



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

---

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος  
«Αυτοματισμοί στις αρδεύσεις, τις γεωργικές κατασκευές και στην  
εκμηχάνιση της γεωργίας»



«Μελέτη ανταλλαγών μάζας καλλιέργειας πιπεριάς σε δικτυοκήπιο»

Μεταπτυχιακή Διατριβή  
Κάνδηλα Άννα

Επιβλέπων Καθηγητής  
Κατσούλας Νικόλαος

Βόλος, 2012

«Μελέτη ανταλλαγών μάζας καλλιέργειας πιπεριάς σε διχτυοκήπιο»

## Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Νικόλαος Κατσούλας (Επιβλέπων)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επίκουρος Καθηγητής  
Γεωργικών Κατασκευών

Θεοφάνης Γέμτος (Μέλος)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής  
Γεωργικής Μηχανολογίας

Θωμάς Μπαρτζάνας (Μέλος)  
ΚΕΤΕΑΘ

Ερευνητής Β'

## Ευχαριστίες

Εκφράζω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου, στον Επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Κατσούλα Νικόλαο που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με αυτό το θέμα, καθώς και για την ηθική υποστήριξη και κυρίως τη πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε στην αρτιότερη οργάνωση του πειράματος, τη συνεχή επιστημονική καθοδήγηση και τη συγγραφή της παρούσας εργασίας. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Κίττα Κωνσταντίνο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γέμτο Θεοφάνη Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας καθώς και τον κ. Μπαρτζάνα Θωμά Ερευνητή Β' του ΚΕΤΕΑΘ για την συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και τη διόρθωση αυτής της διατριβής.

Ακόμα, ευχαριστώ τον κ. Ρηγάκη Νικόλαο, υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών καθώς και την συνάδελφο μεταπτυχιακή φοιτήτρια κ. Νικολάου Χρύσα, για την βοήθεια τους στην εκπόνηση του πειραματικού μέρους.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το ΚΕΤΕΑΘ για την εγκατάσταση των διχτυοκηπίων στο Αγρόκτημα στο πλαίσιο συνεργασίας με το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, καθώς και την εταιρία Agroplast-Αφοί Χατζηκωστή Α.Ε. για την προσφορά των διχτύων αλλά και τις εταιρίες Hellanco και Plantas και τον κ. Καρελά Δημήτριο για την προσφορά των φυτών πιπεριάς.

Τέλος, αλλά όχι λιγότερο, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και όλους εκείνους που βρίσκονταν κοντά μου κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της διατριβής, για την ηθική υποστήριξη και τη συμπαράστασή τους.

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η κατασκευή διχτυοκηπίων εξαπλώνεται όλο και περισσότερο, ενώ στην Ελλάδα άρχισε να υιοθετείται πρόσφατα. Τα δίχτυα μπορούν να επηρεάσουν τόσο το μικροκλίμα όσο και την καλλιέργεια κάτω από αυτό. Στην παρούσα εργασία μελετάται η επίδραση τριών διχτυοκηπίων, των οποίων τα δίχτυα διέφεραν σε χρώμα και ποσοστό σκίασης, στο μικροκλίμα καλλιέργειας γλυκιάς πιπεριάς, στον αερισμό, αλλά και στη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή των φυτών. Επίσης μελετήθηκαν και οι οπτικές ιδιότητες των διχτυών. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από το Μάιο έως τον Οκτώβριο του 2011, στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο. Οι μετρήσεις των κλιματικών δεδομένων (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία και υγρασία του αέρα και θερμοκρασία καλλιέργειας) καταγράφονταν συνέχεια εντός των διχτυοκηπίων και εξωτερικά αυτών. Ο αερισμός μελετήθηκε με τη βοήθεια ενός ηχητικού ανεμόμετρου τριών διαστάσεων και η απεικόνιση των κανονικοποιημένων μετρήσεων στο χώρο (θερμοκρασία, ταχύτητα αέρα) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Surfer 8. Οι μετρήσεις της φωτοσύνθεσης και της διαπνοής πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια μιας φορητής συσκευής ανταλλαγής αερίων σε τρία διαφορετικά επίπεδα φύλλων. Τέλος οι οπτικές ιδιότητες των διχτυών έγιναν με τη βοήθεια ενός φασματοφωτομέτρου.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η ηλιακή ακτινοβολία μειώθηκε κάτω από τα δίχτυα αναλογικά με το ποσοστό σκίασης του κάθε διχτυού, η θερμοκρασία του αέρα κάτω από τα δίχτυα ήταν παρόμοια με αυτή του εξωτερικού, ενώ η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα αλλά και το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα ήταν υψηλότερα στην ασκίαστη καλλιέργεια. Ο αερισμός βρέθηκε παρόμοιος στα διχτυοκήπια που μελετήθηκαν. Η καλλιέργεια κάτω από τα δίχτυα παρουσίασε μειωμένη φωτοσύνθεση αλλά παράλληλα προστάτευσε τα φυτά από το φωτοκορεσμό, ενώ είχε παρόμοιο εγκλιματισμό στο φως με την ασκίαστη καλλιέργεια, ανεξαρτήτως του χρώματος και του πορώδους των διχτυών. Τέλος όλα τα δίχτυα τροποποίησαν την ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, άλλα λιγότερο και άλλα περισσότερο.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή .....	8
1.1. Γενικά για τα διχτυοκήπια .....	8
1.2 Χρήση διχτυών .....	10
1.3. Τεχνολογία διχτυών .....	11
2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση .....	16
2.1. Ηλιακή ακτινοβολία .....	16
2.1.1. Συνολική ακτινοβολία (200 - 10 <sup>5</sup> nm) .....	16
2.1.2. Μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (200 - 3000nm) .....	16
2.1.3. Μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία - Μακρινή υπέρυθη ακτινοβολία(3000 - 10 <sup>5</sup> nm) .....	18
2.2 Επίδραση του χρώματος των διχτυών στα φυτά .....	18
2.3. Επίδραση του χρώματος των διχτυών στις οπτικές τους ιδιότητες .....	19
2.4. Επίδραση των διχτυών στην ποιότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας .....	20
2.5 Επίδραση των διχτυών στο μικροκλίμα .....	22
2.5.1. Θερμοκρασία αέρα και φύλλων .....	23
2.5.2. Σχετική υγρασία, έλλειμμα κορεσμού αέρα και καλλιέργειας .....	26
2.6. Επίδραση των διχτυών στον αερισμό των διχτυοκηπίων .....	27
2.7. Επίδραση των διχτυών στη φωτοσύνθεση των φυτών .....	30
2.8. Σκοπός .....	34
3. Υλικά και Μέθοδοι .....	35
3.1. Πειραματικός αγρός .....	35
3.2. Περιγραφή διχτυοκηπίων .....	35
3.3. Περιγραφή της καλλιέργειας .....	37
3.4. Περιγραφή μετρήσεων .....	38
3.4.1. Μετρήσεις κλιματικών δεδομένων των διχτυοκηπίων .....	38
3.4.1.1. Θερμοκρασία και Σχετική υγρασία αέρα .....	38
3.4.1.2. Συνολική ηλιακή ακτινοβολία .....	38
3.4.1.3. Θερμοκρασία φύλλων .....	39
3.4.2. Μετρήσεις εξωτερικών κλιματικών δεδομένων .....	39
3.4.2.1. Θερμοκρασία και Σχετική υγρασία αέρα .....	39
3.4.2.2. Συνολική ηλιακή ακτινοβολία .....	39
3.4.2.3. Ταχύτητα ανέμου και Διεύθυνση ανέμου .....	40
3.4.2.4. Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία .....	40
3.5. Καταγραφή δεδομένων .....	40
3.6. Μετρήσεις οπτικών ιδιοτήτων των διχτυών .....	40
3.6.1. Διαπερατότητα των διχτυών .....	41
3.6.2. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας .....	42
3.7. Μετρήσεις κατανομής του μικροκλίματος .....	43
3.8. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης .....	46
4. Αποτελέσματα .....	49
4.1. Μικροκλίμα σε μηνιαία βάση .....	49
4.1.1. Ηλιακή ακτινοβολία .....	49
4.1.2. Θερμοκρασία .....	50
4.1.3. Υγρασία .....	52
4.1.4. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα .....	53

4.2. Μικροκλίμα κατά τη διάρκεια της ημέρας .....	55
4.2.1. Ηλιακή ακτινοβολία.....	55
4.2.2. Διαφορά θερμοκρασίας αέρα .....	58
4.2.3. Θερμοκρασία καλλιέργειας.....	61
4.2.4. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα.....	63
4.2.5. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα.....	63
4.2.6. Έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα.....	66
4.3. Οπτικές ιδιότητες των διχτυών.....	67
4.3.1. Διαπερατότητα των διχτυών σε δύο ύψη .....	67
4.3.2. Διαπερατότητα των διχτυών στο ύψος της καλλιέργειας .....	69
4.3.3. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας.....	72
4.3.3.1. Παράμετροι σχετιζόμενοι με το φυτόχρωμα.....	72
4.3.3.2. Παράμετροι σχετιζόμενοι με το κρυπτόχρωμα .....	74
4.3.3.3 Παράμετροι σχετιζόμενοι με τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία .....	76
4.4. Κατανομή του μικροκλίματος στο χώρο των διχτυοκηπίων .....	78
4.4.1. Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα .....	79
4.4.2. Κατανομή της ταχύτητας του αέρα .....	81
4.4.3. Κατανομή της τύρβης του αέρα .....	82
4.4.4. Κατανομή της έντασης της τύρβης του αέρα.....	83
4.5. Φωτοσύνθεση.....	84
4.5.1. Πυκνότητα ροής φωτονίων .....	84
4.5.2. Ρυθμός φωτοσύνθεσης.....	87
4.5.3. Στοματική αγωγιμότητα.....	90
4.5.4. Ρυθμός διαπνοής.....	93
4.5.5. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού.....	96
4.5.6. Αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός .....	98
4.5.7. Εγκλιματισμός στο φως .....	99
5. Συζήτηση .....	100
5.1. Μικροκλίμα.....	100
5.1.1. Ηλιακή Ακτινοβολία.....	100
5.1.2. Λοιποί παράγοντες του μικροκλίματος.....	100
5.2. Ιδιότητες διχτυών σκίασης.....	103
5.2.1. Διαπερατότητα των διχτυών σε δύο ύψη .....	103
5.2.2. Διαπερατότητα των διχτυών στο ύψος της καλλιέργειας .....	103
5.2.3. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας.....	104
5.3. Κατανομή του μικροκλίματος στο χώρο των διχτυοκηπίων .....	106
5.3.1. Κατανομή της ταχύτητας και των χαρακτηριστικών του αέρα.....	106
5.3.2. Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα .....	107
5.4. Παράμετροι της φωτοσύνθεσης .....	107
5.4.1. Φωτοσύνθεση .....	107
5.4.2. Στοματική αγωγιμότητα και διαπνοή .....	109
5.4.3. Αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός .....	110
5.4.4. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού.....	111
5.5. Σύνθεση αποτελεσμάτων κλίματος και ανάπτυξης της καλλιέργειας.....	111
6. Συμπεράσματα .....	114
7. Βιβλιογραφία.....	116

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Γενικά για τα διχτυοκήπια

Σήμερα μεγάλο μέρος της παραγωγής των λαχανοκομικών αλλά και ανθοκομικών φυτών γίνεται στα θερμοκήπια τα οποία επιτρέπουν την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας και μεγάλης ποσότητας. Η καλλιέργεια σε θερμοκήπιο προσφέρει τη δυνατότητα ελέγχου του μικροκλίματος με αποτέλεσμα τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης ενώ παράλληλα τα φυτά προστατεύονται από αντίξοα καιρικά φαινόμενα καθώς το θερμοκήπιο είναι μια κλειστή κατασκευή. Παρά τα πλεονεκτήματα που δύναται να προσφέρει η καλλιέργεια σε θερμοκήπια, βασικότατο πρόβλημά τους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αποτελεί ο αερισμός - δροσισμός ενώ επιπλέον το κόστος κατασκευής και συντήρησης αυτών είναι μεγάλο. Στις υπαίθριες καλλιέργειες από την άλλη, τα φυτά είναι εκτεθειμένα στις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο λόγω της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνονται οι απαιτήσεις των φυτών σε νερό ενώ παρατηρούνται εγκαύματα σε φύλλα και καρπούς. Πολύ υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να είναι περιοριστικά της φωτοσύνθεσης άρα και της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών. Επιπλέον ο μονός τρόπος για να ελεγχθούν πληθυσμοί εντόμων και ζιζανίων είναι η εφαρμογή χημικών. Συνεπώς η ποιότητα και η ποσότητα της παραγωγής είναι μειωμένες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στις υπαίθριες καλλιέργειες.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η καλλιέργεια φυτών τόσο στα θερμοκήπια όσο και στην ύπαιθρο παρουσιάζει κάποια προβλήματα τα οποία όμως θα μπορούσαν να ξεπεραστούν με τη χρήση διχτυοκηπίων. Τα διχτυοκήπια είναι κατασκευές καλυμμένες εξολοκλήρου με δίχτυα. Εκτός από τα διχτυοκήπια, δίχτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για την κάλυψη ολόκληρων θερμοκηπίων, είτε για κάλυψη μόνο των ανοιγμάτων αυτών, είτε για κάλυψη υπαίθριων καλλιεργειών. Η χρήση διχτυών επηρεάζει πολλούς από τους βασικούς παράγοντες του μικροκλίματος (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, και συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>), οι οποίοι επιδρούν στην ανάπτυξη και την παραγωγή των καλλιεργειών (Picuno, 2006). Συγκριτικά με τα θερμοκήπια, τα διχτυοκήπια δεν χρήζουν ψύξης και παρέχουν



καλύτερο αερισμό. Έχει βρεθεί ότι ο ρυθμός αερισμού εντός διχτυοκηπίου είναι υψηλότερος συγκριτικά με τον ρυθμό αερισμού σε θερμοκήπιο παρόμοιου μεγέθους (Tanny et al., 2003). Επιπλέον τα διχτυοκήπια έχουν χαμηλότερο κόστος (Moller and Assouline, 2007). Σε σχέση με τον ανοιχτό αγρό, τα διχτυοκήπια παρεμποδίζουν την είσοδο εντόμων στην καλλιέργεια ενώ συγχρόνως μειώνεται η εφαρμογή των εντομοκτόνων (Teitel, 2007). Η χρήση διχτύων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αερισμού και της ηλιακής ακτινοβολίας με επακόλουθο να μειώνεται και η διαπνοή των φυτών. Άρα σε περιοχές με περιορισμένους πόρους νερού τα διχτυοκήπια παρέχουν εξοικονόμηση νερού. Συνήθως τα δίχτυα που χρησιμοποιούνται παρέχουν ποσοστό σκίασης 15-35% όπου αναμένεται και ανάλογη μείωση της κατανάλωσης νερού.

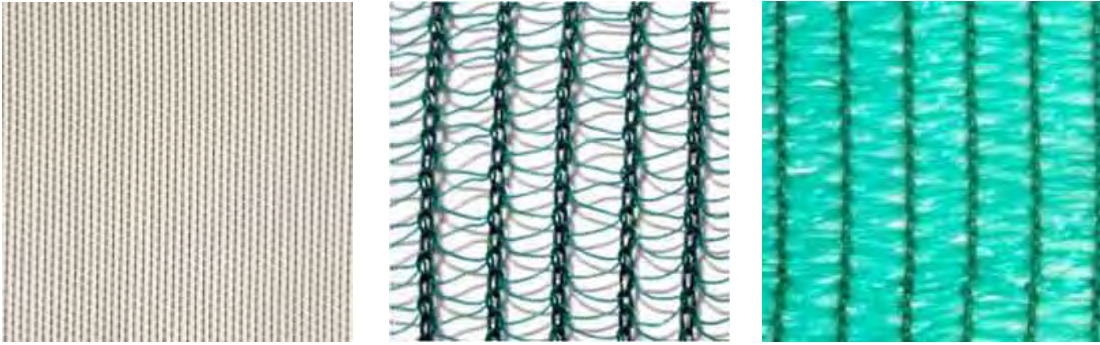
Τα σημερινά δεδομένα που αφορούν τις εκτάσεις που καταλαμβάνουν τα διχτυοκήπια στο Μεσογειακό χώρο είναι λίγα. Φαίνεται ότι στο Ισραήλ τα διχτυοκήπια καταλαμβάνουν έκταση 55.000 στρέμματα (από προσωπική επικοινωνία με τον Teitel, M.) ενώ στην Ελλάδα καταλαμβάνουν περίπου 3.000 στρέμματα (χοντρική εκτίμηση). Παρόλα αυτά φαίνεται ότι τα τελευταία χρόνια η κατασκευή διχτυοκηπίων ή η χρήση διχτύων για κάλυψη των καλλιεργειών εξαπλώνεται όλο και περισσότερο, ιδιαίτερα μεταξύ των παραγωγών στην περιοχή της Μεσογείου, λόγω της μείωσης που προκαλούν στα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε αυτές τις περιοχές. Ακόμα, ένας από τους βασικότερους παράγοντες εξάπλωσης των διχτυοκηπίων είναι επειδή τα προϊόντα που παράγονται από τέτοιες κατασκευές ικανοποιούν τις απαιτήσεις των καταναλωτών για μειωμένες εισροές σε εντομοκτόνα (Moller et al., 2004). Στην Ελλάδα, η χρήση των διχτυοκηπίων άρχισε να υιοθετείται τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα 1. Ερευνητικό δίχτυο σκίασης με καλλιέργεια σπανακιού.

## 1.2. Χρήση δίχτυών

Τα δίχτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κάλυψης για την εκπλήρωση διαφόρων γεωργικών σκοπών, όπως για την προστασία καλλιεργειών από περιβαλλοντικές συνθήκες (χαλάζι, παγετός, άνεμος), για μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας, προστασία από έντομα και μικρά ζώα καθώς και από άλλους εχθρούς και ασθένειες (Castelano et al, 2008c). Χρωματιστά δίχτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροποποίηση του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ επαλουμινωμένα δίχτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξοικονόμηση ενέργειας καθώς αντανακλούν την ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνειά τους. Ανάλογα με τη χρήση τους, τα δίχτυα δύναται να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες. Έτσι τα δίχτυα που χρησιμοποιούνται για τον αποκλεισμό των εντόμων αποκαλούνται δίχτυα εντομοστεγανότητας, αυτά που προστατεύουν από τον άνεμο και το χαλάζι είναι τα αντιανεμικά και αντιχαλαζικά αντίστοιχα, ενώ δίχτυα που μειώνουν την ηλιακή ακτινοβολία ανήκουν στα δίχτυα σκίασης. Όμως δεν είναι πάντα εφικτή η ταξινόμησή τους σε μία μόνο κατηγορία, καθώς σε πολλές περιπτώσεις ένα δίχτυ χρησιμοποιείται για την επίτευξη πολλών σκοπών όπως για παράδειγμα, δίχτυα σκίασης μπορούν παράλληλα να προστατεύουν την καλλιέργεια και από το χαλάζι (Castelano et al, 2008c).



Εικόνα 2. Δίχτυα διαφορετικών χρήσεων. Από τα αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται δίχτυ εντομοστεγανότητας, δίχτυ για προστασία από τα πουλιά και δίχτυ σκίασης.

### 1.3. Τεχνολογία δικτύων

Τα δίχτυα ποικίλουν ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις οπτικές τους ιδιότητες. Τεχνικά χαρακτηριστικά των δικτύων είναι:

Υλικό κατασκευής.

Υφή.

Αριθμός οπών.

Διαστάσεις οπών (mm x mm).

Βάρος ( $\text{g/m}^2$ ).

Πορώδες.

Συμπάγεια.

% ποσοστό σκίασης.

Οπτικές ιδιότητες των δικτύων είναι:

Χρώμα.

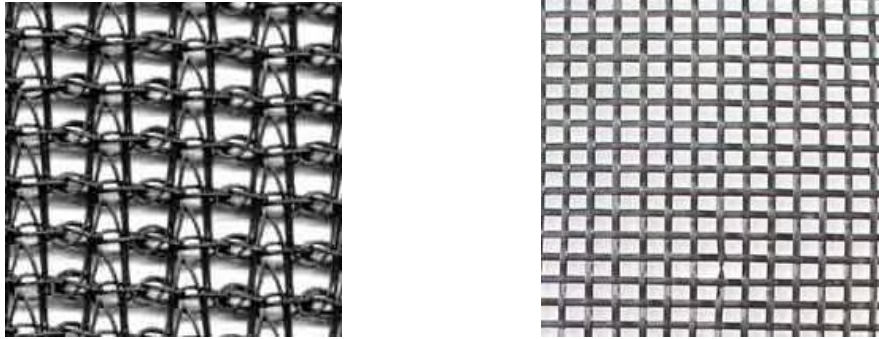
Περατότητα (%).

Απορροφητικότητα (%).

Ανακλαστικότητα (%).

Τα δίχτυα μπορούν να κατασκευαστούν από μονόκλινα-μονόινα νήματα πολυαιθυλενίου (PE) ή πολυπροπυλενίου (PP). Λιγότερο συχνά κατασκευάζονται από βιοδιασπώμενα υλικά (Castellano et al., 2008c). Ανάλογα με τον τρόπο που πλέκονται τα νήματα μεταξύ τους (υφή), αφήνουν ποικίλο αριθμό οπών ανά ίντσα (αριθμός mesh)

όπου 1 ίντσα ισούται 2,54 cm. Ανάλογα με την υφή διακρίνονται σε πλεκτά (knitted), σε υφαντά (woven) ή σε κάτι ενδιάμεσο (woven /knitted) (Teitel, 2007).



Εικόνα 3. Πλεκτό (αριστερά) και υφαντό δίχτυ (δεξιά).

Ο αριθμός mesh διαφέρει στα δίχτυα ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν (για παράδειγμα δίχτυα εντομοστεγανότητας και δίχτυα σκίασης έχουν διαφορετικό αριθμό οπών ανά ίντσα) και κυμαίνεται από 25 έως και 80 ([http1](#)). Τα δίχτυα επίσης ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος των οπών (mesh size) και το βάρος τους το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 15 και 325 g/m<sup>2</sup> (Castellano et al, 2008c). Το πορώδες (porosity) ενός δίχτυου αφορά το % ποσοστό της κενής επιφάνειας του δίχτυου προς της συνολική του επιφάνεια και μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας με τη βοήθεια ενός μικροσκοπίου τις επιφάνειες των οπών και τη συνολική επιφάνεια (Castellano et al., 2008c). Μείωση του μεγέθους των οπών επιφέρει μείωση του πορώδους. Το αντίθετο του πορώδους είναι η συμπάγεια (solidity) όπου είναι το % ποσοστό της καταλαμβανόμενης από νήματα επιφάνειας του δίχτυου προς της συνολική του επιφάνεια (Castellano et al., 2008c). Όσον αφορά το ποσοστό σκίασης που προσφέρουν τα δίχτυα ποικίλει από 13% έως και 92% ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται ([http1](#)).

Μια φυσική ιδιότητα των δίχτυων είναι η διαπερατότητα (permeability) η οποία καθορίζει την ικανότητα του υλικού να μεταδίδει το ρευστό (αέρα) διαμέσου του όγκου του. Η διαπερατότητα εξαρτάται από το πορώδες και την υφή του δίχτυου, τα χαρακτηριστικά των οπών, τις διαστάσεις και το σχήμα νημάτων, τον κενό χώρο μεταξύ των νημάτων, και από την ταχύτητα και το ιξώδες του αέρα (Castellano et al., 2008c). Τα χαρακτηριστικά των δίχτυων μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου λόγω της φυσικής φθοράς των δίχτυων και λόγω των μεταχειρίσεων που υφίστανται, έτσι το

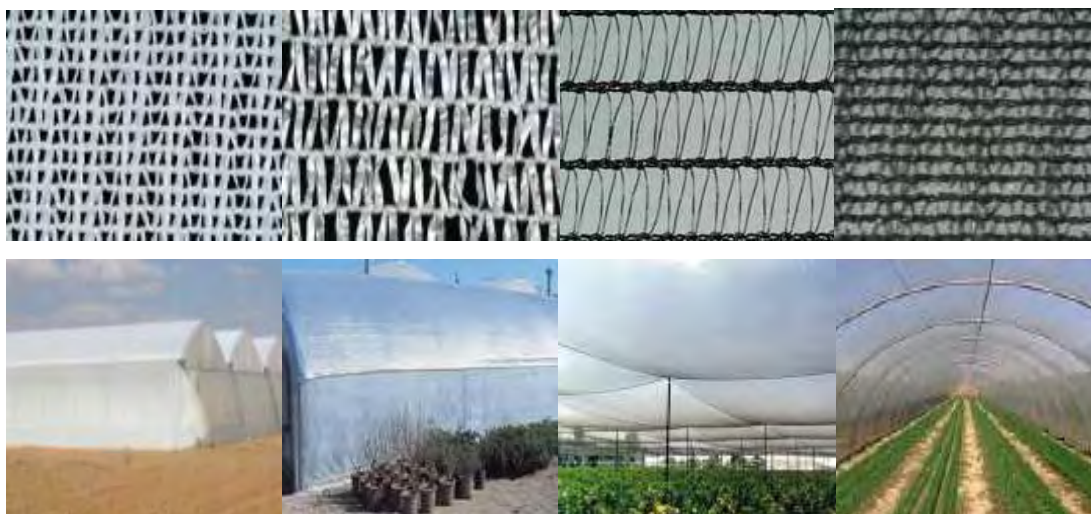
πορώδες των δίχτων μπορεί να αυξηθεί έως και 2 φορές με συνέπεια η διαπερατότητά τους να αυξηθεί 3-5 φορές.

Ανάλογα με το χρώμα των νημάτων των δίχτων τροποποιείται η ποιότητα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από αυτά με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η φυσιολογία των φυτών (φωτοσυνθετική, φωτομορφογενετική και φωτοπεριοδική απόκριση των φυτών) και συνεπώς η ανάπτυξη και η παραγωγικότητά τους. Η ανάπτυξη και η παραγωγικότητα των φυτών εμπεριέχει αρκετούς φωτοϋποδοχείς, όπως το φυτόχρωμα και το κρυπτόχρωμα, με ένα μηχανισμό που παραμένει ακόμα άγνωστος ως επί το πλείστον (Oren-Shamir et al., 2001), οι οποίοι επηρεάζονται και αυτοί από τη χρήση χρωματιστών δίχτων. Σήμερα χρησιμοποιούνται δίχτυα διαφόρων χρωμάτων όπως λευκά, μαύρα, πράσινα, μπλε, κόκκινα κ.α. Επίσης υπάρχουν δίχτυα που μπορούν να έχουν νήματα δύο διαφορετικών χρωμάτων (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Δίχτυ με πράσινο και μαύρο νήμα.

Τα χρωματιστά δίχτυα διαφοροποιούν το προσπίπτον φως, είτε στο φάσμα του μακρινού ερυθρού (FR), είτε στο φάσμα του ορατού ή και της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV), και παράλληλα ενισχύουν το σχετικό περιεχόμενο σε διαχεόμενο φως συγκριτικά με το άμεσο, ή/και απορροφούν μέρος της υπέρυθρης (Shahak et al., 2004).



Λευκού ή χρώματος  
πέρλας δίχτυ

Επαλουμιωμένο  
ανακλαστικό δίχτυ

Μαύρου χρώματος  
δίχτυ

Γκρι χρώματος  
δίχτυ



Μπλε χρώματος  
δίχτυ

Κόκκινου χρώματος  
δίχτυ

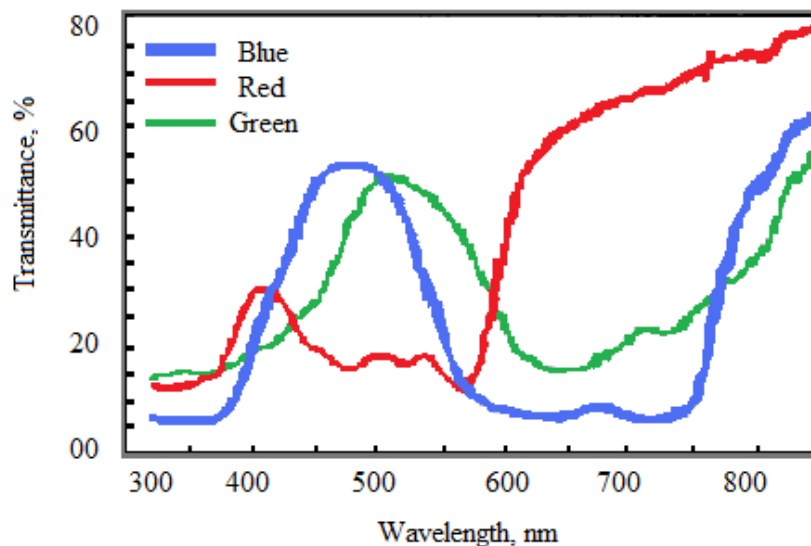
Πράσινου χρώματος  
δίχτυ

Κίτρινου χρώματος  
δίχτυ

Εικόνα 5. Δείγματα δικτυών διαφόρων χρωμάτων και χρήση αυτών.

Κάθε δίχτυ ανάλογα με το χρώμα του απορροφά συγκεκριμένα μήκη κύματος. Για παράδειγμα ένα πράσινο δίχτυ απορροφά τα μήκη κύματος του πορτοκαλί και του κόκκινου ενώ ανακλά το πράσινο, με συνέπεια στο χώρο του δικτυοκηπίου να υπάρχει περισσότερο πράσινο φως. Τα δίχτυα χρώματος πέρλας έχουν τη ιδιότητα να διαχέουν την άμεση ακτινοβολία, επιτρέποντας περισσότερη διάχυτη ακτινοβολία σε καλλιέργεια κάτω από τέτοιου είδους δίχτυα. Έτσι αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της

φωτοσύνθεσης καθώς προσφέρεται περισσότερη ενέργεια για φωτοσύνθεση στα φυτικά μέρη που δεν φωτίζονταν από την άμεση ακτινοβολία (π.χ. τα χαμηλότερα φύλλα της φυλλικής επιφάνειας) (Shahak et al., 2004). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προάγεται η αύξηση και η ανάπτυξη των φυτών, ενισχύοντας την ανάπτυξη δευτερευόντων βλαστών ενώ επιπλέον παρατηρείται μια γενικότερη βελτίωση της παραγόμενης ποιότητας (http2). Τα μπλε χρώματος δίχτυα αυξάνουν την ακτινοβολία στο φάσμα του μπλε και την ελαττώνουν την στο φάσμα του ερυθρού και του υπέρυθρου. Φυτά που αναπτύσσονται κάτω από συνθήκες μπλε φωτός αποκτούν πιο συμπαγή ανάπτυξη και το φύλλωμά τους είναι σκούρου πράσινου χρώματος. Σε φυτά που παράγουν άνθη, το μπλε φως καθυστερεί την άνθηση. Τα μπλε δίχτυα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε καλλιεργητές γλαστρικών φυτών, οι οποίοι επιθυμούν να μειώσουν τον όγκο του μεταφερόμενου προϊόντος (http2). Τα κόκκινα δίχτυα αλλάζουν το φάσμα του φωτός που μεταδίδεται στα υπό κάλυψη φυτά ελαττώνοντας την ακτινοβολία στο φάσμα του μπλε, του πράσινου και του κίτρινου και αυξάνοντας την στο φάσμα του ερυθρού και του υπέρυθρου. Επειδή κάτω από συνθήκες κόκκινου φωτός επιταχύνεται η αύξηση και η ανάπτυξη των φυτών, η φυλλική επιφάνεια αυτών αυξάνεται, οι βλαστοί τους είναι μεγαλύτερου μήκους και διαμέτρου και το φύλλωμα είναι σκούρου πράσινου χρώματος. (http2).



Σχήμα 1. Καμπύλες διαπερατότητας χρωματιστών δίχτυων των δίχτυων στο φάσμα του φωτός. Πηγή: (Orem-Shamir, 2001).

## 2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

### 2.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει σε συγκεκριμένη επιφάνεια πάνω στη γη εξαρτάται από την ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος, από το ύψος του ήλιου (εποχή, ώρα, γεωγραφικό πλάτος), από την κατάσταση της ατμόσφαιρας, από την κλίση της επιφάνειας και από το ύψος αυτής πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (Μαυρογιανόπουλος, 1999). Όσον αφορά τα δίχτυα, φαίνεται ότι όσο μειώνεται το ύψος του ηλίου τόσο αυξάνεται το ποσοστό σκίασης (Moller and Assouline, 2007). Συνεπώς όταν ο ήλιος βρίσκεται χαμηλότερα, η διαπερατότητα της άμεσης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας μειώνεται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από το πραγματικό βαθμό σκίασης του δικτύου (Moller and Assouline, 2007). Έτσι η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από το ύψος του ηλίου (Moller and Assouline, 2007). Ακόμα, όσο περισσότερο σκόνη συγκεντρώνεται σε ένα δίχτυ τόσο μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην υπό σκίαση καλλιέργεια, (Santos et al., 2006), ενώ μειώνεται και καθώς η πλέξη των δικτύων γίνεται πυκνότερη (Sica and Picuno, 2008). Οι Raveh et al., (2003), που πραγματοποίησαν μετρήσεις με φασματοραδιόμετρο κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διαπερατότητα των επαλουμινωμένων ανακλαστικών δικτύων ήταν ανεξάρτητη του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Ανάλογα με το εύρος φάσματος η ακτινοβολία χωρίζεται σε:

#### 2.1.1. Συνολική Ακτινοβολία (200-10<sup>5</sup> nm)

#### 2.1.2. Μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (200-3000 nm)

Το 98% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρού μήκους κύματος. Η ακτινοβολία αυτή διαχωρίζεται σε άμεση και έμμεση ή διαχεόμενη ή αλλιώς διάχυτη. Η άμεση ακτινοβολία μεταδίδεται σε ευθεία γραμμή από τον ήλιο, χωρίς να υποστεί σκέδαση από την ατμόσφαιρα. Η διαχεόμενη ακτινοβολία περιλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία από τα σύννεφα, τα αιωρούμενα σωματίδια του αέρα, τα μόρια της ατμόσφαιρας και άλλες



επιφάνειες. Φτάνει στην επιφάνεια της γης από διάφορες κατευθύνσεις. Ανάλογα με το μήκος κύματος, η μικρού μήκους ακτινοβολία χωρίζεται στα εξής μέρη:

α). Υπεριώδης ακτινοβολία (190-380 nm) (9% της ολικής)

β). Ορατό φως (400-700 nm) (41% της ολικής)

Είναι η περιοχή της ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο μάτι. Διάφορα μήκη κύματος αυτής της ακτινοβολίας αντιστοιχούν στο μπλε, στο πράσινο, στο κίτρινο και στο κόκκινο (Πίνακας 1)(Μαυρογιανόπουλος 1999).

Πίνακας 1. Μήκος κύματος και χρώμα της ίριδας.

Χρώμα Φωτός	Μήκος κύματος (nm)
Ιώδες	400 - 450
Μπλε	450 - 500
Πράσινο	500 - 550
Κίτρινο	550 - 600
Πορτοκαλί	600 - 650
Κόκκινο	650 - 700

Όλα τα παραπάνω μήκη κύματος χρησιμοποιούνται στη φωτοσύνθεση (400-700nm) και το φως αυτό καλείται Φωτοσυνθετικά Ενεργός Ακτινοβολία (PAR). Περίπου 85-90% της PAR απορροφάται από το φύλλο. Η υπόλοιπη είτε ανακλάται στην επιφάνεια του φύλλου ή διέρχεται μέσω του φύλλου (Τσέκος, 2003). Στη συνέχεια οποιαδήποτε αναφορά γίνεται στη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία θα χρησιμοποιείται, χάριν συντομίας, η διεθνής συντομογραφία PAR (Photosynthetically Active Radiation) (Μαυρογιανόπουλος, 1999).

γ). Κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (700-3000 nm) (50% της ολικής)

Αυτό το μέρος του ηλιακού φάσματος συμμετέχει σημαντικά στη θέρμανση των φυτών. Επίσης η περιοχή αυτή είναι σημαντική για την επιμήκυνση των βλαστών και τις άλλες μορφοποιητικές διαδικασίες των φυτών. Η απορροφούσα χρωστική στην περιοχή του κόκκινου είναι το φυτόχρωμα. Ισχυρή επίδραση στις μορφοποιητικές διαδικασίες έχει και η ακτινοβολία στην περιοχή του μπλε (Μαυρογιανόπουλος, 1999). Το κρυπτόχρωμα είναι άλλη μια χρωστική που απορροφά στην περιοχή του μπλε αλλά και του κόκκινου. Από εδώ και στο εξής σε οποιαδήποτε αναφορά στη κοντινή υπέρυθη

ακτινοβολία θα χρησιμοποιείται, χάριν συντομίας, η διεθνής συντομογραφία NIR (Near Infrared Radiation) (Μαυρογιανόπουλος, 1999).

### **2.1.3. Μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία - Μακρινή υπέρυθρη ακτινοβολία (3000-10<sup>5</sup> nm)**

Μόνο 2% της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στο μήκος κύματος της περιοχής αυτής. Όμως, κάθε επιφάνεια πάνω στη γη που έχει τη συνήθη θερμοκρασία εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (Μαυρογιανόπουλος, 1999).

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, αλλά και φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο των διχτυοκηπίων, καθώς θερμαίνει τα φυτά αλλά και τον αέρα του περιβάλλοντος τους. Είναι γνωστό ότι μια καλλιέργεια κάτω από δίχτυα δέχεται μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με μια υπαίθρια καλλιέργεια (Moller and Assouline, 2007, Santos et al., 2006). Επαρκής ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητη για την φωτοσύνθεση των φυτών, όμως υπερβολικά ευνοϊκές συνθήκες φωτισμού μπορούν να οδηγήσουν τα φυτά σε συνθήκες stress, με αποτέλεσμα το κλείσιμο των στομάτων τους και τη μείωση της παραγωγής. Από την άλλη πλευρά υπερβολική σκίαση λόγω έλλειψης φωτεινής ενέργειας, μειώνει το ρυθμό καθαρής αφομοίωσης με αποτέλεσμα να μειωθεί και η φωτοσυνθετική παραγωγικότητα των φυτών (Raveh et al., 2003) και επιπλέον υποβαθμίζει την ποιότητα και την παραγωγή (Hemming, 2011). Ακόμα, φαίνεται ότι στο χώρο του διχτυοκηπίου, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας καθορίζεται κυρίως από το επίπεδο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε αυτό (Moller et al., 2004). Συνεπώς είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί ο τρόπος με τον οποίο τα δίχτυα τροποποιούν την ηλιακή ακτινοβολία και πως επηρεάζουν τις καλλιέργειες και τις απαιτήσεις τους σε νερό.

### **2.2. Επίδραση του χρώματος των διχτυών στα φυτά**

Η επίδραση του χρώματος των διχτυών στην ανάπτυξη και την παραγωγή των υπό κάλυψη καλλιεργειών έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές. Οι Oren Shamir et al.

(2001), χρησιμοποίησαν έξι διαφορετικού χρώματος δίχτυα στο καλλωπιστικό φυτό *Pittosporum variegatum*. Διαπίστωσαν ότι το κόκκινο δίχτυ έδωσε φυτά με βλαστούς μεγαλύτερου μήκους, το μπλε προκάλεσε νανισμό στα φυτά, το γκρι δίχτυ προήγαγε την δημιουργία βλαστών, δίνοντας θαμνώδη φυτά με κοντούς βλαστούς και μικρά φύλλα, ενώ το ανακλαστικό, θερμικό δίχτυ προήγαγε τη δημιουργία μεγάλων σε μήκος βλαστών. Επιπλέον το μπλε δίχτυ δεν επέτρεψε την επιμήκυνση των βλαστών, μείωσε τη δημιουργία πλάγιας βλάστησης, μείωσε την παραγωγή, ενίσχυσε την ποικιλοχρωμία και προκάλεσε μείωση του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων χωρίς όμως να μεταβάλλει τον αριθμό των κόμβων. Το πράσινο και το κόκκινο δίχτυ έδωσαν σημαντικά μεγαλύτερα φυτά συγκριτικά με το μαύρο και το γκρι δίχτυ. Το γκρι δίχτυ είχε το μεγαλύτερο ρυθμό φωτοσύνθεσης ενώ το μπλε δίχτυ το μικρότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης. Μεταξύ του πράσινου, του μαύρου, του κόκκινου και του ανακλαστικού δίχτυου δεν βρέθηκαν διαφορές ως προς το ρυθμό της φωτοσύνθεσης. Ίδια αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση του μπλε και του γκρι δίχτυου στη καλλιέργεια, είχαν και οι Shahak et al., (2004). Επιπλέον, οι τελευταίοι συμπέραναν ότι κόκκινα και κίτρινα δίχτυα συγκριτικά με μαύρο δίχτυ προκάλεσαν σημαντική βλαστική ανάπτυξη. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε σε φυτά πιπεριάς, διαπιστώθηκε ότι από τέσσερα διαφορετικού χρώματος δίχτυα που χρησιμοποιήθηκαν (κόκκινο, μπλε, μαύρο και χρώματος πέρλας) συγκριτικά με την υπαίθρια καλλιέργεια, το κόκκινο και το χρώματος πέρλας δίχτυ έδωσαν μεγαλύτερο αριθμό καρπών ανά φυτό αλλά και μεγαλύτερους καρπούς, αυξάνοντας έτσι σημαντικά τη συνολική παραγωγή κατά 43,5 και 49,5% αντίστοιχα (Ilic et al., 2011).

### **2.3. Επίδραση του χρώματος των δίχτυων στις οπτικές τους ιδιότητες**

Το χρώμα ενός δίχτυου επηρεάζει την κατανομή του φάσματος της ακτινοβολίας που διέρχεται από αυτό, απορροφώντας το συμπληρωματικό του χρώμα. (Castellano et al., 2008a). Οι Al-Helal και Abdel-Ghany (2010), μελέτησαν επτά διαφορετικά δίχτυα σε ποσοστά σκίασης και χρώματα, ως προς τις οπτικές τους ιδιότητες σε φυσικές συνθήκες φωτισμού. Διαπίστωσαν ότι μεταξύ δίχτυων με ίδιο πορώδες αλλά διαφορετική ένταση χρώματος, το πιο ανοιχτόχρωμο δίχτυ έχει αυξημένη διαπερατότητα στην PAR λόγω

σκέδασης της ακτινοβολίας. Μεταξύ διχτυών ίδιου χρώματος, δίχτυα με μεγαλύτερο πορώδες αναμένεται να έχουν υψηλότερη διαπερατότητα σε σχέση με δίχτυα με μικρότερο πορώδες. Επιπλέον η ανακλαστικότητα της PAR επηρεάστηκε περισσότερο από το χρώμα του διχτυού παρά από το πορώδες. Έτσι ανοιχτόχρωμα δίχτυα επέδειξαν υψηλότερη ανακλαστικότητα εν συγκρίσει με σκουρόχρωμα δίχτυα και διαφορετικό πορώδες. Τέλος η χρήση όλο και περισσότερο σκουρόχρωμων διχτυών σε συνδυασμό με ολοένα μικρότερο πορώδες, αυξάνει σημαντικά την ικανότητα του διχτυού να απορροφά την PAR. Τη διαπερατότητα χρωματιστών διχτυών σε συνδυασμό με μαύρα ή διάφανα νήματα μελέτησαν οι Castellano et al., (2008a). Η διαπερατότητα στο φάσμα του ορατού φωτός (380-760nm), των διχτυών με μαύρα νήματα βρέθηκε σχεδόν σταθερή και η μείωση της εισερχόμενης ακτινοβολίας ήταν ανάλογη της συμπίεσης του διχτυού. Στο φάσμα της PAR τόσο τα δίχτυα με διάφανα, όσο και τα δίχτυα με μαύρα νήματα δεν προκάλεσαν αλλαγές στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας και η διαπερατότητα ήταν σχεδόν σταθερή, με μια μικρή αύξηση στα δίχτυα με μικρότερο πορώδες.

