

Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων / Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Πτυχιακή εργασία

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΔΕΥΣΗΣ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ



Παππάς Κωνσταντίνος | Οικονόμου Γεώργιος | Τενέδιος Αντώνιος - Γεώργιος

Άρτα 2015

Εκπαιδευτικό ίδρυμα:	Τ.Ε.Ι. Ηπείρου
Τμήμα:	Τεχνολόγων Γεωπόνων Κατ. Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου
Τίτλος:	<b>Αξιολόγηση διαφορετικών προσεγγίσεων διαχείρισης αυτόματων συστημάτων άρδευσης χλοοτάπητα</b>
Σπουδαστές:	Παππάς Κωνσταντίνος Οικονόμου Γεώργιος Τενέδιος Αντώνιος - Γεώργιος
ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:	Τσιρογιάννης Ιωάννης Επίκουρος Καθηγητής, Τμ. ΑΑΤ ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ
Περιοχή:	ΑΡΤΑ
Έτος:	2015

### ***Ευχαριστίες***

Η ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη και υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Ιωάννη Τσιρογιάννη στον οποίο θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μας. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους εργαστηριακούς συνεργάτες και τους συμφοιτητές μας για την πολύτιμη βοήθεια τους στην εκπόνηση της πτυχιακής μας.

## Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ .....	8
ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	8
Συστήματα κατανομής και διανομής νερού.....	8
Τεχνητή βροχή ή καταιονισμός.....	9
Πρόγραμμα άρδευσης.....	11
Αυτοματισμοί.....	14
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	18
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ.....	18
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	19
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ .....	21
Ποικιλία χλοοτάπητα.....	25
Αρδευτικό σύστημα .....	25
Πρόγραμμα άρδευσης.....	27
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	29
1_C Μεταχείριση αναφοράς .....	29
2_R Μεταχείριση με αισθητήρα βροχής .....	30
4_M Μεταχείριση με αισθητήρα υγρασίας εδάφους.....	30
5_TCL Μεταχείριση με αισθητήρα εξατμισοδιαπνοής .....	31
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ .....	32
Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας.....	32
Μέτρηση υγρασίας εδάφους.....	33
Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού).....	34
ΠΟΣΟΤΙΚΗ & ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ.....	34
Κοπές και ξηρό βάρος για αξιολόγηση ανάπτυξης.....	34
Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών .....	35
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
Καιρικές συνθήκες .....	40
Υγρασία υποστρώματος .....	40

Αθροιστική κατανάλωση νερού.....	45
Ανάπτυξη χλοοτάπητα (ξηρό βάρος κοπών) .....	45
Οπτική αξιολόγηση ποιότητας χλοοτάπητα (PRI).....	46
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	48
Άλλα συμπεράσματα .....	49
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	51

## Εικόνες

Εικόνα 1 Αναμενόμενη αλλαγή στη διαθεσιμότητα νερού για άρδευση στην περιοχή της Μεσογείου έως το 2010 (πηγή: CMMC, 2013).....	5
Εικόνα 2 Σύστημα τεχνητής βροχής σε πειραματικό τεμάχιο .....	9
Εικόνα 3 Από αριστερά προς τα δεξιά: περιστροφικοί, στατικοί και πολυακτινικοί εκτοξευτήρες.....	10
Εικόνα 4 Κεφαλή προς κεφαλή τετράγωνη κατανομή (πηγή: Μπαμπίλης, 2004) .....	11
Εικόνα 5 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Σιμογιάννης, 2007) .....	13
Εικόνα 6 Διάταξη συστήματος άρδευσης με καταιονισμό με έλεγχο από προγραμματιστή.....	14
Εικόνα 7 Βασικά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου προγραμματιστή άρδευσης .....	15
Εικόνα 8 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: <a href="http://www.hellogreece.gr">www.hellogreece.gr</a> ) .....	18
Εικόνα 9 Δορυφορική εικόνα της Τεχνόπολης του ΤΕΙ Ηπείρου στους Κωστακιούς Άρτας (πηγή: GoogleEarth, 2014).....	19
Εικόνα 10 Ομβροθερμικό διάγραμμα Άρτας.....	20
Εικόνα 11 Γενική άποψη της εγκατάστασης πειραματικής αξιολόγησης από ΒΔ.....	21
Εικόνα 12 Γενική διάταξη του χώρου του πειράματος (1 από 2).....	22
Εικόνα 13 Γενική διάταξη του χώρου του πειράματος (2 από 2). Η μεταχείριση 3_5 δεν αποτελούσε αντικείμενο της πτυχιακής. ....	23
Εικόνα 14 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε).....	24
Εικόνα 15 Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε .....	25
Εικόνα 16 Διάταξη εκτοξευτήρων σε τυπικό τεμάχιο 2x6m.....	26
Εικόνα 17 Hunter 8A Pro .....	26
Εικόνα 18 Προγραμματιστής Orbit (εσωτερικός των 4 στάσεων).....	29
Εικόνα 19 Αισθητήρας βροχής .....	30
Εικόνα 20 Αισθητήρας εδαφικής υγρασίας TORO PRECISION SOIL SENSOR - PSS (πηγή: Sprinkler Warehouse, 2007) .....	31
Εικόνα 21 Προγραμματιστής Rain Dial (εσωτερικός των 6 στάσεων) και σύστημα Climate Logic. ....	32
Εικόνα 22 Μετεωρολογικός σταθμός.....	33
Εικόνα 23 Αισθητήρας ec5 και η σχετική περιοχή δείγματος (cobos, 2008).....	34
Εικόνα 24 Υδρόμετρα 1".....	34
Εικόνα 25 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα.....	35
Εικόνα 26 Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (Smith, 2001).....	36
Εικόνα 27 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του PRI (Gamon, 2014).....	37
Εικόνα 28 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (Cropscan, σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του Multispectral Radiometer 87).....	38
Εικόνα 29 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan.....	39
Εικόνα 30 Cropscan που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του πειράματος. ....	39

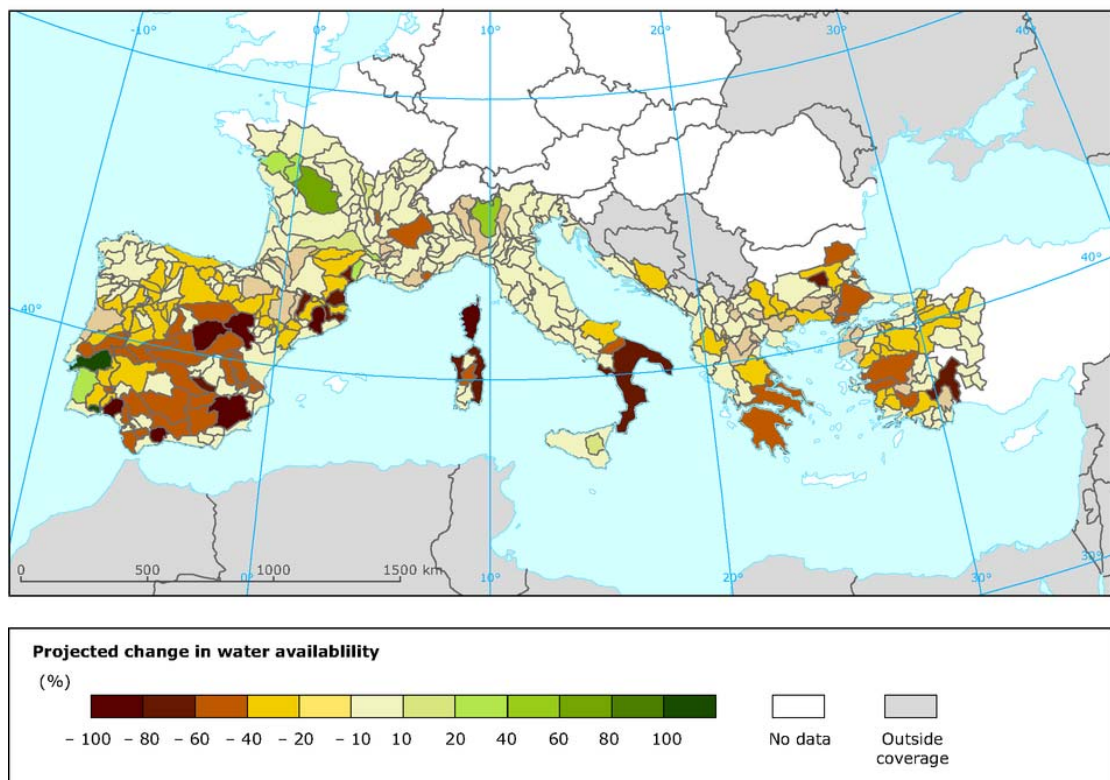
Εικόνα 31 Θερμοκρασίες και βροχόπτωση με βάση κλιματικά δεδομένα (ΕΜΥ, 2015) και μετρήσεις για καλοκαιρινές περιόδους 2014 και 2015 (ΜΕΤΕΟ.GR, 2015).....	41
Εικόνα 32 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Ιούνιο. ....	42
Εικόνα 33 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Ιούλιο. ....	43
Εικόνα 34 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Αύγουστο. ....	44
Εικόνα 35 Αθροιστική κατανάλωση νερού για άρδευση .....	45
Εικόνα 36 Ξηρό βάρος χλοοτάπητα.....	46
Εικόνα 37 Εξέλιξη του δείκτη PRIcropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης.....	47

## Πίνακες

Πίνακας 1 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves .....	28
Πίνακας 2 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης.....	29
Πίνακας 3 Καταγραφή καταναλώσεων σε λίτρα ανά τεμάχιο πειράματος από μεγαλύτερη προς μικρότερη κατανάλωση.....	48

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανθρωπότητα βιώνει σήμερα έντονη πίεση σχετικά με την αποτελεσματική αξιοποίηση των υδατικών πόρων και το νερό έχει αρχίσει να γίνεται ένας φυσικός πόρος σε ανεπάρκεια, ιδιαίτερα στις ξηροθερμικές περιοχές. Η ζήτηση του νερού για άρδευση είναι μεγάλη (στην Ελλάδα φθάνει το 70% της συνολικής χρήσης), ενώ η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης είναι χαμηλή (συχνά κάτω του 50%). Η ανάγκη για πιο αποτελεσματική χρήση του νερού άρδευσης είναι επιτακτική λόγω του ανταγωνισμού με τους άλλους χρήστες (ύδρευση και βιομηχανία) και της αυξανόμενης ανησυχίας για τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής (Εικόνα 1) αλλά και την επίδραση της άρδευσης στο περιβάλλον, αφού η εφαρμοζόμενη αρδευτική πρακτική, σε πολλές περιπτώσεις διευκολύνει την υποβάθμιση των υπόγειων και επιφανειακών νερών. Για να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα του νερού άρδευσης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ορθολογική διαχείριση του νερού τόσο σε θέματα καθαρά τεχνικά όσο και σε κοινωνικό-οικονομικά. Στο πλαίσιο αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει από το 2000 εκδώσει σχετική οδηγία (60/2000) την οποία οφείλουν να εφαρμόσουν όλα τα κράτη μέλη.



Εικόνα 1 Αναμενόμενη αλλαγή στη διαθεσιμότητα νερού για άρδευση στην περιοχή της Μεσογείου έως το 2010 (πηγή: CMMC, 2013)

Σήμερα πολλά συστήματα άρδευσης ελέγχονται ηλεκτρονικά. Το ηλεκτρονικό σύστημα θα μπορούσε να είναι ένας απλός προγραμματιστής είτε ένας

ηλεκτρονικός υπολογιστής με εξειδικευμένο λογισμικό ο οποίος ελέγχει τη συχνότητα και τη διάρκεια των αρδεύσεων. Αυτό κατορθώνεται είτε με το να δίνονται συγκεκριμένα προγράμματα ή να λαμβάνονται αποφάσεις αυτόματα με βάση δεδομένα κατάλληλων αισθητήρων. Τεχνολογίες ελέγχου που διατίθενται για μείωση της υπερβολικής άρδευσης περιλαμβάνουν ελεγκτές εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration sensors, ET), αισθητήρες υγρασίας εδάφους (soil moisture sensors, SMS), και τους αισθητήρες βροχής (rain sensors, RS).

Αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα προγραμματισμού ενός αυτοματοποιημένου συστήματος άρδευσης παρέχεται η δυνατότητα να διατηρηθούν οι υδάτινοι πόροι, ενώ διατηρείται επίσης και η καλή ποιότητα του τοπίου.

