



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείρισή Περιβάλλοντος»

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΟΠΙΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

«Εκτίμηση της διαπνοής φυτών τριανταφυλλιάς σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, εγκατεστημένων σε σύστημα υδροπονίας.»

Καπανιάρης Πάρις

Βόλος 2022

«Εκτίμηση της διαπνοής φυτών τριανταφυλλιάς σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, εγκατεστημένων σε σύστημα υδροπονίας.»

Καπανιάρης Πάρις

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

- 1) Χρήστος Λύκας**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Ανθοκομία, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.
- 2) Νικόλαος Κατσούλας**, Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές – Θερμοκήπια, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.
- 3) Σπυρίδων Πετρόπουλος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Λαχανοκόμιας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

Copyright © ΠΑΡΙΣ ΚΑΠΑΝΙΑΡΗΣ, 2022.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Χρήστο Λύκα για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα Μαρία Ζωγράφου για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά της, όσον αφορά την προμήθεια εργαστηριακού υλικού και την συμπαράστασή της κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και στην σύντροφό μου για την στήριξη τους καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι ανάγκες μιας υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς σε νερό κατά την περίοδο ανάπτυξης, μπορεί να αλλάζουν σημαντικά ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και τις καλλιεργητικές μεθόδους. Ο σκοπός αυτής της εργασίας ήταν να εκτιμηθούν οι ανάγκες σε νερό των φυτών τριαντάφυλλου (Miss Piggy) που καλλιεργήθηκαν σε υδροπονικό σύστημα. Για τον λόγο αυτό μετρήθηκε η διαπνοή και η φυλλική επιφάνεια των φυτών αμέσως μετά την μεταφύτευσή τους. Η διαπνοή των φυτών (Tr) υπολογίστηκε βάσει ενός απλουστευμένου μοντέλου που προέρχεται από την εξίσωση Penman - Monteith, σύμφωνα με τις κλιματικές παραμέτρους του θερμοκηπίου και τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Η LA κυμαίνονταν από $13,75 \text{ cm}^2$ έως $188,07 \text{ cm}^2$ ανά φυτό. Επιπλέον τα φυτά χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις ανάλογα με την φυλλική τους επιφάνεια. Όσο για την διαπνοή των φυτών οι τιμές παρουσιάστηκαν από 9 gr έως 188,07 gr ανά φυτό. Η Tr εκτιμήθηκε βάσει μοντέλου που περιλαμβάνει LAI. Το μοντέλο ανταποκρίθηκε αποτελεσματικά όταν η LA της καλλιέργειας μετέβηκε στην τρίτη κλάση (151 cm^2 έως 210 cm^2). Αντίθετα, κανένα από τα μοντέλα διαπνοής δεν υπολόγισε την διαπνοή φυτών με LA μικρότερη από 151 cm^2 .

Λέξεις κλειδιά: Υδροπονία, Φυλλική επιφάνεια, Διαπνοή

SUMMARY

Water needs of a soilless rose crop during a growing period, may alter significantly depending on plants growth stage and cultivation treatments. The aim of this work was to estimate the water needs of rose plants (cv. Miss Piggy) cultivated in a closed hydroponic system. For this purpose, plants Tr and LA were measured on plants after just replanting. Plants Tr was estimated based on simplified models derived from Penmann-Monteith equation, according to greenhouse climate parameters and crops Leaf Area Index (LAI). The LA varied from $13,75 \text{ cm}^2$ to $188,07 \text{ cm}^2$ per plant. The plants were divided into three classes depending on their leaf area. The Tr varied from 9 gr to 188,07 gr per plant. Tr estimated by model that include LAI. The model responded effectively when the LA of the crop went to the third class (151 cm^2 to 210 cm^2). However, no one of the transpiration models estimated the transpiration of plants with LA smaller than 151 cm^2 .

Keywords: Hydroponics, Leaf area, Transpiration

«Εγώ, ο Πάρις Καπανιάρης, είμαι ο συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν Μ.Δ.Ε. ή ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό ή 9 άλλο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού ή εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.»

Υπογραφή

«Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον κ. Πάρι Καπανιάρη».

Υπογραφή

Περιεχόμενα	
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
SUMMARY	5
1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.1. Σκοπός & συνοπτική περιγραφή του αντικειμένου της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης	9
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
2.1. Διαπνοή	10
2.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή.....	12
2.2. Η σημασία της φυλλικής επιφάνειας στην διαπνοή των φυτών	14
2.3. Στάδια ανάπτυξης φυτών	16
2.4. Μοντέλα διαπνοής	18
2.4.1. Μοντέλα διαπνοής σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς.....	19
2.5. Η σημασία της Διαπνοής σε Υδροπονικό σύστημα	21
3. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ	22
3.1. Φυτικό υλικό	22
3.2. Εγκατάσταση φυτών	22
3.3. Μετρήσεις	23
3.4. Στατιστική Ανάλυση	24
3.5. Σύσταση θρεπτικού διαλύματος	24
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	25
4.1. Κλιματικές παράμετροι	25
4.2. Φυλλική Επιφάνεια	27
4.3. Διαπνοή	28
4.4. Κατάταξη της φυλλικής επιφάνειας σε κλάσεις	30
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38
6.1. Ελληνική Βιβλιογραφία	38
6.2. Ξένη Βιβλιογραφία	38
6.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία	44

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

1.1. Σκοπός & συνοπτική περιγραφή του αντικειμένου της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης

Σκοπός της εργασίας αποτελεί η εκτίμηση της διαπνοής των φυτών τριανταφυλλιάς σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης, τα οποία θα είναι εγκατεστημένα σε υδροπονικό σύστημα. Η εκτίμηση αυτή θα βοηθήσει στην διαχείριση της άρδευσης των φυτών ιδιαίτερα όταν αυτά είναι σε πολύ νεαρό στάδιο ανάπτυξης.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατανάλωση νερού στις καλλιέργειες έχει ιδιαίτερη σημασία στις μέρες μας καθώς το ενεργειακό κόστος συνεχώς αυξάνεται. Επιπλέον η σημαντικότητα της χαρακτηρίζεται υψηλή λόγω και της έλλειψης των υδάτινων πόρων που αντιμετωπίζουν σήμερα οι καλλιεργητές αφού οι πηγές ύδατος στον κόσμο ολοένα και μειώνονται (FAO, 2002). Πολλές μελέτες που διεξήχθησαν κατά τα τελευταία χρόνια αναφέρονται στην αποτελεσματικότητα της προγραμματισμένης άρδευσης για την καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς σε θερμοκήπιο, δεδομένου ότι είναι μία καλλιέργεια υψηλής αξίας (Valencia et al., 2018, Arevalo et al., 2014, Bolla et al., 2010). Το βέλτιστο πρόγραμμα άρδευσης για την καλλιέργεια της τριανταφυλλιάς έχει μεγάλη σημασία καθώς καταφέρνουμε να εξοικονομούμε νερό και ενέργεια. Επιπλέον τα φυτά δεν καταπονούνται από την έλλειψη νερού και οδηγούνται σε αυξημένη ανάπτυξη και υψηλότερη ποιότητα των άνθων (Katsoulas et al, 2006, Ravin & Blom, 2001). Η Chimonidou-Pavlidou (1996, 1999) αναφέρει ότι μπορεί να προκληθεί βλάβη στο τελικό προϊόν όταν το φυτό είναι υπό έλλειψη ή μηδενική διαθεσιμότητα νερού, με τελικό αποτέλεσμα την κατώτερη δυνατή ανθοφορία. Επίσης, η παραγωγή καθυστερείτε από 10 έως 15 ημέρες, όταν η φυλλική επιφάνεια αναπτύσσεται κάτω από το συνθήκες ξηρασίας (Caballero et al., 1996). Αντίθετα όταν αρδεύεται υπερβολικό νερό, τα φυτά κινδυνεύουν εξαιτίας του μειωμένου αερισμού του υποστρώματος με σύνηθες συμπτώματα το κιτρίνισμα των φύλλων ή την χλώρωση των φύλλων όπως και την πτώση των ριζών (White and Holcomb, 1987). Η συγκέντρωση του νερού στα φυτά εξαρτάται από το νερό που είναι διαθέσιμο στο υπόστρωμα, το ποσοστό απορρόφησης του από τις ρίζες και την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα. Τα απλοποιημένα μοντέλα διαπνοής όπως η Penmann-Monteith's δεν λαμβάνουν υπόψη τα διαφορετικά φαινολογικά στάδια μιας τριανταφυλλιάς από τη φύτευση έως τη συγκομιδή, παρά το γεγονός ότι η περιοχή

φύλλων φυτών (LA), που επηρεάζει σημαντικά τη διαπνοή των φυτών, είναι διαφορετική σε όλα αυτά τα στάδια. Η ηλικία των φυτών είναι ένας άλλος κύριος παράγοντας που έχει την ικανότητα να επηρεάσει το ποσοστό ακρίβειας ενός μοντέλου διαπνοής. Τα νεαρά και τα παλιά φύλλα συμπεριφέρονται διαφορετικά, όσον αφορά το ρυθμό της διαπνοής τους, στην ίδιες κλιματικές συνθήκες και παραμέτρους του νερού (CechinI et al., 2010, Greer , 2012). Επιπρόσθετα, μπορεί να συμβεί μεταβολή στον ρυθμό διαπνοής των φυτών μετά από κάθε καλλιεργητική μεταχείριση (Kim et al., 2004).

2.1. Διαπνοή

Η διαπνοή είναι μια εκ των τριών κύριων λειτουργιών των φυτών μαζί με τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή (Taiz & Zeiger, 2012). Η ποσότητα στο σύνολο του νερού που απορροφάτε και μεταφέρεται μέσα στα φυτά, κινείται λόγω της αρνητικής πίεσης, που δημιουργείται από την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα, γνώριμη ως διαπνοή. Ο κινητήριος μοχλός που διεγείρει τη διαπνοή είναι η διαφορά υδατικού δυναμικού μεταξύ του νερού στο φύλλο και την ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού που χρησιμοποιούν τα φυτά απορροφάτε από τις ρίζες. Το νερό κινείται από τις ρίζες προς τα φύλλα, μέσω του αγωγού ιστού, όπου και ελευθερώνεται με τη μορφή υδρατμών από τα στόματα με τη διαδικασία της διαπνοής. Το 95% του νερού που απορροφούν τα φυτά χάνεται εξαιτίας τις διαπνοής, ενώ το υπόλοιπο έχει ως στόχο να καλύψει τις φυσιολογικές και βιοχημικές τους λειτουργίες (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Τα στόματα έχουν την ικανότητα τόσο να ανοίγουν όσο και να κλείνουν. Το φυτό ελέγχει τη διαπνοή και την ρυθμίζει σύμφωνα με το ποσοστό του νερού στο έδαφος (Εικόνα 2.1).

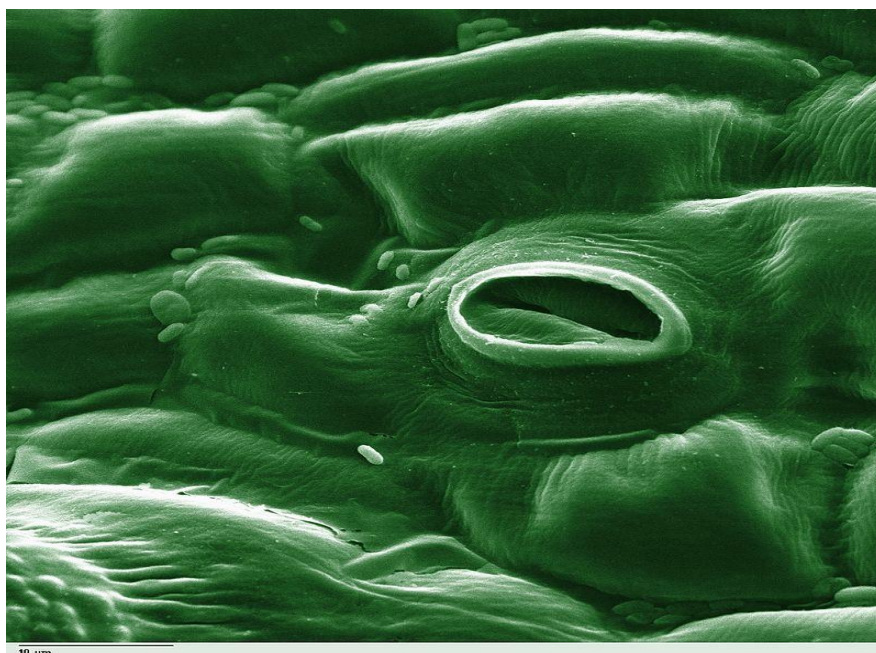


Εικόνα 2.1.: Διαδικασία διαπνοής. (Νταλακούδης, 2009)

Η μετακίνηση του νερού στο αγωγό σύστημα των φυτών είναι υψίστης σημασίας για το φυτικό οργανισμό καθώς το νερό είναι:

1. Η κυριότερη ουσία για την σύνθεση των οργανικών ενώσεων.
2. Άριστο διαλυτικό μέσο, όπου όλες οι χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα.
3. Το μεταφορικό μέσο για τις ουσίες στο φυτό.
4. Πηγή σπαργής για τα φυτικά κύτταρα
5. Ο κύριος ρυθμιστής της θερμοκρασίας του φυτού (Nilson & Assmann, 2007).