#### **2.4. Επίδραση των διχτυών στην ποιότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας**

Τόσο τα πλαστικά υλικά κάλυψης όσο και τα δίχτυα τροποποιούν σημαντικά ή όχι παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Έτσι μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στους λόγους των ακτινοβολιών PAR : NIR και PAR : TOTAL, καθώς και στις παραμέτρους που σχετίζονται με το φυτόχρωμα και το κρυπτόχρωμα των φυτών (Kittas et al., 1999, Arcidiacono et al., 2006).

Μείωση του λόγου R : FR προκαλεί σε πολλά φυτά αυξημένη ανάπτυξη (Clifford et al., 2004) ενώ αύξηση αυτού του λόγου μειώνει την ανάπτυξη των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση του λόγου R : FR προάγει την έκπτυξη πλαγίων βλαστών, ενώ μειώνει το ρυθμό επιμήκυνσης αυτών (Smith, 1982). Ο Kasperbauer (1988), ανέφερε ότι υψηλός R : FR άλλαξε τη δομή της χλωροφύλλης και μείωσε το λόγο της a : b χλωροφύλλης. Επιπλέον υψηλός λόγος R : FR έδωσε κοντά, και συμπαγή φυτά με πολλές διακλαδώσεις και κοντά μεσογονάτια διαστήματα (Rajapakse et al., 1999). Μείωση του λόγου R : FR μειώνει τη φυλλική επιφάνεια και την τάση δημιουργίας πλάγιας βλάστησης, ενώ αυξάνει την «κυριαρχία κορυφής» και το ρυθμό επιμήκυνσης

των βλαστών (Smith, 1982). Φυτά που δέχονται χαμηλό λόγο R : FR, έχουν μεγαλύτερα σε μήκος μεσογονάτια διαστήματα, μεγαλύτερα και λεπτότερα φύλλα και λιγότερους βλαστούς (Kasperbauer, 1988). Οι Schettini et al. (2011), διαπίστωσαν ότι η χρήση πλαστικού φύλλου κάλυψης που μείωσε το λόγο R : FR ενίσχυσε την ανάπτυξη βλαστών σε δέντρα ροδακινιάς και κερασιάς σε σύγκριση με δέντρα που δεν βρίσκονταν υπό κάλυψη. Οι Runkle και Heins (2001), χρησιμοποίησαν τρία πλαστικά υλικά κάλυψης που μείωναν τη διαπερατότητα στο μπλε, το κόκκινο ή το υπέρυθρο μήκος κύματος και ένα ύφασμα ουδέτερο ως προς την τροποποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, και μελέτησαν την επίδραση αυτών σε έξι μακράς φωτοπεριόδου φυτά (*Campanula carpatica* Jacq., *Coreopsis × grandiflora* Hogg ex Sweet, *Lobelia × speciosa* Sweet, *Pisum sativum* L., και *Viola × wittrockiana* Gams). Διαπίστωσαν ότι στα παραπάνω είδη υψηλός λόγος R : FR καθυστέρησε την έναρξη της άνθησης ή την ανάπτυξη των ανθέων. Οι Clifford et al. (2004), πραγματοποίησαν δύο πειράματα, ένα στο Ηνωμένο Βασίλειο και ένας στις Η.Π.Α. Έδειξαν ότι φυτά αλεξανδρινού (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) που αναπτύχθηκαν κάτω από πλαστικό φύλλο που μείωνε την διαπερατότητα σε μακρινή υπέρυθη ακτινοβολία (FR, 700-800 nm) και στις δύο περιπτώσεις ήταν περίπου 20% πιο κοντά από φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από φύλλο που δεν τροποποιούσε το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα δύο υλικά είχαν παρόμοια διαπερατότητα σε φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία. Επιπροσθέτως στο πρώτο πείραμα το φίλτρο της FR καθυστέρησε την ανάπτυξη του χρώματος και την ανθοφορία αλλά δεν επηρέασε χρονικά τη συγκομιδή. Στο δεύτερο πείραμα, τα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από το φίλτρο FR είχαν κατά μέσο όρο 25% περισσότερους πλάγιους βλαστούς και 20% μικρότερο μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων, από τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο ουδέτερο φύλλο. Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων βρέθηκε μεγαλύτερο κατά 9% και 71% σε φυτά που αναπτύχθηκαν σε συνθήκες μειωμένου μπλε και κόκκινου φωτός αντίστοιχα, συγκριτικά με το ουδέτερο φύλλο. Μείωση του κόκκινου φωτός οδηγεί σε χαμηλό λόγο R : FR, με αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων και τη μείωση του αριθμού των πλάγιων βλαστών. Τέλος το νωπό βάρος συγκριτικά με το ουδέτερο υλικό κάλυψης, δεν επηρεάστηκε από τα φίλτρα που παρεμπόδιζαν την R και την FR ακτινοβολία όμως αυξήθηκε σημαντικά κάτω από

το φίλτρο της μπλε ακτινοβολίας, ενώ το ξηρό βάρος ήταν παρόμοιο σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Οι Khattak και Pearson (2005), παρατήρησαν σημαντικές μειώσεις στο ύψος καλλωπιστικών φυτών (*Antirrhinum majis*, Cv. Coronatte yellow) καθώς αυξανόταν η διαπερατότητα στο μπλε. Κατά συνέπεια, πρότειναν ότι υπήρχε η δράση ενός μπλε φωτοϋποδοχέα, καθώς τα φίλτρα με τη σχετικά υψηλότερη διαπερατότητα στη περιοχή του μπλε έδωσαν στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερα φυτά από τα φίλτρα με χαμηλότερη διαπερατότητα στο μπλε. Επιπλέον συμπέραναν ότι η ποσότητα σε μπλε φως δεν είχε καμία επίδραση στην άνθηση, στο νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων, καθώς και τη φυλλική επιφάνεια, όμως το ξηρό βάρος των βλαστών βρέθηκε να έχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την διαπερατότητα στο μπλε. Έτσι τα φίλτρα με χαμηλή διαπερατότητα στη περιοχή του μπλε είχαν υψηλό ξηρό βάρος βλαστών, ενώ τα φίλτρα με υψηλή διαπερατότητα στο μπλε είχαν χαμηλότερο ξηρό βάρος. Οι Britz και Sager (1990), σε πείραμα που πραγματοποίησαν σε φυτά σόγιας και σόργου έδειξαν ότι η ανεπάρκεια σε μπλε φως έδωσε ψηλά φυτά, αποτέλεσμα παρόμοιο με φυτά που αναπτύσσονται σε περιβάλλον με υψηλή υπέρυθη ακτινοβολία (όπως υψηλότερα στελέχη, μειωμένος λόγος ριζών : βλαστών, λεπτότερα φύλλα, μείωση συνολικής χλωροφύλλης κ.λπ.)

Υψηλοί λόγοι R : FR ή B : R μειώνουν το μήκος των βλαστών σε διάφορα φυτικά είδη. (Mortensen and Stromme, 1987). Οι Rajapakse και Kelly (1992), απέδωσαν την μείωση του ύψους σε φυτά χρυσάνθεμου και την υψηλή συγκέντρωση ξηράς ουσίας στα φύλλα στους υψηλούς λόγους R : FR και B : R.

## **2.5. Επίδραση των διχτυών στο μικροκλίμα**

Ενώ η χρήση διχτυών μειώνει πάντα την ηλιακή ακτινοβολία και το ρυθμό αερισμού, η επίδραση τους στη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία είναι περίπλοκη. Η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα στο εσωτερικό ενός διχτυοκηπίου είναι αποτέλεσμα πολλών ταυτόχρονων διαδικασιών μεταφοράς ενέργειας που περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, τον αερισμό και την εξατμισοδιαπνοή. Έτσι η επίδραση των διχτυών στους δυο αυτούς παράγοντες του μικροκλίματος δεν είναι πάντοτε η ίδια με

αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να παρατηρείται αύξηση ενώ σε άλλες μείωση αυτών.

### **2.5.1. Θερμοκρασία αέρα και φύλλων**

Οι Moller και Assouline (2007), σε πείραμα που πραγματοποίησαν σε φυτά γλυκιάς πιπεριάς, παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου για το 67% των ημερών που διήρκεσε το πείραμα ήταν χαμηλότερη εν συγκρίσει με την εξωτερική θερμοκρασία. Επιπλέον η μέγιστη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας στο εσωτερικό με αυτήν του εξωτερικού αέρα δεν ξεπέρασε τον 1 °C. Συμπεράναν ότι η χρήση μαύρου διχτυού που παρείχε 30% σκίαση δεν επηρέασε σημαντικά τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία. Παρόμοια αποτελέσματα είχαν και οι Tanny et al. (2009a), οι οποίοι μελέτησαν την επίδραση τριών διχτυών στη θερμοκρασία του αέρα και τη συνέκριναν με την εξωτερική θερμοκρασία, σε δέντρα μηλιάς. Χρησιμοποίησαν ένα λευκό δίχτυ που παρείχε ποσοστό σκίασης 16% και δύο δίχτυα στο χρώμα της πέρλας, με ποσοστά σκίασης 30 και 60%. Διαπίστωσαν ότι η θερμοκρασία κάτω από τα δίχτυα κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν μικρότερη από την εξωτερική περίπου κατά 1,4 °C, ενώ αντίθετα κατά τη διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία κάτω από τα δίχτυα ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη από την εξωτερική (περίπου κατά 0,3 °C). Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους κατά 2 °C κάτω από τα δίχτυα. Σε κάθε περίπτωση η τιμή της θερμοκρασίας εξαρτιόταν από το ποσοστό σκίασης. Οι Smith et al. (1984), παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία κάτω από τα δίχτυα σκίασης ήταν πάντοτε μικρότερη από την εξωτερική και η τιμή της εξαρτάται από το ποσοστό σκίασης. Κατά τη διάρκεια της ημέρας στα διχτυοκήπια με ποσοστό σκίασης 15% και 40% η θερμοκρασία του αέρα ήταν 2-3 °C χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Κατά την πιο ψυχρή ώρα του 24-ώρου στο διχτυοκήπιο με ποσοστό σκίασης 15% η θερμοκρασία του αέρα ήταν 1-2 °C χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική, ενώ στο διχτυοκήπιο με ποσοστό σκίασης 40% ήταν 1 °C υψηλότερη. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Zhang et al (2004), οι οποίοι χρησιμοποίησαν δίχτυα που παρείχαν ποσοστά σκίασης 5, 30 και 50% σε καλλωπιστικά φυτά. Διαπίστωσαν ότι όσο αυξανόταν το ποσοστό σκίασης, αυξανόταν και η θερμοκρασία κάτω από τα δίχτυα, ενώ η μέση

ημερήσια εξωτερική θερμοκρασία ήταν υψηλότερη από τη θερμοκρασία κάτω από τα δίχτυα.

Αντίθετα η θερμοκρασία του αέρα κάτω από δικτυοκήπιο εντομοστεγανότητας 50 mesh, σε φυτά πιπεριάς, βρέθηκε μεταξύ 1 και 2,5 °C υψηλότερη από την εξωτερική για το 35% των μετρήσεων και η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα δεν ξεπέρασε τους 2,5 °C (Moller et al., 2003). Σε συμφωνία με τους τελευταίους βρίσκονται οι Santos et al. (2006), καθώς η κάλυψη καλλιέργειας τομάτας με δίχτυ πολυαιθυλενίου, με 35 mesh και 36% πορώδες, είχε ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία εντός του δικτυοκηπίου να είναι μεγαλύτερη κατά 0,5 °C από την ατμοσφαιρική, ενώ η διαφορά μεταξύ τους δεν ξεπέρασε τους 1,2 °C. Από τις παραπάνω μελέτες φαίνεται ότι η επίδραση των δικτύων στη θερμοκρασία του αέρα μπορεί να διαφέρει και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι το είδος του δικτυού και ο αερισμός. Έτσι στο πείραμα που πραγματοποίησαν οι Moller et al. (2003), ο αερισμός και η ροή του αέρα ήταν μικρότερη σε σχέση με το δίχτυ που χρησιμοποίησαν οι Tanny et al. (2009a), καθώς αυτό δεν κάλυπτε τα πλαϊνά των δέντρων και είχε μεγαλύτερο μέγεθος οπών. Επιπλέον το δίχτυ που χρησιμοποίησαν οι Santos et al. (2006), είχε περίπου 64% κενή επιφάνεια και η σκίαση ήταν μεγάλη (53-73%). Το δίχτυ που χρησιμοποίησαν οι Moller και Assouline (2007), είχε σκίαση μεταξύ 32 και 72% και 70% κενή επιφάνεια συνεπώς ο αερισμός στο δεύτερο πείραμα ήταν καλύτερος.

Άλλες μελέτες συγκρίνουν διαφορετικά υλικά κάλυψης μεταξύ τους. Οι Arcidiacono et al. (2006), μελέτησαν την επίδραση τριών διαφορετικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Χρησιμοποίησαν ένα πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου, ένα δίχτυ εντομοστεγανότητας 16×10 mesh και ένα φωτοεκλεκτικό υλικό κάλυψης κόκκινου χρώματος. Η θερμοκρασία κάτω από το δίχτυ ήταν παρόμοια με την ατμοσφαιρική, ενώ αυξήθηκε αρκετά κάτω από τα άλλα δύο υλικά κάλυψης. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι μεταξύ των υλικών κάλυψης που χρησιμοποίησαν το δίχτυ ήταν αυτό που μπόρεσε να βελτιώσει το μικροκλίμα της καλλιέργειας. Σε έρευνα με φωτοεκλεκτικά δίχτυα (Grinberger et al., 2000), σε καλλιέργεια μαρουλιού στο Ισραήλ, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα διαφορετικού χρώματος δίχτυα και με ποσοστό σκίασης 30%. Η μέγιστη θερμοκρασία στον ανοιχτό αγρό βρέθηκε μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή κάτω από τα δίχτυα. Το μπλε, το κόκκινο και το χρώματος πέρλας δίχτυ είχαν



παρόμοιες μέγιστες θερμοκρασίες ενώ το επαλουμιωμένο δίχτυ σκίασης είχε ελαφρώς μεγαλύτερη θερμοκρασία από τα άλλα δίχτυα. Από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί με επαλουμιωμένα ανακλαστικά δίχτυα έχει βρεθεί ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από αυτή του ανοιχτού αγρού, ενώ σε μερικές εξετάζεται και η θερμοκρασία των φύλλων της καλλιέργειας. Οι Nicolas et al. (2008), σε πείραμα που πραγματοποίησαν σε δέντρα λεμονιάς, παρατήρησαν ότι η εξωτερική μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν ελαφρώς υψηλότερη εν συγκρίσει με την θερμοκρασία κάτω από επαλουμιωμένο ανακλαστικό δίχτυ με σκίαση 40%. Η μέση μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία βρέθηκε 27,9 °C ενώ η αντίστοιχη θερμοκρασία κάτω από το δίχτυ ήταν 25,1 °C. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία βρέθηκε 23,2 °C και 22,9 °C στον ανοιχτό αγρό και κάτω από το δίχτυ σκίασης αντίστοιχα. Επίσης, οι Medina et al. (2002), μελέτησαν τις επιδράσεις της κάλυψης με επαλουμιωμένο δίχτυ πολυπροπυλενίου, σκίασης 50%, σε δέντρα εσπεριδοειδών. Παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία του αέρα αλλά και των φύλλων ήταν χαμηλότερη κάτω από τα δίχτυα σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι Raveh et al. (2003), μελέτησαν την επίδραση επαλουμιωμένων ανακλαστικών δικτυών με ποσοστά σκίασης 30 και 60% εφαρμοσμένα σε κατασκευή τούνελ και ένα δικτυοκίπιο με επίπεδη οροφή, 60% σκίασης, που παρείχε σκίαση μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε δέντρα *Murcott tangor*, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Παρατήρησαν ότι η θερμοκρασία των φύλλων μειώθηκε υπό κάλυψη. Η μειωμένη θερμοκρασία των φύλλων της καλλιέργειας έφερε το ρυθμό καθαρής αφομοίωσης των φύλλων πιο κοντά στο άριστο εύρος θερμοκρασιών και μείωσε το έλλειμμα κορεσμού μεταξύ καλλιέργειας-αέρα, οδηγώντας έτσι σε αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων τουλάχιστον κατά τις μεσημβρινές ώρες. Όταν η μείωση της ακτινοβολίας ήταν πολύ μεγάλη, τότε ο ρυθμός καθαρής αφομοίωσης μειωνόταν λόγω έλλειψης φωτεινής ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειωθεί και η φωτοσυνθετική παραγωγικότητα των φυτών. Τη θερμοκρασία φύλλων αλλά και αέρα μελέτησαν και οι Kittas et al. (2009). Χρησιμοποίησαν τέσσερα διαφορετικά δίχτυα σκίασης σε χρώμα και ποσοστά σκίασης σε καλλιέργεια τομάτας. Τα δύο δίχτυα ήταν μαύρου χρώματος και παρείχαν ποσοστό σκίασης 49% και 40%, το ένα ήταν πράσινο με σκίαση 34% και το τελευταίο είχε πράσινο και μαύρο νήμα με 40% ποσοστό σκίασης. Διαπίστωσαν ότι η τιμή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας κάτω από τα δίχτυα ήταν παρόμοια με την εξωτερική. Αντίθετα η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ

καλλιέργειας και αέρα βρέθηκε σημαντικά μικρότερη κάτω από τα δίχτυα σε σχέση με τον ανοιχτό αγρό.

### **2.5.2. Σχετική υγρασία, έλλειμμα κορεσμού αέρα και καλλιέργειας**

Οι Tanny et al. (2009a), έδειξαν ότι η χρήση δικτυών μείωσε το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (VPDa) κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά τη διάρκεια της νύχτας η διαφοράς ήταν πολύ μικρές. Η μεγαλύτερη μείωση στο VPDa παρατηρήθηκε κάτω από το δίχτυ με το υψηλότερο ποσοστό σκίασης (60%) και έφτασε τα 0,3 kPa. Η μείωση του VPDa κατά τη διάρκεια της ημέρας αποδόθηκε κυρίως στη μειωμένη θερμοκρασία καθώς η απόλυτη υγρασία είχε μικρές αλλαγές. Οι Medina et al. (2002), οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι κάτω από το επαλουμινιωμένο δίχτυ πολυπροπυλενίου το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα μειώθηκε, λόγω μείωσης της θερμοκρασίας τόσο του αέρα όσο και των φύλλων. Το μειωμένο έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα δύναται να έχει ευεργετική επίδραση στο άνοιγμα των στομάτων του φύλλου, με αποτέλεσμα την αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Παρόμοια συμπεράσματα είχαν και οι Raveh et al. (2003), καθώς παρατήρησαν ότι η μείωση της θερμοκρασίας των φύλλων στα υπό κάλυψη φυτά οδήγησε στη μείωση του ελλείμματος κορεσμού μεταξύ καλλιέργειας και αέρα. Κατέληξαν στο ότι η χρήση δικτυών ως μέσο δροσισμού των φύλλων και μείωσης του ελλείμματος κορεσμού του αέρα, έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την μετακίνηση των φυτών σε περιβάλλον με χαμηλότερο έλλειμμα κορεσμού του αέρα. Οι Moller και Assouline (2007), διαπίστωσαν ότι για το 60% των ημερών του πειράματος, η υγρασία κάτω από το δίχτυ ήταν μεγαλύτερη από την εξωτερική, και αυτό οδήγησε σε χαμηλότερο έλλειμμα κορεσμού του αέρα κάτω από το δίχτυ. Στις υπόλοιπες ημέρες του πειράματος η υγρασία του αέρα στο εξωτερικό βρέθηκε μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή κάτω από το δίχτυ, το οποίο αποδόθηκε σε σφάλμα του οργάνου. Παρόλα αυτά οι όποιες διαφορές παρατηρήθηκαν στο VPDa μεταξύ αγρού και δικτυού ήταν σχετικά μικρές ( $\pm 0,2$  kPa στο 85% των ημερών του πειράματος).

Από την άλλη πλευρά, οι Santos et al. (2006), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η σχετική υγρασία στο δικτυοκήπιο ήταν παρόμοια με την εξωτερική. Οι Nicolas et al. (2008), ενώ διαπίστωσαν ότι η εξωτερική ημερήσια θερμοκρασία ήταν ελαφρώς

υψηλότερη από τη θερμοκρασία κάτω από επαλουμωμένο ανακλαστικό δίχτυ, δεν εντόπισαν διαφορές στο VPDa. Σε συμφωνία βρίσκονται οι Kittas et al. (2009), όπου διαπίστωσαν παρόμοιες τιμές ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε υπαίθρια και υπό κάλυψη καλλιέργεια. Όμως η μειωμένη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα κάτω από τα δίχτυα, είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ελλείμματος κορεσμού της καλλιέργειας (VPDc), κατά 50% στα σκιασμένα φυτά, συγκριτικά με τα ασκίαστα. Η μέση τιμή του VPDc κατά τη διάρκεια της ημέρας, βρέθηκε 4,2 και 2,2 kPa στον ανοιχτό αγρό και κάτω από το δίχτυ με ποσοστό σκίασης 49% αντίστοιχα.

Μεταξύ διαφορετικών υλικών κάλυψης, διαπιστώθηκε ότι σε όλες τις μεταχειρίσεις που χρησιμοποιήθηκαν, τα φυτά βρίσκονταν σε κατάσταση stress καθώς το VPDa είχε υψηλές τιμές. Υψηλότερο VPDa εντοπίστηκε κάτω από τα πλαστικά φύλλα κάλυψης ενώ το δίχτυ εντομοστεγανότητας είχε τα καλύτερα αποτελέσματα ως προς το VPDa και θεωρήθηκε ότι έδωσε τις καλύτερες κλιματικές συνθήκες συγκριτικά με τα άλλα υλικά κάλυψης (Arcidiacono et al., 2006).

## 2.6. Επίδραση των δικτύων στον αερισμό των δικτυοκηπίων

Η ροή του αέρα επιδρά άμεσα τόσο στην καλλιέργεια όσον αφορά την επίδραση στην αεροδυναμική αγωγιμότητα, όσο και στο μικροκλίμα του δικτυοκηπίου, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία, το έλλειμμα κορεσμού και τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα, αλλά και έμμεσα στις υπόλοιπες μεταβλητές και τις φυσιολογικές λειτουργίες (θερμοκρασία και έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα, στοματική αγωγιμότητα, διαπνοή). Μια από τις σημαντικότερες επιδράσεις των δικτύων είναι η αυξημένη αντίσταση στην ροή του αέρα. Ο Miguel (1998), μελέτησε τα χαρακτηριστικά δικτύων στη ροή του αέρα. Για τον υπολογισμό της μείωσης της ροής του αέρα που προκαλεί ένα δίχτυ χρησιμοποίησε το συντελεστή  $a$ :

$$a = u/v$$

όπου  $u$  η ταχύτητα του ανέμου παρουσία του δικτυού ενώ  $v$  είναι η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα. Η ροή του αέρα εξαρτάται μεταξύ άλλων από το πορώδες του δικτυού, την ταχύτητα του εξωτερικού αέρα και διάφορα χαρακτηριστικά του δικτυού. Φαίνεται ότι το σχήμα των νημάτων ενός δικτυού αλλά και η γεωμετρία των mesh έχουν αμελητέα

επίδραση στη ροή του αέρα. Επιπλέον η μείωση του συντελεστή  $a$  δεν μεταβλήθηκε σημαντικά με τον αριθμό  $Re$  (Reynolds) για ροή αέρα που προκαλείται στο εύρος της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου.

Η μείωση της ροής του αέρα έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των τιμών της ταχύτητας του ανέμου και τον ρυθμό αερισμού στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου. Περιορισμένος αερισμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του χώρου. Εφόσον το μικροκλίμα των καλλιέργειών εξαρτάται από το ρυθμό αερισμού και ο ρυθμός αερισμού είναι συνδεδεμένος με την πτώση πίεσης του αέρα η οποία προκαλείται από το δίχτυ, η πρόβλεψη της πτώσης πίεσης επιτρέπει την καλύτερη πρόβλεψη του μικροκλίματος. Η πτώση πίεσης κατά μήκος των διχτύων μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά χρησιμοποιώντας θεμελιώδεις σχέσεις της μηχανικής των ρευστών, θεωρώντας τα δίχτυα ως πορώδη υλικά, ή με τη βοήθεια συντελεστών 'αποφόρτισης' (coefficient of discharge) ενσωματωμένους στην εξίσωση Bernoulli (Teitel, 2007). Φαίνεται ότι για συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου η πτώση πίεσης μειώνεται με αύξηση του πορώδους του διχτυού (Teitel et al., 2009). Το πορώδες δεν είναι η μόνη παράμετρος που επηρεάζει την πτώση πίεσης καθώς σημαντικό ρόλο έχει ο αριθμός  $Re$  και η γεωμετρία των οπών του διχτυού. Οι Teitel και Shklyar (1998), έδειξαν ότι όταν η απόσταση μεταξύ δύο παρακείμενων νημάτων ενός υφαντού διχτυού, είναι μικρότερη κατά 5 φορές από τη διάμετρο του νήματος, η υφή του διχτυού επηρεάζει την πτώση πίεσης αλλά και τη ροή του αέρα.

Οι Tanny et al. (2003), πραγματοποίησαν πείραμα σε καλλιέργεια πιπεριάς και μελέτησαν το ρυθμό αερισμού και το μικροκλίμα σε διχτυκήπιο. Διαπίστωσαν ότι η χρήση διχτυού 50 mesh, μείωσε το ρυθμό αερισμού κατά 51-71% στο μέσο αυτού και κατά 60-64% στη βόρεια πλευρά του για εξωτερική ταχύτητα του ανέμου μεταξύ 1,5 και 3,5 m/s. Έτσι συμπέραναν ότι στις πλευρές του διχτυοκηπίου ο αερισμός επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις διακυμάνσεις της εξωτερικής ταχύτητας του ανέμου συγκριτικά με το κέντρο του διχτυοκηπίου. Ο ρυθμός αερισμού αυξανόταν με αύξηση της ταχύτητας του ανέμου αλλά ήταν πολύ μικρότερος εντός του διχτυοκηπίου συγκριτικά με τον ανοιχτό αγρό. Ακόμα παρατήρησαν ότι όταν η εξωτερική ταχύτητα του ανέμου ήταν σχετικά χαμηλή δεν υπήρχε εμφανής επίδραση στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου. Όταν όμως επικρατούσαν υψηλότερες ταχύτητες ανέμου (μεγαλύτερες

των 2 m/s), η ανάμειξη του εξωτερικού αέρα με τον αέρα κάτω από την οροφή του διχτυοκηπίου ήταν εμφανής. Λόγω της έντονης αυτής ανάμειξης του αέρα η θερμοκρασία του αέρα αυξανόταν καθώς αυξανόταν το ύψος του διχτυοκηπίου ενώ η υγρασία μειωνόταν, με αποτέλεσμα η σχετική υγρασία κάτω από την οροφή του διχτυού να έχει ίδιες τιμές με την σχετική υγρασία του εξωτερικού αέρα. Τέτοιου είδους ανάμειξη στην οροφή του διχτυοκηπίου οφείλεται στην ταχύτητα και στη διάτμηση του ανέμου καθώς και στην ασταθή θερμική διαστρωμάτωση διαμέσω του διχτυού. Τα χαρακτηριστικά της ροής του αέρα και την τύρβη αυτού σε διχτυοκήπιο μπανάνας, με μέγεθος οπών  $3,5 \times 2,5 \text{ mm}^2$  και που παρείχε σκίαση 15% μελέτησαν οι Tanny et al., (2006). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα του ανέμου μειώθηκε εντός του διχτυοκηπίου ενώ ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα αυξάνεται με αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Η μέση τιμή της έντασης της τύρβης βρέθηκε  $0,49 \pm 0,12$ , το οποίο δεν διαφέρει πολύ από την τιμή 0,5 που πρότειναν οι Willis και Deardorf (1976), ως ανώτερο όριο για να ισχύει η υπόθεση του Taylor.

Όσον αφορά τη διεύθυνση ανέμου, οι Tanny et al. (2006), διαπίστωσαν ότι η διεύθυνση του ανέμου στο μέσο της κατασκευής ήταν συνήθως παρόμοια με αυτή του εξωτερικού αέρα, ενώ στις περιπτώσεις που παρατηρήθηκε αντίθετη διεύθυνση του αέρα σε σχέση με την εξωτερική ήταν λόγω παρόμοιου φαινομένου με το «φαινόμενο του ακραίου τοίχου» που έχει αναφερθεί στα θερμοκήπια (Fernandez and Bailey, 1992). Άλλες μελέτες αναφέρουν αντίθετα αποτελέσματα. (Moller et al., 2003 και Tanny et al., 2003). Πιο συγκεκριμένα οι Moller et al. (2003), αναφέρουν ότι στη προσήνεμη πλευρά του διχτυοκηπίου η διεύθυνση του ανέμου ήταν αντίθετη από αυτή του εξωτερικού ανέμου ενώ στην υπήνεμη πλευρά, η εσωτερική και η εξωτερική ροή του αέρα ήταν όμοια. Οι Tanny et al. (2003), χρησιμοποίησαν το ίδιο διχτυοκήπιο με τους τελευταίους, και έδειξαν ότι η διεύθυνση του ανέμου στο κέντρο του διχτυοκηπίου ήταν σχεδόν αντίθετη από αυτή του εξωτερικού αέρα.

Οι διαφορές μεταξύ των ερευνών αυτών έγκειται στα διαφορετικά δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν. Πιθανότητα το δίκτυο των 50 mesh εμπόδιζε σε μεγαλύτερο βαθμό τη ροή του αέρα από ότι το δίκτυο σκίασης 15%. Φαίνεται ότι το σχετικά πυκνής πλέξης δίκτυο των 50 mesh προκάλεσε 'αναρρόφηση' στην υπήνεμη άκρη του διχτυοκηπίου, (φαινόμενο Venturi) και με αυτό τον τρόπο παράχθηκε αντίθετη ροή στο εσωτερικό της

κατασκευής. Κατά συνέπεια φαίνεται ότι τα πυκνότερα πλέξης δίχτυα έχουν σημαντικότερη επίδραση στην εσωτερική ροή σε σχέση με τα ελαφριάς σκίασης δίχτυα. Για την κατανομή της ταχύτητας του αέρα και των χαρακτηριστικών αυτού στο χώρο των διχτυοκηπίων, δεν βρέθηκε κάποια έρευνα που να αναφέρεται σε αυτό το θέμα.

## 2.7. Επίδραση των διχτυών στη φωτοσύνθεση των φυτών

Με τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται η φωτεινή ακτινοβολία στους υδατάνθρακες, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν το καύσιμο που δίνει ενέργεια σε κάθε ζωντανό οργανισμό (Μαυρογιανόπουλος, 1999). Η φωτοσύνθεση είναι ο συνδυασμός του CO<sub>2</sub> και του H<sub>2</sub>O για το σχηματισμό διαφόρων υδατανθράκων με την απελευθέρωση οξυγόνου, το οποίο μπορεί να προέρχεται, είτε από το πρώτο, είτε από το δεύτερο ανόργανο συστατικό, που συμμετέχει στην αντίδραση (Καράταγλης, 1994). Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως: το H<sub>2</sub>O, το CO<sub>2</sub>, την ακτινοβολία, τις θρεπτικές ουσίες, τη θερμοκρασία, την ηλικία του φυτού και τέλος από τη γενετική σύσταση του φυτού. Παρακάτω αναλύονται επιγραμματικά οι παραπάνω παράγοντες:

**Νερό:** Το ποσό και η διαδικασία της φωτοσύνθεσης επηρεάζεται σημαντικά από την διαθέσιμη ποσότητα του νερού. Όταν τα φυτά βρίσκονται σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας, η διαδικασία της φωτοσύνθεσης περιορίζεται εξαιτίας της καθυστερημένης διαστολής των φύλλων και της περιορισμένης εισόδου CO<sub>2</sub> (Salisbury and Ross, 1964).

**Φως:** Το φως προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για τη σύνθεση οργανικών ουσιών από το CO<sub>2</sub> ενώ συχνά περιορίζει τη φωτοσύνθεση. Η μέγιστη απορρόφηση CO<sub>2</sub> παρατηρείται το μεσημέρι όπου εμφανίζεται και η μέγιστη ακτινοβολία ενώ η απορρόφηση του CO<sub>2</sub> μειώνεται κατά τη διάρκεια νεφοσκεπών ημερών. Η ακτινοβολία με μήκος κύματος 400 έως 700 nm, όπως αναφέρεται και παραπάνω, αποτελεί την απαραίτητη ακτινοβολία για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Salisbury and Ross, 1964).

**Σκίαση:** Η σκίαση επηρεάζει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Τα φύλλα τα οποία αναπτύσσονται υπό σκιά έχουν μεγαλύτερο έλασμα, είναι δηλαδή μεγαλύτερα, αλλά πιο λεπτά, οι χλωροπλάστες έχουν λιγότερο πρωτεϊνικό στρώμα, συμπεριλαμβανομένης της Ρουμπίσκο (Rubisco) και ίσως λιγότερη πρωτεΐνη μεταφοράς ηλεκτρονίων στα

θυλακοειδή, περισσότερη χλωροφύλλη, ειδικά χλωροφύλλη b, κυρίως επειδή κάθε χλωροπλάστης έχει περισσότερα grana από ότι οι χλωροπλάστες στα φύλλα τα οποία σχηματίζονται παρουσία φωτός. Τα φύλλα, τα οποία αναπτύσσονται παρουσία φωτός, είναι πιο παχιά επειδή είτε σχηματίζουν μεγαλύτερα κύτταρα είτε ένα επιπρόσθετο στρώμα κυττάρων. Εξαιτίας όλων των παραπάνω, τα φύλλα τα οποία σχηματίζονται υπό σκιά, καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια στην παραγωγή χρωστικών (Salisbury and Ross, 1964).

Θέση του φύλλου: Η ένταση της ακτινοβολίας επηρεάζει τη φωτοσύνθεση. Οποιαδήποτε αλλαγή της έντασης μπορεί να επηρεάσει τη φωτοσύνθεση σε επίπεδο φύλλου, φυτού ή ακόμη και ολόκληρης της καλλιέργειας. Τα ανώτερα φύλλα απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία από ότι τα κατώτερα και γι' αυτό φωτοσυνθέτουν περισσότερο (Salisbury and Ross, 1964).

Διαθεσιμότητα CO<sub>2</sub>: Το ποσοστό φωτοσύνθεσης αυξάνεται όχι μόνο από την αύξηση της ακτινοβολίας αλλά και από την αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>, εκτός και αν τα στόματα είναι κλειστά λόγω χαμηλής υγρασίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ποσοστό της φωτοσύνθεσης αυξάνεται με την αύξηση της ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>. Δηλαδή απαιτείται υψηλή συγκέντρωση CO<sub>2</sub> όταν υπάρχει υψηλή ακτινοβολία, ενώ σε συνθήκες χαμηλής ακτινοβολίας η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> δεν θα πρέπει να είναι υψηλή (Salisbury and Ross, 1964).

Θερμοκρασία: Το εύρος των τιμών της θερμοκρασίας στο οποίο τα φυτά μπορούν να φωτοσυνθέτουν είναι αρκετά μεγάλο. Η επίδραση της τιμής της θερμοκρασίας στη φωτοσύνθεση εξαρτάται από το είδος του φυτού, τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες το φυτό αναπτύχθηκε και τις περιβαλλοντικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Έχει βρεθεί ότι τα φυτά φωτοσυνθέτουν ακόμη και όταν η θερμοκρασία του φύλλου είναι 35°C ή και μεγαλύτερη (Salisbury and Ross, 1964).

Ηλικία του φύλλου: Καθώς τα φύλλα αναπτύσσονται, η ικανότητά τους να φωτοσυνθέτουν αυξάνεται μέχρι κάποια χρονική στιγμή και μετά, συνήθως πριν την ωρίμανση, αρχίζει σιγά-σιγά να μειώνεται. Τα μεγάλης ηλικίας φυτά γίνονται κίτρινα και δεν είναι ικανά να φωτοσυνθέσουν λόγω της απώλειας των λειτουργικών χλωροπλαστών και της αναστολής της δράσης της χλωροφύλλης (Salisbury and Ross, 1964).

Ένζυμα: Όλα τα βήματα της φωτοσύνθεσης καταλύονται από ένζυμα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη λειτουργία των ενζύμων επηρεάζουν και τη φωτοσύνθεση.

Άλλοι παράγοντες είναι η πυκνότητα των χλωροπλαστών, η θρεπτική κατάσταση του φυτού (N, Mg, Fe, Mn), τα συνένζυμα, οι αέριοι ρυπαντές (όπως SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PAN) κ.ά. (Salisbury and Ross, 1964).

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτεινή ακτινοβολία, το CO<sub>2</sub>, η θερμοκρασία και το νερό κ.α. βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (άρα και η ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών) βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο. Αν ένας από αυτούς τους παράγοντες μειωθεί, τότε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα και η ανάπτυξη των φυτών μειώνεται. Αν ένας από τους παραπάνω παράγοντες αυξηθεί πάνω από το άριστο, πάλι μειώνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Μαυρογιανόπουλος, 1999). Καθώς η ένταση του φωτός αυξάνει, αντίστοιχα αυξάνει και η φωτοσυνθετική απόδοση του φυτού. Φυσικά αυτό συμβαίνει μέχρι κάποια ένταση, πέρα από την οποία η φωτοσύνθεση παραμένει σταθερή (Καραταγλής, 1999). Όταν μεγαλύτερη αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν επιφέρει αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης τότε στο φυτό επέρχεται φωτοκορεσμός ή φωτοαπαγόρευση. Η επίδραση της πυκνότητας ροής φωτονίων (PPFD) στο καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης μειώνεται με αύξηση της PPFD, μέχρι που φθάνει στο φωτοκορεσμό όταν η δραστηριότητα της Ρουμπίσκο γίνεται περιοριστικός παράγοντας. Ο Cockshull (1988), αναφέρει ότι σε θερμοκήπιο τομάτας ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης προσέγγιζε τη μέγιστη τιμή όταν η ακτινοβολία ήταν πάνω από 150 W/m<sup>2</sup>. Οι Papadopoulos και Ormrod (1988), διαπίστωσαν ότι ο καθαρός ρυθμός φωτοσύνθεσης των φύλλων στο εσωτερικό της φυλλικής επιφάνειας, έφθανε στον κορεσμό όταν η ακτινοβολία ήταν 170 W/m<sup>2</sup>, ενώ στα φύλλα στο εξωτερικό του φυλλώματος η καθαρή φωτοσύνθεση έφθανε στο κορεσμό στα 210 W/m<sup>2</sup>. Σύμφωνα με τον Jones (1999), ο φωτοκορεσμός για την τομάτα επέρχεται μεταξύ 600 και 800 μmol/m<sup>2</sup> s, ενώ ένα φυτό τομάτας μπορεί να μεγαλώνει πολύ καλά σε συνεχές φως μεταξύ 400 και 500 μmol/m<sup>2</sup> s. Όπως έδειξαν οι Gonzalez-Real και Baille (2006), για καλλιέργεια πιπεριάς, το επίπεδο της PPFD στο οποίο επέρχεται φωτοκορεσμός για φύλλα εντοπισμένα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος είναι 1000 μmol/m<sup>2</sup>s ενώ για τα φύλλα στο υπόλοιπο μέρος του φυλλώματος το επίπεδο αυτό είναι περίπου 800



$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Έτσι όποτε το ποσό της PPF<sub>D</sub> ξεπερνά αυτά τα όρια, αναμένεται μείωση του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων και έτσι επέρχεται φωτοκορεσμός.

Η απόκριση των φυτών στις διακυμάνσεις της έντασης του φωτός καθορίζεται επίσης από την PPF<sub>D</sub> στην οποία προσαρμόζονται τα φύλλα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στις Μεσογειακές περιοχές επικρατούν υψηλές τιμές PPF<sub>D</sub>, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του μεσημεριού. Αυτό σε συνδυασμό με υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται εντός μη σκιαζόμενων θερμοκηπίων (Barder and Anderson, 1992). Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ότι το σύστημα της φωτοσύνθεσης μπορεί να ζημιωθεί από την έκθεση σε υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και από υψηλές θερμοκρασίες. Όταν αυτό συμβεί, μπορεί να εκδηλωθεί δυναμική (προσωρινή βλάβη του φωτοσυστήματος) ή χρόνια φωτοαπαγόρευση (μακροχρόνια καταστροφή του φωτοσυστήματος) (Taiz and Zeiger, 2002). Όταν τα θρεπτικά και το φως δεν είναι περιοριστικοί παράγοντες οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης ( $P_n$ ), είναι η περιεκτικότητα του αέρα σε  $\text{CO}_2$ , οι υψηλές θερμοκρασίες αέρα και η χαμηλή υγρασία. Μείωση της PPF<sub>D</sub> με σκίαση στο επίπεδο στο οποίο ο  $P_n$  φθάνει στο κορεσμό δύναται να βοηθήσει το φυτό να διατηρήσει, κατά τις μεσημεριανές ώρες, τα εκτεθειμένα στον ήλιο φύλλα κοντά στη μέγιστη καθαρή αφομοίωση  $\text{CO}_2$ . Αυτή η πρακτική θα μπορούσε να αποδειχθεί ευεργετική, για την καθαρή αφομοίωση  $\text{CO}_2$  ολόκληρου του φυτού, όταν τα φύλλα που σκιάζουν τα υπόλοιπα δεν μπορούν να θεωρηθούν ως κύριος περιοριστικός παράγοντας της ανάσχεσης του φωτός. Όμως καθώς το φυτό αποκτά στρώματα φύλλων, η θέση του αναπτυσσόμενου φύλλου, στο φυτό έχει αντίκτυπο στις αντίστοιχες τιμές του ρυθμού φωτοσύνθεσης (Gonzalez-Real and Baille, 2000). Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της γήρανσης των φύλλων και στη σκίαση των διαδοχικά σχηματισμένων φύλλων που προοδευτικά σκιάζονται όλο και περισσότερο. Επομένως οποιοσδήποτε περιορισμός του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης λόγω περιορισμένων συνθηκών φωτός εντός του φυλλώματος δύναται να ενισχυθεί υπό σκίαση καθώς αναπτύσσεται η καλλιέργεια (Cohen et al., 2005).

