιέργειας μας.

## **Κεφάλαιο 6 Βιβλιογραφία**





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ**

1. Aberkani K., 2009. Study of the effects of a liquid foam technology injected between the double layer of polyethylene of the greenhouse on light transmission and spectral quality. microclimate, physiology of tomato and sweet pepper crops, and energy savings. Université Lava.
2. Abdel-Ghady M.A., Kozai T., Chun C., 2001. Plastic Films vs Fluid-Roof Cover for a Greenhouse in a Hot Climate: A Comparative Study by Simulation. Japanese Journal of Tropical Agriculture. Vol.45, No 4, pp. 242-250
3. Additives for Polymers. 1996. Vol. 1996, Issue 6, pp. 2. Elsevier Science
4. Al-Helal I.M., Al-Musalam I.B., 2000. Agricultural Research Center. College of food and Agricultural Sciences. King Saud University.
5. Ali H.M., I.S. Moustafa, H. El-Mansy. 1990. An efficient greenhouse design for hot climates. Energy Convers. Mgmt Vol. 30, No. 4, pp. 433-437
6. Antignus, Y., Mor, N., Joseph, R.B., Lapidot, M., Cohen. S., 1996. Ultraviolet-absorbing plastic sheets protect crops from insect pests and from virus diseases vectored by insects. Environmental Entomology. Vol. 25, no. 5, pp. 919-924.
7. Baille A., C. Kittas and N. Katsoulas, 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning, Agric. Forest Meteorol. 107, pp. 293–306
8. Blanchard, M.G. and E.S. Runkle. 2010. Influence of NIR-reflecting shading paint on greenhouse environment, plant temperature, and growth and flowering of bedding plants. ASABE 53:939-944.
9. Brown, E.M. 1939. Equipment for the growing of plants at controlled temperatures. Plant Physiology 14: 517.
10. Canham, A. E. 1962. Shading glasshouses with liquid films. Report W/T 40. United Kingdom: British Electrical & Allied Industries Research Association.
11. Cemek, B. , Demir, Y. , Uzun, S. , Ceyhan, V., 2006. The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine.. Energy 31, 12, 1444-1452

12. Chaibi M.T. and T. Jilar, 2004. System design, operation and performance of roof-integrated desalination in greenhouses. *Solar Energy*, Volume 76, Issue 5, 2004, Pages 545-561
13. Cohen S. and M. Fuchs. 1999. Measuring and predicting radiometric properties of reflective shade nets and thermal screens, *Journal of Agricultural Engineering Research* 73 (3) ,pp. 245–255
14. Costa H.S., K. L. Robb, C. A. Wilen. 2002. Field Trials Measuring the Effects of Ultraviolet-Absorbing Greenhouse Plastic Films on Insect Populations. *Journal of Economic Entomology* 95(1):113-120.
15. Dyer A.G. and L.Chittka. 2004. Bumblebee search time without ultraviolet light. *The Journal of Experimental Biology* 207, 1683-1688
16. Eurostat . 2007. Structure of agricultural holdings. Crops under glass.
17. Zenoni M., A.K. Singh. 1996. Plant growth in a greenhouse with radiation filtering – a hot, arid case study. *Energy for Sustainable Development*. Vol. III. No. 1. pp. 48-53
18. Feuermann D., R. Kopel, M. Zeroni, S. Levi, J. Gale, 1998. Evaluation of a liquid radiation filter greenhouse in an desert environment. *ASAE*. Vol. 41 (6): 1781-1788
19. García M.L., E. Medrano, M.C. Sánchez-Guerrero, P. Lorenzo. 2011. Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system. *Biosystems Engineering* Vol. 108. Issue 2. Pages 133-14
20. Garzoli K.V., 1989. Cooling of greenhouse in tropical and sub-tropical climates. *Acta Horticulture* 257. pp. 93–101
21. Ghosal, M.K., 2003. Thermal modeling of greenhouse and its experimental validation: a solar energy approach, Ph.D. Thesis, I.I.T. Delhi.
22. Hemming, S., F. Kempkes, N. van der Braak, T. Dueck, and N. Marissen. 2006. Greenhouse cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.* 719: 97-106.
23. Impron, I., Hemming, S., G.P.A. Bot 2007. Effects of cover properties, ventilation rate, and crop leaf area on tropical greenhouse climate. *Biosystems Engineering* Vol. 99. Issue 4. Pages 553-56

24. Katsoulas, N. , Manolaraki, Ch., Kittas, C. , Bartzanas, T., 2008. Effects of anti-drip cover materials on microclimate and production of a hydroponic cucumber crop, *Acta Horticulturae* 801, 1, 267-274
25. Kempkes . 2008. NIR-screen as an energy saving measure. *FlowerTECH* 2008. vol. 11. no. 2. pp 20-21
26. Kittas C., M. Tchamitchian, N. Katsoulas, P. Karaïskou, Ch. Papaïoannou. 2006. Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop. *Scientia Horticulturae* 110. 30–37
27. Kittas C., A. Baille, P. Giaglaras, 1999. “ Influence of Covering Material and Shading on the Spectral Distribution of Light in Greenhouses”. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 341-351.
28. Kumar K.S., K.N. Tiwari, Madan K. Jha. 2009. Design and technology for greenhouse cooling in tropical and subtropical regions: A review. *Energy and Buildings*. 41. 1269–1275
29. López-Marín, J., González, A. , García-Alonso, Y. , Espí, E. , Salmerón, A. , Fontecha, A. , Real, A.I., 2008. Use of cool plastic films for greenhouse covering in Southern Spain. *Acta Horticulturae*. 801, 1, 181-186
30. Mannan, K.D., Cheema, L.S., 1981. Year round studies on natural cooling and heating of greenhouses in Northern India. In: *Proceedings of the National Solar Energy Convention Bhavnagar. India*
31. Meca D., J. C. López, J. C. Gázquez, E. Baeza, J. Pérez Parra, G. Zaragoza. 2007. A comparison of three different cooling systems in parral type greenhouses in Almería. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 5(3), 285-292
32. Moller M., S. Cohen , M. Pirkner , Y. Israeli, J. Tanny. 2010. Transmission of short-wave radiation by agricultural screens. *Biosystems engineering*. 107. pp 317-327.
33. Morris L.G., Trickett, E.S., .Vanstone, F.H. and Wells, D.A., 1958. The limitation of maximum temperature in a glasshouse by the use of a water film on the roof. *J. Agric. Eng. Res.*, 3: 121-130.
34. Mutwiwa, U.N., von Elsner, B., Max, J.F.J., Tantau, H.J., 2007. Cooling naturally ventilated greenhouses in the tropics by near-infra red reflection. *Acta Hort.* 801, 259–266.