Η διαπνοή διακρίνεται σε επιδερμική, που γίνεται δια της εφυμενίδας και στοματική που γίνεται δια μέσου των στομάτων. Η επιδερμική διαπνοή δεν μπορεί να ρυθμιστεί από το φυτό. Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται εξαρτάται κυρίως από την σχετική υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα. Τα στόματα υπάρχουν στο φυτό για να εξυπηρετούν την ανταλλαγή των αερίων και την φωτοσύνθεση (Εικ.2.2.) .



Εικόνα 2.2: Στομάτιο φυτού κατά την διαπνοή. (www.remf.dartmouth.edu)

Με δεδομένο ότι ο ρυθμός διαπνοής κοντρολάρεται από τα φυτά μέσω της ρύθμισης του ανοίγματος των στομάτων, η διαπνοή μειώνεται καθώς η διαθεσιμότητα νερού είναι μικρή και τείνει προς το μηδέν όσο διαρκεί η νύχτα όπου η φωτοσύνθεση ολοκληρώνεται και τα στόματα κλείνουν. Χαρακτηριστικά τα χαμηλά επίπεδα διαπνοής οφείλονται σε διάφορες αιτίες, όπως στο κλείσιμο των στομάτων που είναι αποτέλεσμα των υψηλών επιπέδων έλλειψης κορεσμού όταν το σύστημα σκίασης δεν λειτουργήσει. Η υψηλή θερμοκρασία του υποστρώματος κατά τη διάρκεια του απογεύματος, όπως και ο κακός αερισμός του ριζικού συστήματος μπορεί επίσης να μειώσει την πρόσληψη νερού από τις ρίζες (Baille et al., 1994). Οι ευεργετικές επιδράσεις για το φυτό που απορρέουν από την λειτουργία της διαπνοής είναι η άνοδος του νερού και των θρεπτικών στοιχείων από τη ρίζα προς τα φύλλα. Επιπλέον μειώνει τη θερμοκρασία των φύλλων και τα προστατεύει από την υπερθέρμανση (Ριζοπούλου κ.ά., 2015).

2.1.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή

Ο ρυθμός της διαπνοής επηρεάζεται από παράγοντες του φυτού και του περιβάλλοντος αέρος καθώς και του εδάφους (Πίνακας 2.1). Ο αριθμός και η έκταση των στοματικών, η έκταση της συνολικής επιφάνειας φύλλων, το πάχος της εφυμενίδας, η ύπαρξη κηρώδους επιφάνειας των φύλλων, η ύπαρξη τριχών, η ικανότητα του ριζικού συστήματος να τροφοδοτεί το φυτό με νερό, η

πρωτοπλασματική διαπερατότητα είναι οι σπουδαιότεροι εσωτερικοί παράγοντες του φυτού. (Casadebaig et al., 2008). Συγκεκριμένα οι περιβαλλοντικές παράμετροι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του αέρα, τη σχετική υγρασία και την ένταση του φωτισμού. Η ταχύτητα της διαπνοής συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με το άνοιγμα και το κλείσιμο των στομάτων (Meletiου-Christou & Rhizoroulou, 2012).

Η θερμοκρασία του αέρα είναι ένας εκ των σημαντικότερων παραγόντων. Η ταχύτητα εξάτμισης του νερού διπλασιάζεται όταν αυξηθεί η θερμοκρασία κατά 10°C, ενώ τα στομάτια κλείνουν όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα υπερβαίνει τους 35°C. Η σχετική υγρασία αποτελεί επίσης έναν σημαντικό παράγοντα, καθώς η ταχύτητα της διαπνοής παρουσιάζει αναλογική σχέση με την διαφορά πίεσης των υδρατμών μεταξύ των μεσοκυττάρων χώρων και της επιφάνειας του φύλλου. Το νερό όταν έχει την μορφή των υδρατμών μετατοπίζεται αρκετά πιο αργά σε αέρα που είναι ήδη κορεσμένος με υδρατμούς (Tullus et al., 2012). Στην περίπτωση της άπνοιας, οι υδρατμοί που διαρέουν από τους στοματικούς πόρους στην ατμόσφαιρα συγκεντρώνονται πάνω από τον στοματικό πόρο. Με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα κρίσιμο στρώμα υδρατμών, όπου το πάχος του συσχετίζεται με την μορφολογία της φυλλικής επιφάνειας (π.χ. ύπαρξη τριχώματος). Το στρώμα των υδρατμών εμποδίζει την έξοδο των υδρατμών από τον ανοικτό στοματικό πόρο (Ριζοπούλου κ.ά., 2015). Όσον αφορά το φως, η ένταση του είναι ανάλογη με το άνοιγμα του στοματικού πόρου. Συνεπώς, όταν πραγματοποιείται εντονότερη διαπνοή τότε στον ίδιο χρόνο εισέρχεται στο μεσόφυλλο μεγαλύτερη ποσότητα CO_2 άρα και πιο έντονη φωτοσύνθεση. Διαπνοή και φωτοσύνθεση είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Εκτός της έντασης του φωτός, η συγκέντρωση CO_2 κατέχει πρωτεύοντα ρόλο. Η πλειοψηφία των φυτών μεγαλώνουν τη φωτοσυνθετική τους δραστηριότητα όσο η συγκέντρωση του CO_2 αυξάνεται (Evans, 2013). Παρόλα αυτά σε μεγάλες συγκεντρώσεις τα στόματα κλείνουν και η φωτοσύνθεση εμποδίζεται. Το νερό έχει έντονη συμμετοχή στις αντιδράσεις της φωτοσύνθεσης ως δότης ηλεκτρονίων στο $NADP^+$. Η απουσία του οδηγεί στην ελάττωση του υδατικού δυναμικού των μεσοκυττάρων χώρων, στο κλείσιμο των στομάτων και την διακοπή της φωτοσύνθεσης (Sellin et al., 2014). Μελέτες έδειξαν πως η συσσώρευση ακτινοβολίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας προκάλεσε ημερήσιο έλλειμμα διαπνοής και αγωγιμότητας. Σε περιπτώσεις που το σύστημα σκίασης λειτουργεί το παραπάνω φαινόμενο ήταν λιγότερο έντονο. Σε προγενέστερες μελέτες,

τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημασία όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της διαπνοής των φυτών (Katsoulas et al., 2001). Συγκεκριμένα ο ρυθμός διαπνοής αυξάνεται γραμμικά με την ηλιακή ακτινοβολία, το έλλειμμα πίεσης ατμού και την ταχύτητα του αέρα. Η θερμοκρασία του αέρα, η συγκέντρωση του CO_2 και η θερμοκρασία του αγωγού ποτίσματος δεν έχει σημαντική επίδραση (Jolliet & Bailey, 1991). Η επάρκεια του ριζικού συστήματος θα μπορούσε να λογίζεται ως παράμετρος που μπορεί επίσης να επηρεάσει την διαπνοή μιας καλλιέργειας (Aston & Lawlor., 1979).

Πίνακας 2.1.: Παράγοντες ρυθμού διαπνοής φυτού

Περιβαλλοντικοί παράγοντες	Παράγοντες που σχετίζονται με τη μορφολογία του φυτού
Θερμοκρασία της ατμόσφαιρας	Το είδος του φυτού
Υγρασία της ατμόσφαιρας	Η επιφάνεια των φύλλων
Άνεμοι	Ο αριθμός των στομάτων ανά τετ. εκατ. της επιφάνειας του φύλλου.

2.2. Η σημασία της φυλλικής επιφάνειας στην διαπνοή των φυτών

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI) μιας κόμης L_0 δείχνει την επιφάνεια των φύλλων στο σύνολο της ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Ορίστηκε από τον Watson (1947) ως το συνολικό εμβαδόν της μίας πλευράς των φύλλων ανά μονάδα εμβαδού του εδάφους: $LAI = \frac{Leaf\ Area}{Ground\ Area} [\frac{m^2}{m^2}]$ (Watson, 1947).

Η φυλλική επιφάνεια (LA) αντιπροσωπεύει την επιφάνεια της μίας πλευράς των φύλλων, ενώ ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI- leaf area index), όπως ορίστηκε παραπάνω, εκφράζει το συνολικό άθροισμα της επιφάνειας της μίας πλευράς των φύλλων της φυτικής κόμης ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους (m^2 φυλλικής επιφάνειας/ m^2 επιφάνειας εδάφους) (Kvet and Marshall, 1971). Ο LAI συσχετίζεται με παραμέτρους για κάθε οικοσύστημα, όπως το μικροκλίμα μέσα και κάτω από τον θόλο, την διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας και την κρίσιμη επιφάνεια μέσω της οποίας πραγματοποιούνται ανταλλαγές αερίων ανάμεσα στο θόλο και την ατμόσφαιρα (Watson, 1947). Οπότε ο δείκτης LAI είναι ένας βασικός παράγοντας των βιογεωχημικών κύκλων στα οικοσυστήματα. Μοντέλα φωτοσύνθεσης θόλου και παραγωγικότητας οικοσυστημάτων χρησιμοποιούν τιμές LAI ως δεδομένα εισόδου για την ποσοτικοποίηση των αναλύσεων της παραγωγικότητας, καθώς ο

συγκεκριμένος δείκτης είναι άκρως σημαντικός για την μετατροπή των δεδομένων ανταλλαγών αερίων από επίπεδο φύλλου σε επίπεδο θόλου ή οικοσυστήματος. (Ross, 1981). Το φύλλο του φυτού είναι όργανο διαπνοής και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι μια βασική μεταβλητή ώστε να εκτιμήσει το χαμένο νερό. Βέβαια εξακολουθεί να αποτελεί ένα αδύναμο σημείο στην εκτίμηση της ανάπτυξης των καλλιεργειών (Wang et al., 2017). Η φυλλική επιφάνεια επηρεάζεται σημαντικά με την διαθέσιμη ποσότητα νερού στο έδαφος – υπόστρωμα (Patane, 2011). Ο χαμηλός δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι πολύ πιθανό να περιορίζει τον ρυθμό διαπνοής και να εμποδίζει την ψύξη και την υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου (Baille et al., 1994). Επιπλέον κατά τη νυχτερινή περίοδο ο ρυθμός διαπνοής μπορεί να υπολογιστεί από τις μετρούμενες τιμές του δείκτη της φυλλικής επιφάνειας, της θερμοκρασίας του φύλλου, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του σημείου δροσιάς (Seginer, 1984).

Η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας είναι συνήθως απαραίτητη στα πεδία των μελετών που σχετίζονται με την ακτινοβολία, τη φωτοσύνθεση, την διαπνοή και την ανάλυση της ανάπτυξης (Goudrian & Van Laar., 1994). Για παράδειγμα στο φυτό της ελιάς η εκτίμηση της φυλλικής επιφάνειας είναι χρήσιμο κριτήριο γονότυπου γρήγορης ανάπτυξης και πρώιμης ανθοφορίας (Pritsa et al., 2003).

Οι παραδοσιακές μέθοδοι υπολογισμού της φυλλικής επιφάνειας πραγματοποιούνται με χαρτί μιλιμετρέ που περιλαμβάνει συντελεστή μέτρησης και μέτρηση εμβαδού φύλλων. Μια μέθοδο που προτάθηκε επίσης, ήταν ένας τύπος παλινδρόμησης με βάση τον συντελεστή μέτρησης και το μήκος-πλάτος του φύλλου (Bylesjo et al., 2008). Η εργασία των (Flavio & Marcos., 2002) διαπίστωσε πως η διατομή των φύλλων είναι ακριβή και δύσκολη. Με την ανάπτυξη των τεχνολογικών μέσων, όπως η επεξεργασία εικόνας και η ψηφιακή φωτογραφία χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) (Chianucci et al., 2014) (Chunwei et al., 2013).

Το TOMGRO είναι ένα μοντέλο ανάπτυξης και απόδοσης τις καλλιέργειας τομάτας, το οποίο με μια σειρά από διαφορετικές εξισώσεις αντιπροσωπεύει τις αλλαγές στον αριθμό και το βάρος των φύλλων, των καρπών, των τμημάτων των στελεχών, τις διαφορές στη φυλλική επιφάνεια όπως και την έναρξη των νέων οργάνων. Επιπλέον υποδεικνύει την ηλικία-γήρανση και το πότε και σε ποια φυτά πρέπει να γίνει κλάδεμα της καλλιέργειας (Gallardo et al., 2009). Το μοντέλο του

δείκτη της φυλλικής επιφάνειας (LAI) στο MGRO λαμβάνει υπόψη τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, τους εμπειρικούς συντελεστές και την πυκνότητα των φυτών (Rodríguez et al., 2015).

2.3. Στάδια ανάπτυξης φυτών

Εκτεταμένη κλίμακα BBCH

Η «εκτεταμένη κλίμακα BBCH» (Hack et al., 1992) θεωρεί 10 βασικά στάδια ανάπτυξης από 0 έως 9. Για τα τριαντάφυλλα αρχίζουν με διόγκωση των φύλλων ή τη βλάστηση των σπόρων (στάδιο 0). Η φυτική ανάπτυξη εξετάζεται σε τρία βασικά στάδια που αντιστοιχούν στην ανάπτυξη φύλλων (στάδιο 1), σχηματισμό βασικών πλευρικών βλαστών (στάδιο 2) και ανάπτυξη των κλαδιών του φυτού (στάδιο 3). Η μεταφύτευση των φυτών τριανταφυλλιάς είναι το στάδιο 4. Η εμφάνιση άνθους θεωρείται το στάδιο 5 και η πρόωμη άνθιση το στάδιο 6. Η κυρίως ανάπτυξη των καρπών (στάδιο 7), η ωρίμανση των καρπών (στάδιο 8) και ο λήθαργος (στάδιο 9) συμπληρώνουν την κλίμακα κύριων σταδίων ανάπτυξης.

