



Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

<< Ανάπτυξη ενός μοντέλου διαπνοής του κυκλάμινου συναρτήσει των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου >>



ΧΑΤΖΗΜΙΧΑΗΛ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΓΕΩΠΟΝΟΣ Α.Π.Θ.

Βόλος, 2022

“Ανάπτυξη ενός μοντέλου διαπνοής του κυκλάμινου συναρτήσει των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου”

Χατζημιχαήλ Γεώργιος

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Χρήστος Λύκας (Επ. Καθηγητής, Ανθοκομία)

Νικόλαος Κατσούλας (Αναπλ. Καθηγητής, Γεωργικές Κατασκευές)

Σπυρίδων Πετρόπουλος (Επ. Καθηγητής, Λαχανοκομία)

Copyright © Χατζημιχαήλ Γεώργιος, 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 απόψεων του συγγραφέα.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας μου, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν, ο καθένας με τον δικό του τρόπο, στην πραγματοποίησή της.

Αρχικά θέλω να ευχαριστήσω, τον επιβλέποντα και μέλος της τριμελούς επιτροπής Καθηγητή κ. Λύκα Χρήστο δίνοντάς μου τη δυνατότητα να πραγματοποιήσω την μεταπτυχιακή διατριβή μου στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου και για την σημαντική βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης αυτής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Κατσούλα Νικόλαο και κ. Πετρόπουλο Σπυρίδωνα για τη συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή της αλλά και για την ευκαιρία που μου έδωσε να αρχίσω, να συνεχίσω και να ολοκληρώσω την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο I	
Εισαγωγή.....	7
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Η καλλιέργεια στην Ελλάδα.....	9
1.3 Διαπνοή.....	12
Κεφάλαιο II	
Τρόποι άρδευσης σε σύγχρονα θερμοκήπια.....	16
Κεφάλαιο III	
Υλικά και Μέθοδοι.....	17
3.1 Πολλαπλασιαστικό υλικό.....	17
3.2 Ανάπτυξη στο θερμοκήπιο.....	18
3.3 Μετρήσεις.....	18
3.3.1 Στατιστική επεξεργασία και βαθμονόμηση του μοντέλου.....	20
3.4 Αποτελέσματα.....	21
Συμπεράσματα.....	26

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από 3/12/18 έως 24/02/19 σε πειραματικό θερμοκήπιο στις εγκαταστάσεις του Εργαστηρίου Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας που βρίσκεται στην περιοχή του Βελεστίνου. Το θερμοκήπιο στο οποίο έλαβε χώρα το πείραμά μας είναι πλαστικό με πλαστικά, επίσης, παράθυρα οροφής και με υλικό κάλυψης κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο, το οποίο αποτελείται από έξι θαλάμους 25m μήκους, 9,7m πλάτους και 7,5m ύψους. Κατά τη διάρκεια της ερευνητικής μελέτης πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις της μέσης θερμοκρασίας T ($^{\circ}\text{C}$), της σχετικής υγρασίας RH (%) του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και της ακτινοβολίας RG που δέχτηκαν τα φυτά. Οι παραπάνω μετρήσεις έγιναν με χρήση ζυγού ο οποίος μετράει την απώλεια νερού στο φυτό. Οι ώρες που πάρθηκαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν από τις 00:00 έως και τις 09:00 π.μ. Επίσης έγινε καταγραφή του βάρους των γλαστρών πριν και μετά το πότισμα, το οποίο γινόταν με σταγόνα πάνω στον ζυγό. Για την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν τρεις γλάστρες τριών λίτρων η καθεμία (φ19), μαλακές χρώματος λευκού. Χρησιμοποιήθηκε μία ποικιλία κυκλάμινου που ονομάζεται HALIOS. Για το πείραμά μας χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες καταγραφής των παραμέτρων κλίματος (υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία), έναν ζυγό για την απορρόφηση – απώλεια νερού μέσω ενός μικροελεγκτή μικρής πλακέτας, ήτοι μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα με ενσωματωμένες εισόδους και εξόδους που ονομάζεται arduino και έναν σαρωτή (scanner) για τη φυλλική επιφάνεια.



Εικόνα 1. Πλακέτα arduino

(ΠΗΓΗ: gampf.com.gr)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

Η μεγάλη συγκέντρωση αλάτων στο ριζικό σύστημα ενδέχεται να δημιουργήσει αρκετές παρενέργειες στις λειτουργίες του φυτού όπως είναι η διαπνοή και η φωτοσύνθεση. Αυτές οι παρενέργειες γίνονται πολύ επικίνδυνες σε καλλιέργειες εντός θερμοκηπίου όπου η διαπνοή των φυτών μπορεί να φτάσει σε υψηλά επίπεδα και γι' αυτό τον λόγο για την άρδευση χρησιμοποιούνται ειδικά λιπάσματα τα οποία έχουν ήδη αυξημένη τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η ποιότητα του νερού άρδευσης έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση των καλλιεργειών. Η μεγάλη περιεκτικότητα αλάτων στο νερό άρδευσης μπορεί να μειώσει και να υποβαθμίσει την ποιότητα των λουλουδιών και να μειώσει σημαντικά την παραγωγή. Τα πιο κοινά άλατα στο νερό άρδευσης είναι τα NaCl (Sodium Chloride), CaSO_4 (gypsum Calcium Sulphate), MgSO_4 (Magnesium Sulphate) και NaHCO_3 (Sodium bicarbonate). Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου διαπνοής του κυκλάμινου συναρτήσει των παραμέτρων του κλίματος του θερμοκηπίου.

1.1 Γενικά

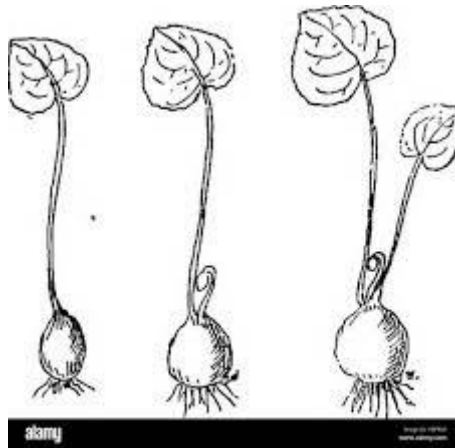
Το φυτό του κυκλάμινου ανήκει στο γένος των 20 περίπου ειδών πολυετών φυτών με άνθη. Το όνομά του το πήρε από τη λέξη κύκλος, γιατί ο ποδίσκος του άνθους του είναι γυριστός σχηματίζοντας κύκλο κατά την άνθησή του.