Ο βασικός σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να αξιολογήσει την ικανότητα επιλεγμένων τεχνολογιών προγραμματισμού άρδευσης.

Στο πλαίσιο αυτό έγιναν τα ακόλουθα:

- Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα σύγχρονα συστήματα άρδευσης, τα συστατικά των συστημάτων που σχετίζονται με τον αυτοματισμό (προγραμματιστές, ηλεκτροβάνες, καλωδιώσεις και αισθητήρες) και τις τυπικές μεθόδους ελέγχου και τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται.
- Πειραματική αξιολόγηση που αφορά τις ακόλουθες μεταχειρίσεις:
  - Control (1\_C): τυπικός προγραμματιστής άρδευσης με αξιοποίηση water budget
  - Rain (2\_R): τυπικός προγραμματιστής άρδευσης με αξιοποίηση water budget και αισθητήρα βροχής
  - Soil Moisture (4\_M): τυπικός προγραμματιστής άρδευσης με χρήση αισθητήρα εδαφικής υγρασίας.
  - ET (5\_TCL): τυπικός προγραμματιστής άρδευσης με χρήση αισθητήρα εκτίμησης εξατμισοδιαπνοής.

Ο υπολογισμός των αναγκών σε νερό και η κατάρτιση του βασικού προγράμματος άρδευσης έγινε με βάση τη μεθοδολογία που προτείνεται στο FAO-Paper56 (Allen κ.α., 1998) χρησιμοποιώντας ιστορικά κλιματικά δεδομένα. Οι μετρήσεις αφορούσαν καταγραφή των κλιματικών συνθηκών, της εδαφικής υγρασίας καθώς και της ποσότητας νερού που εφαρμόζεται σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Για την αξιολόγηση της επίδρασης των διαφορετικών μεταχειρίσεων στον χλοοτάπητα θα χρησιμοποιηθούν: η εμφάνιση του χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από πολυφασματικό ραδιόμετρο

και μετρήσεις που αφορούν την ανάπτυξη του χλοοτάπητα (κοπή πάνω από συγκεκριμένη έκταση ανά διαστήματα και ζύγισμα των κομμένων κορυφών) του ξηρού βάρους βλαστού.

Η εργασία βασίζεται σε δεδομένα και μετρήσεις του δεύτερου έτους πειράματος που ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2014 (Μπάτσης κ.α., 2014). Τα αποτελέσματα αξιολογούνται και συγκρίνονται με αυτά της του 2014.



## **ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΡΔΕΥΣΗΣ**

Άρδευση είναι η τεχνητή παροχή νερού σε έδαφος ή άλλο υπόστρωμα με σκοπό την κάλυψη των σχετικών αναγκών των φυτών. Για να μπορούν τα φυτικά σύνολα να ανταποκριθούν στο ρόλο τον οποίο καλούνται να διαδραματίσουν απαιτείται η διατήρηση στην περιοχή του εδάφους όπου αναπτύσσεται το ριζικό σύστημα, κατάλληλων συνθηκών υγρασίας. Πολλές φορές η ίδια η φύση καλύπτει την απαίτηση αυτή μέσω της βροχής και της φυσικής αποστράγγισης. Ο στόχος της άρδευσης των έργων αστικού πράσινου είναι κυρίως η ανταπόκριση των φυτικών συνόλων σε προκαθορισμένες αισθητικές και λειτουργικές απαιτήσεις για τον κάθε χώρο καθώς και η θετική επίδραση του πράσινου στο μικροκλίμα της περιοχής (μείωση απαιτούμενης ενέργειας για ψύξη κτιρίων, δημιουργία ευχάριστων χώρων και διαδρομών για τους ανθρώπους κοκ). Όμως σε περιόδους ξηρασίας ο στόχος αυτός μπορεί να περιοριστεί στην απαίτηση για επιβίωση των φυτών με την ελάχιστη δυνατή χρήση νερού.

### **ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΑΡΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Βασικές παράμετροι σχεδιασμού ενός αρδευτικού συστήματος είναι οι ακόλουθες

- Σύστημα κατανομής και διανομής νερού
- Πρόγραμμα άρδευσης
- Αυτοματισμοί

#### **Συστήματα κατανομής και διανομής νερού**

Οι βασικές κατηγορίες συστημάτων άρδευσης είναι οι ακόλουθες:

- Επιφανειακή: Το νερό καλύπτει μεγάλο μέρος της υπό άρδευση έκτασης (λεκάνες, αυλάκια κοκ).
- Με καταιονισμό: Το νερό διανέμεται με εκτοξευτήρες σε όλη την αρδευόμενη επιφάνεια. Εφαρμόζεται κυρίως για την άρδευση χλοοταπήτων, εδαφοκαλύψεων με μικρά ποώδη φυτά κλπ.
- Μικροάρδευση/Τοπική άρδευση: Η διανομή του νερού γίνεται τοπικά (τοπική άρδευση) σε τμήμα της ριζόσφαιρας του φυτού, με τη χρήση σταλακτών μέσω επιφανειακής ή υπόγειας εγκατάστασης. Εφαρμόζεται για άρδευση δένδρων, θάμνων, ετήσιων φυτών, φυτών εδαφοκάλυψης ή χλοοταπήτων σε ειδικές περιπτώσεις - δεν πρέπει να βρέχονται γειτονικοί χώροι, υπάρχει έλλειψη νερού ή η ποιότητα αυτού είναι

οριακή. Η άρδευση με καταιονισμό με μικροεκτοξευτήρες αντιμετωπίζεται ως παραλλαγή της τοπικής άρδευσης.

### **Τεχνητή βροχή ή καταιονισμός**

Με την τεχνητή βροχή (καταιονισμό) επιδιώκουμε την ομοιόμορφη κάλυψη μίας φυτικής επιφάνειας μέσω εκτοξευτήρων με νερό. Ο τύπος αυτός αποτελεί μία από τις βασικές επιλογές<sup>1</sup> όταν η φύτευση καλύπτει το σύνολο της περιοχής. Τυπικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης αποτελεί ο χλοοτάπητας όπου εκτός από την ομοιομορφία, ζητούμενο είναι και η απολύτως ελεύθερη κίνηση εντός της περιοχής.



**Εικόνα 2 Σύστημα τεχνητής βροχής σε πειραματικό τεμάχιο**

Κάθε σύστημα τεχνητής βροχής για έργα πράσινου χαρακτηρίζεται από τους εκτοξευτήρες που χρησιμοποιεί. Οι εκτοξευτήρες διακρίνονται βασικά σε (Εικόνα 3):

- Σταθερούς (fixed spray) και

---

<sup>1</sup> Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και άλλα συστήματα που καλύπτουν ομοιόμορφα το σύνολο μίας περιοχής χωρίς να εμποδίζουν την κίνηση σε αυτή, π.χ. η άρδευση με υπόγειους σταλακτηφόρους αγωγούς.

- Περιστροφικούς (rotary)
- Πολυακτινικούς (multijet)

Η επιφάνεια που διαβρέχει κάθε εκτοξευτήρας μπορεί να είναι:

- Παραλληλόγραμμη, χρησιμοποιείται π.χ. σε στενές λωρίδες όπως κατά μήκος πεζοδρομίων
- Κυκλική (η πιο συνηθισμένη), χρησιμοποιείται για την άρδευση τόσο παραλληλόγραμμων περιοχών όσο και περιοχών με καμπύλα όρια



**Εικόνα 3 Από αριστερά προς τα δεξιά: περιστροφικοί, στατικοί και πολυακτινικοί εκτοξευτήρες**

Οι κυκλικές περιοχές διαβροχής, που είναι και οι πιο κοινές, χαρακτηρίζονται από τα εξής στοιχεία:

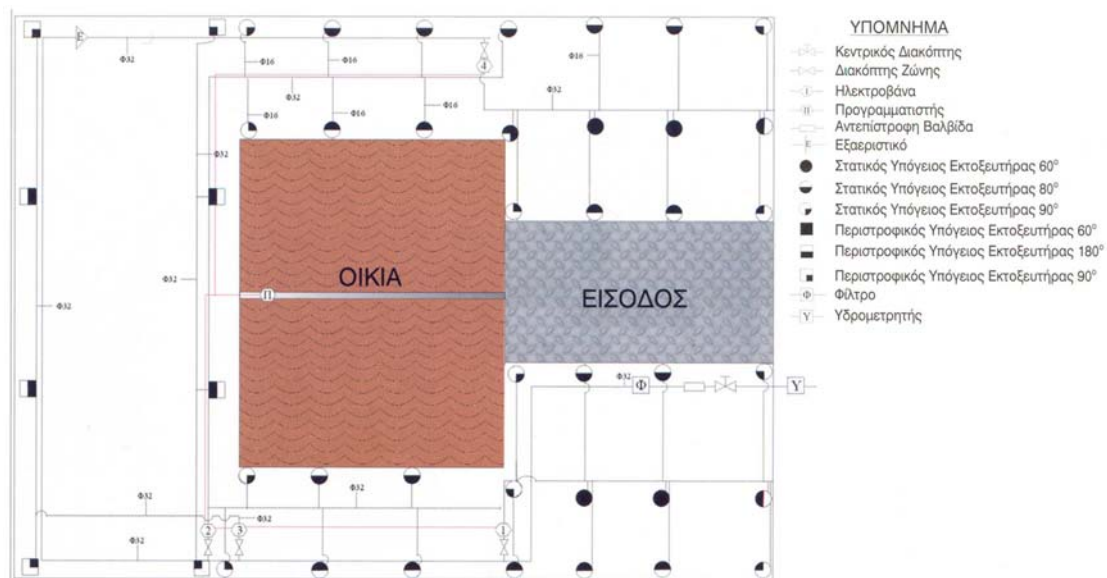
1. Ακτίνα διαβροχής (1-30+ m)
2. Τόξο διαβροχής (0-360° σταθερό ή ρυθμιζόμενο)
3. Γωνία εκτόξευσης, συνήθως χρησιμοποιούνται:
  - 0° για θάμνους και κορυφές λόφων
  - 10° για θάμνους, χλοοτάπητες και περιοχές με ανέμους
  - 25°-28° τυπική γωνία
  - 35° γωνία για ειδικές εφαρμογές

Το πρώτο ζήτημα που έχουμε να αντιμετωπίσουμε είναι η σωστή τοποθέτηση των εκτοξευτήρων στο χώρο ώστε να πετύχουμε ομοιόμορφη κατανομή του νερού. Αν δεν τοποθετηθούν σωστά οι εκτοξευτήρες θα προκύψουν περιοχές που θα έχουν περισσότερο νερό και άλλες λιγότερο, αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο σε φυτά εδαφοκάλυψης όπως:

- Εμφάνιση νεκρών σημείων

- Ανομοιόμορφο χρωματισμό
- Ζημιές από λιπάσματα
- Σαπίσματα κ.ο.κ

Πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι ένας εκτοξευτήρας δεν κατανέμει ομοιόμορφα το νερό στην περιοχή που διαβρέχει. Έχει βρεθεί ότι ικανοποιητική ποσότητα νερού φτάνει μόνον έως τα 2/3 της ακτίνας διαβροχής, ενώ στο υπόλοιπο (απομακρυσμένο) 1/3 φτάνει ελάχιστο νερό. Έτσι οι κατασκευαστές συστήνουν την τοποθέτηση των εκτοξευτήρων σε αποστάσεις ίσες με το 100% της ακτίνας ή κεφαλή προς κεφαλή. Το σύστημα κεφαλή προς κεφαλή εφαρμόζεται με δύο τρόπους: την τετράγωνη (Εικόνα 4) και την τριγωνική διάταξη. Βεβαίως στην πράξη επιτρέπονται μικρές αποκλίσεις από αυτό τον κανόνα ώστε να μπορούμε να καλύψουμε μία περιοχή. Στο πείραμα μας χρησιμοποιήθηκε τετράγωνη διάταξη.



Εικόνα 4 Κεφαλή προς κεφαλή τετράγωνη κατανομή (πηγή: Μπαμπήλης, 2004)

## Πρόγραμμα άρδευσης

Η κατάρτιση προγράμματος άρδευσης συνίσταται στον υπολογισμό διάρκειας αρδευτικών γεγονότων και συχνότητας αυτών. Για να γίνουν οι σχετικοί υπολογισμοί πρέπει να εκτιμηθούν οι ανάγκες των φυτών σε νερό, οι φυσικές παράμετροι του εδάφους που σχετίζονται με την κίνηση και την αποθήκευση του νερού καθώς και τα χαρακτηριστικά του συστήματος άρδευσης.

