

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ  
& ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
Αριθ. Πρωτοκ 181  
Ημερομηνία 27-2-2002

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ :**

**ΒΕΝΕΤΗ ΗΛΙΑ**

**ΘΕΜΑ :**

**<<ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΑΣΙΚΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΜΕ  
ΛΥΣΙΜΕΤΡΟ >>**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :**  
**ΜΑΡΙΑ ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ - ΜΑΚΡΑΝΤΩΝΑΚΗ**

**ΒΟΛΟΣ**  
**ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2002**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ**  
**ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 1625/1

Ημερ. Εισ.: 07-10-2003

Δωρεά: \_\_\_\_\_

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ ΓΦΖΠ

2002

ΒΕΝ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070325

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	1
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
1.1. Η υγρασία του εδάφους .....	5
1.2. Η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία του εδάφους .....	7
1.3. Η υδατοϊκανότητα του εδάφους .....	7
1.4. Το σημείο μόνιμης μάρανσης .....	8
1.5. Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους .....	9
1.6. Η διαθέσιμη και η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία .....	10
1.7. Η διηθητικότητα του εδάφους .....	10
1.8. Το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών .....	11
2. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	13
2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση νερού από τις καλλιέργειες .....	14
2.2. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Blaney- Griddle . .....	15
2.3. Νεώτερες μέθοδοι υπολογισμού της Εξατμισοδιαπνοής . .....	17
2.4. Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής (ET <sub>r</sub> ) με τη τροποποιημένη μέθοδο των Blaney- Griddle .....	17
2.5. Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής με τη τροποποιημένη μέθοδο του Penman .....	20
2.6. Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman- Monteith .....	29
2.7. Φυτικοί συντελεστές .....	32
2.7.1. Φυτικοί συντελεστές ετήσιων καλλιεργειών .....	32
2.7.2. Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών .....	40
2.8. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.....	42
2.9. Μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών .....	42
2.10. Μέθοδος του ισοζυγίου υγρασίας .....	43
2.11. Μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων .....	44
2.12. Μέθοδος του λυσιμέτρου . . .....	45

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ .....	48
3.1. Περιγραφή και πειραματική χρήση του λυσιμέτρου .....	48
3.2. Πρώτη φάση συναρμολόγησης του λυσιμέτρου.....	49
3.3. Δεύτερη φάση συναρμολόγησης του λυσιμέτρου.....	52
3.4. Προετοιμασία του μανόμετρου.....	54
3.4.1. Διαδικασία συντήρησης του μανόμετρου.....	54
3.4.2. Φύλλα δεδομένων πειραματικής διαδικασίας.....	55
3.5. Το φυτό Καλενδούλα.....	61
3.6. Μέθοδος μέτρησης υγρασίας TDR .....	62
3.7. Το βροχόμετρο .....	64
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....	66
4.1. Βαθμονόμηση λυσιμέτρου.....	67
4.2. Έναρξη μετρήσεων .....	81
4.3. Παρατηρήσεις κατά τη λήψη των μετρήσεων.....	85
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....	93
Αποτελέσματα μετρήσεων κατά τη διάρκεια του πειράματος .....	95
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : Γραφήματα .....	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : Φωτογραφίες .....	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	127

## Πρόλογος

Το νερό αποτελεί βασικό στοιχείο του κύκλου της ζωής. Σε δυναμικά αναπτυσσόμενες καλλιέργειες, το νερό είναι τέσσερις με οκτώ φορές παραπάνω από το βάρος των στερεών συστατικών των φυτών. Για την παραγωγή μιας μονάδας ξηράς φυτικής ουσίας χρειάζεται να περάσουν μέσα από τα φυτά πολλές εκατοντάδες μονάδες νερού που χάνονται στην ατμόσφαιρα με τη διαδικασία της διαπνοής.

Τα φυτά παίρνουν νερό από το έδαφος. Με την έννοια αυτή, το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν μια αποθήκη που δέχεται νερό, το οποίο προέρχεται από βροχή ή άρδευση και στη συνέχεια διατίθεται στα φυτά. Για να είναι το εδαφικό νερό χρήσιμο στις καλλιέργειες πρέπει να διατηρείται ανάμεσα σε ορισμένα όρια. Αν υπάρχει υπέρβαση των ορίων αυτών το νερό γίνεται επιζήμιο και πρέπει να απομακρύνεται με στράγγιση. Αντίθετα, αν το εδαφικό νερό πέσει κάτω από τα επιτρεπόμενα όρια, οι καλλιέργειες δεν μπορούν να αναπτυχθούν κανονικά οπότε το νερό πρέπει να προστεθεί με άρδευση. Για τη σωστή άρδευση και στράγγιση είναι απαραίτητη η σε βάθος γνώση των όρων που διέπουν την κίνηση, συγκράτηση και ανακατανομή του νερού στο έδαφος.

Το νερό χάνεται από τις καλλιέργειες με τις διαδικασίες της εξάτμισης και της διαπνοής. Εξάτμιση και διαπνοή είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων που έχουν σχέση με τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών, τη διαθεσιμότητα ενέργειας και την κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα στη περιοχή φυλλώματος των καλλιεργειών. Πηγή ενέργειας για τα φυτά είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η κατάσταση που επικρατεί στην ατμόσφαιρα διαμορφώνεται κατά κύριο λόγο από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία.

Η γνώση του ωφέλιμου νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στο έδαφος και του ρυθμού εξάτμισης και διαπνοής του από το χωράφι, αποτελεί βασική υποδομή για τον καθορισμό του αριθμού των αρδεύσεων που χρειάζεται μια καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της βλαστικής της περιόδου, της ποσότητας του νερού που πρέπει να εφαρμόζεται με κάθε άρδευση και τη διάρκεια της κάθε άρδευσης.

Από τα παραπάνω γίνεται προφανής η ανάγκη να υπολογιστούν οι συνολικές απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό, αφού τα τελευταία χρόνια η μείωση του

υδατικού δυναμικού είναι εμφανής έτσι ώστε να γίνεται σωστότερος προγραμματισμός της χρήσης των υπαρχόντων και μελλοντικών αρδευτικών δικτύων. Η εργασία αυτή έγινε στα πλαίσια του προπτυχιακού κύκλου σπουδών στο Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Εργαστήριο της Γεωργικής Υδραυλικής. Σκοπός της εργασίας είναι η μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής στο φυτό καλενδούλα με τη χρήση του λυσιμέτρου.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτριά μου κα. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής, για την εύρεση του θέματος της πτυχιακής εργασίας, τις συμβουλές που μου έδωσε ως προς τον τρόπο εργασίας στο πείραμα. Καθώς επίσης για την παροχή πολύτιμης αρωγής κατά την επεξεργασία της πτυχιακής μου.

Επίσης ευχαριστώ τον καθηγητή κο. Πέτρο Λόλα για τις πολύτιμες γνώσεις που αποκόμισα στο μάθημα, αλλά και για το συνεχές ενδιαφέρον του ως προς την πορεία της πτυχιακής μου και τις πληροφορίες και συμβουλές που μου έδωσε.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή κο. Στέργιο Θεοδωρικά που με εμπιστεύτηκε και αποτελεί το τρίτο μέλος της Επιτροπής της διατριβής μου, και για την εν γένει συμβολή του στην εργασία αυτή.

Σημαντική ήταν η συμπαράσταση του κο. Νικολάου Παπανίκου στην εκτέλεση του πειράματος.

Ευχαριστώ επίσης τον μεταπτυχιακό φοιτητή Ιωάννη Τέντα και τον φοιτητή Αθανάσιο Σιούλα, για τις πολύτιμες συμβουλές τους και τη βοήθειά τους στην εκτέλεση του πειράματος και στην παρουσίαση της εργασίας στον υπολογιστή.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικειμενικός σκοπός της άρδευσης είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για την κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της απόδοσης τους σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα φυτό σε ανάπτυξη παίρνει με τις ρίζες του το νερό μαζί με τα διαλυμένα σ' αυτό θρεπτικά στοιχεία που, μετά μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί, όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοικτά, το νερό κινείται με τη μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα το φύλλωμα ατμόσφαιρα.

Η διαπνοή ορίζεται σαν η διαδικασία εκείνη, κατά την οποία υδρατμοί διαφεύγουν από τα ζώντα φυτά (κύρια από τα φύλλα τους) και εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα μ' αυτούς. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με τη διαδικασία της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Εξάτμιση καλείται η μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση του. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με τις διαδικασίες αυτές αποτελεί την εξατμισοδιαπνοή. Το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας και των συνθηκών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμά της.

Τα είδη των φυτών που απαρτίζουν τις διάφορες καλλιέργειες διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά τη βλαστική τους περίοδο, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα, την έκταση και την ανακλαστικότητα του φυλλώματος και τον τρόπο που καλλιεργούνται. Οι διαφορές αυτές συνεπάγονται αντίστοιχες διαφοροποιήσεις της εξατμισοδιαπνοής από καλλιέργεια σε καλλιέργεια.

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή είναι ένα φαινόμενο εξάτμισης που γίνεται κάτω από κάποιες ειδικές συνθήκες. Για να υπάρξει εξάτμιση χρειάζεται ενέργεια και, συγκεκριμένα, για την εξάτμιση ενός γραμμαρίου νερού χρειάζεται ενέργεια ίση περίπου με 590 cal. Στη φύση η πηγή που προμηθεύει την ενέργεια αυτή στις καλλιέργειες είναι ο ήλιος. Όταν οι υδρατμοί εγκαταλείψουν την καλλιέργεια γίνονται μέρος της ατμόσφαιρας και υπόκεινται σε όλες τις διαδικασίες ανάμιξης που αποσκοπούν στην ομογενοποίηση σε ότι αφορά την πυκνότητα, τη σύνθεση και

τη θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει το φύλλωμα. Το μέγεθος και ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι συνάρτηση της κινητικότητας των υδρατμών που, κατά κύριο λόγο, διαμορφώνεται από την ταχύτητα του ανέμου, τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας διαμορφώνεται: α) από κλιματικούς παράγοντες, κυριότεροι από τους οποίους είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. β) από τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμά της. Κάθε σχέση υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, για να είναι αξιόπιστη, πρέπει να βασίζεται στην ποσοτική εκτίμηση των παραμέτρων που έχουν σχέση με την καλλιέργεια και το κλίμα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη μελέτη του φαινομένου της εξατμισοδιαπνοής στοχεύοντας στην εκτίμηση των υδατικών αναγκών καλλιεργούμενου φυτού καλενδούλας με τη μέθοδο του λυσιμέτρου. Στο κεφάλαιο 1 αναλύονται και εξηγούνται ορισμένες βασικές έννοιες όπως η υδατοϊκανότητα του εδάφους, το σημείο μόνιμης μάρανσης, το φαινόμενο ειδικό βάρος, η διαθέσιμη και η ωφέλιμη υγρασία, η διηθητικότητα του εδάφους και το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών. Η γνώση των παραπάνω εννοιών είναι απαραίτητη στη Γεωργική Υδραυλική και θα πρέπει να τις γνωρίζουμε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο κεφάλαιο 2 δίνονται διάφοροι τρόποι υπολογισμού της βασικής και της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος (το λυσίμετρο, το βροχόμετρο και το TDR), η προετοιμασία του λυσιμέτρου, καθώς και ορισμένες πληροφορίες για το φυτό καλενδούλα. Στο κεφάλαιο 4 παρατίθεται η διαδικασία βαθμονόμησης του λυσιμέτρου και η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος. Επίσης περιγράφεται η ανάπτυξη των δυο φυτών καλενδούλας κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο κεφάλαιο 5 υπάρχουν τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από τη πραγματοποίηση του πειράματος. Στο κεφάλαιο 6 υπάρχουν οι μετρήσεις του πειράματος σε πίνακες. Στο παράρτημα 1 υπάρχουν τα γραφήματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής, της διαπνοής και της εξάτμισης, συναρτήσει της θερμοκρασίας και των ημερών που διήρκεσε το πείραμα.



Στο παράρτημα 2 δίνονται φωτογραφίες από το χώρο που έγινε το πείραμα, καθώς και από τα δυο φυτά καλενδούλας.

### **1.1. Η υγρασία του εδάφους**

Οι εδαφικοί πόροι, δηλαδή τα διαστήματα που μένουν ανάμεσα στα στερεά μόρια του εδάφους, σχηματίζουν ένα πολύπλοκο δίκτυο από διασυνδεδεμένους αγωγούς κάθε σχήματος, διαμέτρου και μεγέθους. Αν σ' ένα αρχικά ξηρό έδαφος προστεθεί νερό, αυτό σχηματίζει αρχικά λεπτές στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των πόρων, που συγκρατούνται κυρίως με δυνάμεις συνοχής και συνάφειας, μετατοπίζει αέρα από τους πόρους και, αν η ποσότητα του νερού είναι αρκετή, γεμίζει εντελώς τους πόρους αυτούς. Αν όλοι οι πόροι του εδάφους, μικροί και μεγάλοι, γεμίσουν με νερό λέμε ότι το έδαφος έφτασε στον κορεσμό. Έτσι, ο κορεσμός αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να χωρέσει ένα έδαφος.

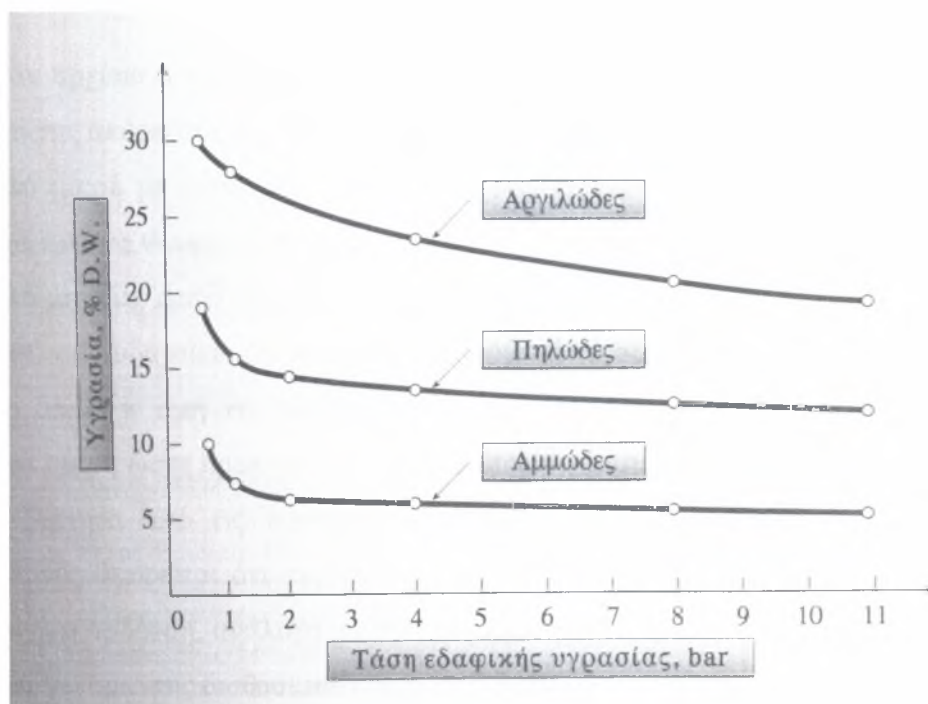
Αν ένα κορεσμένο με νερό έδαφος αφεθεί να στραγγίσει, μια ποσότητα νερού που βρίσκεται στους μεγάλους πόρους κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας σχετικά εύκολα προς τα κάτω. Το νερό αυτό λέγεται ελεύθερο νερό ή νερό της βαρύτητας, μετά την απομάκρυνσή του τη θέση ξαναπαίρνει ο αέρας. Το νερό που παραμένει στο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου λέγεται τριχοειδές νερό, που και αυτό κινείται προς κάθε κατεύθυνση ανάλογα με τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις, αλλά με πολύ μικρότερη ταχύτητα από ότι το ελεύθερο νερό. Αν νερό συνεχίσει να απομακρύνεται, φτάνει κάποια στιγμή που αυτό που απομένει συγκρατείται πολύ ισχυρά από τα μόρια του εδάφους, ιδιαίτερα από τα κολλοειδή του, και σε σημαντική αναλογία δεν είναι πια σε υγρή κατάσταση, μετακινούμενο με τη μορφή υδρατμών. Το νερό αυτό λέγεται υγροσκοπικό.

Οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος εκφράζονται γενικά με τους ισοδύναμους όρους μύζηση ή τάση ή αρνητική πίεση, είναι ανάλογες προς την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία και σχετίζονται με τα φαινόμενα της συνάφειας και της συνοχής. Οι δυνάμεις συνάφειας αντιπροσωπεύουν κατά κάποιο τρόπο την έλξη που ασκούν τα εδαφομόρια με την επιφάνειά τους πάνω στο νερό. Οι δυνάμεις συνοχής αντιπροσωπεύουν την έλξη που ασκούν τα μόρια του νερού το ένα στο άλλο. Κάτω από την επίδραση τους το νερό γεμίζει τους μικρούς εδαφικούς πόρους

και σχηματίζει στρώσεις σε επαφή με τα τοιχώματα των μεγάλων πόρων. Καθώς το πάχος των στρώσεων μεγαλώνει, τα μόρια του νερού που είναι προς το εσωτερικό των πόρων συγκρατούνται λιγότερο ισχυρά και μπορεί να μετακινηθούν υπό την επίδραση της βαρύτητας ή την έλξη που ασκούν άλλες γειτονικές, με μικρότερο πάχος, στρώσεις. Έτσι, πολύ μικρό έργο χρειάζεται να καταβληθεί για την απομάκρυνση νερού από ένα έδαφος που η υγρασία του βρίσκεται κοντά στον κορεσμό. Όσο το νερό στο έδαφος λιγοστεύει τόσο μεγαλύτερο έργο χρειάζεται για την απομάκρυνσή του.

Η αρνητική πίεση ή τάση της εδαφικής υγρασίας είναι το μέτρο που δείχνει πόσο ισχυρά συγκρατείται το νερό στο έδαφος και είναι αντιπροσωπευτική του μεγέθους της δύναμης ανά μονάδα επιφάνειας που πρέπει να καταβληθεί για την απομάκρυνσή του από τους εδαφικούς πόρους. Η δύναμη αυτή εκφράζεται συνήθως σε ατμόσφαιρες ή σε ισοδύναμο ύψος υδάτινης στήλης (μια τεχνική ατμόσφαιρα ή bar ισοδυναμεί με ύψος πίεσης ίσης με 10 μέτρα σε θερμοκρασία 21 °C). Μια συγκεκριμένη τάση δεν αντιπροσωπεύει μονότιμα την ποσότητα του νερού που υπάρχει σε οποιοδήποτε έδαφος ούτε, κατ' επέκταση, την ποσότητα του νερού που μπορεί να απομακρυνθεί από ένα έδαφος αν εφαρμοστεί μια δύναμη ίση και αντίθετη προς την τάση αυτή. Οι ποσότητες αυτές είναι συνάρτηση της υφής και της δομής του εδάφους.

Για να γίνει δυνατή η εκτίμηση της ποσότητας του νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένα έδαφος κάτω από διαφορετικές τάσεις, κατασκευάζονται καμπύλες που συνδέουν την υγρασία του εδάφους με τις αντίστοιχες τάσεις (πιέσεις). Οι καμπύλες αυτές είναι αντιπροσωπευτικές κάθε τύπου εδάφους και λέγονται χαρακτηριστικές καμπύλες. Στο Σχήμα 1.1. δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες τριών βασικών τύπων υφής.



**ΣΧΗΜΑ 1.1 :** Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των τριών βασικών εδαφικών τύπων υφής.

## 1.2. Η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία του εδάφους

Στην πρακτική των αρδεύσεων είναι βασικό να γνωρίζουμε την ποσότητα του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί σ' ένα χωράφι και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ευχέρεια από τις καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοσή τους. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αυτής είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν ορισμένες εδαφικές παράμετροι και να ακολουθηθούν διαδικασίες που αναλύονται στα παρακάτω.

## 1.3. Η υδατοϊκανότητα του εδάφους

Σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Ας εξετάσουμε την περίπτωση ενός εδάφους που αρχικά είναι κορεσμένο.

Όταν αρχίσει η στράγγιση, η υγρασία του εδάφους ελαττώνεται και μαζί της και η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας. Σε κάποια στιγμή η τιμή αυτή γίνεται πολύ μικρή με συνέπεια η κίνηση του νερού στο έδαφος να περιοριστεί τόσο που πρακτικά να θεωρηθεί ανύπαρκτη, έστω και αν η υφισταμένη υδραυλική κλίση είναι πολύ μεγάλη. Αυτό είναι το καθοριστικό όριο που ονομάζεται υδατοϊκανότητα.

Έτσι, σαν υδατοϊκανότητα μπορεί να οριστεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας στο οποίο η τιμή της ακόρεστης υδραυλικής αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις. Συνήθως, η υγρασία του εδάφους θεωρείται ότι φτάνει στην υδατοϊκανότητα τρεις με πέντε μέρες μετά από βροχή ή άρδευση, ανάλογα με την υφή και τη δομή του. Η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της διαθέσιμης στα φυτά εδαφικής υγρασίας.

Αντικειμενικός προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας μπορεί να γίνει με μέτρηση της τάσης της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί σ' αυτή. Η τάση αυτή δεν είναι η ίδια για όλα τα εδάφη αλλά διαφέρει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Πειραματικοί προσδιορισμοί έδωσαν την παρακάτω αντιστοιχία ανάμεσα στην υδατοϊκανότητα και την τάση σε διάφορους τύπους υφής εδαφών:

<b>Τύπος εδάφους</b>	<b>Τάση στην υδατοϊκανότητα (cm)</b>
Αμμώδες	60
Αμμοπηλώδες	100
Ιλυοπηλώδες	300
Αργιλώδες	600

Εργαστηριακός προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας γίνεται με τη μέθοδο της ισοδύναμης υγρασίας, κυρίως όμως για συνεκτικά εδάφη.

#### **1.4. Το σημείο μόνιμης μάρανσης**

Ενώ η υδατοϊκανότητα αποτελεί το πάνω όριο της διαθέσιμης για τα φυτά υγρασίας, το αντίστοιχο κάτω όριο της είναι το σημείο μόνιμης μάρανσης. Όταν η εδαφική υγρασία φτάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και για το λόγο αυτό

αρχίζουν να μαραίνονται. Το σημείο μόνιμης μάρανσης δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από την υφή και την δομή του εδάφους, το είδος και την κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά, τη συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Για τους λόγους αυτούς, η τάση της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό κυμαίνεται από 7 μέχρι 32 bar. Η διαφορά όμως αυτή σε τάση δε σημαίνει ανάλογη διαφορά και σε περιεχόμενη υγρασία. Είναι παρατηρημένο ότι στα χαμηλά αυτά επίπεδα, μεγάλες μεταβολές της τάσης ελάχιστες συνεπάγονται μεταβολές της υγρασίας. Σήμερα, σαν αντιπροσωπευτική του σημείου μόνιμης μάρανσης όλων των εδαφών, έχει γίνει δεκτή η τάση των 15 bar.

Όταν η υγρασία του εδάφους φτάσει στο σημείο μόνιμης μάρανσης η ανάπτυξη των φυτών σταματά. Τα φυτά εξακολουθούν να παίρνουν νερό από το έδαφος και κάτω από το σημείο αυτό, αυτό όμως είναι μόλις αρκετό να τα κρατά στη ζωή. Αν η υγρασία ελαττωθεί ακόμη περισσότερο θα προκληθεί ξήρανση των φυτών. Το όριο της εδαφικής υγρασίας κάτω από το οποίο τα φυτά ξηραίνονται λέγεται έσχατο σημείο μάρανσης. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό μπορεί να φτάσει μέχρι 60 bar.

### **1.5. Το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους**

Ένα έδαφος, που έχει ξηραθεί σε κλίβανο, αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με αέρα. Το ειδικό βάρος των στερεών σωματιδίων, που αναφέρεται σαν πραγματικό ειδικό βάρος του εδάφους, είναι σχετικά σταθερό για όλα τα ορυκτά εδάφη με διακύμανση από 2.6 μέχρι 2.7 gr/cm<sup>3</sup>. Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με τους γεμάτους με αέρα πόρους του αναφέρεται σαν φαινόμενο ειδικό βάρος και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την υφή και τη δομή του.

Το φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW) και το πραγματικό ειδικό βάρος (SWS) ενός εδάφους συνδέονται με τη σχέση :

$$ASW = (1-n) SWS \quad (2)$$

Όπου  $n$  είναι το πορώδες του εδάφους. Επειδή το πραγματικό ειδικό βάρος είναι σχετικά σταθερό, η σχέση (2) δείχνει ότι το φαινόμενο ειδικό βάρος μικραίνει όσο το πορώδες του εδάφους μεγαλώνει. Επειδή το πορώδες των ελαφρών (αμμωδών) εδαφών είναι μικρότερο από αυτό των βαρειών (αργιλικών), τα πρώτα έχουν μεγαλύτερο φαινόμενο ειδικό βάρος από τα δεύτερα.

### **1.6. Η διαθέσιμη και η ωφέλιμη στις καλλιέργειες υγρασία**

Στην άρδευση μας ενδιαφέρει συγκεκριμένα η υγρασία ανάμεσα στην υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμης μάρανσης στο βάθος της ζώνης του ριζοστρώματος και η οποία ονομάζεται διαθέσιμη υγρασία.

Στο παρελθόν επικρατούσε η αντίληψη ότι οι καλλιέργειες μπορούσαν αποδοτικά να αντλήσουν όλη τη διαθέσιμη υγρασία, δηλαδή όλο το νερό από την υδατοϊκανότητα μέχρι το σημείο μόνιμης μάρανσης. Αυτό αποδείχθηκε ότι δεν είναι σωστό. Η υγρασία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών είναι κλάσμα της διαθέσιμης υγρασίας, το μέγεθος του οποίου εξαρτάται από τον συνδυασμό των φυτικών, εδαφικών και κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή. Το κλάσμα αυτό της υγρασίας λέγεται ωφέλιμη υγρασία. Μπορούμε να ισχυριστούμε ότι η ωφέλιμη υγρασία αντιπροσωπεύει το νερό που πρέπει να αποθηκεύεται στο χωράφι με κάθε άρδευση.

### **1.7. Η διηθητικότητα του εδάφους**

Κατά τη διάρκεια μιας βροχής ή άρδευσης το νερό κινείται, δια της επιφάνειας του εδάφους, προς βαθύτερα στρώματα. Η διείσδυση αυτή του νερού στο έδαφος, που εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας, τη δομή και την υφή, τη σε βάθος ομοιογένεια και στα αρχικά στάδια, από την εδαφική υγρασία, αποτελεί το φαινόμενο της διήθησης.

Η διήθηση του νερού στο έδαφος εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του. Εδάφη με μεγάλους πόρους και ανοικτή δομή παρουσιάζουν μεγάλη διηθητικότητα. Το αντίθετο συμβαίνει με τα συνεκτικά εδάφη που, αν και έχουν μεγάλο πορώδες, το μέγεθος των πόρων του είναι μικρό και η δομή τους σφιχτή. Αλλα εδάφη διαστέλλονται όταν διαβρέχονται με αποτέλεσμα να κλείνουν οι πόροι τους και να γίνονται σχεδόν αδιαπέραστα στο νερό. Τα ίδια εδάφη, κατά κανόνα, όταν ξηραίνονται σχηματίζουν ρωγμές από τις οποίες το νερό μπορεί να διεισδύσει ταχύτατα με αποτέλεσμα να έχουν πολύ μεγάλη αρχική διηθητικότητα.

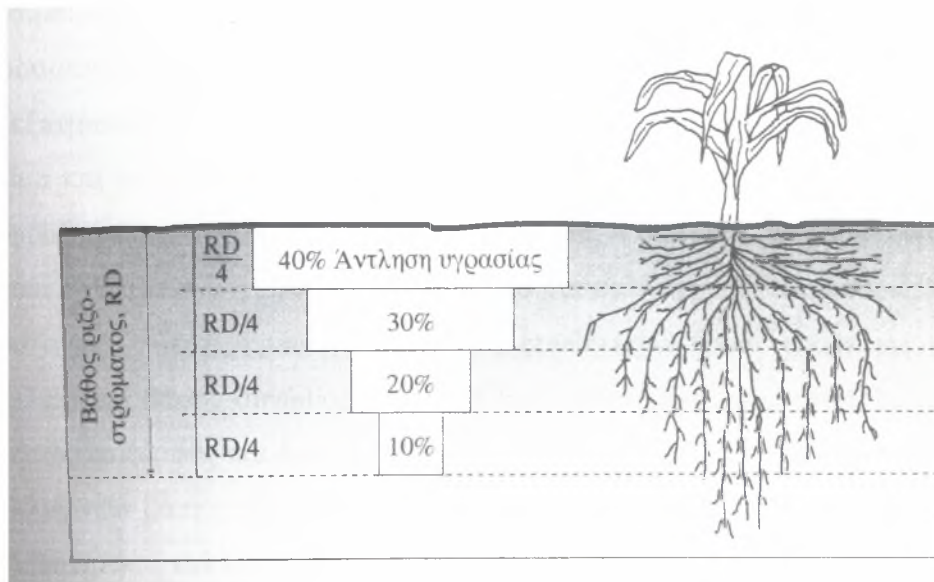
### **1.8. Το ριζικό σύστημα των καλλιεργειών**

Για κάθε ποσοτική εκτίμηση του χρήσιμου στα φυτά νερού είναι απαραίτητη η γνώση της κατανομής της πυκνότητας και του βάθους του κύριου όγκου των ριζών τους, που αναφέρεται σαν η ζώνη του ριζοστρώματος, ή απλώς ριζόστρωμα. Η ζώνη του ριζοστρώματος καθορίζει κατά κύριο λόγο το μέγεθος της εδαφικής δεξαμενής που περιέχει το χρήσιμο στις καλλιέργειες νερό, η πυκνότητα και η κατανομή των ριζών στη ζώνη αυτή καθορίζει το ποσοστό άντλησης της εδαφικής υγρασίας από τα διάφορα επίπεδά της.

Στα περισσότερα φυτά οι ρίζες είναι συγκεντρωμένες στο πάνω μέρος της ζώνης του ριζοστρώματος κοντά στη βάση του φυτού. Αν το έδαφος είναι ομοιογενές σε όλη τη ζώνη του ριζοστρώματος και έχει επαρκή υγρασία σε όλο το βάθος του, τα φυτά αντλούν το μεγαλύτερο μέρος της υγρασίας από την επιφανειακή περιοχή και λιγότερο από τις υποκείμενες. Κάτω από τέτοιες συνθήκες το διάγραμμα άντλησης υγρασίας είναι σχεδόν πανομοιότυπο για όλες τις καλλιέργειες και έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχήμα 1.8, όπου η άντληση νερού γίνεται κατά 40 % από το πάνω τέταρτο της ζώνης του ριζοστρώματος, κατά 30 % από το δεύτερο τέταρτο, κατά 20% από το τρίτο και κατά 10% από το κάτω τέταρτο. Σε ανομοιογενή εδάφη η κατανομή αυτή δεν ισχύει. Επίσης η κατανομή αυτή δεν ισχύει κάτω από τη συνηθισμένη πρακτική των αρδεύσεων. Κατ' αυτή, η ζώνη του ριζοστρώματος θεωρείται σαν ενιαία και στο χωράφι εφαρμόζεται τόσο νερό όσο χρειάζεται για να ανεβάσει την υγρασία του μέχρι την υδατοϊκανότητα. Σύμφωνα με όσα

αναφέρθηκαν παραπάνω, τα φυτά αντλούν με έντονο ρυθμό την υγρασία από το πάνω μέρος της ζώνης του ριζοστρώματος με αποτέλεσμα την ταχεία εξάντλησή της. Έτσι, τα φυτά για να αναπτυχθούν αναγκάζονται να στείλουν ρίζες προς τα βαθύτερα στρώματα με αποτέλεσμα να υπάρχει μια σχεδόν ομοιόμορφη άντληση από όλη τη ζώνη του ριζοστρώματος.

Στην πραγματικότητα ο ρυθμός άντλησης και το βάθος του ριζοστρώματος διαμορφώνονται από την κατανομή της υγρασίας στο έδαφος, το είδος της καλλιέργειας και τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή. Για το λόγο αυτό, το βάθος του ριζοστρώματος πρέπει να καθορίζεται τοπικά για τα φυτά που πρόκειται να καλλιεργηθούν.



**Σχήμα 1.8:** Διάγραμμα άντλησης υγρασίας από φυτά που αναπτύσσονται σε βαθειά διαπερατά εδάφη με υγρασία που προσεγγίζει την υδατοϊκανότητα σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2. ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες ενός χωραφιού (γονιμότητα του χωραφιού, προσβολή ή όχι από ασθένειες, πλήρης ή μερική διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας κ.α.) αναφέρεται σαν πραγματική εξατμισοδιαπνοή (  $ET_c$  ). Γενικά, η εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής με μετρήσεις στο χωράφι γίνεται με τις ακόλουθες μεθόδους : α) Μέθοδος του λυσιμέτρου , β) Μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών , γ) Μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων, δ) Μέθοδος του ισοζυγίου υγρασίας.

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν, εξαρτάται από το κλίμα και τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας. Η επίδραση του κλίματος στην  $ET_c$  εκφράζεται από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ή βασική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_r$ ), η οποία ορίζεται σαν η εξατμισοδιαπνοή από μια καλλιέργεια <<αναφοράς ή βάσης >> που αναπτύσσεται δυναμικά κάτω από συνθήκες πλήρους επάρκειας νερού. Σαν καλλιέργεια βάσης συνήθως θεωρείται ένας εκτεταμένος χορτοτάπητας που σκιάζει πλήρως το έδαφος και έχει ομοιόμορφο ύψος από 8 έως 15 cm. Άλλοι θεωρούν σαν καλλιέργεια βάσης τη μηδική. Ακόμη, σαν τέτοια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μια <<ιδεατή>> καλλιέργεια με <<επιθυμητά>> χαρακτηριστικά. Η βασική εξατμισοδιαπνοή θεωρείται ότι διαμορφώνεται από τους κλιματικούς και μόνο παράγοντες μιας περιοχής. Η εξατμισοδιαπνοή κάθε άλλης καλλιέργειας διαφέρει από τη βασική εξατμισοδιαπνοή σαν συνέπεια των διαφορών που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά της ,μορφολογικά και φυσιολογικά, από αυτά της καλλιέργειας βάσης. Η διαφοροποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_c$ ) από τη βασική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_r$ ) εκφράζεται από το φυτικό συντελεστή ( $K_c$ ). Οπότε ισχύει

$$ET_c = K_c * ET_r \quad (1)$$

Το νερό που χρειάζεται για την κανονική ανάπτυξη και βέλτιστη απόδοση μιας καλλιέργειας εκφράζεται με τον όρο ανάγκες σε νερό της καλλιέργειας και αντιπροσωπεύεται από την εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αυτή είναι το νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια που είναι ελεύθερη από κάθε είδους φυτικές ασθένειες, αναπτύσσεται σε μεγάλα χωράφια, χωρίς περιορισμούς στη διαθεσιμότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων και επιτυγχάνει το μέγιστο της απόδοσης κάτω από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύσσεται. Κατά τον ορισμό αυτό, η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας είναι ισοδύναμη με την μέγιστη εξατμισοδιαπνοή ( $ET_{max}$ )

## **2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανάλωση νερού από τις καλλιέργειες**

Γενικά, για την εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας μπορεί να ειπωθεί ότι: α) Καλλιέργειες με χαμηλή διαμόρφωση φυλλώματος (πρακτικά ολική κάλυψη της επιφάνειας του χωραφιού) με ανάπτυξη σε χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη τη βλαστική περίοδο παρουσιάζουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή άσχετα με τα φυτικά είδη που απαρτίζουν αυτές τις καλλιέργειες και των εδαφικών χαρακτηριστικών στο οποίο καλλιεργούνται.

β) Σ' αυτή την περίπτωση το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτώνται μόνο από τις συνθήκες που επικρατούνε στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμα της καλλιέργειας.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση της εξάτμισης είναι η ενέργεια η οποία, στις καλλιέργειες, παρέχεται από τον ήλιο. Συνεπώς η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας καθώς και η κινητικότητα των υδρατμών αποτελούνε τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στο μέγεθος και στο ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής.

Συμπερασματικά, η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας διαμορφώνεται ανάλογα με το ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμα της καλλιέργειας, την ένταση της ηλιακής ενέργειας, την ταχύτητα του ανέμου καθώς και από τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας.

## 2.2. Εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Blaney-Griddle

Οι αρδεύσεις στηρίζονται στην ποσοτική εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής και στον υπολογισμό της ωφέλιμης εδαφικής υγρασίας. Έχουν επινοηθεί πολλές μέθοδοι για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής που στηρίζονται κυρίως σε κλιματικές παραμέτρους. Η κλασική μέθοδος των Blaney-Griddle είναι η πρώτη που χρησιμοποιήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα για τον υπολογισμό της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής (το συνολικό νερό που καταναλώνεται από μια καλλιέργεια κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου). Η μέθοδος αυτή εκφράζεται από τη σχέση :

$$ET = F K \quad (3)$$

Όπου :  $ET$  = η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή νερού σε mm,

$K$  = ένας εποχιακός φυτικός συντελεστής (οι τιμές του δίνονται από τον πίνακα 1)

$F$  = ένας κλιματικός παράγοντας που δίνεται από τη σχέση :

$$F = \sum_{j=1}^n (8.16 + 0.46 * T_j) P_j \quad (4)$$

Όπου :  $T_j$  = Η μέση θερμοκρασία καθενός από τους μήνες της βλαστικής περιόδου της καλλιέργειας σε °C

$P_j$  = ένας μηνιαίος παράγοντας που εκφράζει τις ώρες ημέρας κάθε μήνα σαν ποσοστό των ωρών ημέρας του έτους. Οι τιμές του παράγοντα  $P$  σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος δίνονται στον πίνακα 2.