Εικόνα 2. Ο κύκλος που δημιουργεί ο ποδίσκος του άνθους

(ΠΗΓΗ: cyclamen seeds)

Σε μερικές περιοχές της Ελλάδας το λένε και χοιρόψωμο επειδή το τρώνε οι χοίροι. Ανήκει στην οικογένεια *Primulaceae*, αλλά τα τελευταία χρόνια έχει μεταφερθεί στην οικογένεια *Myrsinaceae*. Ανήκει στο Βασίλειο (Kingdom) *Plantae*, του τομέα *Magnoliophyta* και της κλάσης *Magnoliopsida*. Ανήκει στην τάξη *Ericales* της οικογένειας *Myrsinaceae* και του γένους *Cyclamen* (Κυκλάμινο). Το φυτό του κυκλάμινου καλλιεργείται κυρίως για τα άνθη του, τα οποία είναι διαφόρων χρωματισμών αλλά και για τις φαρμακευτικές ιδιότητές του. Το εκχύλισμα του φυτού περιέχει σαπωνίνες και φλαβονοειδή που είναι απαραίτητα για την καταπολέμηση της ιγμορίτιδας. Το πολλαπλασιαστικό υλικό του κυκλάμινου είναι ένα διευρυμένο υποκοτύλιο. Τα φύλλα του φυτού έχουν σχήμα καρδιάς με άσπρες κηλίδες στο πάνω μέρος και κόκκινες στο κάτω, αντίστοιχα.



Εικόνα 3. Μορφολογία του φυτού

(ΠΗΓΗ: cyclamen seeds)

1.2 Η καλλιέργεια στην Ελλάδα

Η εμπορική αξία του κυκλάμινου έγινε γνωστή κατά τον 19^ο αιώνα περίπου και από τότε η ζήτησή του είναι σε ανοδική πορεία συνεχώς. Η παραγωγή του κυκλάμινου καταλαμβάνει μεγάλο μέρος στην εμπορική αγορά για όλες τις χώρες με ήπιο κλίμα και φυσικά στη χώρα μας. Ωστόσο, η παραγωγή και ο εμπορεύσιμος τύπος κυκλάμινου καθορίζεται από τις ανάγκες της αγοράς, τις καιρικές συνθήκες και την εποχή ζήτησης. Παρά την αυξημένη οικονομική σημασία της καλλιέργειας του κυκλάμινου δεν υπάρχουν επίσημα καταγεγραμμένα στοιχεία σχετικά με την έκταση της καλλιέργειάς του. Στην ελληνική γεωργία η ανθοκομία χρησιμοποιεί μόνο το 0,3% της καλλιεργούμενης γεωργικής έκτασης και συμμετέχει σε ποσοστό 2% στο ακαθάριστο γεωργικό προϊόν. Το κυκλάμινο θεωρείται το πιο βασικό είδος

ανθοφόρου γλαστρικού μεταξύ των γλαστρικών ανθοκομικών από Οκτώβριο – Φεβρουάριο. Είναι πολυετές ποώδες φυτό, με υπόγειο ή επιφανειακό κόνδυλο διαμέτρου 4 – 12 cm. Τα φύλλα του αναπτύσσονται σε στελέχη ύψους 6 – 9 cm και είναι όλα παράρριζα. Ο μίσχος του είναι λεπτός πορφυρός και το έλασμα πλατύ σε σχήμα καρδιάς, σκούρο πράσινο με λευκές κηλιδώσεις και κοκκινοπορφυρό στο κάτω μέρος.

Ανθίζει από τα τέλη Σεπτεμβρίου έως και τον Φεβρουάριο, αυτό όμως μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με την περιοχή. Εξαιτίας της εξαιρετικής του ομορφιάς και της χειμερινής του ανθοφορίας, έγινε πλέον ανθοκομικό – παραγόμενο προϊόν με αυξημένο οικονομικό ενδιαφέρον. Στο κυκλάμινο έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις και αρκετές διασταυρώσεις με αποτέλεσμα να έχουμε εκατοντάδες ποικιλίες που διαφέρουν στο χρώμα του φύλλου, στο μέγεθος του άνθους και στο τελικό μέγεθος του φυτού. Τα κυκλάμινα μπορούν να βρεθούν ευρέως στην αγορά και διατίθενται κυρίως σε ανθοπωλεία, φυτώρια αλλά και σε μεγάλα super markets. Η παραγωγή του κυκλάμινου καταλαμβάνει αρκετά μεγάλο τμήμα στην εμπορική αγορά, για τις χώρες οι οποίες έχουν ήπιο κλίμα. Εξαρτάται όμως από τις ανάγκες της αγοράς (εποχή ανθοφορίας), την εποχή ζήτησης και τις καιρικές συνθήκες της κάθε χώρας. Στην ελληνική επικράτεια δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη (αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερα ανοδική πορεία) η καλλιέργειά του, αν και δεν υπάρχουν στοιχεία σχετικά με την έκτασή της. Στην ελληνική γεωργία καλλιεργούνται περίπου 8.000 στρέμματα με ανθοκομικά είδη και από αυτά περίπου το 45% σε θερμοκήπιο (*Ανθοκομικές καλλιέργειες Τόμος Β' Γεωργίου Ι. Γιατράκη, Γεωργίου Ι. Κέκη*). Το 20% περίπου αντιστοιχεί στην γλαστρική καλλιέργεια και ένα μικρό μέρος από το παραπάνω ποσοστό ανήκει στην καλλιέργεια του κυκλάμινου. Τα κυκλάμινα απαιτούν μια σταθερή και μέτρια λίπανση, η ποσότητα και η συχνότητα της οποίας θα αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους των φυτών. Στα μεταφυτευμένα κυκλάμινα η λίπανση αρχίζει στην ηλικία των 150 ημερών και συνιστάται χορήγηση 100 ppm N, δύο φορές την εβδομάδα. Όταν τα φυτά φτάσουν στην ηλικία των 180 ημερών η λίπανση αυξάνεται σε 150 ppm N, τρεις φορές την εβδομάδα και από την ηλικία των 210 ημερών μέχρι και τη διάθεσή τους αυξάνεται στα 200 ppm N, τέσσερις φορές την εβδομάδα.

Η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ήταν στους 18⁰ C την περίοδο εκείνη, λόγω της χρήσης cooling system και ανοιγμάτων αερισμού στην οροφή και