Στάδια ανάπτυξης των τριαντάφυλλων

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 0: Βλάστηση ή ανάπτυξη οφθαλμών.

Η βλάστηση του σπόρου και η ανάπτυξη του οφθαλμού των πολυετών καλλιεργειών αποτελούν το κύριο στάδιο ανάπτυξης BBCH 0 (Hack et al, 1992). Ανάλογα με το είδος του τριαντάφυλλου οι σπόροι του χρειάζονται από 5 έως 12 μήνες μετά από την φύτευση τους ώστε να αρχίζουν να αναπτύσσονται.

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 1: Ανάπτυξη φύλλων.

Σε αυτό το στάδιο ανάπτυξης μετριούνται τα φύλλα που αναπτύσσονται από τον κύριο βλαστό. Η ανάπτυξη φύλλων του τριαντάφυλλου από τους σπόρους αρχίζει μετά την ολοκλήρωση ανάπτυξης των κοτυληδόνων. Έτσι, κάθε φύλλο που αναδύεται από τον κύριο βλαστό προσμετράτε μέχρι να φτάσουμε στο ένατο φύλλο που πιστοποιεί και το τέλος του σταδίου ανάπτυξης 1. (Meier, 2003).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 2: Σχηματισμός βασικών πλευρικών βλαστών.

Στο στάδιο αυτό αρχίζουν να κάνουν την εμφάνιση τους πλευρικοί βλαστοί.

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 3: Κύρια επιμήκυνση του στελέχους.

Η περιγραφή της εξέλιξης του στελέχους ισχύει τόσο για τα άγρια όσο και για τα καλλιεργημένα τριαντάφυλλα. Η ανάπτυξη του στελέχους είναι το μήκος του στελέχους μιας συγκεκριμένης ποικιλίας σε συγκεκριμένη περίοδο βλάστησης ως ποσοστό του τελικού του μήκους (Meier et al., 2009).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 4: Ανάπτυξη και μεταφύτευση των νεαρών φυτών τριανταφυλλιάς.

Τα νέα φυτά τριανταφυλλιάς είναι ώριμα και έτοιμα για μεταφύτευση. Η συλλογή των μοσχευμάτων, η διαλογή, η αποθήκευση και η παράδοση του φυτικού υλικού ανήκουν επίσης στο στάδιο αυτό.

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 5: Εμφάνιση ανθέων.

Τα διαφορετικά είδη του τριαντάφυλλου είναι σε θέση να ανθίσουν μία, δύο ή τρεις φορές κατά τη διάρκεια ενός έτους. Οι ταξιανθίες των ειδών με πολλαπλές περιόδους άνθησης αναπτύσσουν τα λουλούδια τους σύμφωνα με την ποικιλία και τις κλιματικές συνθήκες σε διαφορετικές περιόδους από νωρίς το καλοκαίρι μέχρι αργά το καλοκαίρι (Meier et al., 2009).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 6: Ανθοφορία.

Το στάδιο ανάπτυξης 6 είναι ίσως το πιο σημαντικό στάδιο στην φαινολογική ανάπτυξη ενός τριαντάφυλλου. Εδώ, το στάδιο της κύριας συγκομιδής των τριαντάφυλλων ορίζει την αξία διακόσμησης του φυτού. Η πλήρης ανθοφορία καθορίζει το συγκεκριμένο στάδιο (Αnon., 1991).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 7: Ανάπτυξη καρπών.

Με την ανάπτυξη των καρπών η φυτική ανάπτυξη επιβραδύνεται αρκετά. Το μέγεθος και το σχήμα των καρπών είναι το χαρακτηριστικό γνώρισμα της ποιότητας ορισμένων ποικιλιών (Hack et al, 1992).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 8: Συγκομιδή των καρπών και των σπόρων.

Το χρώμα των καρπών της τριανταφυλλιάς που ωριμάζει, διαφέρει από το κυρίως χρώμα του είδους και των ποικιλιών. Το χρώμα χαρακτηρίζεται σημαντικό καθώς υποδεικνύει το στάδιο ωριμότητας του τριαντάφυλλου. Είναι σημαντικό να συλλέγονται καρποί προτού ωριμάσουν πλήρως για να αποτραπεί η αναστολή βλάστησης του φυτού (Αnon., 1991).

Κύριο στάδιο ανάπτυξης 9: Λήθαργος.

Η βλαστική ανάπτυξη τελειώνει όταν η επιμήκυνση των βλαστών σταματήσει. Αυτό το στάδιο πραγματοποιείται νωρίτερα από τον αποχρωματισμό των φύλλων. Η εποχιακή αδράνεια αρχίζει όταν αλλάζουν τα φύλλα το χρώμα τους και τελειώνει με την πτώση των φύλλων (Meier, 2003).

2.4. Μοντέλα διαπνοής

Η σημασία της διαπνοής στην εξοικονόμηση νερού έχει αποδειχθεί από πολλούς και έμπειρους μελετητές εδώ και πολλά χρόνια. Επιπλέον η διαπνοή ποικίλει ανάλογα με τα είδη των φυτών, τα διαφορετικά κλίματα αλλά και από τόπο σε τόπο (Chen, 1998). Επιπλέον η ακριβής πρόβλεψη της διαπνοής των φυτών είναι απαραίτητη για την αυτόματη άρδευση στα θερμοκήπια, όπως είναι απαραίτητο επίσης ένα ακριβές μοντέλο πρόβλεψης διαπνοής σε μια καλλιέργεια θερμοκηπίου (Zografou & Lykas., 2020). Υπάρχουν πολλά μοντέλα διαπνοής τα οποία χαρακτηρίζονται από τους επιστήμονες ως απλοποιημένα καθώς οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη είναι λιγότεροι, ευκολά κατανοητοί και απλουστευμένοι σε σχέση με πιο σύνθετα μοντέλα διαπνοής. Το ίδιο θα μπορούσε να ειπωθεί και για τις εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στα συγκεκριμένα μοντέλα.

Συγκεκριμένα υπάρχουν μοντέλα διαπνοής τα οποία σχετίζονται μόνο με την ηλιακή ακτινοβολία (Stanhill & Scholte Albers., 1974), όπως και μοντέλα τα οποία εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνουν και την εισροή ενέργειας συστήματος θέρμανσης σε Ολλανδικά θερμοκήπια. Αυτές οι μέθοδοι βέβαια δείχνουν να είναι περισσότερο εμπειρικοί παρά μηχανικοί, καθώς η μεγαλύτερη συσχέτιση της διαπνοής της καλλιέργειας είναι με την ηλιακή ακτινοβολία (Van der Post et al., 1974).

Αρκετά υπολογιστικά μοντέλα έχουν προταθεί έχοντας ως βάση τους την εξίσωση των Penman-Monteith (P-M). Τα μοντέλα αυτά στον υπολογισμό για το υδατικό ισοζύγιο της καλλιέργειας δεν λαμβάνουν υπόψη μόνο τη παράμετρο της εσωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία εμφανίζει σχέση ανάλογη με την εξωτερική συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία, αλλά και μια παράμετρο που εξαρτάται κυρίως από την έλλειψη κορεσμού του εσωτερικού αέρα (Jolliet ad Bailley, 1992; Bailley et al., 1993). Για τον λόγο αυτό ο ενεργητικός έλεγχος της σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (συστήματα Misting ή Fog)

αποτελεί ένα τελεσφόρο βοήθημα για την ελλάτωση της διαπνοής (Cohen et al., 1987; Baille et al., 1994) όπως και της συχνότητας άρδευσης.

Αρκετοί επιστήμονες κάνουν απευθείας χρήση της εξίσωσης των P-M θεωρώντας ότι η στοματική αγωγιμότητα αποτελεί μια παράμετρος συναρτήση του μικροκλίματος (Stanghelini ad Van Meurers, 1989; Jolliet & Bailley, 1992). Τα μοντέλα αυτά υποδεικνύουν υψηλότερη ακρίβεια από τα προηγούμενα και έχουν την ικανότητα να εφαρμοσθούν για μικρής κλίμακας χρονικά διαστήματα (απαραίτητο στη περίπτωση που η καλλιέργεια είναι εκτός εδάφους), παρόλα αυτά τόσο ο υπολογισμός του ελλείμματος κορεσμού του αέρα όσο και του δείκτη φυλλικής επιφάνειας αποτελεί απαραίτητη προηπόθεση (Baille et al., 1994).

Ως ένα απλοποιημένο μοντέλο θα μπορούσε να θεωρηθεί και ο αλγόριθμος τυχαίας παλινδρόμησης των δασών (HORTITRANS). Ένα μοντέλο, που στοχεύει στην πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση της υγρασίας και της διαπνοής στα θερμοκήπια (Jolliet & Bailley 1993).

Η φυλλική επιφάνεια, είναι αρκετά σημαντική για την πρόβλεψη της διαπνοής και υπολογίζεται από ένα τροποποιημένο μοντέλο παραγωγής ξηρής ύλης. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει την συνολική παραγωγή της ξηρής ύλης από την προσπίπτουσα ακτινοβολία και την αποδοτικότητα της φωτεινότητας. Η ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας καθορίζεται από το κλάσμα της ξηρής ύλης που κατανέμεται στα φύλλα και στην συγκεκριμένη φυλλική επιφάνεια. Ο υπολογισμός της διαπνοής της καλλιέργειας είναι βασισμένος στην προσέγγιση Penman – Monteith (Kage et al., 2000).

2.4.1. Μοντέλα διαπνοής σε υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς

Με στόχο τη διασφάλιση μεγάλης ποσότητας παραγωγής και υψηλής ποιότητας γίνεται προσπάθεια εκτίμησης των αναγκών μιας υδροπονικής καλλιέργειας τριανταφυλλιάς. Η εκτίμηση της καλλιέργειας σε νερό υπολογίζεται βάση της ποσότητας του νερού που απομακρύνθηκε από το υπόστρωμα με την διαπνοή των φυτών. Προϋπόθεση που είναι απαραίτητη τόσο για τον σωστό σχεδιασμό όσο και για τον έλεγχο της άρδευσης (Greensys., 2019).

Η εκτίμηση του ρυθμού διαπνοής της καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση των Penman-Monteith, σύμφωνα με την οποία :

$$\lambda \cdot E = \frac{\delta \cdot R_n}{\delta + \gamma \cdot (1 + g_a / g_c)} + \frac{\rho \cdot C_p \cdot D_i \cdot g_a}{\delta + \gamma \cdot (1 + g_a / g_c)} \quad (2.1.)$$

όπου: λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού (J kg^{-1}), E ο ρυθμός διαπνοής ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), δ η κλίση της καμπύλης κορεσμού του αέρα σε σταθερή πίεση (kPa K^{-1}), R_n η πυκνότητα ροής της καθαρής ακτινοβολίας (W m^{-2}), γ η ψυχομετρική σταθερά (kPa K^{-1}), g_a η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας (m s^{-1}), g_c η στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας (m s^{-1}), ρ η πυκνότητα του αέρα (kg m^{-3}), C_p η ειδική θερμότητα του αέρα σε σταθερή πίεση ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) και D_i το έλλειμμα κορεσμού του αέρα του θερμοκηπίου (kPa).

Βέβαια η ολοκληρωμένη σχέση των Penman-Monteith αποτελείται από παραμέτρους που δεν είναι εύκολα διαθέσιμες (όπως η αεροδυναμική και η στοματική αγωγιμότητα) και χρειάζονται ιδιαίτερες γνώσεις ώστε να εφαρμοστούν σωστά. Για τον λόγο αυτό και με την βοήθεια των μαθηματικών μοντέλων υπολογίζεται με μια πιο απλή σχέση η ποσότητα του νερού που απομακρύνθηκε από το υπόστρωμα, αλλά και η ποσότητα διαπνοής των φυτών:

$$\lambda \cdot E = A \cdot R_n + B \cdot D_i \quad (2.2.)$$

όπου A και B είναι σταθερές που εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Boulard and Jemaa 1992, Jolliet and Bailey 1992, Baille *et al.* 1994, Kittas *et al.* 1999). Επίσης η διαπνοή μιας καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$\lambda \cdot E = \alpha \cdot [1 - \exp(K_l \cdot LAI)] \cdot R_n + \beta \cdot LAI \cdot D_i \quad (2.3.)$$

όπου K_l είναι ο συντελεστής μείωσης της έντασης του φωτός στο επίπεδο της καλλιέργειας και συνδέεται με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) της καλλιέργειας (Stanghelini, 1987) και α , β είναι σταθερές παράμετροι που εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος (Baille *et al.* 1994 β, Kittas *et al.* 1999, Katsoulas *et al.*, 2001).

Ωστόσο είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα παραπάνω μοντέλα αποτελούν παράγωγα του ολοκληρωμένου μοντέλου των Penman-Monteith και βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Προβλέπουν τη διαπνοή της καλλιέργειας συναρτήσει της ηλιακής ακτινοβολίας και του ελλείμματος κορεσμού

του αέρα, παράγοντες οι οποίοι αποτελούν και τους σημαντικότερους από αυτούς που επηρεάζουν τη διαπνοή της καλλιέργειας.