Οι Gonzalez-Real και Baille (2006), μελέτησαν την ανταλλαγή αερίων των φύλλων, φυτών γλυκιάς πιπεριάς κάτω από επαλουμινωμένο δίχτυ. Διαπίστωσαν ότι η σκίαση (20% περίπου) προκάλεσε αύξηση ή δεν επηρέασε τις τιμές της στοματικής

αγωγιμότητας των φύλλων στο ανώτερο μέρος ή στο μέσο του φυλλώματος, με αποτέλεσμα να παρατηρηθούν μεγαλύτεροι ή παρόμοιοι ρυθμοί καθαρής αφομοίωσης και διαπνοής των φύλλων υπό σκίαση σε σχέση με τα φύλλα των φυτών της υπαίθριας καλλιέργειας. Αντιθέτως στα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος παρατηρήθηκαν ελαφρώς χαμηλότερες τιμές διαπνοής και αφομοίωσης CO<sub>2</sub>. Τη φωτοσύνθεση εσπεριδοειδών μελέτησαν οι Medina et al. (2002), όπου και διαπίστωσαν πως η χρήση επαλουμινιωμένου ανακλαστικού δίχτυου με ποσοστό σκίασης 50%, μείωσε την προσπίπτουσα PAR συγκριτικά με ασκίαστα δέντρα. Κάτω από το δίχτυ παρατηρήθηκαν μεγαλύτερη στοματική αγωγιμότητα και υψηλότερος ρυθμός αφομοίωσης CO<sub>2</sub>. Παρά την αυξημένη στοματική αγωγιμότητα κάτω από το δίχτυ, ο ρυθμός διαπνοής βρέθηκε μόνο 10-20% υψηλότερος. Η μικρή αυτή αύξηση του ρυθμού διαπνοής οφείλεται στη χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα και φύλλων που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο έλλειμμα κορεσμού μεταξύ καλλιέργειας και αέρα και συνεπάγεται χαμηλότερη απαίτηση για εξάτμιση. Στα ασκίαστα δέντρα η μειωμένη στοματική αγωγιμότητα δεν περιόρισε τον ρυθμό διαπνοής. Σε αυτή την περίπτωση οι υψηλότερες θερμοκρασίες οδήγησαν σε υψηλότερο VPD καλλιέργειας-αέρα προκαλώντας απώλεια νερού από τα φυτά. Η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE) βρέθηκε ελαφρώς αυξημένη κάτω από το δίχτυ.

## 2.8. Σκοπός

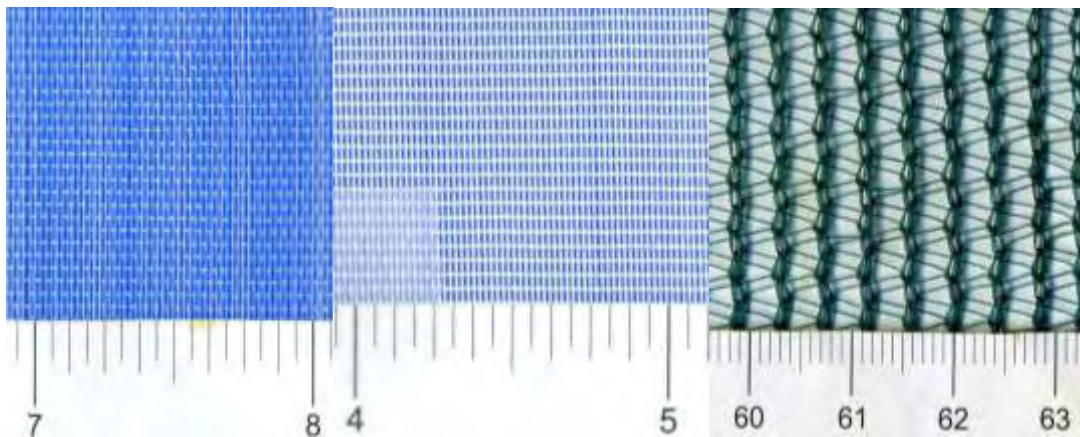
Επειδή δεν είναι ακριβώς γνωστό πως τα δίχτυοκλήπια τροποποιούν το περιβάλλον μιας καλλιέργειας, κρίθηκε σκόπιμο στη παρούσα διατριβή να χρησιμοποιηθούν τρία δίχτυοκλήπια, των οποίων τα δίχτυα είχαν διαφορετικό χρώμα και ποσοστό σκίασης, με σκοπό να διερευνηθεί η τροποποίηση του μικροκλίματος σε καλλιέργεια πιπεριάς, η επίδραση των δίχτυων στην ποιότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και η επίδραση τους στον αερισμό του δίχτυοκλήπιου, τη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή της καλλιέργειας. Ειδικό στόχο αποτέλεσε η μελέτη του περιβάλλοντος ανάπτυξης των φυτών ως προς τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα καθώς και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, καθώς και αν η μεταβολή των κλιματικών παραμέτρων επίδρασε θετικά στην καλλιέργεια.

### 3. Υλικά και Μεθοδοι

#### 3.1. Πειραματικός αγρός

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε το έτος 2011, στο Βελεστίνο του νομού Μαγνησίας, όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το αγρόκτημα απέχει 17km από τον Βόλο και ο προσανατολισμός του είναι Βορράς-Νότος. Το υψόμετρο της περιοχής είναι 85m και βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 44'$  και γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ} 79'$ .

#### 3.2. Περιγραφή διχτυοκηπίων



Εικόνα 6. Πλέξη των διχτυών του πειράματος, το χρώματος πέρλας δίχτυ με ποσοστό σκίασης 13% (αριστερά), το λευκού χρώματος δίχτυ με σκίαση 34% (κέντρο) και το πράσινου χρώματος δίχτυ με ποσοστό σκίασης 36% (δεξιά). Η μονάδα μέτρησης στα δύο πρώτα δίχτυα είναι σε ίντσες ενώ στο τελευταίο δίχτυ η μονάδα μέτρησης είναι σε cm.

Για την εκτέλεση του πειράματος κατασκευάστηκαν τρία διχτυοκήπια, τα οποία διέθεσε το ΚΕΤΕΑΘ στο Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου του Περιβάλλοντος. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διχτυοκηπίων ήταν 20 m x 10 m x 3,2 m (Μήκος x Πλάτος x Ύψος), και κάθε διχτυοκήπιο απέιχε από το γειτονικό του 8 m. Το έδαφος των διχτυοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με μαύρο πλαστικό. Και τα τρία δίχτυα ήταν κατασκευασμένα από μονόκλινα νήματα πολυαιθυλενίου. Τα δύο ήταν

δίχτυα εντομοστεγανότητας, με ίδια χαρακτηριστικά πλέξης (50 mesh, όπου mesh είναι αριθμός οπών ανά ίντσα), αλλά διαφορετικό βαθμό σκίασης και χρώμα. Το ένα παρείχε σκίαση 12% και είχε διάφανα νήματα ενώ το άλλο παρείχε σκίαση 32% με λευκού χρώματος νήματα (Antivirus και Bionet αντίστοιχα, Meteor Agricultural Nets Ltd, Ισραήλ). Επίσης το δίχτυ με ποσοστό σκίασης 32% απορροφούσε την UV-A και UV-B ακτινοβολία. Το τρίτο ήταν ένα δίχτυ σκίασης πράσινου χρώματος που παρείχε σκίαση 32% (Πλαστικά Θράκης ABEE, Ελλάδα). Συνεπώς από τα δίχτυα που χρησιμοποιήθηκαν τα δύο πρώτα είχαν ίδιο πορώδες αλλά διαφορετική ένταση σκίασης, ενώ τα δύο τελευταία είχαν διαφορετικό πορώδες αλλά ίδια ένταση σκίασης. Για λόγους ευκολίας, στη συνέχεια όπου γίνεται αναφορά στις μεταχειρίσεις με δίχτυα, χρησιμοποιούνται συντομογραφίες που προκύπτουν από τα αρχικά γράμματα του χρώματος των δικτύων, στην αγγλική γλώσσα, και από το ποσοστό σκίασης που παρέχει το κάθε δίχτυ, όπως αυτό βρέθηκε από μετρήσεις στο εργαστήριο με τη χρήση φασματοφωτομέτρου (LI-1800, LI-COR, Lincoln, NE, U.S.A.). Έτσι τα λευκά δίχτυα που βρέθηκαν να παρέχουν ποσοστό σκίασης 13% και 34% συμβολίζονται ως W13 και W34 αντίστοιχα, ενώ το πράσινο δίχτυ που βρέθηκε ότι προσφέρει ποσοστό σκίασης 36% συμβολίζεται ως G36. Τέλος η μεταχείριση μάρτυρας, δηλαδή οι μετρήσεις στον ανοιχτό αγρό, θα συμβολίζονται ως Out.



Εικόνα 7. Τα πειραματικά δικτυοκρήπια.

### 3.3. Περιγραφή της καλλιέργειας

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά πράσινης γλυκιάς πιπεριάς, ποικιλίας Dolmi (*Capsicum annuum* L., cv. Dolmi). Η μεταφύτευση των φυτών πραγματοποιήθηκε στις 31 Μαΐου 2011, στο στάδιο των τεσσάρων πραγματικών φύλλων και η καλλιέργεια διήρκησε μέχρι τις 31 Οκτωβρίου του ίδιου έτους. Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε 5 διπλές σειρές φύτευσης, που απείχαν μεταξύ τους (από το κέντρο της μιας διπλής γραμμής έως το κέντρο της διπλανής διπλής γραμμής) 1,7m. Μεταξύ των διπλών γραμμών υπήρχε διάδρομος με πλάτος 1,2m. Οι αποστάσεις φύτευσης τόσο επί, όσο και μεταξύ των απλών γραμμών κάθε διπλής γραμμής ήταν 0,5m. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 1,8 φυτά ανά m<sup>2</sup>. Στο μάρτυρα, λόγω έλλειψης χώρου τηρήθηκαν οι ίδιες αποστάσεις και η ίδια πυκνότητα φύτευσης αλλά υπήρχαν μόνο τρεις διπλές σειρές φύτευσης. Οι καλλιεργητικές τεχνικές που ακολουθήθηκαν (λίπανση, υποστύλωση των φυτών, κλάδεμα κ.λπ.) έγιναν όπως

αυτές εφαρμόζονται από τους τοπικούς παραγωγούς της περιοχής. Τέλος η άρδευση βασιζόταν στην ηλιακή ακτινοβολία και πραγματοποιούταν όταν η ηλιακή ακτινοβολία που προσέπιπτε στα φυτά ήταν υψηλότερη των  $21,5 \text{ MJ/m}^2$ .



Εικόνα 8. Εσωτερικό των διχτυοκηπίων.

### **3.4. Περιγραφή μετρήσεων**

#### **3.4.1. Μετρήσεις κλιματικών δεδομένων των διχτυοκηπίων**

##### **3.4.1.1. Θερμοκρασία και Σχετική υγρασία αέρα**

Η θερμοκρασία ( $T_a$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ) και σχετική υγρασία ( $RH_a$ , %) του αέρα καταγράφονταν με ασύρματους αισθητήρες θερμοκρασίας - υγρασίας (WiSensys<sup>®</sup> Wireless Sensor WS-DLTc, Wireless Value BV, NL), που ήταν τοποθετημένοι σε ύψος 1,50m από την επιφάνεια του εδάφους, κοντά στο κέντρο των διχτυοκηπίων. Επιπλέον σε κάθε διχτυοκήπιο τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας θερμοκρασίας-υγρασίας (HOBO Pro RH/Temperature Data Logger, Onset Computer Corporation, Massachusetts, U.S.A.) σε ύψος 2,50m από την επιφάνεια του εδάφους, κοντά στο κέντρο των διχτυοκηπίων.

##### **3.4.1.2. Συνολική ηλιακή ακτινοβολία**

Η συνολική ηλιακή ακτινοβολία ( $R_G$ ,  $\text{W/m}^2$ ) εντός των διχτυοκηπίων καταγραφόταν με πυρανόμετρα με ασύρματο πομπό (SP Lite Silicon Pyranometer, Campbell Scientific,

Inc., U.S.A), τοποθετημένα σε ύψος 2,40m από την επιφάνεια του εδάφους, κοντά στο κέντρο των διχτυοκηπίων

### 3.4.1.3. Θερμοκρασία φύλλων

Η θερμοκρασία των φύλλων ( $T_c$ , °C) στις μεταχειρίσεις καταγραφόταν με θερμοζεύγη χαλκού - κωνσταντάνης (Cu-Co) διαμέτρου 0,5mm (τύπου T, Omega Engineering Inc., Manchester, U.K.)



Εικόνα 9. Διάταξη των οργάνων μέτρησης εντός των διχτυοκηπίων.

### 3.4.2. Μετρήσεις εξωτερικών κλιματικών δεδομένων

#### 3.4.2.1. Θερμοκρασία και Σχετική υγρασία αέρα

Η θερμοκρασία ( $T_o$ , °C) και η υγρασία του αέρα ( $RH_o$ , %) καταγράφονταν με αισθητήρα θερμοκρασίας-υγρασίας (τύπου HD9009TR Hygrotransmitter, Delta OHM S.r.L., Padova, Italia).

#### 3.4.2.2. Συνολική ηλιακή ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία ( $RGo$ ,  $W/m^2$ ) καταγραφόταν με πυρανόμετρο (τύπου LP PYRA 2, Delta OHM, Delta OHM S.r.L., Padova, Italia).

### 3.4.2.3. Ταχύτητα ανέμου και Διεύθυνση ανέμου

Η ταχύτητα ( $U_{out}$ , m/s) και η διεύθυνση του ανέμου (WD, °) καταγράφονταν με ανεμόμετρο τριών κυπέλλων και με ένα αισθητήρα διεύθυνσης ανέμου αντίστοιχα (model AN1-UM-3, και WD1-UM-3, αντίστοιχα, Delta-T Devices, Cambridge, U.K.)

### 3.4.2.4. Φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία

Η φωτοσυνθετικά ενεργός ακτινοβολία (PAR,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ) καταγραφόταν με αισθητήρα της PAR (τύπου SKP 215, Skye, Llandrindod Wells, UK).



Εικόνα 10. Μετεωρολογικός σταθμός αγροκτήματος.

### 3.5. Καταγραφή δεδομένων

Όλες οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα και η μέση τιμή τους καταγραφόταν κάθε 10 λεπτά σε ένα σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας δεδομένων (data logger). (DL3000, Delta-T Devices, Cambridge, England).

### 3.6. Μετρήσεις οπτικών ιδιοτήτων των διχτυών

Οι μετρήσεις των οπτικών ιδιοτήτων των διχτυών πραγματοποιήθηκαν στον αγρό με ένα φορητό φασματοραδιόμετρο (LI-1800, LI-COR, Lincoln, NE, U.S.A.). Μια εξωτερική μέτρηση διαδεχόταν μια μέτρηση κάτω από ένα δίχτυ, ενώ ο χρόνος που απείχαν μεταξύ τους δυο διαδοχικές μετρήσεις (εξωτερική και εσωτερική) ήταν περίπου



2-3 min. Η διαδικασία επαναλαμβανόταν πέντε φορές για το κάθε δίχτυ. Για καλύτερη οριζοντίωση του φασματοραδιομέτρου χρησιμοποιούνταν δύο μεταλλικά τραπέζια, έτσι όλες οι μετρήσεις (εντός και εκτός των διχτυοκηπίων) γίνονταν σε ύψος περίπου 0,8m από την επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι εσωτερικές μετρήσεις γίνονταν στο κέντρο των διχτυοκηπίων. Οι μετρήσεις λάμβαναν χώρα μεταξύ 12:00 και 14:00, κοντά στο ηλιακό μεσημέρι, όπου ο ήλιος βρισκόταν στο υψηλότερο σημείο. Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος λήφθηκαν συνολικά έξι μετρήσεις σε κάθε διχτυοκήπιο τις εξής ημερομηνίες:

- ✓ 19/6/11
- ✓ 11/7/2011
- ✓ 2/8/2011
- ✓ 24/8/2011
- ✓ 13/9/2011
- ✓ 21/10/2011



Εικόνα 11. Οριζοντίωση του οργάνου (αριστερά) και πραγματοποίηση εξωτερικής μέτρησης (δεξιά).

### 3.6.1. Διαπερατότητα των διχτυών

Το φασματοραδιόμετρο κατέγραφε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που διερχόταν από τα δίχτυα σε μήκος κύματος 400 έως 1100nm και ανά διαστήματα των 2 nm. Με τη βοήθεια του Microsoft Excel από τις καμπύλες μέτρησης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, στο εσωτερικό (δείκτης: i) των διχτυοκηπίων και εξωτερικά

(δείκτης: ο) αυτών και για μήκη κύματος ( $\lambda$ ) στο σύνολο του εύρους φάσματος (400 έως 1100nm) (TOTAL), στην περιοχή της PAR (400 έως 700 nm) (P) και στην περιοχή της NIR (700 έως 1100 nm) (N) υπολογίστηκαν τα παρακάτω ολοκληρώματα (Kittas et al., 1999):

$$P_o = \int_{400}^{700} E_o(\lambda) d\lambda \quad , \quad P_i = \int_{400}^{700} E_i(\lambda) d\lambda$$

$$N_o = \int_{700}^{1100} E_o(\lambda) d\lambda \quad , \quad N_i = \int_{700}^{1100} E_i(\lambda) d\lambda$$

$$T_o = \int_{400}^{1100} E_o(\lambda) d\lambda \quad , \quad T_i = \int_{400}^{1100} E_i(\lambda) d\lambda$$

Η διαπερατότητα του κάθε διχτυού στο σύνολο του εύρους φάσματος ( $\tau T$ ), στην περιοχή της PAR ( $\tau P$ ) και της NIR ( $\tau N$ ) ακτινοβολίας υπολογίστηκε από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\tau T = \frac{T_i}{T_o} \quad , \quad \tau P = \frac{P_i}{P_o} \quad , \quad \tau N = \frac{N_i}{N_o}$$

### 3.6.2. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας

Οι συντελεστές διαπερατότητας δείχνουν το ποσοστό των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχονται από τα δίχτυα για τις διάφορες περιοχές του φάσματος της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας. Όμως δεν δίνουν πληροφορίες για την ποιότητα του φωτός, η οποία επιδρά στην φωτομορφογένεση. Για το λόγο αυτό υπολογίστηκαν οι παράμετροι που σχετίζονται με το φυτόχρωμα, το κρυπτόχρωμα και τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία.

Το φυτόχρωμα, μια μπλε-πράσινου χρώματος πρωτεϊνική χρωστική, είναι παρόν στους φυτικούς ιστούς με την μορφή δύο ισομερών πρωτεϊνών, οι οποίες παρουσιάζουν μέγιστο απορρόφησης ακτινοβολίας σε διαφορετικά μήκη κύματος. Η μια πρωτεΐνη, η (PR) παρουσιάζει αυτό το μέγιστο στα 660 nm περίπου και η άλλη (PFR) στα 730 nm περίπου. Οι δυο αυτές μορφές βρίσκονται σε ένα ισοζύγιο, το οποίο μπορεί να μεταβληθεί εάν μεταβληθεί η αναλογία R : FR του φωτός που διέρχεται από τα δίχτυα σκίασης. Για την επίδραση των διχτυών σκίασης στην ποιότητα του μεταδιδόμενου φωτός υπολογίστηκε ο λόγος ( $\zeta$ ) της ερυθρής προς την μακρινή ερυθρή ακτινοβολία (R : FR).

$$\zeta_o = \frac{\int_{655}^{665} E_o(\lambda) d\lambda}{\int_{725}^{735} E_o(\lambda) d\lambda}, \quad \zeta_i = \frac{\int_{655}^{665} E_i(\lambda) d\lambda}{\int_{725}^{735} E_i(\lambda) d\lambda}$$

Η φύση και η λειτουργία του κρυπτοχρώματος δεν έχει ακόμη διευκρινιστεί, αλλά είναι πιθανό να είναι κάποια φλαβόνη της οποίας το μέγιστο της απορρόφησης είναι στην περιοχή από την υπεριώδη (UV-A, 350-400 nm) έως και την περιοχή του μπλε, δηλαδή συνολικά από τα 350 έως τα 500 nm (Kittas et al., 1999). Οι επιδράσεις της μπλε ακτινοβολίας στη μορφογενετική απόκριση των φυτών μπορούν να ερευνηθούν από την αναλογία B : FR της ακτινοβολίας, μια παράμετρο που σχετίζεται με το κρυπτόχρωμα (Kittas et al., 1999). Στην παρούσα διατριβή υπολογίστηκαν οι λόγοι της μπλε (400-500nm) : ερυθρή (600-700nm) (B : R) και της μπλε (400-500nm) : μακρινή ερυθρή (700-800nm) ακτινοβολία (B : FR), οι οποίοι καθορίζουν τη μορφογενετικά ενεργή ακτινοβολία (MAR) (Varlet-Grancher et al., 1993):

$$B : R_o = \frac{\int_{400}^{500} E_o(\lambda) d\lambda}{\int_{600}^{700} E_o(\lambda) d\lambda}, \quad B : R_i = \frac{\int_{400}^{500} E_i(\lambda) d\lambda}{\int_{600}^{700} E_i(\lambda) d\lambda}$$

$$B : FR_o = \frac{\int_{400}^{500} E_o(\lambda) d\lambda}{\int_{700}^{800} E_o(\lambda) d\lambda}, \quad B : FR_i = \frac{\int_{400}^{500} E_i(\lambda) d\lambda}{\int_{700}^{800} E_i(\lambda) d\lambda}$$

Τέλος υπολογίστηκαν οι λόγοι της PAR (400-700 nm) προς τη συνολική μικρού μήκους ακτινοβολία (TOTAL) (400-1100 nm) και προς την NIR (700-1100nm) ακτινοβολία:

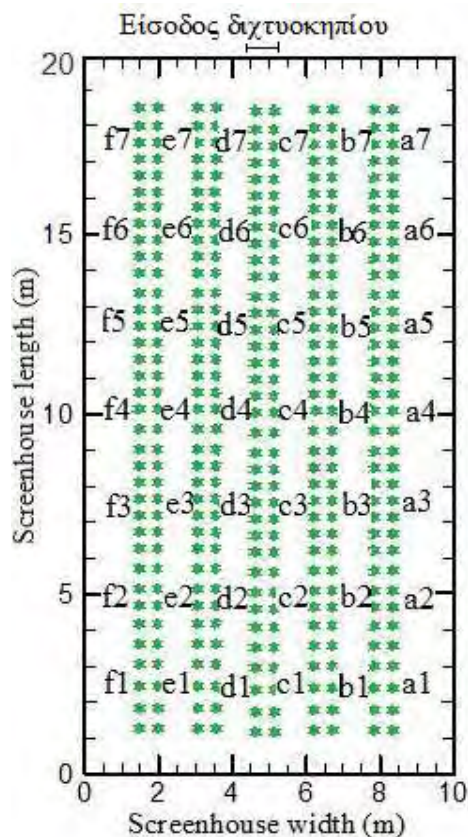
$$P : T_o = \frac{\int_{400}^{700} E_o(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{1100} E_o(\lambda) d\lambda}, \quad P : T_i = \frac{\int_{400}^{700} E_i(\lambda) d\lambda}{\int_{400}^{1100} E_i(\lambda) d\lambda}$$

$$P : N_o = \frac{\int_{400}^{700} E_o(\lambda) d\lambda}{\int_{700}^{1100} E_o(\lambda) d\lambda}, \quad P : N_i = \frac{\int_{400}^{700} E_i(\lambda) d\lambda}{\int_{700}^{1100} E_i(\lambda) d\lambda}$$

### 3.6.2. Μετρήσεις κατανομής του μικροκλίματος

Οι μετρήσεις κατανομής του μικροκλίματος πραγματοποιήθηκαν στα τρία διχτυοκήπια με τη βοήθεια μιας χειροκίνητης μεταλλικής πλατφόρμας, πάνω στην οποία ήταν τοποθετημένα ένα ηχητικό ανεμόμετρο τριών διαστάσεων (WindMaster<sup>TM</sup> 3-Axis

Anemometer Range, Gill Instruments Ltd, England) και ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής. Το ηχητικό ανεμόμετρο ήταν τοποθετημένο σε ύψος 1,80m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα μεταξύ 11:00 και 16:00 στις 22, 23 και 25 Αυγούστου στα W13, G36 και W34 αντιστοίχως. Στο κέντρο του κάθε διάδρομου μεταξύ των διπλών γραμμών φύτευσης και ανά 2,5m λαμβανόταν μια μέτρηση. Συνολικά σε κάθε διχτυοκήπιο λήφθηκαν μετρήσεις από 42 σημεία και για κάθε σημείο η μέτρηση διαρκούσε πέντε λεπτά. Συνεπώς για την πραγματοποίηση των μετρήσεων σε ένα διχτυοκήπιο χρειαζόντουσαν πέντε ώρες περίπου, συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου μετακίνησης από σημείο σε σημείο επί και μεταξύ των διαδρόμων. Στο Σχήμα 2. φαίνεται η διάταξη των σημείων όπου λήφθηκαν οι μετρήσεις κατανομής του μικροκλίματος. Οι μετρήσεις είχαν κατεύθυνση από το Νότο προς το Βορρά (από το σημείο a1 στο a7) και από το διάδρομο a στον f.



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση των σημείων καταγραφής των δεδομένων κατανομής του μικροκλίματος στα διχτυοκήπια. Τα a1 έως f7 αντιπροσωπεύουν τα σημεία στα οποία λήφθηκαν οι μετρήσεις, ενώ όπου \* είναι φυτά.

Τα δεδομένα που καταγράφονταν ήταν το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου για κάθε διάσταση (U, V, W) και η θερμοκρασία (T). Υπολογίστηκαν η ταχύτητα του ανέμου, η τύρβη και η ένταση της τύρβης του αέρα για κάθε σημείο που πραγματοποιήθηκε μέτρηση στα διχτυοκήπια καθώς και η μέση τιμή όλων των παραπάνω. Η ταχύτητα του αέρα για το κάθε σημείο του διχτυοκηπίου ( $U_{\sigma}$ , m/s) υπολογίστηκε από την παρακάτω σχέση:

$$U_{\sigma} = (U^2 + V^2 + W^2)^{0,5}$$

Η τύρβη του αέρα ( $U_t$ , αδιάστατη) για κάθε σημείο μέτρησης εντός των διχτυοκηπίων υπολογίστηκε από τη διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου ενώ η ένταση της τύρβης ( $U_{intt}$ , αδιάστατη) υπολογίστηκε από το λόγο της μέσης τιμής της τύρβης στο κάθε σημείο προς την τυπική απόκλιση της μέσης ταχύτητας του ανέμου για το κάθε σημείο. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, οι εξωτερικές παράμετροι (θερμοκρασία, ταχύτητα, η ένταση της τύρβης και η τύρβη του αέρα) δεν παρέμεναν σταθερές. Για το λόγο αυτό κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται οι κανονικοποιημένες τιμές αυτών ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Η κανονικοποιημένη θερμοκρασία ( $T_{καν}$ , °C) υπολογίστηκε ως ο λόγος της διαφοράς της θερμοκρασίας στο σημείο μέτρησης με την εξωτερική θερμοκρασία, προς τη διαφορά της θερμοκρασίας στο κέντρο με την εξωτερική θερμοκρασία.

$$T_{καν} = \frac{T_{\sigma} - T_o}{T_i - T_o}$$

Η κανονικοποιημένη τιμή της ταχύτητας του αέρα ( $U_{ικαν}$ , m/s) υπολογίστηκε ως ο λόγος της μέσης τιμής της ταχύτητας του αέρα στο σημείο μέτρησης (μέση τιμή της ταχύτητας των τριών διαστάσεων) προς την εξωτερική ταχύτητα του αέρα.

$$U_{ικαν} = \frac{\text{Average UVW}}{U_o}$$

Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του παραπάνω λόγου τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των διχτυών στη μείωση της ταχύτητας του αέρα.

Η κανονικοποιημένη τιμή της τύρβης του αέρα ( $U_{tκαν}$ , αδιάστατη) υπολογίστηκε ως ο λόγος της μέσης τύρβης του αέρα στο σημείο μέτρησης προς την εξωτερική ταχύτητα του αέρα. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του παραπάνω λόγου τόσο μικρότερη είναι η επίδραση του διχτυοκηπίου στη μείωση της τύρβης. Τέλος η κανονικοποιημένη τιμή της

έντασης της τύρβης του αέρα (Uinttκαν, αδιάστατη) στο χώρο των διχτυοκηπίων υπολογίσθηκε ως ο λόγος της τύρβης του αέρα στο σημείο μέτρησης προς την εξωτερική ταχύτητα του αέρα. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του παραπάνω λόγου τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των διχτυών στη μείωση της έντασης της τύρβης.

Η απεικόνιση της κατανομής των κανονικοποιημένων μετρήσεων στο χώρο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Surfer 8.

### 3.7. Μετρήσεις φωτοσύνθεσης

Η διαπνοή και η φωτοσύνθεση των φύλλων μετρήθηκαν με τη χρήση ενός φορητού οργάνου φωτοσύνθεσης (LCpro+ system, ADC BioScientific Ltd., England). Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα μεταξύ 12:00 και 14:00 ανά περίπου 20 ημέρες, τις εξής ημερομηνίες:

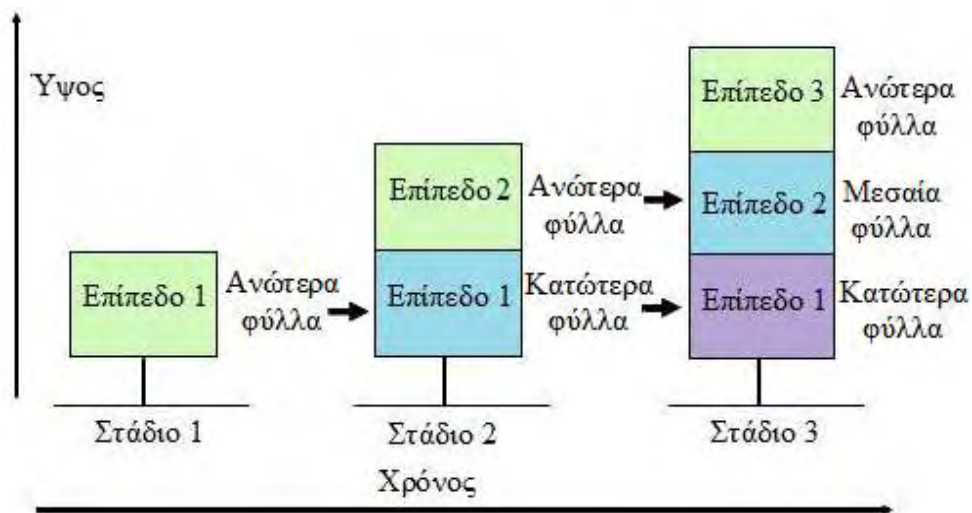
- ✓ 6/7/2011
- ✓ 7/7/2011
- ✓ 3/8/2011
- ✓ 30/8-5/9/2011
- ✓ 16-19/9/2011
- ✓ 30/9-8/10/2011
- ✓ 24-25/10/2011



Εικόνα 12. Το σύστημα LCpro+ μέτρησης της φωτοσύνθεσης.

Από κάθε μεταχείριση λαμβάνονταν μετρήσεις από 10 υγιή και καλά αναπτυγμένα φύλλα. Οι μετρήσεις λήφθηκαν σε τρία επίπεδα. Στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των

φυτών λαμβάνονταν μετρήσεις σε ένα επίπεδο, από φύλλα εντοπισμένα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος (Επίπεδο 1). Από αρχές Σεπτεμβρίου άρχισαν να λαμβάνονται μετρήσεις σε δύο επίπεδα. Το Επίπεδο 1 αντιστοιχούσε σε μετρήσεις φύλλων εντοπισμένα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος, ενώ το Επίπεδο 2 αντιστοιχούσε σε μετρήσεις στα νεότερα φύλλα, στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος. Τέλος τον Οκτώβριο λαμβάνονταν μετρήσεις σε τρία επίπεδα όπου το Επίπεδο 1 αντιστοιχούσε στα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος, το Επίπεδο 2 αντιστοιχούσε στα φύλλα εντοπισμένα στο μέσο του φυλλώματος και το Επίπεδο 3 αφορούσε τα νεότερα φύλλα, εντοπισμένα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος. Στο Σχήμα 3 φαίνεται το πως ορίστηκαν τα επίπεδα.



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση των τριών επιπέδων όπως αυτά ορίστηκαν για την διεκπεραίωση των μετρήσεων φωτοσύνθεσης.

Όπως μπορούμε να διακρίνουμε και από το Σχήμα 3, οι μετρήσεις στο Επίπεδο 1 (Στάδιο 1), στο Επίπεδο 2 (Στάδιο 2) και στο Επίπεδο 3 (Στάδιο 3) αφορούν τα φύλλα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος κατά τις διάφορες περιόδους ανάπτυξης των φυτών. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν αφορούσαν τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (PPFD,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ) που δέχονταν τα φυτά, τη διαπνοή των φυτών ( $T_r$ ,  $\text{mmol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ), τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων ( $g_s$ ,  $\text{mmol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ), το ρυθμό καθαρής φωτοσύνθεσης ( $P_n$ ,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ) και τη θερμοκρασία φύλλων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία του θαλάμου του οργάνου είχε οριστεί στους  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , ώστε να μην επηρεάζεται η λειτουργία του οργάνου από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια λήψης

των μετρήσεων. Έτσι η θερμοκρασία των φύλλων ήταν παρόμοια σε κάθε μεταχείριση, λόγω του ότι για να υπολογίσει τη θερμοκρασία των φύλλων, το όργανο φωτοσύνθεσης χρησιμοποιούσε τη θερμοκρασία του θαλάμου.

Από τα δεδομένα του ρυθμού φωτοσύνθεσης και του ρυθμού διαπνοής που κατέγραψε το όργανο της φωτοσύνθεσης υπολογίστηκε η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE,  $\mu\text{mol}$  που δεσμεύτηκαν  $\text{CO}_2$  / $\text{mol}$   $\text{H}_2\text{O}$  διαπνοής).

$$\text{WUE} = \text{Pn} / \text{Tr}$$

Από τα δεδομένα του ρυθμού φωτοσύνθεσης και της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας που δέχονταν τα φυτά υπολογίστηκε η αποτελεσματικότητα χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας (LUE,  $\text{mol}$   $\text{CO}_2$  που δεσμεύτηκαν/ $\text{mol}$  φωτονίων που προσέπιπταν).

$$\text{LUE} = \text{Pn} / \text{PAR}$$

Για τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων ανταλλαγής αερίων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS 15.0.



## 4. Αποτελέσματα

### 4.1. Μικροκλίμα σε μηνιαία βάση

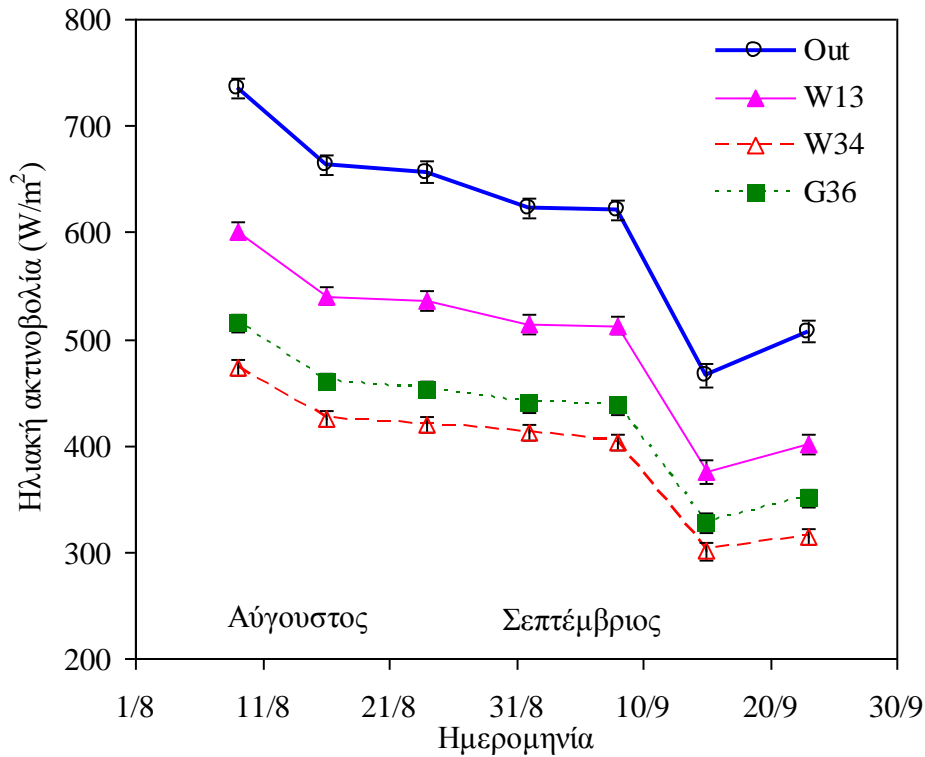
Τα κλιματικά δεδομένα που ακολουθούν, αναφέρονται στην ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία καθώς και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα όλων των μεταχειρίσεων, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεδομένων που αφορούν τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο ανά εβδομάδα, για το χρονικό διάστημα μεταξύ 8:00 με 20:00, πλην της ηλιακής ακτινοβολίας που μελετήθηκε από τις 9:00 έως τις 17:00.

#### 4.1.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται η πορεία της μέσης ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας (σε  $W/m^2$ ) κάθε μεταχείρισης ανά εβδομάδα, για τον μήνα Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Η ηλιακή ακτινοβολία στο μάρτυρα ήταν πάντοτε μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια και των δύο μηνών. Η σειρά κατάταξης είναι:

Μάρτυρας >W13> G36> W34.

Η υψηλότερη μέση ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια του Αυγούστου αντιστοιχούσε στο μάρτυρα με  $734,63 W/m^2$  και η χαμηλότερη στο W34 με  $419,37 W/m^2$ . Το μήνα Σεπτέμβρη η υψηλότερη μέση ηλιακή ακτινοβολία αντιστοιχούσε στο μάρτυρα με  $622,79 W/m^2$  και η χαμηλότερη στο W34 με  $239,50 W/m^2$ . Η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας κατά τη διάρκεια του Αυγούστου βρέθηκε 0,82, 0,64 και 0,70 για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα, ενώ κατά τη διάρκεια του Σεπτέμβρη η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας ήταν 0,81, 0,65 και 0,70 για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι στα διχτυοκήπια W34 και G36 εισερχόταν παρόμοια ηλιακή ακτινοβολία.

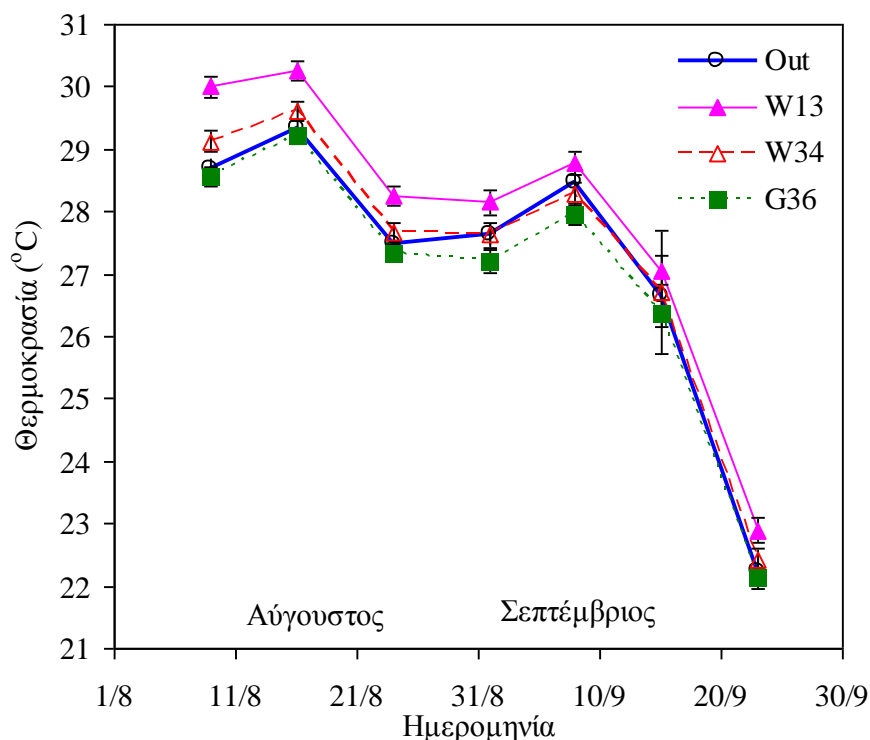


Σχήμα 4. Επίδραση των δίχτων σκίασης στην ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου.

#### 4.1.2. Θερμοκρασία

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η επίδραση των δίχτων σκίασης στη θερμοκρασία του αέρα ( $T_a$ , °C) κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία στο δίχτυοκηπιο W13 ήταν πάντοτε μεγαλύτερη, ενώ η θερμοκρασία στο G36 ήταν πάντοτε μικρότερη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις κατά τη διάρκεια των δύο μηνών. Οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας στο W34 και στο μάρτυρα φαίνονται να είναι παρόμοιες. Η υψηλότερη μέση θερμοκρασία του αέρα παρατηρήθηκε κάτω από το δίχτυοκήπιο W13 με 30,26 °C. Οι τιμές της θερμοκρασίας κατά το ίδιο διάστημα στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις ήταν 29,34, 29,61 και 29,21 °C για το μάρτυρα και τα δίχτυοκήπια W34 και G36 αντίστοιχα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου δεν ξεπέρασαν τον 1 °C (με εξαίρεση την πρώτη εβδομάδα του Αυγούστου όπου η διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων με τη μεγαλύτερη και χαμηλότερη θερμοκρασία έφθασε τους

1,44 °C). Όσον αφορά το Σεπτέμβρη, η υψηλότερη μέση θερμοκρασία του αέρα αντιστοιχούσε στο W13 με 28,78 °C ενώ για την ίδια εβδομάδα οι τιμές της θερμοκρασίας ήταν 28,47, 28,28 και 27,95 °C για το μάρτυρα και τα διχτυοκήπια W34 και G36 αντίστοιχα. Οι διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά τη κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου δεν ξεπέρασαν τον 1 °C (0,95 °C). Οι τιμές της μέσης θερμοκρασίας ανά εβδομάδα των δυο μηνών φαίνονται στους Πίνακες 2 & 3.



Σχήμα 5. Επίδραση των διχτυών σκίασης στη θερμοκρασία του αέρα (°C) κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου.

Πίνακας 2. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( ± ) της θερμοκρασίας αέρα όλων των μεταχειρίσεων ανά εβδομάδα του Αυγούστου.