στις πλευρές του θερμοκηπίου. Η σκίαση του θερμοκηπίου ήταν στο 48% και η υγρασία στο χώρο έφτανε στο 85%. Για να είναι δυνατή η μελέτη της επίδρασης της διαπνοής, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες μετρήσεις σε γλαστρική καλλιέργεια τριών φυτών κυκλάμινου. Η θερμοκρασία του θερμοκηπίου από τη μεταφύτευση και μετά θα πρέπει να διατηρείται στους 15 – 17 ° C κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ την ημέρα στους 20 ° C όταν έχει συννεφιά και στους 23 – 24 ° C όταν υπάρχει ηλιοφάνεια (Καυγά, 1997). Το κυκλάμινο δεν είναι ανθεκτικό στον παγετό. Στο θερμοκήπιο αντέχει έως τους -2° C, υπό την προϋπόθεση ότι η ατμόσφαιρα είναι σχετικά ξηρή. Σ' αυτή την περίπτωση, τα φύλλα γίνονται πιο σκούρα και οι ιστοί της φυλλικής επιφάνειας χαλαρώνουν. Σε περίπτωση που υπάρχει σύστημα δροσισμού (cooling), θα πρέπει να τεθεί σε λειτουργία, διότι κατά τη διάρκεια πολύ θερμού καλοκαιριού, η άνθηση μπορεί να καθυστερήσει 1 – 2 μήνες. Η θερμοκρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο από τα πρόσφατα κιάλας μεταφυτευμένα φυτά. Θα πρέπει να κυμαίνεται από 18 έως 20° C τις πρώτες 5 – 6 εβδομάδες για να αποκτήσουν ένα γρήγορο ξεκίνημα ανάπτυξης στους 20 ° C. Ο εξαερισμός θα πρέπει να πραγματοποιείται μετά τους 20 ° C. Σε περίπτωση που ο καιρός είναι συννεφιασμένος και σκοτεινός θα πρέπει να μειώσουμε τη θερμοκρασία κατά 1 – 2 ° C. Είναι πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα το καλοκαίρι, η θερμοκρασία να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Η επίτευξη της μείωσης της θερμοκρασίας γίνεται με περιοδική σκίαση. Σε περίπτωση που έχουμε συννεφιασμένο καιρό η σκίαση μπορεί να προκαλέσει ανώμαλη ανάπτυξη στην καλλιέργεια των φυτών (τράβηγμα). Ο εξαερισμός είναι απαραίτητος, γιατί μειώνει τη σχετική υγρασία, εξασφαλίζει μία δυνατή καλλιέργεια και προστατεύει το φυτό από τον βοτρυτή. Τους καλοκαιρινούς μήνες όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερο αερισμό χρειάζονται τα φυτά. Η θερμοκρασία του θερμοκηπίου για τα νεαρά φυτά, θα πρέπει να είναι περίπου στους 22 ° C. Στα μεγαλύτερα φυτά ο εξαερισμός θα πρέπει να εφαρμόζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, καθώς και από την εποχή του έτους. Όσον αφορά τη σκίαση, θα πρέπει να φροντίσουμε ώστε τα φυτά να μην εκτεθούν σε υπερβολικό ηλιακό φωτισμό. Προτείνεται 40 – 50% περίπου σκίαση στους καλοκαιρινούς μήνες αλλά με το πέρασ αυτής της περιόδου πρέπει να εφαρμόζεται περισσότερος φωτισμός. Θα πρέπει όμως να προσέξουμε να μην αυξηθεί πάρα πολύ η θερμοκρασία. Όταν τα

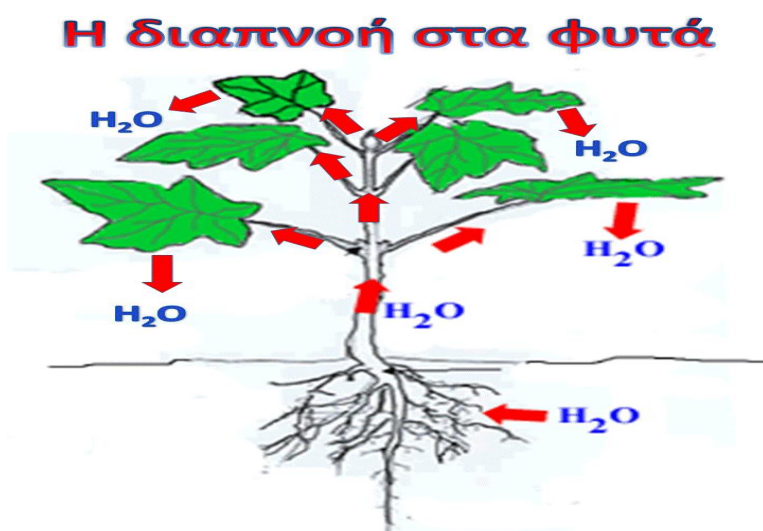
κυκλάμινα δεν έχουν ανθίσει, η άρδευση μπορεί να γίνεται από πάνω σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αυτό βοηθάει το φυτό, γιατί: α) το προστατεύει από αφυδάτωση και β) μειώνει τη συγκέντρωση του άλατος σε αυτό. Είναι απαραίτητο να προσέχουμε ώστε η καλλιέργεια του κυκλάμινου να παραμένει στεγνή κατά τη διάρκεια της νύχτας.

1.3 ΔΙΑΠΝΟΗ (ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΠΝΟΗΣ)

Επειδή το κυκλάμινο αποτελείται από μεγάλα φύλλα, η άρδευση πρέπει να γίνεται προγραμματισμένα για να μπορέσει να ολοκληρωθεί η ανάπτυξη του φυτού. Αυτό θα βοηθήσει ώστε να αναπτυχθεί ομοιόμορφα το φυτό. Η σωστή και επαρκής άρδευση του φυτού θεωρείται σημαντική για την είσοδό του στην αγορά την προγραμματισμένη χρονική περίοδο. Ο τρόπος άρδευσης βασίζεται στο είδος του φυτού και στον χώρο στον οποίο καλλιεργείται. Η άρδευση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη μορφή τεχνητής βροχής, είτε με σταγόνες, είτε με τριχοειδές πότισμα (capillary watering). Η τεχνητή βροχή δεν θεωρείται ικανοποιητική σε μία τέτοια καλλιέργεια λόγω του πλούσιου φυλλώματος του φυτού.

Μεταξύ των μεταβλητών που ορίζουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου και της διαπνοής των φυτών τα οποία καλλιεργούνται εντός του θερμοκηπίου, υπάρχει στενή σχέση. Αυτές οι μεταβλητές είναι η ηλιακή ακτινοβολία που είναι διαθέσιμη και η οποία φτάνει στην καλλιέργεια του κυκλάμινου - που αφορά άμεσα στην εργασία μας- η θερμοκρασία του αέρα, η συγκέντρωση CO₂ κ.ά. Η μεταβολή των τιμών των συγκεκριμένων μεταβλητών στο χώρο και στο χρόνο επιδρούν στις φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού, μία από τις οποίες είναι και η διαπνοή. Η λειτουργία της διαπνοής των υπό καλλιέργεια φυτών στο θερμοκήπιο, αποτελεί έναν πολύ σημαντικό παράγοντα τροποποίησης του μικροκλίματος. Το μικροκλίμα επιδρά σημαντικά στη διαπνοή του φυτού.

Η διαπνοή αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, μία φυσιολογική διεργασία των φυτών. Συνίσταται στην αποβολή νερού από διάφορα τμήματα των φυτών με τη μορφή υδρατμών. Η διεργασία της διαπνοής διαδραματίζεται κυρίως στα φύλλα. Είναι μία διαδικασία πολύ σημαντική για τα φυτά, γιατί τα βοηθά να αντλούν νερό και διάφορα θρεπτικά στοιχεία από τις ρίζες τους.