Εξίσου σημαντικό είναι να αναφερθεί πως οι συγκεκριμένες εξισώσεις έχουν ακριβή αποτελέσματα, μόνο όταν εφαρμοστούν σε συνθήκες όμοιες με αυτές που βαθμονομήθηκαν. Χρειάζονται ωστόσο επαναβαθμονόμηση όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για έναν ολόκληρο κύκλο ανάπτυξης των φυτών (για διαφορετικές εποχές του έτους) ή για διαφορετικές ποικιλίες (Λύκας., 2004).

2.5. Η σημασία της Διαπνοής σε Υδροπονικό σύστημα

Η αρδευτική δόση και ο ρυθμός της άρδευσης είναι ένας εκ των καθοριστικότερων παράγοντων για την σωστή διαχείριση των υδροπονικών καλλιεργειών (Lieth and Oki, 2008). Η άρδευση (εκτός της αναπλήρωσης του νερού) που χάνεται με τη διαδικασία της διαπνοής, στοχεύει στην τροφοδοσία των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων των φυτών και στην επιτυχέστερη οξυγόνωση της ρίζας. Με τον όρο άρδευση στις υδροπονικές καλλιέργειες, εννοούμε μεταφορά του θρεπτικού διαλύματος στο φυτό. Σε αδρές γραμμές η ποσότητα του νερού που κρίνεται απαραίτητο να λάβει μια καλλιέργεια εκτός εδάφους, συνήθως είναι όμοια σε μεγάλο βαθμό με τις ποσότητες που χορηγούνται σε αντίστοιχες θερμοκηπιακές καλλιέργειες εδάφους, όταν και οι υπόλοιποι παράγοντες είναι σχεδόν όμοιοι. Συχνό φαινόμενο αποτελεί στις υδροπονικές καλλιέργειες η κατανάλωση του νερού να είναι μικρότερη, καθώς δεν υπάρχουν απώλειες λόγω εξάτμισης από το έδαφος. Θεωρώντας ενδεδειγμένη τη σύσταση του θρεπτικού διαλύματος, άρδευση με πολύ μεγάλη συχνότητα και ποσότητα παρουσιάζει μη επιθυμητά αποτελέσματα για την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Υπολογίζοντας βέβαια και τα προβλήματα που προκύπτουν από την σπατάλη νερού και λιπασμάτων. Επιπροσθέτως σε περιπτώσεις όπου η συχνότητα και η διάρκεια άρδευσης δεν είναι σωστή και δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φυτών παρατηρούνται συμπτώματα στρεσαρίσματος της καλλιέργειας. Για τον λόγο αυτό, σε κάθε άρδευση, το νερό που καταναλώνεται μεταξύ δύο διαδοχικών ποτισμάτων πρέπει να αναπληρώνεται, ώστε το υπόστρωμα να φθάνει στην υδατοϊκανότητα του (μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει) (Σάββας, 2009). Η διάρκεια της άρδευσης εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και λιγότερο από τα φυτά, ενώ η συχνότητα άρδευσης εξαρτάται από το φυτό και τις κλιματικές συνθήκες (π.χ. ηλιοφάνεια, θερμοκρασία). Στις καλλιέργειες εκτός εδάφους προτείνεται πότισμα αρκετές φορές

κατά διάρκεια της ημέρας, με καθορισμένη συχνότητα βάσει του ρυθμού απορρόφησης του νερού από τα φυτά, με στόχο την κάλυψη των ημερήσιων αναγκών της καλλιέργειας (Σάββας, 2010).

Το 99% περίπου του νερού που απορροφούν τα φυτά χάνεται με τη διαπνοή. Έτσι, αν καταφέρουμε να εκτιμήσουμε την διαπνοή, τότε η καλλιέργεια μπορεί να ποτίζεται αυτόματα, όταν ο όγκος νερού που απορροφούν τα φυτά γίνεται ίσος με την αρδευτική δόση μείον το κλάσμα της απορροής. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να υπολογιστεί με της ενδεδειγμένες εξισώσεις (FAO, Penman-Monteith, Stanghellini), όμως υπάρχουν περιπτώσεις που η χρήση τους εμφανίζει πρακτικές δυσκολίες. Σε περιπτώσεις όπως αυτές συστήνεται, ο συνδυασμός με ένα επικουρικό σύστημα ελέγχου της άρδευσης (π.χ. προκαθορισμένους χρόνους άρδευσης). Η συχνότητα με την οποία η άρδευση πραγματοποιείται εξαρτάται από την εξατμισοδιαπνοή (η οποία με την σειρά της καθορίζεται από την ηλιακή ακτινοβολία) και την αρδευτική δόση (καθορίζεται από την ποιότητα του νερού άρδευσης και το υπόστρωμα) (Σάββας, 2012).

3. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Φυτικό υλικό

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά φυτά τριανταφυλλιάς (Rosa sp.) και συγκεκριμένα τριαντάφυλλα ποικιλίας cv. Miss Piggy. Τα φυτά παραλήφθηκαν σε νεαρή ηλικία με μικρή φυλλική επιφάνεια και σε εξαιρετικά πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, με μικρό ριζικό σύστημα. Τα φυτά προέρχονται από αυτόριζα μοσχεύματα και αναπτύχθηκαν σε εμπορικό θερμοκήπιο στην περιοχή της Λαμίας. Η ημερομηνία τοποθέτησης των πειραματικών φυτών σε δοχεία με θρεπτικό διάλυμα ήταν στις 30 Οκτωβρίου του έτους 2018.

3.2. Εγκατάσταση φυτών

Το πείραμα διεξήχθη στον πειραματικό υδροπονικό τροποποιημένο τοξοτό θερμοκήπιο με κάλυψη από πλαστικό, του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος στην περιοχή του Βελεστίνου Μαγνησίας. Τα φυτά τοποθετήθηκαν σε αδιαφανή δοχεία ενός λίτρου αφού πρώτα απομακρύνθηκε το χώμα από το ριζικό τους σύστημα. Τα δοχεία περιείχαν θρεπτικό διάλυμα, η σύνθεση του οποίου φαίνεται στον Πίνακα 3.1. Ο αριθμός των φυτών του πειράματος ήταν τριάντα και τοποθετήθηκαν σε τέτοια

απόσταση ώστε να προκύπτουν 5 φυτά/ m². Τα δοχεία τοποθετήθηκαν πάνω σε μεταλλικά κανάλια υδροπονίας στον ίδιο χώρο όπου υπήρχαν ήδη εγκατεστημένα ώριμα φυτά τριανταφυλλιάς της ίδιας ποικιλίας σε υδροπονικό σύστημα τα οποία αρδεύονταν με το ίδιο θρεπτικό διάλυμα. Το θρεπτικό διάλυμα ήταν τοποθετημένο σε δεξαμενή άρδευσης μέσα στον περιβάλλοντα χώρο του θερμοκηπίου. Η αλλαγή του θρεπτικού διαλύματος γινόταν όταν η τιμή του pH ήταν μεγαλύτερη του 7,2 ή η αγωγιμότητα του μεγαλύτερη από 2,5 mS/cm. Επίσης αλλαγή διαλύματος γινόταν όταν ο όγκος του διαλύματος μειώνονταν σημαντικά, (περίπου κάθε επτά ημέρες). Το κλίμα στον χώρο του θερμοκηπίου ρυθμιζόταν αυτόματα. Οι καλλιεργητικές φροντίδες ήταν κοινές για όλα τα φυτά που ήταν εγκατεστημένα στο θερμοκήπιο.

3.3. Μετρήσεις

Είκοσι τέσσερις ώρες πριν από τη δειγματοληψία πραγματοποιούταν ζύγιση τριάντα δοχείων (δηλαδή του συστήματος δοχείο-θρεπτικό διάλυμα φυτό) σε ζυγό ακριβείας. Κατά την δειγματοληψία των φυτών (24 ώρες μετά την προηγούμενη ζύγιση) γινόταν εκ νέου ζύγιση των δοχείων ώστε να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που έχει διαπνευστεί κατά το χρονικό διάστημα των 24 ωρών. Μετά την απομάκρυνση των φυτών σε κάθε δοχείο μετρούτανε το pH, και η αγωγιμότητα του θρεπτικού διαλύματος, καθώς και ο αριθμός και οι διαστάσεις των φύλλων των φυτών που απομακρύνθηκαν. Από τις συγκεκριμένες μετρήσεις επαληθευτικέ η μαθηματική εξίσωση (3.1.) (Suay et al., 2002) με την οποία υπολογίστηκε η φυλλική επιφάνεια των φυτών.

$$LA = A_{LA} \cdot (L_L + W_L) B_{LA} \quad (3.1.)$$

Όπου A_{LA} , B_{LA} είναι παράμετροι της εξίσωσης, ενώ L_L , W_L είναι το μήκος και το πλάτος των φύλλων σε cm.

Για την επαλήθευση της παραπάνω εξίσωσης έγινε μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας σε φύλλα τριάντα φυτών με χρήση σκάνερ και του ανοιχτού λογισμικού ImageJ. Κατά την διάρκεια του πειράματος καταγράφονταν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ανά 10 min η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα καθώς και η και η ηλιακή ακτινοβολία. Η διαπνοή των φυτών κατά την διάρκεια των 24 ωρών που προηγήθηκαν της δειγματοληψίας υπολογίστηκε από την μαθηματική εξίσωση ($Tr = A_{Tr} \cdot R_s + B_{Tr} \cdot VPD$).

Όπου Tr είναι ο ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας ($\frac{g/m^{-2}}{h^{-1}}$), R_S (w/m^{-2}) είναι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο, VPD είναι το έλλειμα κορεσμού του αέρα (KP_a) και A_{Tr} B_{Tr} είναι παράμετροι της εξίσωσης (Suay et al., 2002).

3.4. Στατιστική Ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση έγινε τόσο με την βοήθεια του προγράμματος Microsoft excel και του προγράμματος Statgraphs. Συγκεκριμένα ακολουθήσαμε την διαδικασία των πολλαπλών δοκιμών εύρους (Multiple Range Tests) για την εκτίμηση της ελάχιστης σημαντικής διαφοράς (LSD, $p < 0.05$).

3.5. Σύσταση θρεπτικού διαλύματος

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3.1.), παραθέτετε η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που χρησιμοποιήθηκε στο επικείμενο πείραμα. Αποτυπώνεται τόσο η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων στο νερό όσο και η συγκέντρωσή τους στο θρεπτικό διάλυμα.

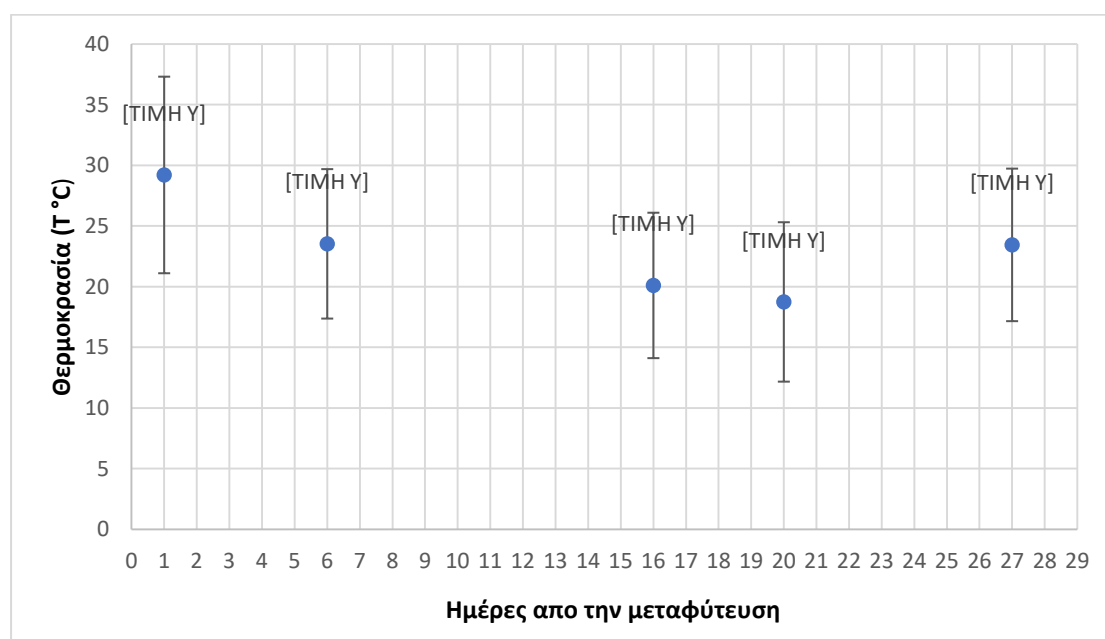
Πίνακας 3.1.: Σύσταση θρεπτικού διαλύματος.