35. Mutwiwa U.N., C. Borgemeister, B.Von elsner, H. Tantau. 2005. Effects of UV-Absorbing Plastic Films on Greenhouse Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*. 98(4):1221-1228
36. Nilsen S., C. Dons, H. Pettersen. 1984. A method for reducing the infrared radiation or changing the spectral distribution of sunlight in greenhouses. *Biotronics*. 13. 1-9
37. Sagar, J.C., Smith, W.O., Edwards, J.L., Cyr, K.L., 1988. Photosynthesis efficiency and phytochrome photoequilibria determination using spectral data. *Transac. ASAE* 31: pp 1882-1889.
38. Sethi V.P., S.K. Sharm. 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy* 81. 1447–1459
39. Sethi V.P. and G.S. Sidhu. 2004. Effect of aluminized polyester sheet on the micro-climate and growth of chrysanthemum. *Journal of Agricultural Engineering, ISAE* 41 (4). pp. 1–4
40. Sethi V.P. and Y.P. Gupta. 2004. Reduction of greenhouse temperature using reflector sheet, *AMA Japan, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America* 35 (2). pp. 51–54
41. Shamim, T., McDonald, T.W., 1995. Experimental study of heat transfer through liquid foam. In: *Proceedings of ASHRAE. Transaction No. 1 Atlanta, CA, USA*. pp. 150–157
42. Shen Y. and S.L. Yu. 2002. Cooling methods for greenhouses in tropical region, *Acta Hortic.* 578. pp. 323–327
43. Shukla, G.N. Tiwari, M.S. Sodha. 2008. Experimental study of effect of an inner thermal curtain in evaporative cooling system of cascade greenhouse, *Solar Energy* 82 (1).61–72
44. Sonneveld P.J., H.J. Holterman, G.L.A.M. Swinkels, B.A.J. van Tuijl, H. Janssen, G.P.A. Bot. 2008. PV System Integrated in a Solar Greenhouse With NIR Selective Coating. 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1-5 September 2008, Valencia, Spain
45. Van Bavel, C.H.M., Damagnez, J. and Sadler, E.J., 1981. The fluid-roof solar greenhouse:energy budget analysis by simulation. *Agric. Meteorol.*, 23: 61-76.
46. Verlodt, I., T. Daponte and P. Veschaeren 1995. Interference pigments for greenhouse films. *Plasticulture* 108Q 13-26.

47. Von Elsner, B. 2006. Interferencne pigments in photosensitive shading paint for greenhouses. Acta Hort. (ISHS) 711:417-422

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ

48. Γραφιαδέλλης Μ., 1987. Σύγχρονα Θερμοκήπια. Β Έκδοση. Έκδοση Δ. Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη
49. Εθνική Στατιστική Υπηρεσία. 2007. Βάση Στατιστικών Δεδομένων. Γεωργικές εκτάσεις-Θερμοκήπια.
50. Ηλιόπουλος Π.Α., 2007. Φυτοπροστατευτική Διαχείριση Θερμοκηπίων. Σημειώσεις ΤΕΙ Λάρισας.
51. Καραταγλής Σ.Σ., 1994. Φυσιολογία φυτών. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη
52. Κατσούπα Μ., 2010, Μελέτη της επίδρασης απορροφητικών της υπεριώδους και ανακλαστικών της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας υλικών κάλυψης, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην ανάπτυξη της καλλιέργειας. Πτυχιακή στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών Π.Θ..
53. Κίττας Κ., 2001. Γεωργικές κατασκευές & έλεγχος περιβάλλοντος μονάδων φυτικής και ζωικής παραγωγής, Ι. Θερμοκήπια. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος
54. Κυκριλής Μ.Β., Γεωπόνος, Πλαστικά Κρήτης Α.Β.Ε.Ε., 2008. Νέα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων. Επίδραση στο κλίμα και στην παραγωγή
55. Μπαρτζάνας Θ.Ι., 1999. Διαχείριση της υψηλής υγραμετρίας σε ελληνικά θερμοκήπια. Διδακτορική διατριβή στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών Π.Θ..
56. Νικολάου Χ., 2010. Μελέτη της επίδρασης ενός ανακλαστικού της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην παραγωγή υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Πτυχιακή στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών Π.Θ..
57. Μαυρογιανόπουλου Γ. Ν. , 2005. Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
58. Στατιστική υπηρεσία Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης. Ετήσια Έκθεση 2007

### ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

59. Hyplast-A world of plastic. Greenhouse film. [www.hyplast.be](http://www.hyplast.be)
60. Plastic Films Solutions-MASTERPAK. [www.masterpaklb.com](http://www.masterpaklb.com)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000106727