Εικόνα 4. Κίνηση νερού (H₂O) σε φυτό

(ΠΗΓΗ: ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ)

Η διαπνοή βοηθά στη διατήρηση της κατάλληλης θερμοκρασίας του φυτού και αποτελεί ουσιαστικό μέρος της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.

Το κυκλάμινο αποτελεί μια από την πιο δημοφιλή γλαστρική καλλιέργεια. Αν και η επάρκεια νερού αποτελεί γι' αυτήν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την παραγωγή ποιοτικού προϊόντος, γίνεται ωστόσο εμπειρικά λόγω της έλλειψης μοντέλων διαπνοής που να προσομοιώνουν τις ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό. Ο κίνδυνος εσφαλμένης εκτίμησης της ποσότητας και της συχνότητας άρδευσης οφείλεται κυρίως σε ξαφνικές κλιματικές μεταβολές των παραμέτρων του

θερμοκηπίου, κυρίως της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και στην γρήγορη μεταβολή της φυλλικής επιφάνειας των φυτών, λόγω της ταχείας ανάπτυξής τους. Βασικός στόχος της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου για την εκτίμηση της διαπνοής των φυτών με βάση τις παραμέτρους του κλίματος του θερμοκηπίου. Το μοντέλο αυτό θα βοηθήσει στην βελτιστοποίηση της άρδευσης της καλλιέργειας

Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή είναι η φυλλική επιφάνεια του φυτού, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία μέσω της φυλλικής επιφάνειας καθορίζει τη διαπνοή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η διαπνοή επηρεάζεται αρκετά από την καθαρή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της καλλιέργειας. Η αύξηση της διαπνοής επηρεάζεται τόσο από την αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας όσο και από την διάρκειά της καθώς και από την αύξηση της θερμοκρασίας της καλλιέργειας όταν οι υπόλοιποι παράγοντες (υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα) παραμένουν σταθεροί. Η αύξηση της διαπνοής αποδίδεται στην ικανότητα της καλλιέργειας να προσαρμόζεται στις διάφορες συνθήκες μέσω της εξάτμισης. Για να μπορέσουμε να εξασφαλίσουμε όσο το δυνατόν καλύτερη παραγωγή (ποιοτική και ποσοτική), θα πρέπει οι συνθήκες στο θερμοκήπιο να είναι τέτοιες ώστε η φωτοσύνθεση αλλά κυρίως η διαπνοή να ευνοούνται απρόσκοπτα. Οπότε μπορούμε να πούμε ότι ο στόχος μας μέσα στο θερμοκήπιο είναι να κρατήσουμε το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σταθερό και σε μικρές τιμές. Επίσης, η καθαρή ακτινοβολία να μην ξεπερνά τα επίπεδα των $600 - 650 \text{ Wm}^{-2}$ (Stanghellini, 1987) καθώς και η υδατική κατάσταση της καλλιέργειας να διατηρείται σε άριστα επίπεδα, ώστε ο κίνδυνος για υδατικό στρες στο φυτό να απομακρύνεται. Όσο πιο πολλά και όσο πιο μεγάλα φύλλα έχει το φυτό, τόσο πιο γρήγορα αποβάλλεται το νερό του. Αυτό είναι αναμενόμενο, γιατί η αποβολή του νερού γίνεται μέσω των στομάτων που υπάρχουν στα φύλλα των φυτών και όσο πιο πολλά – μεγάλα φύλλα υπάρχουν τόσο πιο γρήγορη είναι η διαπνοή σε συγκεκριμένες συνθήκες. Η διαπνοή του φυτού διαταράσσεται εύκολα λόγω του μεγάλου φυλλώματος που έχει. Το νερό και όλα τα θρεπτικά συστατικά φτάνουν έως τα φύλλα ακολουθώντας μία πορεία αντίθετη στη βαρύτητα. Αυτή η «κινητήρια δύναμη» στην πορεία του νερού είναι η διαπνοή. Τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν το ρυθμό της διαπνοής με το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων των φύλλων τους.

Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια των φύλλων τόσο μεγάλη είναι και η διαπνοή και για αυτό τα ανώτερα φυτά απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού. Επειδή η εξάτμιση νερού από την φυλλική επιφάνεια ακολουθείται από απώλειες θερμότητας, η διαπνοή επιφέρει ελάττωση της θερμοκρασίας των φύλλων. Αν μετρήσουμε τη φυλλική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μιας θερμής ημέρας, θα διαπιστώσουμε ότι θα υπάρχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές της ατμόσφαιρας. Η διαπνοή λοιπόν, είναι ο προστάτης του φύλλου από την υπερθέρμανση.

Βασική και πιο σημαντική ενεργειακή πηγή που δέχεται το θερμοκήπιο στη διάρκεια της ημέρας είναι η ηλιακή ακτινοβολία (R_s), η οποία εισέρχεται στην επιφάνεια του φύλλου. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από αυτό, ένα άλλο μέρος επανεκπέμπεται από το φύλλο και το υπόλοιπο εισέρχεται στο έδαφος μέσω αυτού. Η ακτινοβολία που απορροφάται απευθείας από το φύλλο ονομάζεται καθαρή ακτινοβολία (R_n). Η ακτινοβολία η οποία γίνεται δεκτή από την επιφάνεια του φύλλου μετατρέπεται σε ασθενή θερμότητα (H) καθώς και σε λανθάνουσα θερμότητα (λE) και ένα μέρος της χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση του φυτού (P_s).

Η παρακάτω σχέση μας δίνει το ισοζύγιο ενέργειας στην επιφάνεια του φύλλου και υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση :

$$R_n = \lambda E + H + P_s$$

Όπου : R_n = η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια του φύλλου.

λE = η λανθάνουσα θερμότητα λόγω εξάτμισης των υδρατμών (διαπνοή), με λ να είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού και E είναι η διαπνοή ($\text{Kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

H = η αισθητή θερμότητα, η οποία ελευθερώνεται στον αέρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