**Πίνακας 1 :** Εποχιακοί φυτικοί συντελεστές Κ διαφόρων καλλιεργειών

Καλλιέργεια	Βλαστική περίοδος	Φυτικός συντελεστής Κ	
		Κλίμα ξηρό	Κλίμα υγρό
Φασόλια	3 μήνες	0,7	0,6
Ρύζι	3-5 μήνες	1,1	1
Πατάτες	3-5 μήνες	0,75	0,65
Καπνός	4 μήνες	0,8	0,7
Τεύτλα	6 μήνες	0,75	0,65
Βαμβάκι	7 μήνες	0,7	0,6
Ντομάτες	4 μήνες	0,7	0,65
Αραβόσιτος	4-5 μήνες	0,75	0,65
Δημητριακά	2 μήνες	0,7	0,6
Αμπέλια	5-7 μήνες	0,6	0,5
Μηδική	Μεταξύ παγετών	0,9	0,8
Λιβάδια	Μεταξύ παγετών	0,8	0,7
Φυλλοβόλα οπωροφόρα	Μεταξύ παγετών	0,7	0,6
Εσπεριδοειδή	Μεταξύ παγετών	0,55	0,45

**Πίνακας 2:** Ποσοστό στα εκατό των ωρών ημέρας κάθε μήνα προς τις ώρες ημέρας του έτους (p) για βόρεια πλάτη από 24° μέχρι 48°

Βόρειο πλάτος	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
24	7,58	7,17	8,41	8,6	9,3	9,19	9,41	9,05	8,31	8,1	7,43	7,46
26	7,49	7,12	8,4	8,64	9,37	9,3	9,49	9,1	8,32	8,06	7,36	7,35
28	7,4	7,07	8,39	8,68	9,46	9,38	9,58	9,16	8,32	8,02	7,27	7,27
30	7,3	7,03	8,38	8,72	9,53	9,49	9,66	9,22	8,34	7,99	7,19	7,14
32	7,2	6,97	8,37	8,72	9,63	9,6	9,77	9,28	8,34	7,93	7,11	7,05
34	7,1	6,91	8,36	8,8	9,72	9,7	9,88	9,33	8,36	7,9	7,02	6,92
36	6,99	6,86	8,35	8,85	9,81	9,83	9,99	9,4	8,36	7,85	6,92	6,79
38	6,87	6,79	8,34	8,9	9,92	9,95	10,1	9,47	8,38	7,8	6,82	6,66
40	6,73	6,73	8,3	8,92	9,99	10,08	10,34	9,56	8,41	7,78	6,73	6,53
42	6,6	6,66	8,28	8,97	10,1	10,21	10,37	9,64	8,42	7,73	6,63	6,39
44	6,45	6,59	8,25	9,04	10,22	10,38	10,5	9,73	8,43	7,67	6,51	6,23
46	6,3	6,5	8,24	9,09	10,37	10,54	10,66	9,82	8,44	7,61	6,38	6,05
48	6,13	6,42	8,22	9,15	10,5	10,72	10,83	9,92	8,45	7,56	6,24	5,86

### 2.3. Νεώτερες μέθοδοι υπολογισμού της Εξατμισοδιαπνοής.

Η μέθοδος των Blaney-Criddle μπορεί να μας δώσει σημαντικές αποκλίσεις από την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, λόγω της ασάφειας που παρουσιάζει. Γι' αυτό το λόγο εισήχθηκε ο όρος βασική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_r$ ). Σαν  $ET_r$  θεωρείται η εξατμισοδιαπνοή από ένα καλλιεργημένο χωράφι που έχει σημαντική έκταση, η επιφάνειά του καλύπτεται ολικά από χαμηλά φυτά που αναπτύσσονται δυναμικά και σε κανένα στάδιό τους δεν υποφέρουν από έλλειψη νερού. Η  $ET_r$  είναι ανεξάρτητη από το είδος της καλλιέργειας και διαμορφώνεται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σ' ένα τόπο και μόνο από αυτές. Η επίδραση της καλλιέργειας στη διαμόρφωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_c$ ), που είναι το σύνολο του νερού που με οποιονδήποτε τρόπο χάνεται από το χωράφι, αντιπροσωπεύεται από ένα φυτικό συντελεστή ( $K_c$ ). Ο συντελεστής αυτός συνδέει την πραγματική με την βασική εξατμισοδιαπνοή με την σχέση:

$$ET_c = ET_r * K_c \quad (1)$$

Οι τιμές του  $K_c$  είναι ανεξάρτητες από τη μέθοδο υπολογισμού της βασικής εξατμισοδιαπνοής, είναι ενιαίες για κάθε καλλιέργεια αλλά όχι σταθερές, εξαρτώμενες από διάφορους παράγοντες όπως είναι τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, η εποχή σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης, η διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο.

### 2.4. Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_r$ ) με την τροποποιημένη μέθοδο των Blaney-Criddle.

Η εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής γίνεται με βάση μόνο τις κλιματικές συνθήκες του τόπου. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει με έναν τρόπο που αποτελεί τροποποίηση της αρχικής μεθόδου των Blaney-Criddle με την εισαγωγή, πλην της θερμοκρασίας, και άλλων κλιματικών παραμέτρων. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή :

$$ET_r = b F + a \quad (\text{σε mm την ημέρα}) \quad (6)$$

Όπου για το F ισχύει:  $F = p (8,16 + 0,46 T)$  (7)

Και  $\alpha = 0,0043 (RH_{\min}) - (n/N) = 1,41$

Όπου T είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία σε °C,  $RH_{\min}$  είναι η μέση ελάχιστη σχετική υγρασία του αέρα, n είναι η πραγματική και N είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια που δίνεται στον πίνακα 3 σαν συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου. Στον πίνακα 3 που ακολουθεί δίνεται η μέση ημερήσια θεωρητική ηλιοφάνεια (N) για κάθε μήνα και βόρεια γεωγραφικά πλάτη από 32° μέχρι 42°, εκφρασμένη σε ώρες.

**Πίνακας 3:** Μέση ημερήσια θεωρητική ηλιοφάνεια (N) για κάθε μήνα και βόρεια γεωγραφικά πλάτη από 32° μέχρι 42°, εκφρασμένη σε ώρες.

ΜΗΝΑΣ	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	10,3	10,2	10	9,8	9,6	9,4
Φεβρουάριος	11,3	11	10,9	10,8	10,7	10,6
Μάρτιος	12	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
Απρίλιος	13	13,1	13,1	13,2	13,3	13,4
Μάιος	13,8	13,9	14,1	14,3	14,4	14,6
Ιούνιος	14,2	14,4	14,6	14,8	15	15,2
Ιούλιος	14,1	14,2	14,4	14,6	14,7	14,9
Αύγουστος	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,9
Σεπτέμβριος	12,4	12,4	12,4	12,5	12,5	12,6
Οκτώβριος	11,4	11,3	11,3	11,2	11,2	11,1
Νοέμβριος	10,5	10,4	10,2	10,1	10	9,8
Δεκέμβριος	10	9,9	9,7	9,5	9,3	9,1

Οι τιμές του b δίνονται στον πίνακα 4 που ακολουθεί ,σαν συνάρτηση των  $RH_{\min}$ ,  $n/N$  και  $U_2$ , όπου το  $U_2$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec σε ύψος 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αν η ταχύτητα του ανέμου έχει μετρηθεί σε διαφορετικό ύψος ,αυτή μπορεί να αναχθεί στο ύψος των 2m από τη σχέση:  $U_2 = U_z (2/z)^{0,2}$ .

Όπου  $U_z$  είναι η ταχύτητα του αέρα σε ύψος z μέτρων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους .

Πίνακας 4: τιμές του συντελεστή b

( n/N)	RHmin %	RHmin %	Rhmin %	RHmin %	RHmin %	RHmin %	Ταχύτητα Ανέμου M/SEC
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,0	0,84	0,8	0,74	0,64	0,52	0,38	U <sub>2</sub> =0
0,2	1,03	0,95	0,87	0,76	0,63	0,48	U <sub>2</sub> =0
0,4	1,22	1,1	1,01	0,88	0,74	0,57	U <sub>2</sub> =0
0,6	1,38	1,24	1,13	0,99	0,85	0,66	U <sub>2</sub> =0
0,8	1,54	1,37	1,25	1,09	0,94	0,75	U <sub>2</sub> =0
1,0	1,68	1,5	1,36	1,18	1,04	0,84	U <sub>2</sub> =0
0,0	0,97	1,9	0,81	0,68	0,54	0,4	U <sub>2</sub> =2
0,2	1,19	1,08	0,96	0,84	0,66	0,5	U <sub>2</sub> =2
0,4	1,41	1,26	1,11	0,97	0,77	0,6	U <sub>2</sub> =2
0,6	1,6	1,42	1,25	1,09	0,89	0,7	U <sub>2</sub> =2
0,8	1,79	1,59	1,39	1,21	1,01	0,79	U <sub>2</sub> =2
1,0	1,98	1,74	1,52	1,31	1,11	0,89	U <sub>2</sub> =2
0,0	1,08	0,98	0,87	0,72	0,56	0,42	U <sub>2</sub> =4
0,2	1,33	1,18	1,03	0,87	0,69	0,52	U <sub>2</sub> =4
0,4	1,56	1,38	1,19	1,02	0,82	0,62	U <sub>2</sub> =4
0,6	1,78	1,56	1,34	1,15	0,94	0,73	U <sub>2</sub> =4
0,8	2	1,74	1,5	1,28	1,05	0,83	U <sub>2</sub> =4
1,0	2,19	1,9	1,64	1,39	1,16	0,92	U <sub>2</sub> =4
0,0	1,18	1,06	0,92	0,74	0,58	0,43	U <sub>2</sub> =6
0,2	1,44	1,27	1,1	0,91	0,72	0,54	U <sub>2</sub> =6
0,4	1,7	1,48	1,27	1,06	0,85	0,64	U <sub>2</sub> =6
0,6	1,94	1,67	1,44	1,21	0,97	0,75	U <sub>2</sub> =6
0,8	2,18	1,86	1,59	1,34	1,09	0,85	U <sub>2</sub> =6
1,0	2,39	2,03	1,74	1,46	1,2	0,95	U <sub>2</sub> =6
0,0	1,26	1,11	0,96	0,76	0,6	0,44	U <sub>2</sub> =8
0,2	1,52	1,34	1,14	0,93	0,74	0,55	U <sub>2</sub> =8
0,4	1,79	1,56	1,32	1,1	0,87	0,66	U <sub>2</sub> = 8
0,6	2,05	1,76	1,49	1,25	1	0,77	U <sub>2</sub> =8
0,8	2,3	1,96	1,66	1,39	1,12	0,87	U <sub>2</sub> =8
1,0	2,54	2,14	1,82	1,52	1,24	0,98	U <sub>2</sub> =8
0,0	1,29	1,15	0,98	0,78	0,61	0,45	U <sub>2</sub> = 10
0,2	1,58	1,38	1,17	0,96	0,75	0,56	U <sub>2</sub> = 10
0,4	1,86	1,61	1,36	1,13	0,89	0,68	U <sub>2</sub> = 10
0,6	2,13	1,83	1,54	1,28	1,03	0,79	U <sub>2</sub> = 10
0,8	2,39	2,03	1,71	1,43	1,15	0,89	U <sub>2</sub> =10
1,0	2,63	2,22	1,86	1,56	1,27	1	U <sub>2</sub> =10

Μηνιαίες τιμές του παράγοντα  $p$  δίνονται στον πίνακα 2. Στη σχέση (7) χρησιμοποιούνται οι ημερήσιες τιμές, που προκύπτουν από τις μηνιαίες αν διαιρεθούν με τον αριθμό ημερών κάθε μήνα.

Στη μέθοδο αυτή, όπως και στην αρχική μέθοδο των Blaney-Criddle, κύρια κλιματική παράμετρος παραμένει η θερμοκρασία του αέρα. Για το λόγο αυτό η χρήση της πρέπει να γίνεται με πολλή περίσκεψη, ιδιαίτερα όταν πρόκειται να εφαρμοσθεί : (α) Σε τόπους με μέσο γεωγραφικό πλάτος όπου παρουσιάζεται έντονη διακύμανση της ηλιοφάνειας κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο. (β) Σε νησιά και παράκτιες περιοχές, όπου η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζεται σημαντικά από αυτή της θάλασσας. (γ) Σε μεγάλα υψόμετρα, όπου η μέση 24ωρη θερμοκρασία του αέρα βγαίνει χαμηλή λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών της νύχτας.

Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι τέτοιες συνθήκες απαντώνται στις περισσότερες περιοχές της χώρας μας.

## **2.5. Εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman**

Η εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει και με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman. Η μέθοδος αυτή είναι η ακριβέστερη όλων και πρέπει να χρησιμοποιείται πρώτη. Μόνο σε περιπτώσεις που υπάρχουν ανυπέβλητα εμπόδια για την απόκτηση ή τον κατά αποδεκτή προσέγγιση προσδιορισμό των κλιματικών παραμέτρων που απαιτούνται για την εφαρμογή της ,μπορεί να εφαρμόζεται η τροποποιημένη μέθοδος των Blaney-Criddle ή η μέθοδος του εξατμισήμετρου ή η μέθοδος του Makkink. Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman εκφράζεται από την σχέση:

$$ET_r = c [ W R_n + f(u) (1-W) (e_a - e_d) ] \text{ (σε mm την ημέρα )} \quad (8)$$

Όπου  $W$  είναι ένας σταθμιστικός παράγοντας που αντιπροσωπεύει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη βασική εξατμισοδιαπνοή, ενώ ο παράγοντας  $(1-W)$



αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου και της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Τιμές του  $W$ , για διάφορες θερμοκρασίες του αέρα και υψόμετρα δίνονται στον πίνακα 5.

$R_n$  είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία εκφρασμένη σε ισοδύναμο ύψος εξατμιζόμενου νερού (mm/ ημέρα ). Η  $R_n$  μπορεί να μετρηθεί απ' ευθείας, αλλά τέτοιες παρατηρήσεις είναι πολύ σπάνιες. Πιο συνηθισμένα ,η  $R_n$  υπολογίζεται έμμεσα με την αγωγή της θεωρητικής ηλιακής ακτινοβολίας, της ηλιοφάνειας, της θερμοκρασίας και της υγρασίας της ατμόσφαιρας. Ο υπολογισμός γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία:

Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία ( $R_a$  ) είναι η ακτινοβολία που φθάνει στο απώτατο άκρο της ατμόσφαιρας και εξαρτάται μόνο από το γεωγραφικό πλάτος ενός τόπου και την ημέρα του έτους. Τιμές της για γεωγραφικά πλάτη που καλύπτουν τον ελληνικό χώρο δίνονται στον πίνακα 6. Με βάση την  $R_a$  υπολογίζεται η πραγματική ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$  ), που είναι αυτή που φθάνει στην επιφάνεια της γης, με τη σχέση:

$$R_s = R_a [\alpha + (n/N) \beta] \quad (9)$$

Όπου  $\alpha$  και  $\beta$  είναι σταθερές που υπολογίζονται πειραματικά για κάθε τόπο. Αν οι τιμές των  $\alpha$  και  $\beta$  δεν έχουν προσδιοριστεί για ένα τόπο μπορούν , κατά προσέγγιση, να χρησιμοποιηθούν οι τιμές  $\alpha=0,25$  και  $\beta=0,5$  οπότε η σχέση (9) παίρνει τη συγκεκριμένη μορφή:

$$R_s = [(n/N) 0,5 + 0,25] R_a \quad (10)$$

Η ποσότητα  $(n/N)$  είναι ο λόγος ανάμεσα στην πραγματική ( $n$ ) και στην θεωρητική ηλιοφάνεια ( $N$ ) που δίνεται στον πίνακα 3. Η καθαρή μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία ( $R_{ns}$ ) είναι αυτή που απομένει μετά την ανάκλαση μέρους της  $R_s$  από την επιφάνεια της γης και υπολογίζεται με τη σχέση :

$$(1-\alpha) R_s = R_{ns} \quad (11)$$

Όπου  $\alpha$  είναι η ανακλαστικότητα του εδάφους και, στη συγκεκριμένη περίπτωση, η ανακλαστικότητα της καλλιέργειας. Δεδομένου ότι η μέση τιμή για τις καλλιέργειες είναι  $\alpha=0,25$  η σχέση (11) μπορεί να γραφεί με τη μορφή :

$$0,75 R_s = R_{ns} \quad (12)$$

Η καθαρή μεγάλου μήκους ηλιακή ακτινοβολία ( $R_{nl}$ ) είναι η διαφορά ανάμεσα στην ενέργεια που ακτινοβολεί η γη προς το περιβάλλον και αυτή που δέχεται από το περιβάλλον σαν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Η  $R_{nl}$  μπορεί έμμεσα να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$R_{nl} = f(n/N) f(T) f(e_d) \quad (13)$$

$$\text{Όπου } f(T) = \sigma T_K^4, \quad \sigma = 1,9867 \cdot 10^{-9} \text{ mm d}^{-1} \text{ } ^\circ\text{K}^{-4} \quad (14)$$

$$0,34 - 0,044 (e_d)^{0,5} = f(e_d) \quad (15)$$

$$0,9 (n/N) + 0,1 = f(n/N) \quad (16)$$

όπου  $T_K$  είναι η απόλυτη θερμοκρασία του αέρα σε  $^\circ\text{K}$  και  $e_d$  είναι η πραγματική είναι η πραγματική πίεση των υδρατμών σε mbar. Η  $e_d$  υπολογίζεται με διαδικασίες που δίνονται στη συνέχεια. Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{ns} - R_{nl} = R_n \quad (17)$$

όπου  $R_{ns}$ ,  $R_{nl}$  και  $R_n$  είναι σε  $\text{mm d}^{-1}$

Η  $f(u)$  είναι μια συνάρτηση που αντιπροσωπεύει την επίδραση του ανέμου στη βασική εξατμισοδιαπνοή και δίνεται από τη σχέση :

$$0,0027 U_2 + 0,27 = f(u) \quad (18)$$

Όπου  $U_2$  είναι η ταχύτητα του ανέμου ανά 24ωρο σε ύψος 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους σε Km /ημέρα. Σε περίπτωση που η ταχύτητα μετράται σε ύψος διαφορετικό από τα 2m, αναγωγή στα 2m μπορεί να γίνει με τη σχέση :

$$U_2 = U_z (2/z)^{0,2} \quad (19)$$

Ο  $(e_a - e_d)$  είναι ένας παράγοντας που εκφράζει την επίδραση της υγρασίας της ατμόσφαιρας στη βασική εξατμισοδιαπνοή, όπου  $e_a$  είναι η πίεση κορεσμού των υδρατμών που αντιστοιχεί στη μέση θερμοκρασία της ατμόσφαιρας σε mbar και  $e_d$  είναι η πραγματική πίεση των υδρατμών που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία αυτή σε mbar. Τιμές της  $e_a$  δίνονται στον πίνακα 7 σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας. Η  $e_d$  μπορεί να υπολογιστεί με διάφορους τρόπους. Αν είναι γνωστό το σημείο δρόσου, η  $e_d$  βρίσκεται απ' ευθείας από τον πίνακα 7. Αν είναι γνωστά δεδομένα ξηρού και υγρού θερμομέτρου, η  $e_d$  υπολογίζεται από τον πίνακα 9 ή 10 ανάλογα με τον τύπο του ψυχρόμετρου από το οποίο προέρχονται τα δεδομένα. Αν είναι γνωστή η μέση σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας  $RH_{mean}$ , η  $e_d$  υπολογίζεται με τη σχέση :

$$RH_{mean} \cdot e_a / 100 = e_d \quad (20)$$

Ο  $c$  είναι ένας διορθωτικός παράγοντας ενδεικτικός της διαφοράς των συνθηκών που επικρατούν σε ένα τόπο κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Τιμές του  $c$  δίνονται στον πίνακα 8 σαν συνάρτηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας  $R_s$ , της μέγιστης σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας  $RH_{max}$ , της ταχύτητας του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας  $U_d$  και του λόγου μεταξύ των ταχυτήτων του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας  $U_d / U_n$ . Το  $c$  μπορεί επίσης να υπολογιστεί με την ακόλουθη σχέση που διερευνήθηκε με βάση τα στοιχεία του πίνακα 8.:

$$\begin{aligned} & RH_{max} \cdot (R_s)^2 \cdot \alpha_9 + \alpha_8 \cdot (RH_{max})^2 \cdot (U_d)^2 \cdot (U_d / U_n) + (U_d / U_n)^2 \cdot U_d \cdot RH_{max} \cdot \alpha_7 + \alpha_6 \\ & \cdot RH_{max} \cdot R_s \cdot (U_d)^2 + RH_{max} \cdot R_s \cdot U_d \cdot (U_d / U_n) \cdot \alpha_5 + \alpha_4 \cdot U_d \cdot (U_d / U_n) \cdot RH_{max} \\ & + RH_{max} \cdot R_s \cdot \alpha_3 + \alpha_2 \cdot R_s \cdot U_d + U_d \cdot \alpha_1 + \alpha_0 = c \end{aligned} \quad (21)$$

Όπου  $\alpha_9 = -0,0000161$ ,  $\alpha_8 = -0,0000000292$ ,  $\alpha_7 = -0,0000086$ ,  $\alpha_6 = 0,00000236$ ,  $\alpha_5 = 0,0000198$ ,  $\alpha_4 = 0,000196$ ,  $\alpha_3 = 0,000402$ ,  $\alpha_2 = 0,00219$ ,  $\alpha_1 = -0,0781$ ,  $\alpha_0 = 0,892$  και  $U_n$ ,  $U_d$  είναι σε  $m s^{-1}$ ,  $RH_{max}$  είναι σε ποσοστά % και  $R_s$  είναι σε  $mm d^{-1}$ .

Η τροποποιημένη μέθοδος του Penman ,όπως φαίνεται από τα παραπάνω, χρησιμοποιεί όλες τις παραμέτρους που διαμορφώνουν την εξατμισοδιαπνοή (ηλιακή ενέργεια, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία και θερμοκρασία του αέρα ) και παίρνει υπόψη την επίδραση στην βασική εξατμισοδιαπνοή που ασκείται από τη διαφοροποίηση των συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

Παρακάτω παραθέτουμε τους πίνακες που χρησιμοποιούνται στην τροποποιημένη μέθοδο του Penman.

**Πίνακας 5** :Τιμές του σταθμιστικού παράγοντα  $W$  ,που αντιπροσωπεύει την επίδραση της  $R_n$  στην  $ET_r$  για διάφορα υψόμετρα και θερμοκρασίες.

Υψόμετρο, m				Θερμο- κρασία, °C	Υψόμετρο, m				Θερμο- Κρασία, °C
0	500	1000	2000	-	0	500	1000	2000	-
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
0,43	0,45	0,46	0,49	2	0,71	0,72	0,73	0,75	22
0,46	0,48	0,49	0,52	4	0,73	0,74	0,75	0,77	24
0,49	0,51	0,52	0,55	6	0,75	0,76	0,77	0,79	26
0,52	0,54	0,55	0,58	8	0,77	0,78	0,79	0,81	28
0,55	0,57	0,58	0,61	10	0,78	0,79	0,8	0,82	30
0,58	0,6	0,61	0,64	12	0,8	0,81	0,82	0,84	32
0,61	0,62	0,64	0,66	14	0,82	0,82	0,84	0,85	34
0,64	0,65	0,66	0,69	16	0,83	0,84	0,85	0,86	36
0,66	0,67	0,69	0,71	18	0,84	0,85	0,86	0,87	38
0,68	0,7	0,71	0,73	20	0,85	0,86	0,87	0,88	40

**Πίνακας 6:** Θεωρητική ηλιακή ακτινοβολία ( $R_a$ ), για κάθε μήνα και βόρεια γεωγραφικά πλάτη από  $32^\circ$  μέχρι  $42^\circ$ , εκφρασμένη σε ισοδύναμο πάχος εξατμιζόμενου νερού ( $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ).

Βόρειο πλάτος						Μήνας
$42^\circ$	$40^\circ$	$38^\circ$	$36^\circ$	$34^\circ$	$32^\circ$	-
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
5,9	6,4	6,9	7,4	7,9	8,3	Ιανουάριος
8,1	8,6	9	9,4	9,8	10,2	Φεβρουάριος
11	11,4	11,8	12,1	12,4	12,8	Μάρτιος
14	14,3	14,5	14,7	14,8	15	Απρίλιος
16,2	16,4	16,4	16,4	16,5	16,5	Μάιος
17,3	17,3	17,2	17,2	17,1	17	Ιούνιος
16,7	16,7	16,7	16,7	16,8	16,8	Ιούλιος
15	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	Αύγουστος
12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,6	Σεπτέμβριος
9,1	9,6	10	10,6	10,8	11,2	Οκτώβριος
6,5	7	7,5	8	8,5	9	Νοέμβριος
5,2	5,7	6,1	6,6	7,2	7,8	Δεκέμβριος

**Πίνακας 7:** Πίεση κορεσμού υδρατμών ( $e_a$ ) για διάφορες θερμοκρασίες του αέρα ( $T$ ), σε mb. Ο πίνακας δίνει και την πραγματική πίεση των υδρατμών ( $e_d$ ) αν, αντί της  $T$ , χρησιμοποιηθεί το σημείο δρόσου ( $D_p$ ).

Θερμοκρασία, $^\circ\text{C}$	$e_a$ , mb	Θερμοκρασία, $^\circ\text{C}$	$e_a$ , mb	Θερμοκρασία, $^\circ\text{C}$	$e_a$ , mb	Θερμοκρασία, $^\circ\text{C}$	$e_a$ , mb
(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
39	69,9	29	40,1	19	22	9	11,5
38	66,3	28	37,8	18	20,6	8	10,7
37	62,8	27	35,7	17	19,4	7	10
36	59,4	26	33,6	16	18,2	6	9,3
35	56,2	25	31,7	15	17,1	5	8,7
34	53,2	24	29,8	14	16	4	8,1
33	50,3	23	28,1	13	15	3	7,6
32	47,6	22	26,4	12	14	2	7,1
31	44,9	21	24,9	11	13,1	1	6,6
30	42,4	20	23,4	10	12,3	0	6,1

**Πίνακας 8:** Ο διορθωτικός παράγοντας  $c$  που βρίσκει εφαρμογή στη σχέση (8) του Penman.

$U_d$ , M/s	$RH_{\max}=30\%$				$RH_{\max}=60\%$				$RH_{\max}=90\%$			
-	Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ( $R_s$ ), $mm^* d^{-1}$											
-	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
(1). $U_d/U_n=4,0$												
0	0,86	0,9	1	1	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,1	1,1
3	0,79	0,84	0,92	0,97	0,92	1	1,11	1,19	0,99	1,1	1,27	1,32
6	0,68	0,77	0,87	0,93	0,85	0,96	1,11	1,19	0,94	1,1	1,26	1,33
9	0,55	0,65	0,78	0,9	0,76	0,88	1,02	1,14	0,88	1,01	1,16	1,27
(2). $U_d/U_n=3,0$												
0	0,86	0,9	1	1	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,1	1,1
3	0,76	0,81	0,88	0,94	0,87	0,96	1,06	1,12	0,94	1,04	1,18	1,28
6	0,61	0,68	0,81	0,88	0,77	0,88	1,02	1,1	0,86	1,01	1,15	1,22
9	0,46	0,56	0,72	0,82	0,67	0,79	0,88	1,05	0,78	0,92	1,06	1,18
(3). $U_d/U_n=2,0$												
0	0,86	0,9	1	1	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,1	1,1
3	0,69	0,76	0,85	0,92	0,83	0,91	0,99	1,05	0,89	0,98	1,1	1,14
6	0,53	0,61	0,74	0,84	0,7	0,8	0,94	1,02	0,79	0,92	1,05	1,12
9	0,37	0,48	0,65	0,76	0,59	0,7	0,84	0,95	0,71	0,81	0,96	1,06
(4). $U_d/U_n=1,0$												
0	0,86	0,9	1	1	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,64	0,71	0,82	0,89	0,78	0,86	0,94	0,94	0,85	0,92	1,01	1,05
6	0,43	0,53	0,68	0,79	0,62	0,7	0,84	0,84	0,72	0,82	0,95	1
9	0,27	0,41	0,59	0,7	0,5	0,6	0,75	0,75	0,62	0,72	0,87	0,96

Πίνακας 9: Πραγματική πίεση υδρατμών ( $e_d$ ) σε mbar από παρατηρήσεις θερμοκρασίας ξερού ( $T_d$ ) και υγρού ( $T_w$ ) θερμομέτρου (Ψυχρόμετρο χωρίς αερισμό).

$T_d - T_w$ °C	Θερμοκρασία ξερού θερμομέτρου, °C																
-	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
-	1. Υψόμετρο από 0 μέχρι 1000m																
0	10,7	12,3	14	16	18,2	20,6	23,4	26,4	29,8	33,6	37,8	42,4	47,5	53,2	59,4	66,3	73,8
2	7,7	9,1	10,7	12,4	14,4	16,6	19	21,8	24,8	28,2	32	36,2	40,8	45,9	51,6	57,8	64,7
4	4,9	6,1	7,5	9,1	10,8	12,8	15	17,4	20,2	23,2	26,6	30,4	34,6	39,2	44,4	50	56,2
6	2,3	3,3	4,6	5,9	7,5	9,2	11,2	13,4	15,8	18,6	21,6	25	28,8	33	37,6	42,8	48,4
8		0,7	1,7	3	4,3	5,9	7,6	9,6	11,8	14,2	17	20	23,4	27,2	31,4	36	41,2
10				0,1	1,4	2,7	4,3	6	8	1,2	12,6	15,4	18,4	21,8	25,6	29,8	34,4
12							1,1	2,7	4,4	6,4	8,6	11	13,8	16,8	20,2	24	28,2
14									1,1	2,8	4,8	7	9,4	12,2	15,2	18,6	22,4
16											1,2	3,2	5,4	7,8	10,6	13,6	17
18													1,6	3,8	6,2	9	12
20															2,2	4,6	7,4
22																0,6	3
-	2. Υψόμετρο από 1000 μέχρι 2000 m																
0	10,7	12,3	14	16	18,2	20,6	23,4	26,4	29,8	33,6	37,8	42,4	47,5	53,2	59,4	66,3	73,8
2	7,9	9,3	10,9	12,6	14,6	16,8	19,2	22	25	28,4	32,2	36,4	41	46,1	51,8	58	64,9
4	5,4	6,7	8	9,6	11,3	13,3	15,5	17,9	20,7	23,7	27,1	30,9	35,1	39,7	44,8	50,5	56,7
6	3	4	5,2	6,6	8,2	9,9	11,9	14,1	16,5	19,3	22,3	25,7	29,5	33,7	38,3	43,4	49,1
8	0,6	1,6	2,6	3,8	5,2	6,8	8,5	10,5	12,7	15,1	17,9	20,9	24,3	28,1	32,3	36,9	42
10			0,3	1,3	2,5	3,9	5,5	7,2	9,2	11,4	13,8	6,6	19,6	23	26,8	31	35,6
12						1,1	2,5	4,1	5,8	7,8	10	12,4	15,2	18,2	21,2	25,4	29,6
14								1,2	2,8	4,5	6,5	8,7	11,1	13,9	16,9	20,3	24,1
16										1,4	3,1	5,1	7,3	9,7	12,5	15,5	18,9
18												1,7	3,7	5,9	8,3	11,1	14,1
20													0,4	2,4	4,6	7	9,8
22															1	3,2	5,6

Πίνακας 10: Πραγματική πίεση υδρατμών ( $e_d$ ) σε mbar από παρατηρήσεις θερμοκρασίας ξερού ( $T_d$ ) και υγρού ( $T_w$ ) θερμομέτρου (Ψυχρόμετρο με αερισμό).

$T_d$ $T_w$ °C	Θερμοκρασία ξερού θερμομέτρου, °C																
-	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
-	1. Υψόμετρο από 0 μέχρι 1000m																
0	10,7	12,3	14,0	16,0	18,2	20,6	23,4	26,4	29,8	33,6	37,8	42,4	47,5	53,2	59,4	66,3	73,8
2	8	9,4	10,9	12,7	14,6	16,8	19,3	22	25,1	28,5	32,3	36,5	41,1	46,2	51,9	58,1	64,9
4	5,5	6,7	8,1	9,6	11,4	13,3	15,5	18	20,7	23,5	27,2	30,9	35,1	39,8	44,9	50,5	56,8
6	3,1	4,1	5,3	6,7	8,3	10	12	14,2	16,6	19,4	22,4	25,8	29,6	33,8	38,4	43,6	49,2
8	0,8	1,7	2,8	4	5,4	6,9	8,7	10,6	12,8	15,3	18	21,1	24,5	28,3	32,5	37,1	42,2
10				1,5	2,7	4,1	5,6	7,4	9,3	11,5	14	16,7	19,8	23,2	26,9	31,1	35,8
12						1,4	2,7	4,3	6	8	10,2	12,6	15,4	18,4	21,8	25,6	29,8
14								1,4	2,9	4,7	6,7	8,8	11,3	14	17,1	20,5	24,3
16										1,6	3,4	5,3	7,5	10	12,7	15,8	19,2
18													4	6,2	8,6	11,4	14,4
20															4,9	7,3	10,1
22																	6
-	2. Υψόμετρο από 1000 μέχρι 2000m																
0	10,7	12,3	14	16	18,2	20,6	23,4	26,4	29,8	33,6	37,8	42,4	47,5	53,2	59,4	66,3	73,8
2	8,2	9,6	11,2	12,9	14,9	17,1	19,5	22,3	25,3	28,7	32,5	36,7	41,3	46,4	52,1	58,2	65,2
4	5,8	7	8,4	10	11,7	13,7	15,9	18,3	21,1	24,1	27,5	31,3	35,5	40,1	45,2	50,9	57,1
6	3,7	4,7	5,9	7,3	8,9	10,6	12,6	14,3	17,2	20	23	26,4	30,2	34,4	39	44,1	49,8
8	1,6	2,6	3,6	4,8	6,2	7,8	9,5	11,5	13,9	16,1	18,9	21,9	25,3	29,9	33,3	37,9	43
10		0,4	1,4	2,4	3,6	5	6,6	8,3	10,3	12,5	14,9	17,7	20,7	24,1	32,1	36,7	41,8
12				0,3	1,3	2,5	3,9	5,5	7,2	9,2	11,4	13,8	16,6	19,6	23	26,8	31
14						0,1	1,3	2,7	4,3	6	8	10,2	12,6	15,4	18,4	21,8	25,6
16								0,2	1,6	3,2	4,9	6,9	9,1	11,5	14,3	17,3	20,7
18										0,5	2,1	3,8	5,8	8	10,4	13,2	16,2
20												0,9	2,6	4,6	6,8	9,2	12
22														1,5	3,5	5,7	8,1



## 2.6. Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman-Monteith

Η συνδυασμένη μέθοδος των Penman-Monteith είναι η πιο πολύπλοκη από όλες και εκφράζεται από τη σχέση:

$$ET_r = [(R_n - G) \Delta / (\Delta + \gamma^*) + (\gamma / \Delta + \gamma^*) (e_a - e_d) (1/\tau_a) (0,622 K_1 \lambda \rho / P)] \quad (22)$$

Η παράμετρος  $G$  εκφράζει την κατακόρυφη μεταφορά θερμότητας στο έδαφος και η ημερήσια τιμή της, για έδαφος καλυμμένο με χορτοτάπητα ή μηδική, είναι πάρα πολύ μικρή και μπορεί να παραληφθεί. Η ποσότητα  $K_1 (0,622 \lambda \rho / P)$  όπου,  $K_1$  είναι ένας συντελεστής εξίσωσης μονάδων,  $\lambda$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης,  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα και  $P$  είναι η πίεση του αέρα σε θερμοκρασία  $^{\circ}T$ , μπορεί να προσεγγιστεί με τη παρακάτω σχέση όπου  $T$  σε  $^{\circ}C$  και ισχύει όταν η ταχύτητα του αέρα εκφράζεται σε  $m s^{-1}$ .

$$1710 - 6,85 T = (0,622 \lambda \rho / P) K_1 \quad (23)$$

Η σχέση (22) μπορεί να πάρει τη μορφή :

$$ET_r = [(e_a - e_d) (1/\tau_a) (1710 - 6,85 T) K_u (\gamma / \Delta + \gamma^*) + (\Delta / \Delta + \gamma^*) R_n] \quad (24)$$

Όπου  $\Delta$  είναι η κλίση της γραμμής στη σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών και θερμοκρασίας σε  $mb$  ανά βαθμό  $^{\circ}C$  και μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση:

$$\Delta = 2 (0,00738 T + 0,8072)^7 - 0,00116, \text{ όπου } T \text{ σε } ^{\circ}C \quad (25)$$

$K_u$  είναι ένας συντελεστής που εξασφαλίζει ότι οι δύο όροι στη σχέση (24) έχουν τις ίδιες μονάδες και είναι  $K_u=1$  όταν  $ET_r$  είναι σε  $Mj^* m^{-2} d^{-1}$ ,  $e_a$  και  $e_d$  είναι σε  $kPa$  και  $K_u=0,048$  όταν  $ET_r$  είναι σε  $mm d^{-1}$ ,  $e_d$  και  $e_a$  είναι σε  $mb$ .