Όσο αφορά την γεωργία, οι ανάγκες των φυτών σε νερό, ο σχετικός προγραμματισμός των αρδεύσεων και η αποτελεσματικότητα των δικτύων άρδευσης έχουν μελετηθεί σε μεγάλη έκταση (τόσο στο εργαστήριο όσο και στον αγρό) για την πλειονότητα των καλλιεργούμενων ειδών. Για το αστικό

πράσινο (χώροι πράσινου, νησίδες, πάρκα, γήπεδα κοκ) σχετικές διαδικασίες έχουν ακολουθηθεί κυρίως για τους χλοοτάπητες. Σε κάθε περίπτωση ο συνδυασμός αναγνωρισμένων μεθόδων υπολογισμού εξατμισοδιαπνοής (Allen κ.α., 1998) σε συνδυασμό με φυτικούς συντελεστές για φυτά που χρησιμοποιούνται σε έργα πράσινου (WUCOLS, 2000), μπορούν να δώσουν πολύ καλά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με την τυπική προσέγγιση κατάρτισης προγράμματος άρδευσης, η καλλιέργεια θεωρείται ως μία ομοιογενής αρδευτική ζώνη τόσο όσο αφορά τις ανάγκες των φυτών σε νερό όσο και το έδαφος (κλίση, μηχανική κατάσταση). Στο έδαφος μπορούμε να δώσουμε μία μέγιστη δόση σε κάθε άρδευση το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από:

- την υγρασία του εδάφους και
- την καλλιέργεια μέσω του βάθους του ενεργού ριζοστρώματος και το μετά από ποιο ποσοστό εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας πρέπει να γίνει ξανά άρδευση (δεν την εξαντλούμε ποτέ όλη -το ποσοστό έχει βρεθεί από μελέτες που αφορούν την διατήρηση της παραγωγικότητας στο βέλτιστο- γιατί τότε θα φτάναμε και επικίνδυνα κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης και θα είχαμε μείωση παραγωγής)

Η δόση αυτή μπορεί να δοθεί με ένα μέγιστο ρυθμό που εξαρτάται από τη διηθητικότητα του εδάφους. Η ποσότητα νερού που χορηγείται στα φυτά σε κάθε άρδευση ονομάζεται δόση άρδευσης. Για να φτάσει στα φυτά η ποσότητα πρέπει συνήθως να ρίξουμε κάτι παραπάνω λόγω του ότι το σύστημα έχει απώλειες (δεν είναι 100% αποτελεσματικό). Από το νερό που είναι διαθέσιμο στα φυτά μετά από κάθε πότισμα ποσότητα ίση με την ημερήσια υδατοκατανάλωση καταναλώνεται κάθε μέρα υπό ιδανικές συνθήκες. Ακόμη όταν κάνουμε μία γενική μελέτη προγράμματος άρδευσης με βάση ιστορικά κλιματικά δεδομένα, συχνά θεωρούμε ότι υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων, η ενεργός ποσότητα νερού των οποίων αφαιρείται από την ημερήσια υδατοκατανάλωση (δηλαδή κάτι σα να βρέχει το μέσο ημερήσιο όρο κάθε ημέρα, βέβαια αυτό δεν μπορεί να συμβεί στην πραγματικότητα, η υπόθεση αυτή μπορεί να παραληφθεί θεωρώντας μηδενική τη βροχόπτωση κατά τον υπολογισμό του έτσι και αλλιώς θεωρητικού προγράμματος άρδευσης έχοντας κατά νου ότι στην πράξη εάν βρέξει απλά δεν θα γίνει άρδευση –ή χρήση αισθητήρων βροχής-).

Επομένως σε χρονικό διάστημα που ονομάζεται εύρος άρδευσης όλο το νερό που δόθηκε θα έχει καταναλωθεί και πρέπει να ποτίσουμε ξανά. Πολλές φορές το θεωρητικά υπολογισμένο εύρος άρδευσης σε ημέρες δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο νούμερο π.χ. 2,6 επομένως αποφασίζουμε εμείς κάποιο πρακτικό εύρος (πάντα μικρότερο του θεωρητικού) π.χ. 2. Αν βάζαμε μεγαλύτερο έπρεπε να ρίξουμε μεγαλύτερη δόση εφαρμογής ώστε να

καλύπτουν τα φυτά ανάγκες περισσότερων ημερών άρα θα "εκβιάζαμε" το έδαφος να απορροφήσει μεγαλύτερη καθαρή δόση από αυτή που μπορεί ή από την άλλη μπορεί η εδαφική υγρασία να πέσει κάτω από το όριο που θέλουμε, όμως αυτό θα οδηγήσει σε πρόβλημα. Έτσι προκύπτει μία νέα δόση εφαρμογής (που θα είναι μικρότερη από τη θεωρητική).

Αν πολλαπλασιάσουμε την δόση αυτή με την επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στάση έχουμε τον όγκο νερού σε κάθε στάση σε κάθε πότισμα.



Εικόνα 5 Βασικές έννοιες άρδευσης (πηγή: Τσιρογιάννης, 2007)

Όσο αφορά το χρόνο που διαρκεί κάθε άρδευση, θέλουμε να χορηγούμε νερό με ένταση όση η τελική ταχύτητα διήθησης (απλοποίηση που μπορεί να γίνει αποδεκτή για πρακτικούς λόγους) επομένως διαιρώντας την ποσότητα νερού κάθε άρδευσης (da τελική) με την τελική ταχύτητα διήθησης παίρνουμε ως αποτέλεσμα το χρόνο που πρέπει να διαρκέσει η άρδευση. Ο χρόνος αυτός είναι ουσιαστικά κάτω όριο στον χρόνο άρδευσης, αν χρησιμοποιηθεί μικρότερος χρόνος για να χορηγηθεί το νερό η ένταση διαβροχής θα είναι μεγαλύτερη από το ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απορροφήσει νερό το έδαφος και θα είχα επιφανειακή συσσώρευση και επιφανειακή απορροή έστω και με την παραμικρή κλίση (απώλεια νερού).

Ανάλογα με τη συνολική παροχή των εξόδων του συστήματος (γιατί δεν μπορούμε να κάνουμε πρόγραμμα με θεωρητική παροχή) προκύπτει η πραγματική διάρκεια άρδευσης που πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη του κάτω ορίου που υπολογίστηκε. Αν δεν είναι, πρέπει να επιλεγούν έξοδοι

(εκτοξευτήρες ή σταλάκτες) με μικρότερη παροχή (να δίνουν ποιο αργά το νερό).

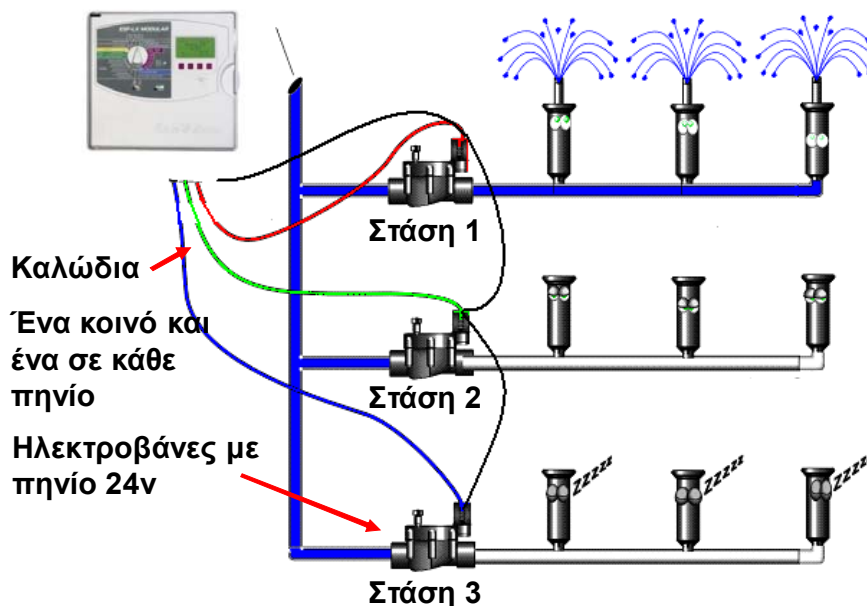
Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι οι χρόνοι που προκύπτουν είναι ουσιαστικά όρια, το τι θα επιλεγεί στο τέλος έχει να κάνει με τη στρατηγική της άρδευσης. Π.χ. βρίσκουμε εύρος 5 ημέρες και αποφασίζουμε να ποτίζουμε κάθε μέρα (με μικρότερη τελική δόση προφανώς) αυτό μπορεί να οδηγήσει τα φυτά π.χ. γρασίδι στην ανάπτυξη αβαθούς ριζικού συστήματος και να τα κάνει ευάλωτα σε πιθανή ξηρασία.

## Αυτοματισμοί

Γενικά, για ένα αυτοματοποιημένο αρδευτικό δίκτυο χρειάζεται ένας προγραμματιστής που συνδέεται μέσω καλωδίων με μια ηλεκτροβάνα (Εικόνα 6). Ο ρόλος της ηλεκτροβάνας είναι να ανοίγει και να κλείνει την παροχή νερού στα επιμέρους μέρη του αρδευτικού δικτύου. Ανάλογα με τις ανάγκες μπορούμε να συνδέσουμε αισθητήρες αντλίες που για να λειτουργήσουν χρειάζονται ένα εξάρτημα που ονομάζεται ρελέ το οποίο είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

### Προγραμματιστής

#### 24v και μετασχηματιστής

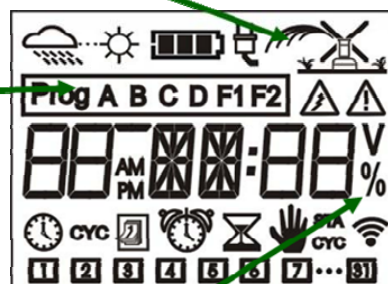


Εικόνα 6 Διάταξη συστήματος άρδευσης με καταιονισμό με έλεγχο από προγραμματιστή

Ακόμη μπορούμε να συνδέσουμε αισθητήρες ώστε να παρέχονται πληροφορίες στον προγραμματιστή και να ενεργεί με βάση αυτές. Ο προγραμματιστής είναι ένα ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα υπεύθυνο για το αυτόματο πότισμα του αρδευτικού συστήματος σύμφωνα με τις εντολές που έχουμε δώσει εμείς (Εικόνα 7).

**Καυστέρηση λόγω βροχής** για να καθυστερήσει ο χρήστης την άρδευση σε βροχερές εποχές και να ξεκινήσει κανονικά όταν φτιάξει ο καιρός.

**Πολλούς χρόνους έναρξης και ανεξάρτητα προγράμματα** για να μειωθεί ο συνολικός χρόνος άρδευσης και να ποτίζουμε κάθε είδους φυτό, ανάλογα με τις ανάγκες νερού, ξεχωριστά.



**Εποχιακές ποσοστιαίες αυξομειώσεις νερού (water budget %)** για εύκολη ρύθμιση της άρδευσης με ποσοστά.

Εικόνα 7 Βασικά χαρακτηριστικά ενός σύγχρονου προγραμματιστή άρδευσης

## Αισθητήρες

Αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Τυπικοί αισθητήρες είναι οι ακόλουθοι:

- Αισθητήρας βροχής: ο ρόλος του αισθητήρα αυτού είναι να στέλνει εντολή στον προγραμματιστή, βάση των ρυθμίσεων που έχουν οριστεί, για την διακοπή του ποτίσματος σε περίπτωση βροχής.

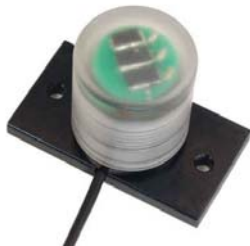




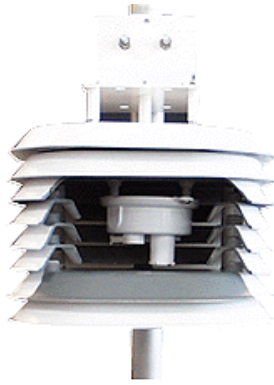
- Αισθητήρας εδαφικής υγρασίας: είναι ένας αισθητήρας με τον οποίο μπορεί να μετρηθεί η υγρασία του χώματος σε διαφορετικά βάθη κοντά στις ρίζες του φυτού. Παρακολουθώντας τις μετρήσεις μεταξύ των αρδεύσεων είναι δυνατόν να μετρηθεί ο ρυθμός με τον οποίο στεγνώνει το έδαφος.