Ta (°C)				
Ημερομηνία	Μάρτυρας	W13	W34	G36
9/8/2011	28,70 ± 3,6	30,00 ± 3,7	29,12 ± 3,7	28,56 ± 3,4
16/8/2011	29,34 ± 2,8	30,26 ± 3,5	29,61 ± 3,5	29,21 ± 2,9
24/8/2011	27,47 ± 3,3	28,24 ± 3,6	27,67 ± 3,5	27,33 ± 3,3

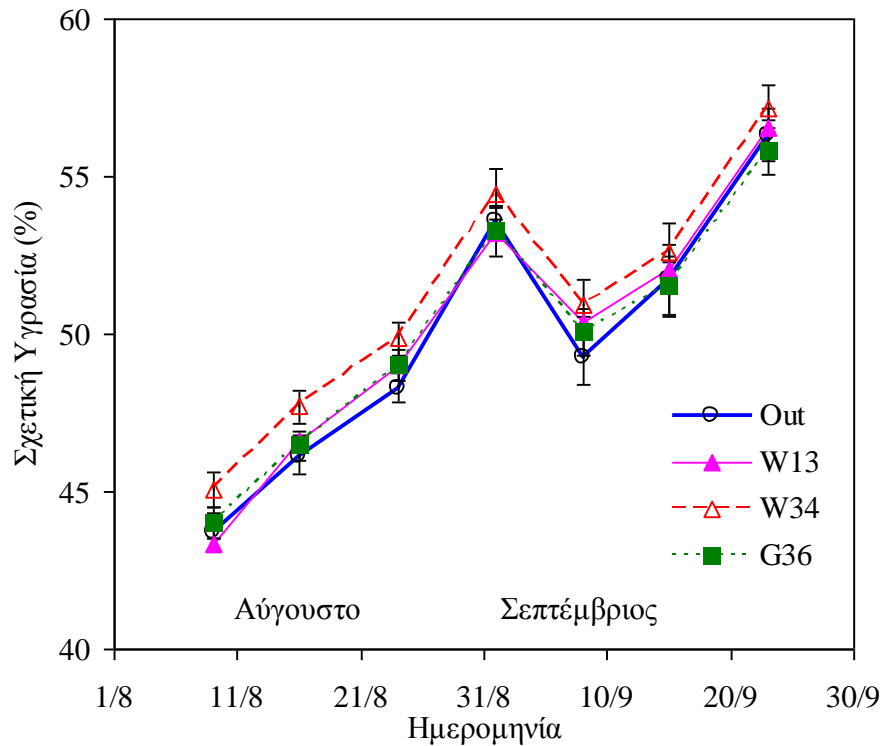
Πίνακας 3. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( ± ) της θερμοκρασίας αέρα όλων των μεταχειρίσεων ανά εβδομάδα του Σεπτεμβρίου.

Ta (°C)				
Ημερομηνία	Μάρτυρας	W13	W34	G36
1/9/2011	27,64 ± 3,8	28,15 ± 4,3	27,62 ± 4,2	27,21 ± 3,8
8/9/2011	28,47 ± 3,6	28,78 ± 4,1	28,28 ± 3,8	27,95 ± 3,6
15/9/2011	26,65 ± 4,6	27,06 ± 4,7	26,71 ± 4,5	26,37 ± 4,4
23/9/2011	22,24 ± 3,8	22,90 ± 4,3	22,42 ± 4,0	22,14 ± 3,9

Το γεγονός ότι η θερμοκρασία ήταν αυξημένη στα διχτυοκήπια W13 και W34 συγκριτικά με το μάρτυρα πιθανότατα οφείλεται στο μειωμένο ρυθμό ανανέωσης του αέρα κάτω από τα δίχτυα. Το γεγονός ότι το W13 εμφάνισε υψηλότερη θερμοκρασία αέρα συγκριτικά με τα άλλα διχτυοκήπια οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισερχόταν σε αυτό ήταν σε όλες τις περιπτώσεις υψηλότερη από τα άλλα δύο. Ενώ το ότι στο διχτυοκήπιο G36 επικρατούσαν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα άλλα διχτυοκήπια οφείλεται πιθανότατα στον αυξημένο ρυθμό ανανέωσης του αέρα, ενώ συγκριτικά με τον μάρτυρα δεχόταν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία.

#### 4.1.3. Υγρασία

Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η επίδραση των διχτυών σκίασης στην υγρασία του αέρα (%) κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Παρατηρούμε ότι η υγρασία στο διχτυοκήπιο W34 ήταν μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ενώ λιγότερη υγρασία φαίνεται να είχε ο μάρτυρας, κατά τη διάρκεια και των δύο μηνών. Η διαφορά της υγρασίας μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν ξεπέρασε το 2% τόσο τον Αύγουστο όσο και το Σεπτέμβρη.

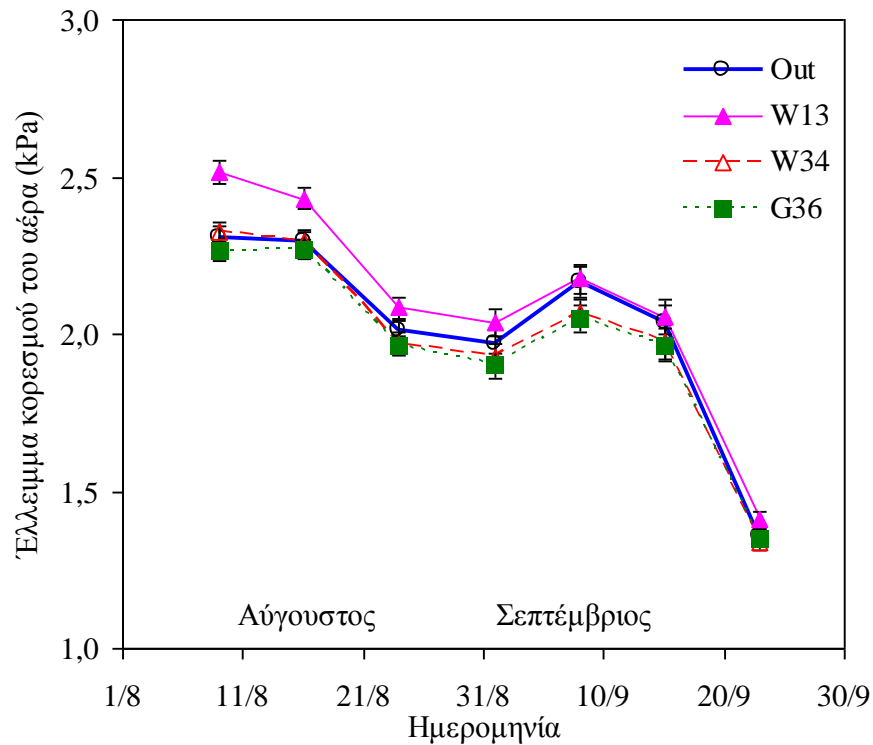


Σχήμα 6. Επίδραση των διχτυών σκίασης στη σχετική υγρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου.

#### 4.1.4. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζεται η επίδραση των διχτυών σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα (VPDa) κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου. Παρατηρούμε ότι κάθε εβδομάδα κατά τη διάρκεια των δυο μηνών υψηλότερο VPDa εμφάνισε το W13, ενώ μικρότερο VPDa φαίνεται ότι είχε το G36. Το υψηλότερο μέσο έλλειμμα κορεσμού του αέρα για το μήνα Αύγουστο ήταν 2,52 kPa και αντιστοιχούσε στο W13. Το ίδιο χρονικό διάστημα η αντίστοιχη τιμή του μάρτυρα και των διχτυοκηπίων W34 και G36 ήταν 2,31, 2,32 και 2,26 kPa αντίστοιχα. Οι διαφορές του VPDa μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια του Αυγούστου δεν ξεπέρασαν τα 0,25 kPa. Το μήνα Σεπτέμβρη, το μεγαλύτερο μέσο έλλειμμα κορεσμού του αέρα παρουσίασε και πάλι το διχτυοκήπιο W13 με 2,18 kPa ενώ το ίδιο διάστημα η αντίστοιχη τιμή του μάρτυρα και των διχτυοκηπίων W34 και G36 ήταν 2,17, 2,07 και 2,05 kPa αντίστοιχα. Η διαφορά του VPDa μεταξύ των μεταχειρίσεων κατά τη διάρκεια του

Σεπτεμβρίου δεν ξεπέρασε το 0,15 kPa. Οι τιμές του μέσου ελλείμματος κορεσμού του αέρα ανά εβδομάδα των δυο μηνών φαίνονται στους Πίνακες 4 & 5.



Σχήμα 7. Επίδραση των δικτύων σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ανά εβδομάδα του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου.

Πίνακας 4. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) του ελλείμματος κορεσμού του αέρα όλων των μεταχειρίσεων ανά εβδομάδα του Αυγούστου

VPDa (kPa)				
Ημερομηνία	Μάρτυρας	W13	W34	G36
9/8/2011	2,31 $\pm$ 0,8	2,52 $\pm$ 0,8	2,32 $\pm$ 0,8	2,26 $\pm$ 0,7
16/8/2011	2,30 $\pm$ 0,7	2,43 $\pm$ 0,8	2,30 $\pm$ 0,8	2,27 $\pm$ 0,7
24/8/2011	2,00 $\pm$ 0,8	2,08 $\pm$ 0,8	1,97 $\pm$ 0,7	1,96 $\pm$ 0,7

Πίνακας 5. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) του ελλείμματος κορεσμού του αέρα όλων των μεταχειρίσεων ανά εβδομάδα του Σεπτεμβρίου.

VPDa (kPa)				
Ημερομηνία	Μάρτυρας	W13	W34	G36
1/9/2011	1,97 $\pm$ 1,0	2,04 $\pm$ 0,9	1,93 $\pm$ 0,9	1,90 $\pm$ 0,8
8/9/2011	2,17 $\pm$ 1,0	2,18 $\pm$ 0,9	2,07 $\pm$ 0,9	2,05 $\pm$ 0,9
15/9/2011	2,04 $\pm$ 1,1	2,06 $\pm$ 1,1	1,97 $\pm$ 1,1	1,97 $\pm$ 1,0
23/9/2011	1,36 $\pm$ 0,6	1,41 $\pm$ 0,6	1,34 $\pm$ 0,6	1,35 $\pm$ 0,6

## 4.2. Μικροκλίμα κατά τη διάρκεια της ημέρας

Τα κλιματικά δεδομένα που ακολουθούν, αναφέρονται σε δύο ημέρες των μηνών Αύγουστο και Σεπτέμβρη, με παρόμοιες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Από το Αύγουστο επιλέχθηκαν η 27<sup>η</sup> & 29<sup>η</sup> ημέρα και από το Σεπτέμβριο η 29<sup>η</sup> & 30<sup>η</sup> ημέρα.

Οι μέσες τιμές των εξωτερικών κλιματικών δεδομένων που αντιστοιχούν στις παραπάνω ημέρες δίνονται στους Πίνακες 6 & 7 για τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο αντίστοιχα. Τα δεδομένα που μελετούνται για τις επιλεγμένες ημέρες, αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία, τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα, τη διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα, το έλλειμμα κορεσμού του αέρα και το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα. Όλα τα δεδομένα (εξωτερικά και εντός των διχτυοκηπίων) αφορούν το χρονικό διάστημα μεταξύ 8:00 με 20:00 για τον Αύγουστο και 8:00 με 19:00 για τον Σεπτέμβριο, πλην της ηλιακής ακτινοβολίας που μελετήθηκε από τις 9:00 έως τις 17:00 και για τους δύο μήνες.

Πίνακας 6. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( ± ) των εξωτερικών κλιματικών δεδομένων κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.

Ημερομηνία	Ηλιακή ακτινοβολία W/ m <sup>2</sup>	Θερμοκρασία °C	VPD αέρα kPa	Ταχύτητα ανέμου m/s
27/8/2011	712,91	26,30 ± 1,80	1,86 ± 0,52	2,71 ± 1,07
29/8/2011	695,18	25,90 ± 3,08	1,79 ± 0,66	2,13 ± 0,92

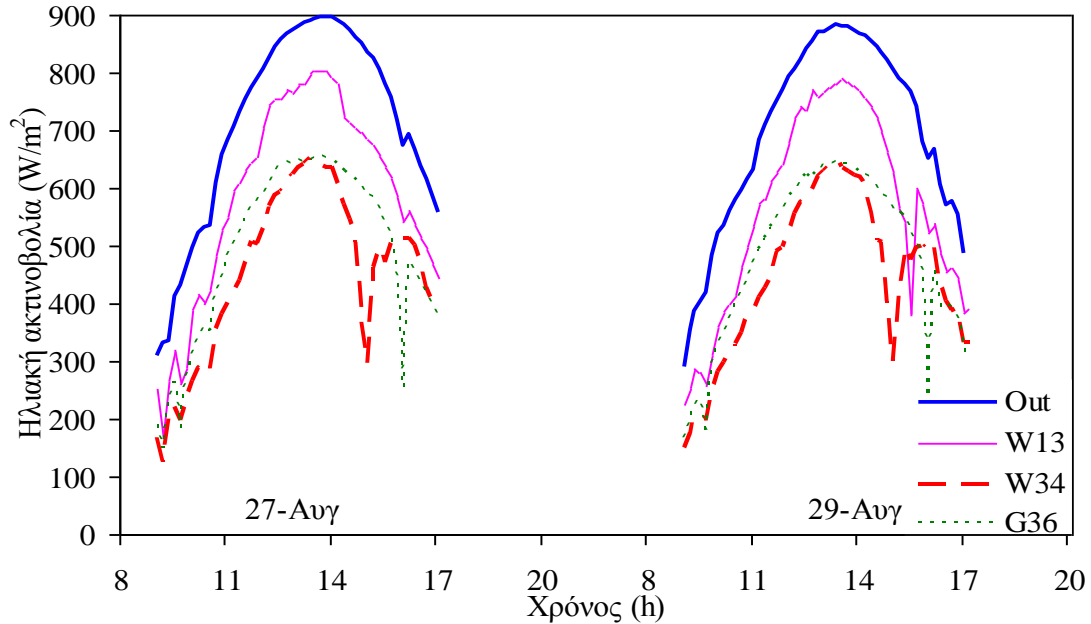
Πίνακας 7. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( ± ) των εξωτερικών κλιματικών δεδομένων κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

Ημερομηνία	Ηλιακή ακτινοβολία W/ m <sup>2</sup>	Θερμοκρασία °C	VPD αέρα kPa	Ταχύτητα ανέμου m/s
29/9/2012	588,70	21,21 ± 4,14	1,35 ± 0,73	2,52 ± 1,22
30/9/2012	545,46	21,64 ± 3,78	1,34 ± 0,50	2,38 ± 1,27

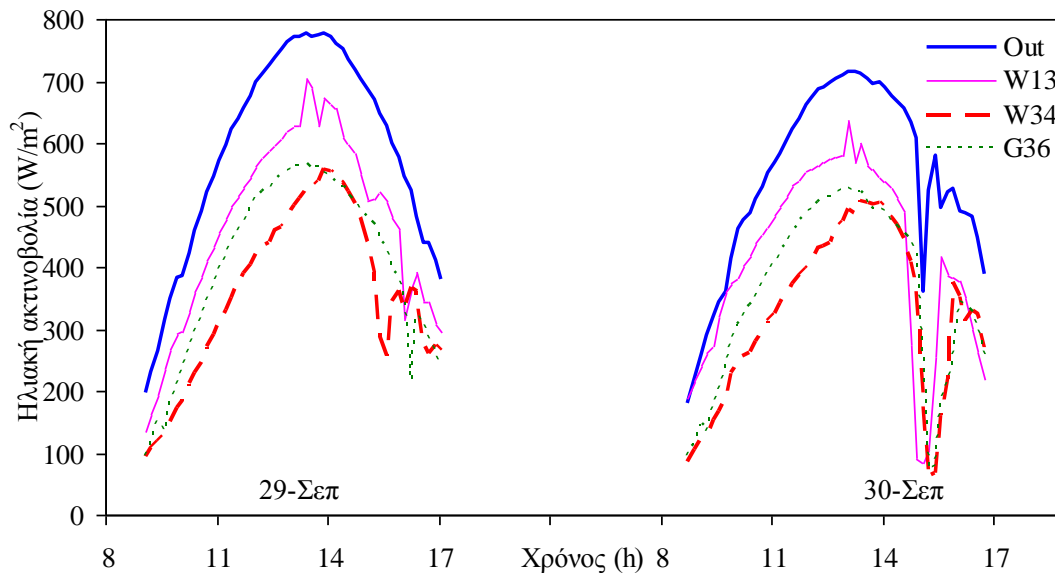
### 4.2.1. Ηλιακή ακτινοβολία

Στα Σχήματα 8 & 9 παρουσιάζεται η επίδραση των διχτυών σκίασης στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m<sup>2</sup>) για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του

Σεπτεμβρίου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, και για τους δύο μήνες τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία δέχονταν τα φυτά στο μάρτυρα ενώ μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία δέχονταν τα φυτά στο W34.



Σχήμα 8. Επίδραση των δικτύων σκίασης στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.



Σχήμα 9. Επίδραση των δικτύων σκίασης στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.



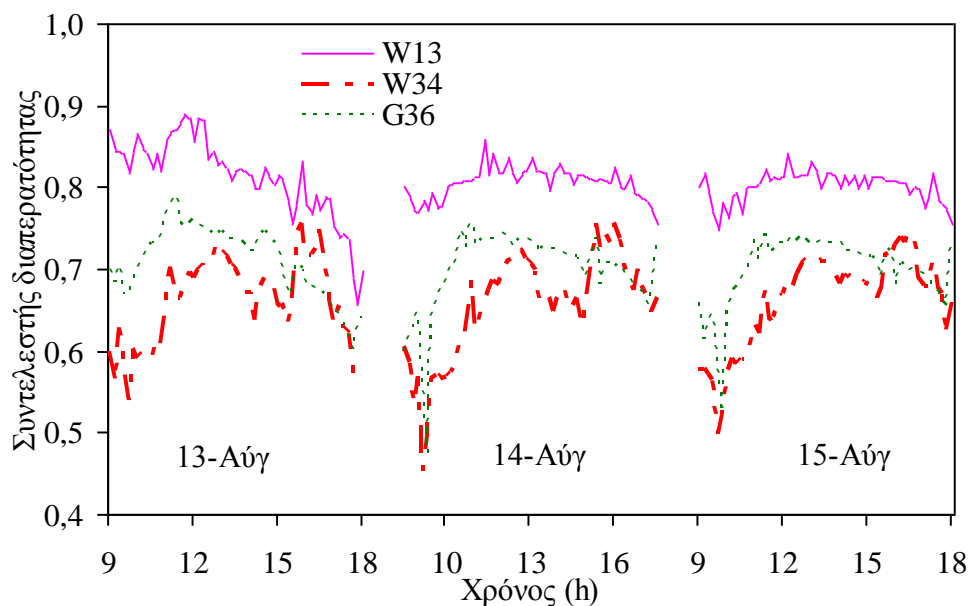
Πίνακας 8. Μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο μάρτυρα και στα τρία διχτυοκήπια, κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.

Ημερομηνία	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )			
	Μάρτυρας	W13	W34	G36
27/8/2011	712,91	591,30	455,58	493,04
29/8/2011	695,18	562,32	443,55	478,16

Πίνακας 9. Μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο μάρτυρα και στα τρία διχτυοκήπια, κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

Ημερομηνία	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )			
	Μάρτυρας	W13	W34	G36
29/9/2011	588,70	470,03	358,26	401,43
30/9/2011	545,46	416,22	325,89	359,36

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται ενδεικτικά η πορεία των συντελεστών διαπερατότητας των διχτυών (τ, αδιάστατο), όπου υπολογίσθηκε ως ο λόγος της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από τα δίχτυα προς την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία, σε τρεις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου (13, 14 και 15). Οι μέσες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας ήταν  $0,80 \pm 0,03$ ,  $0,66 \pm 0,06$  και  $0,70 \pm 0,05$  για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα.



Σχήμα 10. Ημερήσια πορεία του συντελεστή διαπερατότητας κατά τη διάρκεια των τριών ημερών του Αυγούστου.

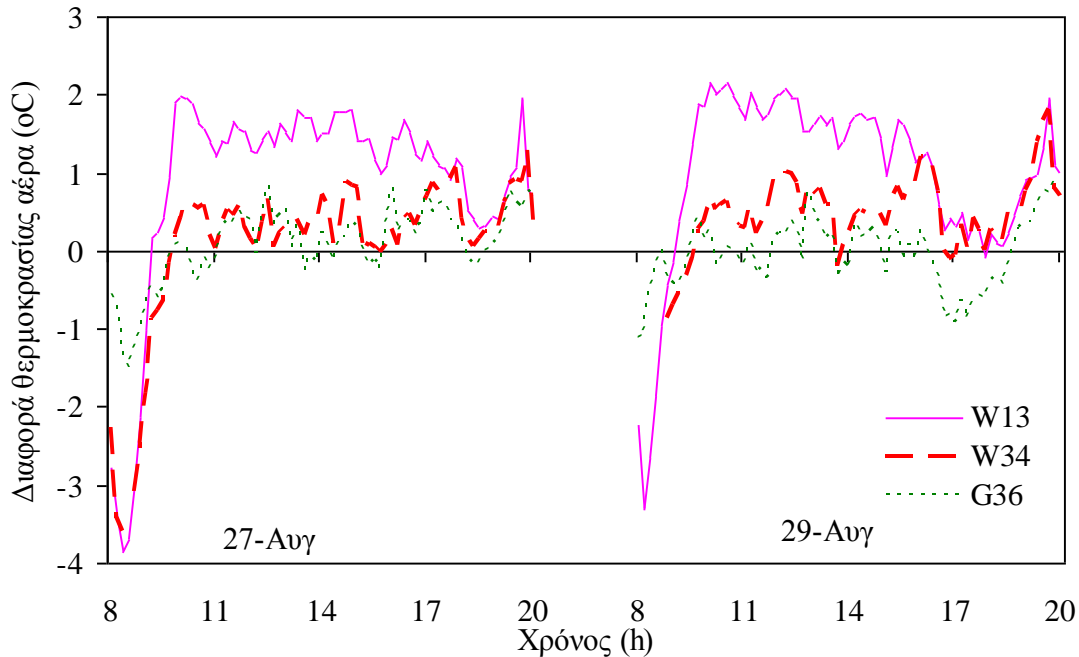
Οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στους συντελεστές διαπερατότητας πιθανότατα οφείλονται στη θέση του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας καθώς και στην ανάσχεση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας από την κατασκευή των διχτυοκηπίων. Στους Πίνακες 8 & 9 φαίνεται ότι τα W34 και G36 δέχονται παρόμοια ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς οποιεσδήποτε διαφορές παρατηρούνται στο μικροκλίμα των δύο διχτυοκηπίων θα μπορούσαν να αποδοθούν στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα του κάθε διχτυοκηπίου, ο οποίος πιθανότατα διαφέρει λόγω διαφορετικού πορώδους. Όσον αφορά τα W13 και W34 τα οποία είχαν ίδιο πορώδες, οποιαδήποτε διαφορά στο μικροκλίμα μπορεί να αποδοθεί στις διαφορετικές τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

#### **4.2.2. Διαφορά θερμοκρασίας αέρα**

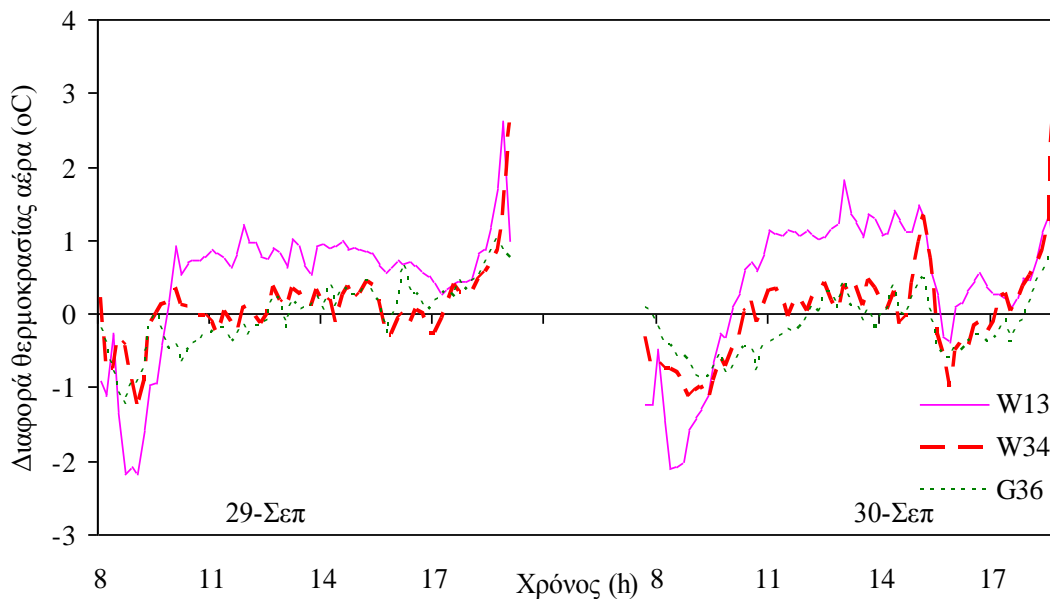
Η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα υπολογίστηκε ως η διαφορά της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου με την εξωτερική.

$$\delta T = T_i - T_o$$

Όσο μικρότερη είναι η διαφορά τόσο λιγότερο διαφέρει η θερμοκρασία του διχτυοκηπίου με την εξωτερική. Στα Σχήματα 11 & 12 παρουσιάζεται η διαφορά θερμοκρασίας για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, και για τους δύο μήνες η θερμοκρασία στο W13 διαφέρει από την εξωτερική περισσότερο από τα υπόλοιπα δίχτυοκλήπια, ενώ τα W34 και G36 έχουν παρόμοιες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας, μεταξύ 0 και 1 °C τις περισσότερες ώρες της ημέρας.



Σχήμα 11. Επίδραση των δικτύων σκίασης στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.



Σχήμα 12. Επίδραση των δικτύων σκίασης στη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

Το γεγονός ότι το W13 εμφάνισε μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας αέρα, οφείλεται στο ότι η ηλιακή ακτινοβολία που εισερχόταν σε αυτό ήταν σε όλες τις περιπτώσεις

υψηλότερη, (περίπου 28% σε σχέση με το W34, και 20% σε σχέση με το G36, και τους δύο μήνες), από τα άλλα δύο δίκτυα (Πίνακες 8 & 9).

Παρακάτω (Πίνακες 10 & 11.) δίνονται η μέση τιμή και η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα (Ta) σε όλες τις μεταχειρίσεις για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα.

Πίνακας 10. Μέσες τιμές (Mean), τυπικές αποκλίσεις (Stdev) και μέγιστες τιμές (Max) της θερμοκρασίας του αέρα στο μάρτυρα και κάτω από τα δίκτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου.

Ta (°C)								
Ημερομηνία	Μάρτυρας		W13		W34		G36	
	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max
27/8/2011	26,3 ± 1,8	28,3	27,2 ± 5,9	30,0	26,5 ± 5,3	28,8	26,4 ± 4,4	28,8
29/8/2011	25,9 ± 3,1	29,6	26,9 ± 3,7	30,6	26,9 ± 2,6	30,4	25,9 ± 3,1	29,5

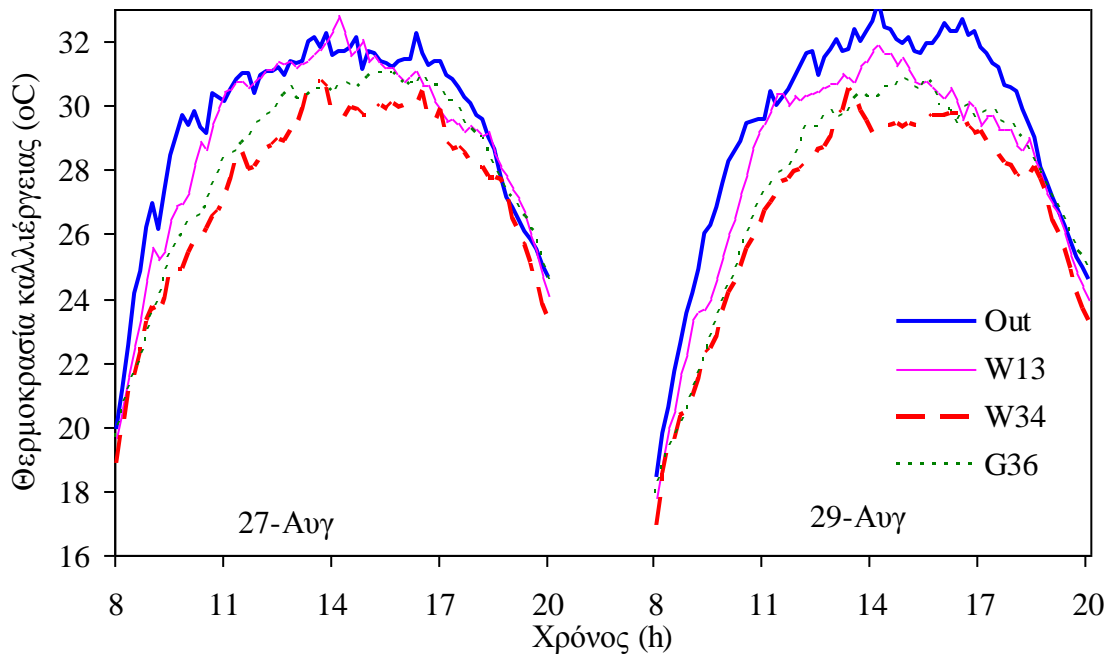
Πίνακας 11. Μέσες τιμές (Mean), τυπικές αποκλίσεις (Stdev) και μέγιστες τιμές (Max) της θερμοκρασίας του αέρα στο μάρτυρα και κάτω από τα δίκτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου.

Ta (°C)								
Ημερομηνία	Μάρτυρας		W13		W34		G36	
	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max
29/9/2011	21,2 ± 4,1	24,6	21,7 ± 4,8	25,4	21,3 ± 4,4	24,8	21,2 ± 4,5	25,1
30/9/2011	21,6 ± 3,8	24,9	22,0 ± 4,6	26,0	21,6 ± 4,1	25,4	21,5 ± 3,9	24,9

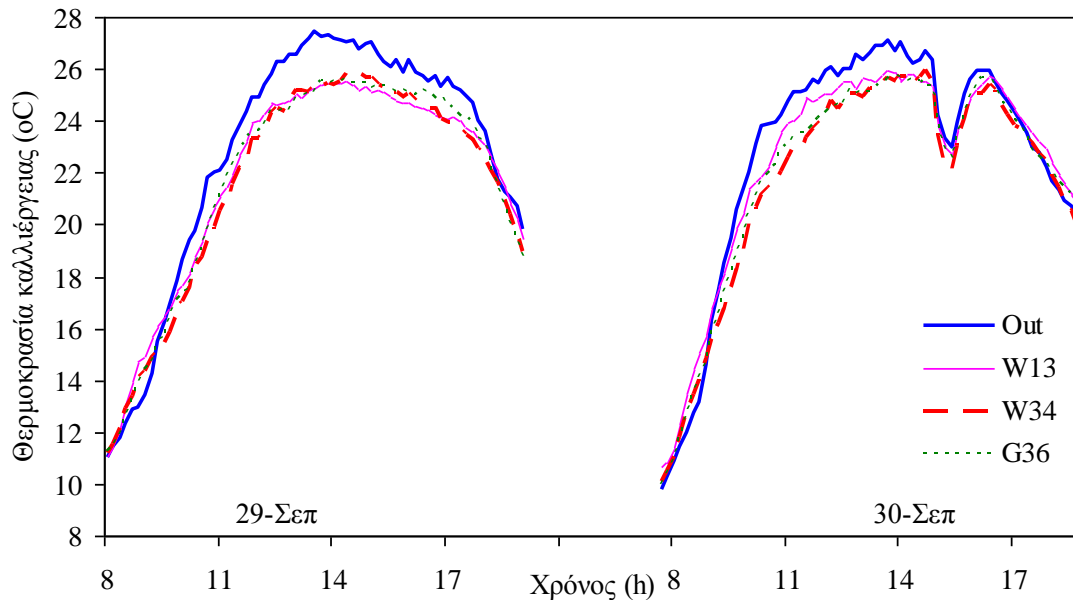
Από τους παραπάνω Πίνακες προκύπτει ότι η μέση θερμοκρασία των δικτυοκηπίων W13 και W34 συγκριτικά με το μάρτυρα, ήταν αυξημένη κατά 0,9 και 0,6 °C αντίστοιχα, ενώ στο G36 η θερμοκρασία ήταν παρόμοια με αυτή του μάρτυρα κατά τη διάρκεια των τυπικών ημερών του Αυγούστου. Όσον αφορά το Σεπτέμβρη, η μέση θερμοκρασία του αέρα στο W13 ήταν αυξημένη κατά 0,4 °C από αυτή του μάρτυρα ενώ τα δικτυοκήπια W34 και G36 είχαν παρόμοια θερμοκρασία με το μάρτυρα. Η μείωση της διαφοράς των θερμοκρασιών μεταξύ δικτύων και μάρτυρα που παρατηρείται το Σεπτέμβρη, οφείλεται στη μειωμένη ηλιακή ακτινοβολία (κατά 100 W/m<sup>2</sup> περίπου) των ημερών του Σεπτεμβρίου συγκριτικά με αυτή των ημερών του Αυγούστου.

### 4.2.3. Θερμοκρασία καλλιέργειας

Στα Σχήματα 13 & 14 παρουσιάζεται η θερμοκρασία της καλλιέργειας ( $T_c$ ) για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, και για τους δύο μήνες η  $T_c$  στο μάρτυρα είναι υψηλότερη από ότι στα δίχτυοκίπια. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός η ηλιακή ακτινοβολία στο μάρτυρα ήταν υψηλότερη σε σχέση με αυτή κάτω από τα δίχτυα (Πίνακες 8 & 9). Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της θερμοκρασίας της καλλιέργειας φαίνονται στους Πίνακες 12 & 13 για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα.



Σχήμα 13. Επίδραση των δίχτυων σκίασης στη θερμοκρασία της καλλιέργειας ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.



Σχήμα 14. Επίδραση των δίχτων σκίασης στη θερμοκρασία της καλλιέργειας ( $^{\circ}\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

Πίνακας 12. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) της θερμοκρασίας της καλλιέργειας στο μάρτυρα και κάτω από τα δίχτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου.

Ημερομηνία	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	Μάρτυρας	W13	W34	G36
27/8/2011	29,5 $\pm$ 2,8	29,0 $\pm$ 3,0	27,4 $\pm$ 2,8	28,2 $\pm$ 2,9
29/8/2011	29,4 $\pm$ 3,4	28,2 $\pm$ 3,4	26,8 $\pm$ 3,3	27,5 $\pm$ 3,4

Πίνακας 13. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) της θερμοκρασίας της καλλιέργειας στο μάρτυρα και κάτω από τα δίχτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου.

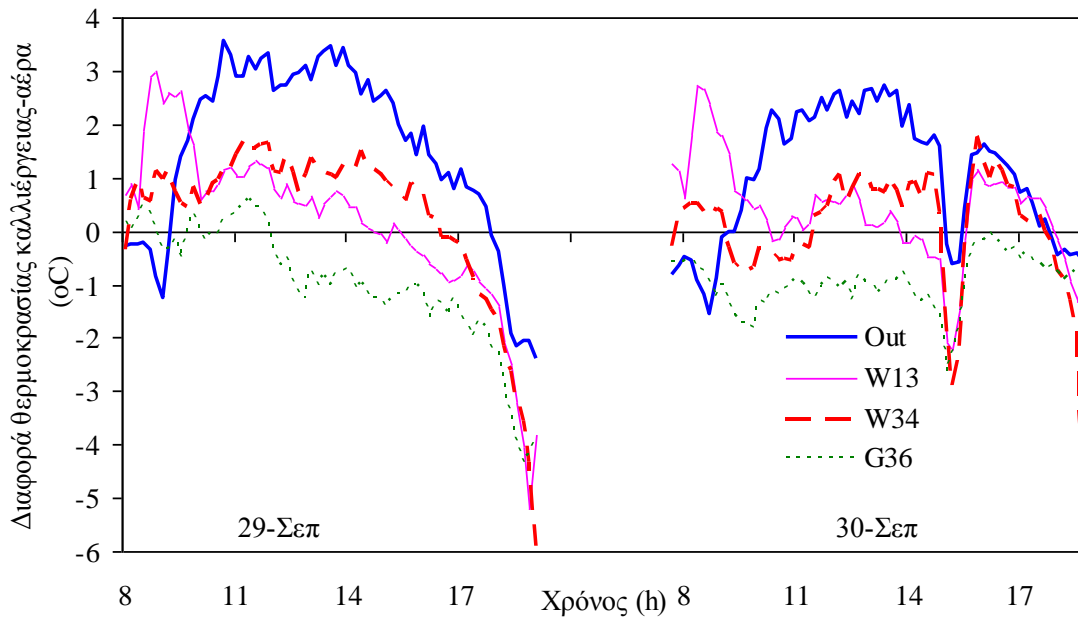
Ημερομηνία	Tc ( $^{\circ}\text{C}$ )			
	Μάρτυρας	W13	W34	G36
29/9/2011	22,7 $\pm$ 4,8	21,8 $\pm$ 4,0	21,6 $\pm$ 4,3	21,7 $\pm$ 4,3
30/9/2011	22,7 $\pm$ 4,7	22,4 $\pm$ 4,1	21,7 $\pm$ 4,3	21,9 $\pm$ 4,3

#### 4.2.4. Διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα

Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα υπολογίστηκε ως η διαφορά της θερμοκρασίας των φύλλων των φυτών της μεταχείρισης με την θερμοκρασία του αέρα της μεταχείρισης.

$$\delta T_c = T_c - T_a$$

Στο Σχήμα 15 παρουσιάζεται ενδεικτικά η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου. Όπως φαίνεται, η διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα στο μάρτυρα είναι μεγαλύτερη από ότι στα δίχτυοκήπια. Η μέση τιμή της  $\delta T_c$  βρέθηκε  $1,3^\circ\text{C}$  για το μάρτυρα και για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε  $0,28$ ,  $0,19$  και  $-0,97^\circ\text{C}$  αντίστοιχα.



Σχήμα 15. Επίδραση των δίχτυων σκίασης στη διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα ( $^\circ\text{C}$ ) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

#### 4.2.5. Έλλειμμα κορεσμού του αέρα

Στα Σχήματα 16 & 17 παρουσιάζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, κατά την διάρκεια των δύο ημερών του Αυγούστου το μεγαλύτερο VPDa εμφανίζεται ως επί το πλείστον το W13 σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όσον αφορά το

Σεπτέμβρη οι μεταχειρίσεις δεν φαίνονται να διαφέρουν σημαντικά στο VPDa. Η μέση τιμή του VPDa για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου ήταν 1,82 kPa για το μάρτυρα και 1,94, 1,89 και 1,82 kPa για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Για τις επιλεγμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου η μέση τιμή του VPDa βρέθηκε 1,35 kPa για το μάρτυρα ενώ για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 ήταν 1,36, 1,31 και 1,35 kPa αντίστοιχα. Στους Πίνακες 14 & 15. φαίνονται η μέση τιμή και η μέγιστη τιμή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα σε όλες τις μεταχειρίσεις για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα.

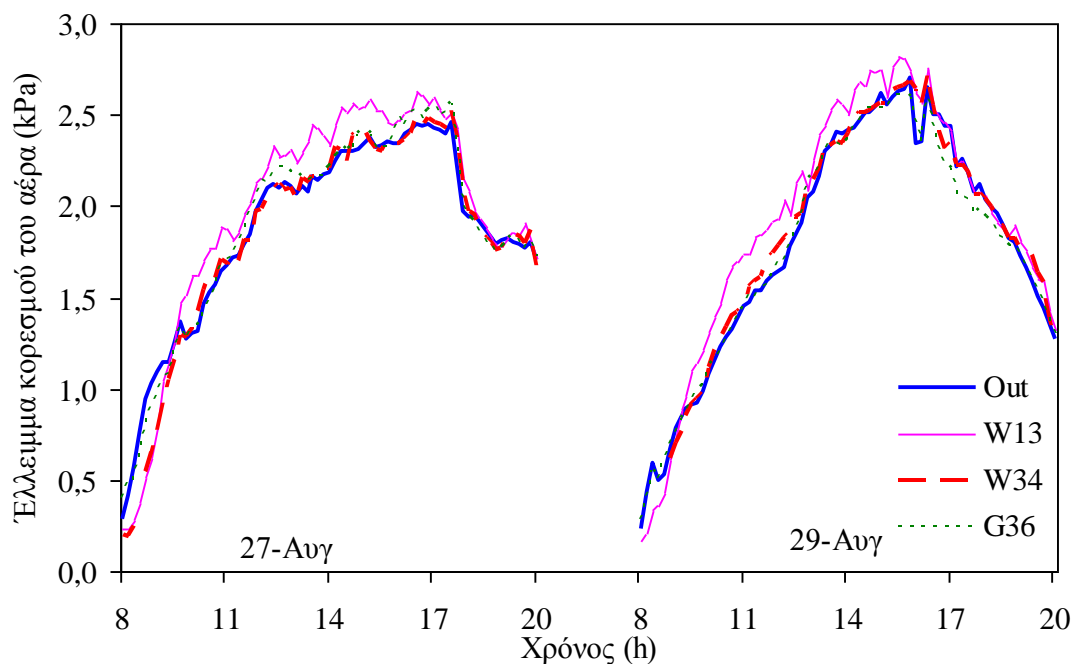
Πίνακας 14. Μέσες τιμές (Mean), τυπικές αποκλίσεις (Stdev) και μέγιστες τιμές (Max) του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στο μάρτυρα και κάτω από τα δίχτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου.

VPDa (kPa)								
Ημερομηνία	Μάρτυρας		W13		W34		G36	
	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max
27/8/2011	1,86 ± 0,52	1,79	1,97 ± 0,63	2,63	1,86 ± 0,57	2,52	1,88 ± 0,55	2,56
29/8/2011	1,79 ± 0,66	1,82	1,91 ± 0,69	2,82	1,91 ± 0,56	2,73	1,76 ± 0,63	2,62

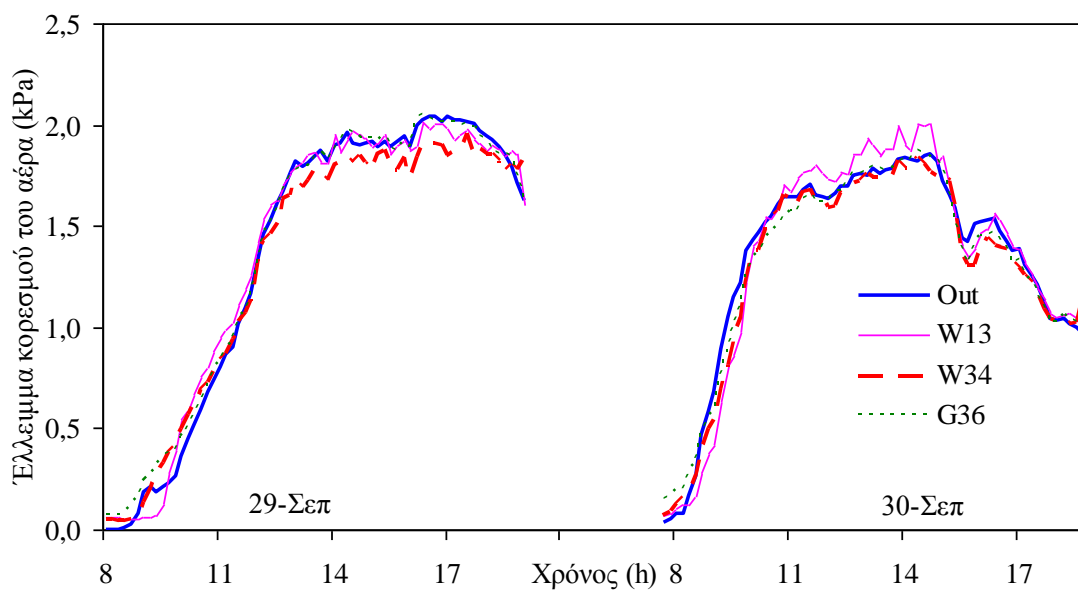
Πίνακας 15. Μέσες τιμές (Mean), τυπικές αποκλίσεις (Stdev) και μέγιστες τιμές (Max) του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στο μάρτυρα και κάτω από τα δίχτυα για τις επιλεγμένες ημέρες του Σεπτεμβρίου.