$R_n$  είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία σε  $mm d^{-1}$  που υπολογίζεται με τη διαδικασία που δίνεται στη μέθοδο του Penman.

Οι  $e_d$  και  $e_a$  αναφέρονται στην πίεση των υδρατμών της ατμόσφαιρας και ορίστηκαν στη μέθοδο του Penman. Τιμές της  $e_a$  σε mb δίνονται στον πίνακα 7. Η  $e_a$  μπορεί άμεσα να υπολογιστεί με τη σχέση :

$$e_a = 33,8639 [0,001316 + (0,8072 + 0,00738 T)^8 - 0,000019 |48 + 1,8 T|] \quad (26)$$

για  $-51^\circ\text{C} < T < 54^\circ\text{C}$  όπου  $e_a$  είναι σε mb. Το  $e_d$  μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση 20.

Αν η ατμοσφαιρική πίεση δεν είναι γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$1013 - 0,1055 (EL) = P \quad (27)$$

όπου EL είναι το υψόμετρο του τόπου σε m και P είναι σε mb.

Το  $\gamma^*$  είναι μια παράμετρος που δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma^* = (1 + r_d / r_a) \gamma \quad (28)$$

Όπου  $\gamma$  είναι η ψυχομετρική σταθερά σε mb ανά βαθμό  $^\circ\text{C}$  που μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση :

$$1,608 P c_p / \lambda = \gamma \quad (29)$$

Όπου  $c_p$  είναι η ειδική θερμότητα του υγρού αέρα σε σταθερή πίεση και είναι ίση με  $0,242 \text{ cal g}^{-1}$  ανά βαθμό  $^\circ\text{C}$ , P είναι η μέση πίεση της ατμόσφαιρας σε mb και  $\lambda$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης σε  $\text{cal g}^{-1}$  που μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\lambda = 597,3 - 0,564 T, \quad T \text{ σε } ^\circ\text{C} \quad (30)$$

Το  $r_c$  εκφράζει την αντίσταση της επιφάνειας (φυτοκόμης) στη μεταφορά υδρατμών σε  $s\ m^{-1}$  ή  $s\ cm^{-1}$  και ημερήσιες ή μηνιαίες τιμές του σε  $s\ m^{-1}$  μπορεί να υπολογιστούν με τη σχέση:

$$100/0,5\ LAI = r_c \quad (31)$$

Όπου LAI είναι ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας που μπορεί να υπολογιστεί, για χορτοτάπητα που το ύψος του διατηρείται μικρότερο των 15 cm, με τη σχέση:

$$LAI = 0,24\ h_c \quad (32)$$

Για χορτοτάπητα και μηδική σε ύψος άνω των 3 cm, που υποβάλλονται σε περιοδική συγκομιδή, με τη σχέση :

$$LAI = 1,5\ \ln(h_c) - 1,4 \quad (33)$$

Όπου  $h_c$  είναι το μέσο ύψος της φυτοκόμης σε cm. Το  $r_a$  εκφράζει την αεροδυναμική αντίσταση στη μεταφορά αισθητής θερμότητας και υδρατμών σε  $s\ m^{-1}$  ή  $s\ cm^{-1}$  και δίνεται από τη σχέση:

$$r_a = \ln[(z_w - d)/z_{om}] \ln[(z_p - d)/z_{ov}] / (0,41)^2 U_z \quad (34)$$

Όπου  $z_w$  είναι το ύψος σε m στο οποίο μετράται η ταχύτητα του ανέμου,  $z_p$  είναι το ύψος σε m που γίνεται η μέτρηση της υγρασίας (ψυχρόμετρο) και της θερμοκρασίας του αέρα,  $U_z$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε  $m*s^{-1}$  σε ύψος  $z_w$ ,  $d$  είναι η μετατόπιση του μηδενικού επιπέδου σε m, επίσης  $z_{om}$  και  $z_{ov}$  είναι παράμετροι που εκφράζουν την τραχύτητα της φυτοκόμης σε m. Οι παράμετροι  $d$ ,  $z_{ov}$  και  $z_{om}$  υπολογίζονται με τις σχέσεις:

$$d = 2\ h_c / 3 \quad (35)$$

$$0,123\ h_c = z_{om} \quad (36)$$

$$0,0123\ h_c = z_{ov} \quad (37)$$

## 2.7. Φυτικοί συντελεστές

Οι φυτικοί συντελεστές αντιπροσωπεύουν τη διαφοροποίηση της εξατμισοδιαπνοής μιας οποιασδήποτε άλλης καλλιέργειας από αυτή της καλλιέργειας αναφοράς. Οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια, αλλά και για την ίδια καλλιέργεια παρουσιάζουν διακύμανση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Οι τιμές τους διαμορφώνονται ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε καλλιέργειας, τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που αναπτύσσεται, την καλλιεργητική πρακτική και την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Για τις ετήσιες καλλιέργειες, επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν το  $K_c$  είναι ο χρόνος σποράς ή φύτευσης, ο ρυθμός ανάπτυξης και η συχνότητα των αρδεύσεων και βροχών κατά το αρχικό στάδιο της ανάπτυξής τους. Στις πολυετείς χορτοδοτικές καλλιέργειες το  $K_c$  επηρεάζεται από τον αριθμό των κοπών. Λόγω των διαφοροποιήσεων αυτών η διερεύνηση των φυτικών συντελεστών γίνεται κατά κατηγορίες καλλιεργειών.

### 2.7.1. Φυτικοί συντελεστές ετήσιων καλλιεργειών

Οι ετήσιες καλλιέργειες παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών τους, κυρίως σε ότι αφορά το ποσοστό κάλυψης του εδάφους, κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Αυτό έχει άμεση επίπτωση στη διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής τους και, κατ' επέκταση, στις τιμές των φυτικών συντελεστών. Για τη διευκόλυνση του προσδιορισμού των τιμών των συντελεστών αυτών, η βλαστική περίοδος κάθε καλλιέργειας χωρίζεται σε τέσσερα κύρια στάδια ανάπτυξης. Τα στάδια αυτά είναι:

**Στάδιο 1ο:** Περίοδος εγκατάστασης της καλλιέργειας. Το στάδιο αυτό αρχίζει με τη σπορά ή μεταφύτευση και φτάνει μέχρι την οριστική εγκατάσταση της καλλιέργειας, κατά την οποία τα φυτά έχουν αναπτυχθεί τόσο που να καλύπτουν το έδαφος σε ποσοστό όχι μεγαλύτερο από 10%.

**Σταδιο 2ο:** Περίοδος κύριας βλάστησης. Το στάδιο αυτό αρχίζει από εκεί που τελειώνει το προηγούμενο και περιλαμβάνει όλη την περίοδο της έντονης ανάπτυξης

του φυλλώματος μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια (ποσοστό κάλυψης από 70% μέχρι 100% ).

**Στάδιο 3ο:** Περίοδος διαμόρφωσης της παραγωγής. Περιλαμβάνει την περίοδο της ανθοφορίας και του σχηματισμού των καρπών.

**Στάδιο 4ο:** Περίοδος ωρίμανσης. Κατά το στάδιο αυτό συντελείται η ωρίμανση των καρπών και τερματίζεται με τη συγκομιδή.

Η διάρκεια της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων ανάπτυξης διαφέρει από καλλιέργεια σε καλλιέργεια αλλά επηρεάζεται και από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε τόπο. Έτσι, πρώτο μέλημα στη διαδικασία προσδιορισμού των φυτικών συντελεστών είναι ο καθορισμός της βλαστικής περιόδου και των επί μέρους σταδίων για κάθε εδαφικό διαμέρισμα. Τα στοιχεία αυτά, για ένα μεγάλο εύρος ετήσιων καλλιεργειών που αναπτύσσονται στην ηπειρωτική Ελλάδα, δίνονται στον πίνακα 12.

Ο φυτικός συντελεστής κατά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης διαμορφώνεται από τις συνθήκες που επικρατούν κατά το στάδιο αυτό, όπου κύριο χαρακτηριστικό είναι το πολύ μικρό ποσοστό φυτοκάλυψης. Όπως έχει οριστεί, η εξατμισοδιαπνοή είναι το άθροισμα της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά το πρώτο στάδιο, η διαπνοή είναι περιορισμένη λόγω του μικρού ποσοστού φυτοκάλυψης (<10%) ενώ, αντίθετα, η εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους είναι πολύ σημαντική, ιδίως μετά από βροχή ή άρδευση που το χώμα είναι υγρό. Είναι φυσικό η τιμή του φυτικού συντελεστή να επηρεάζεται από τη συχνότητα των αρδεύσεων και των βροχών, σε συνάρτηση με τη βασική εξατμισοδιαπνοή του σταδίου αυτού. Η τιμή του φυτικού συντελεστή κατά το πρώτο στάδιο θεωρείται σταθερή για όλη τη διάρκειά του. Κατά το δεύτερο στάδιο, που χαρακτηρίζεται από σταδιακή αύξηση της φυτοκάλυψης από ποσοστό <10% μέχρι την πλήρη κάλυψη του εδάφους, ο φυτικός συντελεστής δεν είναι σταθερός αλλά μεταβάλλεται, ξεκινώντας από μία ελάχιστη τιμή, που είναι ίση με την τιμή του  $K_c$  του πρώτου σταδίου, μέχρι μια μέγιστη όταν το φύλλωμα καλύψει πλήρως το έδαφος. Η μέγιστη αυτή τιμή είναι ίση με την τιμή του  $K_c$  του τρίτου σταδίου. Η μέση τιμή του  $K_c$  του

δευτέρου σταδίου διαμορφώνεται σαν το ημίθροισμα των  $K_c$  του πρώτου και του τρίτου σταδίου. Σε όλη τη διάρκεια του τρίτου σταδίου, όπου παρατηρείται η ανθοφορία και ο σχηματισμός των καρπών, η κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια είναι πλήρης, η δε τιμή του  $K_c$  είναι σταθερή και διαμορφώνεται στο υψηλότερο επίπεδο για το σύνολο της βλαστικής περιόδου. Η τιμή του  $K_c$  του σταδίου αυτού υπολογίζεται πειραματικά για κάθε καλλιέργεια και τόπο, αφού πολύ σημαντική επίδραση στη διαμόρφωσή της ασκούν οι επικρατούσες σε κάθε τόπο κλιματικές συνθήκες.

Κατά το τέταρτο στάδιο συντελείται η ωρίμανση των καρπών (ή του όποιου άλλου συγκομίσιμου προϊόντος), τερματίζεται δε με τη συγκομιδή. Το στάδιο αυτό παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες, αφού η ποιότητα και η ποσότητα των κατά περίπτωση συγκομιζόμενων προϊόντων έχει άμεση σχέση με το επίπεδο υγρασίας του εδάφους και τις φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών που γίνονται κατά το στάδιο αυτό. Λογικά, ο φυτικός συντελεστής πρέπει να μειώνεται όσο προχωρούμε προς το τέλος του σταδίου που, κατά κανόνα ταυτίζεται με τη συγκομιδή. Έτσι, αν προσδιοριστεί πειραματικά η τιμή του  $K_c$  κατά την περίοδο της συγκομιδής, η μέση τιμή του καθ' όλη τη διάρκεια του σταδίου θα είναι το ημίθροισμα της τιμής αυτής και της τιμής του  $K_c$  του τρίτου σταδίου.

Τιμές του  $K_c$  για διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, κατά το εγχειρίδιο του FAO-24 <<Crop Water Requirements >>, δίνονται στον πίνακα 11. Πρέπει να τονιστεί ότι όλη η διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω και ο πίνακας 11 οδηγούν σε μέσες τιμές του  $K_c$ , με την προϋπόθεση ότι η βασική εξατμισοδιαπνοή που υπολογίστηκε με οποιαδήποτε μέθοδο είναι ακριβώς αυτή της καλλιέργειας αναφοράς. Στην πραγματικότητα, οι φυτικοί συντελεστές παρουσιάζουν μια συνεχή μεταβολή από το φύτευμα μέχρι τη συγκομιδή. Τέλος, διαφοροποιήσεις των τιμών του  $K_c$  παρατηρούνται και σαν συνέπεια των κλιματικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα τόπο. Για τους παραπάνω λόγους, οι φυτικοί συντελεστές πρέπει να προσδιορίζονται ξεχωριστά για τα εδαφικά διαμερίσματα που έχουν ομοιότητα στις κλιματικές συνθήκες και να επισημαίνεται η μέθοδος υπολογισμού της βασικής εξατμισοδιαπνοής. Στον πίνακα 13 δίνονται οι τιμές του  $K_c$  για τέσσερις ετήσιες

καλλιέργειες που είναι προσαρμοσμένες στις ελληνικές συνθήκες και ισχύουν για την περίπτωση που ο υπολογισμός της βασικής εξατμισοδιαπνοής γίνεται με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman.

Στην διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω, είναι φανερό ότι ο υπολογισμός των φυτικών συντελεστών γίνεται μόνο για το πρώτο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, αφού οι τιμές τους κατά το τρίτο και το τέταρτο στάδιο δίνονται στον πίνακα 11 (ή στους ανάλογους) και η τιμή του δευτέρου σταδίου είναι το ημίθροισμα αυτών του πρώτου και του τρίτου σταδίου. Παρακάτω δίνονται οι πίνακες 11, 12 και 13 που αναφέρθηκαν στο κείμενο.

**Πίνακας 11:** Φυτικοί συντελεστές ( $K_c$ ), ετήσιων καλλιεργειών του τρίτου και του τετάρτου σταδίου ανάπτυξης για διάφορες κλιματικές συνθήκες, όπως δίνονται στο εγχειρίδιο του FAO-24.

α.α	Καλλιέργεια	Στάδιο ανάπτυξης	$RH_{\min}$			
			>70%		<70%	
			Ταχύτητα ανέμου, $m\ s^{-1}$			
			0-5	5-8	0-5	5-8
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	Σόργο	3	1	1,05	1,1	1,15
1	Σόργο	4	0,5	0,5	0,55	0,55
2	Αραβόσιτος	3	1,05	1,1	1,15	1,2
2	Αραβόσιτος	4	0,55	0,55	0,6	0,6
3	Βαμβάκι	3	1,05	1,15	1,2	1,25
3	Βαμβάκι	4	0,65	0,65	0,65	0,7
4	Ζαχαρότευτλα	3	1,05	1,1	1,15	1,2

4	Ζαχαρότευτλα	4	0,95	0,95	1	1
5	Φασόλια ξερά	3	1,05	1,1	1,15	1,2
5	Φασόλια ξερά	4	0,3	0,3	0,25	0,25
6	Φασολάκια	3	0,95	0,95	1	1,05
6	Φασολάκια	4	0,85	0,85	0,9	0,9
7	Πατάτες	3	1,05	1,1	1,15	1,2
7	Πατάτες	4	0,7	0,7	0,75	0,75
8	Ντομάτες	3	1,05	1,1	1,2	1,25
8	Ντομάτες	4	0,6	0,6	0,65	0,65
9	Πιπεριές	3	0,95	1	1,05	1,1
9	Πιπεριές	4	0,8	0,85	0,85	0,9
10	Κρεμμύδια ξερά	3	0,95	0,95	1,05	1,1
10	Κρεμμύδια ξερά	4	0,75	0,75	0,8	0,85
11	Μπιζέλια	3	1,05	1,1	1,15	1,2
11	Μπιζέλια	4	0,95	1	1,05	1,1
12	Σπανάκι	3	0,95	0,95	1	1,05
12	Σπανάκι	4	0,9	0,9	0,95	1
13	Πεπόνια,καρπούζια	3	0,95	0,95	1	1,05
13	Πεπόνια,καρπούζια	4	0,65	0,65	0,75	1,75
14	Λάχανα,κουνουπίδια	3	0,95	1	1,05	1,1
14	Λάχανα,κουνουπίδια	4	0,8	0,85	0,9	0,95



15	Μαρούλια	3	0,95	0,95	1	1,05
15	Μαρούλια	4	0,9	0,9	0,9	1
16	Μελιτζάνες	3	0,95	1	1,05	1,1
16	Μελιτζάνες	4	0,8	0,85	0,85	0,9
17	Σέλινο	3	1	1,05	1,1	1,15
17	Σέλινο	4	0,9	0,95	1	1,05
18	Καρότα	3	1	1,05	1,1	1,15
18	Καρότα	4	0,7	0,75	0,8	0,85
19	Καπνός	3	0,95	0,95	1	1
19	Καπνός	4	0,9	0,9	0,95	0,95
20	Σίκαλη	3	1,05	1,1	1,15	1,2
20	Σίκαλη	4	0,25	0,25	0,2	0,2
21	Κριθάρι	3	1,05	1,1	1,15	1,2
21	Κριθάρι	4	0,25	0,25	0,2	0,2
22	Σιτάρι	3	1,05	1,1	1,15	1,2
22	Σιτάρι	4	0,25	0,25	0,2	0,2

**Πίνακας 12:** Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης ετήσιων καλλιεργειών όπως διαμορφώνονται στην ηπειρωτική Ελλάδα.

Καλλιέργεια	Βλαστική περίοδος και στάδια ανάπτυξης
(1)	(2)
Βαμβάκι	Καλλιεργείται κυρίως στα πεδινά. Ιδανική ημερομηνία σποράς 20-30/4, μπορεί να παραταθεί μέχρι 15/5. Συγκομιδή από 1-20/10 που μπορεί να παραταθεί μέχρι το πρώτο 15ήμερο του Νοεμβρίου. Στάδια ανάπτυξης 30/60/45/25 (160)
Αραβόσιτος	Ποικιλίες καλαμποκιού πρώιμες με πλήρη βιολογικό κύκλο σπέρνονται στα πεδινά από 10-30/4 και συγκομίζονται από 5-15/9. Τα στάδια ανάπτυξης είναι 25/40/60/25 (150). Στα ορεινά η σπορά γίνεται 10 ημέρες αργότερα. Στα τενάγη των Φιλιππων, λόγω ειδικών συνθηκών, η σπορά γίνεται το Μάιο και η συγκομιδή τον Οκτώβριο ή ακόμη και το Νοέμβριο. Το επίσπορο καλαμπόκι σπέρνεται γύρω στις 25/6 και χρησιμοποιούνται υβρίδια με βιολογικό κύκλο 100 ημερών. Τα στάδια είναι 15/25/45/15 (100). Καλλιεργείται μόνο στα πεδινά.
Σίκαλη	Η καλλιέργειά της είναι πολύ περιορισμένη. Σπορά στο σιτάρι, και κριθάρι, συγκομιδή 5 ημέρες πριν το κριθάρι. Στάδια ανάπτυξης στα πεδινά 20/100/45/20 (185) και στα ορεινά 20/100/45/20 (185) και στα ορεινά 20/125/45/20 (210). (Οι αριθμοί στις παρενθέσεις αναφέρονται στη μέση διάρκεια της βλαστικής περιόδου.)
Κριθάρι	Ημερομηνίες σποράς αντίστοιχες με του σιταριού. Συγκομιδή στα πεδινά από 30/5-15/6 και στα ορεινά από 10/6-10/7. Μέση βλαστική περίοδος 190 και 215 ημέρες αντίστοιχα. Στάδια ανάπτυξης στα πεδινά 20/105/45/20 και στα ορεινά 20/130/45/20.
Σιτάρι	Σπορά από 15/10 μέχρι 30/11 ή και αργότερα, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Συγκομιδή από 5-25/6 στα πεδινά και 1-20/7 στα ορεινά. Αντίστοιχες βλαστικές περιόδους (μέσες) 205 και 230 ημέρες. Διάρκεια σταδίων ανάπτυξης στα πεδινά 20/115/50/20 και στα ορεινά 20/140/50/20 (οι αριθμοί αναφέρονται κατά σειρά στα 4 στάδια.
Καπνός	Μεταφύτευση από 15/4 μέχρι 10/6 ανάλογα με την ποικιλία και την περιοχή. Διάρκεια συγκομιδής περίπου 40 ημέρες. Πέρασ συγκομιδής 20/8 μέχρι 10/9 ανάλογα με την ποικιλία και την περιοχή. Στάδια ανάπτυξης.
Λάχανα, κουνουπίδια	Μεταφύτευση Ιούλιος- Αύγουστος, συγκομιδή από τέλος Σεπτεμβρίου μέχρι Φεβρουάριο, στάδια ανάπτυξης 20/30/20/10 (80).
Σέλινο	Ολόκληρο το χρόνο, στάδια ανάπτυξης 25/40/40/15 (120)
Καρότα	Ολόκληρο το χρόνο, στάδια ανάπτυξης για τις ζεστές εποχές 20/30/30/20 (100), για τις δροσερές εποχές 25/35/40/20 (120)
Μελιτζάνες	Στα πεδινά, μεταφύτευση 1/4-5/5, συγκομιδή από Ιούνιο μέχρι Οκτώβριο, στάδια ανάπτυξης 20/30/25/15 (90). Στα ορεινά μεταφύτευση 1-31/5, συγκομιδή Αύγουστος- Σεπτέμβριος, στάδια 20/35/35/15 (105)
Μαρούλια	Ανοιξιάτικα, μεταφύτευση 10-15/4, συγκομιδή 15-30/5, στάδια ανάπτυξης 10/15/10/5 (40). Φθινοπωρινά, μεταφύτευση 1/8-30/9, συγκομιδή 1/10- 30/11, στάδια ανάπτυξης 15/25/15/10 (60)
Ζαχαρότευτλα	Σπορά ανάλογα με τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, από 1/3 μέχρι 30/4. Η συγκομιδή γίνεται όταν τα τεύτλα φτάσουν στη μέγιστη περιεκτικότητα σε ζάχαρο. Δεν υπάρχει ευκρινής διάκριση μεταξύ τρίτου και τετάρτου σταδίου. Στάδια ανάπτυξης 30/45/90/15 (180).

Φασολάκια	Στα πεδινά σπορά Μάιος και Ιούνιος, Συγκομιδή Ιούλιος- Αύγουστος- Σεπτέμβριος. Στάδια ανάπτυξης 20/30/30/10 (90)
Πατάτες	Στα πεδινά σπορά 25-30/6, συγκομιδή 1/10- 15/11, στάδια ανάπτυξης 25/30/40/25 (120). Στα ορεινά σπορά 15-25/4, συγκομιδή 25/8- 25/9, στάδια ανάπτυξης 30/35/50/25 (140).
Σπανάκι	Ανοιξιότικη σπορά, στάδια ανάπτυξης 20/20/15/5 (60). Φθινοπωρινή σπορά , στάδια ανάπτυξης 20/20/25/5 (70).
Μπιζέλια	Σπορά νωρίς την άνοιξη, στάδια ανάπτυξης 15/25/35/15 (90). Αρακάς βιομηχανικός, σπορά 1-10/7, στάδια 10/20/20/10 (60)
Πυτεριές	Μεταφύτευση στα πεδινά 1/4- 5/5, στα ορεινά 1-31/5. Συγκομιδή Ιούλιος- Αύγουστος- Σεπτέμβριος. Στάδια ανάπτυξης 25/35/35/20 (115).
Πεπόνια, καρπούζια	Σπορά Απρίλιος- Μάιος, συγκομιδή Ιούλιος-Αύγουστος- Σεπτέμβριος- Οκτώβριος, στάδια ανάπτυξης 25/35/40/20 (120)
Κρεμμύδια ξερά	Σπορά 15/2 -31/3, συγκομιδή 25/6- 31/7 στα πεδινά και τον Αύγουστο στα ορεινά. Στάδια ανάπτυξης στα πεδινά 15/25/60/30 (130) και στα ορεινά 15/25/70/40 (150).
Ντομάτες, νωπές και βιομηχανικές	Νωπή ντομάτα στα πεδινά (όψιμη) μεταφύτευση 1-5/ 6, συγκομιδή 1/ 9- 30/ 11, στάδια ανάπτυξης 35/ 45 70/ 30 (180). στα ορεινά (όψιμη ) μεταφύτευση 25-30/ 6, συγκομιδή 20/ 9-20/11, στάδια 20/ 30/30/20 (100). Βιομηχανική ντομάτα στα πεδινά σπορά 15/4-5/6, συγκομιδή 25/7- 10/10, στάδια ανάπτυξης 25/35/35/20 (115).
Φασόλια ξερά	Σπορά στις αρχές Μαΐου, συγκομιδή το δεύτερο 15ήμερο του Αυγούστου για τα πλακέ και από τον Αύγουστο μέχρι αρχές Νοεμβρίου, για τους γίγαντες (κυρίως περιοχή Δ. Μακεδονίας). Στάδια ανάπτυξης 15/25//50/20 (110).

**Πίνακας 13:** Φυτικοί συντελεστές ( $K_c$ ) ετησίων καλλιεργειών, προσαρμοσμένων στις κλιματικές συνθήκες της ηπειρωτικής Ελλάδος, για χρήση με την τροποποιημένη μέθοδο του Penman.

Καλλιέργεια	$K_c$			
	1ου σταδίου	2ου σταδίου	3ου σταδίου	4ου σταδίου
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Βιομ. Ντομάτα	0,4	0,6	0,8	0,5
Αραβόσιτος	0,4	0,6	0,8	0,45
Βαμβάκι	0,35	0,55	0,8	0,45
Τεύτλα	0,35	0,5	0,65	0,4

### 2.7.2. Φυτικοί συντελεστές άλλων καλλιεργειών.

Στα φυλλοβόλα οπωροφόρα οι φυτικοί συντελεστές διαφέρουν ανάλογα με το είδος των δένδρων, το βαθμό κάλυψης του χωραφιού και τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, με έμφαση στην ταχύτητα του ανέμου και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Οι συντελεστές επίσης επηρεάζονται σημαντικά αν στους οπωρώνες αφήνεται να αναπτυχθούν ελεύθερα τα ζιζάνια ή αν το έδαφος διατηρείται καθαρό από αυτά και είναι καλά καλλιεργημένο. Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο του τόπου διαμορφώνεται και η διάρκεια της βλαστικής τους περιόδου. Στα μεσογειακά κλίματα, σε περιοχές κοντά στη θάλασσα, η ανθοφορία εμφανίζεται ένα μήνα ή περισσότερους πιο πριν από ότι στα βόρεια, με ποικιλία ημερομηνιών συγκομιδής, που αρχίζουν και τελειώνουν αρκετές εβδομάδες πιο μπροστά από τα βόρεια, για τις ίδιες ποικιλίες και είδη.

Στα αμπέλια οι τιμές του  $K_c$  διαμορφώνονται ανάλογα με την καλλιεργητική πρακτική και τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης των διαφόρων ποικιλιών. Γενικά, τα αμπέλια διατηρούνται ελεύθερα από ζιζάνια, καλύπτουν 30 με 50% της επιφάνειας του χωραφιού και καταναλώνουν λιγότερο νερό από ότι οι περισσότερες καλλιέργειες, κυρίως με καλύτερο έλεγχο της διαπνοής μέσω των στομάτων τους. Στην Ελλάδα τα αμπέλια καλλιεργούνται σε περιοχές με σχετικά ήπιο χειμώνα και ζεστό και ξηρό καλοκαίρι.

Για τους ορυζώνες, το  $K_c$  εξαρτάται από την ποικιλία, με συνέπεια το  $K_c$  να προσαρμόζεται ανάλογα με τη διάρκεια των διαφόρων σταδίων ανάπτυξης.

Τα εσπεριδοειδή κατά κανόνα καλλιεργούνται σε ξηρά μεσογειακού τύπου κλίματα. Η επίδραση του ανέμου στα δένδρα αυτά δεν είναι σημαντική γιατί διαθέτουν μηχανισμούς ελέγχου της διαπνοής με ρύθμιση της αντίστασης των στομάτων τους. Η αντίσταση αυτή ποικίλει με την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και υγρασία, έτσι που αυτή μεγαλώνει κάτω από συνθήκες ξηρού και θερμού καιρού και μικραίνει όταν ο καιρός είναι δροσερός και υγρός. Στη δεύτερη περίπτωση οι τιμές του  $K_c$  πρέπει να αυξάνονται κατά 15-20% σε σχέση με αυτές που δίνονται στους πίνακες. Οι

συντελεστές επίσης ποικίλουν ανάλογα με το αν ο σπώρωνας καλλιεργείται καλά και κρατιέται ελεύθερος από ζιζάνια ή αν αυτά αφήνονται να αναπτυχθούν ελεύθερα.

Τα ελαιόδενδρα είναι κατ' εξοχή ανθεκτικά στην ξηρασία, αν όμως αυτή παραταθεί υπέρμετρα παρατηρείται μείωση στην απόδοση. Περισσότερο νερό χρειάζονται οι ελιές που προορίζονται για επιτραπέζιες. Οι ελιές καλλιεργούνται σε περιοχές με ετήσια βροχόπτωση από 400 μέχρι 600 mm αλλά εμφανίζονται ακόμη και σε κλίματα με βροχόπτωση της τάξης των 200mm, έχουν δε μια κρίσιμη περίοδο πριν από το δέσιμο του καρπού και μια κατά το γεμισμά του. Εφαρμογή κατά τις περιόδους αυτές συνολικής άρδευσης 200mm δίνει άριστα αποτελέσματα. Για αναπτυγμένα δένδρα, ανάλογα με τις αποστάσεις φύτευσης και την ηλικία, οι τιμές του  $K_c$  κυμαίνονται από 0,4 μέχρι 0,7.

Στη περίπτωση των λειβαδιών η τιμή του  $K_c$  κυμαίνεται ανάλογα με την ακολουθούμενη πρακτική. Αν τα φυτά στο λειβάδι είναι πυκνά, η γονιμότητα είναι υψηλή και η άρδευση είναι πλήρης, η διακύμανση του  $K_c$  είναι ανάλογη με αυτή των χόρτων που καλλιεργούνται για σανό.

Χόρτα που καλλιεργούνται για σανό παρουσιάζουν τη μέγιστη τιμή του  $K_c$  6 με 8 ημέρες μετά την κοπή. Η τιμή αυτή κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο με την αντίστοιχη της μηδικής. Αντίθετα, η χαμηλή τιμή του  $K_c$  είναι κατά 10 με 20% ανώτερη από την αντίστοιχη της μηδικής γιατί μετά την κοπή του χόρτου παραμένει στο χωράφι αρκετή βλάστηση. Ανάλογη με την παραπάνω συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα διάφορα τριφύλλια ή διάφοροι συνδυασμοί χόρτων και ψυχανθών.

Για τη μηδική οι τιμές του  $K_c$  μεταβάλλονται κατά τρόπο ανάλογο προς τις ετήσιες καλλιέργειες, μόνο που τα στάδια από 1 μέχρι 4 επαναλαμβάνονται τόσες φορές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου όσος είναι ο αριθμός των κοπών. Το  $K_c$  παίρνει την μικρότερη τιμή του αμέσως μετά από μια κοπή και τη μεγαλύτερη λίγο πριν την επόμενη. Οι ενδιάμεσες τιμές επηρεάζονται από την ποσότητα και τη συχνότητα των αρδέσεων.

## 2.8. Υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής

Μετά την εκτίμηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής ( $ET_r$ ) και τον προσδιορισμό των φυτικών συντελεστών ( $K_c$ ), η πραγματική εξατμισοδιαπνοή ( $ET_c$ ) υπολογίζεται από τη σχέση:  $ET_r * K_c = ET_c$ , η οποία δόθηκε πιο πριν ως σχέση (1). Η  $ET_c$  που δίνει η σχέση αυτή είναι κατά κανόνα μια μέση τιμή, γιατί οι τιμές των κλιματικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται είναι οι μέσοι όροι παρατηρήσεων μιας σειράς ετών. Έτσι, σε κάποιες χρονιές η  $ET_c$  μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτή που υπολογίστηκε. Γενικά, σε κλίματα όπως το ελληνικό, οι αποκλίσεις σε ετήσια βάση μπορεί να φτάσουν το 25%. Είναι δε οπωσδήποτε μεγαλύτερες όταν αναφερόμαστε σε μηνιαίες ή ημερήσιες τιμές. Το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό των αρδευτικών έργων. Μια κοινή πρακτική αποτελεί η  $ET_c$  να υπολογίζεται για κάθε μήνα χωριστά για όλη την περίοδο που υπάρχουν παρατηρήσεις και σαν τιμή σχεδίασεως να παίρνεται αυτή που καλύπτει το 80% των περιπτώσεων. Ακόμη, το μέγεθος και η κατανομή της  $ET_c$  επηρεάζεται σημαντικά από την ύπαρξη υψηλής υπόγειας στάθμης νερού στο χωράφι και την μέθοδο άρδευσης που εφαρμόζεται. Η εκτίμηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής μπορεί να γίνει με μετρήσεις στο χωράφι. Παρακάτω δίνονται ορισμένες διαδικασίες.

## 2.9. Μέθοδος των διαδοχικών δειγματοληψιών

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή για μικρές χρονικές περιόδους (2-5) ημερών με διαδοχική λήψη εδαφοδειγμάτων σε πειραματικά τεμάχια. Αυτών των δειγμάτων προσδιορίζεται η υγρασία, οπότε η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$ET = D \cdot ASW \cdot (SM_1 - SM_2) / 100 \quad (38)$$

Όταν το έδαφος είναι ομοιόμορφο, ή με τη σχέση:

$$ET = \sum_{i=1}^n * (M_{1i} - M_{2i} / 100) \cdot ASW_i \cdot D_i \quad (39)$$

Όταν το έδαφος αποτελείται από στρώσεις. Στις σχέσεις αυτές  $SM_1$  και  $SM_2$  είναι οι υγρασίες του εδάφους αντίστοιχα στην αρχή και στο τέλος της χρονικής περιόδου εκφρασμένες στα % ξηρού βάρους,  $ASW$  είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος και  $D$  ζώνη δειγματοληψίας σε mm.

Η εφαρμογή της μεθόδου χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή. Τα πειραματικά τεμάχια πρέπει να διαλέγονται σε θέσεις όπου η υπόγεια στάθμη του νερού είναι πολύ κάτω από το ριζόστρωμα, να μην παρατηρείται επιφανειακή απορροή και βαθειά διήθηση και οι δειγματοληψίες να αρχίζουν 3-4 ημέρες μετά από άρδευση ή βροχή και να εκτείνονται σε κάποιο βάθος κάτω από το ριζόστρωμα.

## 2. 10. Μέθοδος του ισοζυγίου υγρασίας

Στη μέθοδο αυτή επιλέγεται μια αρκετά μεγάλη έκταση με την καλλιέργεια της οποίας πρόκειται να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Στη ζώνη του ριζοστρώματος, κατά τη διάρκεια κάποιας χρονικής περιόδου, το νερό μπορεί να μπει με άρδευση ή και βροχή και να εγκαταλείψει με επιφανειακή απορροή, βαθειά διήθηση και εξατμισοδιαπνοή. Μπορεί επίσης να παρατηρηθεί μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας ανάμεσα στην αρχή και το τέλος της περιόδου, θετική ή αρνητική. Κάτω από τέτοιες συνθήκες, το ισοζύγιο υγρασίας της ζώνης του ριζοστρώματος μπορεί να εκφραστεί με τη σχέση:

$$ET = I_r + P - D - SRO \pm \Delta SM \quad (40)$$

Όπου  $ET$  είναι η εξατμισοδιαπνοή,  $I_r$  είναι το νερό άρδευσης,  $P$  είναι η βροχή,  $SRO$  είναι η επιφανειακή απορροή,  $D$  είναι η βαθειά διήθηση και  $\Delta SM$  είναι η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας. Είναι φανερό ότι η εξατμισοδιαπνοή κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου θα μπορούσε να υπολογιστεί αν οι παράγοντες στο δεξιό μέρος της σχέσης (40) μπορούσαν να μετρηθούν. Αν η διαμόρφωση του χωραφιού και η εφαρμογή του νερού γίνεται με τρόπο που μηδενίζει την επιφανειακή απορροή και τη βαθειά διήθηση, η μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

## 2.11. Μέθοδος των πειραματικών αγροτεμαχίων

Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή ( $ET_s$ ). Σε ένα χωράφι που έχει σημαντική έκταση εγκαθίσταται η καλλιέργεια της οποίας πρόκειται να υπολογιστεί η  $ET_s$ . Μέσα στο χωράφι επιλέγεται ένα αντιπροσωπευτικό τμήμα του οποίου προσδιορίζεται η περιεχόμενη υγρασία στην αρχή και το τέλος της βλαστικής περιόδου. Προσδιορίζεται επίσης με κάθε δυνατή ακρίβεια η ωφέλιμη βροχόπτωση και το νερό που δόθηκε με άρδευση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Προσδιορίζεται επίσης με κάθε δυνατή ακρίβεια η ωφέλιμη βροχόπτωση και το νερό που δόθηκε με άρδευση κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Αν  $P$  είναι η ωφέλιμη βροχόπτωση σε mm,  $I_r$  είναι το νερό της άρδευσης σε mm,  $SM_1$  και  $SM_2$  είναι αντίστοιχα η εδαφική υγρασία στην αρχή και το τέλος της βλαστικής περιόδου σαν ποσοστό % ξηρού βάρους,  $ASW$  είναι το φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους και  $RD$  είναι το βάθος του ριζοστρώματος σε mm, η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή σε mm μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$ET_s = P + I_r + ASW \cdot RD \cdot (SM_1 - SM_2) / 100 \quad (41)$$

Η σχέση αυτή βρίσκει εφαρμογή όταν το έδαφος είναι ομοιόμορφο σε όλο το βάθος του ριζοστρώματος. Στην περίπτωση που το έδαφος αποτελείται από στρώσεις, οι υπολογισμοί της υγρασίας γίνονται για κάθε στρώση χωριστά και η  $ET_s$  υπολογίζεται με τη σχέση:

$$ET_s = P + I_r + ASW_i \cdot d_i \left[ \sum_{i=1}^n (SM_{1i} - SM_{2i}) / 100 \right] \quad (42)$$

Όπου  $n$  είναι ο αριθμός των στρώσεων και  $SM_{1i}, SM_{2i}, ASW_i$  και  $d_i$  είναι αντίστοιχα οι υγρασίες, το φαινόμενο ειδικό βάρος και το πάχος κάθε εδαφικής στρώσης.