- Αισθητήρας ηλιακής ακτινοβολίας: ο αισθητήρας αυτός μετρά τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία, τόσο την άμεση όσο και αυτή λόγω διάχυσης του φωτός ( $W m^{-2}$ ) και επιτρέπει την παρακολούθηση της εξατμισοδιαπνοής.



- Αισθητήρας θερμοκρασίας: ο αισθητήρας θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την ακριβή καταγραφή της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε βαθμούς κελσίου ( $^{\circ}C$ ) ή σε οποιαδήποτε άλλη μονάδα μέτρησης έχει ορίσει ο κατασκευαστής.
- Αισθητήρας υγρασίας περιβάλλοντος: Ο αισθητήρας αυτός μετρά τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία αέρα. Οι μετρήσεις επίσης χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί το σημείο δρόσου.



- Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου (ανεμόμετρο): παρέχει μετρήσεις για υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής αλλά και δίνει σήμα για σταμάτημα αρδεύσεων με καταιονισμό όταν πνέουν ισχυροί άνεμοι.



## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ

Η πειραματική αξιολόγηση υλοποιήθηκε στον περιβάλλοντα χώρο του κτηρίου του τμήματος Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου που βρίσκεται στην τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακικούς Άρτας.

Ο νομός Άρτας βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Ελλάδας και ανήκει γεωγραφικά και διοικητικά στην Ήπειρο, καταλαμβάνει το ΝΑ τμήμα της Ηπείρου (Εικόνα 8).



Εικόνα 8 Χάρτης νομού Άρτας (πηγή: [www.hellogreece.gr](http://www.hellogreece.gr))

Η τεχνόπολη (campus) του ΤΕΙ Ηπείρου, στους Κωστακικούς Άρτας (Εικόνα 9). Η τεχνόπολη έχει μια δομημένη κεντρική περιοχή έκτασης περίπου σαράντα στρεμμάτων, με μέσο υψόμετρο +10,5m, ενώ οι συντεταγμένες κέντρου της εν λόγω περιοχής σε ΕΓΣΑ'87 είναι οι εξής:  $X= 235.743,575$   $Y= 4.334.481,659$ . Η πειραματική αξιολόγηση υλοποιήθηκε στην περιοχή πειραμάτων του Εργαστηρίου Γεωργικής & Περιβαλλοντικής Μηχανικής του τμ. Τεχνολόγων Γεωπόνων.



Εικόνα 9 Δορυφορική εικόνα της Τεχνόπολης του ΤΕΙ Ηπείρου στους Κωστακιούς Άρτας (πηγή: GoogleEarth, 2014)

## **ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

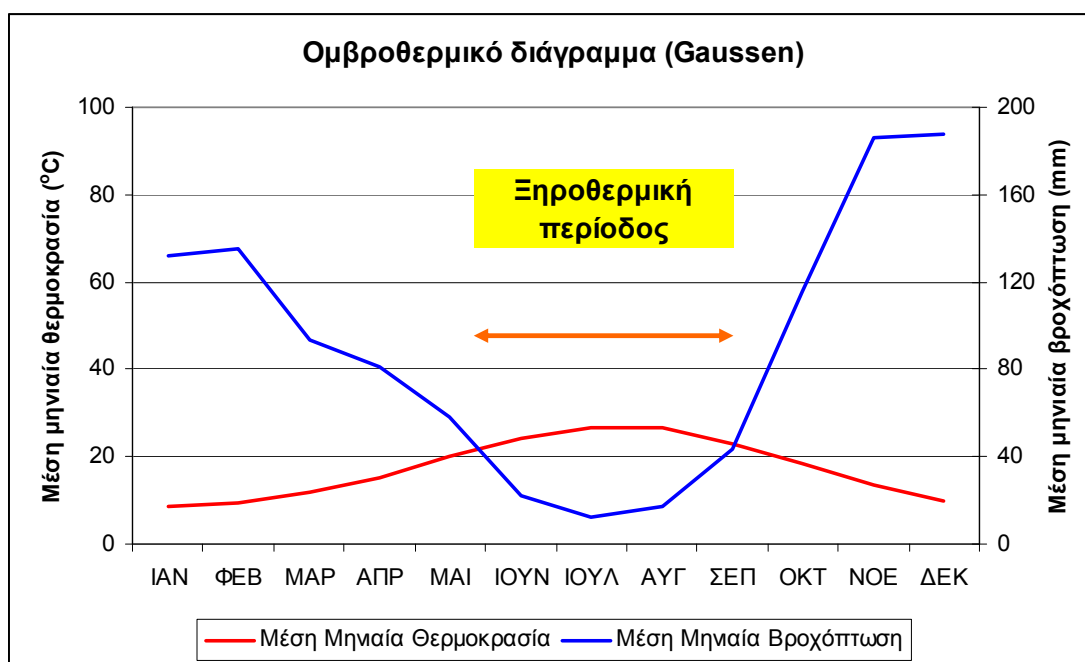
Τα μετεωρολογικά στοιχεία που παρουσιάζονται προέρχονται από την ΕΜΥ (2014) αφορούν τα έτη 1976-1997. Το κλίμα της περιοχής της Άρτας, με ξηρό θέρος, υγρό αλλά όχι ψυχρό χειμώνα χαρακτηρίζεται σαν ήπιο μεσογειακού τύπου.

Τα κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής παρουσιάζουν πάντοτε διακυμάνσεις μέσα στον χρόνο, κατά τις οποίες φθάνουν σε απόλυτα μέγιστες και απόλυτα ελάχιστες τιμές. Είναι φυσικό όμως ότι, για να πλησιάζουν τις πραγματικές τιμές, μέσα στις οποίες διακυμαίνεται το στοιχείο αυτό, απαιτείται σειρά μακράς χρονικής περιόδου κλιματικών παρατηρήσεων. Η γνώση των απόλυτα μέγιστων και ελάχιστων τιμών της θερμοκρασίας έχει μεγάλη σημασία, τόσο από κλιματικής άποψης, όσο και από πρακτικής εφαρμογής.

Η ηλιοφάνεια φθάνει περίπου τις 2500 ώρες το χρόνο. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 121,1 ημέρες. Απόλυτα ελάχιστες θερμοκρασίες σημειώνονται συνήθως τον Ιανουάριο και οι απόλυτα μέγιστες ξηροθερμικούς μήνες, δηλαδή τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Σε γενικές γραμμές η ετήσια πορεία της σχετικής υγρασίας ακολουθεί την ετήσια πορεία των βροχών και είναι αντίστροφη σχεδόν με την ετήσια πορεία

της θερμοκρασίας και της ηλιοφάνειας. Οι βροχές στην περιοχή διακρίνονται από άνιση κατανομή στην διάρκεια του έτους, χαρακτηριστικό εξάλλου του Μεσογειακού κλίματος. Έτσι διαμορφώνονται δύο τελείως διαφορετικές περιόδους, μια πολύομβρη από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης και μια σχεδόν άνομβρη το θέρος. Οι πρώτες βροχές συμβαίνουν συνήθως στα μέσα Σεπτεμβρίου ή αργότερα στα νότια πεδινά. Συνήθως ακολουθεί μια μικρή περίοδος με ηλιόλουστες και σχετικά ζεστές φθινοπωρινές ημέρες, το γνωστό μικρό καλοκαιράκι και από τα μέσα σχεδόν του Οκτωβρίου αρχίζουν οι έντονες και παρατεταμένες βροχές, που διατηρούνται μέχρι τα μέσα της άνοιξης σχεδόν. Από τον Οκτώβριο και μέχρι τον Ιανουάριο οι βροχές είναι άφθονες.



**Εικόνα 10 Ομβροθερμικό διάγραμμα Άρτας**

Όσο αφορά τη σχετική υγρασία, το μέγιστο σημειώνεται συνήθως κατά το Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο που επικρατούν υψηλές βροχοπτώσεις και νότιοι άνεμοι. Το ελάχιστο σημειώνεται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Από τον Ιανουάριο η σχετική υγρασία αρχίζει προοδευτική ελάττωση, η οποία γίνεται αλματώδης στο δίμηνο Μαΐου και Ιουνίου, και λαμβάνει τις μικρότερες τιμές τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος διαφέρουν ελάχιστα και από το Σεπτέμβριο αρχίζει αλματώδης άνοδος μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου. Κατά το Δεκέμβριο υπάρχει ελαφρά κάμψη της τιμής της υγρασίας και από τον Ιανουάριο αρχίζει προοδευτικά η ελάττωση. Το φαινόμενο δροσιάς παρατηρείται συνήθως την άνοιξη και στις αρχές φθινοπώρου, ενώ της πάχνης από τα μέσα φθινοπώρου μέχρι την αρχή της άνοιξης και ειδικότερα κατά τις πρωινές ώρες. Η ομίχλη παρουσιάζεται συνήθως τους

φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες και κυρίως τις νυχτερινές και πρωινές ώρες.

Ολικοί παγετοί δεν παρατηρούνται στην περιοχή παρά μόνο μερικοί που διαρκούν λίγες ώρες και εμφανίζονται από τον Νοέμβριο μέχρι τον Μάρτιο και κυρίως τον Ιανουάριο με Φεβρουάριο. Οι ημέρες παγετού το χρόνο ανέχονται σε 12,4 κατά μέσω όρο. Ζημιές από παγετούς παρατηρούνται μόνο στα εσπεριδοειδή για τα οποία λαμβάνονται μέτρα προστασίας. Χαλαζόπτωση παρατηρείται σπανίως κατά φθινοπωρινούς μήνες, είναι μικρής διάρκειας και με κόκκους μικρής διαμέτρου. Στην περιοχή επικρατούν βορειοανατολικοί άνεμοι και η ένταση τους κυμαίνεται από 4,6 μέχρι και 6,5 Beaufort (ΕΜΥ, 2014). Με βάση τα δεδομένα της ΕΜΥ μπορούμε να σχεδιάσουμε το ομβροθερμικό διάγραμμα από το οποίο προκύπτει ότι η ξηροθερμική εκτείνεται από Μαίο έως Σεπτέμβριο (Εικόνα 10).

## **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ**

### **Διάταξη πειράματος**

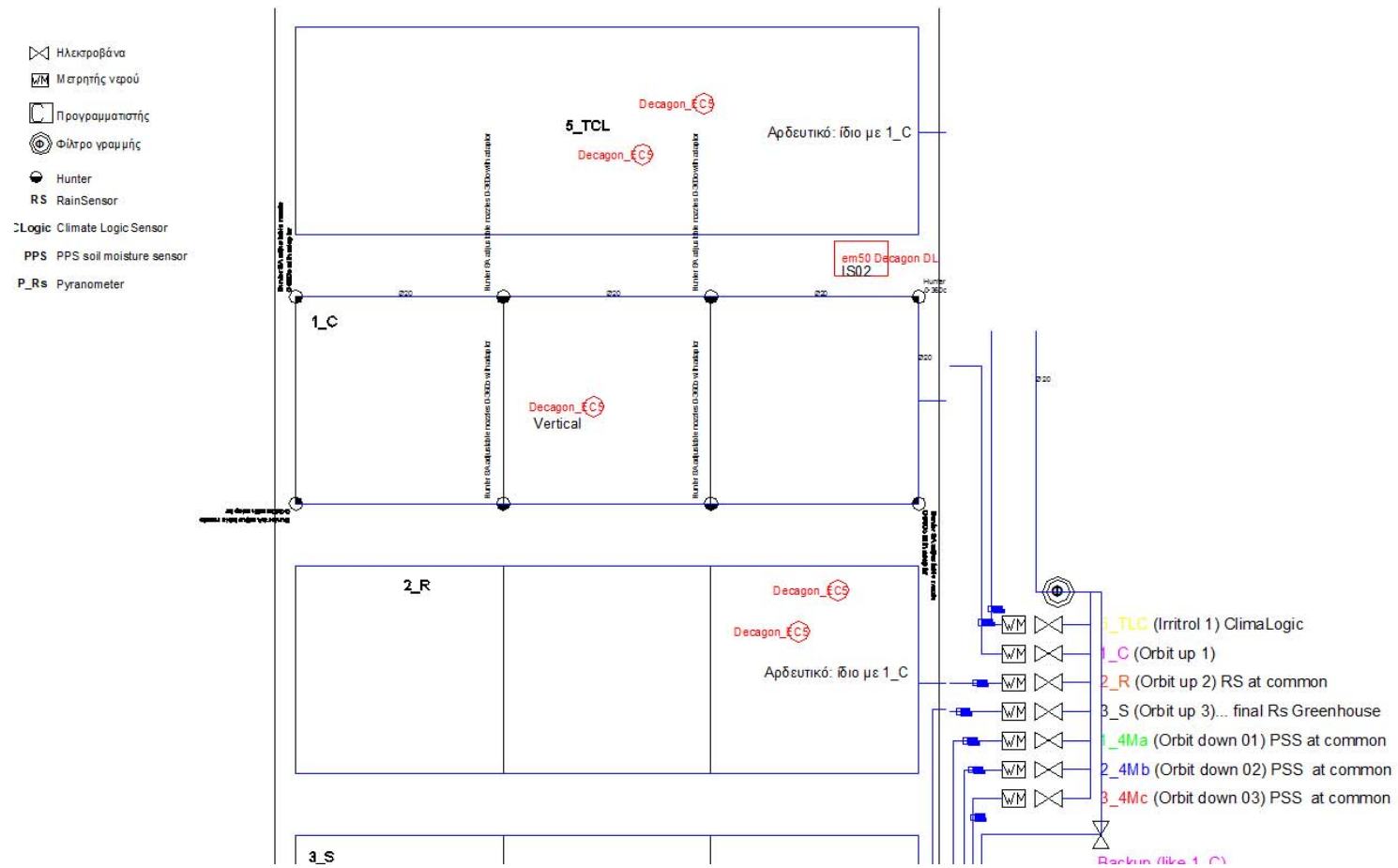
Ο χώρος του πειράματος (Εικόνα 11) χωρίζεται σε 4 διαφορετικά τεμάχια (1 για κάθε μεταχείριση) διαστάσεων 2x6m, με εμβαδόν 12m<sup>2</sup> το καθένα. Κάθε ένα από τα τεμάχια ήταν χωρισμένο σε 3 τμήματα 2x2m το κάθε ένα από τα οποία φιλοξενούσε από μία επανάληψη της κάθε μεταχείρισης).