VPDa (kPa)								
Ημερομηνία	Μάρτυρας		W13		W34		G36	
	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max	Mean & Stdev	Max
29/9/2011	1,35 ± 0,73	2,04	1,37 ± 0,71	2,01	1,32 ± 0,67	1,95	1,38 ± 0,70	2,05
30/9/2011	1,34 ± 0,50	1,85	1,34 ± 0,56	2,00	1,30 ± 0,50	1,84	1,31 ± 0,48	1,87





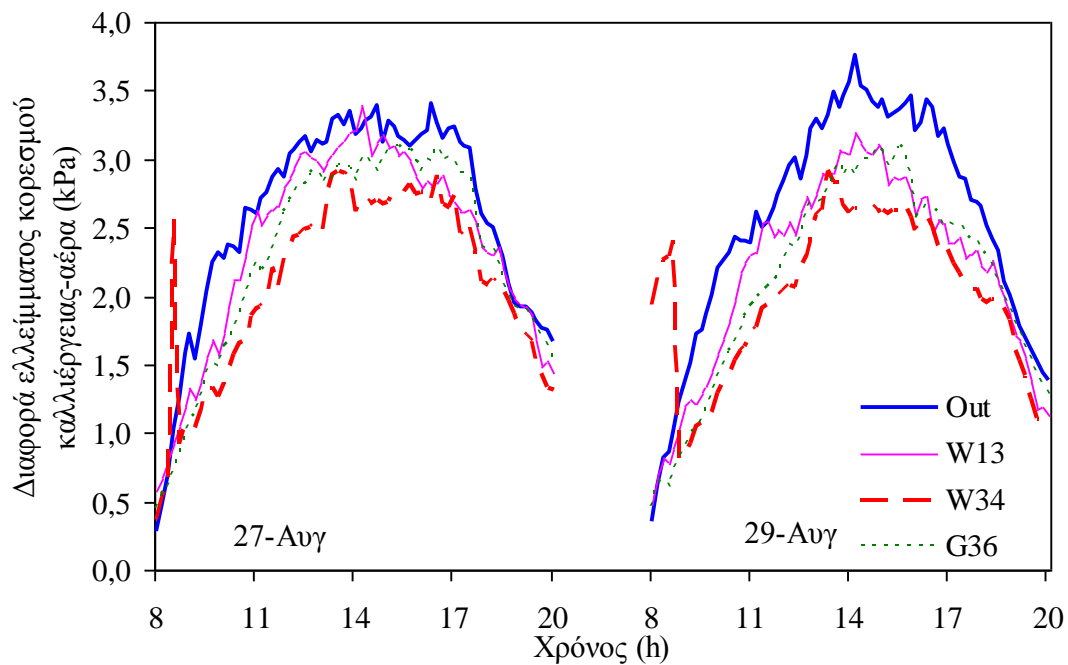
Σχήμα 16 Επίδραση των δικτυών σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα (kPa) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.



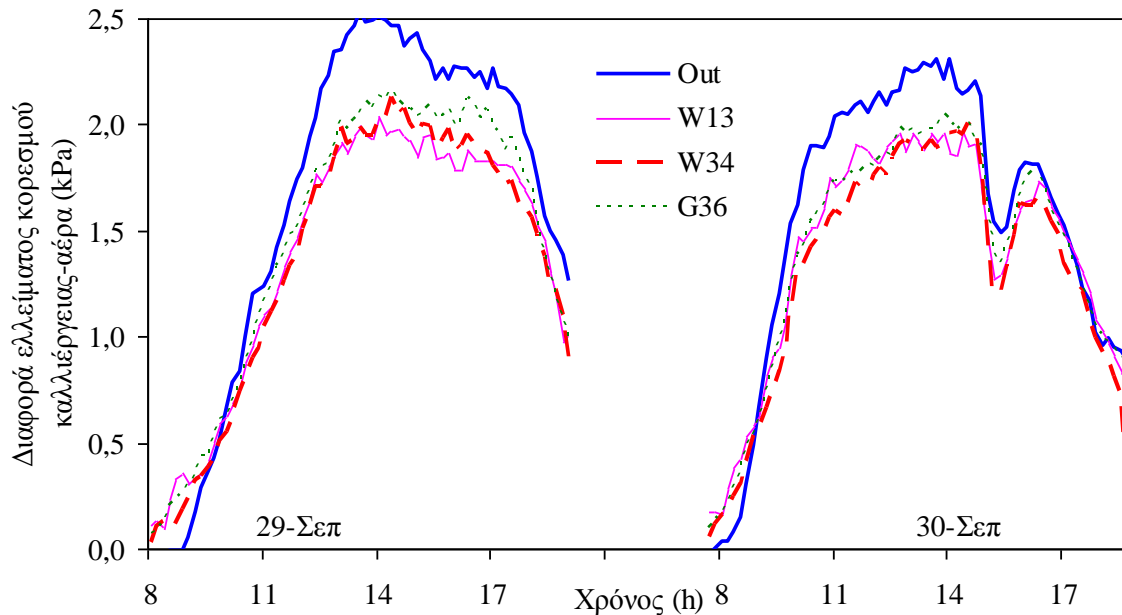
Σχήμα 17 Επίδραση των δικτυών σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα (kPa) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

#### 4.2.6. Έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα

Στα Σχήματα 18 & 19 παρουσιάζεται το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα για τις δύο επιλεγμένες ημέρες του Αυγούστου και του Σεπτεμβρίου αντίστοιχα. Όπως φαίνεται, και για τους δύο μήνες το VPDc στο μάρτυρα είναι μεγαλύτερο από ότι στα δίχτυοκήπια κατά 0,3 kPa περίπου. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα είναι μεγαλύτερη στο μάρτυρα από ότι στα δίχτυοκήπια.



Σχήμα 18. Επίδραση των δίχτυων σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα (kPa) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Αυγούστου.

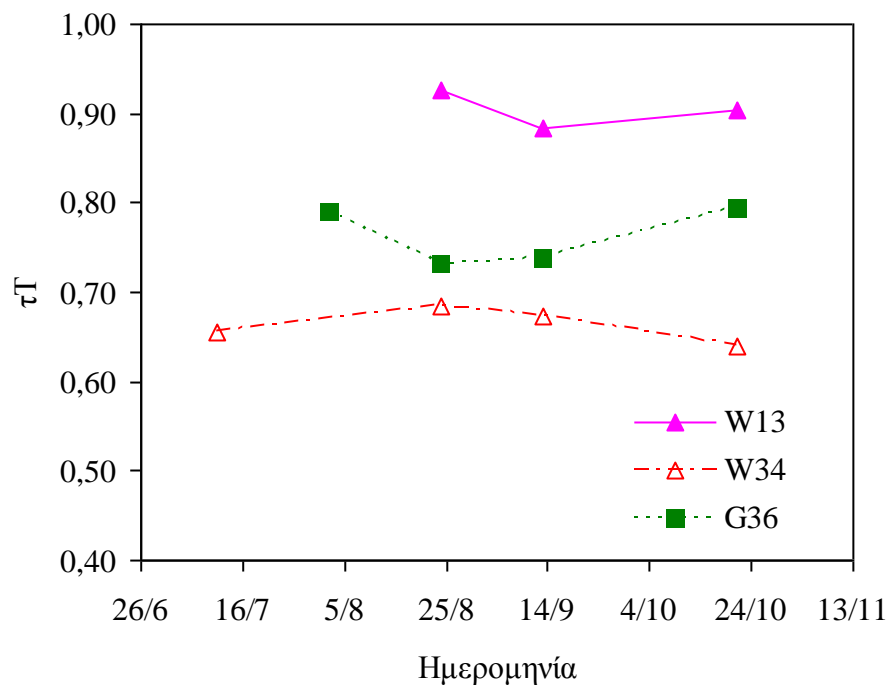


Σχήμα 19. Επίδραση των δικτυών σκίασης στο έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα (kPa) κατά τη διάρκεια των επιλεγμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

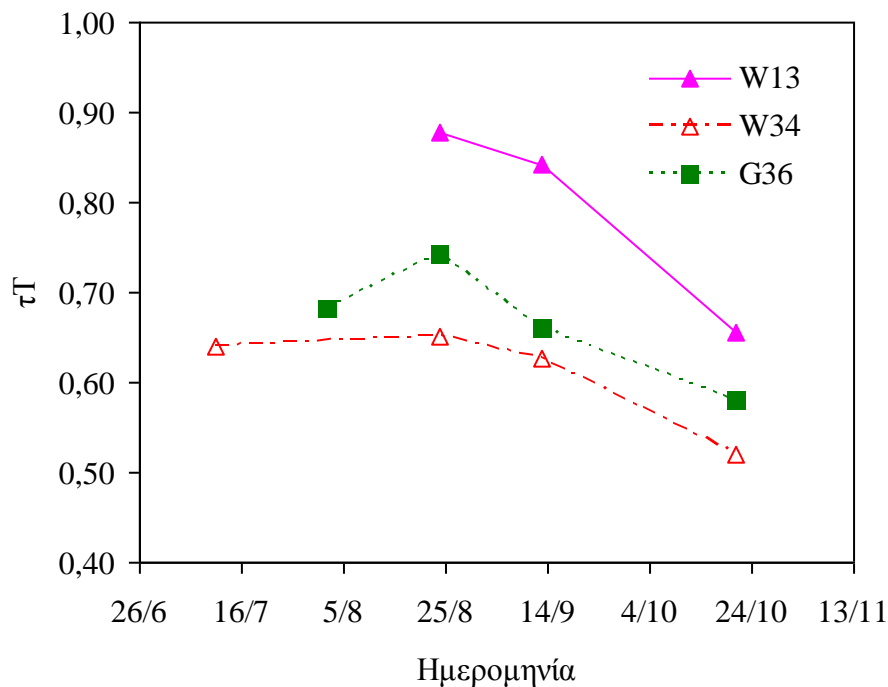
### 4.3. Οπτικές ιδιότητες των δικτυών

#### 4.3.1. Διαπερατότητα των δικτυών σε δύο ύψη

Τα Σχήματα 20 & 21 που ακολουθούν, αφορούν μετρήσεις της διαπερατότητας στη συνολική ηλιακή ακτινοβολία ( $\tau_T$ ) των δικτυών με δύο διαφορετικά όργανα μέτρησης, τα πυρανόμετρα και το φασματοφωτόμετρο αντίστοιχα. Με το φασματοφωτόμετρο (LI-1800, LI-COR) οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ύψος 0,80m από το έδαφος και με τα πυρανόμετρα (μοντέλο SP-LITE Silicon Pyranometer) οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ύψος 2,4m από το έδαφος. Οι μετρήσεις έγιναν για εύρος φάσματος από 350 έως 1100nm.



Σχήμα 20. Διαπερατότητα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $\tau_T$ ) των διχτυών κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπως αυτή μετρήθηκε από τα πυρανόμετρα.



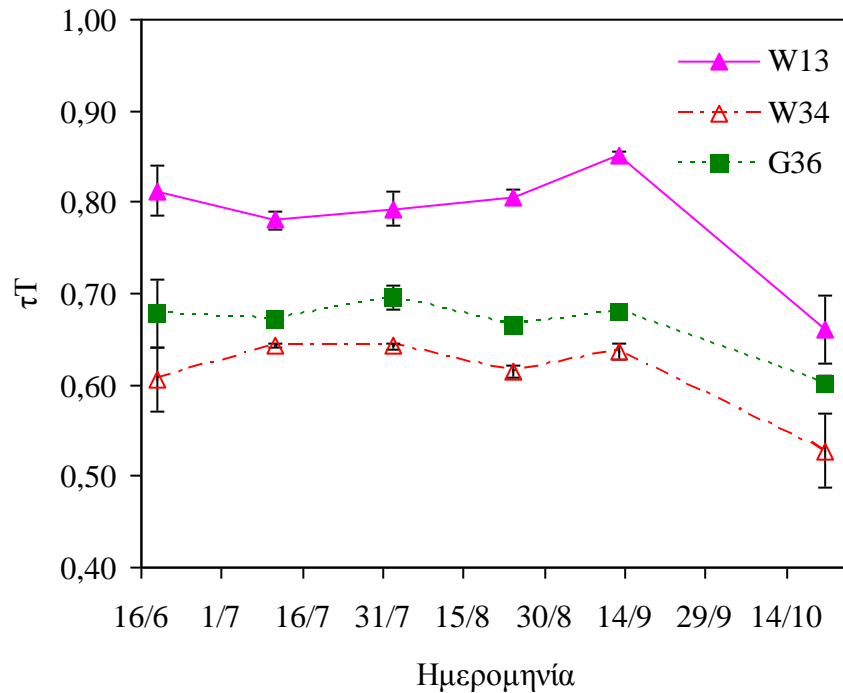
Σχήμα 21. Διαπερατότητα της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $\tau_T$ ) των διχτυών κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπως αυτή μετρήθηκε από το φασματοφωτόμετρο.

Όπως φαίνεται καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος και για τα τρία διχτυοκήπια, η διαπερατότητα που καταγράφηκε με τα πυρανόμετρα ήταν μεγαλύτερη από τη διαπερατότητα που υπολογίστηκε από τις μετρήσεις του φασματοραδιομέτρου. Η μέση τιμή της διαπερατότητας από τα πυρανόμετρα βρέθηκε 0,90, 0,66, και 0,76 για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα, ενώ η μέση τιμή της διαπερατότητας από το φασματοφωτόμετρο ήταν 0,79, 0,61, και 0,67 για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Οι διαφορές που παρατηρούνται στη διαπερατότητα, κατά τη διάρκεια του πειράματος, οφείλονται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις με τα δύο όργανα πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικό ύψος. Λόγω του ότι οι μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο λήφθηκαν σε ύψος 0,80m από το έδαφος, επηρεάζονταν από την ύπαρξη της καλλιέργειας, καθώς δεχόταν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία από τα πλάγια. Από τα παραπάνω Σχήματα (20 & 21), μπορούμε να διακρίνουμε ότι η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται και για τα τρία δίχτυα στην τελευταία μέτρηση. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο σύστημα ανάρτησης των φυτών καθώς την περίοδο αυτή είχαν ανάγκη από επιπλέον στήριξη, και έτσι τη μέτρηση με το φασματοφωτόμετρο επηρέασαν και το πλήθος των σχοινιών που χρησιμοποιήθηκαν για το δέσιμο των φυτών.

#### **4.3.2. Διαπερατότητα των διχτυών στο ύψος της καλλιέργειας**

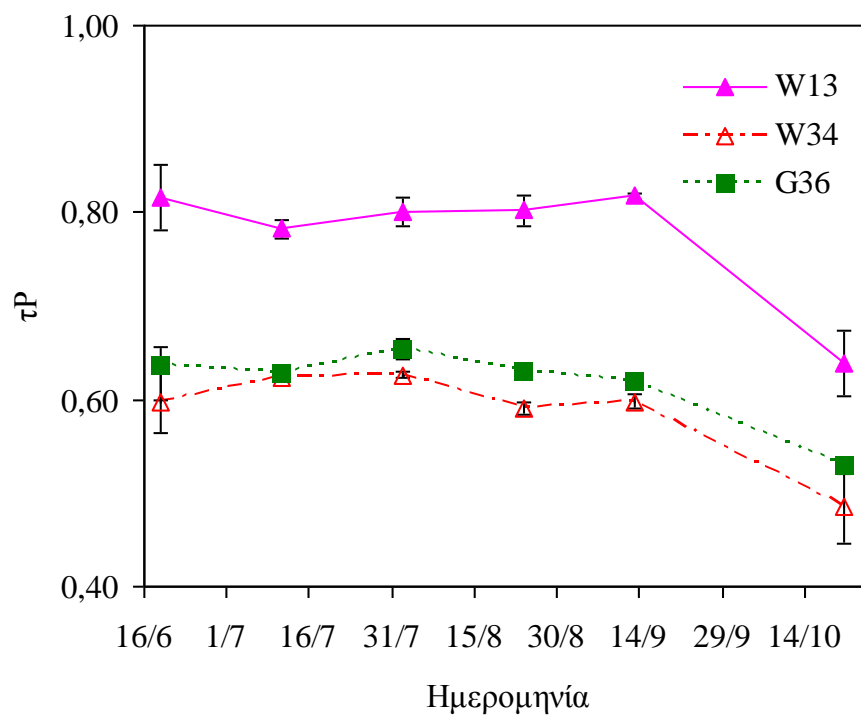
Στα Σχήματα 22, 23 & 24 παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τον καθορισμό της διαπερατότητας των διχτυών, σε συνθήκες πειραματικού αγρού, όπως υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις με το φασματοφωτόμετρο. Όπως φαίνεται τη μεγαλύτερη διαπερατότητα σε όλα τα εύρη φάσματος (TOTAL, PAR, & NIR) παρουσίασε το διχτυοκήπιο W13 ακολουθούμενο από το G36 ενώ τη μικρότερη διαπερατότητα είχε το W34.

Η μέση τιμή της διαπερατότητας στην TOTAL κάτω από τα δίχτυα, βρέθηκε  $78,41 \pm 0,02$ ,  $61,16 \pm 0,02$  και  $66,56 \pm 0,01$  για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Τα δίχτυα τροποποίησαν σημαντικά την τT καθώς στο W13 βρέθηκε μεγαλύτερη κατά 28% περίπου σε σχέση με το W34, ενώ συγκριτικά με αυτή του G36 βρέθηκε μεγαλύτερη κατά 17%. Η τT στο G36 ήταν μεγαλύτερη κατά 9% από τη διαπερατότητα στο W34.



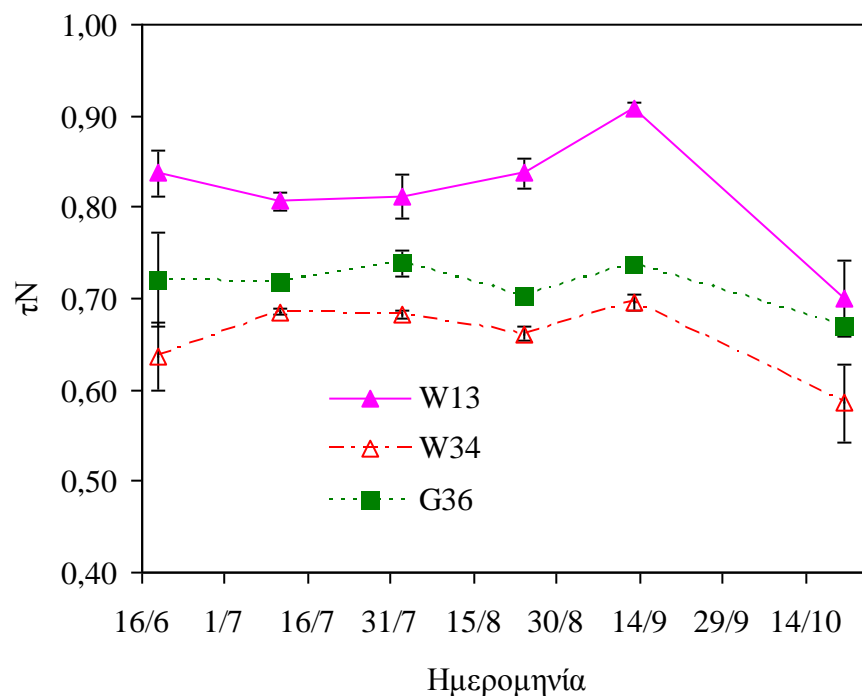
Σχήμα 22. Επίδραση των διχτυών στη διαπερατότητα για το εύρος φάσματος της Total καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Παρόμοια πορεία εμφάνισε και η διαπερατότητα στη PAR (400-700 nm),  $\tau_P$ , καθώς η μέση τιμή της εντός των διχτυοκηπίων, βρέθηκε  $77,63 \pm 0,02$ ,  $58,68 \pm 0,02$  και  $61,60 \pm 0,01$  για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Τα δίχτυα τροποποίησαν σημαντικά την  $\tau_P$ . Η  $\tau_P$ , στο διχτυοκήπιο W13 βρέθηκε μεγαλύτερη συγκριτικά με τα W34 και G36 κατά 32% και 25% περίπου, αντίστοιχα. Στο G36 η διαπερατότητα στη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία ήταν μεγαλύτερη κατά 5% συγκριτικά με αυτή στο διχτυοκήπιο W34.



Σχήμα 23. Επίδραση των δίχτων στη διαπερατότητα για το εύρος φάσματος της PAR καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Η μέση τιμή της διαπερατότητας στη NIR (700-1100 nm),  $\tau_N$ , κάτω από τα δίχτυα, βρέθηκε  $81,66 \pm 0,02$ ,  $65,77 \pm 0,02$  και  $71,39 \pm 0,02$  για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Τα δίχτυα τροποποίησαν σημαντικά την  $\tau_N$ , η οποία βρέθηκε μεγαλύτερη στο W13 συγκριτικά με τα W34 και G36 κατά 24% και 14% περίπου, αντίστοιχα. Στο G36 η διαπερατότητα στη κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία βρέθηκε μεγαλύτερη κατά 9% περίπου συγκριτικά με αυτή στο W34.



Σχήμα 24. Επίδραση των διχτυών στη διαπερατότητα για το εύρος φάσματος της NIR καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

### 4.3.3. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας

Στη συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούν τις ποιοτικές παραμέτρους του φωτός που διέρχεται από τα δίχτυα. Τα % ποσοστά που δίνονται στη συνέχεια είναι η σχετική μεταβολή της μέτρησης στο εσωτερικό (δείκτης: i) των διχτυοκηπίων και εξωτερικά (δείκτης: o) αυτών.

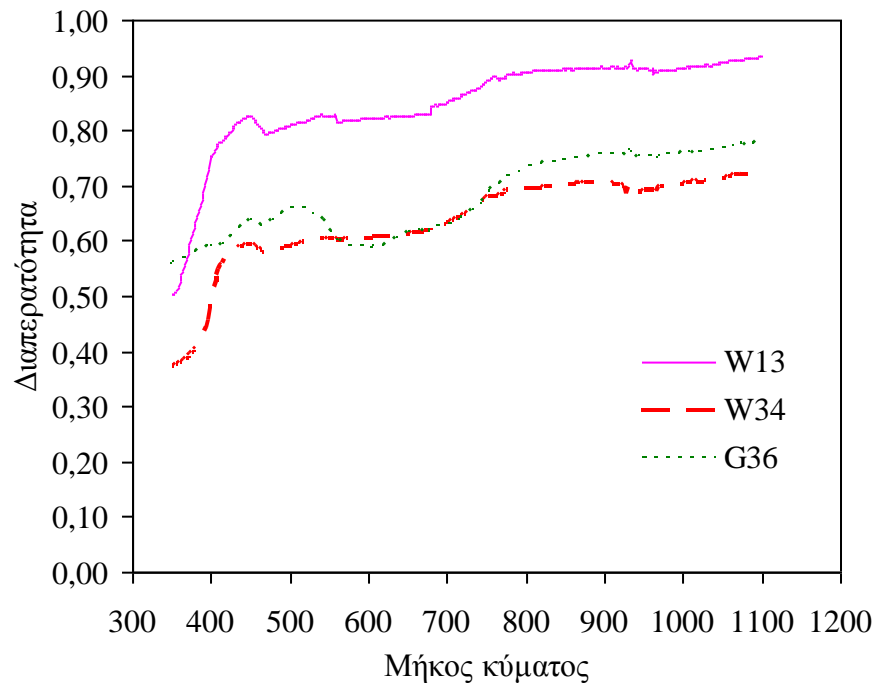
$$\frac{i - o}{o} \%$$

#### 4.3.3.1. Παράμετροι σχετιζόμενοι με το φυτόχρωμα

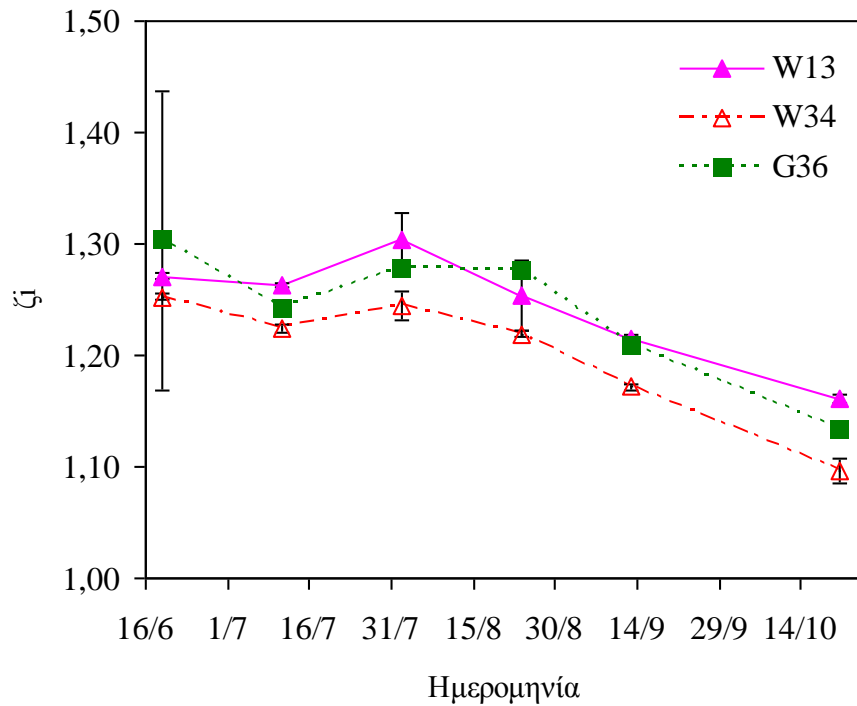
Η μέση τιμή του φυτοχρώματος (ζι, λόγος R : FR) εντός των διχτυοκηπίων, βρέθηκε  $1,24 \pm 0,01$ ,  $1,20 \pm 0,01$  και  $1,24 \pm 0,03$  για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε φάνηκε ότι τα δίχτυα



μείωσαν στατιστικώς σημαντικά το λόγο ζ. Ο λόγος αυτός μειώθηκε σε σχέση με τον ανοιχτό αγρό κατά 2,14, 4,40 και 2,70% για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Το διχτυοκήπιο W34 είχε το μικρότερο λόγο ζ ενώ τα διχτυοκήπια W13 και G36 είχαν παρόμοιο λόγο ζ. Η μικρή μείωση του λόγου R : FR στο διχτυοκήπιο W34 συγκριτικά με τα υπόλοιπα οφείλεται στις κατασκευαστικές του ιδιότητες (Σχήμα 25).



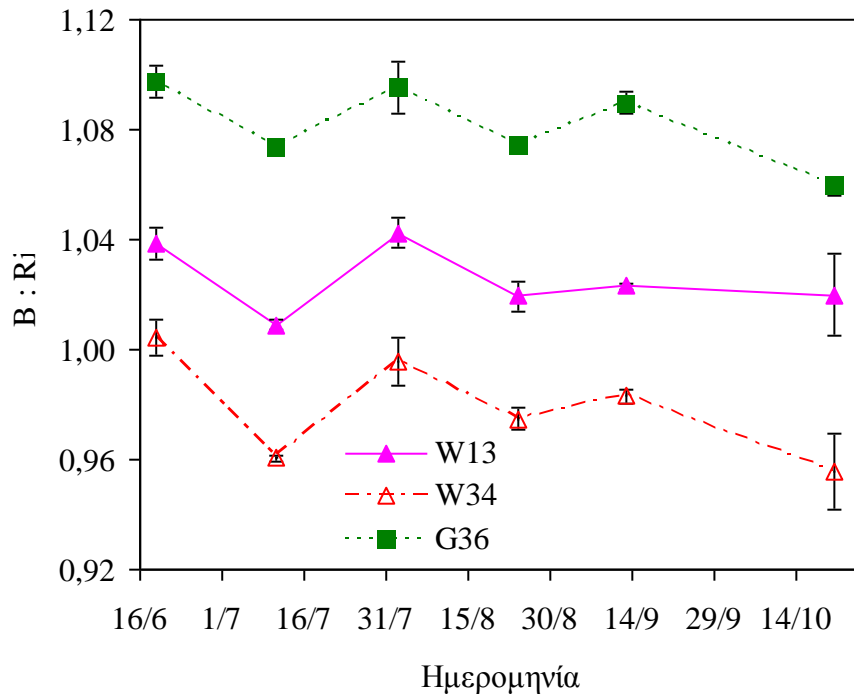
Σχήμα 25. Μέση τιμή της διαπερατότητας των διχτυών σε εύρος φάσματος 350-1100nm σε μία τυχαία μέτρηση (13 Σεπτεμβρίου).



Σχήμα 26. Επίδραση των δίχτυών στο φυτόχρωμα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο εσωτερικό των δίχτυοκηπίων.

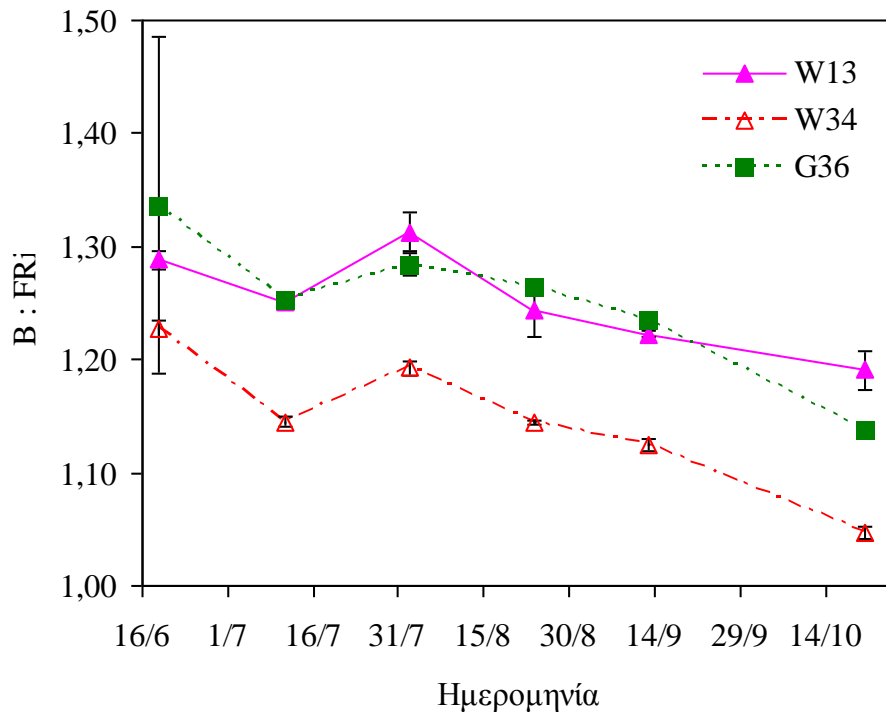
#### 4.3.3.2. Παράμετροι σχετιζόμενοι με το κρυπτόχρωμα

Στο Σχήμα 27 παρουσιάζεται η πορεία του λόγου  $B : R_i$ . Η μέση τιμή του λόγου για τα δίχτυοκήπια W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $1,03 \pm 0,006$ ,  $0,98 \pm 0,006$  και  $1,08 \pm 0,004$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε φάνηκε ότι τα δίχτυα τροποποίησαν σημαντικά τον παραπάνω λόγο. Πιο συγκεκριμένα τα δίχτυοκήπια W13 και W34 μείωσαν τον λόγο  $B : R_i$  συγκριτικά με το μάρτυρα ενώ το G36 αύξησε αυτό το λόγο. Τα δίχτυοκήπια W13 και W34 μείωσαν το λόγο  $B : R_i$  κατά 3,20 και 6,35% αντίστοιχα, ενώ το G36, αύξησε το λόγο κατά 2,57%. Η μείωση του λόγου  $B : R_i$  στα δίχτυοκήπια W13 και W34 υποδεικνύει ότι εισερχόταν σε αυτά λιγότερη μπλε απ' ότι κόκκινη ακτινοβολία, ενώ η αύξηση του λόγου στο δίχτυοκήπιο G36, σημαίνει ότι λιγότερη κόκκινη απ' ότι μπλε ακτινοβολία εισερχόταν σε αυτό (Σχήμα 25), το οποίο είναι λογικό καθώς λόγο του χρώματός του απορροφά τα μήκη κύματος του πορτοκαλί και του κόκκινου.



Σχήμα 27. Εξέλιξη του λόγου B :Ri κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

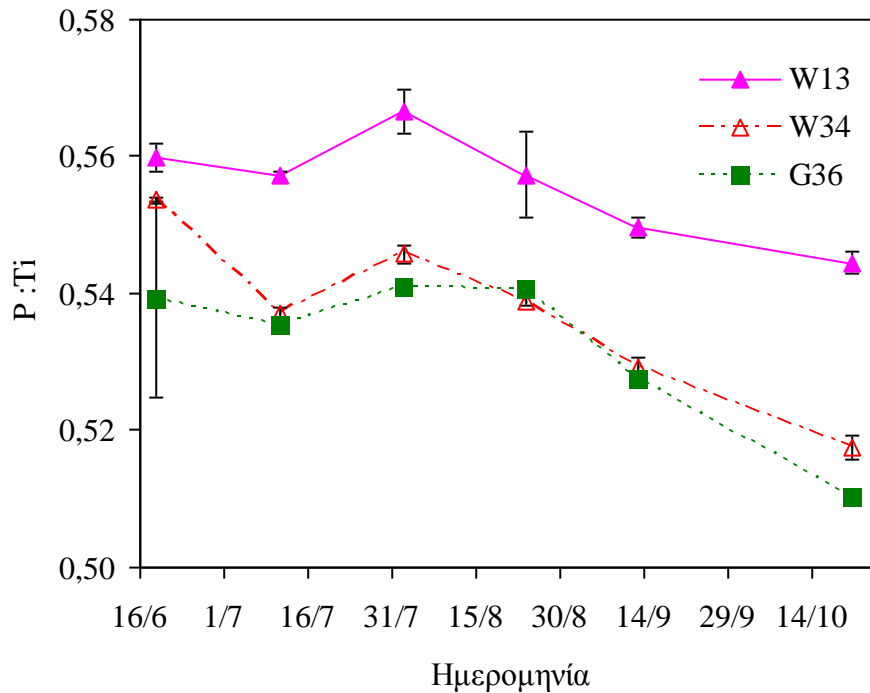
Στο Σχήμα 28 παρουσιάζεται η πορεία του λόγου B : FRi. Η μέση τιμή αυτού του λόγου βρέθηκε ίση με  $1,25 \pm 0,01$ ,  $1,15 \pm 0,01$  και  $1,25 \pm 0,03$  για τα δίχτυοκίπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Όλα τα δίχτυα που χρησιμοποιήθηκαν μείωσαν στατιστικώς σημαντικά το λόγο B : FRi. Στα δίχτυοκίπια W13 και G36 ο παραπάνω λόγος, συγκριτικά με την ασκίαστη καλλιέργεια, μειώθηκε κατά 5,84 και 5,29% αντίστοιχα, ενώ στο W34 παρατηρήθηκε μείωση του λόγου κατά 11,51%. Τα W13 και G36 είχαν στατιστικώς παρόμοιες τιμές του λόγου B : FRi, ενώ το W34 μείωσε περισσότερο αυτό το λόγο, λόγω των ιδιοτήτων του.



Σχήμα 28. Εξέλιξη του λόγου B :FRi κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

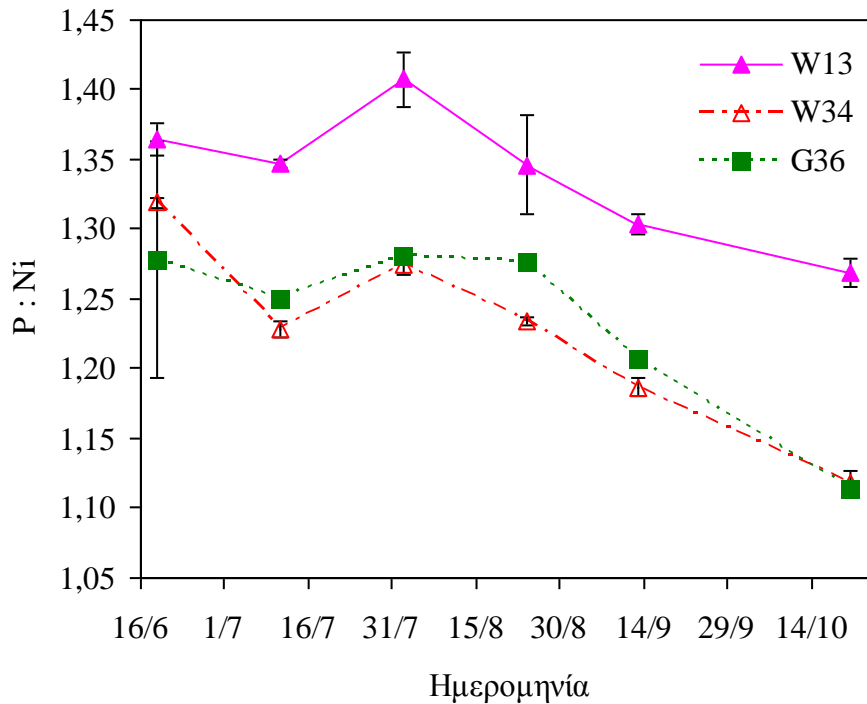
#### 4.3.3.3 Παράμετροι σχετιζόμενοι με τη φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία

Στο Σχήμα 29 παρουσιάζεται η πορεία του λόγου P : Ti. Η μέση τιμή του λόγου P : Ti για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $0,56 \pm 0,002$ ,  $0,54 \pm 0,001$  και  $0,53 \pm 0,003$  αντίστοιχα. Ο λόγος αυτός βρέθηκε σημαντικά μειωμένος στα διχτυοκήπια συγκριτικά με το μάρτυρα. Μεγαλύτερη μείωση του λόγου προκάλεσε το G36 ενώ μικρότερη το W13. Τα διχτυοκήπια W13 και W34 μείωσαν το λόγο κατά 0,91% και 3,24% αντίστοιχα. Όσον αφορά το G36 μείωσε τον παραπάνω λόγο κατά 5,11%.



Σχήμα 29. Εξέλιξη του λόγου P : Ti κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

Στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται η πορεία του λόγου P : Ni. Η μέση τιμή του λόγου P : Ni για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $1,34 \pm 0,015$ ,  $1,23 \pm 0,006$  και  $1,23 \pm 0,016$  αντίστοιχα. Όσο αυξημένος είναι αυτός ο λόγος τόσο το καλύτερο για την καλλιέργεια, καθώς σημαίνει ότι δέχεται περισσότερη χρήσιμη ακτινοβολία. Στα διχτυοκήπια ο λόγος αυτός βρέθηκε σημαντικά μειωμένος συγκριτικά με το μάρτυρα. Τα W34 και G36 είχαν στατιστικά παρόμοιες τιμές του λόγου αυτού, που βρέθηκε μειωμένος κατά 10,42% και 12,32% αντίστοιχα. Το W13 μείωσε το λόγο κατά 4,81% σε σύγκριση με το μάρτυρα.



Σχήμα 30. Εξέλιξη του λόγου P : Ni κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

#### 4.4. Κατανομή του μικροκλίματος στο χώρο των διχτυοκηπίων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την κατανομή της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του αέρα και των χαρακτηριστικών του αέρα στα διχτυοκήπια. Για να απαλειφθεί η επίδραση των διαφορετικών τιμών της θερμοκρασίας αλλά και της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στην κατανομή των τιμών στο εσωτερικό των διχτυοκηπίων, γίνεται υπολογισμός και παρουσίαση των κανονικοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του αέρα, της τύρβης και της έντασης της τύρβης του αέρα. Επιπλέον παρουσιάζεται η ετερογένεια των δεδομένων. Η ετερογένεια υπολογίζεται από το λόγο της τυπικής απόκλισης των σημείων προς το μέσο όρο αυτών. Όσο μικρότερος είναι αυτός ο λόγος τόσο πιο ομοιογενές είναι το περιβάλλον. Λόγω τεχνικών προβλημάτων, παρουσιάζονται μόνο οι μετρήσεις στα διχτυοκήπια W13 και W34.

Στον Πίνακα 16 φαίνονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των κλιματικών δεδομένων κατά την περίοδο των μετρήσεων στο εσωτερικό του κάθε διχτυοκηπίου, ενώ

στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των εξωτερικών δεδομένων, που επικρατούσαν κατά την περίοδο των μετρήσεων στα διχτυοκήπια.

Πίνακας 16. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) των κλιματικών δεδομένων κατά την περίοδο των μετρήσεων στα διχτυοκήπια.

Διχτυοκήπιο	Υγρασία (%)	Θερμοκρασία (°C)	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )
W13	40,9 $\pm$ 4,6	34,1 $\pm$ 2,1	510,2
W34	39,7 $\pm$ 1,5	35,2 $\pm$ 1,0	519,4

Πίνακας 17. Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις ( $\pm$ ) των εξωτερικών κλιματικών δεδομένων κατά την περίοδο των μετρήσεων στα διάφορα διχτυοκήπια.

Διχτυοκήπιο	Υγρασία (%)	Θερμοκρασία (°C)	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	Ταχύτητα αέρα (m/s)	Διεύθυνση αέρα (°)
W13	39,8 $\pm$ 5,0	30,7 $\pm$ 1,6	618,9	3,6 $\pm$ 1,0	14,0
W34	37,1 $\pm$ 2,4	32,1 $\pm$ 0,9	781,7	3,9 $\pm$ 0,8	3,2

Από τους Πίνακες φαίνεται ότι η μέση τιμή της διαπερατότητας ήταν 0,82 και 0,66 για τα διχτυοκήπια W13 και W34 αντίστοιχα κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η θερμοκρασία στο χώρο των διχτυοκηπίων συγκριτικά με αυτή του ανοιχτού αγρού ήταν μεγαλύτερη κατά 3,4 °C και 3,1 °C.