Θρεπτικό Στοιχείο	Συγκέντρωση στο θρεπτικό διάλυμα ($mg L^{-1}$)
NO_3	763
NH_4	18
PO_4	97
K	253
Ca	160
Mg	36
SO_4	72
Fe	1.7
Cu	0.6
Mn	0.5
B	0.28
Zn	0.23

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

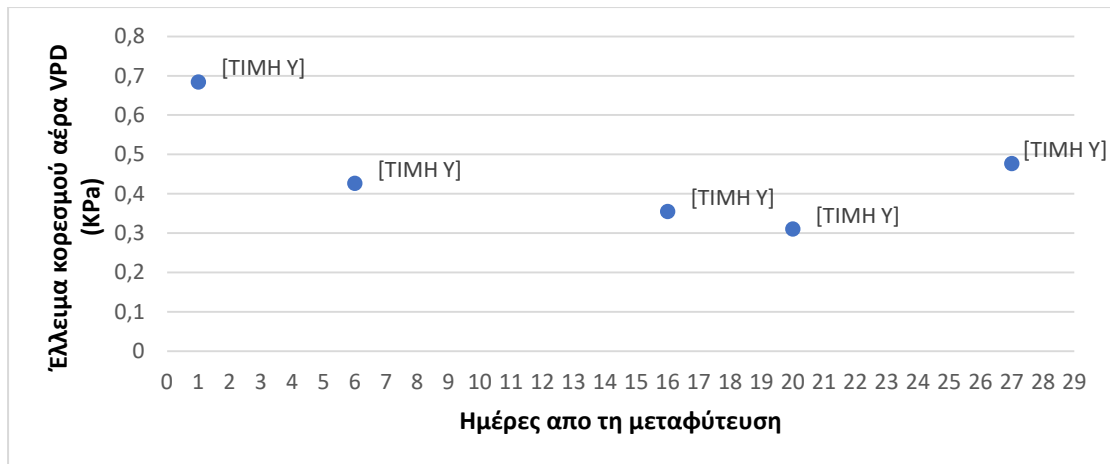
4.1. Κλιματικές παράμετροι

Στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 4.1.1., Σχήμα 4.1.2., Σχήμα 4.1.3.) παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές των της θερμοκρασίας (T °C), ελλείματος κορεσμού αέρα (VPD) και ηλιακής ακτινοβολίας (RS watt/m²) αντιστοίχως κατά την ημέρα που προηγήθηκε της δειγματοληψίας των φυτών.



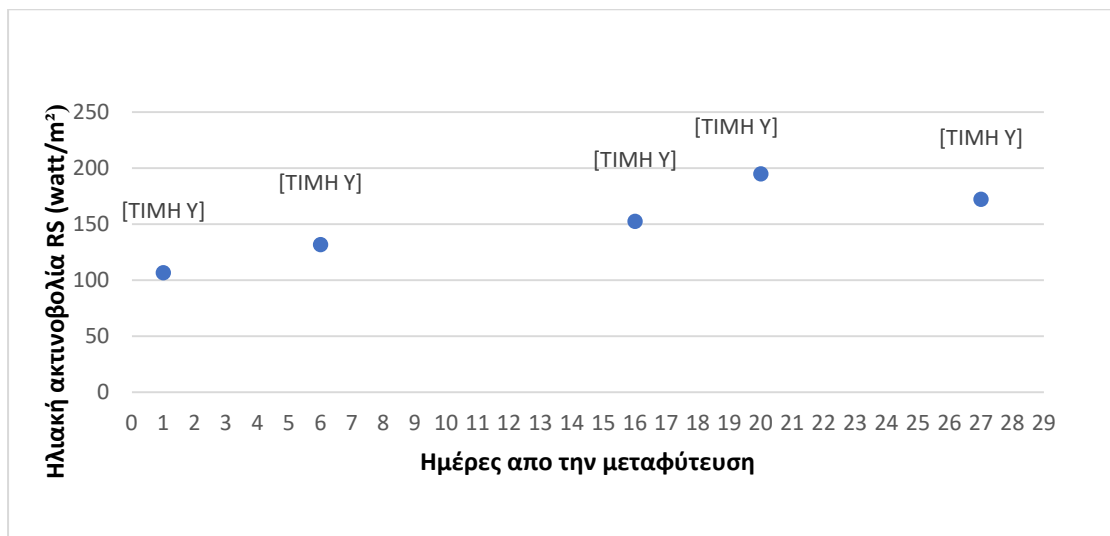
Σχήμα 4.1.1.: Μετρήσεις μέσου όρου της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των ημερών του πειράματος (οι κάθετες μπάρες υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση).

Στο άνωθεν διάγραμμα (Σχήμα 4.1.1.) παρατηρείται πως οι θερμοκρασίες που σημειώθηκαν ήταν από 18,74°C (ελάχιστη θερμοκρασία) έως και 29,21°C (μέγιστη θερμοκρασία). Η μέγιστη θερμοκρασία σημειώθηκε την ημέρα 1 των μετρήσεων που αντιστοιχούσε στις 31 Οκτωβρίου ημερολογιακά. Η ελάχιστη εμφανίστηκε την ημέρα 20 των μετρήσεων του πειράματος και συγκεκριμένα στις 19 Νοεμβρίου. Στο διάστημα αυτό (μεταξύ πρώτης ημέρας & εικοστής ημέρας) αναμένετε να υπάρχει μια έντονη διαφοροποίηση διαπνοής σύμφωνα με την θερμοκρασία (Aubinet *et al.*, 1989). Αξίζει να σημειωθεί πως η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας ήταν 10 °C περίπου.



Σχήμα 4.1.2.: Μετρήσεις του ελλείματος κορεσμού του αέρα (VPD) κατά τη διάρκεια των ημερών του πειράματος.

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 4.1.2. η υψηλότερη τιμή (0,68 kPa) των μετρήσεων παρατηρείται την ημέρα 1 των μετρήσεων. Αυτό σημαίνει πως η διαπνοή εκείνη την ημέρα θα ήταν μειωμένη. Αντιθέτως η χαμηλότερη τιμή (0,31 kPa) συναντάται την ημέρα 20 των μετρήσεων του πειράματος και σημαίνει πως υπήρξε αυξημένη διαπνοή (Nederhoff and Vegter., 1992). Οι υπόλοιπες τιμές των μετρήσεων εντοπίζονται μεταξύ των 0,35 kPa και 0,47 kPa.



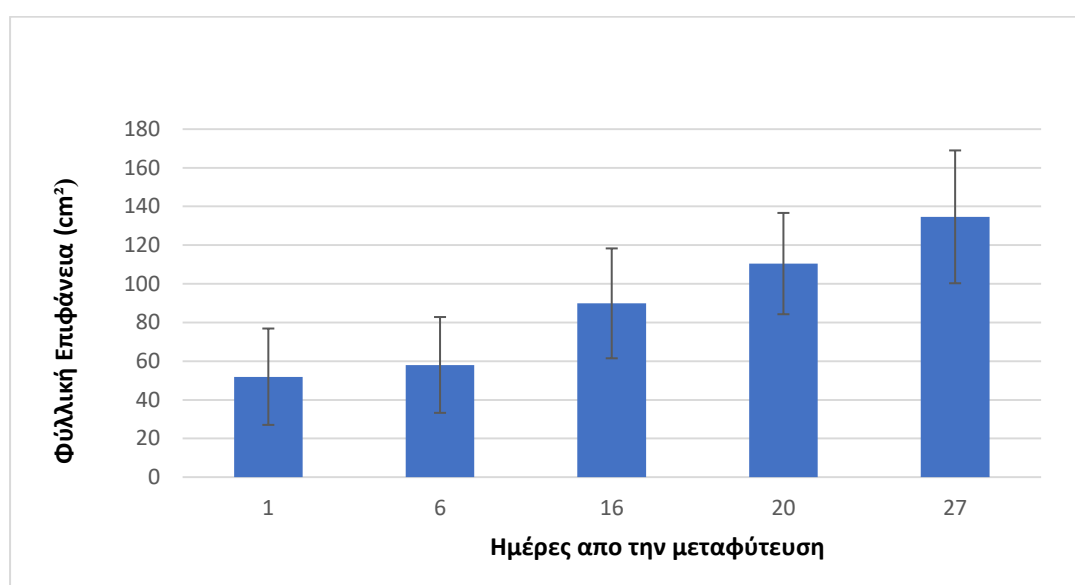
Σχήμα 4.1.3.: Μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας του θερμοκηπίου (RS) κατά τη διάρκεια των ημερών του πειράματος.

Στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 4.1.3.) αναγράφονται οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (RS) για τις ημέρες του πειράματος. Το εύρος των τιμών είναι από 106,58 watt/m² μέχρι και 194,74 watt/m². Η χαμηλότερη μέτρηση κάνει την εμφάνιση της την ημέρα 1, ενώ η μέγιστη τιμή την ημέρα 20. Παρότι κατά την 20^η ημέρα του πειράματος (19/11/2018) υπήρχαν

υψηλότερα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με αυτή που καταγράφηκε την 1^η ημέρα του πειράματος (31/10/2018), η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν χαμηλότερη. Αυτό συνέβη για το θερμοκήπιο κατά την περίοδο εκείνη που θερμαίνονταν.

4.2. Φυλλική Επιφάνεια

Η μεταβολή της φυλλικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια του πειράματος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2.). Οι μετρήσεις έγιναν από 31/10/2018 έως και 26/11/2018 με ημέρα τοποθέτησης των φυτών σε δοχεία (ημέρα 0) της 30/10/2018.



Σχήμα 4.2.: Μεταβολή της φυλλικής επιφάνειας στην διάρκεια του πειράματος(οι κάθετες μπάρες υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση)

Στο άνωθεν σχήμα διακρίνεται η πορεία του μέσου όρου της φυλλικής επιφάνειας η οποία παρουσιάζει αυξητική τάση. Καθώς οι μέρες περνάνε η φυλλική επιφάνεια των φυτών μεγαλώνει και περισσότερο με την τελευταία ημέρα μέτρησης να παρατηρείται η μεγαλύτερη τιμή LA όπως είναι αναμενόμενο (Calatayud et al., 2008). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο πίνακας που ακολουθεί (Πίνακας 4.1.). Ο πίνακας αποτυπώνει την μέση ημερήσια μεταβολή της LA. Υπολογίστηκε βάση των ημερών που έγιναν οι μετρήσεις. Συγκεκριμένα αφαιρέθηκε η τελευταία μέτρηση φυλλικής επιφάνειας από την προηγούμενη και διαιρέθηκε από το σύνολο των ημερών που μεσολάβησαν.

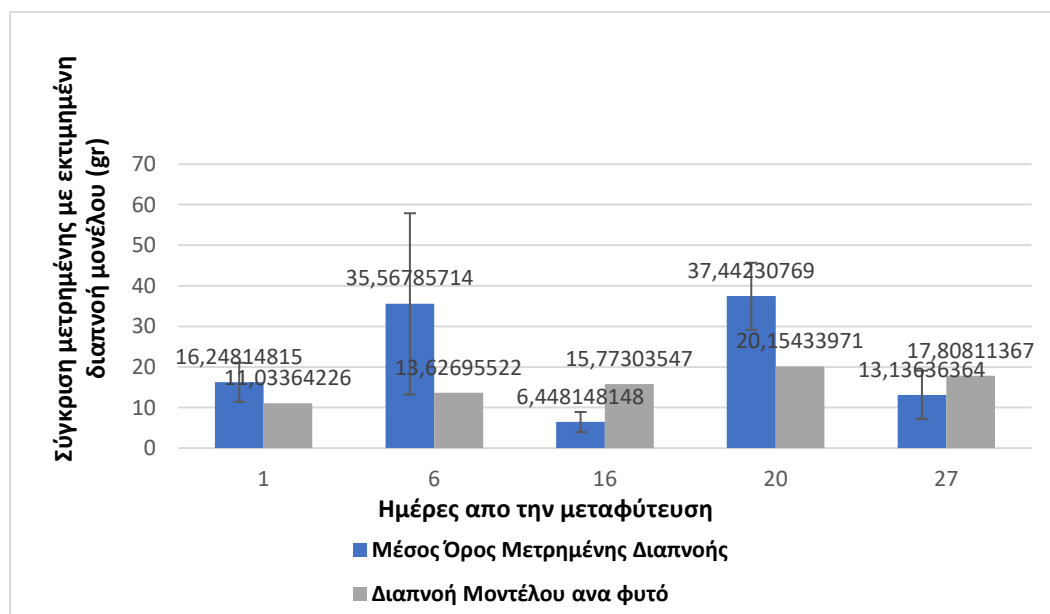
Πίνακας 4.1.: Ημερήσιος ρυθμός αύξησης της LA κατά την διάρκεια των διαφορετικών περιόδων κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Περίοδος Μέτρησης	Μέση ημερήσια μεταβολή LA
1 ημέρα - 6 ημέρα	1,21 $cm^2/24h$
6 ημέρα - 16 ημέρα	3,18 $cm^2/24h$
16 ημέρα - 20 ημέρα	5,14 $cm^2/24h$
20 ημέρα - 27 ημέρα	3,45 $cm^2/24h$

Η μικρότερη ημερήσια μεταβολή φυλλικής επιφάνειας εμφανίζεται μεταξύ των ημερών 1 & 6 (1,21 $cm^2/24h$). Αντίθετα η μεγαλύτερη ημερήσια μεταβολή φυλλικής επιφάνειας καταγράφεται μεταξύ των ημερών 16 & 20 (5,14 $cm^2/24h$), ενώ μετά από αυτό το χρονικό διάστημα (δηλαδή από την 20^η έως την 27^η ημέρα μετά την μεταφύτευση) ο ρυθμός μεταβολής της φυλλικής επιφάνειας μειώθηκε.