ΤΡΟΠΟΙ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Μέσα στα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται αρκετά συστήματα ποτίσματος για την ομαλότερη καλλιέργεια των φυτών. Ένα σύστημα άρδευσης είναι το ράντισμα με σωληνάκια υδρονέφωσης, το οποίο όμως είναι ακατάλληλο για πότισμα σε ευαίσθητα λουλούδια όπως είναι το κυκλάμινο, γιατί υπάρχει κίνδυνος υπερβολικής υγρασίας στο θερμοκήπιο και μπορεί να δημιουργηθούν εγκαύματα στα φύλλα των φυτών. Ένα δεύτερο σύστημα άρδευσης είναι η υπόγεια άρδευση τοποθετώντας σωλήνες στο υπέδαφος του θερμοκηπίου. Αν και θεωρείται αποτελεσματικό σύστημα, είναι πολύ ακριβό και δεν εφαρμόζεται από τους παραγωγούς. Ένα παραδοσιακό σύστημα άρδευσης είναι η κατάκλυση. Ένα σύστημα όμως το οποίο έχει ξεχαστεί στο χρόνο και το οποίο θεωρείται ακατάλληλο πλέον σε καλλιέργειες θερμοκηπίου και λόγω πολλών ζημιών σε γλαστρικά φυτά αλλά και λόγω μεγάλης κατανάλωσης νερού. Το πιο διαδεδομένο σύστημα άρδευσης είναι με σταγόνα (σταλακτοφόροι σωλήνες). Θεωρείται το πιο οικονομικό λόγω της χαμηλής πίεσης νερού που πέφτει στα φυτά και αποτελεσματικό σύστημα άρδευσης γιατί ποτίζονται ομοιόμορφα όλες οι γλάστρες που βρίσκονται στο θερμοκήπιο. Το νερό φεύγει από την έξοδο με τη μορφή σταγόνων με τέτοιο τρόπο, ώστε να πέφτει στο φυτό λίγα λίτρα την ώρα. Η στάγδην άρδευση βοηθάει στην παρεμπόδιση ασθενειών και διαφόρων εντόμων, γιατί δεν υπάρχει υγρασία στα φύλλα του φυτού. Μ' αυτό το σύστημα πραγματοποιήθηκε η άρδευση στο πείραμά μας. Η άρδευση των φυτών του κυκλάμινου είναι ιδιαίτερα περίπλοκη, διότι δεν απαιτείται συνεχής υγρασία του εδάφους, μέσω συνεχούς ποτίσματος. Τις περισσότερες φορές που υπάρχει ανεπάρκεια νερού στην καλλιέργεια του φυτού δημιουργείται μαρασμός και κυρίως

σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες έντονο κιτρίνισμα των φύλλων στην κάτω φυλλική επιφάνεια. Εφαρμόζεται άρδευση με σταγόνες ή τριχοειδής άρδευση (σύστημα βρεγμένου δαπέδου). Η σχετική υγρασία του θερμοκηπίου διατηρείται σε επίπεδα 50 – 70% ημερησίως.



Εικόνα 5. Άρδευση των φυτών στο πείραμά μας.
(ΠΗΓΗ: προσωπικές φωτογραφίες από το πείραμα)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Τα φυτά παρελήφθησαν στις 15/6/2019 και μεταφυτεύτηκαν στις 18 του ίδιου μήνα. Τα κυκλάμινα που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμά μας ανήκουν στην ποικιλία HALIOS και ήταν τοποθετημένα σε δίσκο 128 θέσεων και φυτεύτηκαν σε πλαστικό θερμοκήπιο στο Αϊδίνη του νομού Μαγνησίας. Το εδαφικό γλαστρικό μίγμα του κυκλάμινου περιείχε άργιλο, περλίτη και λίπασμα βραδείας αποδέσμευσης. Το

υπόστρωμα είχε pH 6 και περιελάμβανε πλήρες λίπασμα (20- 20- 20) . Το μέγεθος της γλάστρας στην οποία έγινε η μεταφύτευση του κυκλάμινου ήταν 3 λίτρα. Για να πραγματοποιηθεί ορθά η ανάπτυξη του φυτού από το αρχικό του στάδιο, έγινε απολύμανση των αγωγών άρδευσης και των πάγκων με φορμαλίνη ή με διάλυμα μυκητοκτόνου. Το διάλυμα έπεσε άφθονο ώστε να βραχεί τουλάχιστον σε βάθος 5 εκατοστά το έδαφος. Καθημερινά γινόταν άρδευση 10 λεπτά σταλάκτη 2 λίτρων.

3.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

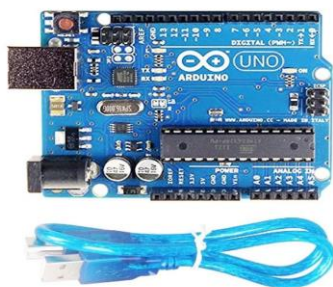
Τα φυτά των κυκλάμινων που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμά μας φυτεύτηκαν απευθείας σε γλάστρα 3 λίτρων και για την τελική τους μορφή χρησιμοποιήθηκαν τρεις (3) τύποι κρυσταλλικών λιπασμάτων και ανά 3 εβδομάδες άλλαζε ο τύπος τους ως εξής:

- 1) **20 – 20- 20** (ισορροπημένο)
- 2) **10 – 52- 10** (ανάπτυξης)
- 3) **12 – 7 – 36** (ανθοφορίας)

3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Για τις μετρήσεις μας χρησιμοποιήθηκαν 3 τυχαία φυτά από τα 128 που παρελήφθησαν και τοποθετήθηκαν σε αυτόματο ζυγό που κατέγραφε το βάρος (gt) του συστήματος γλάστρα – φυτό – νερό. Η καταγραφή βάρους πραγματοποιούνταν κάθε 3 λεπτά όπως επίσης η ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2), η θερμοκρασία ($^{\circ} C$) και η σχετική υγρασία (%).

Η καταγραφή αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια ενός αισθητήριου βάρους με μικροεπεξεργαστή arduino ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με υπολογιστή.



Εικόνα 6. Συσκευή arduino

(ΠΗΓΗ: gampf.com.gr)

Ο arduino είναι μία πλακέτα αποτελούμενη από έναν μικροελεγκτή Atmel AVR και κάποια εξαρτήματα τα οποία το συμπληρώνουν ώστε να γίνεται πιο εύκολος ο προγραμματισμός και η ενσωμάτωσή του σε άλλα κυκλώματα.

Αισθητήρες(ΕΙΣΟΔΟΣ) —▶ Arduino(ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ)—▶ Υπολογιστής (ΕΞΟΔΟΣ)

Διάγραμμα 1. Σύνδεση αισθητήρων με τον arduino

Από τις παραπάνω μετρήσεις φάνηκε η ωριαία και η ημερήσια μεταβολή του βάρους που αντιπροσωπεύει αντίστοιχα την ωριαία και ημερήσια διαπνοή των φυτών. Στην

περίπτωση που είχε προηγηθεί άρδευση η εκτίμηση της διαφοράς του βάρους έγινε μετά τη σταθεροποίηση των ενδείξεων του ζυγού. Από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κατά την περίοδο διεξαγωγής του πειράματος υπολογίστηκε η VPD.

3.3.1 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αντλήθηκαν από την πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος Stargraphics Centurion XVI.I όπου επιλέχθηκε η μέθοδος της λιγότερο σημαντικής διαφοράς (LSD) του Fischer σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% ($p \leq 0.05$). Ταυτόχρονα δοκιμάστηκε η συσχέτιση μετρημένων και εκτιμημένων τιμών με την εξίσωση $a+b*\ln(VPD)$.

Όπου a και b σταθεροί συντελεστές και VPD το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (Kg/m^3 αέρα).