Στη μέθοδο αυτή πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα η επιλογή του πειραματικού αγροτεμαχίου έτσι που να αποκλείεται κατά την άρδευση η επιφανειακή απορροή και η βαθεία διήθηση, η δε υπόγεια στάθμη του νερού πρέπει να είναι αρκετά κάτω από το ριζόστρωμα. Μεγάλη προσοχή πρέπει ακόμη να δοθεί κατά τον υπολογισμό της ωφέλιμης βροχής. Όταν το ύψος της βροχής είναι σημαντικό και η έντασή της



μεγάλη, αρκετό νερό χάνεται με επιφανειακή απορροή και βαθειά διήθηση έτσι που το νερό που αποθηκεύεται στο ριζόστρωμα αντιπροσωπεύει περιορισμένο ποσοστό της βροχής. Περισσότερο νερό χάνεται όταν η καλλιέργεια καλύπτει περιορισμένη επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, η ωφέλιμη βροχή αντιπροσωπεύει περίπου το 100% όταν οι βροχές είναι συχνές με μικρό ύψος και ένταση και όταν όλη η επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται από την καλλιέργεια. Τα παραπάνω δείχνουν τις δυσκολίες που παρουσιάζει ο ακριβής υπολογισμός της ωφέλιμης βροχής και της αντίστοιχης προσοχής που πρέπει να δοθεί. Σαν συμπέρασμα μπορεί να λεχθεί ότι η μέθοδος δίνει καλά αποτελέσματα όταν το πείραμα είναι καλά σχεδιασμένο έτσι που πρακτικά να μηδενίζει την επιφανειακή απορροή και τη βαθειά διήθηση και να υπολογίζεται με ακρίβεια η ωφέλιμη βροχή.

## 2.12. Μέθοδος του λυσιμέτρου

Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση μιας εγκατάστασης που λέγεται λυσίμετρο με την οποία μπορεί με ακρίβεια να ελεγχθούν και να υπολογιστούν όλοι οι όροι της σχέσης (40). Το κύριο σώμα του λυσιμέτρου είναι ένα μεγάλο, κατά προτίμηση κυλινδρικό, δοχείο από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό, που τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το ελεύθερο άκρο του να ταυτίζεται με την επιφάνειά του. Το δοχείο είναι γεμάτο με χώμα και καλλιεργείται με τα φυτά των οποίων πρόκειται να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Το βάθος του δοχείου πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί ανεμπόδιστα το ριζικό σύστημα της καλλιέργειας και να έχει αρκετή επιφάνεια, όχι μικρότερη από  $4\text{m}^2$ . Σε μία τέτοια διάταξη είναι εύκολο να μηδενιστούν η επιφανειακή απορροή και η βαθειά διήθηση έτσι που η εξατμισοδιαπνοή να μπορεί να υπολογιστεί σαν διαφορά ανάμεσα στο νερό που δέχεται το λυσίμετρο και τη μεταβολή της υγρασίας του εδάφους που περιέχει.

Για να είναι αντιπροσωπευτικές και ακριβείς οι μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής πρέπει να εξασφαλίζονται ορισμένες προϋποθέσεις. Είναι βασικό και απαραίτητο το λυσίμετρο να τοποθετείται στο κέντρο ενός εκτεταμένου χωραφιού που, λυσίμετρο

και χωράφι, πρέπει να έχουν την ίδια καλλιέργεια και να ποτίζονται, λιπαίνονται και γενικά να καλλιεργούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Οι θερμικές ιδιότητες του δοχείου πρέπει να είναι παραπλήσιες με αυτές του εδάφους. Διάφορα εμπόδια, φυτοφράκτες, κάθε είδους κατασκευές, δρόμοι και γενικά επιφάνειες γυμνές που δεν εξατμίζουν νερό δεν επιτρέπεται να υπάρχουν στο χωράφι που περιβάλλει το λυσιμέτρο. Τέτοιου είδους εμπόδια αλλοιώνουν σημαντικά το μικροκλίμα με αποτέλεσμα μη αντιπροσωπευτικές παρατηρήσεις.

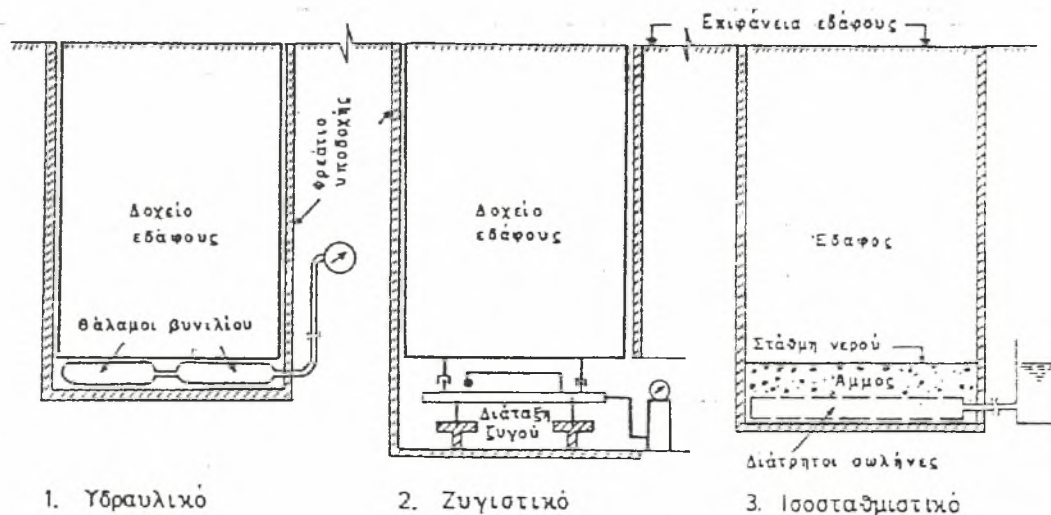
Η μέτρηση του νερού που μπαίνει στο δοχείο του λυσιμέτρου με άρδευση ή βροχή και του νερού που φεύγει με την εξατμισοδιαπνοή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με αυτούς, τα λυσιμέτρα διακρίνονται σε τρεις τύπους. Στον ένα τύπο, το δοχείο τοποθετείται μέσα σε ένα φρεάτιο υποδοχής που είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στον πυθμένα του φρεατίου τοποθετούνται εύκαμπτοι ασκοί, που είναι συνήθως σωλήνες από βυνίλιο μεγάλης αντοχής και διαμέτρου, γεμάτοι με νερό. Το δοχείο κάθεται πάνω στους ασκούς και ασκεί πίεση ανάλογη προς το βάρος του. Η πίεση αυτή, με κατάλληλη διάταξη, καταγράφεται και μετατρέπεται σε ένδειξη βάρους. Οι μεταβολές του βάρους που καταγράφονται μεταξύ των διαδοχικών αναγνώσεων αντιστοιχούν στην εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός αναφέρεται σαν υδραυλικό λυσιμέτρο.

Ένας άλλος τύπος έχει την ίδια διάταξη με το υδραυλικό λυσιμέτρο, μόνο που εδώ το δοχείο τοποθετείται πάνω σ' ένα ζυγιστικό μηχανισμό (γεφυροπλάστιγγα ακριβείας ή ζυγιστικά κύτταρα), ο οποίος δίνει απ' ευθείας τις μεταβολές του βάρους από τις οποίες υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός λέγεται ζυγιστικό λυσιμέτρο.

Ο τρίτος τύπος διαφέρει ουσιαστικά από τους δύο προηγούμενους. Κατ' αυτόν, στο έδαφος κατασκευάζεται μια δεξαμενή από σκυρόδεμα που στη συνέχεια γεμίζεται από χώμα. Στον πυθμένα της δεξαμενής τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες μέσα σε μία στρώση από χονδρόκοκκο υλικό πάχους 30cm περίπου. Οι διάτρητοι σωλήνες συνδέονται με κατάλληλη διάταξη, με ένα ογκομετρικό δοχείο νερού έτσι που η στάθμη του νερού στη δεξαμενή να διατηρείται σταθερή και να ταυτίζεται με το πάνω όριο της στρώσης του χονδρόκοκκου υλικού. Το πάνω από τη στρώση αυτή

κανονικό έδαφος εφοδιάζεται με υγρασία με τριχοειδή ανύψωση. Το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά που καλλιεργούνται μέσα στη δεξαμενή αναπληρώνεται από το ογκομετρικό δοχείο, που κρατάει σταθερή τη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή κατά τη διάρκεια μίας χρονικής περιόδου υπολογίζεται από τη μεταβολή του όγκου του νερού στο δοχείο. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή σαν ισοσταθμιστικό λυσιμέτρο. Διατάξεις των τριών αυτών τύπων λυσιμέτρων φαίνονται στο σχήμα 2.12.

Αν η σχεδίαση και εγκατάσταση γίνει με σωστό τρόπο, το λυσιμέτρο δίνει ακριβείς υπολογισμούς της εξατμισοδιαπνοής. Ειδικότερα οι δύο πρώτοι τύποι που αναφέρθηκαν υπολογίζουν με απόλυτη σχεδόν ακρίβεια την εξατμισοδιαπνοή και χρησιμοποιούνται σαν μέσα ελέγχου της ακρίβειας των υπολογισμών που δίνουν οι έμμεσες μέθοδοι και αναφέρθηκαν προηγούμενα.



Σχήμα 2.12. : Διατάξεις των τριών βασικών τύπων λυσιμέτρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

#### 3.1. Περιγραφή και πειραματική χρήση του λυσιμέτρου

Στα πλαίσια του συστήματος <<νερό-έδαφος- φυτό>> η υγρασία που κερδίζεται μέσω της καθίζησης (υγροποίησης) χάνεται από τη διήθηση, άδειασμα της επιφάνειας και την εξατμισοδιαπνοή, δηλαδή απώλεια υγρασίας λόγω άμεσης εξάτμισης της επιφάνειας του χώματος και από τις ανάγκες του φυτού για ανάπτυξη και εφίδρωση.

Μία άμεση μέθοδος υπολογισμού της ισορροπίας του νερού στο σύστημα είναι να απομονωθεί μια ποσότητα του συστήματος <<φυτό- έδαφος>> από το περιβάλλον του και να μετρηθεί η εισροή και η εκροή νερού από το σύστημα.

Το λυσίμετρο είναι μια συσκευή που μετράει τις διαφοροποιήσεις στις απώλειες και τα κέρδη νερού από το έδαφος και τα φυτά εξαιτίας των διαδικασιών εξατμισοδιαπνοής, αποστράγγισης και καθίζησης. Για να επιτευχθεί ακριβέστερη μέτρηση, είναι προτιμότερο να εγκαθίσταται σε χώρο που προσεγγίζει τις φυσικές συνθήκες. Σ' αυτό το είδος λυσιμέτρου, οι μεταβολές στην ποσότητα υγρασίας στο σύστημα <<έδαφος -φυτό- νερό>> καταχωρίζονται ως μεταβολές βάρους. Τα κέρδη και οι απώλειες του νερού σε βάρος μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με την κλίμακα ενός μανομέτρου που έχει συνδεθεί με τη συσκευή.

Η συσκευή (σχήμα 3.1.) αποτελείται από μία υδραυλική ζυγαριά πάνω στην οποία μπορούν να τοποθετηθούν δοχεία (1) για περιοδική ή συνεχή παρατήρηση. Η βάση (2) στηρίζεται σε τρία ρυθμιζόμενα πόδια (3) και οριζοντιώνεται χρησιμοποιώντας την κεντρική φυσαλίδα (4), που βρίσκεται στον αιωρούμενο δίσκο ζυγίσεως (13). Ένας κάθετος σωλήνας (5) στηρίζεται στη βάση και φέρει επάνω της ένα μανόμετρο (6) με βαθμολογημένη κλίμακα. Ο σωλήνας και η κλίμακα του μανομέτρου (της οποίας η γωνία μπορεί να μεταβληθεί ώστε να αυξηθεί η ευαισθησία της σε αλλαγές βάρους) είναι τοποθετημένα πάνω σ' ένα πίνακα (7) που μπορεί να μετακινηθεί

ολόκληρος κάθετα επάνω στο δοκάρι, έτσι ώστε να προσφέρεται μια ρυθμιζόμενη κλίμακα όπου θα μπορέσουν να προσαρμοστούν διάφορα είδη δοχείων. Ένας κύλινδρος (8) με χαμηλά τοιχώματα είναι τοποθετημένος πάνω στη τετράγωνη βάση και είναι κομμένος στο κέντρο. Στο εξωτερικό τοίχωμα του κυλίνδρου είναι προσαρμοσμένα ένα σημείο σύνδεσης (9) και ένα σημείο απώλειας (10). Μέσα στον κύλινδρο βρίσκεται ένας λαστιχένιος σωλήνας (11) τοποθετημένος οριζόντια με κυκλικούς δίσκους στις πάνω και κάτω επιφάνειες. Τα δοχεία (γλάστρες) γεμισμένα με χώμα (10-20 κιλά) τοποθετούνται στον αιωρούμενο δίσκο. Οι μεταβολές του νερού καταλήγουν σε αλλαγές στη πίεση του λαστιχένιου σωλήνα που είναι γεμάτος με νερό και αντανακλάται σε αλλαγή κατά τη μέτρηση στο μανόμετρο. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ότι η συσκευή χρειάζεται μια παροδική παροχή κρύου νερού και μια αεραντλία για να προετοιμαστεί ο λαστιχένιος σωλήνας.

### **3.2. Πρώτη φάση συναρμολόγησης του λυσιμέτρου**

A) Στηρίζεται η βάση στο πάτωμα ή σε έναν πάγκο με την υποδοχή (πρίζα) στο πίσω μέρος. Ισορροπείται η συσκευή χρησιμοποιώντας τα ρυθμιζόμενα πόδια. Αφήνεται αρκετός χώρος ανάμεσα στο πάτωμα ή στον πάγκο και στη βάση του λυσιμέτρου για να τοποθετηθεί ο διαβαθμισμένος σωλήνας αποστράγγισης.

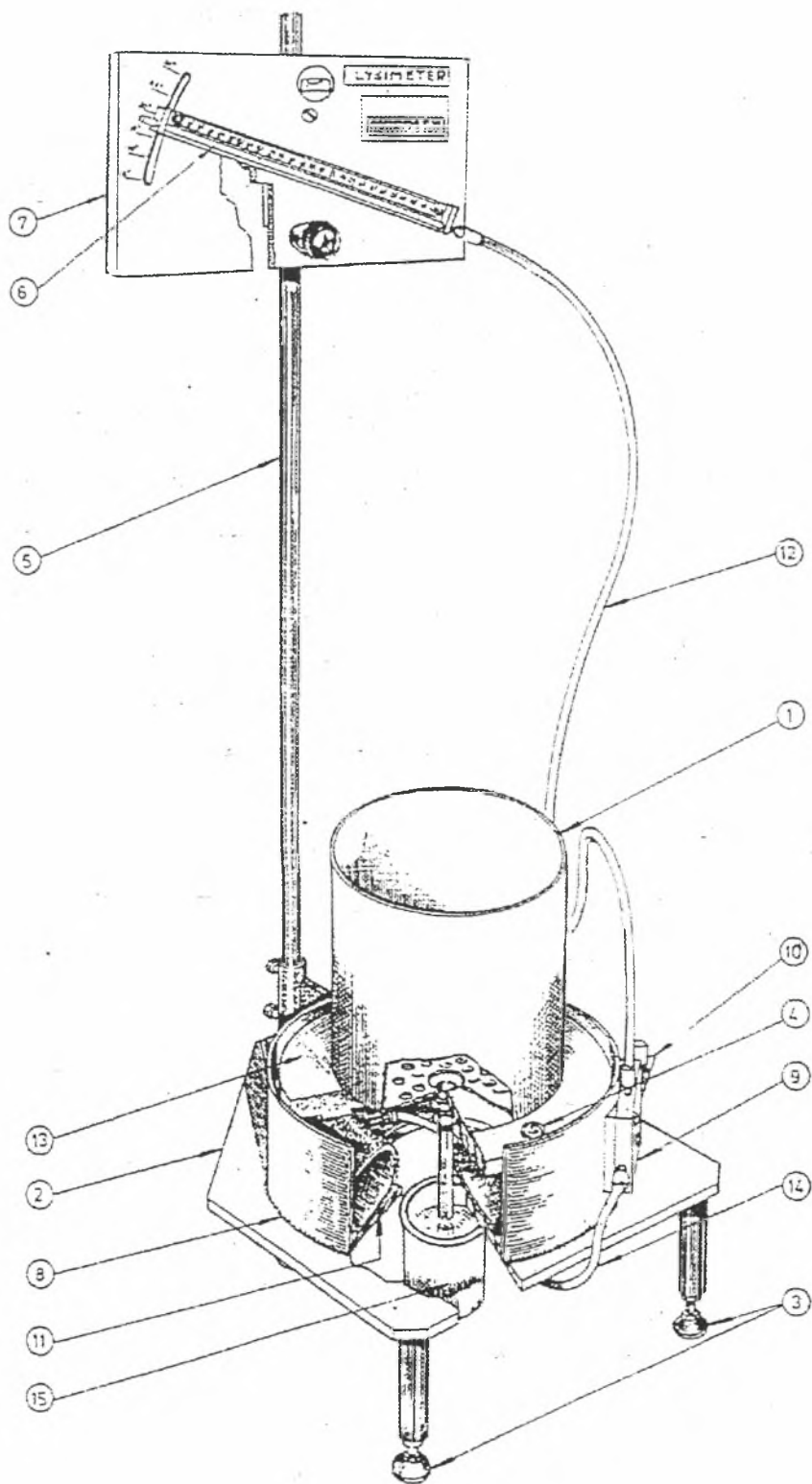
B) Τοποθετείται κάθετη υποστήριξη στην υποδοχή στη βάση του λυσιμέτρου και σφίγγονται οι βίδες.

Γ) Συναρμολογείται ο μανομετρικός σωλήνας και η κλίμακα στον πίνακα υποστήριξης. Ο πίνακας υποστήριξης κινείται, όπου είναι τοποθετημένοι οι δείκτες, κάτω από τον κάθετο ορθοστάτη και σφίγγεται το κομβίο που προεξέχει.

Δ) Στη συνέχεια τοποθετείται ο λαστιχένιος σωλήνας με τα συνδεδεμένα δισκία στον κύλινδρο, στην κορυφή της βάσης, έτσι ώστε η κεφαλή της βαλβίδας να βλέπει μπροστά.

Ε) Τέλος συνδέονται οι εύκαμπτοι σωλήνες από το τμήμα σύνδεσης στην κεφαλή βαλβίδας του λαστιχένιου σωλήνα και από το τμήμα σύνδεσης στο χαμηλότερο σημείο του σωλήνα του μανομέτρου.

Έπειτα από αυτές τις ενέργειες η συσκευή είναι έτοιμη για χρήση.



Σχήμα 3.1.: Σχηματική απεικόνιση του λυσιμέτρου.

### 3.3. Δεύτερη φάση συναρμολόγησης του λυσιμέτρου

Η διαδικασία συναρμολόγησης συνίσταται στην εξαγωγή αέρα από το σύστημα ζυγίσεως και στο γέμισμα με νερό, ώστε όταν ένα φυτό κοντά στο σημείο κορεσμού τοποθετηθεί πάνω στο λυσίμετρο, το επίπεδο του νερού στην κολώνα του μανομέτρου να είναι στο ανώτατο σημείο της κλίμακας.

Α) Τοποθετείται ένα εύκαμπτο σωληνάκι και μία κάνουλα απομόνωσης στην κορυφή του σωλήνα του μανομέτρου. Ο εύκαμπτος σωλήνας καταλήγει σε μια προσωρινή δεξαμενή νερού που στηρίζεται από πάνω.

Β) Προσαρμόζεται μια αεραντλία ή ανάλογο σύστημα εξαγωγής αέρα, στο τμήμα σύνδεσης που είναι τοποθετημένο στο πλευρό της βάσης του κυλίνδρου.

Γ) Ξεβιδώνεται η βαλβίδα και τίθεται σε λειτουργία η αεραντλία. Όταν όλος ο αέρας έχει εξαχθεί από το σύστημα, κλείνεται η βαλβίδα προσεκτικά.

Δ) Κλείνεται η αεραντλία και αποσυνδέεται.

Ε) Θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι ο πίνακας υποστήριξης του μανομέτρου είναι στην κορυφή της διαδρομής του στον κάθετο ορθοστάτη.

ΣΤ) Ανοίγεται η κάνουλα στη δεξαμενή νερού. Αφήνεται ζεστό, αποσταγμένο, χωρίς αέρα νερό να εισέλθει στον εσωτερικό σωλήνα. Η χρήση ζεστού νερού επιτρέπει μερική απορρόφηση αέρα, όταν το νερό κρυώσει, εάν υπάρχει καθόλου αέρας που απέμεινε στο σύστημα. Η προσθήκη απιονισμένου νερού θα αποτρέψει αποφράξεις εξαιτίας αλάτων, κατά τη διάρκεια μεγάλων περιόδων χρήσης και θα παρατείνει τη ζωή των ελαστικών και πλαστικών εξαρτημάτων. Προστίθενται μερικές σταγόνες απορρυπαντικού στο νερό για να μειωθεί το ιζώδες του νερού. Όταν το σύστημα είναι γεμάτο με νερό μέχρι την κορυφή του σωλήνα του μανομέτρου, κλείνεται η κάνουλα και αποσυνδέεται η δεξαμενή και η σωλήνωση. Τοποθετείται κεντρικά ο εσωτερικός σωλήνας, που είναι εφοδιασμένος με ευθεία γραμμή, μέσα στη κυλινδρική βάση.



Z) Τοποθετείται ο αιωρούμενος δίσκος πάνω στον εσωτερικό σωλήνα, έτσι ώστε ο σωλήνας αποστράγγισης να κρέμεται προς τα κάτω. Συνδέεται ο σωλήνας αποστράγγισης με το διαγραμμισμένο δοχείο αποστράγγισης.

H) Θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι το λυσιμέτρο είναι οριζοντιωμένο (αναφορικά με τη φυσαλίδα) στον αιωρούμενο δίσκο του λυσιμέτρου και θα πρέπει να ισοροπηθεί, αν είναι αναγκαίο, ρυθμίζοντας τις βίδες με τα τρία πόδια.

Θ) Ένα φυτό σε βρεγμένο χώμα θα ζυγίζει 15-20 κιλά περίπου, ανάλογα με το πείραμα που πρόκειται να διεξαχθεί. Έτσι παρέχεται το μέγιστο βάρος, που μπορεί να εμφανιστεί στο πείραμα που είναι επιθυμητό, πάνω στον αιωρούμενο δίσκο, ενώ αφήνεται το νερό να εκρεύσει από την κορυφή του μανομετρικού σωλήνα. Ελέγχονται τα εσωτερικά τοιχώματα ώστε να μην επηρεάζονται από τα τοιχώματα της βάσης του λυσιμέτρου. Οποιαδήποτε επίδραση θα επηρεάσει τη κλίση της καμπύλης. Αν υπάρχει επίδραση, τότε χαμηλώνεται ο μανομετρικός πίνακας της υποστήριξης και αφήνεται περισσότερο νερό να εκρεύσει από τον εσωτερικό σωλήνα έως ότου να εξαληφθεί η επιρροή.

I ) Υπολογίζεται η ενδεχόμενη έκταση απώλειας νερού, και συνεπώς, η αλλαγή βάρους στο πείραμα, που πρόκειται να διεξαχθεί (βλέπε πείραμα 1). Προσαρμόζεται η γωνία της μανομετρικής κλίμακας. Η ευαισθησία του λυσιμέτρου μπορεί να αυξηθεί σημαντικά ελαττώνοντας τη γωνία της μανομετρικής κλίμακας.

K) Ευθυγραμμίζεται η μανομετρική στήλη χρησιμοποιώντας τη στάθμη που έχει προσαρμοστεί στον πίνακα υποστήριξης.

Λ) Βαθμονομείται το λυσιμέτρο σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στο πείραμα 1.

### **3.4. Προετοιμασία του μανομέτρου**

#### **3.4.1. Διαδικασία συντήρησης του μανομέτρου**

A) Πριν από την πειραματική χρήση, θα πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι όλα τα παξιμάδια, τα μπουλόνια και οι βίδες είναι σφιχτά και ότι όλες οι συνδέσεις είναι υδατοστεγείς.

B) Λαδώνονται ελαφρά οι βίδες των ποδιών, οι βίδες και οι δείκτες στο μανομετρικό ορθοστάτη του πίνακα υποστήριξης.

Γ) Γίνεται έλεγχος του εσωτερικού σωλήνα για φθορά, γδαρσίματα και σημεία αλλοιώσεων. Βεβαιώνεται ότι ο εσωτερικός σωλήνας παραμένει ασφαλώς συνδεδεμένος στον αιωρούμενο δίσκο.

Δ) Ελέγχονται οι εύκαμπτοι συνδετικοί σωλήνες για φθορά.

Ε) Βεβαιώνεται ότι το σύστημα δεν έχει συσσωρεύσει άλατα. Αποσυνδέονται και καθαρίζονται τα εξαρτήματα που έχουν άλατα.

ΣΤ) Περιοδικά γίνεται έλεγχος στη βαθμονόμηση σε προκαθορισμένα επίπεδα νερού επί γνωστής κλίμακας βάρους, καθώς οι ελαστικές ιδιότητες των λαστιχένιων σωληνώσεων θα προκαλέσουν μακροχρόνια παρέκκλιση της κλίσης της καμπύλης (βλέπε πείραμα 1).

### 3.4.2. Φύλλα δεδομένων πειραματικής διαδικασίας

#### α) Διαθέσιμο νερό εδάφους:

Διαθέσιμο νερό είναι το νερό στο έδαφος το οποίο μπορούν να προσλάβουν τα φυτά, δηλαδή μεταξύ της υδατοϊκανότητας του εδάφους (νερό που κρατείται στο χώμα με τάσεις 0,1-0,3 ατμόσφαιρες) και μόνιμου σημείου μάρανσης (που συνήθως λαμβάνεται στις 15 ατμόσφαιρες).

Η ποσότητα του διαθέσιμου νερού που κρατείται στο χώμα εξαρτάται από τη σύστασή του. Κατά προσέγγιση, τιμές του διαθέσιμου νερού, εκφραζόμενες σε  $\text{mm H}^2\text{O m}^{-1}$ , δίνονται στον πίνακα 14 που ακολουθεί.

**Πίνακας 14:** Διαθέσιμο νερό εδάφους ανά κατηγορία εδάφους.

Ιλυοπηλώδες	250
Πηλώδες	200
Ιλυοαργιλλώδες	190
Αργιλλώδες	180
Ιλυοαργιλλώδες	160
Αμμοαργιλλοπηλώδες	140
Λεπτό πηλοαμμώδες	140
Αμμοπηλώδες	130
Μέσο πηλοαμμώδες	60

**Πίνακας 15:** Κατηγορίες καλλιεργειών με βάση την ευαισθησία στη μείωση του κλάσματος του εδαφικού νερού.

Καλλιέργεια	Ομάδα
κρεμμύδι, πατάτα, πιπεριά	1
αρακάς, ντομάτα, λάχανο, μπανάνα, σταφύλι	2
καρπούζι, σιτάρι, ανανάς, ηλιοτρόπιο, φασόλι, εσπεριδοειδή, φιστίκι (αράπικο), alfalfa	3
σόγια, σόργο, καπνός, ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλο, ελιά, ηλιοτρόπιο, καλαμπόκι, βαμβάκι	4

**Πίνακας 16:** Μείωση του κλάσματος του εδαφικού νερού για κατηγορίες καλλιεργειών σε σχέση με τη μέγιστη εξατμισοδιαπνοή ( $ET_m$ ).

$ET_m$  mm/ ημέρα

2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ομάδα καλλιεργειών
0,5	0,42	0,35	0,3	0,25	0,22	0,2	0,2	0,17	1
0,67	0,57	0,47	0,4	0,35	0,32	0,27	0,25	0,22	2
0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,42	0,37	0,35	0,3	3
0,87	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5	0,45	0,42	0,4	4

## β) Πείραμα 1: θεωρητική προσέγγιση

Αντικείμενο πειράματος: Προσδιορισμός ευαισθησίας του λυσίμετρου στις απώλειες και τα κέρδη σε βάρος υπό διαφορετικές μανομετρικές γωνίες και συσχετίσή τους με απώλειες ή κέρδη σε νερό.

Εγκατάσταση εξοπλισμού: Ένα δοχείο του λυσίμετρου γεμίζεται με αεροξηραθέν χώμα στην επιθυμητή πυκνότητα και αφήνεται το λυσίμετρο να ισοροπήσει.

Περίληψη θεωρίας: Οι αλλαγές στη ποσότητα νερού μέσα στο δοχείο του λυσίμετρου λόγω της εξατμισοδιαπνοής, άρδευσης ή αποστράγγισης αντανακλούν μία αντίστοιχη αλλαγή στο επίπεδο του νερού στο μανόμετρο. Μία αλλαγή στο ύψος του νερού της στήλης όπως αναγράφεται στη μανομετρική κλίμακα και για μία δεδομένη αλλαγή βάρους, μπορεί να αυξηθεί σημαντικά εάν το μανόμετρο κλείνει σε μικρότερες γωνίες σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο, αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια του υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής.

Πριν να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή, πρέπει να σχεδιαστεί μία βαθμονομημένη καμπύλη της αλλαγής του βάρους, σε σχέση με την εκτροπή. Η σχεδιασμένη καμπύλη βαθμονόμησης θα πρέπει να περιέχει τουλάχιστον την έκταση της αλλαγής βάρους στο διαθέσιμο νερό που κρατείται στο χώμα. Η έκταση της αλλαγής βάρους του διαθέσιμου νερού θα λειτουργεί και για τιμές μικρότερης έκτασης και για την επιθυμητή πυκνότητα που χρησιμοποιείται στο πείραμα. Αν τα δεδομένα για το διαθέσιμο νερό του εδάφους δεν είναι γνωστά, μια κατά προσέγγιση εκτίμηση παρουσιάζεται στον πίνακα 14 και η έκταση βάρους επί της οποίας το λυσίμετρο θα βαθμονομηθεί, μπορεί να υπολογιστεί βάσει αυτού του πίνακα. Πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιτίας των συμφυών ελαστικών ιδιοτήτων που υπάρχουν στις λαστιχένιες στήλες υδραυλικής φόρτισης, μπορεί να παρουσιαστεί απόκλιση στη βαθμονόμηση. Είναι επομένως, σημαντικό να επαναβαθμονομούμε το λυσίμετρο επιμελώς πριν από ένα πείραμα.

Διαδικασία: Α) Γεμίζεται ένα δοχείο του λυσίμετρου με χώμα που έχει υποστεί εξαέρωση, στον απαιτούμενο όγκο. Τοποθετείται το δοχείο στο λυσίμετρο και

ρυθμίζεται ο ορθοστάτης κεφαλής του μανόμετρου (ή αποδεσμεύεται νερό) έως ότου το επίπεδο του νερού στη στήλη του μανομέτρου να ισορροπήσει, περίπου στα 20 mm στην κλίμακα.

Β) Υπολογίζεται η έκταση βάρους επί του οποίου το λυσίμετρο θα βαθμονομηθεί, χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$WR = A \cdot \rho_w \cdot (AW/d) \quad (43)$$

Όπου  $AW =$  Το διαθέσιμο νερό που φαίνεται στον πίνακα 14 σύμφωνα με τη σύσταση του εδάφους  $\text{mm H}_2\text{O m}^{-1}$

$WR =$  Έκταση βάρους βάσει του οποίου έχει ρυθμιστεί το λυσίμετρο

$\rho_w =$  Πυκνότητα νερού θεωρούμενη ως ενιαίο μέγεθος

$d =$  Βάθος χώματος στο δοχείο (cm)

$A =$  Επιφάνεια του δοχείου ( $\text{cm}^2$ )

Γ) Χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα βάρη, γεμίζεται το δοχείο ομοιόμορφα με χώμα, μέχρι να καλυφθεί το διαθέσιμο νερό. Σημειώνεται η μανομετρική απόκλιση έπειτα από κάθε αύξηση βάρους. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία αντιστρόφως εκφορτώνοντας κατά ίσο βάρος αύξησης.

Δ) Επαναλαμβάνεται η δοκιμασία βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας μανομετρικές γωνίες των  $20^\circ$ ,  $10^\circ$  και  $5^\circ$  σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο (εικόνα 2).

Σημείωση: Είναι πλέον σημαντικό να αφηθεί αρκετός χρόνος ώστε ο μηνίσκος της στήλης νερού να εξισσοροπήσει με κάθε αλλαγή βάρους.

Αποτελέσματα: Σχεδιάζεται ένας πίνακας αποτελεσμάτων και καταστρώνεται γραφική παράσταση της μανομετρικής απόκλισης σε σχέση με το βάρος που χρησιμοποιήθηκε για φόρτωση και εκφόρτωση. Κατασκευάζονται παρόμοιες γραφικές παραστάσεις για διαφορετικές μανομετρικές γωνίες κλίσης.

Από τους πίνακες και τις γραφικές παραστάσεις υπολογίζεται η σχέση της μανομετρικής εκτροπής με την αλλαγή βάρους.

Υπολογίζεται το αντίστοιχο βάρος για 1mm εξατμισοδιαπνοής πολλαπλασιάζοντας με την επιφάνεια του χώματος και η ανάλογη μανομετρική απόκλιση για κάθε μανομετρική γωνία.

### γ) Πείραμα 2: Θεωρητική προσέγγιση

Αντικείμενο : Περιγράφει τη σχέση του συστήματος έδαφος- φυτό- νερό με τη χρήση του λυσιμέτρου.

Εγκατάσταση εξοπλισμού: Το λυσίμετρο είναι ρυθμισμένο κανονικά για εργαστηριακή χρήση. Οι τρεις γλάστρες γεμίζονται με χώμα της ίδιας επιθυμητής φαινομενικά πυκνότητας. Δυο από τις γλάστρες θα περιέχουν τα ίδια είδη φυτών (στα ίδια βλαστικά στάδια), χαμηλής διαπνοής. Οι γλάστρες είναι κορεσμένες από ύδωρ και αφήνονται να στεγνώσουν για δύο ημέρες με σκοπό να επιτευχθεί η επιθυμητή υδατοϊκανότητα.

Περίληψη της θεωρίας: Το λυσίμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό της ποσότητας των συστατικών μερών του υδρολογικού κύκλου όπως παρουσιάζονται στην παρακάτω εξίσωση :

$$ET= P_n +I- D_r- R_o- \Delta de \quad (44)$$

Όπου ET= εξατμισοδιαπνοή, I= άρδευση, P<sub>n</sub> =βροχόπτωση, D<sub>r</sub>= στράγγιση, R<sub>o</sub>= καθαρή απορροή, Δde= η μεταβολή του εδαφικού νερού στην δεξαμενή αποθηκεύσεως.

Η απορροή επομένως, κανονικά λαμβάνεται υπόψη εντός του λυσιμέτρου και μπορεί να παραληφθεί. Την παραπάνω εξίσωση (εξίσωση ισοζυγίου ύδατος) συχνά τη χρησιμοποιούμε για τον υπολογισμό των απαιτήσεων άρδευσης των καλλιεργειών.

Τα λυσίμετρα συχνά χρησιμοποιούνται για συγκρίσεις, στην αξιολόγηση των έμμεσων μεθόδων, τα οποία τα λυσίμετρα χρησιμοποιούν την εξίσωση του

ισοζυγίου του νερού, στον υπολογισμό ή την πρόβλεψη της ET. Το πλεονέκτημα της χρήσης των λυσιμέτρων στην αξιολόγηση της ET είναι ότι όλοι οι παράγοντες της εξίσωσης του ισοζυγίου νερού μπορούν να μετρηθούν, ενώ αντίθετα στις έμμεσες μεθόδους στηρίζονται στις εκτιμώμενες τιμές μερικών από τις παραμέτρους. Το μειονέκτημά τους είναι ότι αυτές δεν μπορούν να αντιπροσωπεύσουν τις πραγματικές συνθήκες εδάφους. Η ET μπορεί να διαχωριστεί στην εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και στη διαπνοή από τα φυτά. Στην κατάσταση της καλλιέργειας, η εξάτμιση από το έδαφος είναι σπουδαία κατά την αρχική ανάπτυξη, πριν η καλλιέργεια κατορθώσει να καλύψει όλο το έδαφος.

Διαδικασία: (1) Προετοιμάζονται τρεις γλάστρες για το λυσίμετρο, όπως περιγράφεται στην εγκατάσταση.

(2) Τοποθετείται μια γλάστρα με φυτό πάνω στο λυσίμετρο, διαποτίζεται με νερό και επιτρέπεται να ισορροπήσει πάνω από δυο ημέρες για να επιτευχθεί υδατοϊκανότητα.

Προσαρμόζεται το μανόμετρο στον πίνακα, έτσι ώστε ο μηνίσκος της στήλης νερού να ισορροπεί με κατεύθυνση προς το τέταρτο της κορυφής της κλίμακας, με την κλίμακα του μανομέτρου στην επιθυμητή γωνία. Αδειάζεται το δοχείο στράγγισης και σημειώνεται η αρχική μέτρηση.