Το γενικό σχεδιάγραμμα της πειραματικής διάταξης παρουσιάζεται στη συνέχεια (Εικόνα 12 και Εικόνα 13)<sup>2</sup>.

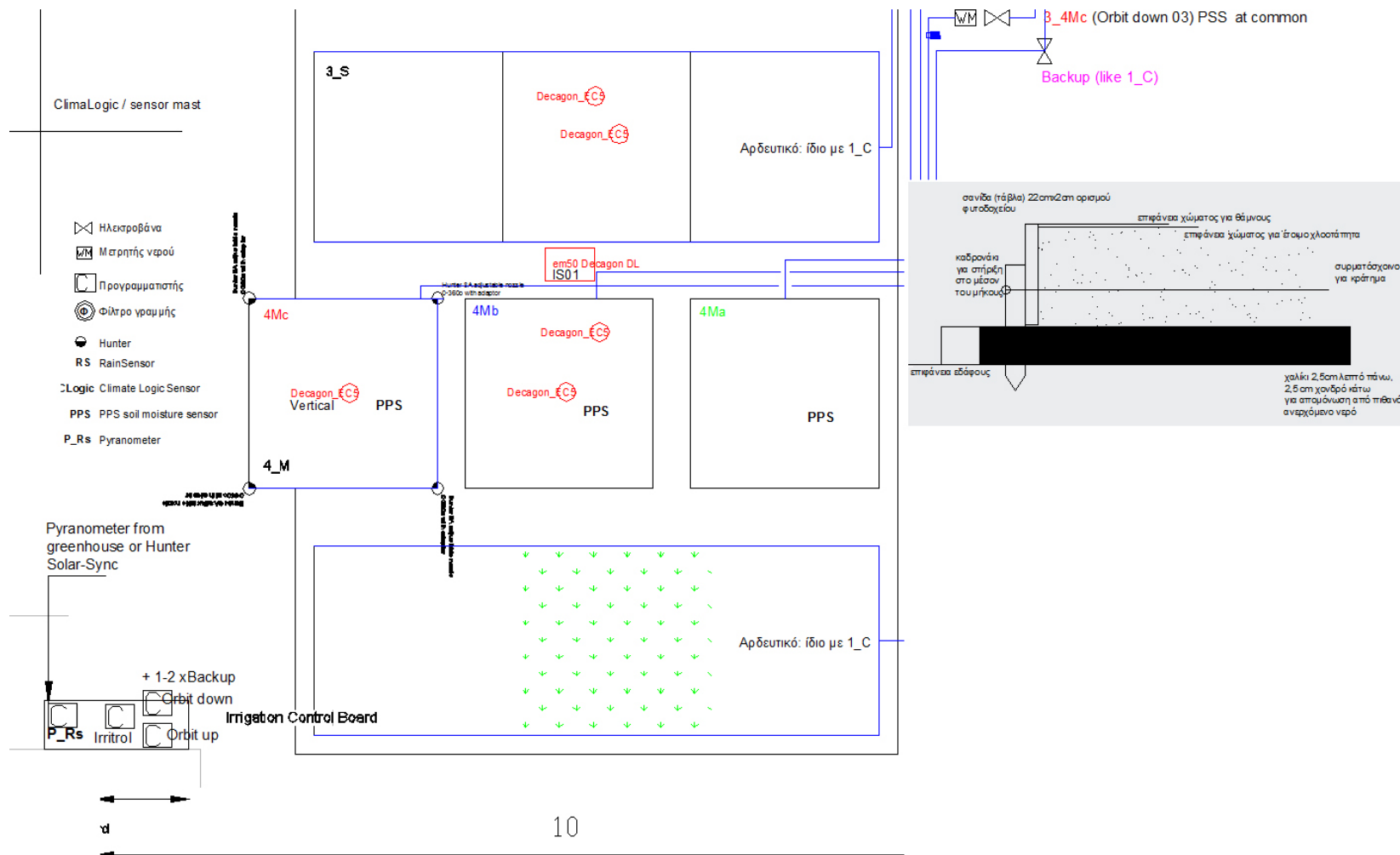


**Εικόνα 11 Γενική άποψη της εγκατάστασης πειραματικής αξιολόγησης από ΒΔ**

<sup>2</sup> Το τεμάχιο 3\_S χρησιμοποιήθηκε για μία ειδική δοκιμή που δεν αποτελεί αντικείμενο της πτυχιακής ενώ το τεμάχιο Backup συντηρούνταν ώστε να υπάρχει διαθέσιμος χλοοτάπητας για αντικατάσταση άλλου που μπορεί να καταστρέφονταν κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης.



Εικόνα 12 Γενική διάταξη του χώρου του πειράματος (1 από 2)



Εικόνα 13 Γενική διάταξη του χώρου του πειράματος (2 από 2). Η μεταχείριση 3\_S δεν αποτελούσε αντικείμενο της πτυχιακής.

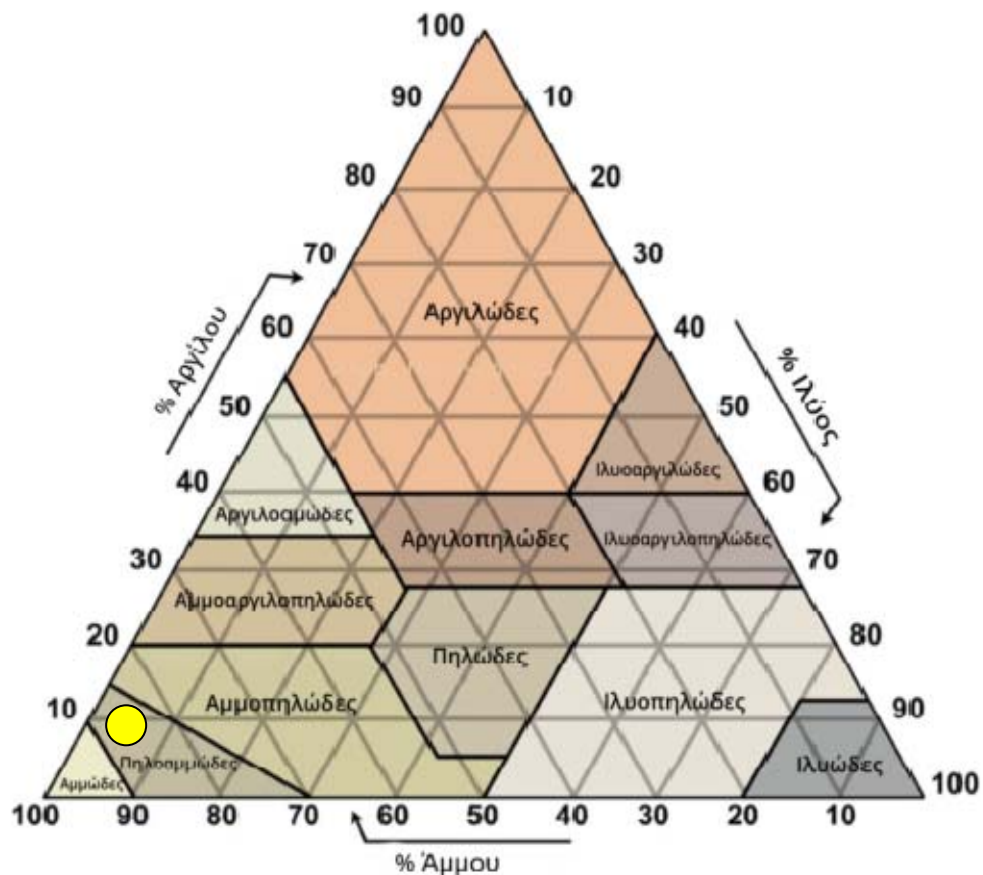


Όπως φάνηκε και από τη διάταξη κάθε μεταχείριση περιελάμβανε 3 επαναλήψεις.

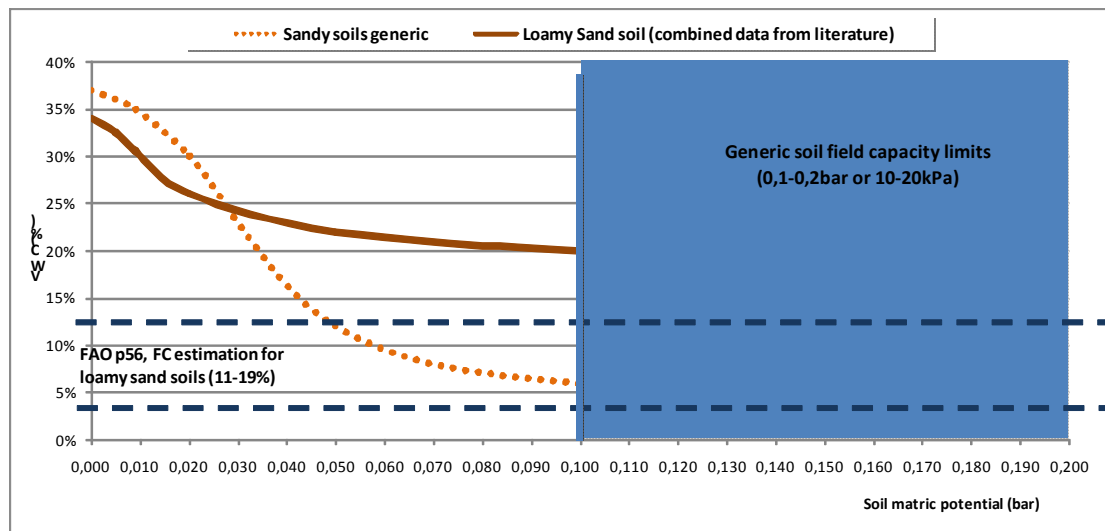
### Τύπος εδάφους

Η μηχανική σύσταση του εδάφους, που τοποθετήθηκε, είναι πηλοαμμώδες με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Υδατοικανότητα: 15%
- Σημείο μάρανσης: 6%
- Διαθέσιμη υγρασία εδάφους: 9%
- Τελική ταχύτητα διήθησης: 23 mm h<sup>-1</sup>



Εικόνα 14 Τριγωνικό διάγραμμα για την μηχανική σύσταση του εδάφους (με κύκλο σημειώνεται η θέση που αντιστοιχεί στο έδαφος που χρησιμοποιήθηκε)