4.3. Διαπνοή

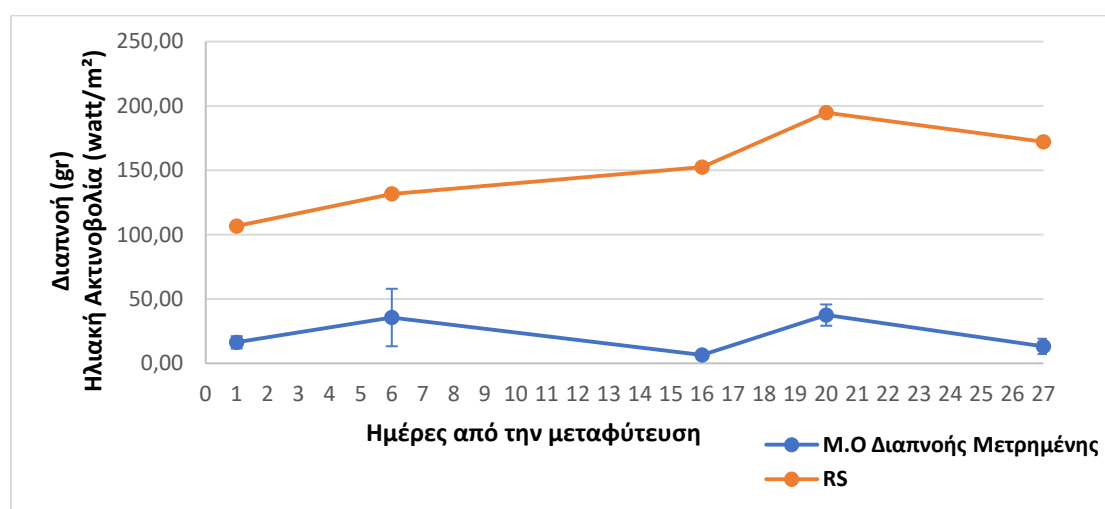
Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3.1.) παρουσιάζεται η μετρημένη διαπνοή και αυτή που υπολογίστηκε από το μοντέλο διαπνοής για το ίδιο χρονικό διάστημα.



Σχήμα 4.3.1.: Σύγκριση της μετρημένης διαπνοής του πειράματος με την διαπνοή του Μοντέλου (οι κάθετες μπάρες υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση).

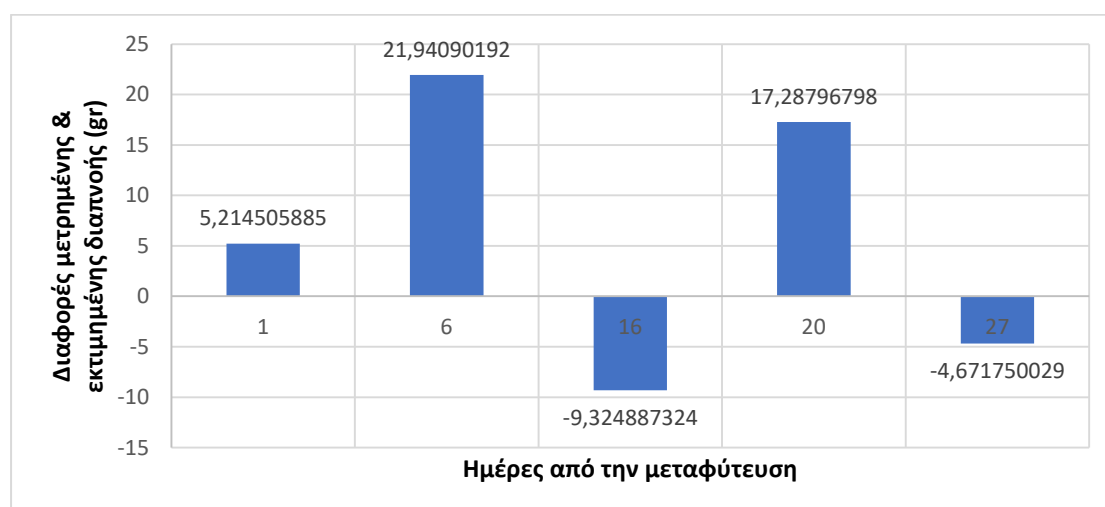
Η μετρημένη διαπνοή φαίνεται να ακολουθεί μια αναλογική σχέση με τις κλιματικές παραμέτρους. Συγκεκριμένα οι μετρήσεις των ημερών 1, 6, 20 & 27

σχετίζονται άμεσα με τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (Σχήμα 4.3.2.). Ενώ στην περίπτωση της ημέρας 16 που η διαπνοή είναι χαμηλή (6,44 gr) φαίνεται πως αποδίδεται στην χαμηλή θερμοκρασία εκείνης της μέρας (20°C) (Σχήμα 4.1.1.) (Kim et al., 2004). Η μετρημένη διαπνοή φαίνεται πως διαφέρει στατιστικώς σημαντικά με την εκτιμημένη κατά την 1^η, 6^η, 16^η και 20^η ημέρα των μετρήσεων. Αντίθετα κατά την 27^η ημέρα των μετρήσεων η μετρημένη και η εκτιμημένη τιμή της διαπνοής δεν διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ($p < 0,05$). Αυτό σημαίνει πως από την ημέρα 1 έως και την ημέρα 20 δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το μοντέλο αυτό για άρδευση των φυτών.



Σχήμα 4.3.2.: Σύγκριση της μετρημένης διαπνοής του πειράματος με την ηλιακή ακτινοβολία (οι κάθετες μπάρες υποδηλώνουν την τυπική απόκλιση).

Οι διαφορές μεταξύ μετρημένης και εκτιμημένης διαπνοής εκθέτονται στο κάτωθι διάγραμμα (Σχήμα 4.3.3.).



Σχήμα 4.3.3.: Οι διαφορές των μετρήσεων διαπνοής του πειράματος και της διαπνοής του Μοντέλου ανά φυτό.

Οι διαφορές υπολογίστηκαν αφαιρώντας τις εκτιμώμενες μετρήσεις από τις μετρήσεις του πειράματος. Βλέπουμε ότι στις ημέρες 1, 6 & 20 υπάρχει μια υπερεκτίμηση έναντι του μοντέλου. Αντίθετα στις ημέρες 16 & 27 συναντάμε μια υποεκτίμηση του μοντέλου. Κατά την 27^η ημέρα η μετρημένη τιμή είναι παρόμοια με την εκτιμημένη πιθανώς γιατί η φυλλική επιφάνεια των φυτών ξεπερνά ένα κατώφλι πάνω από το οποίο το μοντέλο διαπνοής ανταποκρίνεται ικανοποιητικά.

4.4. Κατάταξη της φυλλικής επιφάνειας σε κλάσεις

Για να μπορέσουμε να δούμε αν η εκτίμηση της διαπνοής συμπίπτει με την μετρημένη διαπνοή του πειράματος αλλά και για λόγους ομοιομορφίας αποφασίστηκε να γίνει διαχωρισμός των φύλλων σε κλάσεις. Ο διαχωρισμός των σταδίων ανάπτυξης πραγματοποιήθηκε και συσχετίστηκε με την εκτεταμένη κλίμακα BBCH. Τα φυτά χωρίστηκαν σε τρεις κλάσεις με την πρώτη να αποτελείται από φυτά φυλλικής επιφάνειας 10 cm^2 έως και 90 cm^2 . Η κλάση αυτή αντιστοιχεί βάση της κλίμακας BBCH από το 4 έως και το στάδιο 5 ανάπτυξης. Η δεύτερη κλάση αποτελείται από φυτά που έχουν 91 cm^2 μέχρι και φυτά που έχουν 150 cm^2 . Η δεύτερη κλάση αντιστοιχεί στο στάδιο ανάπτυξης 6 της κλίμακας BBCH. Ωστόσο η τρίτη και τελευταία κλάση απαρτίζεται από φυτά με LA από 151 cm^2 έως 210 cm^2 και είναι ανάλογη με το στάδιο ανάπτυξης 7.

Αναλυτικά στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 4.4.1., Σχήμα 4.4.2., Σχήμα 4.4.3., Σχήμα 4.4.4., Σχήμα 4.4.5.) παρουσιάζεται το ποσοστό των φυτών της κάθε κλάσης στο συνολικό αριθμό των φυτών κατά την 1^η, 6^η, 16^η, 20^η και 27^η ημέρα των μετρήσεων.



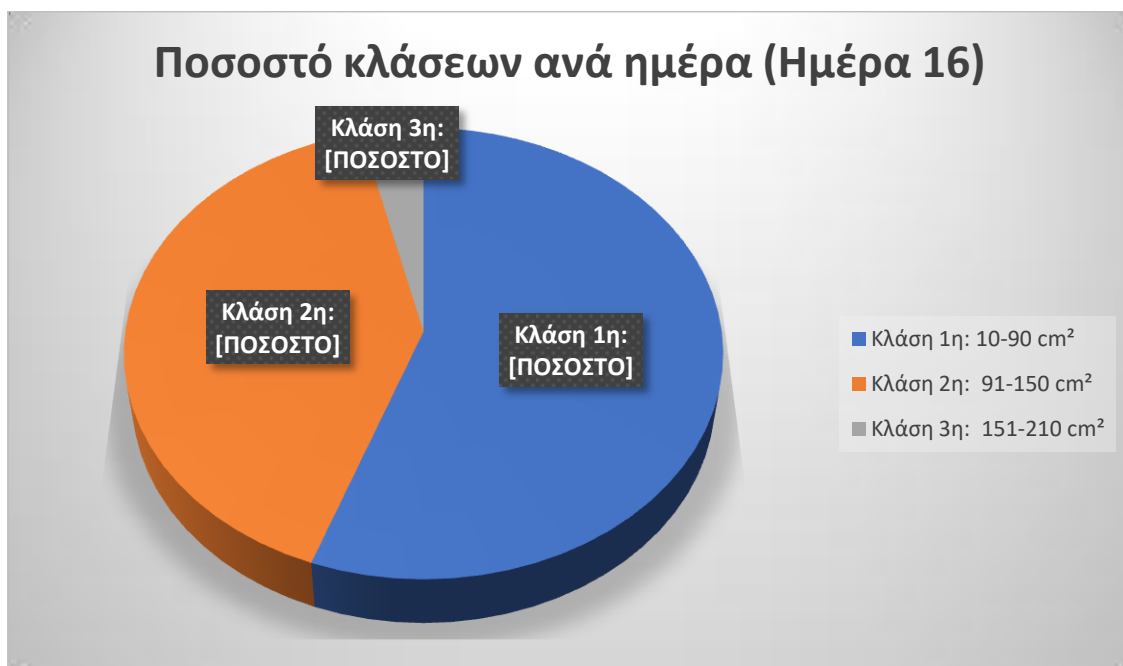
Σχήμα 4.4.1.: Το ποσοστό συμμετοχής των κλάσεων των φυτών για την ημέρα 1 μέτρησης του πειράματος.

Στο σχήμα 4.4.1. παρατηρείται πως την ημέρα 1 του πειράματος υπήρξε συμμετοχή της πρώτης κλάσης κατά 89% και της δεύτερης κλάσης κατά 11%. Φυσικά όπως είναι λογικό παρατηρείτε μια μεγάλη επικράτηση της πρώτης κλάσης (10-90 cm^2) σε σχέση με την δεύτερη κλάση (91-150 cm^2) αφού τα φυτά είναι σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης. Αντίθετα η τρίτη κλάση(151-210 cm^2) κατά σειρά δεν εντοπίζεται.



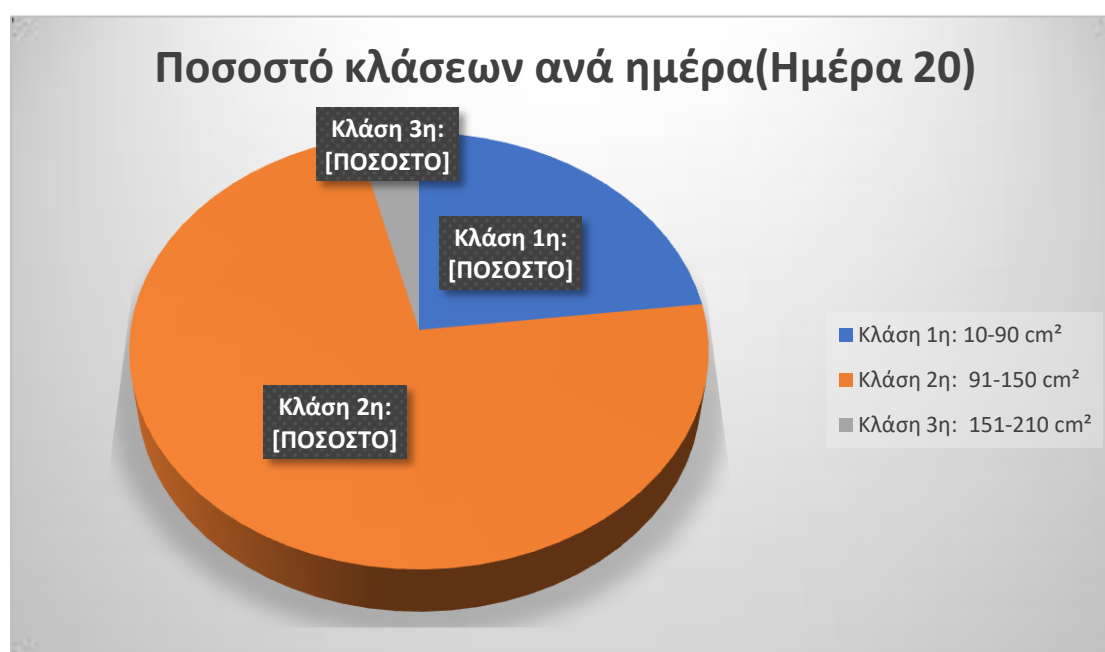
Σχήμα 4.4.2.: Το ποσοστό συμμετοχής των κλάσεων των φυτών για την ημέρα 6 μέτρησης του πειράματος

Όπως και στο παραπάνω διάγραμμα (Σχήμα 4.4.1.) έτσι και στο σχήμα 4.4.2. φαίνεται η συμμετοχή των πρώτων δυο κλάσεων (κλάση 1 & κλάση 2) με μάλιστα τα ακριβώς ίδια ποσοστά (89% & 11% αντίστοιχα) και ξεκάθαρη υπεροχή της κλάσης 1. Επίσης το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην πρώιμη ηλικία των φυτών λόγω για των οποίο δεν υπάρχει συμμετοχή της τρίτης κλάσης που είναι και η μεγαλύτερη κατά σειρά LA.