(3) Χρησιμοποιώντας τοπικές ημερήσιες εγγραφές βροχόπτωσης και όπου είναι εφικτό, εγγραφές άρδευσης για την περιοχή μας, εφαρμόζουμε την μετρούμενη ποσότητα νερού ομοιόμορφα στη γλάστρα του λυσιμέτρου. Συνεχίζουμε την εφαρμογή του νερού σύμφωνα με τις εγγραφές ανά 15-20 ημέρες

Για να υπολογίσουμε το ύψος της βροχόπτωσης και την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος, έχουμε τοποθετήσει βροχόμετρο στον εξωτερικό χώρο που βρίσκονται οι γλάστρες. Ακόμη χρησιμοποιούμε την συσκευή TDR για να υπολογίσουμε την υγρασία του εδάφους και αναλόγως των αποτελεσμάτων ποτίζουμε τις γλάστρες. Το φυτό που χρησιμοποιήσαμε είναι η καλενδούλα και παρακάτω παραθέτουμε ορισμένα στοιχεία γι' αυτό το φυτό.



### 3.5. Το φυτό Καλενδούλα

Το επιστημονικό όνομα της καλενδούλας της φαρμακευτικής είναι *Calendula officinalis* L. Άλλα ονόματα της καλενδούλας είναι κίτρινη μαργαρίτα, νεκρολούλουδο, νεκράνθεμο, κιτρινολούλουδο, πετεινόχορτο, μοσχαρδίνι, αδράχτι της γριάς. Ανήκει στην οικογένεια Asteraceae (Compositae), σύνθετα.

Είναι φυτό γνωστό από την αρχαιότητα. Από τον Διοσκουρίδη αναφέρεται ως "αστήρ ο αττικός". Από τον 12ο αιώνα άρχισε να καλλιεργείται στην Ευρώπη.

Η καλενδούλα έχει διάφορες χρήσεις. Στη Δυτική Ευρώπη χρησιμοποιούν τα άνθη στη μαγειρική για να αρωματίσουν διάφορους ζωμούς. Είναι θαυμάσιο στους κήπους τον χειμώνα και την άνοιξη ως καλλωπιστικό. Ακόμη πωλείται σαν δρεπτό. Χρησιμοποιείται επίσης ως φαρμακευτικό. Όλα τα μέρη του φυτού έχουν φαρμακευτικές ιδιότητες. Κυρίως όμως χρησιμοποιούνται τα άνθη που θεωρούνται αιμοστατικά, επουλωτικά, αντιφλογιστικά, εμμηναγωγά, εφιδρωτικά, τονωτικά, καθαρτικά και χρωστικά.

Η καλενδούλα δεν αυτοφύεται αλλά καλλιεργείται ως καλλωπιστικό στους κήπους σε όλη την Ελλάδα. Ευδοκίμει σε περιοχές με ήπιο κλίμα και σε χωράφια φτωχά - μέτριας γονιμότητας, ξηρικά ή ποτιστικά. Είναι από τις ευκολότερες καλλιέργειες ανθέων, αποδίδει σε οποιοδήποτε ελαφρύ θερμό έδαφος. Οι σπόροι συνήθως σπέρνονται απ' ευθείας το Σεπτέμβριο ή τον Φεβρουάριο στην οριστική θέση και βλαστάνουν εύκολα, σε 7-10 ημέρες. Επίσης ο πολλαπλασιασμός μπορεί να γίνει με σπόρο που σπέρνεται σε σπορείο. Τα σπορόφυτα υφίστανται κορυφολόγηση για να δημιουργήσουν περισσότερα ανθικά στελέχη και έπειτα μεταφυτεύονται. Η μεταφύτευση γίνεται το φθινόπωρο ή την άνοιξη σε αποστάσεις 30-40 επί 50-60 εκ. Η άνθηση γίνεται τον Μάιο ή τον Οκτώβριο και είναι πλούσια.

Η καλενδούλα είναι φυτό μονοετές ή διετές με 4 χ= 28 χρωμοσώματα. Έχει βλαστό όρθιο, λίγο τριχωτό ύψους 20-60 cm, φύλλα ακέραια, προμήκη, παχιά ημιπερίβλαστα, μήκους 5-15 cm, ωραίου πράσινου χρωματισμού, η βάση των οποίων πολλές φορές περιβάλλει τους βλαστούς και άνθη κίτρινα ή πορτοκαλόχρωμα, με

πολλές σειρές πετάλων, σε ακραία μεγάλα κεφάλια. Οι κεφαλές είναι μονήρεις πάνω σε μακρύ ποδίσκο πολύ εντυπωσιακές και κλείνουν τη νύχτα. Οι σπόροι είναι κυρτοί, αγκιστροειδείς, ανωμάλου σχήματος, γκριζοκίτρινου χρώματος, με επιφάνεια εσωτερικά λεία και εξωτερικά με χαρακτηριστικές, κωνικές ή σαν αγκάθια αποφύσεις. Το φυτό καλύπτεται από τριχίδια. Ανάλογα την ποικιλία το χρώμα του άνθους κυμαίνεται από λευκό μέχρι βαθύ πορτοκαλί. Οι ποικιλίες που συναντώνται στο εμπόριο έχουν διπλά άνθη.

Είναι φυτό ευπαθές στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα (71% καταστροφή σε θερμοκρασία  $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), την άνοιξη ξαναβλαστάνει συνήθως από το σημείο του λαιμού του φυτού. Η συνηθέστερη μυκητολογική προσβολή είναι το ωίδιο και καταπολεμείται εύκολα με κολλοειδές θείο ή με τα διασυστηματικά ωιδιοκτόνα. Εχθροί του φυτού είναι σαλιγκάρια, γυμνοσάλιαγκοι και αφίδες και καταπολεμούνται με διασυστηματικά εντομοκτόνα.

### **3.6. Μέθοδος μέτρησης υγρασίας TDR**

Η μέθοδος TDR (Time Domain Reflectometry) έχει πλέον καθιερωθεί για την κατά όγκο μέτρηση της υγρασίας του εδάφους ( $\theta$ ) και την ηλεκτρική του αγωγιμότητα του ( $\sigma_a$ ). Αποτελεί μια μη ραδιενεργό μέθοδο, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους, εκτός ακραίων περιπτώσεων. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου ( $t$ ) και την εξασθένηση του μεγέθους ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού που εκτοξεύεται κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς (transmission line), η οποία μπιγεται στο έδαφος. Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός περνά μέσα από τη γραμμή μεταφοράς εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά ( $\epsilon$ ) του μέσου με το οποίο είναι σε επαφή. Όσο μεγαλύτερη είναι η διηλεκτρική σταθερά τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα διάδοσης του παλμού. Εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς της διηλεκτρικής σταθεράς του νερού ( $\epsilon=80$ ) από του αέρα ( $\epsilon=1$ ) και των ανόργανων συστατικών ( $\epsilon=2-4$ ), η ταχύτητα του παλμού εξαρτάται πολύ περισσότερο από το νερό που περιέχεται στο έδαφος.

Όταν ένας παλμός μικροκύματος διατρέχει μια γραμμή μεταφοράς, συμπεριφέρεται σαν δέσμη φωτός. Όταν ο παλμός φθάσει στο τέλος της γραμμής, η υπολειπόμενη

ενέργεια μέσα στον παλμό ανακλάται προς τα πίσω, όπως μια δέσμη φωτός περνάει μέσα από ένα σωλήνα και ανακλάται όταν πέσει επάνω σε ένα καθρέφτη που βρίσκεται στο τέλος του σωλήνα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν δυνατή τη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται ώστε ένας παλμός να διασχίσει μια γνωστού μήκους γραμμή μεταφοράς η οποία ονομάζεται <<κυματοδηγός>> ( Waveguide), και τοποθετείται μέσα στο χώμα.

Η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους ( $\epsilon$ ) συνδέεται άμεσα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Εάν το έδαφος είναι απόλυτα ξηρό η  $\epsilon$  είναι 2-4. Εάν το 25% του όγκου του εδάφους είναι νερό η  $\epsilon$  είναι 11-12. Για καλλιεργούμενα εδάφη η  $\epsilon$  εξαρτάται κυρίως από την κατά όγκο υγρασία του εδάφους και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του. Η σχέση ( $\epsilon$ ) δίδεται από τον τύπο: (Topp et al, 1980)

$$4,3 \cdot 10^{-6} \epsilon^3 - 5,5 \cdot 10^{-4} \epsilon^2 + 0,29 \epsilon - 0,053 = 0 \quad (45)$$

Η φαινόμενη διηλεκτρική σταθερά υπολογίζεται από τον τύπο:

$$(ct/2L)^2 = \epsilon \quad (46)$$

όπου  $c$ = ταχύτητα του φωτός,  $t$ = χρόνος μεταφοράς που χρειάζεται για να ταξιδέψει ο παλμός προς μια κατεύθυνση από την αρχή του κυματοδηγού ως το τέλος του και  $L$ = το μήκος του κυματοδηγού.

Οι Topp et al. (1980) και Topp and Davis et al(1985) έδειξαν ότι η διηλεκτρική σταθερά ενός εδάφους σχετίζεται κυρίως με την περιεχόμενη υγρασία του για ένα μεγάλο φάσμα εδαφών. Η εργασία τους σε αυτό το πεδίο θεωρείται καθοριστική για τη διάδοση της χρήσης της τεχνολογίας TDR σε μετρήσεις υγρασίας εδάφους για γεωργικούς σκοπούς. Οι Nadler et al. (1991) πραγματοποίησαν μετρήσεις της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με TDR, σε στρωματοποιημένη εδαφική στήλη, ενώ οι Noborio et al (1996) μέτρησαν εκτός από την υγρασία και την θερμοκρασία του εδάφους, ενσωματώνοντας ένα θερμοηλεκτρικό στοιχείο σε ένα από τα ηλεκτρόδια της TDR.

Στο πείραμα που εκτελέσαμε ο κυματοδηγός είχε μήκος 10 cm. Η θέση BNC στο καλώδιο του Υπόγειου Waveguide προστατεύεται από ένα προστατευτικό πλαστικό καπάκι. Το καπάκι προμηθεύει προστασία στον αγρό για τη θέση BNC από το έδαφος, νερό και άλλα στοιχεία. Για να γίνει μια μέτρηση, μετακινώ το προστατευτικό καπάκι από το τέλος της BNC θέσης, συνδέω τη θέση στη BNC είσοδο πάνω στο πάνελ του επεξεργαστή της μονάδας TRASE και πιάζουμε το πλήκτρο "MEASURE". Η υγρασία % και  $K_a$  θα εμφανιστούν. Μετά τη μέτρηση ξανατοποθετούμε το καπάκι.

### 3.7. Το βροχόμετρο

Το βροχόμετρο είναι ένα ηλεκτρονικό όργανο μέτρησης, το οποίο καταγράφει αυτόματα το ύψος της βροχόπτωσης σε mm καθώς και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και του δωματίου σε ° C.

Το βροχόμετρο αδειάζει το νερό μόνο του και είναι 100% ανθεκτικό στον παγετό. Καταγράφει αυτόματα την βροχόπτωση σε mm, τα οποία αναγράφει σε μία ψηφιακή LCD οθόνη, τοποθετημένη μέσα στο δωμάτιο. Η βροχή κινείται διαμέσου ενός χωνιού που συλλέγει την βροχή σε ένα αυτοαδειαζόμενο κουτάλι που συγκρατείται από ένα μαγνήτη. Μετά από 1 mm βροχής το κουτάλι θα γείρει και η βροχόπτωση θα καταγραφεί αυτόματα στην LCD οθόνη. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι πολύ μεγάλη. Η συσκευή που συλλέγει την βροχή αποτελείται από τρία κομμάτια τα οποία μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν χωρίς εργαλεία και τα οποία είναι τα εξής: 1 χωνί για να συλλέγει το νερό της βροχής. 1 κουτί με το αυτοαδειαζόμενο κουτάλι. Μία βάση πιάτου η οποία τοποθετείται σ' ένα φράκτη με δύο βίδες που την συγκρατούν και παρέχει στήριγμα στο όργανο μέτρησης σε μία οριζόντια θέση και την προφυλάσσει από τον άνεμο.

Το βροχόμετρο έχει το εξής εύρος θερμοκρασιών: θερμοκρασία δωματίου από 0 έως 50 ° C και θερμοκρασία περιβάλλοντος από -50 έως + 70 ° C με ακρίβεια +/- 1 ° C. Το ηλεκτρονικό εσωτερικό θερμόμετρο είναι τοποθετημένο μέσα στο ταμπλό οργάνων. Συνεπώς ο αισθητήρας για το εσωτερικό θερμόμετρο χρειάζεται περισσότερο χρόνο για καταγραφή, ώστε να αποφευχθεί το τρεμοπαίξιμο στους

ψηφιακούς χαρακτήρες. Είναι φυσιολογικό να υπάρχει διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών που αναγράφονται στην οθόνη, ακόμα και αν οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στο ίδιο δωμάτιο.

Εάν μία ημέρα έχει καταγραφεί ένδειξη βροχόπτωσης 5mm, τότε μπορούμε την επόμενη ημέρα να αρχίσουμε πάλι τις μετρήσεις που αφορούν την βροχόπτωση από το μηδέν πιέζοντας για 5 sec το κουμπί RECALL/ CLR που βρίσκεται μπροστά από το ταμπλό οργάνων. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι το σύμβολο TOTAL δεν πρέπει να φαίνεται στην οθόνη κατά τη διάρκεια που ξαναμηδενίζουμε το όργανο. Ακόμα και αν έχουμε ακυρώσει τον μετρητή μπορούμε να διαβάσουμε την ολική βροχόπτωση πιέζοντας για μία φορά το κουμπί RECALL/ CLR και η ολική βροχόπτωση θα αναγραφεί στην οθόνη.

Αν πατήσουμε το κουμπί MEM τότε θα αναγραφεί στο πάνω αριστερό άκρο της οθόνης το σύμβολο MEM. Η υψηλότερη και η χαμηλότερη θερμοκρασία μπορούν να αποθηκευθούν στην μνήμη μόνο αν αναγράφεται το σύμβολο MEM στην οθόνη. Πιέζοντας το κουμπί MAX/ MIN αναγράφεται στην οθόνη η υψηλότερη θερμοκρασία. Πιέζοντας μια ακόμη φορά αναγράφεται στην οθόνη η χαμηλότερη θερμοκρασία. Εάν ξαναπιέσουμε τότε στην οθόνη μπορούμε να δούμε την εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4. Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής. Χρησιμοποιήθηκαν 3 γλάστρες για το πείραμα. Στη γλάστρα νούμερο 1 υπήρχε ένα φυτό καλενδούλας μέσα στο αμμώδες έδαφος. Γύρω γύρω από το φυτό υπήρχε αλουμινόχαρτο το οποίο κάλυπτε όλη την επιφάνεια του εδάφους, αφήνοντας ακάλυπτο μόνο το φυτό. Η γλάστρα αυτή ήταν η γλάστρα διαπνοής.

Στη γλάστρα νούμερο 2 υπήρχε ένα φυτό καλενδούλας μέσα στο αμμώδες έδαφος, αυτή ήταν η γλάστρα εξατμισοδιαπνοής. Η γλάστρα η οποία ήταν σημειωμένη ως Μ την είχαμε γεμίσει με αμμώδες χώμα, για να υπολογίσουμε την εξατμηση του γυμνού εδάφους. Η γλάστρα αυτή ήταν ο μάρτυρας.

Το χώμα που χρησιμοποιήθηκε στις γλάστρες ήταν αμμώδες και είχε περάσει από κόσκινο διαμέτρου 2 mm. Το χώμα είχε σημείο κορεσμού 38 % κατά όγκο, πυκνότητα  $d = 1,6 \text{ gr/cm}^3$  και φαινόμενο ειδικό βάρος 1,5. Στις 5/12/1999 το χώμα απλώθηκε για να αεροξηρανθεί.

15/12/1999: Τοποθέτηση του χώματος σε γλάστρες, με ιδιαίτερη φροντίδα για την ομοιομορφία του χώματος κάθε γλάστρας. Οι γλάστρες γεμίστηκαν με χώμα και το μικτό βάρος ήταν 10,5 Kgr για κάθε μία.

Μετρήθηκαν οι ακόλουθοι παράμετροι:

Διάμετρος της γλάστρας: 23 cm, διάμετρος βάσης γλάστρας: 19 cm, ύψος γλάστρας: 24 cm, βάρος γλάστρας με χώμα: 10,5 Kgr (10500gr), ύψος χώματος εντός γλάστρας: 18cm.

Τα παραπάνω στοιχεία ισχύουν και για τις 3 γλάστρες. Για κάθε μία χωριστά έχουμε τα εξής δεδομένα:

Το βάρος της κενής γλάστρας 1 είναι 431,8gr επομένως ισχύει:

Καθαρό βάρος χώματος = Βάρος γλάστρας με χώμα - Βάρος γλάστρας

Καθαρό βάρος χώματος= 10500gr- 431,8gr=10068,2gr

Το βάρος της κενής γλάστρας 2 είναι 431,5gr επομένως ισχύει:

Καθαρό βάρος χώματος= 10500gr- 431,5gr= 10068,5gr

Το βάρος της κενής γλάστρας M είναι 432,2 gr οπότε ισχύει:

Καθαρό βάρος χώματος=10500gr- 432,2gr=10067,8gr

#### **4.1. Βαθμονόμηση του λυσιμέτρου**

Στις 28/12/1999 έγινε εξαγωγή φυσαλίδων και εξαερισμός λυσιμέτρου, συντήρηση του οργάνου και προετοιμασία του για βαθμονόμηση.

30/12/1999: Για τη βαθμονόμηση του οργάνου έγιναν τα ακόλουθα: Ρυθμίστηκε, αρχικά, το όργανο σε μανομετρική γωνία 20°. Έπειτα τοποθετήθηκε μια γλάστρα στο όργανο και αφέθηκε για τον απαραίτητο χρόνο πάνω στο όργανο μέχρι να ισορροπήσει όλο το σύστημα (αυτή η διαδικασία διήρκεσε 24 ώρες και ξεκίνησε από την προηγούμενη ημέρα). Στη συνέχεια καταγράφηκε η πρώτη ένδειξη η οποία ήταν 20 mm. Για τη λήψη της επόμενης μέτρησης προστίθεντο 200gr βάρους, περιμετρικά της γλάστρας και όχι στο κέντρο της, με σκοπό να αποφευχθεί πιθανή συμπίεση του χώματος. Ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών μετρήσεων, για τη συγκεκριμένη μανομετρική γωνία ήταν 10min. Αφού ολοκληρώνονταν η φόρτωση, έως τα 2400 gr και επέρχονταν ισορροπία του οργάνου, ακολουθούσε η εκφόρτωση, με τον ίδιο χρονικό ρυθμό. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και στις μανομετρικές γωνίες των 10° και 5°, αφού είχε προηγηθεί η ρύθμιση του οργάνου στις προαναφερόμενες μανομετρικές γωνίες, σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο. Σημειώνεται ότι, μετά από κάθε αλλαγή μανομετρικής γωνίας το όργανο αφήνεται να ισορροπήσει για 60min. Όλες οι μετρήσεις που ελήφθησαν αναφέρονται στους πίνακες 17, 18, 19, με τη βοήθεια των οποίων δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα Α, Β,Γ,Δ,Ε και ΣΤ μέσω των οποίων μας δίνεται η δυνατότητα να μετατρέπουμε τα ml των ενδείξεων σε mm, με σκοπό τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής.

**Πίνακας 17:** Δεδομένα βαθμονόμησης λυσιμέτρου φόρτωσης και εκφόρτωσης βάρους σε μανομετρική γωνία 20°

Φόρτωση-Εκφόρτωση βάρους για μανομετρική γωνία 20°		
Φόρτωση (mm)	Εκφόρτωση (mm)	Αύξηση βάρους (gr)
20	18	0
25	28	200
35	38	400
45	48	600
54	58	800
64	68	1000
74	78	1200
84	88	1400
93	98	1600
103	109	1800
113	119	2000
123	129	2200
132	132	2400



**Πίνακας 18:** Δεδομένα βαθμονόμησης λυσιμέτρου φόρτωσης και εκφόρτωσης βάρους σε μανομετρική γωνία 5° (στη συγκεκριμένη περίπτωση το βάρος αυξήθηκε ως τα 2000gr γιατί δεν ήταν εφικτή η παροχή ένδειξης στο λυσίμετρο)

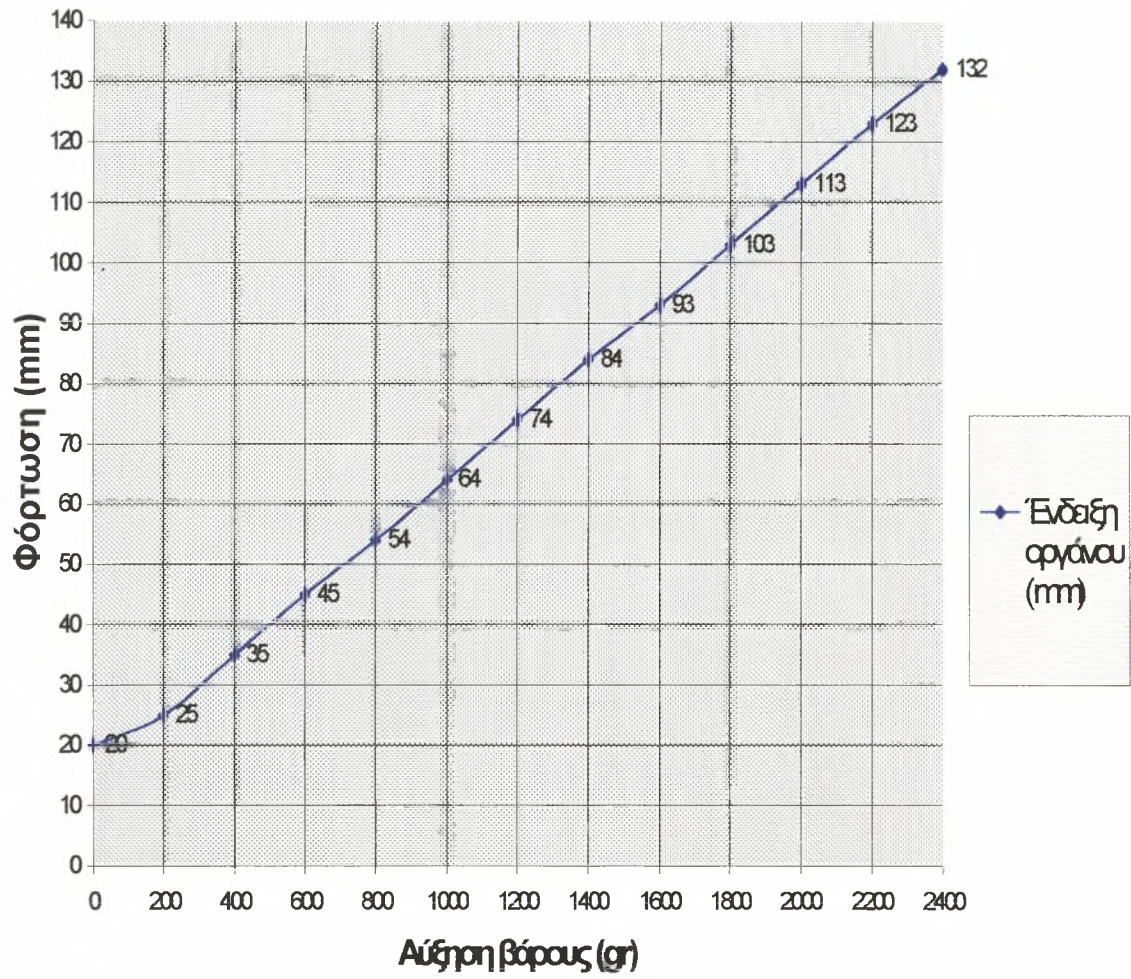
Φόρτωση- Εκφόρτωση βάρους για μανομετρική γωνία 5°		
Φόρτωση (mm)	Εκφόρτωση (mm)	Αύξηση βάρους (gr)
54	54	0
66	79	200
90	106	400
115	133	600
142	161	800
168	189	1000
196	217	1200
220	246	1400
247	270	1600
272	296	1800
298	298	2000



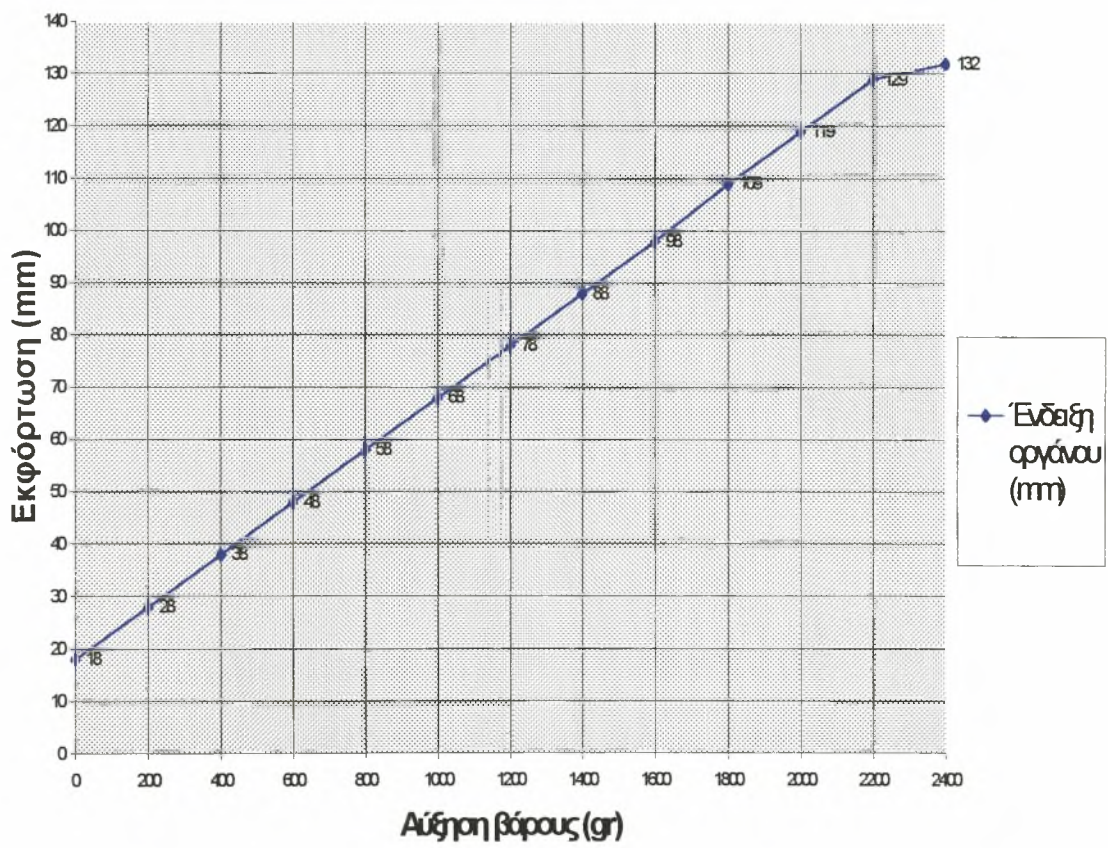
**Πίνακας 19:** Δεδομένα βαθμονόμησης του λυσιμέτρου φόρτωσης και εκφόρτωσης βάρους σε μανομετρική γωνία 10°.

Φόρτωση-Εκφόρτωση βάρους για μανομετρική γωνία 10°		
Φόρτωση (mm)	Εκφόρτωση (mm)	Αύξηση βάρους (gr)
12	17	0
28	35	200
46	53	400
65	71	600
82	90	800
101	108	1000
117	124	1200
134	143	1400
153	159	1600
171	177	1800
188	194	2000
207	214	2200
223	223	2400

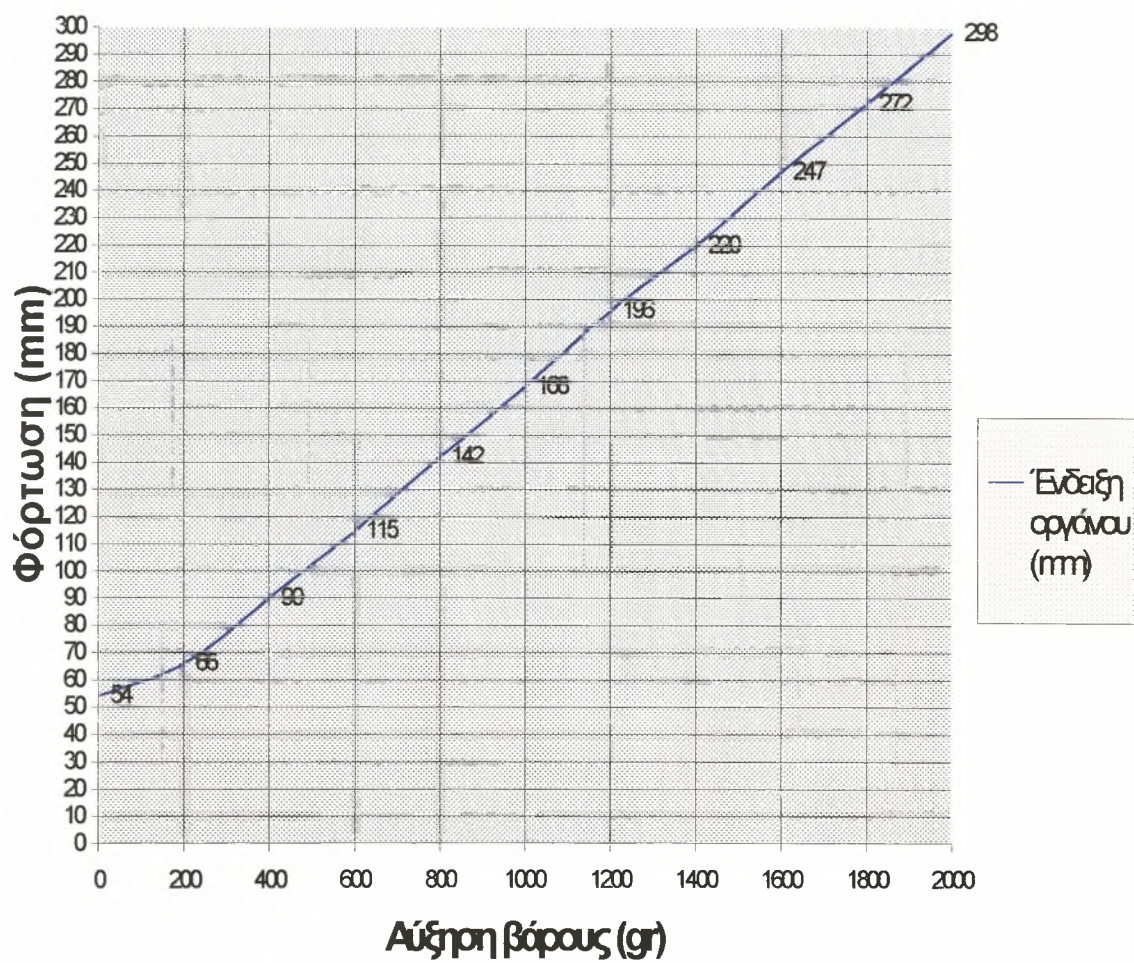
Διάγραμμα Α: Φόρτωση για μονομετρική γωνία 20 μοιρών



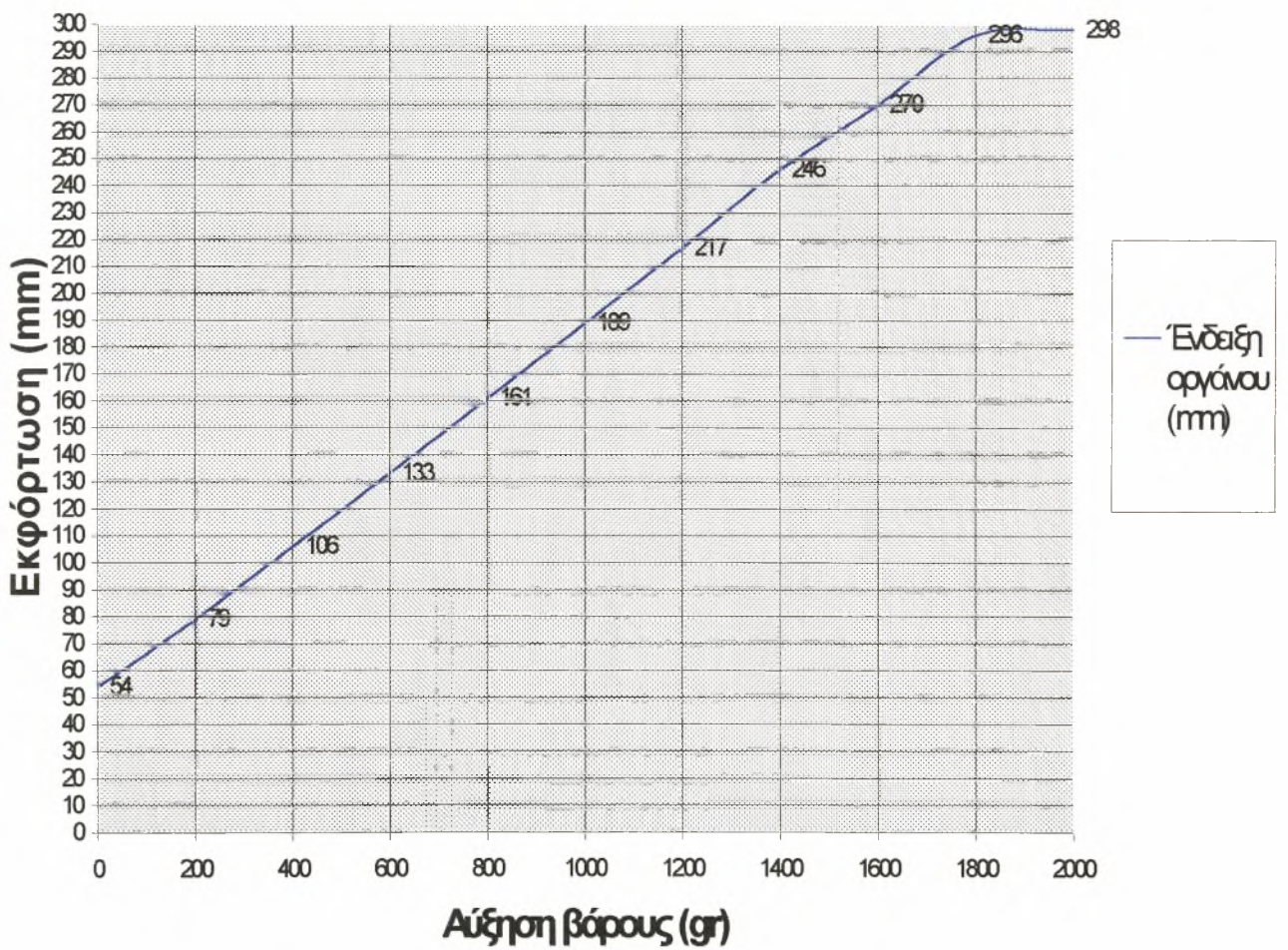
Διάγραμμα Β: Εκφόρτωση για μονομετρική γωνία 20 μοιρών



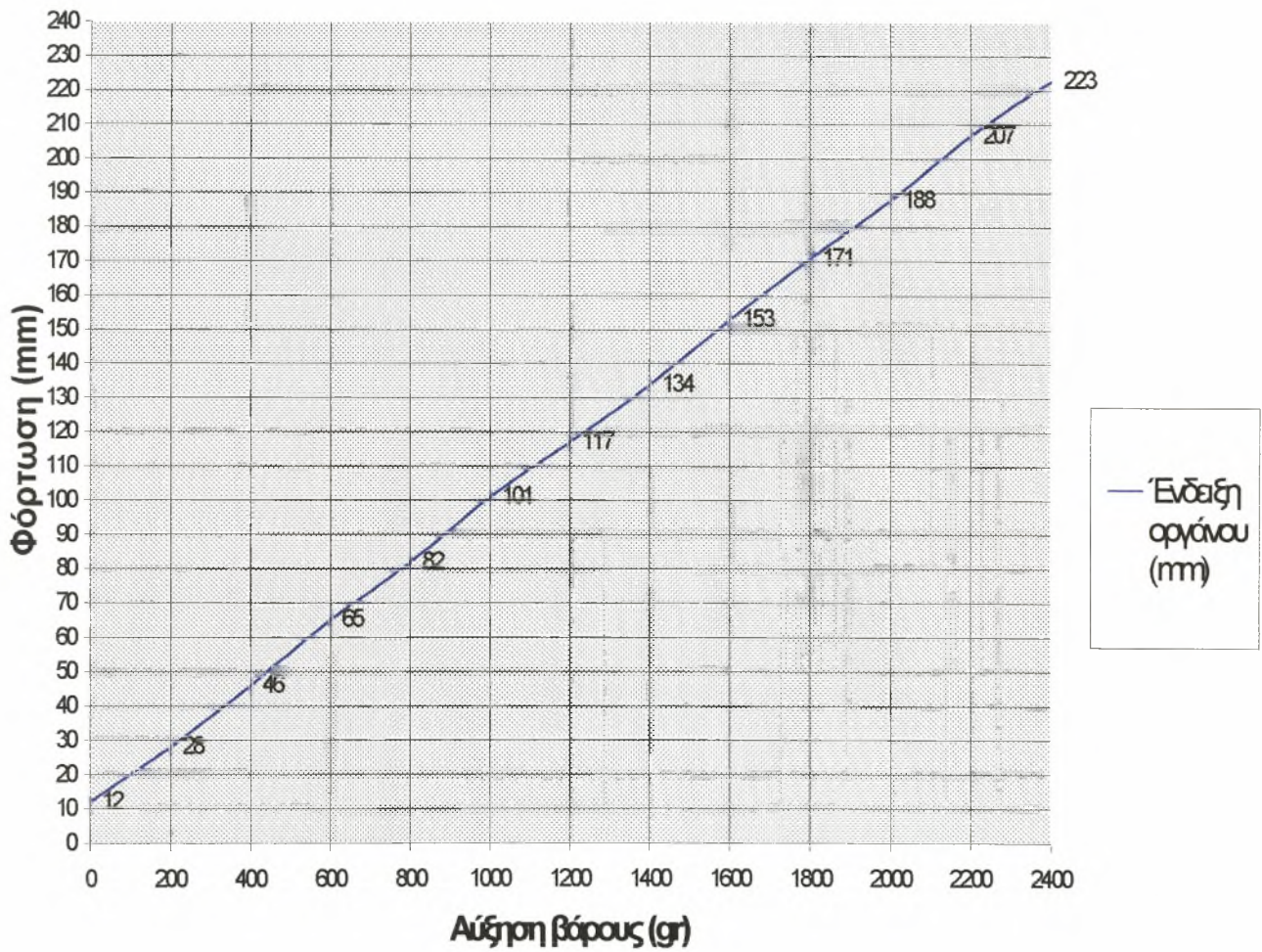
Διάγραμμα Γ: Φόρτωση για μονομετρική γωνία 5 μοιρών