Σύμφωνα με το ISHS (International Society for Horticultural Science) έχει βρεθεί ένα μοντέλο εφαρμογής στον έλεγχο αρδευτικής καλλιέργειας τομάτας θερμοκηπίου. Το μοντέλο που προέκυψε έχει την παρακάτω εξίσωση:

$$TR = A*RG + B*D$$

Όπου A και B είναι σταθεροί συντελεστές που προκύπτουν από τη βαθμονόμηση του μοντέλου, RG η μετρημένη ηλιακή ακτινοβολία των φυτών D το έλλειμμα κορεσμού του αέρα και TR η διαπνοή (g νερού)

Στο κυκλάμινο δεν έχει υπολογιστεί κάποιο μοντέλο διαπνοής. Αυτό το μοντέλο διαπνοής του κυκλάμινου θα το αναλύσουμε παρακάτω αφού είναι και ο σκοπός της εργασίας.

3.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

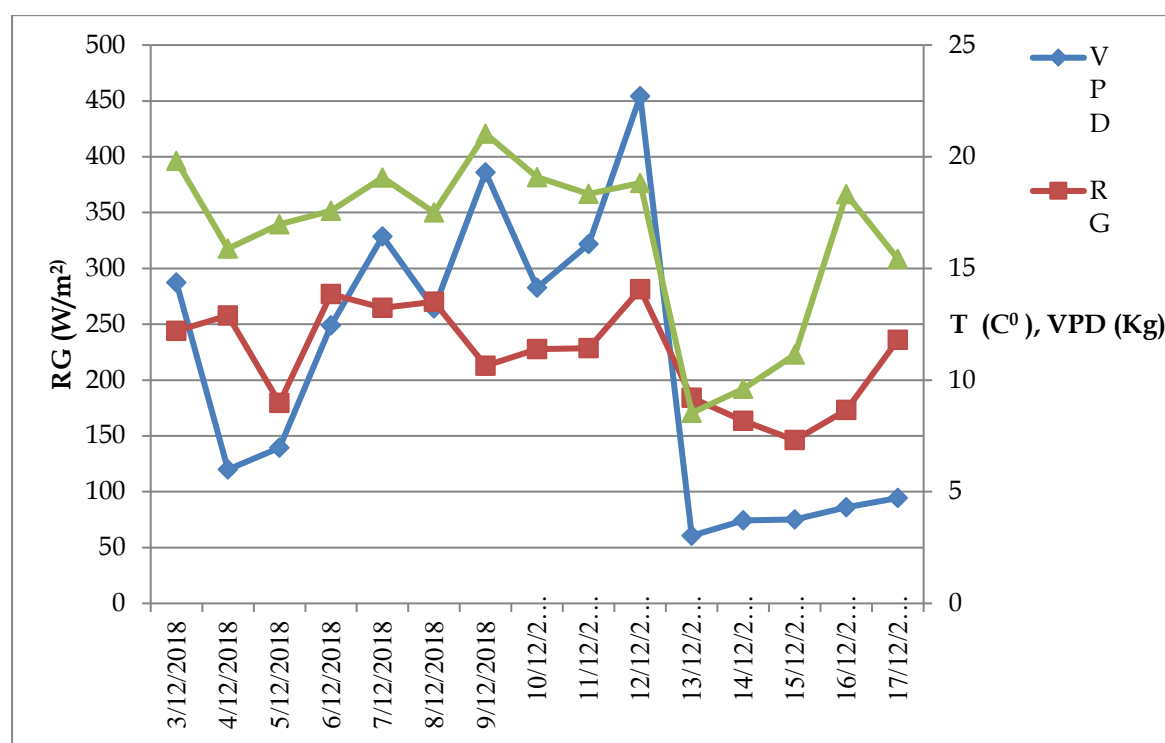
3.4.1 Κλίμα του θερμοκηπίου

Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε ότι η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά την περίοδο των μετρήσεων κυμάνθηκε από 8 – 21°C.

Η ηλιακή ακτινοβολία κυμάνθηκε κατά μέσο όρο από 200 έως 250 W/m², γιατί ήταν χειμώνας και το υλικό δεν είχε διαπερατότητα, λόγω της μη απομάκρυνσης της βαφής πάνω από το πλαστικό.

Η υγρασία ακολουθεί τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

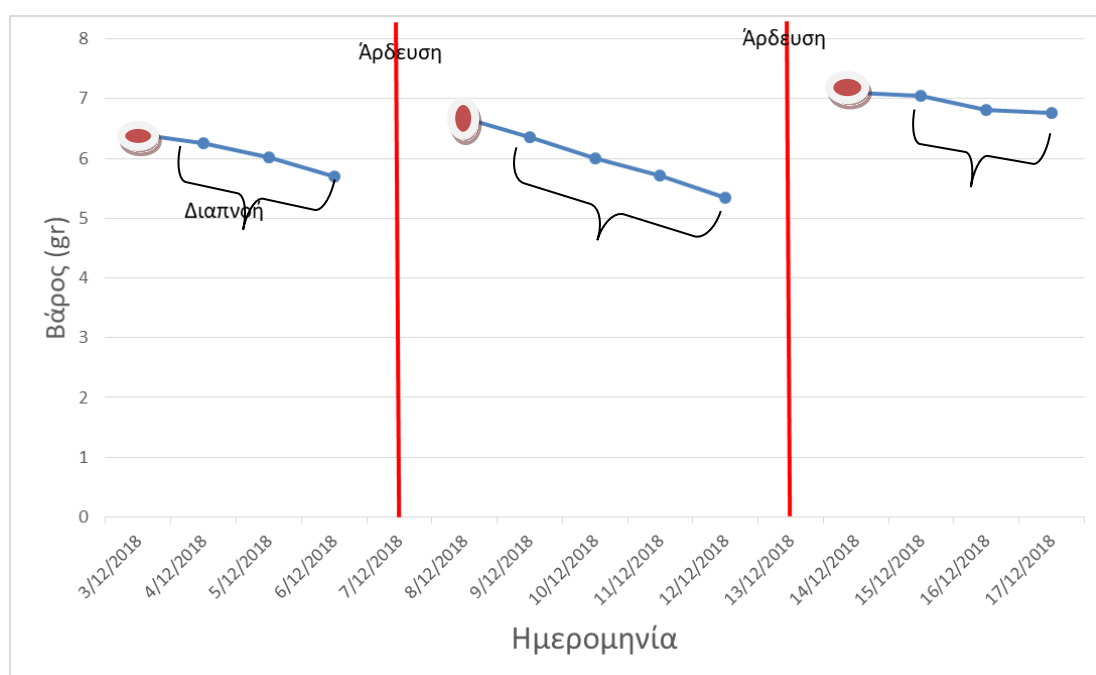
Ελάχιστες τιμές στο VPD βλέπουμε ότι υπάρχουν στις 4/12 στις 5/12 και μετά τις 13/12. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν σημαντικά τη διαπνοή.