#### 4.4.1. Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα

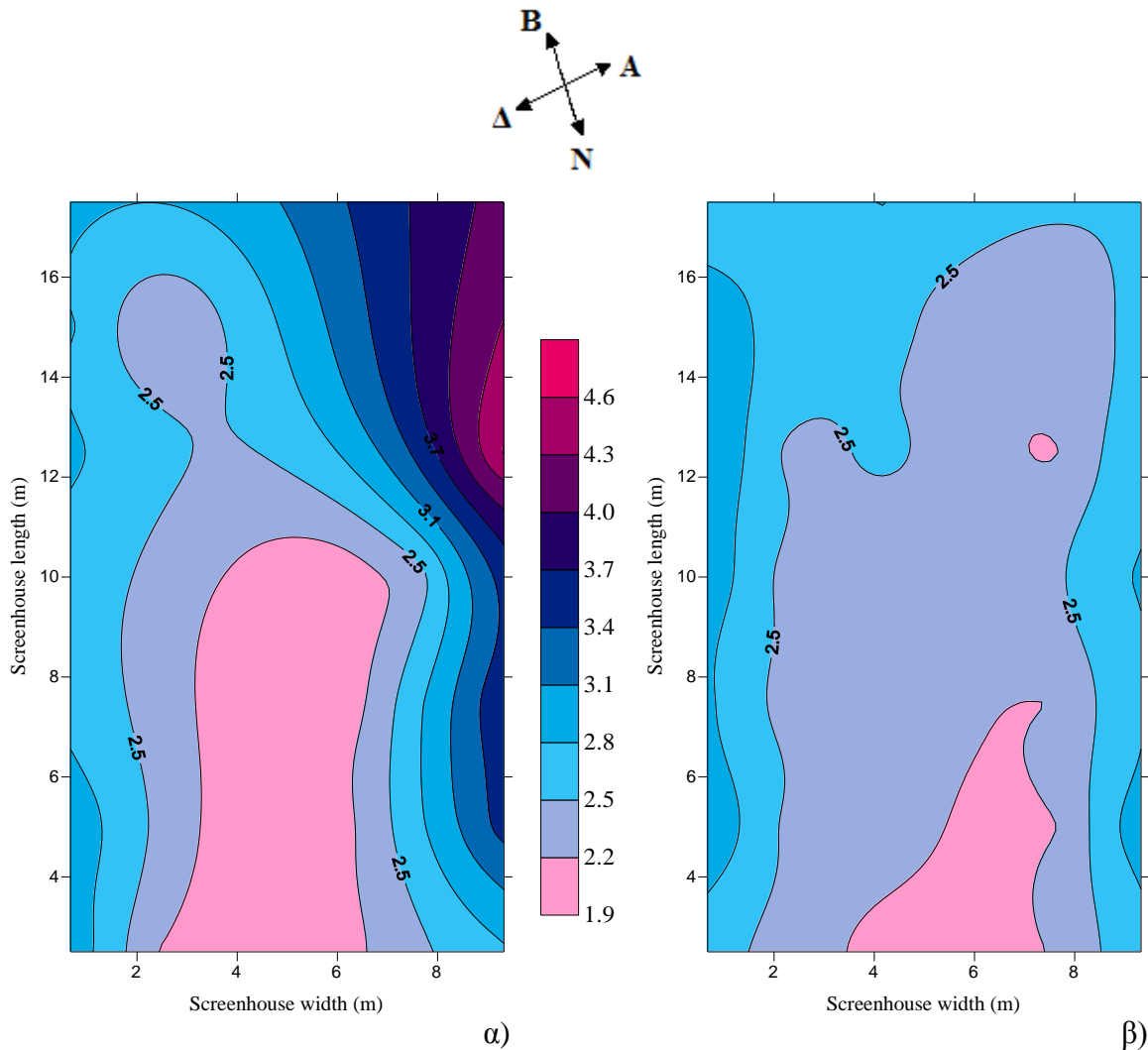
Στη συνέχεια παρουσιάζεται η κατανομή της κανονικοποιημένης μέσης θερμοκρασίας (T<sub>καν</sub>, °C) στο εσωτερικό των δύο διχτυοκηπίων. Όταν η απόλυτη τιμή της T<sub>καν</sub> είναι μικρότερη της μονάδας σημαίνει ότι η T<sub>σ</sub> (θερμοκρασία στο σημείο μέτρησης) είναι μικρότερη από την T<sub>i</sub> (θερμοκρασία στο κέντρο του διχτυοκηπίου). Εάν η απόλυτη τιμή της T<sub>καν</sub> είναι μεγαλύτερη της μονάδας τότε η T<sub>σ</sub> είναι μεγαλύτερη από την T<sub>i</sub>. Όσον αφορά τα αποτελέσματά μας και στα δύο διχτυοκήπια η T<sub>σ</sub> βρέθηκε μεγαλύτερη από την T<sub>i</sub>. Η μέση τιμή της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας βρέθηκε 2,75 °C και 2,55 °C για τα διχτυοκήπια W13 και W34 αντίστοιχα. Άλλη μια περίπτωση θα ήταν να είναι η T<sub>καν</sub> αρνητική με επακόλουθο η T<sub>σ</sub> να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (T<sub>ο</sub>) αλλά αυτό δεν παρατηρήθηκε ποτέ στα δικά μας δεδομένα.

Στο Σχήμα 31. παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό των δύο διχτυοκηπίων. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στα διχτυοκήπια η διεύθυνση του εξωτερικού ανέμου ήταν σχεδόν παράλληλη προς τα διχτυοκήπια, συνεπώς ο αέρας εισερχόταν από τη Βόρεια πλευρά των διχτυοκηπίων W13 και W34. Φαίνεται ότι η θερμοκρασία επηρεάζεται στη Βόρεια πλευρά των διχτυοκηπίων ενώ από το κέντρο και μετά φαίνεται να ομαλοποιείται, ιδιαίτερα στο W13. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι υψηλότερες και οι χαμηλότερες τιμές της κανονικοποιημένης θερμοκρασίας παρατηρούνται στα σημεία εκείνα που η τιμές της κανονικοποιημένης ταχύτητας του αέρα είναι χαμηλότερες και υψηλότερες αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται και στη συνέχεια (Σχήμα 32) η κατανομή της ταχύτητας του αέρα στα διχτυοκήπια ήταν σχεδόν ομοιόμορφη.

Μεταξύ των δύο διχτυοκηπίων μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας παρατηρούνται στο W13. Η μέση τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο δίχτυ W13 ήταν  $30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ενώ η σχετική υγρασία ήταν  $39,8\%$  και η ηλιακή ακτινοβολία  $618,9\text{ W/m}^2$ . Η μέση εξωτερική ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου την ίδια χρονική στιγμή ήταν  $3,6\text{ m/s}$  και  $14^{\circ}$  αντίστοιχα (Πίνακας 17). Στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου η θερμοκρασία ήταν  $34,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , η σχετική υγρασία  $40,9\%$  και η ηλιακή ακτινοβολία  $510,2\text{ W/m}^2$  (Πίνακας 16). Αντίστοιχα η μέση εξωτερική τιμή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο W34 ήταν  $32,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , η σχετική υγρασία ήταν  $37,1\%$  και η ηλιακή ακτινοβολία  $781,7\text{ W/m}^2$ . Η μέση εξωτερική ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου ήταν  $3,9\text{ m/s}$  και  $3,2^{\circ}$  αντίστοιχα (Πίνακας 17). Στο εσωτερικό του διχτυοκηπίου η θερμοκρασία ήταν  $35,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , η σχετική υγρασία  $39,7\%$  και η ηλιακή ακτινοβολία  $519,4\text{ W/m}^2$  (Πίνακας 16). Για το διχτυοκήπιο W13 η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι  $3,4^{\circ}\text{C}$ . Συνεπώς για κάθε  $100\text{ W/m}^2$  που εισέρχονται στο διχτυοκήπιο η θερμοκρασία είναι  $3,4^{\circ}\text{C}$ . Διαιρώντας με την εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία προκύπτει το πόσο αυξάνεται η θερμοκρασία ανά  $100\text{ W}$  εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο διχτυοκήπιο. Για κάθε  $100\text{ W/m}^2$  που εισέρχονται στο W13, η θερμοκρασία αυξάνεται κατά  $0,55^{\circ}\text{C}$ . Αντίστοιχα στο W34 η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι  $3,1^{\circ}\text{C}$  και συνεπώς για κάθε  $100\text{ W/m}^2$  που εισέρχονται στο διχτυοκήπιο η θερμοκρασία αυξάνεται κατά  $0,40^{\circ}\text{C}$ . Όπως φάνηκε και από την ανάλυση των κλιματικών δεδομένων το W13, δεχόταν υψηλότερη



ηλιακή ακτινοβολία από το W34. Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία στο διχτυοκήπιο W13 είναι αυξημένη σε σχέση με το διχτυοκήπιο W34 λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ετερογένεια του διχτυοκηπίου W34 βρέθηκε ίση με 0,11 ενώ του W13 με 0,27. Συνεπώς η κατανομή της θερμοκρασίας είναι περισσότερο ομοιογενής στο διχτυοκήπιο W34.

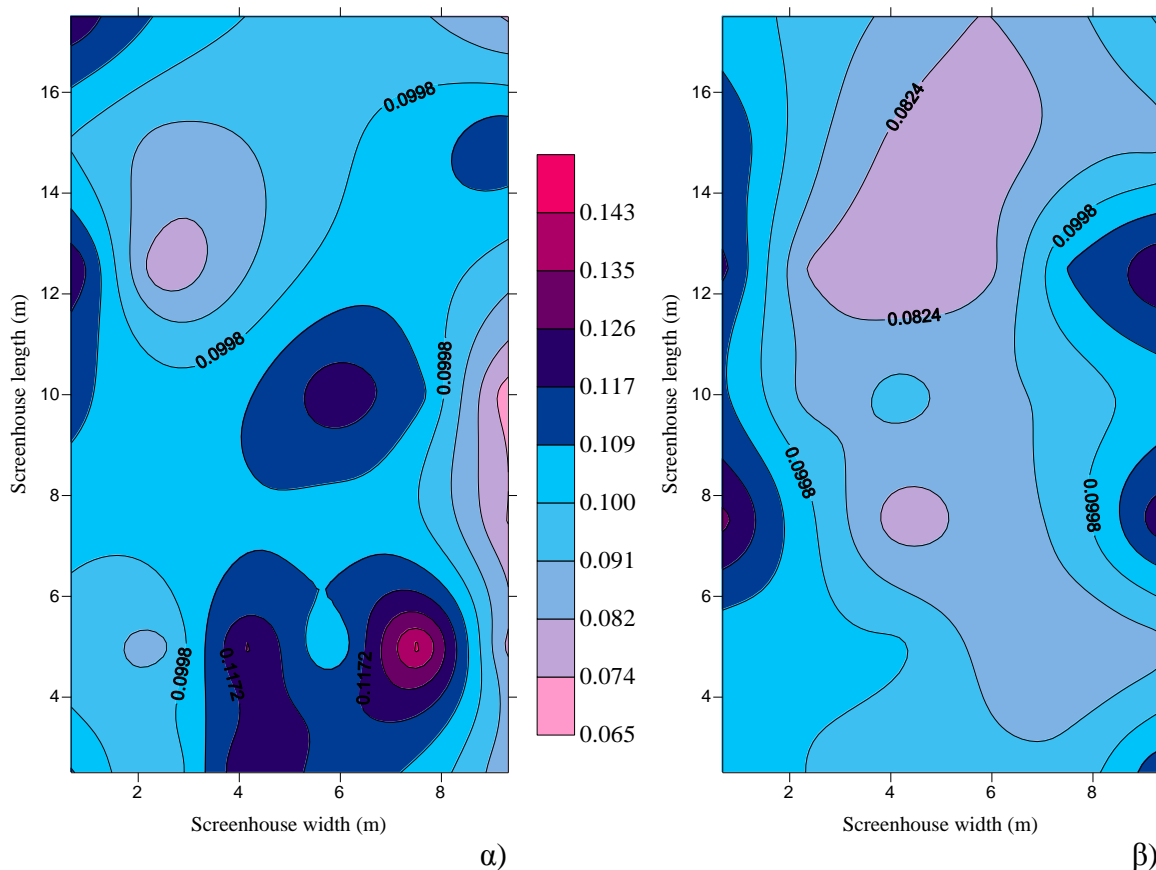


Σχήμα 31. Κατανομή της κανονικοποιημένης μέσης θερμοκρασίας στα διχτυοκήπια α)W13 και β) W34.

#### 4.4.2. Κατανομή της ταχύτητας του αέρα

Στο Σχήμα 32. παρουσιάζεται η κατανομή της κανονικοποιημένης μέσης ταχύτητας του αέρα (Uίκαν, m/s) στο χώρο των διχτυοκηπίων. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές της

Υϊκαν, τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των διχτυών στη μείωση της ταχύτητας του αέρα. Η μέση τιμή της κανονικοποιημένης ταχύτητας αέρα βρέθηκε 0,10 m/s και για τα δύο διχτυοκήπια και συνεπώς είχαν ίδιο ρυθμό ανανέωσης του αέρα. Φαίνεται ότι οι τιμές Υϊκαν είναι παρόμοιες σε όλο το διχτυοκήπιο και στις δύο περιπτώσεις. Η κατανομή της ταχύτητας είναι παρόμοια στα δύο διχτυοκήπια καθώς η ετερογένεια στο διχτυοκήπιο W13 βρέθηκε ίση με 0,20 ενώ στο διχτυοκήπιο W34 βρέθηκε ίση με 0,15. Η παροχή αερισμού στα δύο διχτυοκήπια ήταν 3 m<sup>3</sup>/s.

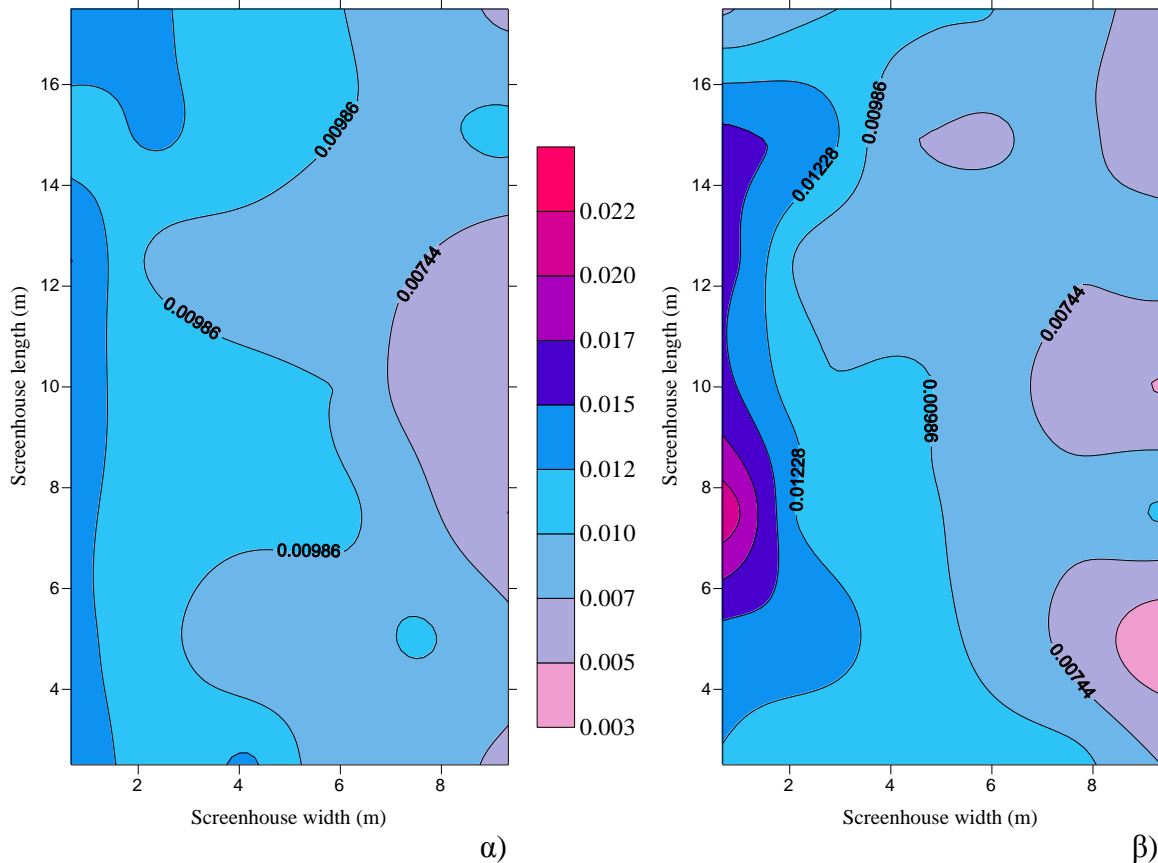


Σχήμα 32. Κατανομή της κανονικοποιημένης μέσης ταχύτητας του αέρα στα διχτυοκήπια α)W13 και β) W34.

#### 4.4.3. Κατανομή της τύρβης του αέρα

Στο Σχήμα 33. παρουσιάζεται η κατανομή της κανονικοποιημένης τύρβης (Υτκαν, αδιάστατη) του αέρα στα δύο διχτυοκήπια. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές της Υτκαν τόσο μικρότερη είναι η επίδραση του διχτυοκηπιού στη μείωση της τύρβης. Η μέση τιμή

της κανονικοποιημένης τύρβης του αέρα βρέθηκε παρόμοια στα δύο διχτυοκήπια με τιμές 0,0097 και 0,0099 για τα W13 και W34 αντίστοιχα. Παρόμοια ήταν και η κατανομή της τύρβης, καθώς η ετερογένεια βρέθηκε 0,30 και 0,38 στα διχτυοκήπια W13 και W34 αντίστοιχα.

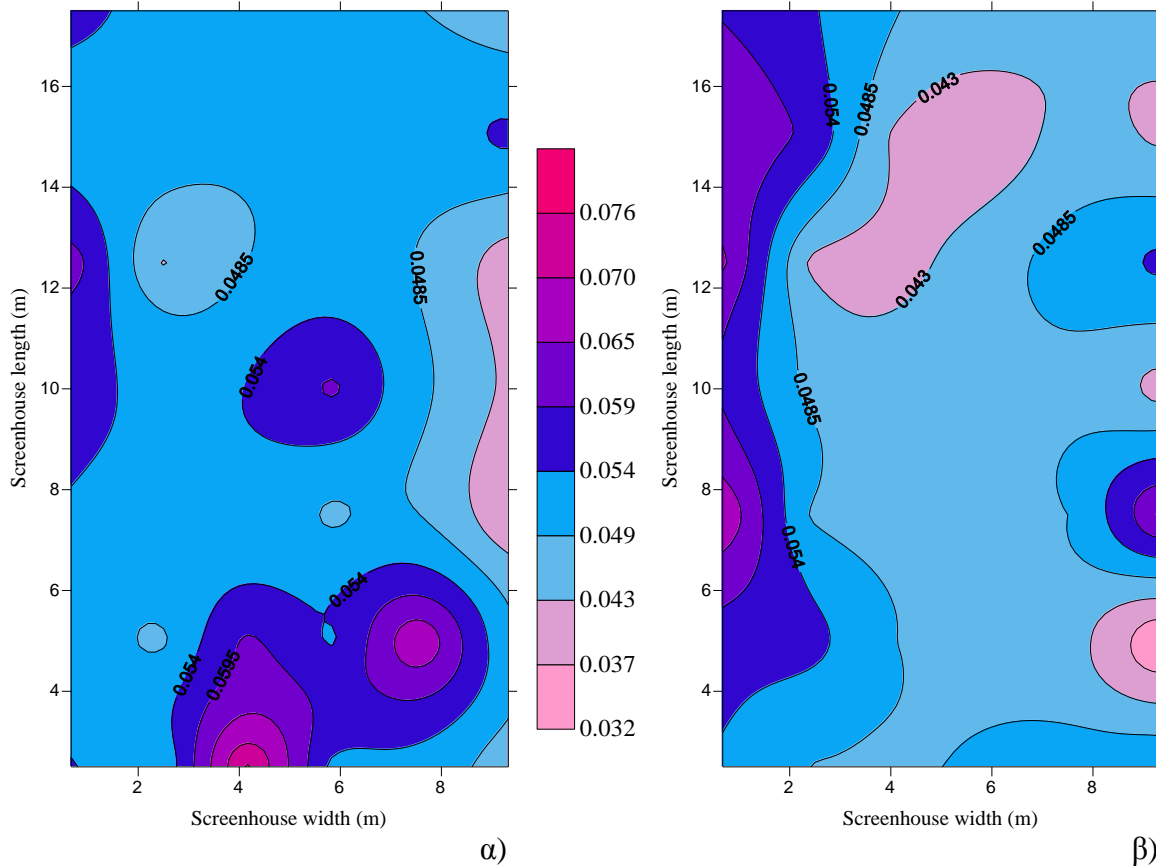


Σχήμα 33. Κατανομή της κανονικοποιημένης τύρβης του αέρα στα διχτυοκήπια α) W13 και β) W34.

#### 4.4.4. Κατανομή της έντασης της τύρβης του αέρα

Στο Σχήμα 34. παρουσιάζεται η κατανομή της κανονικοποιημένης έντασης της τύρβης (Uintκαν, αδιάστατη) στο εσωτερικό των δύο διχτυοκηπίων. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του παραπάνω λόγου τόσο μικρότερη είναι η επίδραση των διχτυών στη μείωση της έντασης της τύρβης. Η μέση τιμή της κανονικοποιημένης έντασης της τύρβης βρέθηκε 0,052 και 0,050 για τα W13 και W34 αντίστοιχα. Η κατανομή της έντασης της

τύρβης είναι όμοια στα δύο διχτυοκήπια, καθώς η ετερογένεια βρέθηκε ίση με 0,18 και 0,17 στα W13 και W34 αντίστοιχα.



Σχήμα 34. Κατανομή της κανονικοποιημένης έντασης της τύρβης του αέρα στα διχτυοκήπια α) W13 και β) W34.

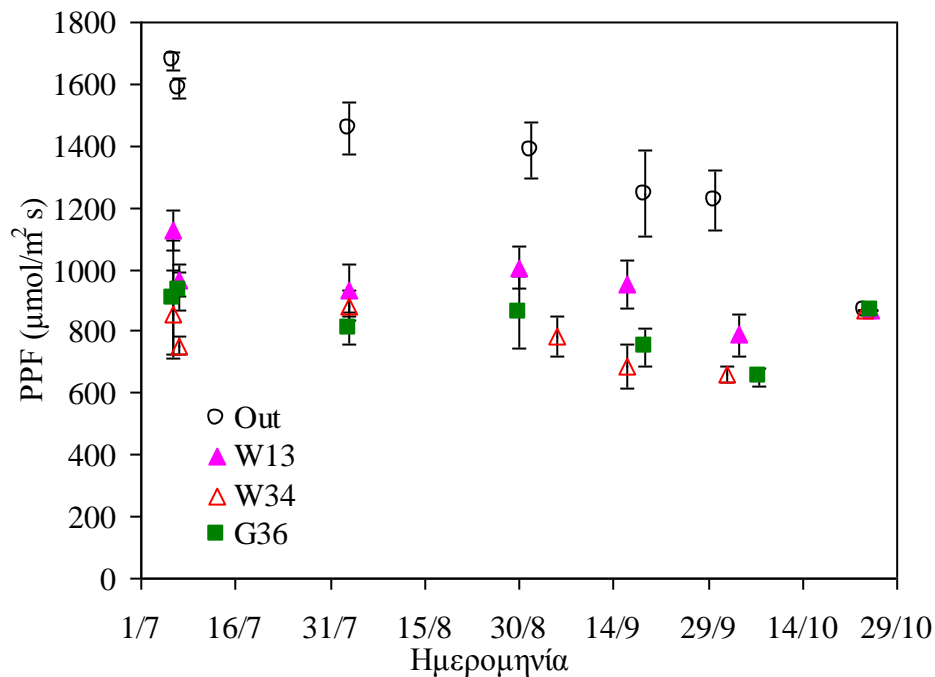
## 4.5. Φωτοσύνθεση

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν παραμέτρους της φωτοσύνθεσης των φυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η τελευταία μέτρηση όλων των επιπέδων αλλά και όλων των παραμέτρων που μελετούνται, πραγματοποιήθηκε λόγω συννεφιάς σε συνθήκες τεχνητού φωτισμού  $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ .

### 4.5.1. Πυκνότητα ροής φωτονίων

Ο λόγος της πυκνότητας ροής φωτοσυνθετικών φωτονίων (PPFD) εντός των διχτυοκηπίων προς την εξωτερική PPFD, στα φύλλα που βρίσκονταν στο ανώτερο μέρος

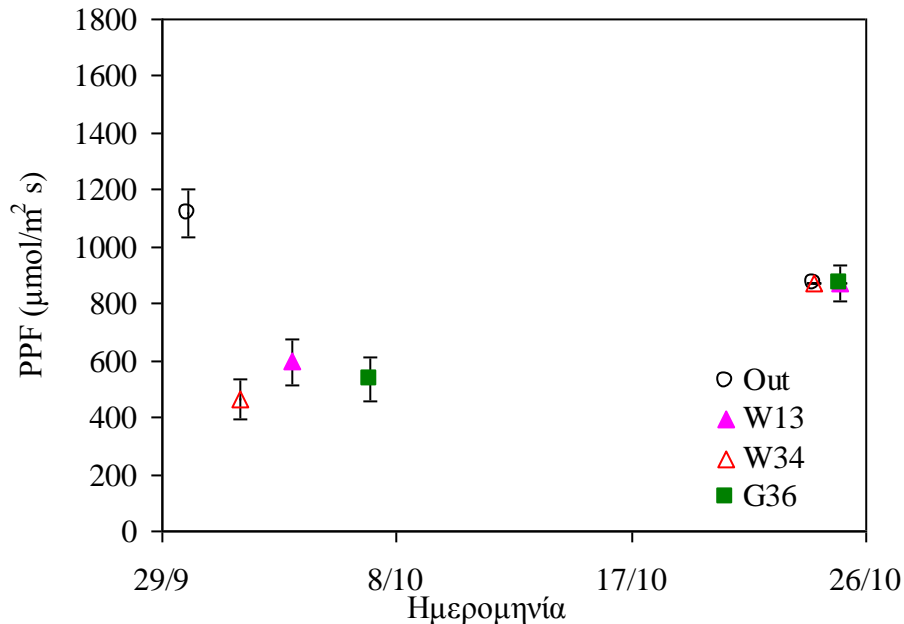
του φυλλώματος, βρέθηκε  $0,62 \pm 0,04$ ,  $0,51 \pm 0,06$  και  $0,54 \pm 0,02$  για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Τα νεαρά φύλλα δέχονταν κάτω από τα δίχτυα μέση PPFD  $750-1100 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ , ανάλογα με την περίοδο, ενώ τα αντίστοιχα φύλλα στο μάρτυρα λάμβαναν  $1200-1650 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  (Σχήμα 35). Η μέση τιμή της πυκνότητας ροής φωτονίων των φύλλων στο ανώτερο επίπεδο βρέθηκε για το μάρτυρα  $1348,7 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  και για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36, ήταν  $948,8$ ,  $784,3$  και  $826,0 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι υπήρχε σημαντική διαφορά στη PPFD που δέχονταν τα φυτά μεταξύ των μεταχειρίσεων, με τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας να δέχονται στατιστικώς μεγαλύτερη PPFD από τα φυτά των διχτυοκηπίων.



Σχήμα 35. Εποχιακή εξέλιξη της πορείας των μέσων τιμών της πυκνότητας ροής φωτονίων των φύλλων στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών.

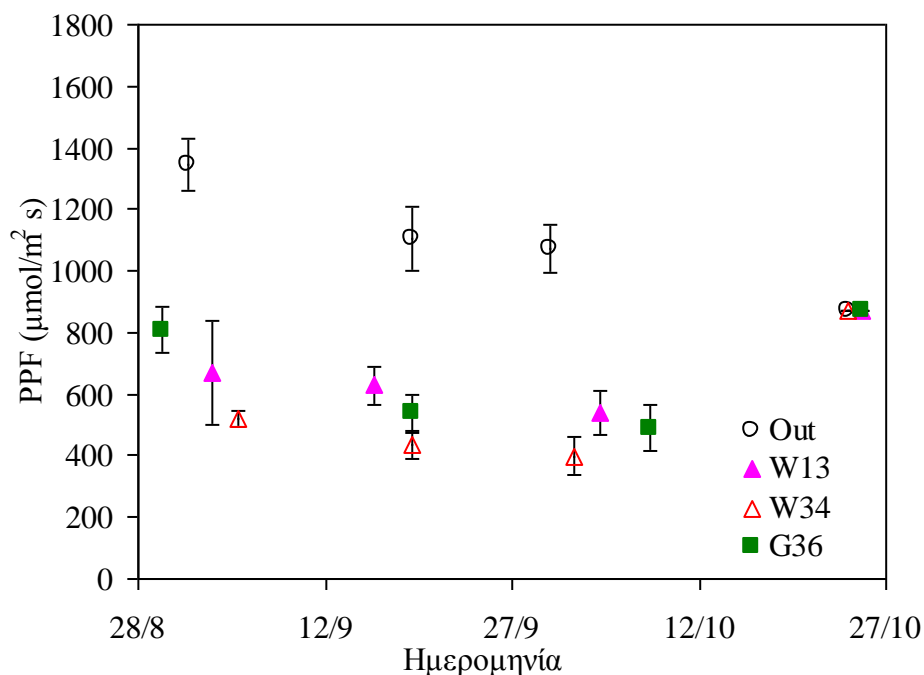
Τα φύλλα στο μέσο του φυλλώματος, κάτω από τα δίχτυα λάμβαναν  $450-800 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  ενώ τα αντίστοιχα φύλλα στο μάρτυρα λάμβαναν  $1100 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ , (Σχήμα 36). Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή της PPFD των φύλλων αυτού του επιπέδου βρέθηκε για το μάρτυρα  $994,8 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  και για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $732,5$ ,  $666,7$  και  $703,0 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση βρέθηκε ότι

τα φύλλα στο μέσο του φυλλώματος, στο μάρτυρα δέχονταν στατιστικά υψηλότερη PPFD σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ενώ τα φύλλα, στα διχτυοκήπια W13 και G36 δέχονταν παρόμοια πυκνότητα ροής φωτοσυνθετικών φωτονίων.



Σχήμα 36. Εποχιακή εξέλιξη της πορείας των μέσων τιμών της πυκνότητας ροής φωτονίων των φύλλων στο μέσο του φυλλώματος των φυτών.

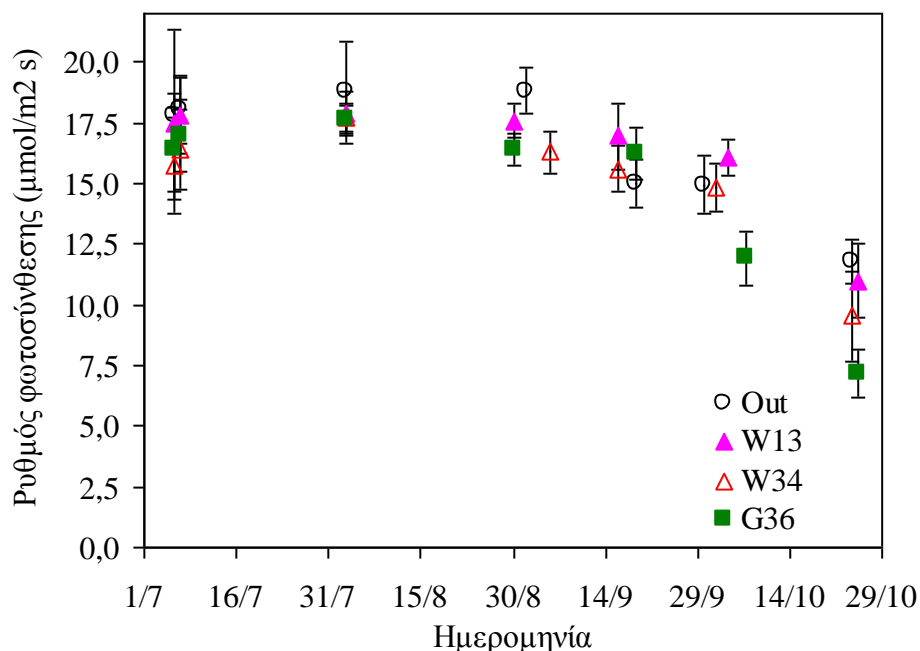
Παρόμοια εξέλιξη παρατηρήθηκε και για τα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος. Τα φύλλα κάτω από τα δίχτυα λάμβαναν 400-800  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  ενώ τα αντίστοιχα φύλλα στο μάρτυρα λάμβαναν 1050-1350  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  (Σχήμα 37). Η μέση τιμή της PPFD των φύλλων στο κατώτερο επίπεδο βρέθηκε για το μάρτυρα 1098,2  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  και για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 ήταν 676,3, 555,9 και 676,5  $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φυτά στο μάρτυρα δέχονταν στατιστικά υψηλότερη PPFD σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ενώ τα φυτά στα διχτυοκήπια W13 και G36 δέχονταν παρόμοια PPFD.



Σχήμα 37. Εποχιακή εξέλιξη της πορείας των μέσων τιμών της πυκνότητας ροής φωτονίων των φύλλων στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών.

#### 4.5.2. Ρυθμός φωτοσύνθεσης

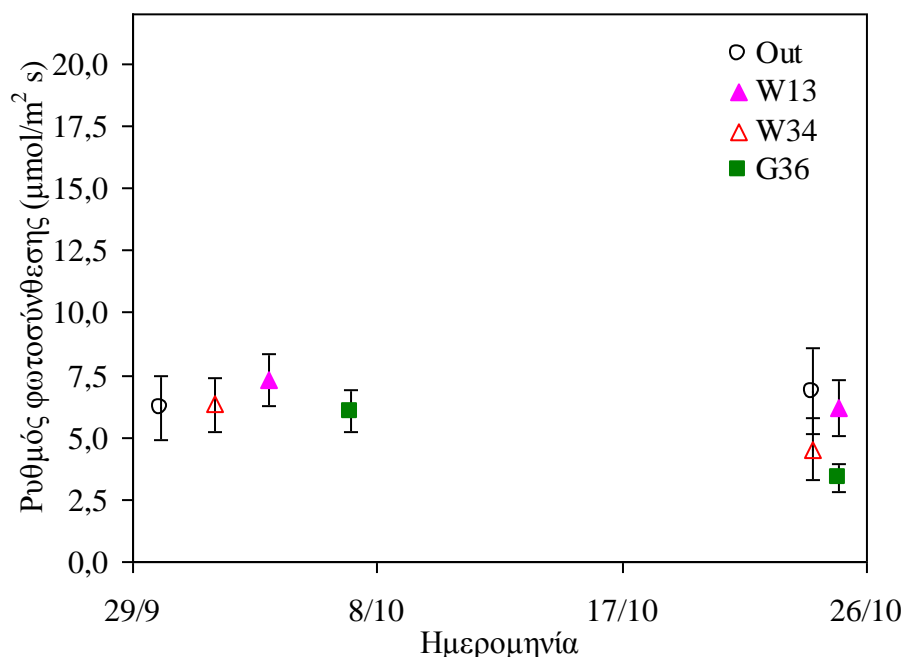
Στο Σχήμα 38. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης ( $P_n$ ) των φύλλων που βρίσκονταν στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος τόσο για την υπαίθρια όσο και για την υπό κάλυψη καλλιέργεια. Παρά την σημαντική διαφορά που παρατηρήθηκε στη PPF, κυρίως μεταξύ των φυτών του μάρτυρα και των διχτυοκηπίων, ο  $P_n$  δεν μειώθηκε ιδιαίτερα κάτω από τα δίχτυα. Η μέση τιμή του  $P_n$  για τα φύλλα που βρίσκονταν στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος βρέθηκε για το μάρτυρα  $16,5 \pm 2,6 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  και για τα W13, W34 και G36 ήταν  $16,4 \pm 2,5$ ,  $15,2 \pm 2,6$  και  $14,7 \pm 3,8 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος, των φυτών στον ανοιχτό αγρό και των φυτών κάτω από το W13 είχαν παρόμοιο ρυθμό φωτοσύνθεσης, ο οποίος ήταν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερος από το ρυθμό φωτοσύνθεσης των φύλλων στα διχτυοκήπια W34 και G36, οι οποίοι ήταν και αυτοί παρόμοιοι μεταξύ τους.



Σχήμα 38. Εξέλιξη του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

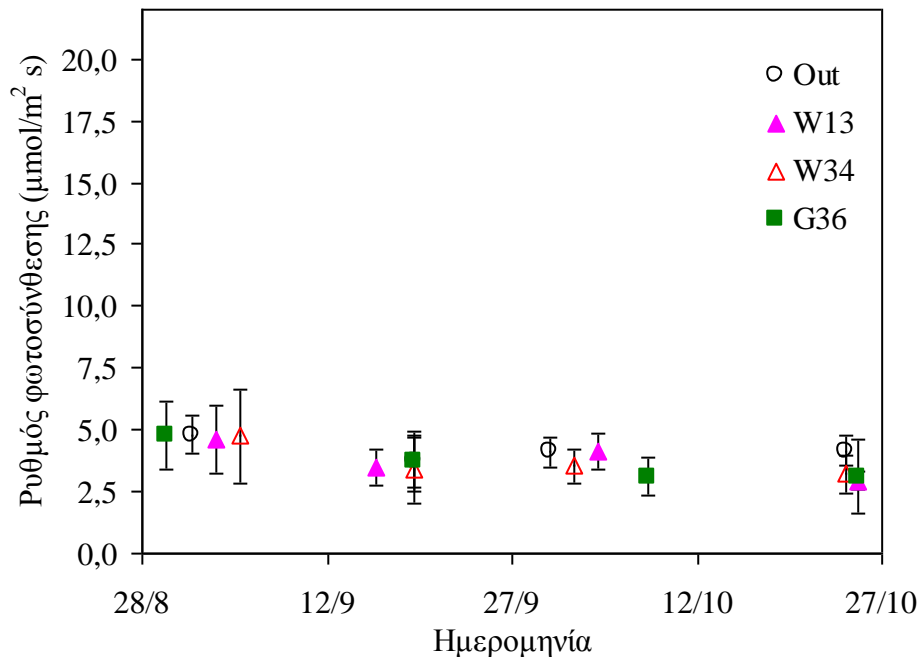
Παρόμοια είναι η εξέλιξη της φωτοσύνθεσης και στα φύλλα στο μέσο του φυλλώματος καθώς από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο μέσο του φυλλώματος, των φυτών στον ανοιχτό αγρό και των φυτών κάτω από το διχτυοκήπιο W13 είχαν παρόμοιο ρυθμό φωτοσύνθεσης, ο οποίος βρέθηκε στατιστικώς σημαντικά υψηλότερος από τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης των φύλλων στα άλλα δύο διχτυοκήπια, οι οποίοι ήταν παρόμοιοι μεταξύ τους. Η μέση τιμή του Pn για τα φύλλα αυτά βρέθηκε για το μάρτυρα  $6,5 \pm 0,5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  και για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $6,7 \pm 0,8$ ,  $5,4 \pm 1,3$  και  $4,7 \pm 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα (Σχήμα 39).





Σχήμα 39. Εξέλιξη του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων στο μέσο του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Στο Σχήμα 40. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής του καθαρού ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων που βρίσκονταν στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος για όλες τις μεταχειρίσεις. Η μέση τιμή του Pn για τα φύλλα αυτά βρέθηκε για το μάρτυρα  $4,2 \pm 0,4 \mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$  ενώ για τα W13, W34 και G36 ήταν  $3,8 \pm 0,7$ ,  $3,7 \pm 0,7$  και  $3,7 \pm 0,8 \mu\text{mol/m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι ρυθμός φωτοσύνθεσης των φύλλων στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος ήταν παρόμοιος σε όλες τις μεταχειρίσεις.

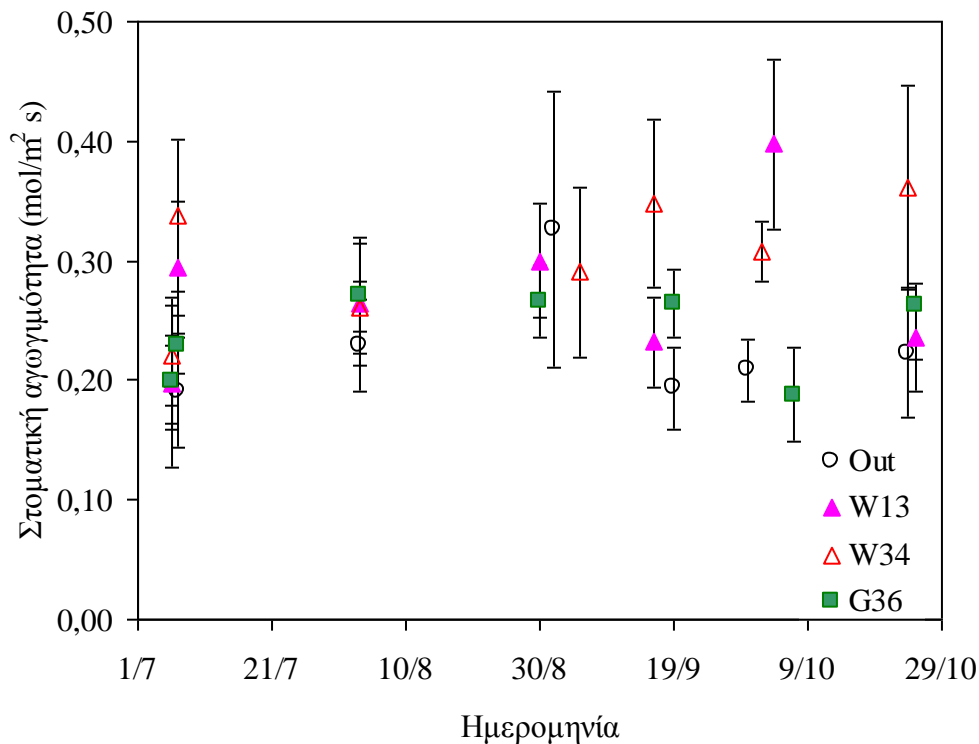


Σχήμα 40. Εξέλιξη του ρυθμού φωτοσύνθεσης των φύλλων στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Όπως φαίνεται και από τα Σχήματα 38, 39 & 40 τα φύλλα του ανώτερου επιπέδου, ανεξαρτήτως μεταχείρισης, είχαν τον υψηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης, ο οποίος μειώθηκε στα φύλλα των άλλων επιπέδων με μείωση του ύψους της θέσης των φύλλων.