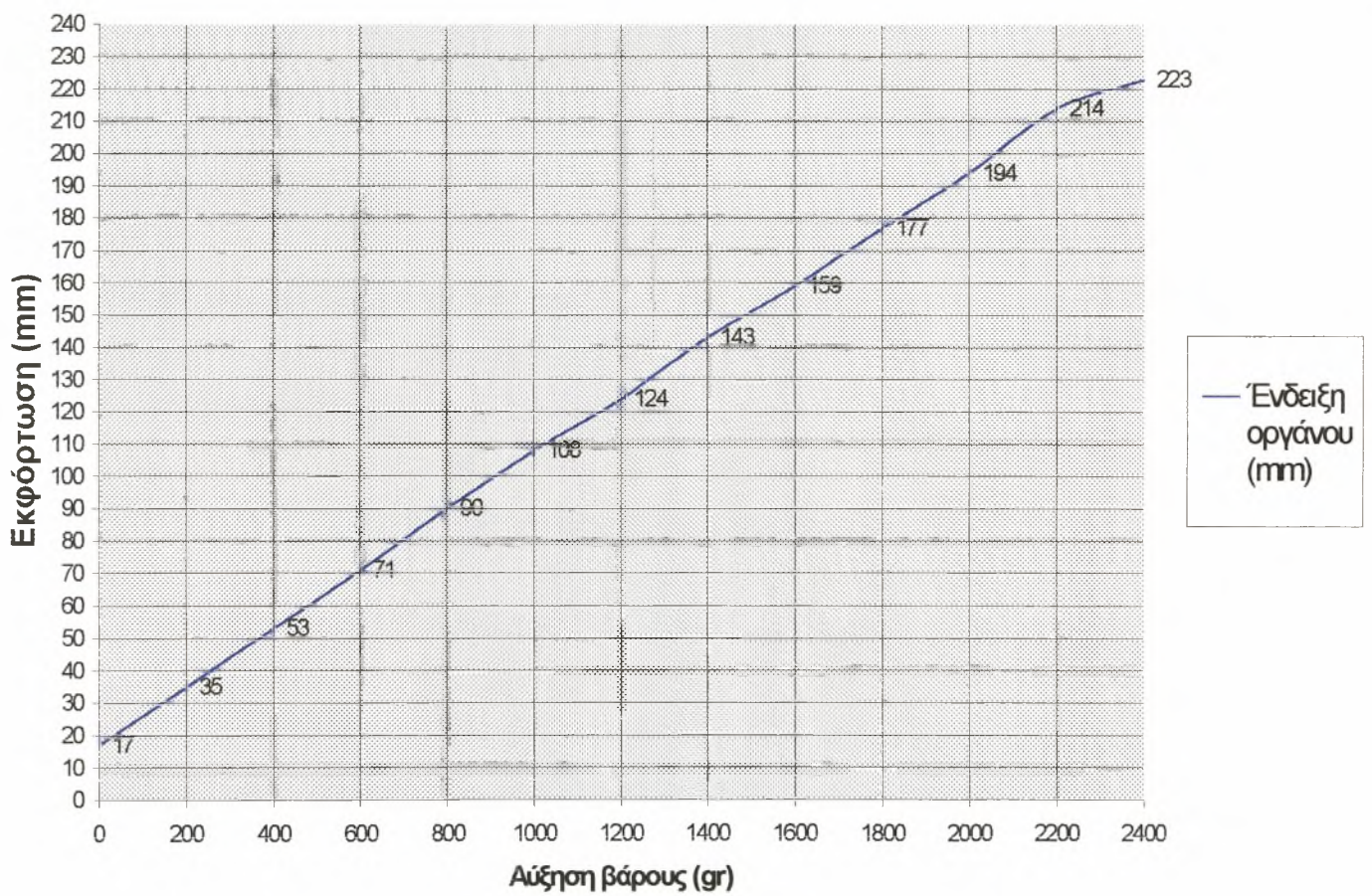
Διάγραμμα Δ: Εκφόρτωση για μονομετρική γωνία 5 μοιρών



Διάγραμμα Ε: Φόρτωση για μονομετρική γωνία 10 μοιρών



Διάγραμμα ΣΤ: Εκφόρτωση για μανομετρική γωνία 10 μοιρών





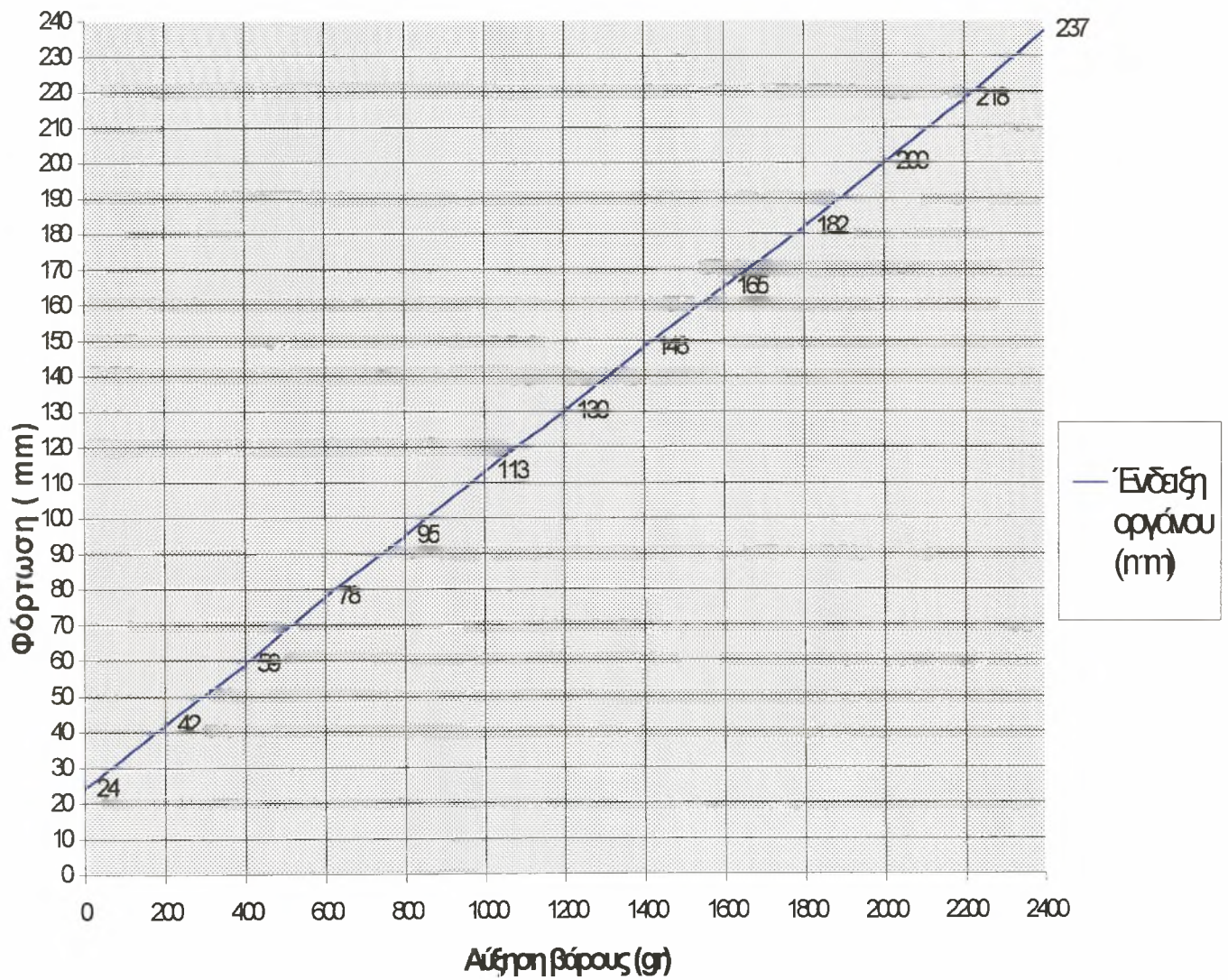
Με τη χρήση του πίνακα 19 και των διαγραμμάτων Ε και ΣΤ υπολογίστηκε ότι :

(α) στο Ε διάγραμμα η γραφική παράσταση είναι ευθεία με εξίσωση  $y = x \cdot 0,0885 + 11,242$ . (β) στο ΣΤ διάγραμμα η γραφική παράσταση είναι ευθεία με εξίσωση  $y = x \cdot 0,0888 + 17,705$ . Στην εξίσωση της ευθείας δεν συμπεριλήφθηκε η τιμή εκφόρτωσης 223 για αύξηση βάρους 2400 gr, διότι υπάρχει μία υστέρηση στη τιμή αυτή. Παρατηρούμε ότι οι εξισώσεις των δύο ευθειών έχουν την ίδια κλίση, επομένως είναι παράλληλες και δεχόμαστε ότι η τιμή του συντελεστή α και στις δύο εξισώσεις είναι 0,088. Ο συντελεστής 0,088 πολλαπλασιαζόμενος με τα ml άρδευσης, στράγγισης και βροχόπτωσης δίνει τα αντίστοιχα mm τα οποία φαίνονται στους πίνακες 20, 21 και 22. Στις 27/ 4/ 2000 παρατηρήσαμε ότι οι ενδείξεις του λυσιμέτρου ήταν κοντά στην τιμή 0 mm. Για να μην συμβεί στο μέλλον να έχουμε ενδείξεις του λυσιμέτρου κάτω από την τιμή 0 mm κατεβάσαμε το ταμπλό του οργάνου. Η βαθμονόμηση που κάναμε απέδειξε ότι αυτή η ενέργεια δεν επηρέασε αρνητικά τις ενδείξεις του λυσιμέτρου. Δημιουργήσαμε τον πίνακα 23 και τα διαγράμματα Ζ και Η και βγάλαμε τα εξής συμπεράσματα : (α) στο Ζ διάγραμμα η γραφική παράσταση είναι ευθεία με εξίσωση  $y = x \cdot 0,0882 + 24,286$ . (β) στο Η διάγραμμα η γραφική παράσταση είναι ευθεία με εξίσωση  $y = x \cdot 0,0889 + 29,026$ . Στην εξίσωση της ευθείας δεν συμπεριλήφθηκε η τιμή εκφόρτωσης 237 για αύξηση βάρους 2400 gr, διότι υπάρχει μία υστέρηση στη τιμή αυτή. Επομένως οι εξισώσεις των δύο ευθειών έχουν την ίδια κλίση, άρα είναι παράλληλες και δεχόμαστε ότι η τιμή του α και στις δύο εξισώσεις είναι 0,088.

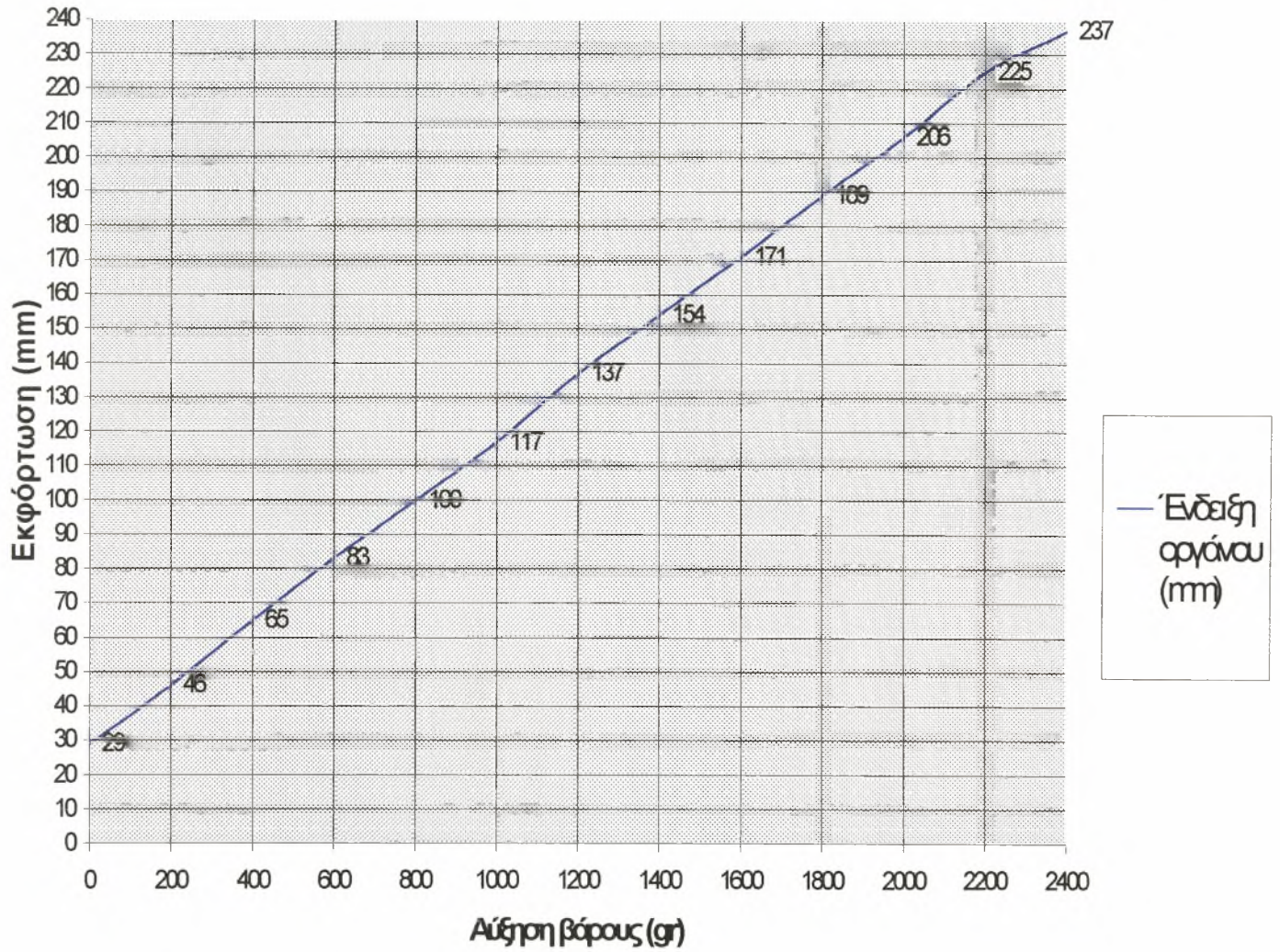
**Πίνακας 23:** Δεδομένα βαθμονόμησης του λυσιμέτρου φόρτωσης και εκφόρτωσης βάρους σε μανομετρική γωνία 10°. Πραγματοποιήθηκε στις 27/4/2000.

ΦΟΡΤΩΣΗ- ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ ΒΑΡΟΥΣ ΓΙΑ ΜΑΝΟΜΕΤΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ 10 ΜΟΙΡΩΝ		
ΦΟΡΤΩΣΗ (mm)	ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ (mm)	ΑΥΞΗΣΗ ΒΑΡΟΥΣ (gr)
24	29	0
42	46	200
59	65	400
78	83	600
95	100	800
113	117	1000
130	137	1200
148	154	1400
165	171	1600
182	189	1800
200	206	2000
218	225	2200
237	237	2400

### Διάγραμμα Z: Φόρτωση για μονομετρική γωνία 10 μιρών



### Διάγραμμα Ητ Εκφόρτωση για μονομετρική γωνία 10 μοιρών



## 4.2. Έναρξη μετρήσεων

Στις 12/1/2000 επήλθε πλήρης κορεσμός των γλαστρών. Η γλάστρα μάρτυρας τοποθετήθηκε στο λυσίμετρο, υπό μανομετρική γωνία  $10^\circ$ , με σκοπό την επαλήθευση της ορθής βαθμονόμησης του οργάνου. Οι γλάστρες αμέσως μετά τον κορεσμό είχαν τα εξής βάρη: Η γλάστρα 1 ζύγιζε 12600gr, η γλάστρα 2 ζύγιζε 12420 gr και η γλάστρα Μ ζύγιζε 12320gr. Στη συνέχεια οι γλάστρες αφέθηκαν για στράγγιση. Το νερό που συλλέγονταν από τη στράγγιση μετρούνταν σε ογκομετρικό σωλήνα, ώστε να καταγράφεται κάθε φορά το νερό που στράγγισε.

13/1/2000: Στις γλάστρες 1 και 2 μεταφυτεύθηκαν φυτά καλενδούλας ύψους 10 cm. Η κάθε γλάστρα είχε από ένα φυτό με 4 φύλλα το κάθε φυτό (2 μικρά και 2 μεγάλα φύλλα).

14/1/2000: Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κάθε ημέρα ήταν η εξής:

Σχεδιάζουμε έναν πίνακα, καταγράφοντας, την ίδια ώρα κάθε ημέρα, το ύψος σε mm του νερού άρδευσης, τη μεταβολή στην αποθήκευση νερού στο έδαφος (από τις βαθμονομημένες διαφορές στην κλίμακα ανάγνωσης του μανομέτρου) και τη στράγγιση. Για τον υπολογισμό της Εξατμισοδιαπνοής εφαρμόστηκε η παρακάτω εξίσωση:

$$ET = Br. + Arδ. - Στρ. + ΔEO \quad (49)$$

Όπου Br. = Η βροχόπτωση σε mm

Arδ. = Η άρδευση σε mm

Στρ. = Η στράγγιση σε mm

ΔEO = Η διαφορά των τιμών της ένδειξης του λυσιμέτρου για δυο διαδοχικές ημέρες σε mm

ET= Η εξατμισοδιαπνοή

Καθημερινά ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Στις 13 ώρα υπολογίστηκε το νερό που στράγγισε από τη γλάστρα 2. Έπειτα η γλάστρα 2 τοποθετήθηκε πάνω στο λυσίμετρο. Αφέθηκε εκεί πάνω για μια ώρα και έπειτα καταγράφηκε η ένδειξη του

λυσίμετρου. Στις 14 ώρα υπολογίσθηκε το νερό που στράγγισε από τη γλάστρα 1. Κατόπιν η γλάστρα 1 τοποθετήθηκε πάνω στο λυσίμετρο. Η γλάστρα 2 μεταφέρθηκε στη θέση της εκτός του εργαστηρίου στις 14 ώρα. Η γλάστρα 1 τοποθετήθηκε πάνω στο λυσίμετρο για μια ώρα. Στις 15 ώρα σημειώθηκε η ένδειξη του λυσίμετρου για την γλάστρα 1 και έπειτα μεταφέρθηκε στη θέση της εκτός του εργαστηρίου. Κατόπιν υπολογίσθηκε το νερό που στράγγισε η γλάστρα M στις 15 ώρα και μεταφέρθηκε εντός του εργαστηρίου και τοποθετήθηκε πάνω στο λυσίμετρο όπου παρέμεινε για μια ώρα. Στις 16 ώρα σημειώθηκε η ένδειξη του λυσιμέτρου και έπειτα μεταφέρθηκε η γλάστρα M εκτός του εργαστηρίου στη θέση της. Σημειώναμε τη θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου τις ώρες 14, 15 και 16.

Για παράδειγμα αναφέρεται η διαδικασία τις δύο πρώτες ημέρες του πειράματος, το οποίο διήρκεσε συνολικά 138 ημέρες και οι μετρήσεις δίνονται στο κεφάλαιο 6.

14/1/2000 : Στις 13 ώρα τοποθετήθηκε η γλάστρα 2 πάνω στο λυσίμετρο. Στις 14 ώρα μετά από μια ώρα ισορροπίας η ένδειξη του λυσιμέτρου ήταν 209mm. Έπειτα τοποθετήθηκε η γλάστρα 1 πάνω στο λυσίμετρο. Στις 14 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 10 °C. Στις 15 ώρα η ένδειξη του λυσιμέτρου ήταν 202mm. Κατόπιν τοποθετήθηκε η γλάστρα M πάνω στο λυσίμετρο. Στις 15 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 10,5 °C. Στις 16 ώρα η ένδειξη του λυσιμέτρου ήταν 194 mm. Στις 16 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 9,5 °C. Ποτίστηκαν και οι 3 γλάστρες με 400 ml νερό.

15/1/2000: Στις 13 ώρα η γλάστρα 2 στράγγισε 280 ml νερό. Στις 14 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 11 °C. Η ένδειξη του λυσιμέτρου για την γλάστρα 2 ήταν 218 mm. Η γλάστρα 1 είχε στραγγίσει 141 ml νερό. Στις 15 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 12 °C. Η ένδειξη του λυσιμέτρου για την γλάστρα 1 ήταν 224 mm. Η γλάστρα M είχε στραγγίσει 322 ml. Στις 16 ώρα η θερμοκρασία εκτός του εργαστηρίου ήταν 12 °C. Η ένδειξη του λυσιμέτρου για την γλάστρα M ήταν 200 mm.

Η άρδευση γινόταν με βάση την υγρασία του εδάφους η οποία υπολογιζόταν με τη συσκευή TDR. Εάν για παράδειγμα η υγρασία ήταν 9 % κατά όγκο για να υπολογιστεί το νερό που θα προστεθεί στη γλάστρα ακολουθούταν η εξής διαδικασία: Το έδαφος ήταν αμμώδες και είχε πυκνότητα  $d= 1,6 \text{ gr/cm}^3$ . Επίσης

είχε υδατοϊκανότητα 9% κατά βάρος ή  $9 * 1,6 = 14,4$  κατά όγκο . Η διάμετρος κάθε γλάστρας ήταν 23 cm. Οπότε ισχύει  $\pi \cdot D^2 / 4 = 3,14 * 0,23^2 \text{ m} / 4 = 0,042 \text{ m}^2$  ήταν η επιφάνεια κάθε γλάστρας.

Η απαιτούμενη ποσότητα νερού που έπρεπε να προσθέσουμε δίνεται από τον τύπο:

$$h = (FC - SM \setminus 100) * RD \quad (50)$$

Όπου  $h$  = Απαιτούμενη υγρασία

FC= Υδατοϊκανότητα

SM= υπάρχουσα υγρασία

RD = βάθος ριζοστρώματος

Όπου το βάθος ριζοστρώματος ισούται με το βάθος του χώματος δηλαδή  $180 \text{ mm} = 18 \text{ cm}$ .

Οπότε (50)  $\Rightarrow h = (14,4 - 9 / 100) * 180 = 9,72 \text{ mm} = 9,72 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$  διότι ισχύει  $1 \text{ mm} = 1 \text{ m}^3 / \text{στρέμμα}$

Η υγρασία  $h$  αναγόμενη στην επιφάνεια της γλάστρας ( $0,042 \text{ m}^2$ ) ισοδυναμεί με 400 ml νερό.

Κάθε φορά που έπρεπε να ποτισθεί μια γλάστρα ακολουθούνταν η ίδια ακριβώς διαδικασία. Καταρχήν τοποθετούσαμε μια γλάστρα πάνω στο λυσίμετρο και έπειτα από μια ώρα σημειώναμε την ένδειξη του οργάνου. Κατόπιν κατεβάζαμε τη γλάστρα από το λυσίμετρο και με τη μέθοδο του TDR υπολογίζαμε την υπάρχουσα υγρασία. Έπειτα εκτελώντας τις παραπάνω πράξεις βρίσκαμε το ποσό του νερού που πρέπει να προσθέσουμε ώστε η υγρασία του εδάφους να είναι ικανοποιητική για την ανάπτυξη του φυτού και να είμαστε στο σημείο υδατοϊκανότητας του εδάφους. Στη συνέχεια ποτίζαμε τη γλάστρα.

Από 14 - 1 - 2000 έως 31 - 5 - 2000 οι μετρήσεις του πειράματος δίνονται στους πίνακες 20, 21 και 22 στο κεφάλαιο 6. Στη πρώτη στήλη δίνονται οι ημέρες που αντιστοιχούν από τις 14 Ιανουαρίου έως τις 31 Μαΐου. Την 14 Ιανουαρίου τις δίνουμε την τιμή 0, διότι δεν έχουμε υπολογίσει τιμή για την τελευταία στήλη. Στην

δεύτερη στήλη με τίτλο Ημ/νία δίνονται οι ημερομηνίες στις οποίες πραγματοποιήθηκε η καταγραφή μετρήσεων στο πείραμα, δηλαδή από 14/1/2000 έως 31/5/2000. Στην τρίτη στήλη με τίτλο Υγρ. Εδ., δίνονται οι τιμές της εδαφικής υγρασίας σε % κατά όγκο, που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο του TDR.

Στη τέταρτη στήλη με τίτλο Άρδ., δίνονται οι ποσότητες του νερού σε ml που ποτίσαμε τις γλάστρες βασιζόμενοι στην παραπάνω διαδικασία. Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές της τέταρτης στήλης με τον συντελεστή 0,088 προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές της πέμπτης στήλης σε mm. Κατά τη διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιούμε το βροχόμετρο το οποίο μας δίνει σε mm την βροχόπτωση που έχει πέσει στη περιοχή που γίνεται το πείραμα. Έστω π.χ. ότι η ενδειξη του βροχομέτρου είναι 3mm, αυτό σημαίνει ότι σε κάθε γλάστρα έχουν πέσει 3mm βροχή. Στην έκτη στήλη με τίτλο Βρ., δίνεται σε mm το ύψος βροχής σε μια ημέρα.

Στην έβδομη στήλη με τίτλο Ένδ. Οργ., δίνονται κάθε ημέρα οι ενδείξεις του λυσιμέτρου σε mm. Στην όγδοη στήλη δίνεται σε mm το άθροισμα των τιμών της βροχόπτωσης, της άρδευσης και της ένδειξης του οργάνου. Στην ένατη στήλη δίνονται οι μεταβολές στις ενδείξεις του λυσιμέτρου καθημερινά. Στη δέκατη στήλη δίνεται η ποσότητα του νερού σε ml που στράγγισε από κάθε γλάστρα. Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές της δέκατης στήλης με τον συντελεστή 0,088 προκύπτει η ενδέκατη στήλη η οποία δίνει τις αντίστοιχες τιμές σε mm. Στη δωδέκατη στήλη στον πίνακα 20 δίνεται η εξατμισοδιαπνοή, στον πίνακα 21η διαπνοή και στον πίνακα 22 η εξάτμιση όλες σε mm. Στην τελευταία στήλη με τίτλο T, δίνεται σε °C η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος όπου είναι τοποθετημένες οι γλάστρες. Στον πίνακα 20 δίνεται η θερμοκρασία στις 14 ώρα, στον πίνακα 21 δίνεται η θερμοκρασία στις 15 ώρα και στον πίνακα 22 δίνεται η θερμοκρασία στις 16 ώρα. Στο παράρτημα 1 δίνονται τα γραφήματα που προκύπτουν από τις μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής, της διαπνοής και της εξάτμισης, συναρτήσει της θερμοκρασίας και των ημερών που διήρκεσε το πείραμα. Οπότε μπορούμε να μελετήσουμε καθημερινά πως μεταβάλλονται οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής, της διαπνοής και της εξάτμισης.



### 4.3. Παρατηρήσεις κατά τη λήψη των μετρήσεων

13/1/2000: Στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής και στη γλάστρα διαπνοής μεταφυτεύτηκαν από ένα φυτό καλενδούλας σε κάθε γλάστρα. Και τα δύο φυτά είχαν ύψος 10 cm και 4 φύλλα (2 μεγάλα και 2 μικρά φύλλα).

20/1/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,2 cm και 5 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,3 cm και 5 φύλλα.

25/1/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,2 cm και 6 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,3 cm και 6 φύλλα.

31/1/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,3 cm και 7 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,4 cm και 7 φύλλα.

5/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,3 cm και 8 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,4 cm και 8 φύλλα.

10/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,3 cm και 9 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,4 cm και 9 φύλλα.

15/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,4 cm και 10 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,5 cm και 10 φύλλα.

20/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,4 cm και 11 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,5 cm και 11 φύλλα. Την ημέρα αυτή ποτίσαμε τη γλάστρα μάρτυρα και τη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής. Μέσα στο νερό βάλουμε 1gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20 και το διαλύσαμε. Έπειτα ποτίσαμε τις 2 γλάστρες έχοντας ρίξει 1gr λίπασμα σε κάθε γλάστρα. Η κάθε γλάστρα ποτίστηκε με τόση ποσότητα νερού, όση υπολογίστηκε με βάση την εδαφική υγρασία κάθε γλάστρας που βρήκαμε με την μέθοδο TDR και ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω. Το υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20 περιέχει 20 μονάδες άζωτο, 20 μονάδες φώσφορο και 20 μονάδες κάλιο. Επομένως στο 1gr λίπασμα που ρίξαμε υπάρχουν 0,2 gr άζωτο, 0,2 gr φώσφορο και 0,2 gr κάλιο.

24/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,6 cm και 12 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,5 cm και 11 φύλλα.

27/2/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 10,8 cm και 13 φύλλα. Ποτίσαμε τη γλάστρα 1 διαλύοντας μέσα στο νερό 1gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

1/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11 cm και 14 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,6 cm και 12 φύλλα.

3/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11 cm και 16 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,7 cm και 13 φύλλα.

5/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,2 cm και 18 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,8 cm και 15 φύλλα. Ποτίσαμε τις γλάστρες εξατμισοδιαπνοής και μάρτυρα με νερό. Σε κάθε γλάστρα ρίξαμε μέσα στο νερό 1gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20 και το διαλύσαμε. Επομένως ποτίσαμε τις 2 γλάστρες έχοντας ρίξει 1gr λίπασμα σε κάθε γλάστρα.

6/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,2 cm και 20 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 10,9 cm και 17 φύλλα.

7/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,3 cm και 21 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11 cm και 18 φύλλα.

9/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,5 cm και 24 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,1 cm και 20 φύλλα. Ποτίσαμε τη γλάστρα διαπνοής διαλύοντας μέσα στο νερό 1gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

10/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,5 cm και 26 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,1 cm και 21 φύλλα.

12/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,6 cm και 28 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,3 cm και 24 φύλλα.

14/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,7 cm και 30 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,5 cm και 27 φύλλα.

16/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 11,8 cm και 32 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,6 cm και 29 φύλλα.

18/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 12 cm και 34 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,7 cm και 32 φύλλα.

20/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 12,3 cm και 37 φύλλα. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 11,9 cm και 35 φύλλα. Ποτίσαμε τη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

21/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 12,4 cm και 38 φύλλα.

Ακόμη έχουμε την έκπτυξη ενός μπουμπουκιού. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 12,1 cm και 36 φύλλα. Ποτίσαμε τη γλάστρα μάρτυρα διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

23/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 12,7 cm , 39 φύλλα και δύο μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 12,4 cm ,38 φύλλα και 1 μπουμπούκι. Ποτίσαμε τη γλάστρα διαπνοής διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

25/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 13 cm , 40 φύλλα και 4 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 12,8 cm ,38 φύλλα και 2 μπουμπούκια.

27/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 13,3 cm , 41 φύλλα και 5 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 13,1 cm ,39 φύλλα και 4 μπουμπούκια.

29/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 13,9 cm , 42 φύλλα και 6 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 13,8 cm ,40 φύλλα και 5 μπουμπούκια.

31/3/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 15 cm , 43 φύλλα και 7 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 14,9 cm ,42 φύλλα και 6 μπουμπούκια.

2/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 16,3 cm , 44 φύλλα και 8 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 16,4 cm ,44 φύλλα και 7 μπουμπούκια. Ποτίσαμε τη γλάστρα μάρτυρα διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

4/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 17,2 cm , 45 φύλλα και 9 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 17,3 cm ,46 φύλλα και 8 μπουμπούκια. Ποτίσαμε τη γλάστρα διαπνοής διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

7/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 18,7 cm , 46 φύλλα και 10 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 18,8 cm ,48 φύλλα και 10 μπουμπούκια. Ποτίσαμε τη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής διαλύοντας μέσα στο νερό 2 gr υδατοδιαλυτό λίπασμα 20-20-20.

9/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 20,2 cm , 48 φύλλα και 11 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 20,4 cm , 49 φύλλα και 12 μπουμπούκια.

11/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 21,4 cm , 50 φύλλα και 12 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 21,5 cm ,52 φύλλα και 13 μπουμπούκια.

13/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 23,3 cm , 52 φύλλα και 13 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 23,5 cm ,54 φύλλα και 14 μπουμπούκια.

15/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 25 cm , 54 φύλλα και 15 μπουμπούκια. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 25,3 cm ,56 φύλλα και 16 μπουμπούκια.

17/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 26,8 cm , 55 φύλλα, 15 μπουμπούκια και 2 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 27 cm , 58 φύλλα , 16 μπουμπούκια και 2 άνθη χρώματος πορτοκαλί.

19/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 28,5 cm , 56 φύλλα, 15 μπουμπούκια και 4 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 28,7 cm , 59 φύλλα , 16 μπουμπούκια και 4 άνθη χρώματος πορτοκαλί.

21/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 30,2 cm , 58 φύλλα, 16 μπουμπούκια και 6 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 30,4 cm , 60 φύλλα , 18 μπουμπούκια και 6 άνθη χρώματος πορτοκαλί.

23/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 31 cm , 60 φύλλα, 16 μπουμπούκια και 8 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 31,5 cm , 63 φύλλα , 17 μπουμπούκια και 9 άνθη χρώματος πορτοκαλί.

25/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 32,6 cm , 62 φύλλα, 19 μπουμπούκια και 11 άνθη χρώματος πορτοκαλί (2 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 9 είναι νέα άνθη). Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 33 cm, 66 φύλλα , 21 μπουμπούκια και 12 άνθη χρώματος πορτοκαλί (2 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 10 είναι νέα άνθη).

27/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 34,7 cm , 65 φύλλα, 23 μπουμπούκια και 12 άνθη χρώματος πορτοκαλί (3 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 9 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 35 cm , 70 φύλλα , 25 μπουμπούκια και 13 άνθη χρώματος πορτοκαλί (3 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 10 είναι νέα άνθη).

30/4/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 37 cm , 68 φύλλα, 26 μπουμπούκια και 16 άνθη χρώματος πορτοκαλί (5 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 11 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 37,5 cm , 71 φύλλα , 27 μπουμπούκια και 17 άνθη χρώματος πορτοκαλί (5 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 12 είναι νέα άνθη).

2/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 39 cm , 73 φύλλα, 20 μπουμπούκια και 22 άνθη χρώματος πορτοκαλί (8 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 14 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 41,5 cm ,75 φύλλα , 19 μπουμπούκια και 25 άνθη χρώματος πορτοκαλί (9 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 16 είναι νέα άνθη).

4/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 39,6 cm , 75 φύλλα, 10 μπουμπούκια και 32 άνθη χρώματος πορτοκαλί πορτοκαλί (11 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 21 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 43,5 cm ,79 φύλλα , 11 μπουμπούκια και 33 άνθη χρώματος πορτοκαλί (12 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 21 είναι νέα άνθη).

5/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 40 cm , 76 φύλλα, 8 μπουμπούκια και 34 άνθη χρώματος πορτοκαλί (11 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 23 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 44 cm ,80 φύλλα , 9 μπουμπούκια και 35 άνθη χρώματος πορτοκαλί (12 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 23 είναι νέα άνθη).

7/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 41 cm , 77 φύλλα, 3 μπουμπούκια και 39 άνθη χρώματος πορτοκαλί (14 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 25 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 45 cm ,82 φύλλα , 5 μπουμπούκια και 39 άνθη χρώματος πορτοκαλί (13 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 26 είναι νέα άνθη).

9/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 41 cm , 78 φύλλα και 42 άνθη χρώματος πορτοκαλί (17 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 25 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 46 cm ,82 φύλλα , 3 μπουμπούκια και 41 άνθη χρώματος πορτοκαλί (16 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 25 είναι νέα άνθη).

12/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 41 cm , 78 φύλλα (4 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 42 άνθη χρώματος πορτοκαλί (22 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 20 είναι νέα άνθη).

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 46 cm ,82 φύλλα (5 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 44 άνθη χρώματος πορτοκαλί (23 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 21 είναι νέα άνθη).

15/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 41 cm , 78 φύλλα (7 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 38 άνθη χρώματος πορτοκαλί (24 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 14 είναι νέα άνθη). Είχαμε πτώση 4 ανθέων.

Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 46 cm ,82 φύλλα (9 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 35 άνθη χρώματος πορτοκαλί (23 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 12 είναι νέα άνθη). Είχαμε πτώση 9 ανθέων.

Τα άνθη τα οποία πέφτουν ακολουθούν την εξής φυσιολογική διαδικασία: Το άνθος ωριμάζει και στη συνέχεια γηράσκει. Σχηματίζεται στοιβάδα αποκοπής κι έπειτα έχουμε συστροφή και πτώση των πετάλων. Κατόπιν ακολουθεί πτώση του άνθους μαζί με το μίσχο.