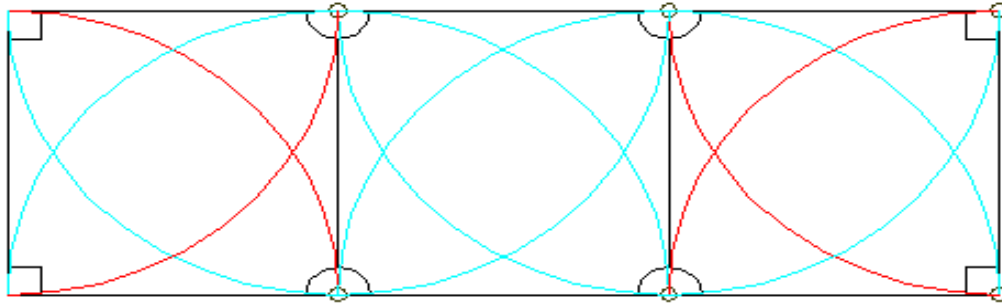
Εικόνα 15 Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το έδαφος που χρησιμοποιήθηκε

## Ποικιλία χλοοτάπητα

Ο χλοοτάπητας Φεστούκα "Ηρακλής" παράγεται από επιλεγμένες ποικιλίες *Festuca Arundinaceae* τελευταίας γενιάς, χλοοτάπητας ψυχρής περιόδου, κατάλληλος για κλιματολογικές συνθήκες με μεγάλες εναλλαγές θερμοκρασίας (Hellasod, 2014). Το χρώμα του είναι έντονο πράσινο με μέτρια έως ελαφρώς μεγάλα φύλλα. Μπορεί να τοποθετηθεί σε σπίτια, πάρκα, ξενοδοχεία, κοινόχρηστους χώρους, δημοτικούς χώρους πρασίνου, παιδικές χαρές, χώρους άθλησης, νησίδες και πρανή δρόμων, παραθαλάσσια μέρη, σε ήπιες ή ημιτροπικές κλιματολογικές συνθήκες. Ίδανικό για όλη την Ελλάδα, από τον Έβρο μέχρι την Κρήτη. Έχει μεγάλη αντοχή σε ξηροθερμικές συνθήκες και πολύ καλή αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει διαπιστωθεί μέτρια αντοχή στη σκιά σύμφωνα με την εταιρεία που παράγει τη συγκεκριμένη ποικιλία. Η αντοχή του στην αλατότητα είναι αρκετά ικανοποιητική. Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι μειωμένες λόγω της αντοχής σε μυκητολογικές ασθένειες. Απαιτεί μέτριο έως υψηλό κούρεμα (3-5cm) περίπου κάθε εβδομάδα. Σε σκιερά μέρη κουρεύεται στα 6 cm.

## Αρδευτικό σύστημα

Στο πείραμά μας χρησιμοποιήθηκαν σε τετράγωνη διάταξη (κεφαλή προς κεφαλή) εκτοξευτήρες 90° και 180°. Σε κάθε τεμάχιο 6x2m (μεταχείριση) τοποθετήθηκαν 8 εκτοξευτήρες, 4 με ακροφύσιο ρυθμισμένο στις 90° και 4 με ακροφύσιο ρυθμισμένο στις 180° (Εικόνα 16). Όλα τα ακροφύσια ήταν Hunter 8A Pro (Εικόνα 17). Στα τεμάχια 4\_M οι χώροι που αντιστοιχούσαν σε επαναλήψεις της μεταχείρισης τοποθετήθηκαν σε μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλο ώστε να μην υπάρχει επίδραση της υγρασίας του εδάφους τους από σταγονίδια που πιθανών να έπεφταν από διπλανές επαναλήψεις.



**Εικόνα 16 Διάταξη εκτοξευτήρων σε τυπικό τεμάχιο 2x6m**



**Εικόνα 17 Hunter 8A Pro**

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ακροφυσίου που επιλέχθηκε είναι τα ακόλουθα:

- Έχει οδοντωτές και καθορισμένες άκρες
- Ποσοστό καθίζησης από 2,4 m έως 5,2 m
- Εύκολη λαβή κορυφής για απλή προσαρμογή
- Σχεδιασμένος για να παράγει μεγαλύτερα σταγονίδια νερού και μεγαλύτερη αντίσταση στον άνεμο
- Χρωματική κωδικοποίηση για εύκολη αναγνώριση
- Ρυθμιζόμενη γωνία διαβροχής από 0 ° έως 360 °
- Συνιστώμενη πίεση λειτουργίας: 2.1 bar

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας σε πίεση 2bar τα ακροφύσια αναμένεται να έχουν παροχή 1,09lpm για τις 90° και 2,13lpm για τις 180° (ακτίνα 2,4m, PR 46mm h<sup>-1</sup>). Η συνολική παροχή για κάθε σύστημα 8 εκτοξευτήρων είναι 12,88lpm.

Αν κάνουμε τους υπολογισμούς για την περίπτωση της ακτίνας διαβροχής 2m, προκύπτει ότι η ένταση διαβροχής είναι 64,40 mm h<sup>-1</sup>.

## Πρόγραμμα άρδευσης

Στην πολύ απλοποιημένη προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε (Melby, 1995) συμμετέχουν το σύστημα άρδευσης μέσω της έντασης εφαρμογής, το έδαφος μέσω της διηθητικότητας (τελικής ταχύτητας διήθησης) και το φυτό μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Τα βασικά μεγέθη του προγράμματος υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων:

- Εβδομαδιαίος χρόνος λειτουργίας συστήματος:  $WT = (ET_c / IE) \text{ (mm/εβδομάδα)} / PR \text{ (mm/min)}$ , όπου  $IE$  η αποτελεσματικότητα του συστήματος άρδευσης που εκτιμάται σε 65-80% για τον καταιονισμό.
- Μέγιστος επιτρεπτός χρόνος λειτουργίας του συστήματος:  $RT_{max} = IF \text{ (mm/h)} / PR \text{ (mm/min)}$ , όπου  $IF$  η διηθητικότητα ή τελική ταχύτητα του εδάφους (εξαρτάται από τον τύπο και την κλίση)
- Συχνότητα άρδευσης:  $FR = WT / RT_{max}$

Το  $RT_{max}$  είναι ο μέγιστος χρόνος που μπορώ να αρδεύσουμε με αυτή την ταχύτητα εφαρμογής, αν συνεχίσουμε πέραν αυτού θα αρχίσει ο σχηματισμός επιφανειακής στρώσης νερού και απορροή κατά την κλίση του εδάφους.

Προφανώς πρέπει:

- η εβδομαδιαία διάρκεια λειτουργίας για κάλυψη των αναγκών να έχει κάποιο λογικό άνω όριο,
- η μέγιστη επιτρεπτή διάρκεια ενός αρδευτικού γεγονότος να μην είναι πολύ μικρή και
- οι συστάσεις σχετικά με διάρκεια και συχνότητα άρδευσης πρέπει να είναι διαθέσιμες στις επιλογές του προγραμματιστή που θα χρησιμοποιηθεί.

Σύμφωνα με την μέθοδο απλοποιημένου σχεδιασμού αρδευτικών συστημάτων πράσινου (Melby, 1995) αφού υπολογιστούν οι εβδομαδιαίες ανάγκες σε νερό με κάποια αναγνωρισμένη μεθοδολογία, το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε την ταχύτητα εφαρμογής του συστήματος. Για να βρούμε για πόσο χρόνο πρέπει να αρδεύουμε σε εβδομαδιαία βάση για να καλύψουμε τις ανάγκες αυτές διαιρούμε τις εβδομαδιαίες ανάγκες σε νερό με την ταχύτητα εφαρμογής του συστήματος. Στη συνέχεια εκτιμάται η μέγιστη διάρκεια κάθε άρδευσης (σχετίζεται με την ταχύτητα εφαρμογής και την διηθητικότητα). Τέλος υπολογίζεται η συχνότητα, πόσες αρδεύσεις την εβδομάδα θα χρειαστούν. Αν η διαθέσιμη παροχή ή η πίεση δεν επαρκούν για την λειτουργία όλου του συστήματος (αρδευτικής ζώνης) ταυτόχρονα θα πρέπει αυτό να χωριστεί σε στάσεις.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Hargreaves (Εξίσωση 1, Allen κ.α., 1998) με χρήση των ιστορικών κλιματικών δεδομένων της ΕΜΥ. Η μέθοδος αυτή προτείνεται για χρήση όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, την σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και θα πρέπει αυτά να εκτιμηθούν μέσω υπολογιστικών προσεγγίσεων.

#### Εξίσωση 1 Μέθοδος Hargreaves για την εκτίμηση της ETo

$$ET_o = 0,0023 \times (T_{\text{mean}} + 17,8) \times (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} \times R_a$$

όπου ETo (εξατμισοδιαπνοή αναφοράς) και Ra (θεωρητική ενέργεια από ηλιακή ακτινοβολία για τον τόπο και το χρόνο που εξετάζεται) σε mm day<sup>-1</sup> και T (θερμοκρασία, μέση, μέγιστη και ελάχιστη, σε °C).

Για να φτάσουμε στην λύση της εξίσωσης χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

**Πίνακας 1 Εκτίμηση εξατμισοδιαπνοής αναφοράς με βάση τη μέθοδο Hargreaves**

Μήνας	Θερμοκρασίες περιόδου αναφοράς (π.χ. μήνα)			Υπολογισμός ακτινοβολίας για χαρακτηριστική ημέρα της περιόδου αναφοράς		Βροχόπτωση	Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς
	Αριθμός ημέρας	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Tmean (°C)	Ra (mm day <sup>-1</sup> )	Rain (mm/month)	ETo (mm day <sup>-1</sup> )
Ιουν	162	17,30	29,10	24,00	41,73	21,80	5,62
Ιουλ	199	19,50	31,80	26,50	40,55	12,60	5,91
Αυγ	229	19,90	32,00	26,50	36,45	17,20	5,27

Για να βρούμε την εξατμισοδιαπνοή του χλοοτάπητα για κάθε ένα από τους 3 μήνες, πολλαπλασιάζουμε την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Πίνακας 1) με τον κατάλληλο συντελεστή τοπίου (WUCOLS, 2000). Οι συντελεστές μικροκλίματος (kmc), πυκνότητας (kd) και φυτού (ks) εκτιμήθηκε ότι έχουν τιμές 1, 1 και 0,8 αντίστοιχα. Επομένως η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή χλοοτάπητα εκτιμάται σε 4,50, 4,73 και 4,22 mm d<sup>-1</sup> για τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα.

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει τους υπολογισμούς που έγιναν σχετικά με το πρόγραμμα άρδευσης. Για τους κρίσιμους μήνες αποφασίστηκε συχνότητα άρδευσης 2 ημερών και με βάση αυτή η διάρκεια άρδευσης είναι 15min. Για την περίοδο της άνοιξης (Απρ-Μάιος) του φθινοπώρου (Σεπτ-Οκτ) εκτιμάται ότι μπορεί να εφαρμοστεί μείωση διάρκειας (water budget) της τάξης του 60%. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μείωσης δεν παρουσιάζονται στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής.

**Πίνακας 2 Κατάρτιση προγράμματος άρδευσης**

Μήνας	Παροχή στάσης αρδευτικού συστήματος Q (l/min)	Ένταση εφαρμογής (mm/h)	Απαιτούμενη εβδομαδιαία διάρκεια άρδευσης (min/week)	Μέγιστη διάρκεια κάθε άρδευσης (min)	Αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Πρακτικό αριθμός εβδομαδιαίων αρδεύσεων	Διάρκεια άρδευσης (min)
Απρ	12,88	64,40	30	22	1,36	3,5	8,57
Μαϊ	12,88	64,40	41	22	1,86	3,5	11,71
Ιουν	12,88	64,40	49	22	2,23	3,5	14,00
Ιουλ	12,88	64,40	51	22	2,32	3,5	14,57
Αυγ	12,88	64,40	46	22	2,09	3,5	13,14
Σεπ	12,88	64,40	35	22	1,59	3,5	10,00
Οκτ	12,88	64,40	22	22	1,00	3,5	6,29

## **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ**

### **1\_C Μεταχείριση αναφοράς**

Στο πειραματικό τεμάχιο 1\_C εφαρμόστηκε το θεωρητικά υπολογισμένο πρόγραμμα άρδευσης με χρήση ενός προγραμματιστή Orbit (εσωτερικό 4 στάσεων, Εικόνα 18) και Water budget. Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μείωσης δεν παρουσιάζονται στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής.