Ημερομηνία

Γράφημα 1. Σχέση υγρασίας με θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία

Στο επόμενο γράφημα παρατηρούμε ότι στις 7/12 και στις 13/12 επειδή πραγματοποιήθηκε άρδευση των φυτών, οι μετρήσεις μας έγιναν από τις 3 – 6/12, από τις 8 – 12/12 και από τις 14 – 17/12. Οπότε έχουμε 3 περιόδους για τις οποίες αφαιρέθηκε το βάρος που καταγράφηκε για 2 διαδοχικές ημέρες που αντιπροσωπεύει την ημερήσια διαπνοή των φυτών του ζυγού. Οι τιμές με την κόκκινη τελεία δεν αξιοποιούνται, γιατί είναι οι πρώτες καταγεγραμμένες τιμές κατά την ημερομηνία της άρδευσης και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της μεταβολής της διαπνοής. Κατά συνέπεια από την πρώτη περίοδο μετρήσεων (3 έως 6/12) μπορούμε να εκτιμήσουμε τη διαπνοή των φυτών για 3 συνεχόμενες ημέρες από τη δεύτερη περίοδο (8 έως 12/12) τη διαπνοή των φυτών για 4 συνεχόμενες ημέρες και από την τρίτη περίοδο (14 έως 17/12) μπορούμε να εκτιμήσουμε τη διαπνοή των φυτών για 3 επίσης συνεχόμενες ημέρες.



Γράφημα 2. Μεταβολή βάρους φυτών σε κάθε περίοδο άρδευσης

Οι μετρημένες τιμές της διαπνοής για τις παραπάνω περιόδους χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση δύο μοντέλων διαπνοής του κυκλάμινου συναρτήσεως των παραμέτρων του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι παρακάτω εξισώσεις (1) και (2) περιγράφουν τη μαθηματική προσομοίωση της διαπνοής των φυτών.

$$TR = a \cdot RG + b \cdot VPD \quad (\text{σχέση 1})$$

όπου a και b σταθεροί συντελεστές

RG (w/m^2) η μετρημένη ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο των φυτών και

VPD (Kg/m^3 αέρα) το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σε υγρασία.

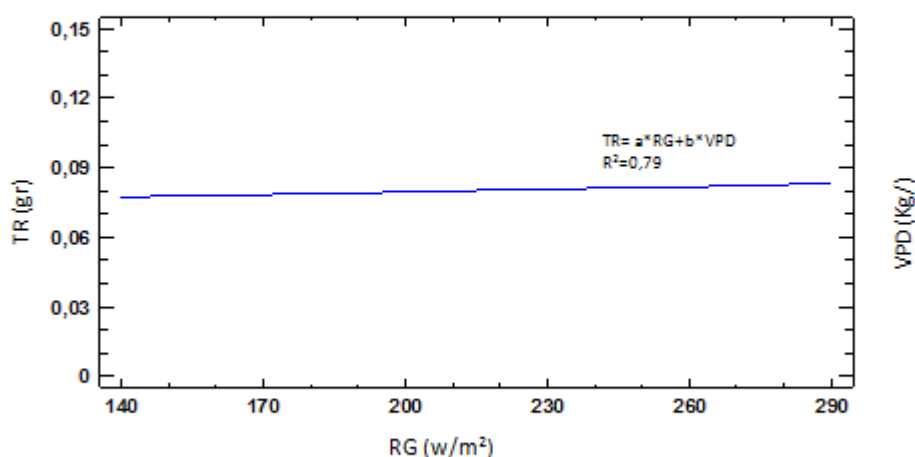
$$a + b \cdot \ln(VPD) \quad (\text{σχέση 2})$$

όπου a και b σταθεροί συντελεστές.

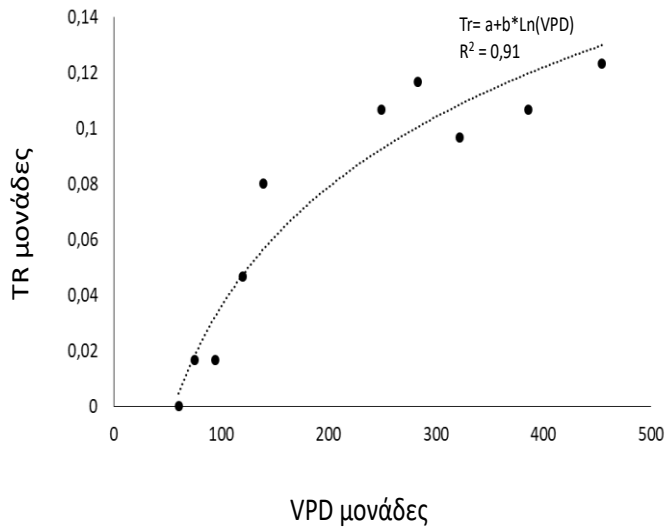
VPD (Kg/m^3 αέρα) το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σε υγρασία.

Με τη στατιστική επεξεργασία υπολογίστηκαν οι παράμετροι a και b .

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση των μοντέλων για την εκτίμηση της διαπνοής των φυτών για τις παραπάνω περιόδους προέκυψε η συσχέτιση των μετρημένων και εκτιμημένων τιμών που περιγράφονται στα παρακάτω γραφήματα:



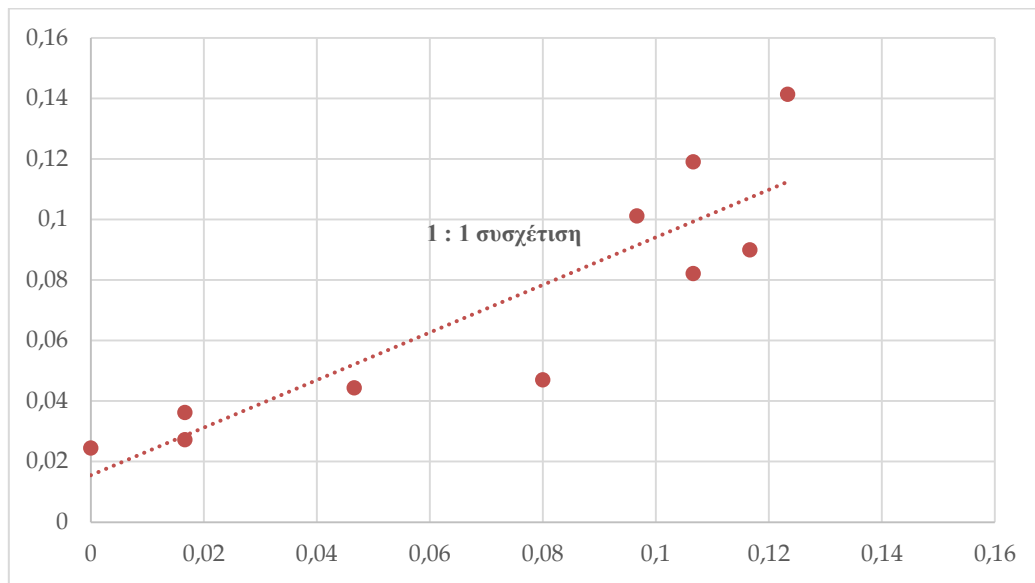
Γράφημα 3. Γραμμικό γράφημα



Γράφημα 4. Λογαριθμικό γράφημα

Με τη βοήθεια των παραπάνω μοντέλων επανεκτιμήθηκαν οι τιμές διαπνοής και συσχετίστηκαν με τις μετρημένες τιμές.