17/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 41 cm , 78 φύλλα (10 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 32 άνθη χρώματος πορτοκαλί (30 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 2 είναι νέα άνθη). Είχαμε πτώση 6 ανθέων. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 46 cm ,82 φύλλα (12 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 30 άνθη χρώματος πορτοκαλί (27 από τα οποία είναι πλήρως ανεπτυγμένα και 3 είναι νέα άνθη). Είχαμε πτώση 5 ανθέων.

19/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 40 cm , 78 φύλλα (13 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 25 άνθη χρώματος πορτοκαλί, όλα πλήρως ανεπτυγμένα. Είχαμε πτώση 7 ανθέων. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 45

cm ,82 φύλλα (14 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 22 άνθη χρώματος πορτοκαλί, όλα πλήρως ανεπτυγμένα. Είχαμε πτώση 8 ανθέων.

21/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 39 cm , 78 φύλλα (17 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 17 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 8 ανθέων. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 44 cm ,82 φύλλα (18 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 13 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 9 ανθέων.

23/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 38 cm , 78 φύλλα (21 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 8 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 9 ανθέων. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 43 cm ,82 φύλλα (22 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 6 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 7 ανθέων.

25/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 37,4 cm , 78 φύλλα (23 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 2 άνθη χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 6 ανθέων. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 42,5 cm ,82 φύλλα (24 από τα οποία έχουν κιτρινίσει) και 1 άνθος χρώματος πορτοκαλί. Είχαμε πτώση 5 ανθέων.

26/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 37 cm , 78 φύλλα (24 από τα οποία έχουν κιτρινίσει). Είχαμε πτώση 2 ανθέων. Δεν έχει απομείνει κανένα άνθος πάνω στο φυτό. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 42 cm ,82 φύλλα (25 από τα οποία έχουν κιτρινίσει). Είχαμε πτώση 1άνθους. Δεν έχει απομείνει κανένα άνθος πάνω στο φυτό.

28/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 37 cm , 78 φύλλα (26 από τα οποία έχουν κιτρινίσει). Δεν υπάρχει κανένα άνθος πάνω στο φυτό. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 42 cm ,82 φύλλα (28 από τα οποία έχουν κιτρινίσει). Δεν υπάρχει κανένα άνθος πάνω στο φυτό.

31/5/2000: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής έχει ύψος 37 cm , 78 φύλλα (27 από τα οποία είναι κίτρινα). Δεν υπάρχει κανένα άνθος πάνω στο φυτό. Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής έχει ύψος 42 cm ,82 φύλλα (30 από τα οποία είναι κίτρινα). Δεν υπάρχει κανένα άνθος πάνω στο φυτό.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5. Συμπεράσματα - παρατηρήσεις

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή έγινε με σκοπό να μετρηθεί η εξατμισοδιαπνοή, η διαπνοή και η εξάτμιση με στόχο να γίνει σύγκριση των τιμών της εξατμισοδιαπνοής με το άθροισμα των τιμών της εξάτμισης συν τη διαπνοή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λυσίμετρο και ως φυτό παρατήρησης επιλέχθηκε η καλενδούλα. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν καθημερινά από τις 14/1/2000 έως τις 31/5/2000. Από την επεξεργασία αυτών προέκυψαν οι πίνακες 20,21 και 22 στο κεφάλαιο 6 και τα γραφήματα στο παράρτημα 1.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το κεφάλαιο 6 και τα γραφήματα στο παράρτημα 1 είναι τα εξής: Η γλάστρα εξατμισοδιαπνοής παρουσίαζε συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για άρδευση κάτι που φανερώνει την αυξανόμενη τάση της εξατμισοδιαπνοής. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού η φυλλική επιφάνεια του φυτού αναπτύσσονταν περισσότερο, οπότε το φυτό διέπνεε εντονότερα. Επίσης υπήρχε μια αύξηση της θερμοκρασίας και μια ελάττωση της υγρασίας κατά τις ζεστές ημέρες, τα οποία συντέλεσαν στην αύξηση της εξατμισοδιαπνοής.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι το φυτό στη γλάστρα διαπνοής με το πέρασμα του χρόνου διέπνεε εντονότερα κατά τους θερμότερους μήνες της Άνοιξης λόγω της αναπτυσσόμενης φυλλικής επιφάνειας. Στη γλάστρα μάρτυρα, την αντίστοιχη χρονική περίοδο παρατηρήθηκε έντονη εξάτμιση, εφόσον αυξάνεται η θερμοκρασία την περίοδο αυτή.

Τονίζεται ακόμη, ότι στα αρχικά στάδια ανάπτυξης των φυτών, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών τη δεδομένη χρονική περίοδο οι ανάγκες άρδευσης ήταν μικρές. Με την αύξηση όμως, τόσο των θερμοκρασιών όσο και της φυτικής επιφάνειας, οι ανάγκες σε νερό παρουσιάζονταν ολοένα και αυξανόμενες. Κατά τη περίοδο που τα φυτά περνούν από τη φάση της ανάπτυξης στη φάση της ωρίμανσης οι ανάγκες σε άρδευση ήταν συνεχώς αυξανόμενες, ενώ από τη φάση της ωρίμανσης και πέρα οι ανάγκες σε άρδευση εμφανίζονταν πιο σταθερές, κάτι που οφείλεται στην ολοκλήρωση της φάσης ανάπτυξης των φυτών.

Με βάση τα παραπάνω και συνδυάζοντας τους πίνακες 20, 21 και 22 και τα γραφήματα του παραρτήματος 1 συμπεραίνουμε ότι η τιμή της εξατμισοδιαπνοής προσεγγίζει τις τιμές του αθροίσματος εξάτμιση συν διαπνοή. Ο μέσος όρος όλων των τιμών της εξατμισοδιαπνοής είναι 14,77 mm. Εάν προσθέσουμε όλες τις τιμές της εξάτμισης με τις τιμές της διαπνοής, τότε ο μέσος όρος του αθροίσματος των τιμών είναι 16,31 mm, το οποίο προσεγγίζει τον μέσο όρο της εξατμισοδιαπνοής. Στο γράφημα 7 στο παράρτημα 1 γίνεται σύγκριση των τιμών της εξατμισοδιαπνοής με τις τιμές του αθροίσματος εξάτμιση συν διαπνοή, στις 138 ημέρες που διήρκεσε το πείραμα. Συμπεραίνεται ότι οι τιμές σε άλλα σημεία πλησιάζουν και σε άλλα σημεία ταυτίζονται. Απόλυτη επαλήθευση της εξίσωσης:  $\text{εξατμισοδιαπνοή} = \text{εξάτμιση} + \text{διαπνοή}$  δεν ισχύει. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι το πείραμα δεν έγινε στην ίδια γλάστρα, αλλά σε 3 όμοιες γλάστρες.

Παρ' όλα αυτά οι αποκλίσεις είναι πολύ μικρές της τάξης του 9,44%, γεγονός το οποίο ενθαρρύνει την επιτυχία του πειράματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Αποτελέσματα μετρήσεων κατά τη διάρκεια του πειράματος

Πίνακας 20			Γλάστρα Εξαμυρισιοδιαπνοής									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	E.T. (mm)	T (C)
0	14-Ιαν		400	35,2		209	244,2					10
1	15-Ιαν					218	218	26,2	280	24,64	1,56	11
2	16-Ιαν					216	216	2	17	1,496	0,504	13
3	17-Ιαν					214	214	2	8	0,704	1,296	7,5
4	18-Ιαν				3	209	212	5	4	0,352	4,648	17
5	19-Ιαν					211	211	1	8	0,704	0,296	11
6	20-Ιαν					210	210	1	5	0,44	0,56	8
7	21-Ιαν					209	209	1	1	0,088	0,912	9,5
8	22-Ιαν					207	207	2	0,5	0,044	1,956	10,5
9	23-Ιαν					203	203	4			4	10
10	24-Ιαν	9	400	35,2		192	227,2	11			11	14
11	25-Ιαν					225	225	2,2	3,5	0,308	1,892	5
12	26-Ιαν					222	222	3	1	0,088	2,912	5,5
13	27-Ιαν					220	220	2	1	0,088	1,912	10,5
14	28-Ιαν					216	216	4	0,5	0,044	3,956	12
15	29-Ιαν					209	209	7			7	14
16	30-Ιαν					204	204	5			5	13,5
17	31-Ιαν					195	195	9			9	17
18	1-Φεβ					187	187	8			8	20
19	2-Φεβ	2	937	82,46		182	264,46	5			5	18
20	3-Φεβ				1	226	227	38,46	326	28,688	9,77	17,5
21	4-Φεβ					221	221	6	4	0,352	5,648	9
22	5-Φεβ					215	215	6	0,5	0,044	5,956	15
23	6-Φεβ					200	200	15			15	18
24	7-Φεβ	2,8	876	77,09		189	266,09	11			11	17
25	8-Φεβ					217	217	49,09	480	42,24	6,85	16,5
26	9-Φεβ					206	206	11	2	0,176	10,824	21,5
27	10-Φεβ	7,4	529	46,55		197	243,55	9			9	14,5
28	11-Φεβ				3	210	213	33,55	346	30,448	3,1	15
29	12-Φεβ				2	200	202	13	30,5	2,684	10,316	11
30	13-Φεβ				1	199	200	3	8	0,704	2,296	10,5
31	14-Φεβ				1	188	189	12	7	0,616	11,384	15,5
32	15-Φεβ					187	187	2	6,5	0,572	1,428	8,5
33	16-Φεβ					185	185	2	2	0,176	1,824	13,5
34	17-Φεβ				2	179	181	6			6	14
35	18-Φεβ					178	178	3	7,5	0,66	2,34	11
36	19-Φεβ					175	175	3	1	0,088	2,912	16
37	20-Φεβ	3	862	75,86		165	240,86	10			10	15,5
38	21-Φεβ				4	199	203	41,86	455	40,04	1,82	9
39	22-Φεβ					193	193	10	9	0,792	9,208	7,5
40	23-Φεβ				1	189	190	4	1,5	0,132	3,868	9
41	24-Φεβ					187	187	3	2,5	0,22	2,78	8,5
42	25-Φεβ					182	182	5	2	0,176	4,824	13
43	26-Φεβ	6	635	55,88		176	231,88	6			6	17
44	27-Φεβ				3	181	184	50,88	415	36,52	14,36	13,5
45	28-Φεβ				2	173	175	11	10	0,88	10,12	5
46	29-Φεβ					172	172	3	4,5	0,396	2,604	10
47	1-Μαρ					171	171	1	1,5	0,132	0,868	16

Πίνακας 20 (συνεχίζεται)

Πίνακας 20( συνέχεια)

Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Ε.Τ. (mm)	T (C)
48	2-Μαρ	2,6	892	78,5		155	233,5	16	0,5	0,044	15,956	17,5
49	3-Μαρ					168	168	65,5	550	48,4	17,1	13,5
50	4-Μαρ					158	158	10	1	0,088	9,912	16,5
51	5-Μαρ	3	862	75,86		146	221,86	12			12	21
52	6-Μαρ					183	183	38,86	420	36,96	1,9	11
53	7-Μαρ					178	178	5	5	0,44	4,56	16
54	8-Μαρ	3	862	75,86		165	240,86	13	2	0,176	12,824	15,5
55	9-Μαρ					182	182	58,86	472	41,536	17,32	17
56	10-Μα					161	161	21	3	0,264	20,736	17
57	11-Μα	3,6	817	71,9		159	230,9	2			2	21
58	12-Μα					163	163	67,9	395	34,76	33,14	22
59	13-Μα					148	148	15	3,5	0,308	14,692	20
60	14-Μα	2,2	922	81,14		130	211,14	18			18	15,5
61	15-Μα					182	182	29,14	280	24,64	4,5	15
62	16-Μα				9	163	172	19	1,5	0,132	18,868	11,5
63	17-Μα					168	168	4	15	1,32	2,68	13
64	18-Μα				6	164	170	4	4	0,352	3,648	13,5
65	19-Μα					154	154	16	13,5	1,188	14,812	9
66	20-Μα	4,6	741	65,21		145	210,21	9	2	0,176	8,824	13
67	21-Μα					171	171	39,21	435	38,28	0,93	12
68	22-Μα					147	147	24	11	0,968	23,032	13
69	23-Μα	1,5	975	85,8		135	220,8	12			12	15,5
70	24-Μα					143	143	77,8	675	59,4	18,4	18,5
71	25-Μα					139	139	4	5	0,44	3,56	17
72	26-Μα	1,6	968	85,18		112	197,18	27			27	18
73	27-Μα					148	148	49,18	530	46,64	2,54	22
74	28-Μα					130	130	18	8	0,704	17,296	20
75	29-Μα	2	937	82,46		113	195,46	17			17	21
76	30-Μα					128	128	67,46	420	39,96	27,5	20,5
77	31-Μα					112	112	16			16	22,5
78	1-Απρ	1,5	975	85,8		108	193,8	4			4	20
79	2-Απρ					115	115	78,8	600	52,8	26	25
80	3-Απρ	2	937	82,46		100	182,46	15	3	0,264	14,736	17
81	4-Απρ				1	122	123	60,46	542	47,696	12,76	24,5
82	5-Απρ	2,5	900	79,2		87	166,2	36	36	3,168	32,832	25
83	6-Απρ					113	113	53,2	455	40,04	13,16	18,5
84	7-Απρ	1,8	952	83,78		95	178,78	18	0,5	0,044	17,956	18
85	8-Απρ					112	112	66,78	410	36,08	30,7	20
86	9-Απρ	1,5	975	85,8		96	181,8	16	1	0,088	15,912	21
87	10-Απ					102	102	79,8	585	51,48	28,32	16,5
88	11-Απ	2,3	915	80,52		87	167,52	15			15	15
89	12-Απ					107	107	60,52	450	39,6	20,92	16
90	13-Απ	5,6	665	58,52		99	157,52	8	4	0,352	7,648	21
91	14-Απ					89	89	68,52	425	37,4	31,12	24
92	15-Απ	2,4	907	79,82		86	165,82	3	3	0,264	2,736	25,5
93	16-Απ					75	75	90,82	608	53,504	37,32	26
94	17-Απ	2,1	930	81,84		60	141,84	15			15	22
95	18-Απ					79	79	62,84	426	37,488	25,35	21,5
96	19-Απ					62	62	17	1	0,088	16,912	19
97	20-Απ	1,6	968	85,18		44	129,18	18			18	22,5

Πίνακας 20 (συνεχίζεται)

Πίνακας 20 (συνέχεια)

Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	E.T. (mm)	T (C)
98	21-Απ					61	61	68,18	400	35,2	32,98	22,5
99	22-Απ	1,9	945	83,16		55	138,16	6	0,5	0,044	5,956	24,5
100	23-Απ					84	84	54,16	355	31,24	22,92	24
101	24-Απ					52	52	32	5	0,44	31,56	23
102	25-Απ					37	37	15	2	0,176	14,824	23,5
103	26-Απ					21	21	16	1	0,088	15,912	20,5
104	27-Απ	1,2	998	87,82		167	254,82	10			10	23
105	28-Απ					196	196	58,82	375	33	25,82	21,5
106	29-Απ					168	168	28	3	0,264	27,736	25,5
107	30-Απ					137	137	31	1,5	0,132	30,868	25
108	1-Μαϊ				4	103	107	34			34	21,5
109	2-Μαϊ	1,6	968	85,18		89	174,18	28			28	23
110	3-Μαϊ					152	152	22,18	209	18,392	3,79	17
111	4-Μαϊ					140	140	12	3,5	0,308	11,692	22,5
112	5-Μαϊ					123	123	17	2	0,176	16,824	24
113	6-Μαϊ					97	97	26	1,5	0,132	25,868	24,5
114	7-Μαϊ	1,3	990	87,12		70	157,12	27			27	24
115	8-Μαϊ					146	146	11,12	4,5	0,396	10,724	25
116	9-Μαϊ					118	118	28	2	0,176	27,824	25,5
117	10-Μαϊ	1,5	975	85,8		93	178,8	25			25	25
118	11-Μαϊ					130	130	48,8	96	8,448	40,352	26
119	12-Μαϊ					92	92	28	0,5	0,044	27,956	27
120	13-Μαϊ				9	61	70	31			31	28,5
121	14-Μαϊ	2,1	930	81,84		65	146,84	5	25	2,2	2,8	22,5
122	15-Μαϊ					137	137	9,84	3	0,264	9,576	24,5
123	16-Μαϊ					112	112	25	0,5	0,044	24,956	23
124	17-Μαϊ	1,6	968	85,18		96	181,184	16			16	26
125	18-Μαϊ	6,5	598	52,62		133	185,62	48,184	138	12,144	36,044	27,5
126	19-Μαϊ					131	131	54,62	82	7,216	47,404	28
127	20-Μαϊ					89	89	42			42	29
128	21-Μαϊ	1,2	998	87,82		66	153,82	23			23	29
129	22-Μαϊ	2,4	907	79,82		130	209,82	23,82	1,5	0,132	23,688	26
130	23-Μαϊ				2	152	154	57,82	337	29,656	28,16	29
131	24-Μαϊ					114	114	30	5	0,44	29,56	26,5
132	25-Μαϊ	1,3	990	87,12		72	159,12	42	3,5	0,308	41,692	28
133	26-Μαϊ	2,3	915	80,52		141	221,52	18,12	0,5	0,044	18,076	27,5
134	27-Μαϊ					135	135	86,52	546	48,048	38,47	28
135	28-Μαϊ					108	108	27	3	0,264	26,736	28
136	29-Μαϊ					86	86	22	1,5	0,132	21,868	29
137	30-Μαϊ					60	60	26	0,5	0,044	25,956	29,5
138	31-Μαϊ					44	44	16			16	30

Σημείωση: Στις 27/4/2000 πρώτα πάρθηκε η ένδειξη του οργάνου και η στράγγιση και μετά κατεβάσαμε το ταμπλό του λυσιμέι τρου.

Πίνακας 21			Γλάστρα διαπνοής								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Διαπνοή (mm)	T (C)
0	14-Ιαν		400	35,2	202	237,2					10,5
1	15-Ιαν				224	224	13,2	141	12,408	0,792	12
2	16-Ιαν				220	220	4	41,5	3,652	0,348	12
3	17-Ιαν				218	218	2	17	1,496	0,504	7
4	18-Ιαν				216	216	2	6	0,528	1,472	16
5	19-Ιαν				214	214	2	4	0,352	1,648	9
6	20-Ιαν				213	213	1	1	0,088	0,912	7
7	21-Ιαν				212	212	1	0,5	0,044	0,956	10
8	22-Ιαν	9,5	370	32,56	211	233,56	1			1	8
9	23-Ιαν				218	218	15,56	159	13,992	1,568	10,5
10	24-Ιαν				212	212	6	33,5	2,948	3,052	13,5
11	25-Ιαν				210	210	2	5	0,44	1,56	6,5
12	26-Ιαν				209	209	1	2	0,176	0,824	4,5
13	27-Ιαν				208	208	1	1,5	0,132	0,868	11,5
14	28-Ιαν				207	207	1	1	0,088	0,912	12,5
15	29-Ιαν				206	206	1	0,5	0,044	0,956	13,5
16	30-Ιαν				205	205	1			1	14
17	31-Ιαν				203	203	2			2	15
18	1-Φεβ				201	201	2			2	19
19	2-Φεβ	5	710	62,48	200	262,48	1			1	16
20	3-Φεβ				224	224	38,48	396	34,848	3,632	16
21	4-Φεβ				216	216	8	73	6,424	1,576	11,5
22	5-Φεβ				213	213	3	6,5	0,572	2,428	15
23	6-Φεβ				210	210	3	1	0,088	0,912	18,5
24	7-Φεβ				209	209	1	0,5	0,044	0,956	16,5
25	8-Φεβ	7	560	49,28	208	257,28	1			1	17
26	9-Φεβ				218	218	39,28	394	34,672	4,608	20
27	10-Φεβ				211	211	7	42	3,696	3,304	15
28	11-Φεβ				209	209	2	4,5	0,396	1,604	13
29	12-Φεβ				207	207	2	2	0,176	1,824	12
30	13-Φεβ				200	200	7			7	10
31	14-Φεβ				196	196	4			4	16
32	15-Φεβ	6,2	620	54,56	193	247,56	3			3	9
33	16-Φεβ				216	216	31,56	341	30,008	1,552	13
34	17-Φεβ				204	204	12	118	10,384	1,616	13,5
35	18-Φεβ				199	199	5	14,5	1,276	3,724	11,5
36	19-Φεβ				197	197	2	7	0,616	1,384	17,5
37	20-Φεβ				193	193	4	1	0,088	3,912	15
38	21-Φεβ	9,7	355	30,36	192	222,36	1			1	8,5
39	22-Φεβ				205	205	17,36	139	12,232	5,128	7
40	23-Φεβ				198	198	7	68,5	6,028	0,972	8
41	24-Φεβ				194	194	4	4	0,352	3,648	9
42	25-Φεβ				189	189	5	2	0,176	4,824	12,5
43	26-Φεβ				188	188	1			1	16
44	27-Φεβ	5,6	665	58,52	182	240,52	6			6	13
45	28-Φεβ				204	204	36,52	354	31,152	5,368	6
46	29-Φεβ				193	193	11	114	10,032	0,968	10,5
47	1-Μαρ				190	190	3	16,5	1,452	1,548	17
48	2-Μαρ				187	187	3	5	0,44	2,56	18

Πίνακας 21 (συνεχίζεται)

Πίνακας 21 (συνέχεια)

Ημ.	Ημ/μία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν. οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Διαπνοή (mm)	T (C)
49	3-Μαρ				183	183	4	1	0,088	3,912	13
50	4-Μαρ	7,4	529	46,55	179	225,55	4			4	16,5
51	5-Μαρ				185	185	40,55	408	35,904	4,646	22
52	6-Μαρ				183	183	2	15,5	1,364	0,636	12
53	7-Μαρ				182	182	1	2	0,176	0,824	15,5
54	8-Μαρ				180	180	2			2	16,5
55	9-Μαρ	1,6	968	85,18	177	262,184	3			3	18
56	10-Μα				203	203	59,184	592	52,096	7,088	18
57	11-Μα				196	196	7	73	6,424	0,576	21
58	12-Μα				183	183	13	28	2,464	10,536	23
59	13-Μα				178	178	5	6,5	0,572	4,428	21
60	14-Μα	2,8	877	77,18	177	254,18	1			1	16
61	15-Μα				193	193	61,18	658	57,904	3,276	14,5
62	16-Μα				188	188	5	9,5	0,836	4,164	10
63	17-Μα				185	185	3			3	12,5
64	18-Μα	6,4	605	53,24	184	237,24	1			1	13
65	19-Μα				195	195	42,24	369	32,472	9,768	8
66	20-Μα				189	189	6	37	3,256	2,744	14,5
67	21-Μα				183	183	6	4,5	0,396	5,604	11,5
68	22-Μα				176	176	7			7	11
69	23-Μα	6	635	55,88	174	229,88	2			2	16
70	24-Μα				185	185	44,88	456	40,128	4,752	19
71	25-Μα				181	181	4	24,5	2,156	1,844	17,5
72	26-Μα				171	171	10	8	0,704	9,296	19
73	27-Μα				162	162	9	2,5	0,22	8,78	23
74	28-Μα	6,7	582	51,22	153	204,22	9			9	20,5
75	29-Μα				164	164	40,22	409	35,992	4,228	20
76	30-Μα				158	158	6	2,5	0,22	5,78	21
77	31-Μα	4,1	778	68,46	150	218,46	8			8	24
78	1-Απρ				161	161	57,46	572	50,336	7,124	22
79	2-Απρ				154	154	7	12	1,056	5,944	24
80	3-Απρ				147	147	7	2,5	0,22	6,78	18
81	4-Απρ	3,4	832	73,22	141	214,216	6			6	24,5
82	5-Απρ				152	152	62,216	568	49,984	12,232	24
83	6-Απρ				147	147	5	16	1,408	3,592	18
84	7-Απρ	4,7	733	64,5	140	204,5	7	0,5	0,044	6,956	18,5
85	8-Απρ				166	166	38,5	402	35,376	3,124	20,5
86	9-Απρ				162	162	4	16	1,408	2,592	21,5
87	10-Απ				160	160	2	0,5	0,044	1,956	17
88	11-Απ	3,5	824	72,51	158	230,512	2			2	16,5
89	12-Απ				173	173	57,512	511	44,968	12,544	17
90	13-Απ				169	169	4	4,5	0,396	3,604	23
91	14-Απ	4,3	763	67,14	162	229,144	7			7	25,5
92	15-Απ				181	181	48,144	416	36,608	11,536	26
93	16-Απ				158	158	23	2,5	0,22	22,78	26,5
94	17-Απ				149	149	9			9	23
95	18-Απ	3,1	854	75,15	143	218,152	6			6	23
96	19-Απ				170	170	48,152	445	39,16	8,992	21
97	20-Απ				161	161	9	4,5	0,396	8,604	24
98	21-Απ				139	139	22			22	24

Πίνακας 21 (συνεχίζεται)

Πίνακας 21 (συνέχεια)

Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Διαπνοή (mm)	T (C)
99	22-Απ	3	862	75,86	128	203,856	11			11	25
100	23-Απ				146	146	57,856	488	42,944	14,912	26
101	24-Απ				122	122	24	8,5	0,748	23,252	24
102	25-Απ				112	112	10	1	0,088	9,912	24
103	26-Απ				105	105	7			7	22
104	27-Απ	1,8	952	83,78	182	265,78	6			6	24,5
105	28-Απ				204	204	61,78	591	52,008	9,772	22
106	29-Απ				184	184	20	6	0,528	19,472	26
107	30-Απ				171	171	13	0,5	0,044	12,956	26
108	1-Μαϊ				159	159	12			12	22
109	2-Μαϊ	1,7	960	84,48	150	234,48	9			9	24,5
110	3-Μαϊ				189	189	45,48	489	43,032	2,448	18,5
111	4-Μαϊ				180	180	9	5,5	0,484	8,516	23,5
112	5-Μαϊ				173	173	7	3	0,264	6,736	24,5
113	6-Μαϊ				161	161	12			12	26
114	7-Μαϊ	1,6	968	85,18	146	231,184	15			15	25,5
115	8-Μαϊ				187	187	44,184	473	41,624	2,56	26
116	9-Μαϊ				175	175	12	3,5	0,308	11,692	26,5
117	10-Μαϊ	1,5	975	85,8	166	251,8	9			9	27
118	11-Μαϊ				186	186	65,8	601	52,888	12,912	27,5
119	12-Μαϊ				177	177	9	8,5	0,748	8,252	28,5
120	13-Μαϊ				169	169	8	2	0,176	7,824	31
121	14-Μαϊ	1,8	952	83,78	162	245,78	7			7	23,5
122	15-Μαϊ				179	179	66,78	586	51,568	15,212	26
123	16-Μαϊ				160	160	19	9	0,792	18,208	23,5
124	17-Μαϊ	1,7	960	84,48	148	232,48	12			12	27,5
125	18-Μαϊ	6,7	582	51,22	165	216,22	67,48	512	45,056	22,424	29,5
126	19-Μαϊ				160	160	56,22	284	24,992	31,228	28,5
127	20-Μαϊ				149	149	11	1,5	0,132	10,868	31
128	21-Μαϊ	1,4	982	86,42	140	226,42	9			9	30,5
129	22-Μαϊ				158	158	68,42	411	36,168	32,252	27,5
130	23-Μαϊ				143	143	15	1	0,088	14,912	27,5
131	24-Μαϊ				126	126	17			17	27
132	25-Μαϊ	1,5	975	85,8	108	193,8	18			18	29,5
133	26-Μαϊ	2,2	923	81,22	133	214,22	60,8	477	41,976	18,824	29
134	27-Μαϊ				134	134	80,22	558	49,104	31,116	28,5
135	28-Μαϊ				125	125	9	2,5	0,22	8,78	30
136	29-Μαϊ				121	121	4			4	30,5
137	30-Μαϊ				112	112	9			9	30,5
138	31-Μαϊ				104	104	8			8	31,5

Σημείωση: Στις 27/4/2000 πρώτα πάθηκε η ένδειξη του οργάνου και η στράγγιση και μετά κατεβάσαμε το ταμπλό του λυσιμέτρου. Στη γλάστρα Διαπνοής δεν λαμβάνουμε υπόψη τη βροχόπτωση, αφού το αλουμινοχαρτο καλύπτει την επιφάνεια του χώματος, με αποτέλεσμα το νερό της βροχής να στέκεται πάνω στο αλουμινοχαρτο και να εξατμίζεται. Το νερό της βροχής δεν μπορεί να διαπεράσει το αλουμινοχαρτο και να εισέλθει μέσα στο χώμα.



Πίνακας 22			Γλάστρα Μάρτυρας									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν. οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Εξά- τμηση (mm)	Τ (C)
0	14-Ιαν		400	35,2		194	229,2					9,5
1	15-Ιαν					200	200	29,2	322	28,336	0,86	12
2	16-Ιαν					197	197	3	31	2,728	0,272	13
3	17-Ιαν					196	196	1	1,5	0,132	0,868	6,5
4	18-Ιαν				3	193	196	3			3	13
5	19-Ιαν					195	195	1	9	0,792	0,208	8,5
6	20-Ιαν					194	194	1	0,5	0,044	0,956	7
7	21-Ιαν	9	400	35,2		193	228,2	1			1	10
8	22-Ιαν					218	218	10,2	89	7,832	2,368	9
9	23-Ιαν					212	212	6	35,5	3,124	2,876	12,5
10	24-Ιαν					202	202	10	17	1,496	8,504	14,5
11	25-Ιαν	9	400	35,2		201	236,2	1			1	5,5
12	26-Ιαν					218	218	18,2	183	16,104	2,1	3
13	27-Ιαν					212	212	6	48	4,224	1,776	10
14	28-Ιαν					209	209	3	2,5	0,22	2,78	12
15	29-Ιαν					204	204	5			5	13
16	30-Ιαν					200	200	4			4	14,5
17	31-Ιαν					193	193	7			7	15,5
18	1-Φεβ					187	187	6			6	18,5
19	2-Φεβ	1,5	975	85,8		184	269,8	3			3	16,5
20	3-Φεβ				1	215	216	54,8	547	48,136	6,66	13,5
21	4-Φεβ					206	206	10	56,5	4,972	5,028	9,5
22	5-Φεβ					203	203	3	2	0,176	2,824	13
23	6-Φεβ					192	192	11			11	17
24	7-Φεβ	3	861	75,77		185	260,768	7			7	15,5
25	8-Φεβ					202	202	58,768	625	55	3,768	16,5
26	9-Φεβ					195	195	7	2,5	0,22	6,78	17
27	10-Φεβ					189	189	6			6	13,5
28	11-Φεβ	5,4	680	59,84	3	187	249,84	2			2	12,5
29	12-Φεβ				2	189	191	60	602	52,976	7,02	11,5
30	13-Φεβ				1	180	181	11	18	1,584	9,416	9,5
31	14-Φεβ				1	169	170	12	15,5	1,364	10,636	15
32	15-Φεβ					167	167	3	4,5	0,396	2,604	8,5
33	16-Φεβ					166	166	1			1	12
34	17-Φεβ				2	161	163	5			5	13
35	18-Φεβ					162	162	1	7	0,616	0,384	10,5
36	19-Φεβ					160	160	2	1	0,088	1,912	16,5
37	20-Φεβ	2,4	907	79,82		153	232,816	7			7	14,5
38	21-Φεβ				4	184	188	48,816	538	47,344	1,476	7
39	22-Φεβ					183	183	5	28,5	2,508	2,492	6,5
40	23-Φεβ				1	179	180	4	8	0,704	3,296	8,5
41	24-Φεβ					174	174	6	6	0,528	5,472	8
42	25-Φεβ					166	166	8			8	12
43	26-Φεβ					161	161	5			5	16
44	27-Φεβ	2,4	907	79,82	3	152	234,816	9			9	12
45	28-Φεβ				2	187	189	45	466	41,008	3,99	5,5
46	29-Φεβ					185	185	4	24,5	2,156	1,844	9
47	1-Μαρ					181	181	4	3,5	0,308	3,692	16,5
48	2-Μαρ	3	862	75,86		177	252,856	4			4	16,5

Πίνακας 22 (συνεχίζεται)

Πίνακας 22 (συνέχεια)

Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν. οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Εξά- τμιση (mm)	T (C)
49	3-Μαρ					195	195	57,856	510	44,88	12,976	12
50	4-Μαρ					187	187	8	16,5	1,452	6,548	16
51	5-Μαρ	2,5	899	79,11		179	258,112	8			8	19,5
52	6-Μαρ					186	186	72,112	521	45,848	26,262	11,5
53	7-Μαρ					170	170	16	3	0,264	15,736	13,5
54	8-Μαρ	2,3	915	80,52		163	243,52	7			7	17
55	9-Μαρ					175	175	68,52	617	54,296	14,22	18,5
56	10-Μα					159	159	16	1,5	0,132	15,868	17,5
57	11-Μα	2,1	930	81,84		157	238,84	2			2	21,5
58	12-Μα					166	166	72,84	596	52,448	20,39	22,5
59	13-Μα					153	153	13	4	0,352	12,648	20
60	14-Μα	1,5	975	85,8		135	220,8	18			18	15
61	15-Μα					175	175	45,8	494	43,472	2,33	14
62	16-Μα				9	167	176	8	2,5	0,22	7,78	8,5
63	17-Μα					170	170	6	57	5,016	0,984	11
64	18-Μα				6	167	173	3	1,5	0,132	2,868	12
65	19-Μα					163	163	10	39	3,432	6,568	8,5
66	20-Μα					155	155	8	2	0,176	7,824	14
67	21-Μα	3,8	802	70,58		143	213,576	12			12	11
68	22-Μα					178	178	35,576	281	24,728	10,846	10,5
69	23-Μα					160	160	18	137	12,056	5,94	15
70	24-Μα	2,3	915	80,52		139	219,52	21	64	5,632	15,368	18,5
71	25-Μα					173	173	46,52	507	44,616	1,9	18
72	26-Μα					150	150	23	13,5	1,188	21,812	18,5
73	27-Μα	3,8	802	70,58		128	198,576	22	1	0,088	21,912	22
74	28-Μα					146	146	52,576	504	44,352	8,226	21
75	29-Μα					120	120	26	7,5	0,66	25,34	18
76	30-Μα	4	787	69,26		115	184,256	5			5	19
77	31-Μα					139	139	45,256	418	36,784	8,476	23
78	1-Απρ					125	125	14	56,5	4,972	9,028	21
79	2-Απρ	2,2	923	81,22		106	187,224	19			19	23,5
80	3-Απρ					138	138	49,224	469	41,272	7,954	18,5
81	4-Απρ				1	109	110	29	6,5	0,572	28,428	26,5
82	5-Απρ					108	108	2	4	0,352	1,648	22,5
83	6-Απρ	2,2	923	81,22		97	178,224	11	0,5	0,044	10,956	17
84	7-Απρ					120	120	58,224	539	47,432	10,794	17,5
85	8-Απρ	2,4	907	79,82		116	195,816	4	1,5	0,132	3,868	17
86	9-Απρ					132	132	63,816	558	49,104	14,716	20
87	10-Απ	2,6	892	78,5		103	181,496	29	5	0,44	28,56	16
88	11-Απ					118	118	63,496	542	47,696	15,796	16
89	12-Απ					111	111	7	2	0,176	6,824	16,5
90	13-Απ	6,4	600	52,8		107	159,8	4			4	22
91	14-Απ					98	98	61,8	412	36,256	25,54	24,5
92	15-Απ					91	91	7	1	0,088	6,912	25
93	16-Απ	1,4	982	86,42		76	162,416	15			15	27
94	17-Απ					92	92	72,416	536	47,168	25,246	24
95	18-Απ					72	72	20	3	0,264	19,736	24
96	19-Απ	2	938	82,54		63	145,544	9			9	22
97	20-Απ					97	97	48,544	438	38,544	10,004	25
98	21-Απ					65	65	32	219	19,272	12,73	23

Πίνακας 22 (συνεχίζεται)

Πίνακας 22 (συνέχεια)