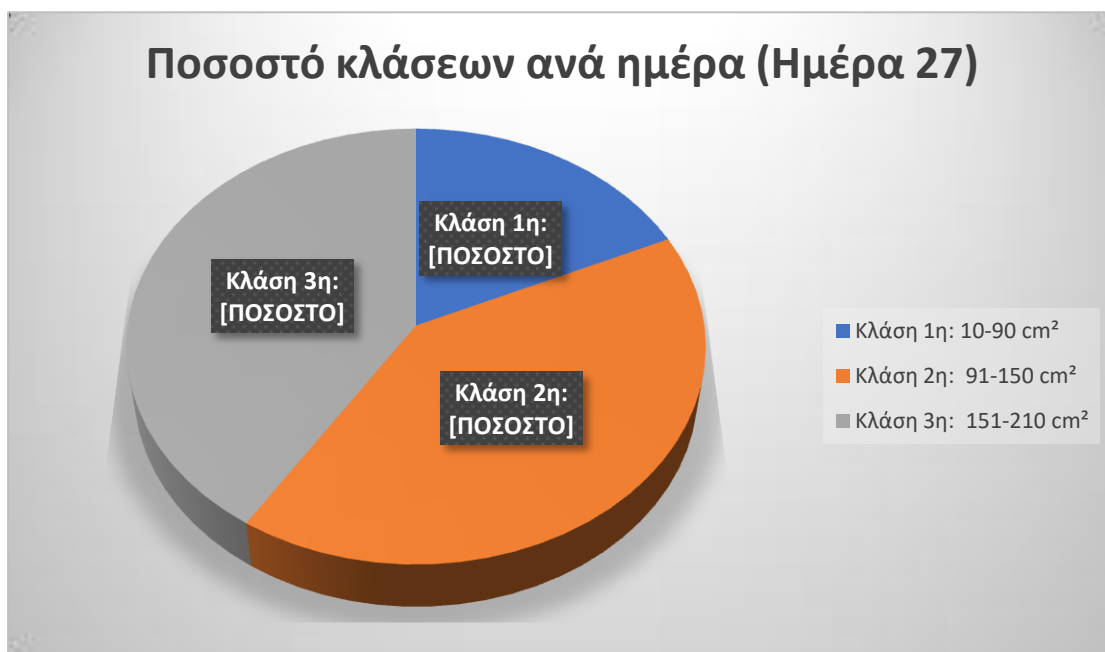
Σχήμα 4.4.3.: Το ποσοστό συμμετοχής των κλάσεων των φυτών για την ημέρα 16 μέτρησης του πειράματος.

Στο σχεδιάγραμμα που αφορά την ημέρα μετρήσεων 16 (Σχήμα 4.4.3.) παρατηρούμε πως την εμφάνιση τους κάνουν για πρώτη φορά και οι τρεις κλάσεις. Συγκεκριμένα η κλάση 1 αποτυπώνεται σε ποσοστό 55% και υπερτερεί έναντι στην κλάση 2 με ποσοστό 41%. Τέλος την εμφάνιση της σε μικρότερο βαθμό κάνει και η κλάση 3 η οποία συγκεντρώνει μόλις το 4% του διαγράμματος. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ωρίμανση των φυτών σε σχέση με τις δυο προηγούμενες μετρήσεις (ημέρες 1 & 6).



Σχήμα 4.4.4.: Το ποσοστό συμμετοχής των κλάσεων των φυτών για την ημέρα 20 μέτρησης του πειράματος.

Το σχήμα 4.4.4. μας υποδεικνύει την κυριαρχία τις κλάσης 2 και με ποσοστό 73%. Ακολουθεί η συμμετοχή της κλάσης 1 σε ποσοστό 23%, ενώ για δεύτερη συνεχή φορά συναντάμε την κλάση 3 στο ίδιο ποσοστό με την μέτρηση της ημέρας 16 (4%). Η κυριαρχία της κλάσης 2 οφείλεται στην ακόμα μεγαλύτερη ωρίμανση των φυτών σε σχέση με τις προηγούμενες ημέρες.



Σχήμα 4.4.5.: Το ποσοστό συμμετοχής των κλάσεων των φυτών για την ημέρα 27 μέτρησης του πειράματος.

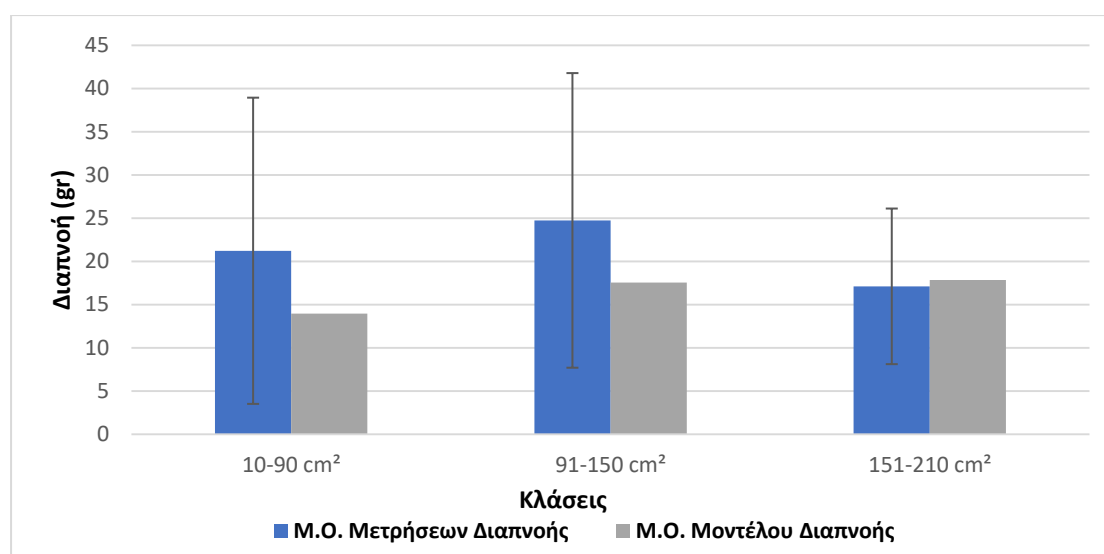
Την τελευταία μέρα μετρήσεων όπως φαίνεται και στο πιο πάνω σχήμα (Σχήμα 4.4.5.) υπάρχει απόλυτη ισορροπία ανάμεσα στις κλάσεις 2 & 3. Το ποσοστό και των δύο κλάσεων ανέρχεται σε 41% έκαστος. Αντιθέτως η κλάση 1 μετά από τόσες μετρήσεις φαίνεται ότι συγκεντρώνει το μικρότερο ποσοστό πράγμα που δεν συνέβαινε στις προηγούμενες. Το συγκεκριμένο φαινόμενο οφείλεται στο ότι τα φυτά πλέον έχουν ωριμάσει το μέγιστο βαθμό του πειράματος με τις δυο τελευταίες κλάσεις (2 & 3) να πρωταγωνιστούν. Όσο κυριαρχούν οι κλάσεις 1 & 2 παρατηρούμε πως δεν μπορεί το μοντέλο διαπνοής να ανταποκριθεί και να χρησιμοποιηθεί ώστε να προβλέψει την άρδευση. Αντίθετα στην τελευταία ημέρα όπου η κλάση 3 κατέχει μεγάλο ποσοστό συμμετοχής το μοντέλο φαίνεται πως αποδίδει. Βέβαια προκυμμένου να βεβαιωθούμε πλήρως θα πρέπει οι συνεχιστούν οι μετρήσεις και για μεγαλύτερες τιμές LA.

Επιπροσθέτως υπολογίστηκε ο μέσος όρος της διαπνοής που μετρήθηκε, όπως και ο μέσος όρος του Μοντέλου διαπνοής για κάθε κλάση ξεχωριστά (πίνακας 4.2.). Με σκοπό να βρεθεί σε ποία/ες κλάσεις οι μετρήσεις διαπνοής του πειράματος συμπίπτουν ή δεν συμπίπτουν με τις τιμές του Μοντέλου διαπνοής.

Πίνακας 4.2.: Μετρήσεις διαπνοής του πειράματος και διαπνοής του Μοντέλου ανά κλάση.

ΚΛΑΣΕΙΣ Φυλλικής Επιφάνειας (cm^2)	Μ.Ο Μετρημένης Διαπνοής (gr)	Μ.Ο Μοντέλου Διαπνοής (gr)
10-90 cm^2	21,21757 gr	13,97615 gr
91-150 cm^2	24,73333 gr	17,57094 gr
151-210 cm^2	17,1 gr	17,8364 gr

Για την σύγκριση μεταξύ της μετρούμενης διαπνοής πειράματος και του Μοντέλου διαπνοής χρησιμοποιήθηκε η βοήθεια του πιο κάτω ραβδογράμματος (Σχήμα 4.4.6.). Η σύγκριση αυτή βοήθησε στο να δούμε σε ποια/ες ηλικιακή/ες κλάσεις το πείραμα βρίσκει ή δεν βρίσκει εφαρμογή.



Σχήμα 4.4.6.: Σύγκριση μεταξύ της μετρημένης διαπνοής του πειράματος και της διαπνοής του Μοντέλου ανα κλάση. Η προσέγγιση και στις δυο στήλες είναι κατά μέσο όρο.

Η μετρούμενη διαπνοή και η διαπνοή Μοντέλου στις δύο πρώτες κλασεις (κλάση 1: 10-90 cm^2 & κλάση 2: 91-150 cm^2) παρουσιάζει σημαντική διαφορά. Αυτό σημαίνει πως οι μετρήσεις του πειράματος δεν συνταγίζονται με τις τιμές του μοντέλου και ως εκ τούτου δεν μπορούν να έχουν εφαρμογή σε φυτά των οποίων η φυλλική επιφάνεια είναι μικρότερη ή ίση με 150 cm^2 . Παρόλα αυτά η μετρούμενη διαπνοή και η διαπνοή του Μοντέλου φαίνεται να συμπίπτουν στην τρίτη κλάση (κλάση 3: 151 – 210 cm^2). Αυτό σημαίνει πως οι μετρήσεις του πειράματος μας

βρίσκουν εφαρμογή σε φυτά με μεγαλύτερη ηλικιακή κλάση και συγκεκριμένα σε φυτά με LA μεγαλύτερη από 150 cm^2 . Φαίνεται λοιπόν πως τα απλοποιημένα μοντέλα διαπνοής των Penman-Monteith που λαμβάνουν υπόψη τον LAI, δεν μπορούν να εκτιμήσουν τις ανάγκες των νέαρών φυτών σε νερό αφού υπερεκτιμούν την Tr (Zografou & Lykas., 2020). Παρατήρηση που συμφωνεί και με την παρούσα πειραματική εργασία.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε συγκριτική μελέτη της μετρημένης και της εκτιμημένης διαπνοής νεαρών φυτών τριανταφυλλιάς εγκατεστημένων σε υδροπονικό σύστημα. Από τα αποτελέσματα της εργασίας συμπεραίνουμε ότι:

- Σε πολύ νεαρό στάδιο η μετρημένη και η εκτιμημένη διαπνοή των φυτών διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους και κατά συνέπεια δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο διαπνοής για την άρδευση των φυτών.
- Απαιτείται η δημιουργία μιας ελάχιστης φυλλικής επιφάνειας από τα φυτά, που στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας υπολογίστηκε ότι θα πρέπει να κυμαίνεται από 150 έως 200 cm² ανά φυτό, ώστε το μοντέλο διαπνοής να ανταποκρίνεται στην πραγματική κατανάλωση του νερού από τα νεαρά φυτά.
- Το ποσοστό των φυτών με φυλλική επιφάνεια μεγαλύτερη από 150 έως 200 cm² πρέπει να ξεπερνά το 40% επί του συνόλου των νεαρών φυτών ώστε το μοντέλο διαπνοής να ανταποκρίνεται στην πραγματική κατανάλωση νερού από το σύνολο των φυτών της καλλιέργειας.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1. Ελληνική Βιβλιογραφία

- Λύκας., 2004. Επίδραση των παραγόντων του μικροκλίματος στη διαχείριση νερού σε μεσογειακά θερμοκήπια. Εφαρμογή σε υδροπονική καλλιέργεια τριαντάφυλλου.
- Νταλακούδης 2009. Εγκύκλιος Παιδεία. Η διαπνοή. Online: <http://www.egpaid.blogspot.com/>
- Ριζοπούλου, Σ., Γεωργίου, Κ., Θάνος, Κ., Μελετίου-Χρήστου Μ.-Σ., Ρούσσης, Α. (2015). Διαπνοή ανώτερων φυτών. Στο *Εργαστηριακές Ασκήσεις Φυσιολογίας Φυτών*. Αθήνα: Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα.
- Σάββας, Δ., 2009. Υδροπονικές καλλιέργειες κηπευτικών στο θερμοκήπιο. Ειδικά θέματα, Αθήνα.
- Σάββας, Δ., 2010. Υδροπονικές καλλιέργειες. Ειδικά θέματα, Κύπρος.
- Σάββας, Δ., 2012. Καλλιέργειες εκτός εδάφους: Υδροπονία, Υποστρώματα. Αθήνα, Εκδόσεις ΑγρόΤύπος.