**Εικόνα 18 Προγραμματιστής Orbit (εσωτερικός των 4 στάσεων)**

## **2\_R Μεταχείριση με αισθητήρα βροχής**

Στο πειραματικό τεμάχιο 2\_R υπήρξε ειδική μεταχείριση με αισθητήρα βροχής (Εικόνα 19) και Water budget (τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μείωσης δεν παρουσιάζονται στο πλαίσιο αυτής της πτυχιακής). Ο αισθητήρας, που ρυθμίστηκε στα 13mm ύψος βροχής, συνδέεται σε ειδική θέση στον προγραμματιστή άρδευσης και αναστέλλει την αυτόματη λειτουργία ποτίσματος σε περίπτωση που το ύψος της βροχής ξεπεράσει το όριο ύψους βροχής που έχει οριστεί.



**Εικόνα 19** Αισθητήρας βροχής

## **4\_M Μεταχείριση με αισθητήρα υγρασίας εδάφους**

Το τεμάχιο 4\_M είναι χωρισμένο σε 3 επιμέρους χώρους (4Ma, 4Mb και 4Mc) στους οποίους τοποθετήθηκαν αισθητήρες εδαφικής υγρασίας (Εικόνα 20). Η ώρα ποτίσματος για τον κάθε χώρο, είναι διαφορετική. Ο αισθητήρας εδάφους μετρά συνεχώς τα επίπεδα υγρασίας στο έδαφος και καθορίζει πότε πρέπει να επιτρέψει στον προγραμματιστή να γίνει άρδευση. Υπάρχουν δύο εξαρτήματα στο σύστημα: ένας δέκτης που ενώνεται με τον προγραμματιστή άρδευσης (χρησιμοποιήθηκε Orbit 4 στάσεων) και ένας αισθητήρας που εγκαθίσταται στο έδαφος. Κάθε φορά που το επίπεδο υγρασίας υπερβαίνει το καθορισμένο από το χρήστη βέλτιστο επίπεδο για το φυτικό υλικό, ο προγραμματιστής διακόπτει την άρδευση.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ρύθμιση ήταν στο 50% του όγκου νερού μεταξύ σημείου μόνιμης μάρανσης και υδατοικανότητας.



Εικόνα 20 Αισθητήρας εδαφικής υγρασίας TORO PRECISION SOIL SENSOR - PSS (πηγή: Sprinkler Warehouse, 2007)

### 5\_TCL Μεταχείριση με αισθητήρα εξατμισοδιαπνοής

Στο τεμάχιο αυτό η άρδευση ρυθμίστηκε με χρήση αισθητήρα Climate Logic της Irritrol. Το σύστημα αποτελείται από μία συστοιχία αισθητήρων (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία και υγρασία αέρα, βροχόπτωση) ο οποίος δίνει δεδομένα σε ειδική μονάδα όπου υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς ενώ παράλληλα διακόπτει την άρδευση σε περίπτωση βροχής. Η ειδική μονάδα συνδέεται με έναν κατάλληλο προγραμματιστή (Εικόνα 21).

Η λογική λειτουργίας έχει ως εξής: γίνεται εισαγωγή του θεωρητικά υπολογισμένου προγράμματος άρδευσης και με βάση τις συνθήκες που επικρατούν τις προηγούμενες 3 ημέρες υπολογίζεται το ποσοστό της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής αναφοράς σε σχέση με τη θεωρητική. Η διάρκεια της άρδευσης ρυθμίζεται συνεχώς με βάση το ποσοστό αυτό. Η ρύθμιση του αισθητήρα βροχής ήταν στα 13mm.





Εικόνα 21 Προγραμματιστής Rain Dial (εσωτερικός των 6 στάσεων) και σύστημα Climate Logic.

## **ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

### **Μετεωρολογικός σταθμός θερμοκηπίου ΤΕΙ, Δ. Σάββας**

Ο μετεωρολογικός αυτός σταθμός βρίσκεται δίπλα στο χώρο όπου έγιναν οι αξιολογήσεις και διαθέτει πυρανόμετρο, θερμομέτρο, υγρασιόμετρο, ανεμόμετρο και βροχόμετρο (Εικόνα 22). Οι παράμετροι καταγράφονται ανά 30min.

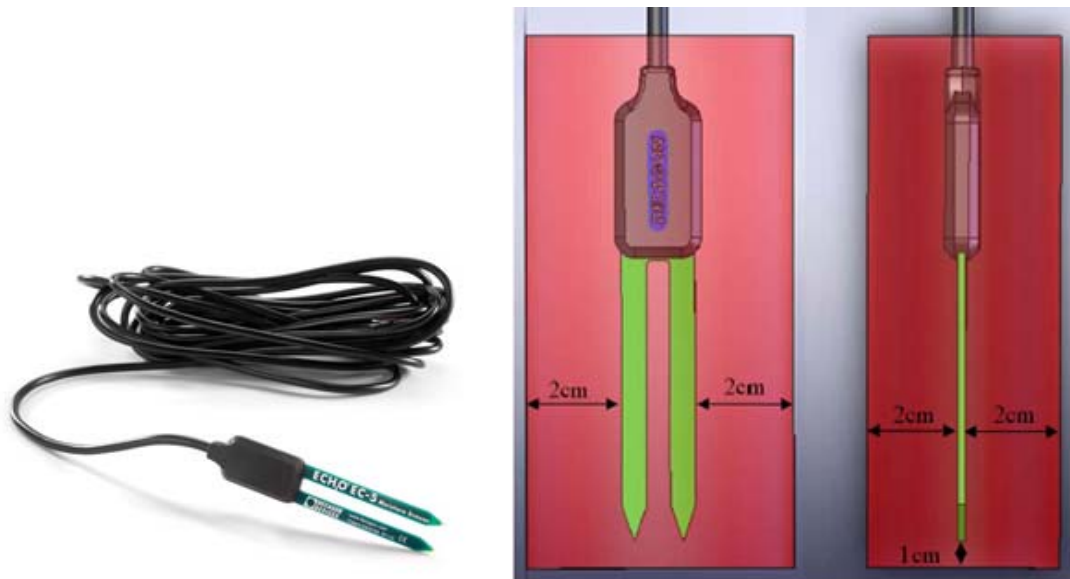


**Εικόνα 22 Μετεωρολογικός σταθμός**

### **Μέτρηση υγρασίας εδάφους**

Χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας EC5 (Decagon devices, USA). Είναι ένα όργανο μέτρησης διηλεκτρικής μέτρησης (τεχνολογίας Frequency Domain (FD) και ειδικότερα Frequency Domain Reflectometry (FDR)) το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την μέτρηση της περιεχομένου υγρασίας σε εδάφη. Ο όγκος μέτρησης του οργάνου είναι αρκετά μεγάλος, της τάξης των  $181 \text{ cm}^3$ . Σύμφωνα με την Decagon η χρήση των γενικών μοντέλων για ανόργανα και οργανικά εδάφη με τα οποία είναι εξ' αρχής εφοδιασμένο το σύστημα μέτρησης (πολυώνυμα 2<sup>ου</sup> βαθμού) δίνει ακρίβεια της τάξης του  $\pm 0,03$  με  $\pm 0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  για εδάφη. Η βαθμονόμηση για το κάθε συγκεκριμένο υπόστρωμα μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια έως και τα επίπεδα του  $\pm 0,01$  με  $\pm 0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Η ανάλυση των μετρήσεων είναι 0,1 VWC% για ανόργανα εδάφη το δε εύρος μέτρησης είναι από 0-100% VWC.

Οι αισθητήρες ήταν συνδεδεμένοι σε καταγραφικό Decagon Em50. Ο Em50 μπορεί να δεχθεί έως και 5 αισθητήρες. Λειτουργεί με απλές αλκαλικές μπαταρίες, οι οποίες διαρκούν έως και 6 – 10 μήνες. Συνοδεύεται από λογισμικό προγραμματισμού και μεταφοράς των μετρήσεων VP-3. (Εικόνα 23).



Εικόνα 23 Αισθητήρας ec5 και η σχετική περιοχή δείγματος (cobos, 2008β)

### Υδρόμετρα (ρολόγια μέτρησης νερού)

Χρησιμοποιήθηκαν υδρόμετρα ριπής (ρολόγια μέτρησης νερού) 1" για την μέτρηση της συνολικής κατανάλωσης του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.



Εικόνα 24 Υδρόμετρα 1"

## ΠΟΣΟΤΙΚΗ & ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΑ

### Κοπές και ξηρό βάρος για αξιολόγηση ανάπτυξης

Καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος έγιναν κοπές και μετρήσεις ξηρού βάρους του χλοοτάπητα για την αξιολόγηση της ανάπτυξης του. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται ο εξοπλισμός με τον οποίο γίνονταν η κοπή του χλοοτάπητα. Ακολουθούσε ξήρανση σε φούρνο και ζύγιση.



Εικόνα 25 Εξοπλισμός κοπής χλοοτάπητα

### **Εκτίμηση ποιότητας χλοοτάπητα μέσω μετρήσεων από απόσταση και χρήση αντικειμενικών δεικτών**

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση εκτίμηση της ποιότητας του χλοοτάπητα που συναντάμε στη βιβλιογραφία είναι η οπτική αξιολόγηση από ειδικούς. Μέσω αυτής εκτιμάται η πυκνότητα, η υφή και το χρώμα και βαθμολογούνται σε κλίμακα από 1 έως 9 (τέλειο). Η αξιολόγηση αυτή γίνεται με βάση το πρωτόκολλο που έχει αναπτυχθεί από το National Turfgrass Evaluation Program (NTEP) (Morris και Shearman, 2008). Σύμφωνα με πολλούς ερευνητές η αξιολόγηση περιέχει μεγάλη δόση υποκειμενικότητας και για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη η ανάπτυξη αντικειμενικών μεθόδων. Στο πλαίσιο αυτό αναπτύχθηκε μία σειρά από μεθόδους που σχετίζονται με την ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από την φυτική επιφάνεια. Η τελευταία κατηγορία είναι ευκολότερη στην εφαρμογή και για το λόγο αυτό έχει βρει μεγαλύτερη απήχηση. Σε αυτή ανήκουν τεχνικές που ξεκινούν από την χρήση ανάκλασης σε ορισμένα μήκη κύματος έως τεχνικές που χρησιμοποιούν κοινές ψηφιακές φωτογραφίες.

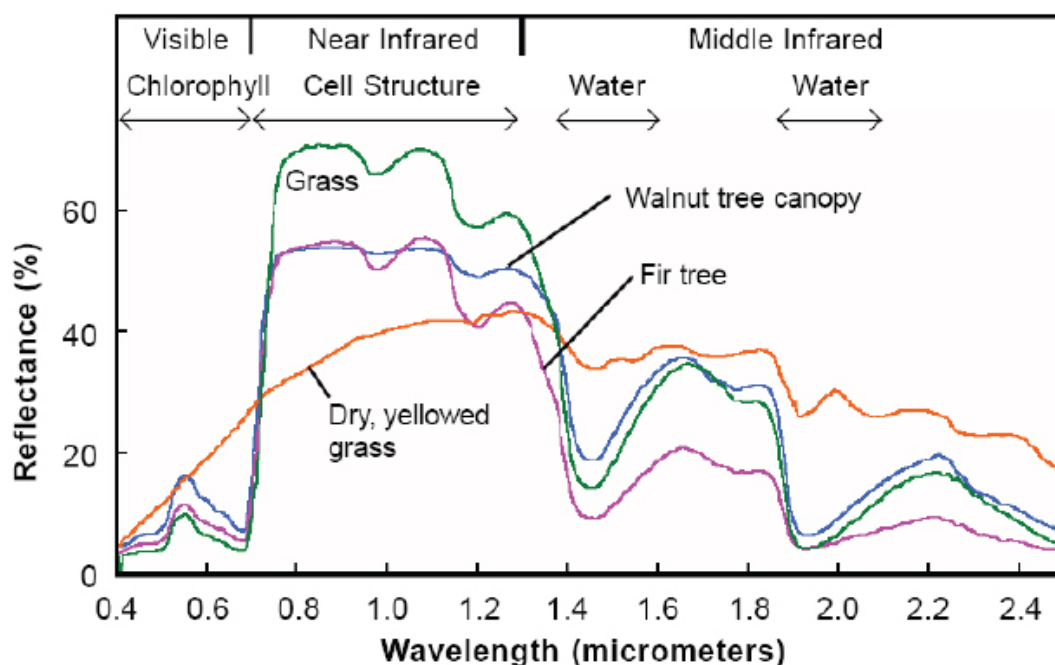
Στη συνέχεια θα γίνει αναφορά σε τεχνικές με χρήση ανάκλασης σε δύο ορισμένα μήκη κύματος μια και είναι η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του συγκεκριμένου πειράματος.