Ημ.	Ημ/νία 2000	Υγρ. Εδ. % κ.ο.	Αρδ. (ml)	Αρδ. (mm)	Βρ. (mm)	Ένδ. οργ. (mm)	Αρδ.&Έν. οργ.&βρ. (mm)	Μετ. Έν. οργ. (mm)	Στρά- γγιση (ml)	Στρά- γγιση (mm)	Εξά- τμιση (mm)	T (C)
99	22-Απ	1,2	998	87,82		53	140,824	12			12	26
100	23-Απ					90	90	50,824	482	42,416	8,404	25
101	24-Απ					71	71	19	129	11,352	7,65	25
102	25-Απ					67	67	4	3	0,264	3,736	23,5
103	26-Απ					56	56	11			11	21
104	27-Απ	1,3	990	87,12		164	251,12	6			6	24
105	28-Απ					190	190	61,12	494	43,472	17,65	23
106	29-Απ					171	171	19	147	12,936	6,06	27
107	30-Απ					152	152	19	1,5	0,132	18,868	25,5
108	1-Μαϊ				4	138	142	14			14	23
109	2-Μαϊ	1,2	998	87,82		130	217,824	12	12,5	1,1	10,9	26
110	3-Μαϊ					171	171	46,824	502	44,176	2,644	19
111	4-Μαϊ					159	159	12	87	7,656	4,344	24
112	5-Μαϊ					148	148	11	0,5	0,044	10,956	25,5
113	6-Μαϊ					133	133	15			15	25
114	7-Μαϊ	1,4	982	86,42		119	205,416	14			14	27
115	8-Μαϊ					170	170	35,416	341	30,008	5,406	25,5
116	9-Μαϊ					147	147	23	57,5	5,06	17,94	27
117	10-Μαϊ	1,4	982	86,42		130	216,416	17	2	0,176	16,824	28
118	11-Μαϊ					145	145	71,416	489	43,032	28,386	28,5
119	12-Μαϊ					120	120	25	67	5,896	19,104	30
120	13-Μαϊ				9	118	127	2			2	30,5
121	14-Μαϊ					124	124	3	4,5	0,396	2,604	24
122	15-Μαϊ					122	122	2	3	0,264	1,736	26,5
123	16-Μαϊ					121	121	1	1	0,088	0,912	25
124	17-Μαϊ	1,3	990	87,12		120	227,12	1			1	28
125	18-Μαϊ	6,6	590	51,92		151	202,92	76,12	636	55,968	20,15	31
126	19-Μαϊ					163	163	59,92	371	32,648	27,27	30
127	20-Μαϊ					132	132	31	18,5	1,628	29,372	30,5
128	21-Μαϊ	1,2	998	87,82		116	203,824	16	1	0,088	15,912	32
129	22-Μαϊ	1,5	975	85,8		163	248,8	40,824	314	27,632	13,194	29
130	23-Μαϊ				2	156	158	92,8	640	56,32	36,48	27
131	24-Μαϊ					140	140	18	5	0,44	17,56	28
132	25-Μαϊ	1,2	998	87,82		122	209,824	18			18	30
133	26-Μαϊ	1,9	945	83,16		170	253,16	39,824	372	32,736	7,084	30
134	27-Μαϊ					168	168	85,16	647	56,936	28,22	29
135	28-Μαϊ					147	147	21	18,5	1,628	19,372	29,5
136	29-Μαϊ					130	130	17	3	0,264	16,736	31
137	30-Μαϊ					116	116	14			14	31
138	31-Μαϊ					107	107	9			9	32

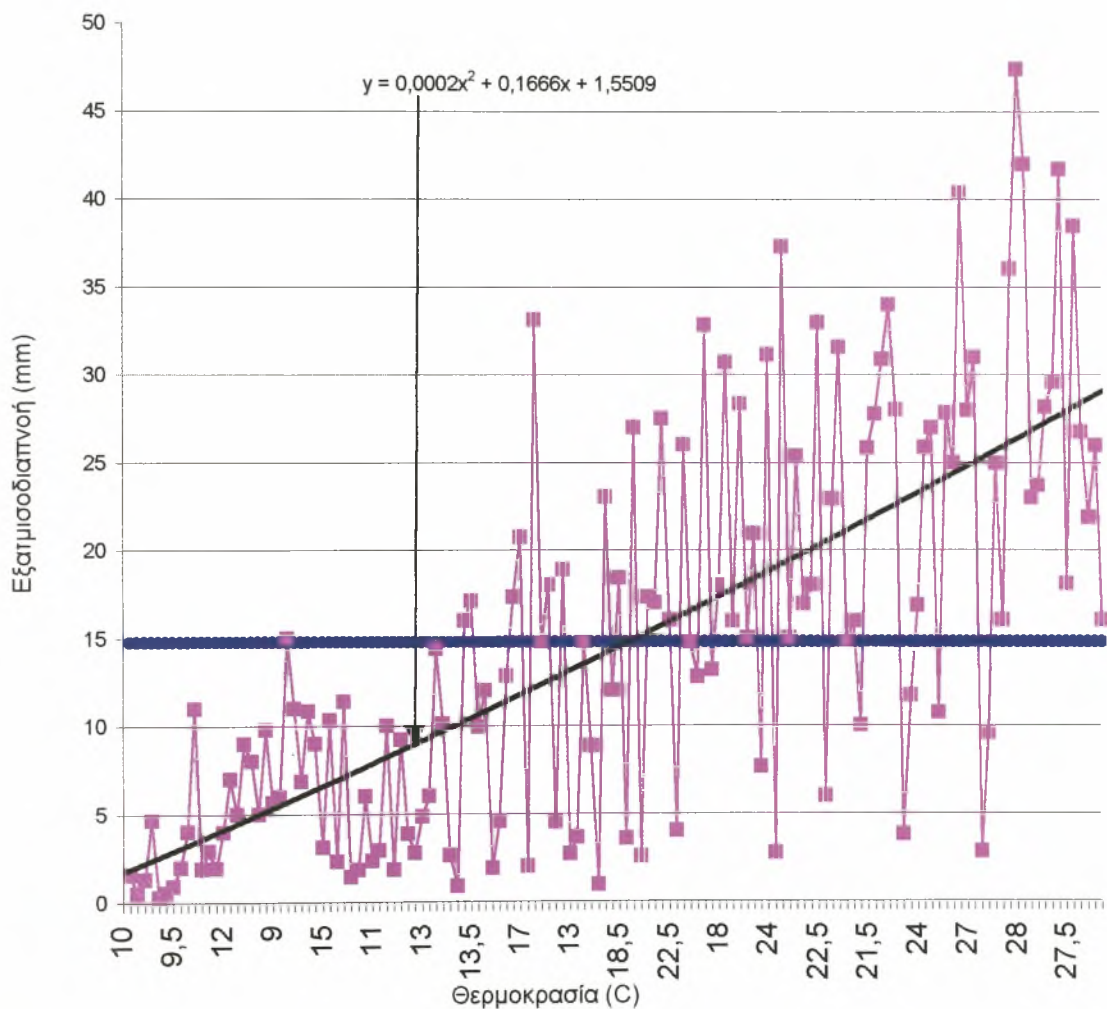
Σημείωση: Στις 27/4/2000 πρώτα πάρθηκε η ένδειξη του οργάνου και η στράγγιση και μετά κατεβάσαμε το ταμπλό του υ λυσιμέτρου.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

## Γραφήματα Εξατμισοδιαπνοής, Εξάτμισης και Διαπνοής.

Γράφημα 1 : Γλάστρα εξατμισοδιαπνοής με θερμοκρασία

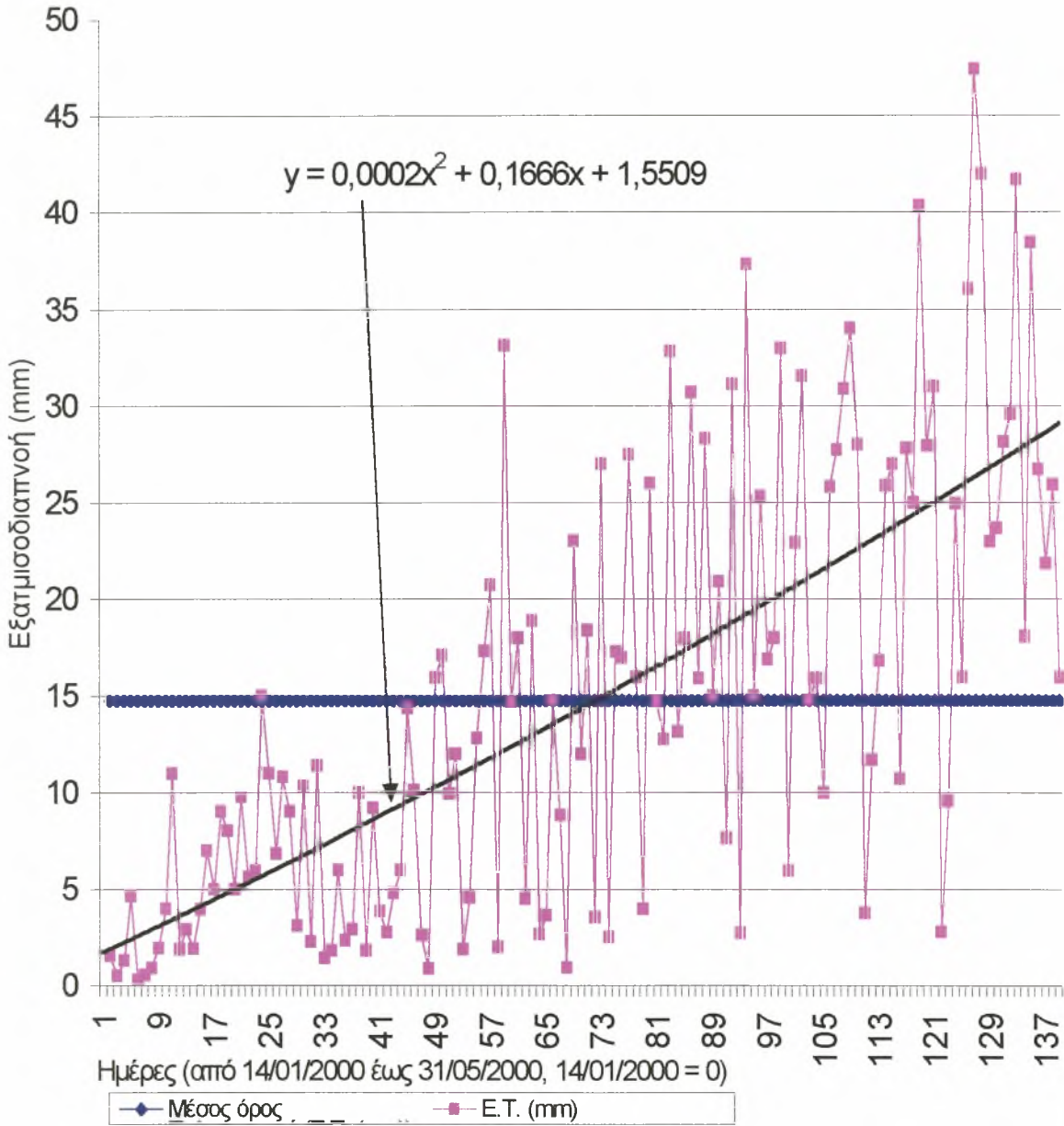


● Μέσος όρος

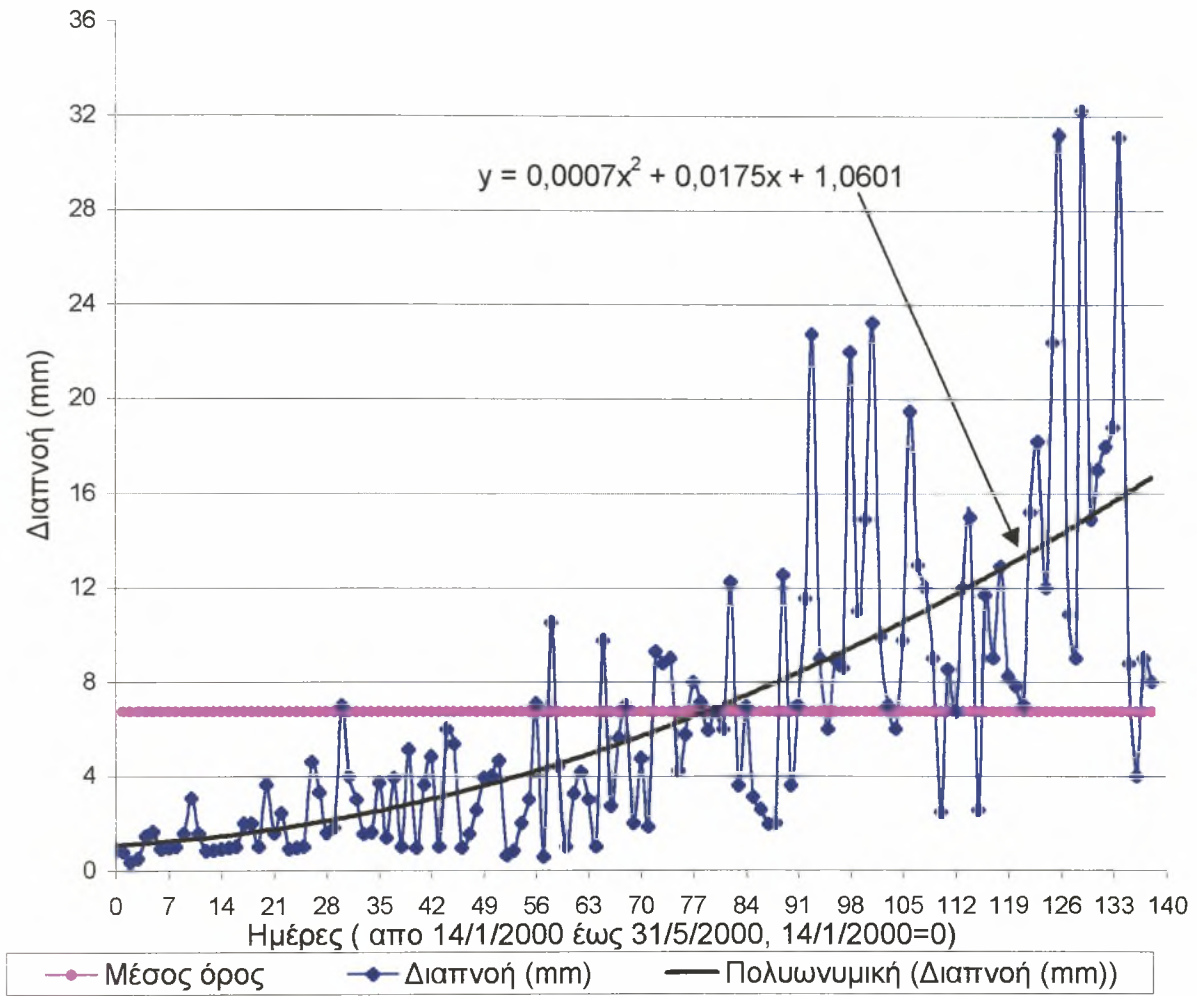
■ Ε.Τ. (mm)

— Πολυωνυμική (Ε.Τ. (mm))

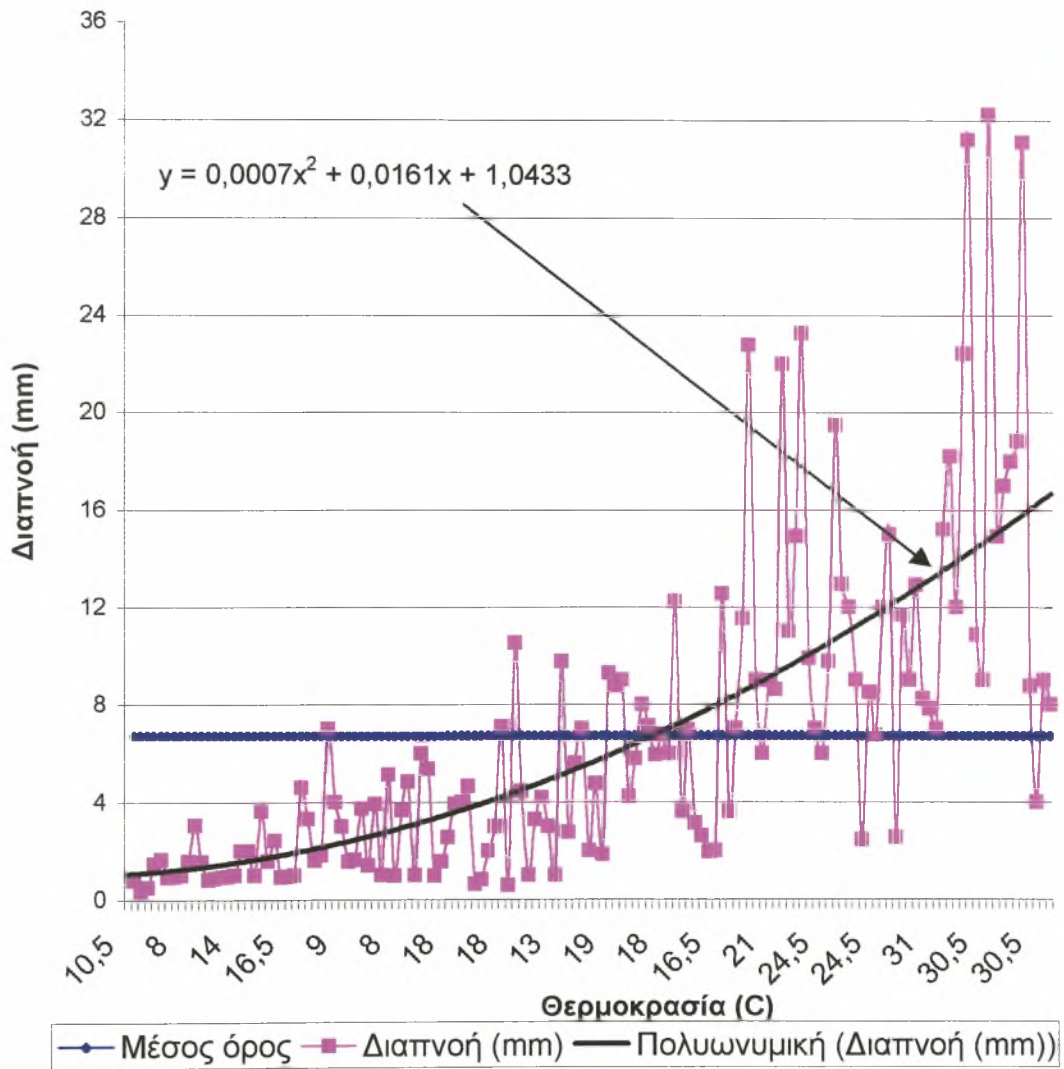
Γράφημα 2 : Γλάστρα εξαμισοδιαπνοής



Γράφημα 3 : Γλάστρα διαπνοής

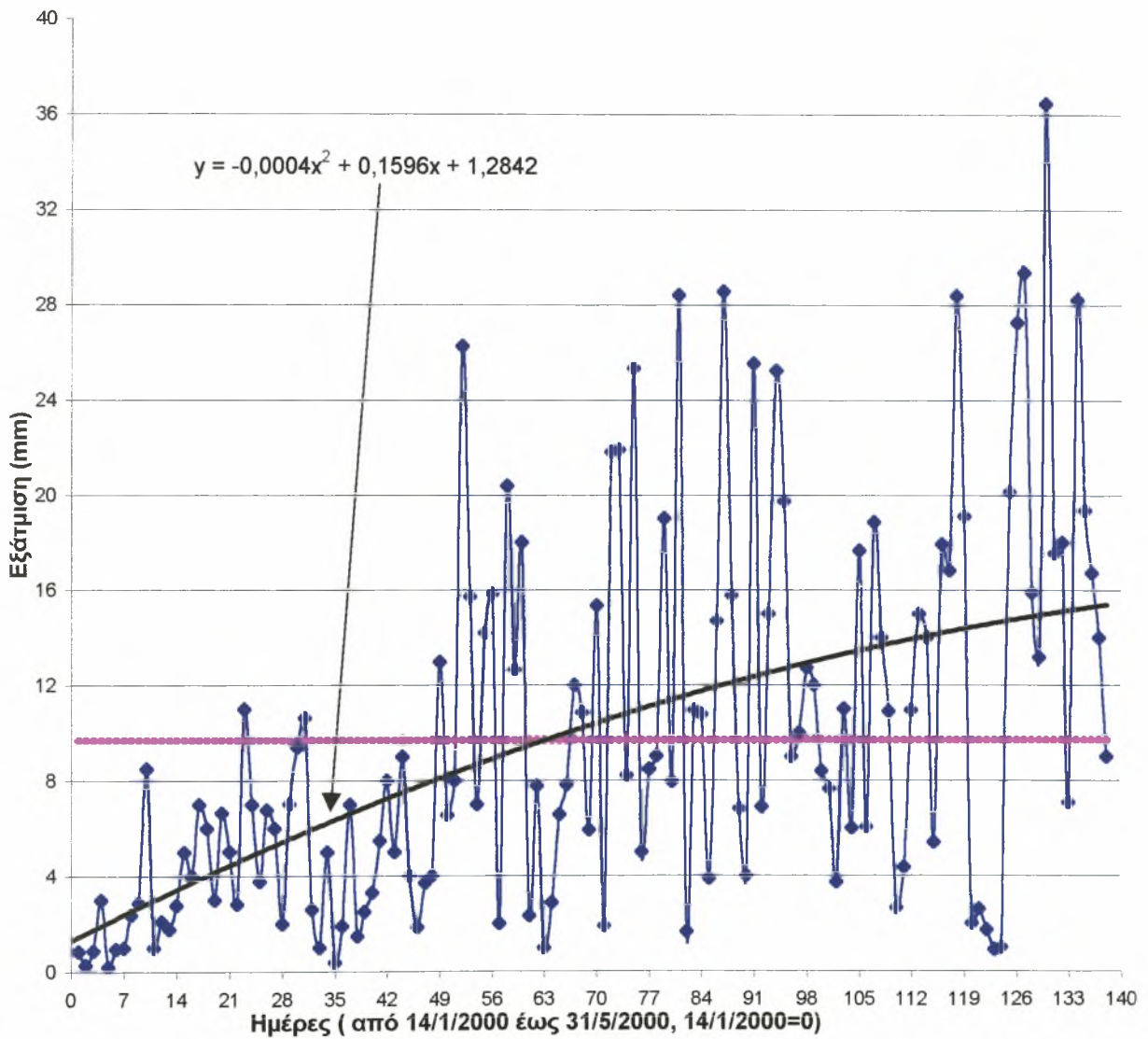


Γράφημα 4 : Γλάστρα διαπνοής με θερμοκρασία



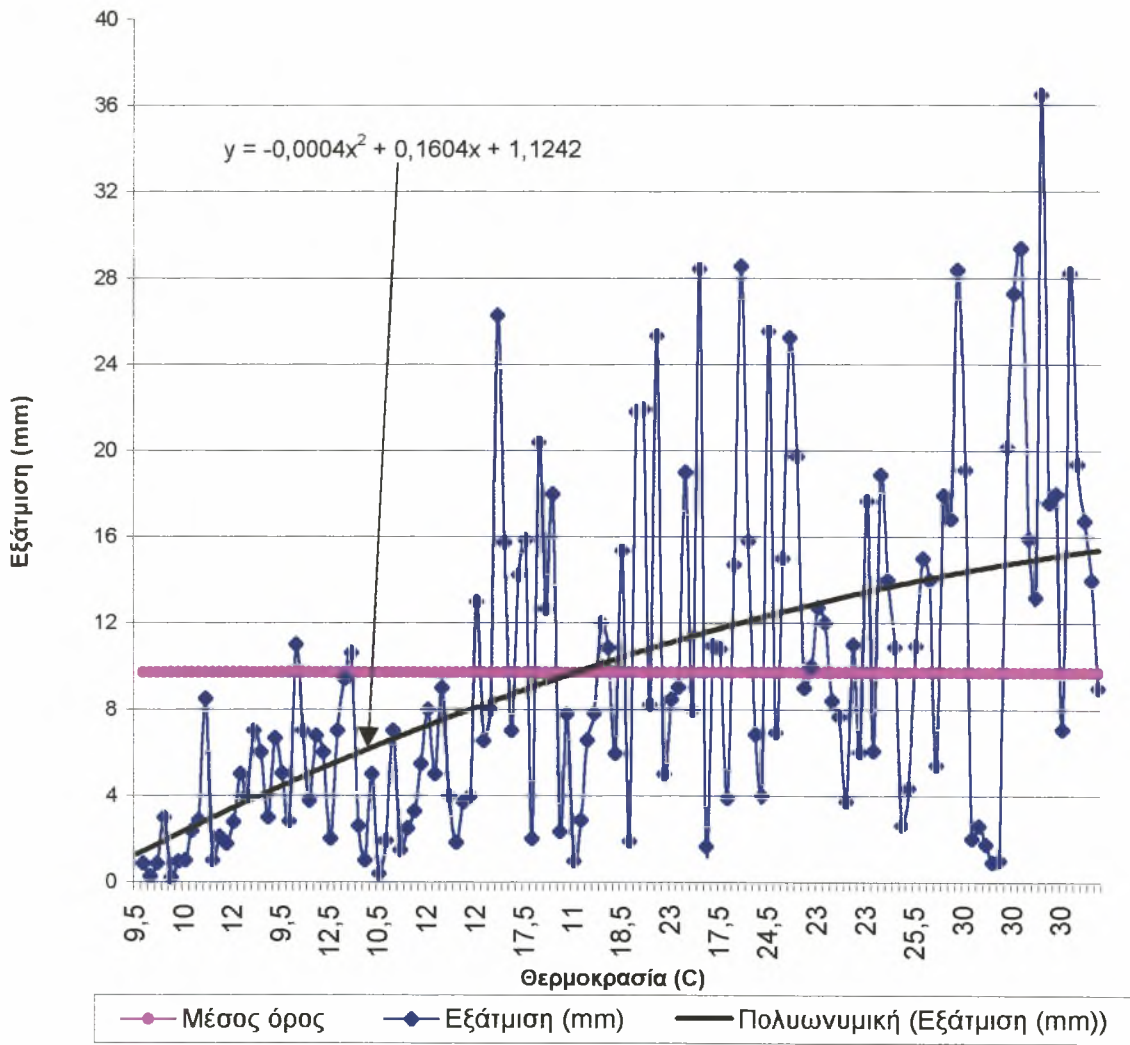


Γράφημα 5 : Γλάστρα μάρτυρας

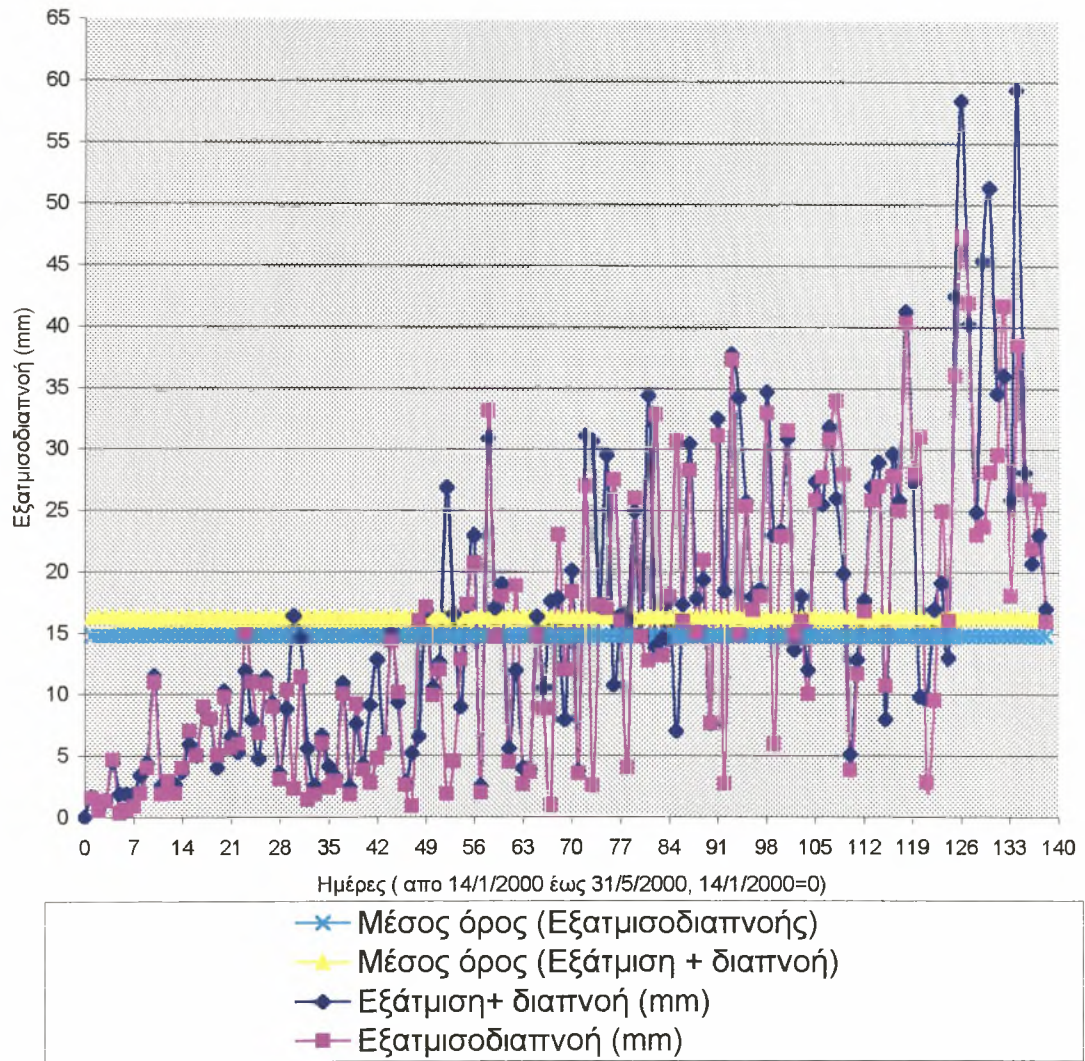


- Μέσος όρος
- ◆ Εξάτμιση (mm)
- Πολυωνυμική (Εξάτμιση (mm))

Γράφημα 6 : Γλάστρα μάρτυρα με θερμοκρασία



Γράφημα 7: Σύγκριση τιμών Εξατμισοδιαπνοής και Εξάτμιση+ Διαπνοή



## Παράρτημα 2.



Εικόνα 1: Το σύστημα του λυσιμέτρου με τη γλάστρα



Εικόνα 2: Το ταμπλό του λυσιμέτρου.



Εικόνα 3: Η βάση του λυσιμέτρου.



Εικόνα 4: Οι 3 γλάστρες τοποθετημένες εκτός του εργαστηρίου.



Εικόνα 5: Η συσκευή του βροχομέτρου.



Εικόνα 6: Το χωνί του βροχομέτρου στο οποίο συλλέγεται το νερό της βροχής.



Εικόνα 7: Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος του βροχομέτρου.



Εικόνα 8: Η μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο του TDR.



Εικόνα 9: Η γλάστρα εξάτμισης.



Εικόνα 10: Ο χώρος πειράματος στις 17/1/2000.





Εικόνα 11: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 18/1/2000.



Εικόνα 12: Η συσκευή του TDR.



Εικόνα 13: Το φυτό στη γλάστρα εξαμισοδιαπνοής στις 27/2/2000.



Εικόνα 14: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 27/2/2000.



Εικόνα 15: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 10/3/2000.



Εικόνα 16: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής στις 10/3/2000.



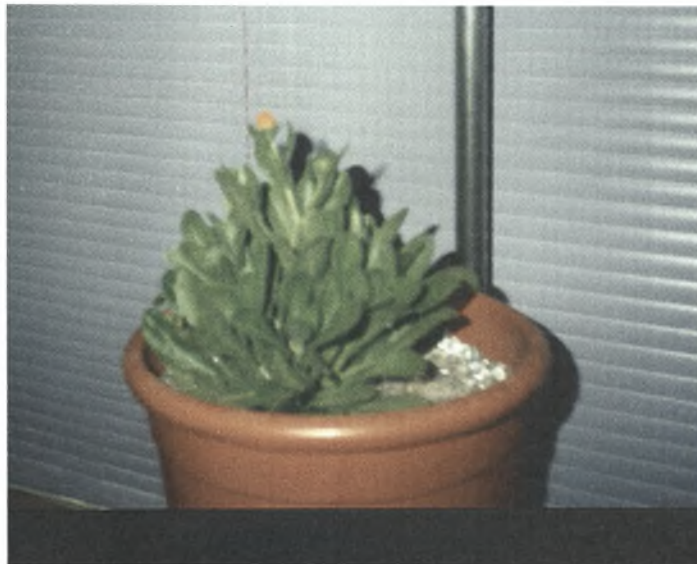
Εικόνα 17: Το φυτό στη γλάστρα εξαμισοδιαπνοής στις 17/3/2000.



Εικόνα 18: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 25/3/2000.



Εικόνα 19: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής στις 16/4/2000.



Εικόνα 20: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 16/4/2000.



Εικόνα 21: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 20/4/2000.



Εικόνα 22: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής στις 20/4/2000.



Εικόνα 23: Το φυτό στη γλάστρα εξαμισοδιαπνοής στις 30/4/2000.



Εικόνα 24: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 30/4/2000.



Εικόνα 25: Το φυτό στη γλάστρα εξαμυσοδιαπνοής στις 3/5/2000.



Εικόνα 26: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 24/5/2000.





Εικόνα 27: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής στις 6/5/2000.



Εικόνα 28: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 6/5/2000.



Εικόνα 29: Το φυτό στη γλάστρα εξατμισοδιαπνοής στις 26/5/2000.



Εικόνα 30: Το φυτό στη γλάστρα διαπνοής στις 26/5/2000.,

## Βιβλιογραφία

- 1) Allen R.G. and Pruitt. W. O. 1991  
FAO-24 reference evapotranspiration factors. J. Irrig. Drain. Div, ASCE.  
758-773.
- 2) Crop evapotranspiration, Guidelines for computing crop water requirements.  
Rome 1998.  
R. G. Allen ,M. Smith, D. Raes and L. S. Pereira..
- 3) Μεθοδολογία εκτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής για τον ορθολογικό  
σχεδιασμό των αρδευτικών έργων.  
Αθήνα 1991.  
Η. Βασιλόπουλος.  
Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών  
Μηχανικών.
- 4) Estimation of FAO evapotranspiration coefficients, J. Irrig and Drain. Eng. ASCE.  
265-270, 1983  
B. C. Braaten R. W. Hill and D.K. Frevert
- 5) Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No 24.  
Rome 1977.  
J. Doorenbos and W. O. Pruitt.
- 6) Τα προβλήματα της Θεσσαλίας.  
Λάρισα, 1979.  
Κ. Κούγκουλος.  
Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε.
- 7) Ανθοκομία. Ετήσια Φυτά Άνοιξης για την Αρχιτεκτονική και Αρχιτεκτονική του  
τοπίου.  
Θεσσαλονίκη 1991.  
Ν. Α. Κανταρτζή.  
Τόμος 1.
- 8) Υπολογισμός παραμέτρων της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας αναφοράς.  
Χ. Μπαμπατζιμόπουλος και Σ. Κωτσόπουλος.  
Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου ΕΥΕ, σελ. 482-489, 1995.
- 9) Μέσες ανάγκες σε νερό των εαρινών καλλιεργειών της λεκάνης απορροής του  
ποταμού Λουδία.

Α. Πανώρας και Ι. Μαυρουδής.

Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα. Τόμος 6, τεύχος , σελ. 53-61, 1995.

10) Προσδιορισμός φυτικών συντελεστών προσαρμοσμένων στις Ελληνικές συνθήκες.

Z. Γ. Παπαζαφειρίου.

Υπουργείο Γεωργίας, σελ. 28, 1991.

11) Ανάγκες της Θεσσαλίας σε νερό για αρδεύσεις και υδρέυσεις ζώων.

Λάρισα, 1979.

Ι. Πατμανίδης.

Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε.

12) Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας με τη μέθοδο TDR και στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων.

Μ. Σακελλαρίου -Μακραντωνάκη, Δ. Καλφούντζος και Χ. Τζιμόπουλος. 1997.

Έβδομο Πανελλήνιο Συνέδριο Ε. Υ. Ε. Πάτρα 1997, Πρακτικά, σελ. 184-192.

13) Χάρτες κατανομής της μέσης ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης των Νομών Τρικάλων και Καρδίτσας.

Μ. Σακελλαρίου -Μακραντωνάκη, Θ. Πογιαρίδης, Ι. Μαυρουδής, Ν. Μανούδης και Α. Πανώρας.

Διεθνές Επιστημονικό συνέδριο " Διαχείριση Υδατικών Πόρων ", Λάρισα Νοέμβριος του 1996 Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα, Νοέμβριος 1996.

14) Καμπύλες ίσων τιμών Εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και βροχόπτωσης στο νομό Λάρισας.

Μ. Σακελλαρίου -Μακραντωνάκη, Θ. Πογιαρίδης, Ι. Μαυρουδής, Ν. Μανούδης και Α. Πανώρας.

Β' Πανελλήνιο Συνέδριο " Εγγειοβελτιωτικά Έργα- Διαχείριση Υδατικών Πόρων- Εκμηχάνιση Γεωργίας". ΓΕΩΤΕΕ Περιφερειακό Παράρτημα Κεντρικής Ελλάδας. Λάρισα 1996.

15) Συνολικές ανάγκες σε νερό των καλλιεργειών του Θεσσαλικού κάμπου.

Μ. Σακελλαρίου -Μακραντωνάκη.

" Υδροτεχνικά" Τόμος 6, σελ. 62 -77, 1996.

- 16) Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Γεωργικής Υδραυλικής, Υδρολογίας και Αρδεύσεων.  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 1993.  
Μ. Σακελλαρίου -Μακραντωνάκη.
- 17) Αρωματικά, φαρμακευτικά και μελισσοτροφικά φυτά της Ελλάδας.  
Θεσσαλονίκη 1998.  
Β. Σκουμπής.
- 18) Μέτρηση της βασικής εξατμισοδιαπνοής με λυσίμετρο.  
Βόλος 1999.  
Πτυχιακή διατριβή.  
Του φοιτητή Α. Σιούλα.
- 19) Γεωργική Υδραυλική.  
Θεσσαλονίκη 1987.  
Γ. Α. Τερζίδης και Ζ. Γ. Παπαζαφειρίου.
- 20) Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων.  
Θεσσαλονίκη 1984.  
Γ. Α. Τερζίδης και Ζ. Γ. Παπαζαφειρίου.
- 21) Συντονισμένο πρόγραμμα για την ανάπτυξη και προσαρμογή μεθόδων εκτίμησης του υδατικού δυναμικού της χώρας.  
ΥΕΕΤ ( Υπηρεσία Επιστημονικής Ερεύνης και τεχνολογίας ).  
Τεχνική Έκθεση, αρ. 4, σελ. 88, 1980.
- 22) Υπολογισμός των αναγκών σε νερό για άρδευση στο Θεσσαλικό χώρο.  
Λάρισα, 1979.  
Γ. Χατζηλάκος.  
Πρακτικά Συνεδρίου Υδάτινου Δυναμικού Θεσσαλίας, Τ.Ε.Ε.