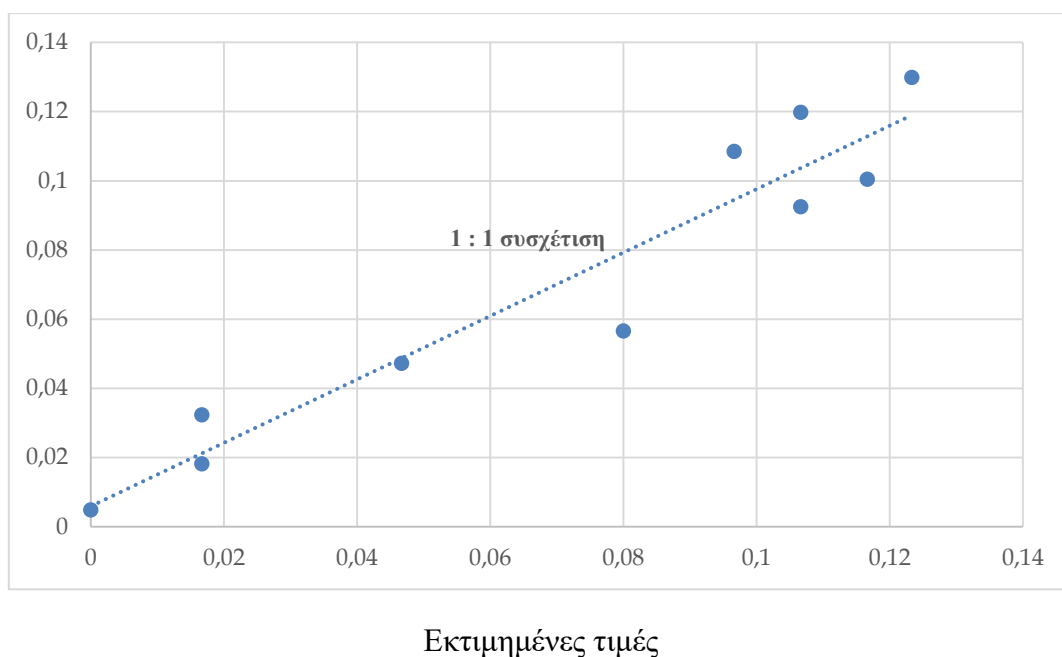
μετρημένες τιμές



Εκτιμημένες τιμές

Γράφημα 5. Γραμμικό γράφημα

μετρημένες τιμές



Γράφημα 6. Λογαριθμικό γράφημα

- Όπως φαίνεται στα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνουμε πως στο λογαριθμικό γράφημα το R^2 είναι καλύτερο από το αντίστοιχο του γραμμικού.
- Στο γραμμικό χρησιμοποιούνται το RG και το VPD ωστόσο το R^2 είναι μικρό. Στο λογαριθμικό χρησιμοποιείται μόνο το VPD ωστόσο έχει μεγάλο R^2 λόγω των μεγάλων φύλλων των φυτών και επομένως υπάρχει μεγάλη επίδραση του VPD, οπότε το φυτό θέλει λίγο φως άρα υπάρχει αρνητική επίδραση του RG.

Συμπεράσματα

1. Από την παραπάνω επεξεργασία φαίνεται ότι το λογαριθμικό έχει καλύτερο R^2 από το γραμμικό.
2. Το VPD θεωρείται κυρίαρχος παράγοντας για τη διαπνοή στο κυκλάμινο λόγω της φυλλικής επιφάνειας των φυτών και στο 2^ο μοντέλο συμπεριφέρεται καλύτερα.
3. Με τη χρήση του Arduino μπορούμε να εκτιμήσουμε τη διαπνοή των φυτών και να κάνουμε μια συνεχή βαθμονόμηση του μοντέλου δηλαδή επανεκτίμηση των a και b.

Εικόνα 1	Πλακέτα arduino.....6
Εικόνα 2	Ο κύκλος του ποδίσκου του άνθους...8
Εικόνα 3	Μορφολογία φυτού.....9
Εικόνα 4	Κίνηση νερού σε φυτό.....13
Εικόνα 5	Άρδευση φυτών του πειράματος.....17
Εικόνα 6	Συσκευή arduino.....19

Πηγή 1	Gampf.com.gr.....	6
Πηγή 2	Cyclamen seeds.....	8
Πηγή 3	Cyclamen seeds.....	9
Πηγή 4	Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών..	13
Πηγή 5	Προσωπικές φωτογραφίες.....	17
Πηγή 6	Gampf.com.gr.....	19

Γράφημα 1	Σχέση υγρασίας με θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία.	21
Γράφημα 2	Μεταβολή του βάρους των φυτών σε κάθε περίοδο άρδευσης.....	22
Γράφημα 3	Γραμμικό γράφημα (σχέση R_G, T_R, VPD).....	23
Γράφημα 4	Λογαριθμικό γράφημα (σχέση T_R, VPD).....	24
Γράφημα 5	Γραμμικό γράφημα (εκτιμημένες – μετρημένες τιμές).....	25
Γράφημα 6	Λογαριθμικό γράφημα (εκτιμημένες – μετρημένες τιμές).....	26

Βιβλιογραφία – Πηγές - Περιοδικά

**Ανθοκομικές καλλιέργειες Τόμος Β΄ Γεωργίου Ι. Γιατράκη,
Γεωργίου Ι. Κέκη**

Stanghellini , 1987

Κιτάντζης φυτά και εφόδια

Plant Protection

Morel cyclamen

Anthemion Flowers

Salamis Flowers

Fytonet

**Παναγόπουλος, Χ.Γ., Ψαλλίδας, Π. Γ. 1970. Μια υγρή βακτηριακή
σήψη του κυκλάμινου. Χρονικά του Μπενάκειου Φυτοπαθολογικού
Ινστιτούτου (Ν. Σ.), 9:91- 102**

**Παπαπαναγιώτου Α. (2005):Φυτοπροστασία Ανθοκομικών,
σημειώσεις ΤΕΙ ΜΕΣ.**

**Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠ.Α.Α.Τ) (2007):
Προοπτικές ανάπτυξης τομέα ανθοκομίας.**

**Corazza, L., Balmas, V., Magnota, A., Luongo, L. 1998. Athracnose
and Fusarium xilt of cyclamen. Colture Protette, 27, (10 Supl.): 11-14.**

Κέντρο Γεωργικής Έρευνας Αθηνών, Τμήμα ανθοκομίας

Γεωργικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Ανθοκομίας

Σύγχρονη ανθοκομία - κηποτεχνία, Ιωάννης Νούσης, 1989.