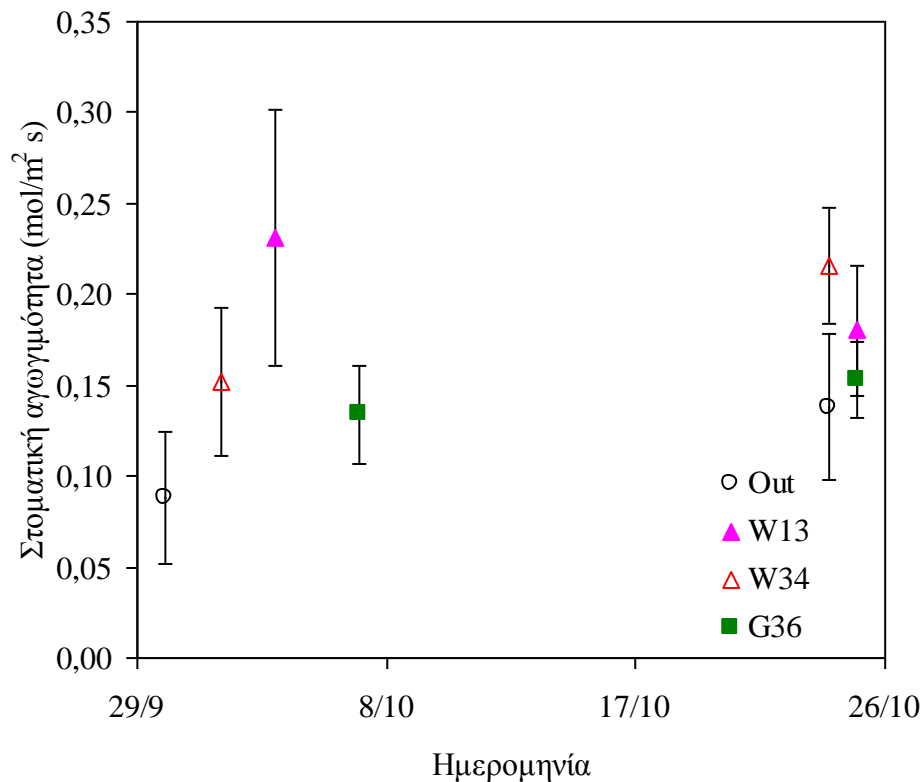
#### 4.5.3. Στοματική αγωγιμότητα

Στο Σχήμα 41. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής της στοματικής αγωγιμότητας ( $g_s$ ) των φύλλων που βρίσκονταν στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος. Η μέση τιμή της  $g_s$  καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος για τα φυτά του μάρτυρα βρέθηκε  $0,22 \pm 0,05$   $\text{mmol/m}^2 \text{ s}$  και για τα W13, W34 και G36 ήταν  $0,27 \pm 0,1$ ,  $0,30 \pm 0,1$  και  $0,24 \pm 0,03$   $\text{mmol/m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος, των φυτών στο W34 είχαν στατιστικώς σημαντικά υψηλότερη στοματική αγωγιμότητα από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, ενώ οι τιμές της  $g_s$  στο μάρτυρα και στο διχτυοκήπιο G36 ήταν παρόμοιες και χαμηλότερες από τη στοματική αγωγιμότητα του W13.



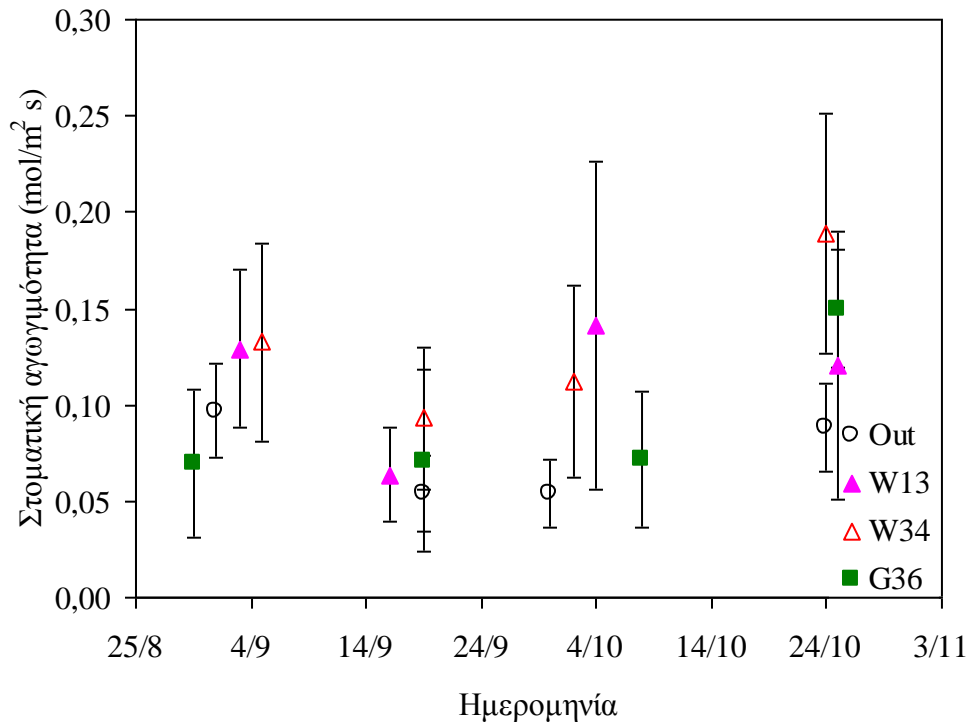
Σχήμα 41. Εξέλιξη της πορείας της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Στο Σχήμα 42. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής της  $g_s$  των φύλλων που βρίσκονταν στο μέσο του φυλλώματος. Η μέση τιμή της  $g_s$  κατά τη διάρκεια του πειράματος για τα φυτά του μάρτυρα βρέθηκε  $0,1 \pm 0,04 \text{ mmol/m}^2 \text{ s}$  και για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε  $0,2 \pm 0,04$ ,  $0,2 \pm 0,05$  και  $0,1 \pm 0,01 \text{ mmol/m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση βρέθηκε ότι τα φύλλα αυτού του επιπέδου, στα διχτυοκήπια W13 και W34 είχαν παρόμοια τιμή στοματικής αγωγιμότητας, στατιστικώς υψηλότερη από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 42. Εξέλιξη της πορείας της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων στο μέσο του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

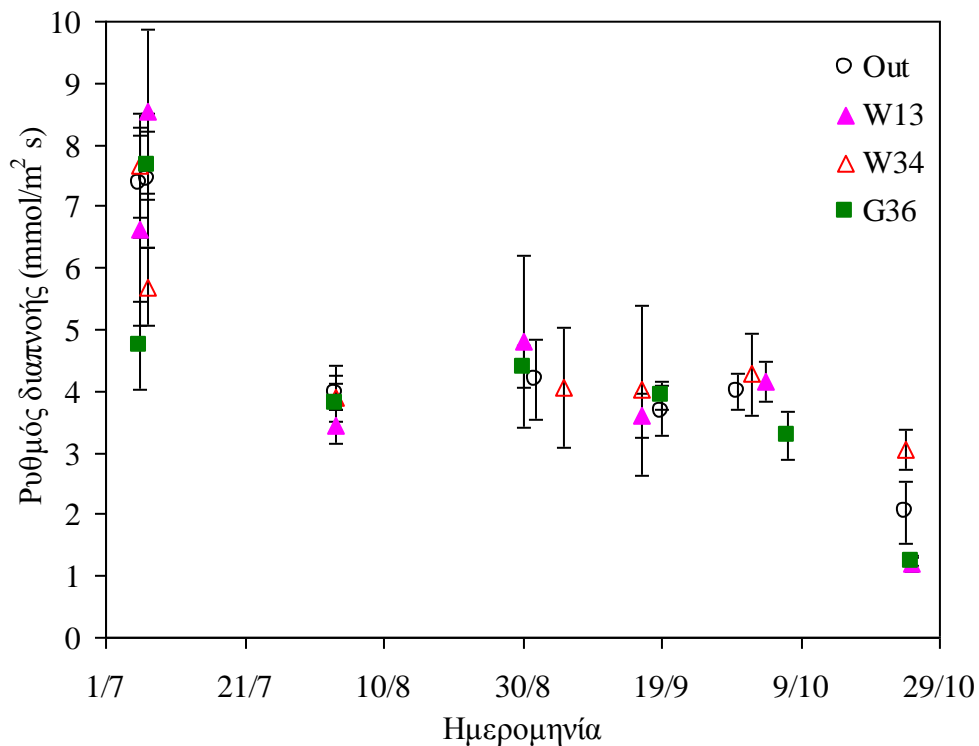
Στο Σχήμα 43. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων του κατώτερου επιπέδου του φυλλώματος, τόσο για την υπαίθρια όσο και για την υπό κάλυψη καλλιέργεια. Η μέση τιμή της  $g_s$  για τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας βρέθηκε  $0,07 \pm 0,02 \text{ mmol/m}^2 \text{ s}$  ενώ για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 ήταν  $0,11 \pm 0,03$ ,  $0,13 \pm 0,04$  και  $0,09 \pm 0,04 \text{ mmol/m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος, των φυτών της υπαίθριας καλλιέργειας και στο G36 είχαν παρόμοια στοματική αγωγιμότητα, στατιστικώς σημαντικά μικρότερη από τη παρόμοια στοματική αγωγιμότητα των W13 και W34.



Σχήμα 43. Εξέλιξη της πορείας της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

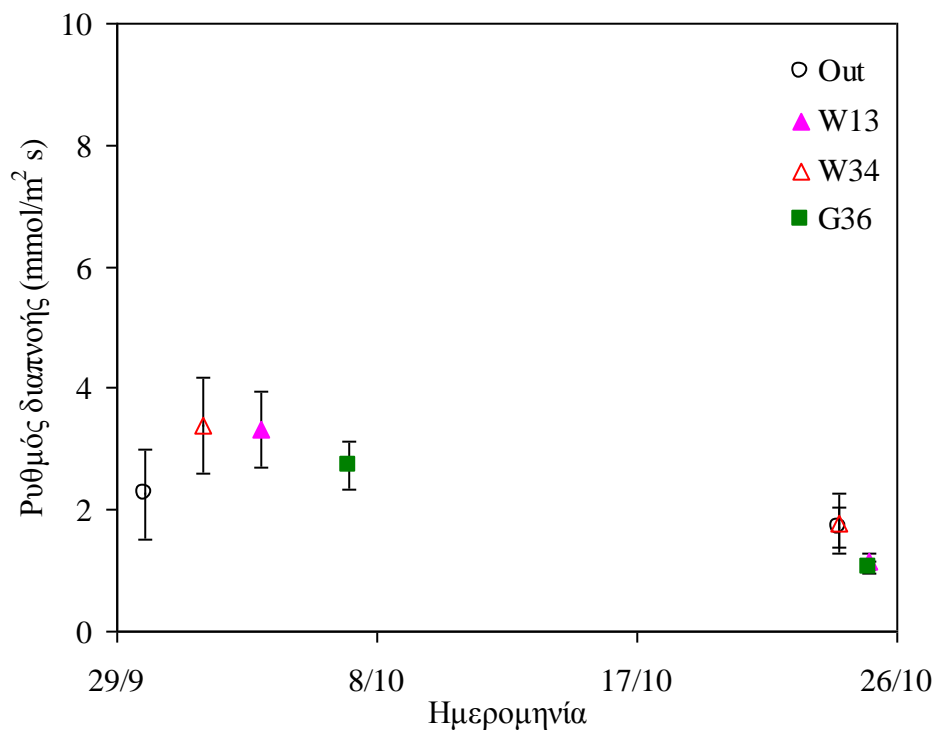
#### 4.5.4. Ρυθμός διαπνοής

Στο Σχήμα 44. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής του ρυθμού διαπνοής ( $T_r$ ) των φύλλων που βρίσκονταν στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος. Η μέση τιμή του  $T_r$  καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος για τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας βρέθηκε  $4,7 \pm 2$   $\text{mmol/m}^2$  s και για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $4,6 \pm 2,4$ ,  $4,7 \pm 1,5$  και  $4,4 \pm 1,9$   $\text{mmol/m}^2$  s αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος, των φυτών όλων των μεταχειρίσεων είχαν παρόμοιο ρυθμό διαπνοής.



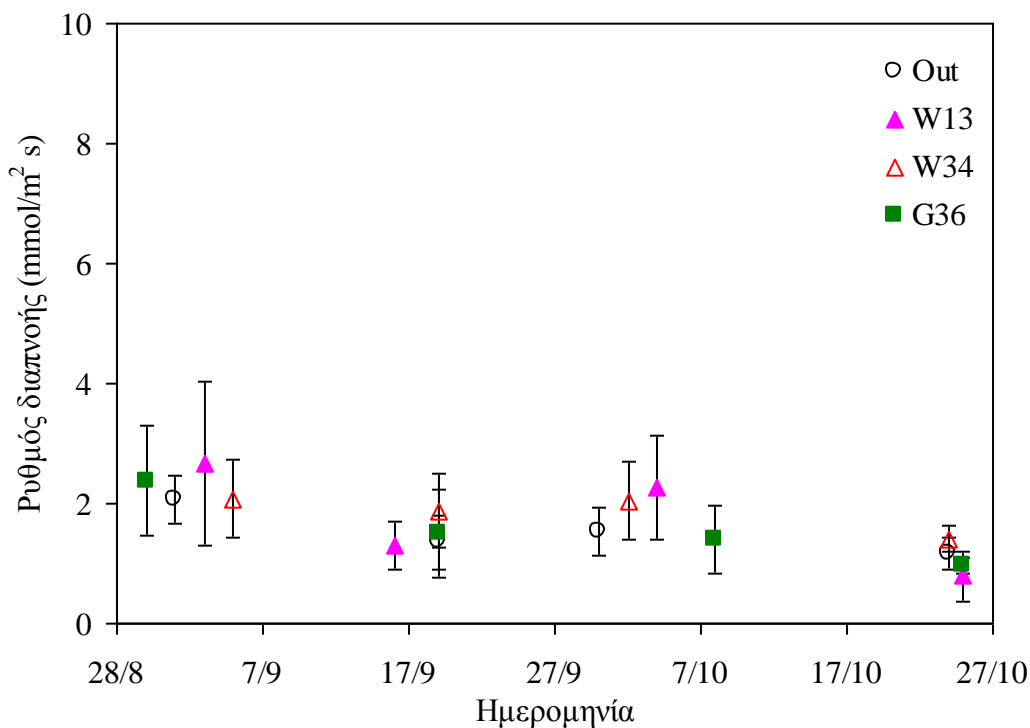
Σχήμα 44. Εποχιακή εξέλιξη του ρυθμού διαπνοής των φύλλων στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Στο Σχήμα 45. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής του  $T_r$  των φύλλων που βρίσκονταν στο μέσο του φυλλώματος καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, για όλες τις μεταχειρίσεις. Η μέση τιμή του  $T_r$  για τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας βρέθηκε  $2 \pm 0,4$   $\text{mmol/m}^2 \text{ s}$  ενώ για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε  $2,2 \pm 1,5$ ,  $2,6 \pm 1,1$  και  $1,9 \pm 1,2$   $\text{mmol/m}^2 \text{ s}$  αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο μέσο του φυλλώματος, των φυτών στα διχτυοκήπια W13 και W34 είχαν παρόμοιο ρυθμό διαπνοής, ενώ παρόμοιο ρυθμό διαπνοής είχαν και τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας με τα διχτυοκήπια W13 και G36.



Σχήμα 45. Εποχιακή εξέλιξη του ρυθμού διαπνοής των φύλλων στο μέσο του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Στο Σχήμα 46. παρουσιάζεται η πορεία της μέσης τιμής του ρυθμού διαπνοής των φύλλων που βρίσκονταν στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος τόσο για την υπαίθρια όσο και για την υπό κάλυψη καλλιέργεια. Η μέση τιμή του  $T_r$  καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος για τα φυτά της υπαίθριας καλλιέργειας βρέθηκε  $1,5 \pm 0,4$  mmol/m<sup>2</sup> s. Η αντίστοιχη διαπνοή στα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 ήταν  $1,8 \pm 0,9$ ,  $1,9 \pm 0,3$  και  $1,6 \pm 0,6$  mmol/m<sup>2</sup> s αντίστοιχα. Από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, βρέθηκε ότι τα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος, των φυτών στο μάρτυρα και στο διχτυοκήπιο G36 είχαν παρόμοιο ρυθμό διαπνοής, στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερο από το παρόμοιο ρυθμό διαπνοής στα W13 και W34. Παρόμοιο ρυθμό διαπνοής είχαν και τα διχτυοκήπια G36 και W34.

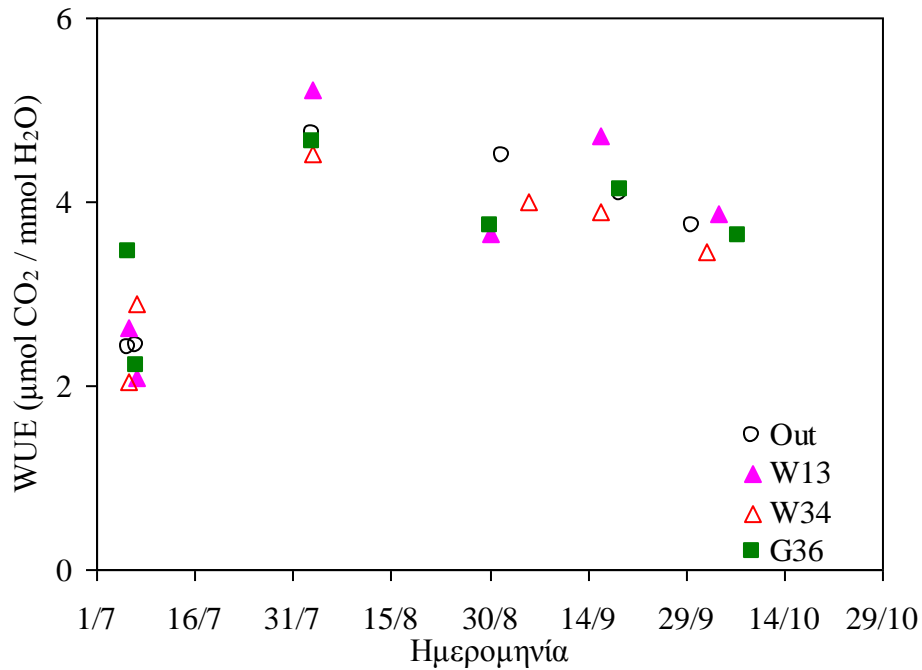


Σχήμα 46. Εποχιακή εξέλιξη του ρυθμού διαπνοής των φύλλων στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος των φυτών, καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

#### 4.5.5. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού

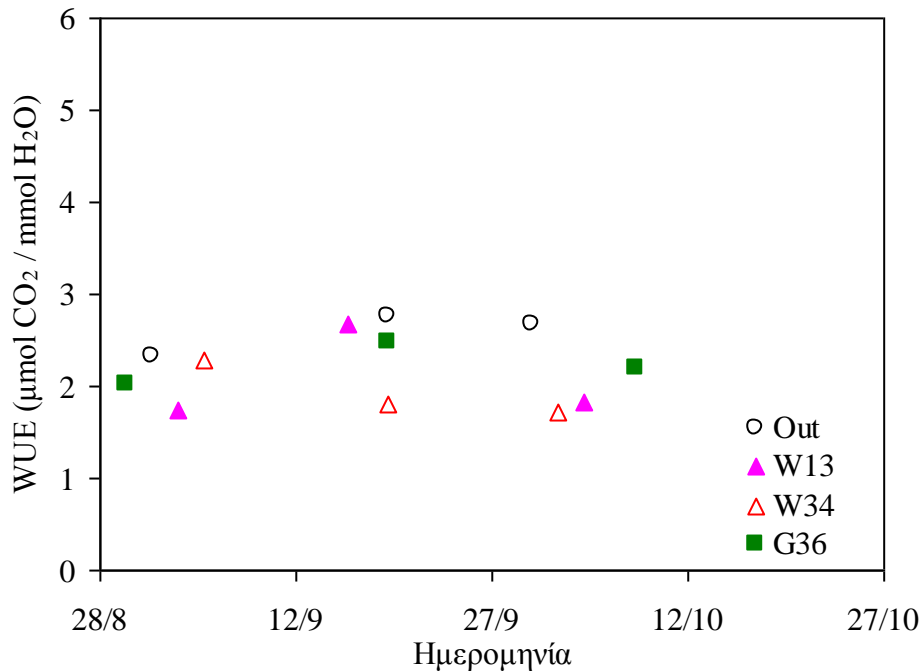
Η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού (WUE, mol CO<sub>2</sub> που δεσμεύτηκαν/mol H<sub>2</sub>O διαπνοής) των φύλλων του ανώτερου επιπέδου αυξήθηκε με γρήγορους ρυθμούς στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των φυτών φθάνοντας την τιμή των 5 μmol/mol και στη συνέχεια μειώθηκε (Σχήμα 47). Η μέση τιμή της WUE καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος βρέθηκε  $3,6 \pm 1,0$  μmol/mol για τον ανοιχτό αγρό και  $3,7 \pm 1,2$ ,  $3,5 \pm 0,9$  και  $3,6 \pm 0,8$  mol/mol για τα διχτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα.





Σχήμα 47. Εποχιακή εξέλιξη της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού των φύλλων του ανώτερου επιπέδου για όλες της μεταχειρίσεις.

Η WUE των φύλλων του μέσου επιπέδου βρέθηκε 2,7  $\mu\text{mol/mol}$  για τον μάρτυρα και 2,2, 1,9 και 2,2  $\text{mol/mol}$  για τα W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Η αποτελεσματικότητα χρήσης νερού των φύλλων του κατώτερου επιπέδου αρχικά αυξήθηκε ελαφρώς ενώ στη συνέχεια μειώθηκε ελάχιστα (Σχήμα 48). Η μέση τιμή της WUE καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος βρέθηκε  $2,6 \pm 0,2 \mu\text{mol/mol}$  για τον ανοιχτό αγρό και  $2,1 \pm 0,5$ ,  $1,9 \pm 0,3$  και  $2,2 \pm 0,2 \text{ mol/mol}$  για τα δικτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα.



Σχήμα 48. Εποχιακή εξέλιξη της αποτελεσματικότητας χρήσης νερού των φύλλων του κατώτερου επιπέδου για όλες της μεταχειρίσεις.

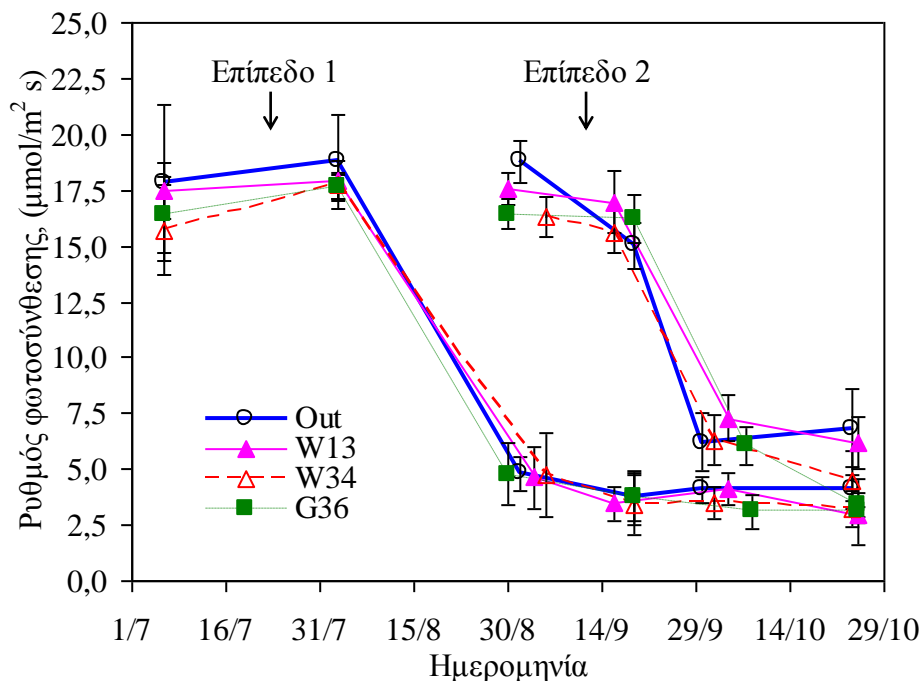
#### 4.5.6. Αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός

Η αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός (LUE, mol CO<sub>2</sub> που δεσμεύτηκαν/mol προσπίπτουσας PAR), των φύλλων του υψηλότερου επιπέδου της υπαίθριας καλλιέργειας βρέθηκε  $0,012 \pm 0,001$  mol/mol και για τα δίχτυοκλήπια W13, W34 και G36 ήταν  $0,017 \pm 0,003$ ,  $0,020 \pm 0,004$  και  $0,018 \pm 0,005$  mol/ mol αντίστοιχα. Δηλαδή η LUE των φύλλων, κάτω από τα δίχτυα βρέθηκε κατά 50% περίπου υψηλότερη από τη LUE των φυλλων της υπαίθριας καλλιέργειας. Η μέση τιμή της LUE των φύλλων του μέσου επιπέδου του μάρτυρα βρέθηκε  $0,007 \pm 0,002$  mol/ mol και για τα W13, W34 και G36 βρέθηκε ίση με  $0,010 \pm 0,004$ ,  $0,009 \pm 0,006$  και  $0,008 \pm 0,005$  mol/mol αντίστοιχα. Η LUE αυτών των φύλλων κάτω από τα δίχτυα, βρέθηκε 28% περίπου υψηλότερη από τη LUE των φύλλων της υπαίθριας καλλιέργειας. Η LUE των φύλλων του χαμηλότερου επιπέδου στο μάρτυρα ήταν  $0,004 \pm 0,001$  mol/ mol ενώ για τα W13, W34 και G36 ήταν  $0,006 \pm 0,002$ ,  $0,007 \pm 0,003$  και  $0,006 \pm 0,001$  mol/mol αντίστοιχα. Η LUE για αυτό το επίπεδο φύλλων κάτω από τα δίχτυα, βρέθηκε κατά 58% περίπου υψηλότερη από τη LUE της υπαίθριας καλλιέργειας. Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η

αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός σε όλα τα επίπεδα φύλλων βρέθηκε υψηλότερη κάτω από τα δίχτυα σε σύγκριση με το μάρτυρα.

#### 4.5.7. Εγκλιματισμός στο φως

Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στη PPFD των φυτών της υπαίθριας καλλιέργειας και αυτών κάτω από τα δίχτυα δεν είχαν σημαντική επίδραση στην εποχιακή εξέλιξη της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φύλλων. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο κατώτερο τμήμα του φυλλώματος έδειξαν ότι η εξέλιξη κατά τη διάρκεια του βλαστικού κύκλου ανάπτυξης (από Μάιο μέχρι Οκτώβριο) ήταν παρόμοια και στις τέσσερις μεταχειρίσεις, παρουσιάζοντας απότομη πτώση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στις αρχές Αυγούστου (Σχήμα 49, Επίπεδο 1). Οι αντίστοιχες μετρήσεις στο μέσο του φυλλώματος έδειξαν ότι και σε αυτό το επίπεδο η εξέλιξη ήταν παρόμοια για τις τέσσερις μεταχειρίσεις, παρουσιάζοντας απότομη πτώση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στις αρχές Οκτωβρίου (Σχήμα 49, Επίπεδο 2).



Σχήμα 49. Εποχιακή εξέλιξη του ρυθμού της καθαρής φωτοσύνθεσης των φύλλων του χαμηλότερου (Επίπεδο 1) και του μέσου (Επίπεδο 2) μέρους του φυλλώματος σε όλες τις μεταχειρίσεις.

## **5. Συζησηση**

### **5.1. Μικροκλίμα**

#### **5.1.1. Ηλιακή Ακτινοβολία**

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα δίχτυα μείωσαν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με τη μεταχείριση χωρίς δίχτυ σε ποσοστά 19-37% περίπου ανάλογα των οπτικών ιδιοτήτων του κάθε δικτυού. Η μέση τιμή του συντελεστή διαπερατότητας κατά τη διάρκεια των δύο μηνών βρέθηκε κατά μέσο όρο 0,82, 0,65 και 0,70 για τα δικτυοκήπια W13, W34 και G36 αντίστοιχα. Η ελαφρά αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας του δικτυοκηπίου G36 πιθανότατα οφείλεται στο «τέντωμα» του δικτυού κατά την τοποθέτησή του, ενώ οι ελαφρώς μειωμένοι συντελεστές διαπερατότητας των δικτυοκηπίων W13 και W34 οφείλονται στη συσσώρευση σκόνης στα δίχτυα. Είναι άλλωστε γνωστό ότι όσο περισσότερο σκόνη συγκεντρώνεται σε ένα δίχτυ τόσο μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην υπό σκίαση καλλιέργεια (Santos et al., 2006). Φαίνεται ότι η χρήση των δικτυών πράγματι μείωσε αποτελεσματικά την προσπίπτουσα στην καλλιέργεια ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτό ελαττωνόταν η διαθέσιμη ενέργεια στην καλλιέργεια και ως εκ τούτου το θερμικό φορτίο αυτής. Επιπλέον θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα δικτυοκήπια W34 και G36 δέχονταν παρόμοια ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς οποιεσδήποτε διαφορές παρατηρούνται στο μικροκλίμα των δύο δικτυοκηπίων θα μπορούσαν να αποδοθούν στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα του κάθε δικτυοκηπίου, ο οποίος πιθανότατα διαφέρει λόγω διαφορετικού πορώδους. Όσον αφορά τα W13 και W34 τα οποία είχαν ίδιο πορώδες, οποιαδήποτε διαφορά στο μικροκλίμα μπορεί να αποδοθεί στις διαφορετικές τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

#### **5.1.2. Λοιποί παράγοντες του μικροκλίματος**

Τα δικτυοκήπια επέδρασαν στη θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλοντας την συγκριτικά με αυτή της ασκίαστης καλλιέργειας. Πιο συγκεκριμένα το δικτυοκήπιο W13 είχε

μεγαλύτερη θερμοκρασία κατά 0,7 °C από το μάρτυρα. Η θερμοκρασία του αέρα στο διχτυοκήπιο W34 συγκριτικά με αυτή της ασκίαστης καλλιέργειας ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη (κατά 0,2 °C). Τέλος το G36 είχε τη χαμηλότερη θερμοκρασία από όλες τις μεταχειρίσεις και κατά μέσο όρο εμφάνισε διαφορά με το μάρτυρα της τάξης του 0,3 °C, ενώ με το W13 (που εμφάνισε την υψηλότερη θερμοκρασία από όλες τις μεταχειρίσεις) διέφερε κατά 0,9 °C. Οι διαφορές της θερμοκρασίας των διχτυών με το μάρτυρα δεν φαίνονται να είναι σημαντικές και θα μπορούσαν ακόμα και να αποδοθούν στην ευαισθησία των οργάνων ( $\pm 0,3$  °C). Ο Heuvelink (1995b), ανέφερε ότι η εμφάνιση των ταξιανθιών σε φυτά τομάτας σχετίζεται γραμμικά με τη θερμοκρασία με ρυθμό 0,01 ταξιανθία/ημέρα °C. Αυτό σημαίνει ότι, εφόσον στους 20 °C ο ρυθμός ήταν 0,15 ταξιανθίες/ημέρα, αύξηση κατά 0,5 °C θα έδινε 0,30 ταξιανθίες/ημέρα ενώ επιπλέον αύξηση κατά 0,5 °C θα είχε ως αποτέλεσμα 0,45 ταξιανθίες/ημέρα. Συνεπώς για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C η εμφάνιση των ταξιανθιών δεν επηρεάζεται σημαντικά. Βέβαια σε αυτό το πείραμα μελέτησαν θερμοκρασίες μεταξύ 18-23 °C, όμως είναι πιθανό τα αντίστοιχα να ισχύουν και για υψηλότερες θερμοκρασίες, όπως αυτές του πειράματός μας (22-30 °C). Επίσης έχει βρεθεί ότι ο ρυθμός ανάπτυξης καρπών τομάτας σχετίζεται θετικά για θερμοκρασίες μεταξύ 10 και 30 °C, με αύξηση της διαμέτρου του κατά 5  $\mu\text{m}/\text{h}$  °C (Pearce et al., 1993a). Για διαφορά 1 °C δεν θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι η επίδραση είναι ιδιαίτερα σημαντική. Επιπλέον ο ρυθμός ανάπτυξης των καρπών που καταγράφηκε ήταν συχνά χαμηλότερος από αυτό που αναμενόταν στις επικρατούσες θερμοκρασίες λόγω της υδατικής κατάστασης των φυτών (Pearce et al., 1993b).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι οι θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν εντός των διχτυοκηπίων δεν ήταν τόσο σημαντικές ώστε να επιδράσουν στην ανάπτυξη των φυτών. Τυχόν διαφορές στην ανάπτυξη των φυτών θα μπορούσαν να αποδοθούν στο διαφορετικό βαθμό σκίασης που παρείχε το κάθε δίχτυ. Χρησιμοποιώντας διαφορετικά επίπεδα σκίασης (0, 12, 26 και 47%) σε φυτά πιπεριάς, βρέθηκε ότι το ύψος των φυτών, ο αριθμός των ανθέων και το μέγεθος των φύλλων αυξήθηκαν, αυξανόμενης της σκίασης, όμως η σκίαση μείωσε την ανάπτυξη των πλευρικών βλαστών των φυτών. Αν και το δέσιμο των καρπών ήταν μεγαλύτερο στα ασκίαστα φυτά η μεγαλύτερη παραγωγή καρπών καλής ποιότητας παρατηρήθηκε σε σκίαση 12-26% (Rylski and Spigelman, 1986).

Έτσι τα δίχτυα που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διατριβή, δεν είχαν επίδραση στη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος ανάπτυξης της καλλιέργειας, τόσο κατά εβδομαδιαία βάση στη διάρκεια της ημέρας (08:00-20:00) όσο και κατά μέσο όρο των τυπικών ημερών των μηνών Αυγούστου και Σεπτεμβρίου. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με εκείνα των Kittas et al. (2009), όπου διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας σε καλλιέργεια τομάτας σε περιοχή της Μεσογείου (Ελλάδα) η τιμή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας κάτω από τα δίχτυα σκίασης, (δυο μαύρα με ποσοστά σκίασης 49% και 40%, ένα πράσινο με 34% σκίαση και ένα δίχτυ πράσινου και μαύρου νήματος με σκίαση 40%), ήταν παρόμοια με την εξωτερική.

Η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από τα δίχτυα είχε ως αποτέλεσμα να μειωθεί η προσπίπτουσα στα φυτά ακτινοβολία, με συνέπεια να μειωθεί η ενέργεια που προσφέρεται στη καλλιέργεια. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη μείωση της θερμοκρασίας της καλλιέργειας. Τη χαμηλότερη θερμοκρασία φύλλων είχε το W34 με διαφορά 1,7 °C από το μάρτυρα, ενώ στα δίχτυοκλήπια W13 και G36 η διαφορά της θερμοκρασίας φύλλων με το μάρτυρα βρέθηκε μικρότερη κατά 0,7 και 1,3 °C αντίστοιχα. Ο μάρτυρας παρουσίασε μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα συγκριτικά με τα δίχτυοκλήπια κατά 1,7 °C περίπου. Σε μελέτη ανακλαστικών δίχτυων παρατηρήθηκε μειωμένη θερμοκρασία φύλλων υπό κάλυψη (Raveh et al., 2003). Όπως υποδηλώνουν οι χαμηλότερες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα εντός των δίχτυοκλήπιων, φαίνεται ότι η καλλιέργεια εντός των δίχτυοκλήπιων ανταποκρίθηκε καλύτερα και μετέτρεπε με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε λανθάνουσα θερμότητα απελευθερώνοντας συνεπώς λιγότερη αισθητή θερμότητα στον αέρα των δίχτυοκλήπιων. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους Baille et al. (2001) για καλλιέργεια τριανταφυλλιάς σε ασπρισμένο θερμοκήπιο.

Μείωση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ καλλιέργειας και αέρα στα υπό κάλυψη φυτά οδήγησε σε ελαφρά μείωση του ελλείμματος κορεσμού μεταξύ καλλιέργειας και αέρα, περίπου κατά 0,3 kPa σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα, οδηγώντας έτσι σε μικρή αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας των φύλλων (Raveh et al., 2003). Επομένως με την σκίαση βελτιώθηκε ελαφρώς το μικροκλίμα στο οποίο αναπτύσσονταν η καλλιέργεια. Είναι πολύ πιθανόν η σκίαση να οδήγησε και σε μικρή αύξηση του ρυθμού της διαπνοής των φυτών κάτω από τα δίχτυα σε σχέση με τα φυτά του μάρτυρα (Baille et

al., 2001). Πράγματι τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από τις μετρήσεις της φωτοσύνθεσης. Έτσι πιθανότατα αυξήθηκε η πρόσληψη του εδαφικού νερού και βελτιώθηκε η υδατική κατάσταση των φυτών.

Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα στο διχτυοκήπιο W13 βρέθηκε μεγαλύτερο κατά 3-5% περίπου από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις, που σημαίνει μικρή διαφορά της τάξης του 0,1 kPa (2,1 στο W13 έναντι 2 kPa στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις). Οι διαφορές που παρατηρήθηκαν τόσο στην υγρασία όσο και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα μεταξύ των μεταχειρίσεων είναι μικρές για να θεωρηθούν σημαντικές.

Συμπερασματικά μπορεί να ειπωθεί ότι τα δίχτυα συνέβαλλαν ως ένα βαθμό στη ρύθμιση του μικροκλίματος από την καλλιέργεια μέσω της μείωσης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό φαίνεται να επέδρασε θετικά στη φυσιολογική κατάσταση της υπό σκίαση καλλιέργειας διότι μειώθηκε η μεσημβρινή κατάθλιψη των φυτών. Με τον τρόπο αυτό αυξήθηκε η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων των σκιασμένων φυτών, η οποία είχε ευεργετική επίδραση στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και το ρυθμό διαπνοής αυτών.

## **5.2. Ιδιότητες διχτυών σκίασης**

### **5.2.1. Διαπερατότητα των διχτυών σε δύο ύψη**

Η διαπερατότητα των διχτυών, στο εύρος φάσματος της TOTAL (350-1100nm), σε δύο ύψη (0,80 και 2,4m από το έδαφος) έδειξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο υψών της τάξης του 17% περίπου. Οι διαφορές αποδοθήκαν στο γεγονός ότι οι μετρήσεις στο χαμηλότερο ύψος επηρεάζονταν από την ύπαρξη της καλλιέργειας, καθώς δεχόταν λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία από τα πλάγια καθώς και στο σύστημα ανάρτησης των φυτών.

### **5.2.2. Διαπερατότητα των διχτυών στο ύψος της καλλιέργειας**

Η σειρά κατάταξης που ισχύει για τις διαπερατότητες στην περιοχή της TOTAL (400-1100nm) είναι ίδια με την σειρά κατάταξης στις περιοχές της PAR και της NIR. Πιο

συγκεκριμένα μεγαλύτερη διαπερατότητα είχε το δίχτυο W13 ακολουθούμενο από το G36 και το W34. Επίσης, φαίνεται ότι ιδίως τα δίχτυα W34 και G36 επιτρέπουν περισσότερη NIR ακτινοβολία να εισέρχεται στο εσωτερικό τους παρά PAR. Επιτρέπουν δηλαδή περισσότερο την θέρμανση της καλλιέργειας από τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα σε σχέση με το W13. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της ποιότητας της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Η διαπερατότητα στην PAR των δικτύων W34 και G36 θα μπορούσαμε να πούμε ότι ήταν παρόμοιες και αρκετά χαμηλότερες από αυτήν του W13. Φαίνεται (Σχήμα 25) ότι τα δύο δίχτυα είχαν παρόμοια συμπεριφορά στο φάσμα 600-700nm, συνεπώς η διαφορά μεταξύ τους στη διαπερατότητα στην PAR οφείλεται στη διαφορετική τους συμπεριφορά στο εύρος φάσματος 400-600nm. Έχει διαπιστωθεί ότι μεταξύ δικτύων με ίδιο πορώδες αλλά διαφορετική ένταση χρώματος (για παράδειγμα ένα σκούρο πράσινο δίχτυ με ένα ανοιχτό πράσινο), το πιο ανοιχτόχρωμο δίχτυ έχει αυξημένη διαπερατότητα στην PAR λόγω σκέδασης της ακτινοβολίας (Al-Helal and Abdel-Ghany, 2010). Έτσι θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε τη διαφορά στις διαπερατότητες σε όλα τα εύρη φάσματος μεταξύ των δικτυοκηπίων W13 και W34 καθώς είχαν διάφανα και λευκά νήματα αντίστοιχα. Επιπλέον λόγω των ιδιοτήτων του W34 οι μικρότερες διαπερατότητες στα διάφορα εύρη φάσματος ήταν αναμενόμενες. Από την άλλη πλευρά ένα σκουρόχρωμο δίχτυ (όπως το G36 στην περίπτωση μας) ανακλά την προσπίπτουσα PAR στην περιοχή του χρώματος του και απορροφά την προσπίπτουσα PAR από τις περιοχές των συμπληρωματικών του χρωμάτων (Al-Helal and Abdel-Ghany, 2010). Οι Romero-Gamez et al. (2012), διαπίστωσαν μεγάλη διαφορά στην διαπερατότητα στη PAR μεταξύ πράσινου και διάφανων δικτύων, και την απέδωσαν στο γεγονός ότι τα πράσινα νήματα ανακλούν σημαντικό ποσό της ακτινοβολίας στην περιοχή του πράσινου (500-600nm).

### **5.2.3. Παράμετροι ποιότητας εισερχόμενης ακτινοβολίας**

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι όλα τα δίχτυοκηπία μείωσαν το λόγο ζ. Το δίχτυο W34 είχε το μικρότερο λόγο ζ ενώ τα δίχτυοκηπία W13 και G36 είχαν παρόμοιο λόγο ζ. Η μικρή μείωση του λόγου R : FR στο W34 συγκριτικά με τα υπόλοιπα οφείλεται στις ιδιότητες του. Μείωση του λόγου R : FR μειώνει τη φυλλική επιφάνεια



και την τάση δημιουργίας πλάγιας βλάστησης, ενώ αυξάνει την «κυριαρχία κορυφής» και το ρυθμό επιμήκυνσης των βλαστών (Smith, 1982). Επιπλέον φυτά που δέχονται χαμηλό λόγο  $R : FR$ , έχουν μεγαλύτερα σε μήκος μεσογονάτια διαστήματα, μεγαλύτερα και λεπτότερα φύλλα και λιγότερους βλαστούς (Kasperbauer, 1988). Πιθανώς σε σύγκριση με το μάρτυρα τα φυτά εντός των διχτυοκηπίων να παρουσίασαν κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά, αλλά και το διχτυοκήπιο με το χαμηλότερο λόγο (W34) συγκριτικά με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Όσον αφορά το λόγο  $B : R$ , τα διχτυοκήπια W13 και W34 μείωσαν τον λόγο αυτό συγκριτικά με το μάρτυρα ενώ το G36 αύξησε αυτό το λόγο. Η μείωση του λόγου  $B : R$  στα διχτυοκήπια W13 και W34 υποδεικνύει ότι εισερχόταν σε αυτά λιγότερη μπλε απ' ό,τι κόκκινη ακτινοβολία. Οι Khattak και Pearson, (2005), χρησιμοποίησαν φίλτρα με υψηλή και χαμηλή διαπερατότητα στο μπλε φως σε καλλωπιστικά φυτά. Παρατήρησαν ότι τα φίλτρα με την υψηλότερη διαπερατότητα στο μπλε έδωσαν στατιστικώς σημαντικά χαμηλότερα φυτά από τα φίλτρα με χαμηλότερη διαπερατότητα στο μπλε. Αναφέρουν επίσης ότι η ποσότητα σε μπλε φως δεν είχε καμία επίδραση στην άνθηση, στο νωπό και ξηρό βάρος των φύλλων, καθώς και τη φυλλική επιφάνεια, όμως το ξηρό βάρος των βλαστών βρέθηκε να έχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με την διαπερατότητα στο μπλε. Εφόσον η διαπερατότητα στο μπλε, στο W34 ήταν χαμηλότερη συγκριτικά με τα άλλα δύο δίχτυα (Σχήμα 25), ίσως τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο εσωτερικό του να παρουσίασαν κάποια από τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά εν συγκρίσει με τα άλλα διχτυοκήπια. Η αύξηση του λόγου  $B : R$  στο πράσινο διχτυ, συνέβη, γιατί λόγω του χρώματος του απορροφά τα μήκη κύματος του πορτοκαλί και του κόκκινου. Υψηλοί λόγοι  $R : FR$  ή  $B : R$  έχουν αναφερθεί ότι μειώνουν το μήκος των βλαστών σε διάφορα φυτικά είδη (Mortensen and Stromme, 1987). Οι Rajapakse και Kelly, (1992) απέδωσαν τη μείωση του ύψους και την υψηλή συγκέντρωση ξηράς ουσίας στα φύλλα χρυσάνθεμου στους υψηλούς λόγους  $R : FR$  και  $B : R$ .