6.2. Ξένη Βιβλιογραφία

- Anon. (1991) Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. Vorschriften und Betriebsunterlagen. Vol. 17, Dritte Auflage. Offenbach/Main: Zentralamt. ISBN 3-88148-269-5.
- Arévalo, Jhon Jairo, Vélez S., Javier, E., & Intrigliolo, D. S. (2014). Determination of an efficient irrigation schedule for the cultivation of rose cv. Freedom under greenhouse conditions in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(1), 95-102.
- Aston, M., & Lawlor, D. W. (1979) The Relationship between Transpiration, Root Water Uptake, and Leaf Water Potential. *Journal of Experimental Botany* 30(1):169-181.
- Aubinet, M., Deltour, J., De Halleux, D., 1989. Stomatal regulation in greenhouse crops: Analysis and simulation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 48: 21-44.

- Bailey, B.J., Montero, J.I., Blel, C., Wilkinson, D.J., Anton, A., Jolhet, O., 1993. Transpiration of *Ficus benjamina*: comparison of measurements with predictions of the Penman–Monteith model and a simplified version. *Agric. Forest Meteorol.* 65, 229–243.
- Baille, M., Baille, A., Claude, L. (1994) A simplified model for predicting evapotranspiration rate of nine ornamental species vs. climate factors and leaf area. Pages 217-232
- Bolla, A., D. Voyiatzis, M. Koukourikou-Petridou, and D. Chimonidou. (2010). Photosynthetic parameters and cut-flower yield of rose ‘Eurored’ (H.T.) are adversely affected by mild water stress irrespective of substrate composition. *Scientia Hort.* 126, 390-394.
- Bylesjo, M., Segura, V., Soolanayakanahally, R., Rae, A. 2008 LAMINA: A tool for rapid quantification of leaf size and shape parameters. *BMC Plant Biology* 8(1):82.
- Caballero, M., P. Mansito, N. Zieslin, J. Rodrigo, J. Melian, and O.Renzo. (1996). Water use and crop productivity of roses growing on volcanic lapilli (Picon) in Canary Islands. *Acta Hort.* 424, 41-44.
- Calatayud Á., Roca D., Gorbe E., Martínez P. F. (2008). Physiological effects of pruning in rose plants cv. Grand Gala. *Scientia Horticulturae*, 116(1), 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.10.028>.
- Casadebaig, P., Debaeke, P. & J. Lecoecur. (2008). Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy* 28(4), 646-654.
- Cechin, I., Corniani, N., Fumis, T. de F., & Cataneo, A. C. (2010). Differential responses between mature and young leaves of sunflower plants to oxidative stress caused by water deficit. *Ciência Rural*, 40(6), 1290-1294.
- Chen, C.C. 1998. Development and of a Microclimate Gradient Model of Evaporative Cooling for Greenhouse. *Journal of Agric. and For.*, 47(4):93-113.
- Chianucci F., Puletti N., Venturi E., Cutini A. 2014. Photographic assessment of overstory and understory leaf area index in beech forests under different management regimes in Central Italy: Short communication. *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused* 61(1):27-34.

- Chimonidou-Pavlidou D (1996). Effect of water stress at different stages of rose development. *Acta Horticulturae*, 424, 45–51.
- Chimonidou-Pavlidou, D. (1999). Irrigation and sensitive stages of rose development. *Acta Hort.* 481, 393-401.
- Chunwei L., Shaozhong K., Fusheng., Sien L., Taisheng D. 2013. Canopy leaf area index for apple tree using hemispherical photography in arid region. *Scientia Horticulturae*. Volume 164, Pages 610-615.
- Cohen, Y., Moreshet, S. and Fuchs, M., 1987. Changes in hydraulic conductance of citrus trees following a reduction in wetted soil volume. *Plant Cell Environ.*, 10: 53-57.
- Evans, J. R. (2013). Improving Photosynthesis. *Plant Physiology* 162, 1780–1793.
- FAO (2002). *Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture*. Rome: FAO.
- Flavio F. B., Marcos V. F. 2002 A new method for estimating the leaf area index of cucumber and tomato plants. *Horticultura Brasileira*, 21(4), 666-669.
- Gallardo, M. E., Johnson, J., Parham, T. A., & Carter, J. A. (2009). Ethics and multiculturalism: Advancing cultural and clinical responsiveness. *Professional Psychology: Research and Practice*, 40(5), 425–435.
- Goudrian, J. & Van Laar., H. H. 1994. Modelling Potential Crop Growth Processes. Leaf energy balance and transpiration. Pages 121-148.
- Greer D. H. (2012). Modelling leaf photosynthetic and transpiration temperature-dependent responses in *Vitis vinifera* cv. Semillon grapevines growing in hot, irrigated vineyard conditions, *AoB PLANTS* 2012(1), 009.
- Hack, H., H. Bleiholder, L. Buhr., U. Meier, U. SchnockFricke, E. Weber and A. Witzemberger, 1992. Einheitliche Codierung der phanologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pfl anzen - Erweiterte BBCH-Skala, *Allgemein. Nachrichtenbl. Deut. Pfl anzenschutzd.* 44: 265-270.
- Jolliet O. Bailey B.J. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology*. Pages 43-62.

- Jolliet, O. & Baily, B.L., 1991. The effect of climate on the stomatal conductance of greenhouse tomato plant. Submitted to journal of Hort. Science.
- Jolliet, O. and Bailey, B., 1992. The effect of climate on the stomatal conductance of greenhouse tomato plants. J. Hortic. Sci., submitted.
- Jolliet, O. and Bailey, B.J. 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology* 58:43-62.
- Kage H., Kochler M., Stutzel H. (2000). Root growth of cauliflower (*Brassica oleracea* L. botrytis) under unstressed conditions: Measurement and modelling. *Plant and Soil* 223(1):131-145.
- Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C. 2001. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agric. For. Meteorol.* 106(3), 233-247.
- Katsoulas, N., C. Kittas, G. Dimokas, and Ch. Lykas. (2006). Effect of irrigation frequency on rose flower production and quality. *Biosyst. Eng.* 93(2), 237-244.
- Katsoulas, N., Kittas, C. and Baille, A. (2001). ESTIMATING TRANSPIRATION RATE AND CANOPY RESISTANCE OF A ROSE CROP IN A FAN-VENTILATED GREENHOUSE. *Acta Hortic.* 548, 303-310
- Kim, S., Shackel, K. A., Lieth, J. (2004). Bending Alters Water Balance and Reduces Photosynthesis of Rose Shoots. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129(6), 896-901.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Baille, A., 1999. Transpiration and canopy resistance of greenhouse soilless roses: measurements and modelling. *Acta Hortic.* 507, 61–68.
- Kvet, J. and J. K. Marshall. 1971. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In *Plant photosynthetic production. Manual of methods.* Z. Sestak, J. Catsky, and P. G. Jarvis (eds). Dr. W. Junk N. V. Publishers. The Hague.
- Meier U. (2003) Phenological growth stages. Mono- and dicotyledonous plants. In *Phenology: An Integrative Environmental Science. Tasks for*

Vegetation Science. Vol. 39, pp. 269–283. Ed. M. Schwarz. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.

- Meier U. (2003) Phenological growth stages. Mono- and dicotyledonous plants. In Phenology: An Integrative Environmental Science. Tasks for Vegetation Science. Vol. 39, pp.69–283. Ed. M. Schwarz. Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers. (Lieth and Oki, 2008).
- Meier U., Bleiholder H., Buhr L., Feller C., Hack H., Hess M., Lancashire P.D., Schnock U., Stauss R., van den Boom T., Weber E., Zwerger P. (2009) The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. *Journal fur Kulturpflanzen*, 61,41–52.
- Meletiou-Christou, M.-S. & Rhizopoulou, S. (2012). Constraints of photosynthetic performance and water status of four evergreen species co-occurring under field conditions. *Botanical Studies* 53, 325-334.
- Nederhoff, E., Vegter, J. G., 1994. Canopy photosynthesis of tomato, cucumber and sweet pepper in greenhouses: measurements compared to models. *Annals of Botany*, 73(4): 421-427.
- O.J. Joliet, B.J. Bailey. The effect of climate on the stomatal conductance of greenhouse tomato plants *Scientia Hortic.* (1993).
- Patane, C. 2011. Leaf Area Index, Leaf Transpiration and Stomatal Conductance as Affected by Soil Water Deficit and VPD in Processing Tomato in Semi Arid Mediterranean Climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*. Pages 165-176.
- Pritsa, T. S., Voyiatzis, D., Voyiatzi, C.S., Sotiriou, M.S. 2003 Evaluation of vegetative traits and their relation to time to first flowering of olive seedlings. *Crop and Pasture Science* 54(4):371-376
- Raviv, M. and T.J. Blom. (2001). The effect of water availability and quality on photosynthesis and productivity of soilless-grown cut roses. *Sci. Hortic.* 88, 257-276.
- Rodriguez A, Kildegaard K., Li M., Borodina I., Nielsen J. (2015) Establishment of a yeast platform strain for production of p-coumaric acid through metabolic engineering of aromatic amino acid biosynthesis. *Metab Eng* 31:181-8).

- Ross J. 1981. The radiation regime and architecture of plant stands. The Hague, The Netherlands: Dr Junk W (Wang et al., 2017).
- Sarah E. Nilson & Sarah M. Assmann (2007) The Control of Transpiration. *Insights from Arabidopsis* 143(1): 19–27
- Seginer, I., 1984. On the night transpiration of greenhouse roses under glass or plastic cover. *Agric. Meteorol.*, 30:257-268.
- Sellin, A., Niglas, A., Õunapuu-Pikas, E., & Kupper, P. (2014). Rapid and long-term effects of water deficit on gas exchange and hydraulic conductance of silver birch trees grown under varying atmospheric humidity. *BMC Plant Biology* 14:72.
- Stanghellini C., van Meurs W.Th.M. Crop transpiration: a greenhouse climate control parameter *Acta Horticulturae*, 245 (1989), pp. 384-388.
- Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management. PhD Thesis. Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 150 pp.
- Stanhill, G. and J. Scholte Albers. 1974. Solar radiation and water loss from glasshouse roses. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 99(2):107-110.
- Suay, Ricardo & Martinez, PF & Roca, Dolors & Martínez, Miguel & Herrero, J & Ramos, C. (2002). Measurement and estimation of transpiration of a soilless rose crop and application to irrigation management. *Acta Horticult.* 614. 10.17660/ActaHortic.2003.614.93.
- T. Boulard, R. Jemaa. (1992). Greenhouse tomato crop transpiration model: Application to irrigation control. *Int. Symp. Irrig. Hortic. Crops, Acta Hortic.*, November 1992, Almeria.
- Taiz L.& Zeiger E. (2012). *Φυσιολογία Φυτών*(σ.σ. 119-123). Αθήνα, Εκδόσεις Utopia.
- Tullus A., Kupper P., Sellin, A., Parts L., Sober, J., Tullus, T., Lohmus, Kr., Sober, A. & Tullus H. (2012). Climate Change at Northern Latitudes: Rising Atmospheric Humidity Decreases Transpiration, N-Uptake and Growth Rate of Hybrid Aspen. *PLoS ONE*, 7 (8), 42648.

- Valencia, Jorge, Vélez, Javier, & Arévalo, John. (2018). Evaluation of irrigation in roses in a suitable substrate with three water depths and the percentage of drainage. *Agronomía Colombiana*, 36(3), 266-273.
- Van der Post, C.J., van Schie, J.J. and de Graaf, R., 1974. Energy balance and water supply in glasshouses in the West-Netherlands. *Acta Hortic.*, 35: 13-22.
- Watson, D.J. (1947) Comparative Physiological Studies on the Growth of Field Crops. I. Variation in Net Assimilation Rate and Leaf Area between Species and Varieties and between Years. *Annals of Botany*, 11, 41-76.
- White, J.W.; Holcomb, E.J. (1987). Water requirement and irrigation practices. In: WHITE, J.W.; HOLCOMB, E.J. A manual of greenhouse rose production. Ithaca: Roses incorporated, 375p.
- Zografou, M. and Lykas, Ch. (2020). Estimation of water needs of young and aged rose plants with the use of two simplified transpiration models. *Acta Hortic.* 1296, 485-492

6.3. Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- www.remf.dartmouth.edu (Πρόσβαση 08-04-2020)