Όλα τα δίχτυα που χρησιμοποιήθηκαν μείωσαν στατιστικώς σημαντικά το λόγο  $B : FR$ . Στα διχτυοκήπια W13 και G36 ο παραπάνω λόγος, είχε παρόμοιες τιμές, ενώ το W34 μείωσε περισσότερο αυτό το λόγο, λόγω των ιδιοτήτων του από τον κατασκευαστή.

Ο λόγος P : Τι βρέθηκε σημαντικά μειωμένος στα διχτυοκήπια συγκριτικά με το μάρτυρα. Τα διχτυοκήπια W13 και W34 μείωσαν το λόγο κατά 0,91% και 3,24% αντίστοιχα. Όσον αφορά το G36, αυτό μείωσε τον παραπάνω λόγο κατά 5,11%.

Τέλος ο λόγος P : Ni μειώθηκε σημαντικά στα διχτυοκήπια συγκριτικά με το μάρτυρα. Τα W34 και G36 είχαν στατιστικά παρόμοιες τιμές του λόγου αυτού, που βρέθηκε μειωμένος κατά 10,42% και 12,32% αντίστοιχα, ενώ το W13 μείωσε το λόγο κατά 4,81% σε σύγκριση με το μάρτυρα. Επομένως, μπορεί να διατυπωθεί ότι κάποια δίχτυα παρουσιάζουν την τάση να μειώνουν περισσότερο την PAR από την NIR ακτινοβολία. Το επιθυμητό θα ήταν να μειώναν περισσότερο την NIR σε σχέση με την PAR, έτσι ώστε η διαθέσιμη ακτινοβολία για φωτοσύνθεση να ήταν όσο το δυνατόν περισσότερη, ενώ αντίθετα η NIR ακτινοβολία, η οποία είναι υπεύθυνη για τη θέρμανση της φυτείας να ήταν όσο το δυνατόν λιγότερη.

### **5.3. Κατανομή του μικροκλίματος στο χώρο των διχτυοκηπίων**

#### **5.3.1. Κατανομή της ταχύτητας και των χαρακτηριστικών του αέρα**

Η ταχύτητα του αέρα φαίνεται ότι επηρεάστηκε από τη χρήση των διχτύων W13 και W34, καθώς η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό των διχτυοκηπίων προς την εξωτερική βρέθηκε 0,10 m/s. Δηλαδή θα μπορούσαμε να πούμε ότι:

$$U_{in} = 0,10 \times U_{out}$$

Οι Tanny, et al., (2009a), μελέτησαν την ταχύτητα του αέρα σε δέντρα μηλιάς. Χρησιμοποίησαν ένα δίχτυ με 30% σκίαση και μια μεταχείριση με ασκίαστα δέντρα. Η σχέση μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής ταχύτητας ανέμου βρέθηκε  $U_{in}=0,91 \times U_{out}$  (για εύρος εξωτερικών ταχυτήτων περίπου 1-6m/s). Η μικρή επίδραση του διχτυού στην ταχύτητα του αέρα αποδόθηκε στον τρόπο με τον οποίο είχε «στηθεί» το πείραμα, ο οποίος επέτρεπε στον αέρα να διαπερνά στα υπό κάλυψη δέντρα. Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα οριζόντια δίχτυα τοποθετήθηκαν σε ύψος 6m πάνω από καλλιέργεια μπανάνας ύψους 4m. Η σχέση μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής ταχύτητας του ανέμου σε ύψος 5m βρέθηκε  $U_{in}=0,7 \times U_{out}$  (Siqueira et al., 2012).

Στις παραπάνω μελέτες οι καλλιέργειες δεν ήταν πλήρως καλυμμένες με δίχτυα, αντίθετα με την δική μας περίπτωση όπου η καλλιέργεια βρισκόταν εντός διχτυοκηπίων. Οπότε είναι λογικό οι ταχύτητες του ανέμου που παρατηρήθηκαν να είναι μικρότερες στο εσωτερικό των διχτυοκηπίων συγκριτικά με τις καλλιέργειες κάτω από οριζόντια δίχτυα. Η κατανομή της ταχύτητας του αέρα ήταν παρόμοια στα δύο διχτυοκήπια συνεπώς και ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα. Επιπλέον και η παροχή αερισμού ήταν ίδια στα δύο διχτυοκήπια. Τα παραπάνω εξηγούνται γιατί τα δύο δίχτυα είχαν ίδιο αριθμό mesh. Ο ρυθμός αερισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατασκευή του διχτυοκηπίου και από το πορώδες (Desmarais et al., 1999), καθώς και από το ύψος των φυτών (Desmarais, 1996). Παρόμοια στα δύο διχτυοκήπια βρέθηκαν και τα χαρακτηριστικά του αέρα.

### **5.3.2. Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα**

Τα διχτυοκήπια W13 και W34 αύξησαν τη θερμοκρασία συγκριτικά με τον εξωτερικό αέρα. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη μείωση του αερισμού που προκάλεσαν τα δίχτυα. Η θερμοκρασία επηρεάστηκε περισσότερο στην πλευρά των διχτυοκηπίων από την οποία εισερχόταν ο αέρας ενώ από το κέντρο και μετά ήταν περισσότερο ομαλοποιημένη, ιδιαίτερα στο W13. Η θερμοκρασία στο διχτυοκήπιο W13 βρέθηκε αυξημένη σε σχέση με το W34, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στη μεγαλύτερη θέρμανση του W13 από την ηλιακή ακτινοβολία. Για κάθε  $100 \text{ W/m}^2$  που εισέρχονταν στο W13, η θερμοκρασία αυξανόταν κατά  $0,55 \text{ }^\circ\text{C}$ , ενώ για τα ίδια  $\text{W/m}^2$ , η θερμοκρασία αυξανόταν κατά  $0,40 \text{ }^\circ\text{C}$  στο W34. Επιπλέον όπως φάνηκε και από την ανάλυση των κλιματικών δεδομένων το W13, δεχόταν υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία από το W34. Η κατανομή της θερμοκρασίας βρέθηκε περισσότερο ομοιογενής στο διχτυοκήπιο W34.

## **5.4. Παράμετροι της φωτοσύνθεσης**

### **5.4.1. Φωτοσύνθεση**

Παρά τη σημαντική διαφορά που παρατηρήθηκε στην προσπίπτουσα PPFD μεταξύ των διχτυοκηπίων και του μάρτυρα σε όλα τα επίπεδα φύλλων, ο Pn δεν μειώθηκε ιδιαίτερα

εντός των δικτυοκηπίων. Στο ανώτερο και το μεσαίο επίπεδο φύλλων, ο μάρτυρας είχε παρόμοια φωτοσύνθεση με το W13 που ήταν αυξημένη κατά περίπου 10-20% από τη φωτοσύνθεση των δικτυοκηπίων W34 και G36. Στο τελευταίο επίπεδο φύλλων η φωτοσύνθεση ήταν ίδια για όλες τις μεταχειρίσεις. Οι Ogren and Evans (1992) αναφέρουν πως έκθεση των φύλλων σε υπερβολικό φωτισμό προκαλεί φωτοαπαγόρευση, η οποία συνδέεται με μείωση του λόγου του στιγμιαίου προς το μέγιστο φθορισμό της χλωροφύλλης (Demmig and Bjorkman, 1987) και εκδηλώνεται με μείωση της φωτοσύνθεσης. Η επίδραση της PPFD στο καθαρό ρυθμό φωτοσύνθεσης μειώνεται με αύξηση της PPFD, μέχρι που τα φύλλα του φυτού φθάνουν στο φωτοκορεσμό, δηλαδή, ύστερα από κάποιο επίπεδο PPFD σταματούν να φωτοσυνθέτουν. Για καλλιέργεια γλυκιάς πιπεριάς, σύμφωνα με τους Gonzalez-Real και Baille (2006), το επίπεδο της PPFD στο οποίο επέρχεται φωτοκορεσμός για φύλλα εντοπισμένα στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος είναι  $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  ενώ για τα φύλλα στο υπόλοιπο μέρος του φυλλώματος το επίπεδο αυτό είναι περίπου  $800 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Έτσι όποτε το ποσό της PPFD ξεπερνά αυτά τα όρια, αναμένεται μείωση του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων και έτσι επέρχεται φωτοκορεσμός. Στη περίπτωση μας τα παραπάνω όρια ξεπεράστηκαν κατά πολύ για τη μεταχείριση του μάρτυρα (Σχήματα 35, 36 & 37).

Η απόκριση των φυτών στις διακυμάνσεις της έντασης του φωτός καθορίζεται επίσης από την PPFD στην οποία προσαρμόζονται τα φύλλα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, στις Μεσογειακές περιοχές επικρατούν υψηλές τιμές PPFD, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του μεσημεριού. Αυτό σε συνδυασμό με υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένη αποτελεσματικότητα της φωτοσύνθεσης σε καλλιέργειες που αναπτύσσονται εντός μη σκιαζόμενων θερμοκηπίων (Barder and Anderson, 1992).

Επιπλέον τα φύλλα του ανώτερου επιπέδου, ανεξαρτήτως μεταχείρισης, είχαν τον υψηλότερο ρυθμό φωτοσύνθεσης, ο οποίος μειώθηκε στα φύλλα των άλλων επιπέδων με μείωση του ύψους της θέσης των φύλλων (Σχήματα 38, 39 & 40). Τα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος, λόγω σκίασης από τα ανώτερα φύλλα απορροφούν λιγότερη ακτινοβολία από ότι τα τελευταία, γι' αυτό και φωτοσυνθέτουν λιγότερο. Επίσης καθώς τα φύλλα αναπτύσσονται, η ικανότητά τους να φωτοσυνθέτουν αυξάνεται μέχρι κάποια χρονική στιγμή και μετά, συνήθως πριν την ωρίμανση, αρχίζει σιγά-σιγά να μειώνεται. Στην περίπτωση μας, είχε ξεκινήσει η διαδικασία της οντογένεσης και στα

δύο κατώτερα επίπεδα φύλλων, οπότε είναι λογικό τα φύλλα αυτά ως μεγαλύτερης ηλικίας να φωτοσυνθέτουν λιγότερο συγκριτικά με τα νεότερης ηλικίας φύλλα (αυτά του ανώτερου επιπέδου).

#### **5.4.2. Στοματική αγωγιμότητα και διαπνοή**

Το ποσό της PPFD επηρεάζει και τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων και συνεπώς τη διαπνοή. Οι Gonzalez-Real and Baille, (2006) παρατήρησαν ότι η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα δίχτυα που χρησιμοποίησαν (περίπου κατά 20% από τα ασκίαστα φυτά) είχε ως αποτέλεσμα αντιφατικές τιμές στην ανταλλαγή αερίων και τη στοματική αγωγιμότητα στο φύλλωμα φυτών πιπεριάς. Πιο συγκεκριμένα, κάτω από τα δίχτυα η στοματική αγωγιμότητα των φύλλων στο ανώτερο μέρος του φυλλώματος αυξήθηκε συγκριτικά με αυτή της υπαίθριας καλλιέργειας, ενώ η στοματική αγωγιμότητα στο μεσαίο επίπεδο φύλλων ήταν παρόμοια μεταξύ των μεταχειρίσεων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται μεγαλύτεροι ή παρόμοιοι ρυθμοί φωτοσύνθεσης και διαπνοής από αυτούς που παρατηρήθηκαν στην ασκίαστη καλλιέργεια. Αντίθετα στα φύλλα στο κατώτερο μέρος του φυλλώματος η φωτοσύνθεση και η διαπνοή βρέθηκαν χαμηλότερες από αυτές της υπαίθριας καλλιέργειας. Ανέφεραν ότι όποτε το ποσό της PPFD είναι υψηλότερο από το επίπεδο που τα φύλλα φθάνουν στο φωτοκορεσμό αναμένεται μείωση του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων που συνοδεύεται από μείωση της φωτοχημικής απόσβεσης και σημαντική αύξηση της μη-φωτοχημικής απόσβεσης. Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας έρχονται σε ταύτιση με αυτά των τελευταίων, καθώς η στοματική αγωγιμότητα για τα φύλλα όλων των επιπέδων βρέθηκε μεγαλύτερη ή παρόμοια με αυτή των φύλλων των φυτών της υπαίθριας καλλιέργειας, με αποτέλεσμα να παρατηρηθούν μεγαλύτεροι ή παρόμοιοι ρυθμοί διαπνοής των φύλλων υπό σκίαση σε σχέση με τα ασκίαστα φύλλα. Το γεγονός αυτό αιτιολογείται γιατί όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μεταχείριση του μάρτυρα ξεπερνούσε κατά πολύ τα όρια της PPFD για τα οποία τα φύλλα της πιπεριάς φθάνουν στο κορεσμό. Οι Cohen et al. (1997) που χρησιμοποίησαν επαλουμινιωμένο ανακλαστικό δίχτυ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στο Ισραήλ διαπίστωσαν ότι η χρήση των διχτυών οδήγησε σε μεγάλες αυξήσεις της στοματικής αγωγιμότητας, οι οποίες σχεδόν αντιστάθμισαν τις μειώσεις που

παρατηρήθηκαν στη διαφορά του κορεσμού του αέρα, έτσι ώστε οι μετρήσεις της διαπνοής κάτω από τα δίχτυα ήταν σχεδόν ίδιες με αυτή της ασκίαστης καλλιέργειας. Παρόλα αυτά το αν ο εγκλιματισμός ή όχι των φυτών στις επικρατούσες συνθήκες φωτισμού μπορεί να βοηθήσει στην αντιστάθμιση της μείωσης των φυσιολογικών λειτουργιών που ίσως αναμένονται υπό σκίαση εξαρτάται από τη συγκεκριμένη συμπεριφορά του φυτικού είδους (Stanhill and Cohen, 2001). Ο περιορισμός της μείωσης του ρυθμού διαπνοής των φύλλων και της «μεσημβρινής κατάθλιψης» του ρυθμού φωτοσύνθεσης λόγω των αυξημένων τιμών στοματικής αγωγιμότητας που παρατηρούνται υπό σκίαση (Raveh et al., 2003) δεν παρατηρείται πάντα σε κάποιες καλλιέργειες (Barradas et al., 2005).

#### **5.4.3. Αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός**

Η αποτελεσματικότητα χρήσης φωτός σε όλα τα επίπεδα φύλλων βρέθηκε υψηλότερη κάτω από τα δίχτυα σε σύγκριση με το μάρτυρα. Πιο συγκεκριμένα στο ανώτερο και το κατώτερο τμήμα του φυλλώματος βρέθηκε αυξημένη κατά 50 και 58% αντίστοιχα, ενώ στο μέσο επίπεδο του φυλλώματος ήταν αυξημένη κατά 28% περίπου. Επομένως παρά το γεγονός ότι η διαπερατότητα των δικτυών μειώθηκε κατά 35% περίπου, η LUE αυξήθηκε περισσότερο από αυτό το ποσοστό. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι κάτω από τα δίχτυα περιορίζεται η φωτοαπαγόρευση (Medina et al., 2002). Επιπλέον ο υψηλότερος λόγος της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας κάτω από τα δίχτυα σε σύγκριση με το μάρτυρα (καθώς όταν η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια υφίσταται σκέδαση και ένα μέρος της μετατρέπεται σε διάχυτη) ευνοεί την ηλιακή ακτινοβολία να διέρχεται στα χαμηλότερα επίπεδα του φυλλώματος και στο να αυξάνει την απορρόφηση από την καλλιέργεια (Abdel Ghany and Al-Helal, 2010). Θεωρητικές και πειραματικές έρευνες δείχνουν ότι σε διάφορα κλίματα μικρές αυξήσεις της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, αν συνοδεύονται από αύξηση του λόγου της διάχυτης ακτινοβολίας, προκαλούν σημαντική αύξηση στη φωτοσύνθεση (Healey et al., 1998). Συνεπώς θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα δικτυοκήπια προστάτευσαν την καλλιέργεια από τις υπερβολικά υψηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, εξασφαλίζοντας όμως ταυτόχρονα τις ελάχιστες απαιτήσεις σε φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία για καλή

αύξηση και ανάπτυξη. Επιπλέον, η χρήση των δικτύων αύξησε το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας και ως εκ τούτου την αποτελεσματικότητα της χρήσης της ακτινοβολίας από την καλλιέργεια.

Σημαντικό στη παρούσα εργασία είναι και ο μακροχρόνιος εγκλιματισμός των φυτών στις αλλαγές της ηλιακής ακτινοβολίας που προκλήθηκαν από τη σκίαση. Ο εγκλιματισμός στο φως των φύλλων του κατώτερου και του μέσου επιπέδου στην σταδιακή σκίαση, η οποία προκλήθηκε από το ανώτερο επίπεδο φύλλων, βρέθηκε παρόμοιος σε όλες τις μεταχειρίσεις υποδεικνύοντας την δράση της διαδικασίας της οντογένεσης (στην οποία οφείλεται ο γηρασμός των φύλλων), η οποία προκάλεσε εποχιακή μείωση στη φωτοσύνθεση των φύλλων (Σχήμα 49). Έχει αναφερθεί ότι σε καλλιέργεια τριανταφυλλιάς, ο βλαστός προσαρμόζει την κατάσταση του αζώτου των φύλλων ανάλογα με το μέσο επίπεδο ακτινοβολίας που επικρατεί κατά τη διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης (Gonzalez-Real and Baille, 2000). Είναι λοιπόν πιθανό ότι η σκίαση έχει επίσης μακροχρόνια (εποχιακή) επίδραση στη φωτοσυνθετική ικανότητα καθώς και στην παραγωγικότητα και την ποιότητα των ανθέων. Συχνά ως προσαρμογή στις επικρατούσες συνθήκες φωτισμού παρατηρούνται αλλαγές στην ανατομία των φύλλων και στο ποσοστό εναπόθεσης της βιομάζας στα διάφορα φυτικά όργανα (Cockhull et al., 1992).

#### **5.4.4. Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού**

Στο ανώτερο επίπεδο φύλλων όλες οι μεταχειρίσεις είχαν παρόμοια WUE, ενώ στα δύο κατώτερα επίπεδα φύλλων ο μάρτυρας εμφάνισε κατά 27% μεγαλύτερη WUE αυτή των δικτυοκηπίων. Τα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση με αυτά των Medina et al., (2002), όπου και διαπίστωσαν πως η χρήση επαλουμινιωμένου ανακλαστικού δικτυού με ποσοστό σκίασης 50%, είχε ως αποτέλεσμα ελαφρώς αυξημένη WUE κάτω από το δίχτυ.

#### **5.5. Σύνθεση αποτελεσμάτων κλίματος και ανάπτυξης της καλλιέργειας**

Στη συνέχεια επιχειρείται η σύνθεση των αποτελεσμάτων του μικροκλίματος με αυτά της ανάπτυξης των φυτών. Τα αποτελέσματα που αφορούν την ανάπτυξη της καλλιέργειας προέρχονται από τη μεταπτυχιακή διατριβή της Νικολάου Χρύσας.

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω χαμηλή τιμή του λόγου ζ (λόγος R : FR) δύναται να οδηγήσει σε αυξημένη επιμήκυνση των βλαστών και συνεπώς σε ψηλότερα φυτά (Kurepin et al., 2007). Παρατηρήθηκε ότι στο τέλος της πειραματικής περιόδου το ύψος των φυτών ήταν παρόμοιο στα διχτυοκήπια W13 και W34 (περίπου 102cm), ενώ τα χαμηλότερα και τα υψηλότερα φυτά παρατηρήθηκαν στο μάρτυρα (94cm) και στο διχτυοκήπιο G36 (120cm) αντίστοιχα. Στη παρούσα εργασία η σχέση που βρέθηκε να διέπει το λόγο ζ και το ύψος των φυτών (ht) είναι:

$$ht = -209\zeta + 356$$

και το  $R^2$  βρέθηκε 0,70. Επιπροσθέτως βρέθηκε ότι το ύψος των φυτών συσχετίζεται αρνητικά με το λόγο τP/τN με  $R^2$  ίσο με 0,79.

Οι Mortensen και Stromme (1987) αξιολόγησαν την επίδραση διαφορετικών φίλτρων, που το καθένα τροποποιούσε διαφορετικά τη ποιότητα του φωτός αλλά με ίδια ένταση φωτισμού, στην ανάπτυξη φυτών χρυσάνθεμου, τομάτας και μαρουλιού. Διαπίστωσαν ότι το πράσινο φίλτρο, που είχε μειωμένη διαπερατότητα στο πράσινο, προκάλεσε αύξηση του ύψους των φυτών και ανέστειλε την έκπτυξη πλάγιων βλαστών συγκριτικά με τα φυτά που αναπτύχθηκαν σε κανονικές συνθήκες φωτός. Οι Rajapakse et al. (1999) παρατήρησαν ότι αυτές οι επιδράσεις καθορίζονται από τις γιββεριλλίνες, καθώς η μετατροπή των ανενεργών γιββεριλλινών στην ενεργή μορφή αναστέλλεται από τη κόκκινη αλλά ενισχύεται από τη μακρινή ερυθρή ακτινοβολία, και συνεπώς ελέγχεται από το φυτόχρωμα (Hedden και Kamiya, 1997, Rajapakse et al., 1999). Τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με αυτά της παρούσας διατριβής καθώς, ενώ τα G36 και W34 είχαν παρόμοιο ποσοστό σκίασης, τα φυτά στο πράσινο δίχτυ ήταν υψηλότερα από αυτά του W34.

Σε αρκετές μελέτες φαίνεται ότι όταν τα φυτά αναπτύσσονται υπό σκίαση, υπάρχει εμφανής αύξηση της παραγωγής (Abdel-Mawgoud et al., 1996, Kittas et al., 2009), ενώ σε κάποιες άλλες έχει διαπιστωθεί ότι οποιοδήποτε ποσοστό σκίασης μειώνει την παραγωγικότητα (Stanhill and Cohen, 2001). Στην παρούσα διατριβή παρά τις σημαντικές διαφορές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στα διχτυοκήπια και το μάρτυρα, η παραγωγή ξηράς ουσίας των φυτών αυξήθηκε λόγω της σκίασης. Η σχέση μεταξύ της ξηράς ουσίας του φυτού (DW, g/m<sup>2</sup>), που περιλαμβάνει ολόκληρο το φυτό



εκτός των ριζών, και του συντελεστή διαπερατότητας στην PAR ( $\tau P$ ), που παρατηρήθηκε στο τέλος της πειραματικής περιόδου φαίνεται στη συνέχεια, ενώ το  $R^2$  βρέθηκε 0,90.

$$DW = -0,51 \tau P + 90$$

Επιπλέον το DW που παρατηρήθηκε στα τρία διχτυοκήπια και στο μάρτυρα συσχετίζεται το ίδιο καλά με το λόγο  $\zeta$  των τριών διχτυοκηπίων και του μάρτυρα. Η σχέση που βρέθηκε είναι:

$$DW = -340 \zeta + 473$$

με  $R^2$  ίσο με 0,94.

Για καλλιέργεια γλυκιάς πιπεριάς, σύμφωνα με τους Gonzalez-Real και Baille (2006), το επίπεδο της PPFD στο οποίο επέρχεται φωτοκορεσμός για τα φύλλα της κορυφής είναι  $1000 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$  ενώ για τα φύλλα στο υπόλοιπο του φυλλώματος το επίπεδο αυτό είναι  $800 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Έτσι όποτε το ποσό της PPFD ξεπερνά αυτά τα όρια, αναμένεται μείωση του ρυθμού μεταφοράς ηλεκτρονίων και έτσι επέρχεται φωτοκορεσμός. Μείωση της PPFD με σκίαση στο επίπεδο, στο οποίο ο ρυθμός φωτοσύνθεσης φθάνει στο κορεσμό δύναται να βοηθήσει το φυτό να διατηρήσει, κατά τις μεσημεριανές ώρες, τα εκτεθειμένα στον ήλιο φύλλα κοντά στη μέγιστη αφομοίωση  $\text{CO}_2$ . Από τα αποτελέσματα της φωτοσύνθεσης, φάνηκε ότι τα όρια της PPFD για τα οποία τα φυτά φθάνουν στο φωτοκορεσμό ξεπεράστηκαν κατά πολύ στη μεταχείριση του μάρτυρα. Πέραν της φυσιολογίας των φυτών, η σκίαση μπορεί να προκαλέσει αλλαγές και στη μορφολογία των φυτών. Οι Raveh et al. (2003) ανέφεραν ότι η αυξημένη ανάπτυξη που παρατηρήθηκε σε σκιασμένα δέντρα εσπεριδοειδών αποδόθηκε περισσότερο στα φύλλα, τα οποία αύξησαν το λόγο βλαστών/ριζών. Όμως στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας, η σκίαση μείωσε το λόγο βλαστών προς τη ξηρά ουσία των φυτών πιπεριάς. Η τιμή του λόγου των φύλλων προς τη βιομάζα βρέθηκε για το μάρτυρα περίπου 0,3, ενώ μειώθηκε στο 0,2 για τα διχτυοκήπια W34 και G36. Ο λόγος των φύλλων προς τη ξηρά ουσία συσχετίστηκε επίσης καλά ( $R^2=0,97$ ) με τις τιμές του λόγου  $\zeta$  όπου παρατηρήθηκε αύξηση του λόγου αυτού με αύξηση του  $\zeta$ . Παρόλα αυτά ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας βρέθηκε παρόμοιος για όλες τις μεταχειρίσεις. Έτσι εξηγείται γιατί οι τιμές της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (SLA) αυξήθηκαν με μείωση του ποσοστού σκίασης. Οι τιμές της SLA που παρατηρήθηκαν ήταν περίπου 17,7 για το μάρτυρα και 14,5 για τα διχτυοκήπια W34 και G36.

## 6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση των διχτυοκηπίων στο μικροκλίμα, στον αερισμό καθώς και τη φωτοσύνθεση της καλλιέργειας. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι:

1. Τα διχτυοκήπια συνέβαλλαν ως ένα βαθμό στη ρύθμιση του μικροκλίματος, ελαττώνοντας την προσπίπτουσα ενέργεια στην καλλιέργεια. Το μικροκλίμα στο οποίο αναπτύσσονταν η καλλιέργεια κάτω από τα δίχτυα ήταν βελτιωμένο λόγω της μικρότερης διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα που καταγράφηκε σε σχέση με τον μάρτυρα. Επιπλέον η υδατική κατάσταση της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις υπό σκίαση ήταν ελαφρώς καλύτερη από τον μάρτυρα λόγω του μικρότερου ελλείμματος κορεσμού καλλιέργειας-αέρα που παρατηρήθηκε στην πρώτη περίπτωση.
2. Τα διχτυοκήπια προστάτευσαν την καλλιέργεια από τις υπερβολικά υψηλές τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας, εξασφαλίζοντας όμως ταυτόχρονα τις ελάχιστες απαιτήσεις σε φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία για καλή αύξηση και ανάπτυξη. Η χρήση των διχτύων αύξησε το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας και ως εκ τούτου την αποτελεσματικότητα χρήσης της ακτινοβολίας από την καλλιέργεια.
3. Εντός των διχτυοκηπίων ο ρυθμός φωτοσύνθεσης μειώθηκε, ενώ επέδρασαν θετικά στη στοματική αγωγιμότητα και τη διαπνοή της καλλιέργειας, περιορίζοντας σε μικρό όμως βαθμό τη μείωση του ρυθμού διαπνοής των φύλλων και τη «μεσημβρινή κατάθλιψη» των φυτών συγκριτικά με το μάρτυρα.
4. Η ταχύτητα του αέρα και συνεπώς ο ρυθμός αερισμού, αλλά και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του αέρα (τύρβη και ένταση της τύρβης) καθώς και η κατανομή αυτών στο εσωτερικό των διχτυοκηπίων ήταν παρόμοια. Μεταξύ των διχτυοκηπίων μεγαλύτερη θερμοκρασία παρουσίασε το W13, καθώς οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας ήταν μεγαλύτερες και επιπλέον η αύξηση της θερμοκρασίας ανά μονάδα εισερχόμενης ακτινοβολίας ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με το W34, το οποίο όμως εμφάνισε μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κατανομή των θερμοκρασιών.

Μία πρόταση για μελέτη στο μέλλον θα μπορούσε να είναι η χρήση διχτύων διαφόρων χρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσε να μελετηθεί η επίδραση διχτυοκηπίων

διαφορετικών χρωμάτων στην τροποποίηση της ποιότητας της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και τι επιπτώσεις έχει αυτό στην καλλιέργεια.

Ενδιαφέρον επίσης θα ήταν η μελέτη της κατανομής του μικροκλίματος να πραγματοποιηθεί σε δύο επίπεδα, ένα στο επίπεδο των φυτών και ένα στο χώρο μεταξύ της οροφής του δικτυοκηπίου και του ύψους των φυτών ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο η παρουσία της καλλιέργειας επηρεάζει τον αερισμό. Ακόμα θα μπορούσαν να συγκριθούν δίχτυα με διαφορετικό πορώδες και αν μεταβάλλεται η κατανομή του μικροκλίματος σε αυτά.

Τέλος σε μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να διερευνηθεί το πως μεταβάλλονται οι παράμετροι του μικροκλίματος, σε σχέση με το ύψος του δικτυοκηπίου.

## 7. Βιβλιογραφία

Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Abd, S.O, Singer, S.M., Abou-Hadid, A.F, and Hsiao, T.C, 1996. Effect of shade on the growth and yield of tomato plants. *Acta Hort.* 434:313-320.

Al-Helal, I.M., and Abdel-Ghany, A.M., 2010. Responses of plastics hading nets to global and diffuse PAR transfer: optical properties and evaluation. *NJAS-Wageningen Journal of LifeSci.* 57, 125-132.

Arcidiacono, A., D' Emilio, A., Mazzarella, and R., Leonardi, C., 2006. Covering materials to improve greenhouse microclimate during summer in hot climates. *Acta Hort.* 719, 247-255

Baille, A., Kittas, C., and Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. and For. Meteor.* 107, 293-306.

Barber, J. and Anderson, B., 1992. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *Trends Biochem. Sci.* 17, 61-66.

Barradas, V.L., Nicolas, E., Torrecillas, A., and Alarcon, J.J., 2005. Transpiration and canopy conductance of young apricot (*Prunus armeniaca* L.) trees subjected to different PAR levels and water stress. *Agric. Wat. Manag.* 77, 323-333.

Britz, S.J., and Sager, J.C., 1990. Photomorphogenesis and photoassimilation in soybean and sorghum grown under broad spectrum or blue-deficient light sources. *Plant Physiol.* 94, 448-454.

Castellano S., Hemming, S., and Russo, G., 2008a. The influence of color on radiometric properties of agricultural nets. *Acta Hort.* 801, 227-236.

Castellano, S., Scarascia, G.M., Russo, G., Briassoulis, D., Mistriotis, A., Hemming, S., and Waaijenberg, D., 2008c. Plastic nets in agriculture: a general review of types and applications. *Appl. Eng. Agric.* 24, 799-808.

Clifford, S.C., Runkle, E.S., Langton, F.A., Mead, A., Foster, S.A., Pearson, S., and Heins, R.D., 2004. Height control of poinsettia using photoselective filters. *HortScience* 39 (2), 383-387.

Cockshull, K.E., 1988. Integration of plant physiology and physical aspects of the greenhouse climate. *Acta Hort.* 229, 113-123.

Cohen, S., Moreshet, S, Guillou, L.L., Simon, J.C., and Cohen, M, 1997. Responses of citrus trees to modified radiation regime in semi-arid conditions. *J. Exp. Bot.* 48, 35-44.

- Cohen, S., Raveh, E., Li, Y., Grava, A., and Goldschmidh, E.E., 2005. Physiological response of leaves, tree growth and fruit yield of grapefruit trees under reflective shading screens. *Sci. Hort.* 107, 15-35.
- Demmig, B., Bjorkman, O., 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77k) and photon yield of O<sub>2</sub> evolution in leaves of higher plants. *Planta.* 171, 171-84.
- Desmarais, G., 1996. Thermal characteristics of screenhouse configurations in a West - African topical climate. PhD thesis, McGill University, Québec, CAN, 172- 177.
- Desmmarais, G., Ratti, C. and Raghavan, G., 1999. Heat transfer modelling of screenhouses. *Solar Energy*, 65, 271- 284.
- Fernandez, J.E., and Bailey, B.J., 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agricultural and Forest Meteorology.* 58, 229-245.
- Gonzalez-Real, M.M., and Baille, A., 2006. Plant response to greenhouse cooling. *Acta Hort.* 719, 427-438.
- González-Real, M.M., Baille, A., 2000. Changes in leaf photosynthetic parameters with leaf position and nitrogen content within a rose plant canopy (*Rosa hybrida*) *Plant Cell Environ.* 23, 351-363.
- Grinberger, A., Shomron, M., and Ganelevin, R., 2000. Shading nets testing. "Torah Va'aretz" Institute, Kfar Darom.
- Healey, K.D., Rickert, K.G., Hammer, G.L., and Bange M.P., 1998. Radiation use efficiency increases when the diffuse component of incident radiation is enhanced under shade. *Aust. J. Agric. Res.* 49, 665-672.
- Hedden, P, and Kamiya, Y, 1997. Gibberellin biosynthesis: enzymes, genes and their regulation. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 48:431-460.
- Hemming, S., 2011. Use of natural and artificial light in horticulture-interaction of plant and technology. *Acta Hort.* 907, 25-35
- Heuvelink, E., 1995b. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a glasshouse. *Scientia Horticulturae.* 61, 77-99.
- Ilić, Z., Milenković, L., Đurovka, M., and Kapoulas, N., 2011. The effect of color shade nets on the greenhouse climate and pepper yield. 46th Croatian and 6th International Symposium on Agriculture. Opatija, Croatia. Symposium Proceedings, pp. 529-533.

Jones, B., 1999. Tomato plant culture. CRC Press. Boca, Raton, London, New York, Washington, D.C. pp. 41.

Kasperbauer, 1988. Phytochrome involvement in the regulation of the photosynthetic apparatus and plant adaptation. *Plant Physiol. Biochem.* 26, 519-524.

Khattak, A.M., and Pearson, S., 2005. Light quality and temperature effects on antirrhinum growth and development. *Journal of Zhejiang University Science.* 6B (2), 119-124.

Kittas, C., Baille, A., and Giaglaras, P., 1999. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. *J. Agric. Engng Res.* 73, 341-351.

Kittas, C., Rigakis, N., Katsoulas, N., and Bartzanas, T., 2009. Influence of shading screens on microclimate, growth and productivity of tomato. *Acta Hort.* 807, 97-102.

Kurepin, L.V., Walton, L.J., and Reid, D.M., 2007b. Interaction of red to far red light ratio and ethylene in regulating stem elongation of *Helianthus annuus*. *Plant Growth Regulation* 51, 53-61.

Medina, C.L., Souza, R.P., Machado, E.C., Ribeiro, R.V., and Silva, J.A.B., 2002. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Scientia Hort.* 96, 115-125.

Miguel, F.A., 1998. Airflow through porous screens: from theory to practical considerations. *Energy and Buildings.* 28, 63-69.

Moller, M., and Assouline S., 2007. Effects of a shading screen on microclimate and crop water requirements. *Irrig. Sci.* 25, 171-181.

Moller, M., Tanny, J., Cohen, S., and Teitel, M., 2003. Micrometeorological measurements in a screenhouse. *Acta Hort.* 614, 445-451.

Moller, M., Tanny, J., Li, Y., and Cohen, S., 2004. Measuring and predicting evapotranspiration in an insect-proof screenhouse. *Agric For Meteorol.* 127, 35-51.

Mortensen, L.M., and Stromme, E., 1987. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Hort.* 33, 27-36.

Nicolas, E., Barradas, V.L., Ortuno, M.F., Navarro, A., Torrecillas, A., and Alarcon, J.J., 2008. Environmental and stomatal control of transpiration, canopy conductance and decoupling coefficient in young lemon trees under shading net. *Environmental and Experimental Botany.* 63, 200-206.

Ogren, E., and Evans, J.R., 1992. Photoinhibition of photosynthesis in situ in six species of *Eucalyptus*. *Aust. J. Plant Physiol.* 19, 223-232.

Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y.E., and Shahak, Y., 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76, 353-361.

Papadopoulos, A.P., and Ormrod., D.P., 1988b. Plant spacing effects on photosynthesis and transpiration of the greenhouse tomato. *Can. J. Plant Sci.* 68, 1209-1218.

Pearce, B.D., Grange, R.I., and Hardwick, K., 1993a. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. *Journal of Horticultural Science.* 68, 1-11.

Pearce, B.D., Grange, R.I., and Hardwick, K., 1993b. The growth of young tomato fruit. II. Environmental influences on glasshouse crops grown in rockwool or nutrient film. *Journal of Horticultural Science.* 68, 13-23.

Picuno, P., 2006. Air permeability of nets for protected cultivation. *Colture protette.* 35, 83-87.

Rajapakse, N.C., and Kelly, J.W., 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117, 481-485.

Rajapakse, N.C., Young, R.E., McMahon, M.J., and Oi, R., 1999. Plant height control by photoselective filters: Current status and future prospects. *HortTechnology* 9, 618-624.

Raveh, E., Cohen, S., Raz, T., Yakir, D., Grava, A., and Goldschmidt, E.E., 2003. Increased growth of young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *Jour. of Exper. Bot.* 54, 365-373.

Romero-Gamez, M., Suarez-Rey, E.M., Castilla, N., and Soriano, T., 2012. Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. *Spanish Journal of Agricultural Research.* 10, 306-313.

Runkle, E.S., and Heins, R.D., 2001. Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126, 275-282.  
Rylski, I., and Spigelman, M., 1986. Effect of shading on plant development, yield and fruit quality of sweet pepper grown under conditions of high temperature and radiation. *Scientia Horticulturae.* 29, 31-35.

Salisbury, B.F., and Ross W.C., 1964. *Plant Physiology*, Wadsworth Publishing Company, pp: 60-68.

Santos, B., Rios, D., and Nazco, R., 2006. Climatic conditions in tomato screenhouses in Tenerife (Canary Islands). *Acta Hort.* 719, 215-221.

Schettini, E., De Salvador, F. R., Scarascia-Mugnozza, G., and Vox, G., 2011. Radiometric properties of photoselective and photoluminescent green house plastic films

and their effects on peach and cherry tree growth. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 286 (1), 79-83.

Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal, E., and Ganelevin, R., 2004. ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort.* 659, 143-151.

Sica, C., and Picuno, P., 2008. Spectro-radiometrical characterization of plastic nets for protected cultivation. *Acta Hort.* 801, 245-252.

Siqueira, M., Katul, G., and Tanny, J., 2012. The effect of the screen on the mass, momentum, and energy exchange rates of a uniform crop situated in an extensive screenhouse. *Boundary-layer Meteorology*. 142, 339-363.

Smith H., 1982. Light quality, photoperception and plant strategy, *Annual Review of Plant Physiology* 33, 481-518.

Smith, I.E., Savage, M.J., and Mills, P., 1984. Shading effects on greenhouse tomatoes and cucumbers. *Acta Hort.* 148, 229-237.

Soni, P., Salokhe, V.M., and Tantau, H. J., 2005. Effect of screen mesh size on vertical temperature distribution in naturally ventilated tropical greenhouses. *Biosyst. Eng.* 92, 469-482.

Stanhill, G., and Cohen, S., 2001. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion on its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. For. Meteorol.* 107, 255-278.

Taiz, L., and Zeiger, E., 2002. *Plant Physiology*, Third edition, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA. pp: 107-108.

Tanny, J., and Haijun, L., 2006. Airflow characteristics, energy balance and eddy covariance measurements in banana screenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*. 139, 105-118.

Tanny, J., Cohen, S., and Teitel, M., 2003. *Screenhouse Microclimate and Ventilation: an Experimental Study*. *Biosystems Engineering* 84 (3), 331-341.

Tanny, J., Cohen, S., Grava, A., Naor, A., and Lukyanov, V., 2009a. The effect of shading screens on microclimate of apple orchards. *Acta Hort.* 807, 103-108.

Teitel, M., 2007. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 143, 159-175.

Teitel, M., and Shklyar, A., 1998. Pressure drop across insect-proof screens. *Trans.* 41, 1829-1834.



Teitel, M., Dvorkin, D., Haim, Y., Tanny, J., and Seginer, I., 2009. Comparison of measured and simulated flow through screens: Effects of screen inclination and porosity. *Biosyst. Eng.* 104, 404-416.

Varlet-Grancher, C., Moulia, B., Sinoquet, H., and Russel, G., 1993. Spectral modification of light within plant canopies: How to quantify its effects on the architecture of plant stand. In: *Crop Structure and Light Microclimate. Characterization and Applications*. Varlet-Grancher, C., Bonhomme R., and Sinoquet, H. eds. Paris, INRA. pp: 427-451.

Willis, G.E., and Deardorf, J.W., 1976. On the use of Taylor's translation hypothesis for diffusion in the mixed layer. *Quart. J. Roy. Soc.* 164, 467-490.

Zhang, J.Z., Shi, L., Shi, A.P., and Zhang, Q.X., 2004. Photosynthetic responses of four *Hosta* cultivars to shade treatments. *Photosynthetica.* 42, 213-218.

Καρατάγλης, Σ., 1994. Φυσιολογία φυτών. Έκδοση Γ, Εκδόσεις Art of text, Αθήνα. σελ.: 246-247.

Μαυρογιανόπουλος, Γ.Ν., 1999. Θερμοκήπια. Έκδοση Γ, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. σελ.: 53-62.

Τσέκος, Ι.Β., 2003. Φυσιολογία Φυτών. Τόμος Ι. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη Α.Ε. Θεσσαλονίκη. σελ.: 257.

Internet:

[http1: // www.meteor.co.il](http://www.meteor.co.il).

[http2: //www.polysack.com/files/cf8ed7312fe796d76fb634a6fb0899ed.pdf](http://www.polysack.com/files/cf8ed7312fe796d76fb634a6fb0899ed.pdf).