### **Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα φυτά**

Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει σε μία φυλλική επιφάνεια, ένα μέρος του ανακλάται (reflected), ένα άλλο μέρος διαπερνά (transmitted) τα φύλλα και ένα τρίτο μέρος απορροφάται (absorbed) από τα φύλλα. Η καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από μία εκτεταμένη επιφάνεια μέσω εναέριων αισθητήρων περιγράφεται με τον γενικό όρο τηλεπισκόπηση (remote sensing).

Η ανάκλαση από μία φυτική επιφάνεια επηρεάζεται από το σύνολο των φυσικών, βιολογικών, υδρολογικών και λοιπών ιδιοτήτων της. Σύμφωνα με τους Thenkabail κ.α. (2000), η ανάκλαση στην περιοχή του φάσματος μεταξύ 300 και 1050nm παρέχει σημαντικούς δείκτες για την καταγραφή φυσιολογικών ιδιοτήτων των φυτών και κυρίως του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, του ποσοστού κάλυψης του εδάφους, της βιομάζας και του νωπού και ξηρού βάρους.

Οι αισθητήρες μέτρησης της ανάκλασης που τοποθετούνται πάνω από μία φυλλική επιφάνεια λαμβάνουν προφανώς το σύνολο της ακτινοβολίας που ανακλάται και εκπέμπεται υπό όλες αυτές τις επιδράσεις και κάθε συνδυασμός φυτού – καλλιεργητικής τεχνικής μπορεί να έχει μία χαρακτηριστική υπογραφή που επιτρέπει την αναγνώρισή του (Εικόνα 26).



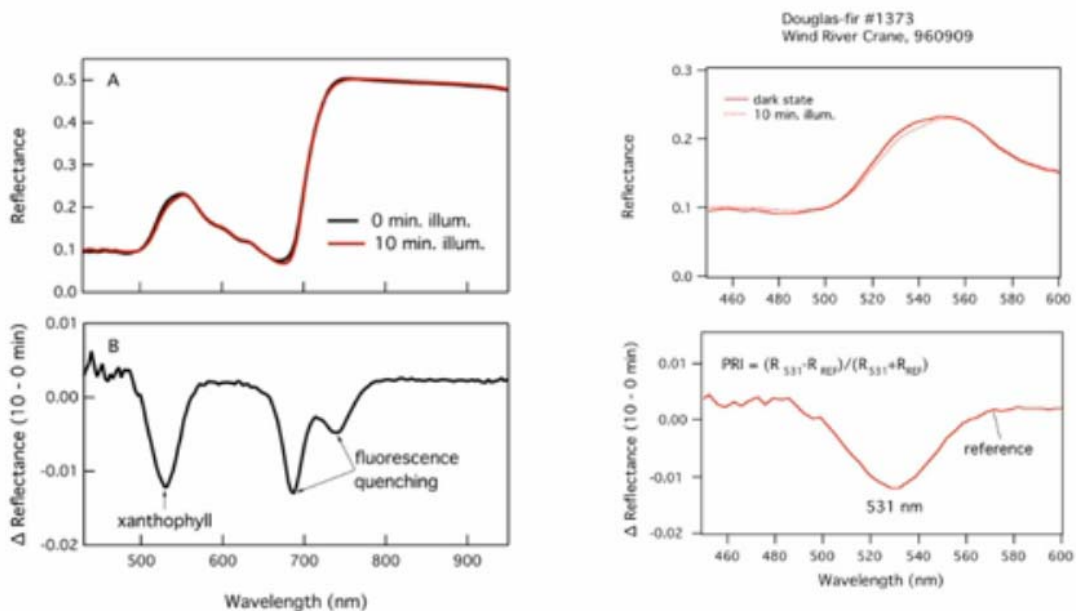
**Εικόνα 26** Φάσμα ανάκλασης από φυτικές επιφάνειες διαφορετικού τύπου καθώς και από φύλλα υπό μάρανση (smith, 2001)

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με το χρόνο και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η ανάκλαση σε ένα μήκος κύματος είναι χρήσιμη μόνο για τον εντοπισμό περιοχών του φάσματος που σχετίζονται με την υδατική κατάσταση και όχι για το χαρακτηρισμό μίας φυτικής επιφάνειας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με το συνδυασμό δεδομένων από δύο ή περισσότερα μήκη κύματος σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό φυτικούς φασματικούς δείκτες. Οι Zalaluk και Sri Ranjan (2008) κατηγοριοποίησαν τις βασικές μορφές φασματικών δεικτών που χρησιμοποιούνται και για την εκτίμηση της υδατικής καταπόνησης:

- οι απλοί λόγοι (simple ratios) είναι το πηλίκο της ανάκλασης σε δύο μήκη κύματος,
- οι κανονικοποιημένες διαφορές (normalized difference vegetation indices) υπολογίζονται διαιρώντας την διαφορά στην ανάκλαση σε δύο μήκη κύματος με το άθροισμα αυτών.

$$\frac{R_{###nm}}{R_{$$$nm}} \qquad \frac{R_{###nm} - R_{$$$nm}}{R_{###nm} + R_{$$$nm}}$$

## Εξίσωση 2 Βασικές μορφές φασματικών φυτικών δεικτών



Εικόνα 27 Πειραματικές πληροφορίες στο πλαίσιο ανάπτυξης του PRI (Gamon, 2014)

Οι Gamon κ.α. (1992) ανέπτυξαν ένα δείκτη ο οποίος 20 σχεδόν έτη μετά έχει φθάσει να αξιοποιείται σε πραγματικές συνθήκες Gamon (2014). Ο δείκτης αυτός ονομάζεται PRI (Photochemical Reflectance Index<sup>3</sup>) και αποτελεί ένα μέσο για την καταγραφή της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και της φυτο υγειονομικής κατάστασης αειθαλών φυτικών επιφανειών. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιεί μετρήσεις του ποσοστού ανάκλασης του ηλιακού φωτός στα μήκη κύματος 531 και 570nm (και τα δύο εντός του ορατού και μάλιστα στην περιοχή του πράσινου) από τα οποία το πρώτο είναι πολύ ευαίσθητο στη φωτοσυνθετική δραστηριότητα ενώ το δεύτερο χαρακτηρίζει το τέλος της

<sup>3</sup> Το ακρωνύμιο PRI χρησιμοποιείται από άλλους ερευνητές για τους όρους Physiological Reflectance Index

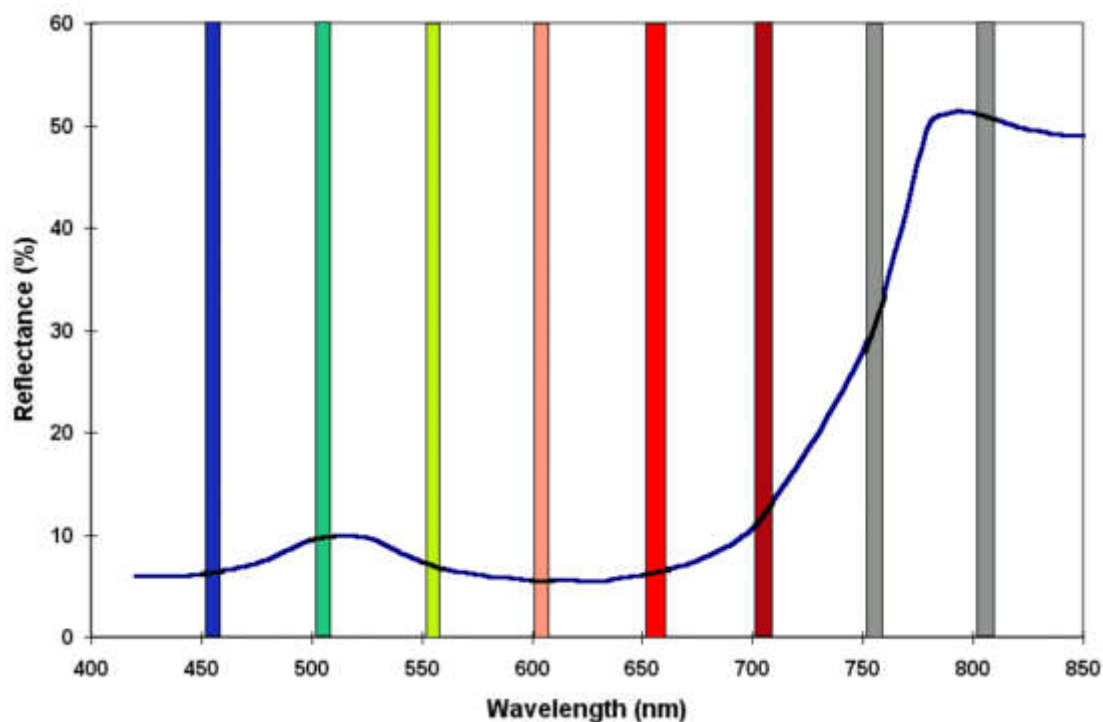
περιοχής επίδρασης και για αυτό χρησιμοποιείται ως αναφορά,  $PRI = (R531 - R570) / (R31 + R570)$ ). Η επιλογή των συγκεκριμένων έγινε μετά από θεωρητική ανάλυση της φυσιολογίας των φυτών και μακροχρόνιες πειραματικές δοκιμές (Εικόνα 27). Πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν το δείκτη με  $R570 - R531$  στον αριθμητή ώστε να μην λαμβάνει αρνητικές τιμές (Gamon, 2014).

Άλλοι ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει για τον ίδιο σκοπό άλλα μήκη κύματος εντός της ίδιας περιοχής με την ίδια λογική, π.χ. οι Penñelas κ.α. (1994) χρησιμοποίησαν το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 530 και 550nm.

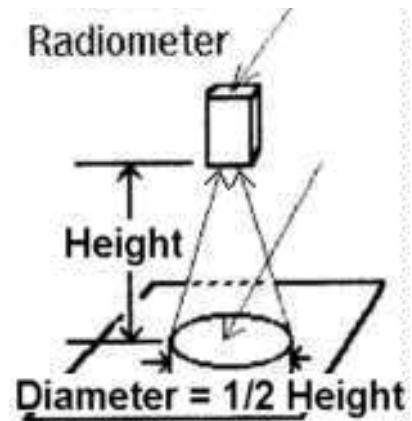
### Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο

Για την μέτρηση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια του χλοοτάπητα χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο (MSR87, CropScan Inc., Rochester, USA) το οποίο μετρά σε 8 στενές (10nm) φασματικές λωρίδες κεντραρισμένες στα ακόλουθα μήκη κύματος (σε nm): 460, 510, 560, 610, 660, 710, 760 και 810 (Εικόνα 28).

Το όργανο αποτελείται από τον αισθητήρα, τη ράβδο προσάρτησης του αισθητήρα, το πληκτρολόγιο ελέγχου και τον υπολογιστή – καταγραφικό. Χαρακτηριστικό του οργάνου είναι ότι η διάμετρος της περιοχής αποτύπωσης είναι ίση με το μισό του ύψους του οργάνου πάνω από την επιφάνεια από την οποία καταγράφεται η ανάκλαση (Εικόνα 29).



Εικόνα 28 Τυπικό διάγραμμα ανάκλασης από φυτική επιφάνεια (Cropscan, σημειώνονται οι περιοχές μέτρησης του Multispectral Radiometer 87)



**Εικόνα 29 Φορητό πολυφασματικό ραδιόμετρο CropScan**

Λόγω των περιορισμών του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, για την αξιολόγηση της διαφοράς της ποιότητας χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 510 και 560nm για να ορίσουμε ένα δείκτη παρόμοιο με τον PRI:

$$PRI_{cropscan} = (R_{560} - R_{510}) / (R_{560} + R_{510})$$

**Εξίσωση 3 Δείκτης φασματικής ανάκλασης  $PRI_{cropscan}$**



**Εικόνα 30 Cropscan που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο του πειράματος.**



## **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Κατά τη διάρκεια των τριών μηνών εφαρμογής του πειράματος συλλέχθηκαν μετρήσεις, σχετικά με την κατανάλωση του νερού, την ανάπτυξη του χλοοτάπητα μέσω των κοπών και το ποσοστό ανακλώμενης ακτινοβολίας από την φυλλική επιφάνεια, για την παρακολούθηση δεικτών ανάκλασης που σχετίζονται με την υδατική καταπόνηση.

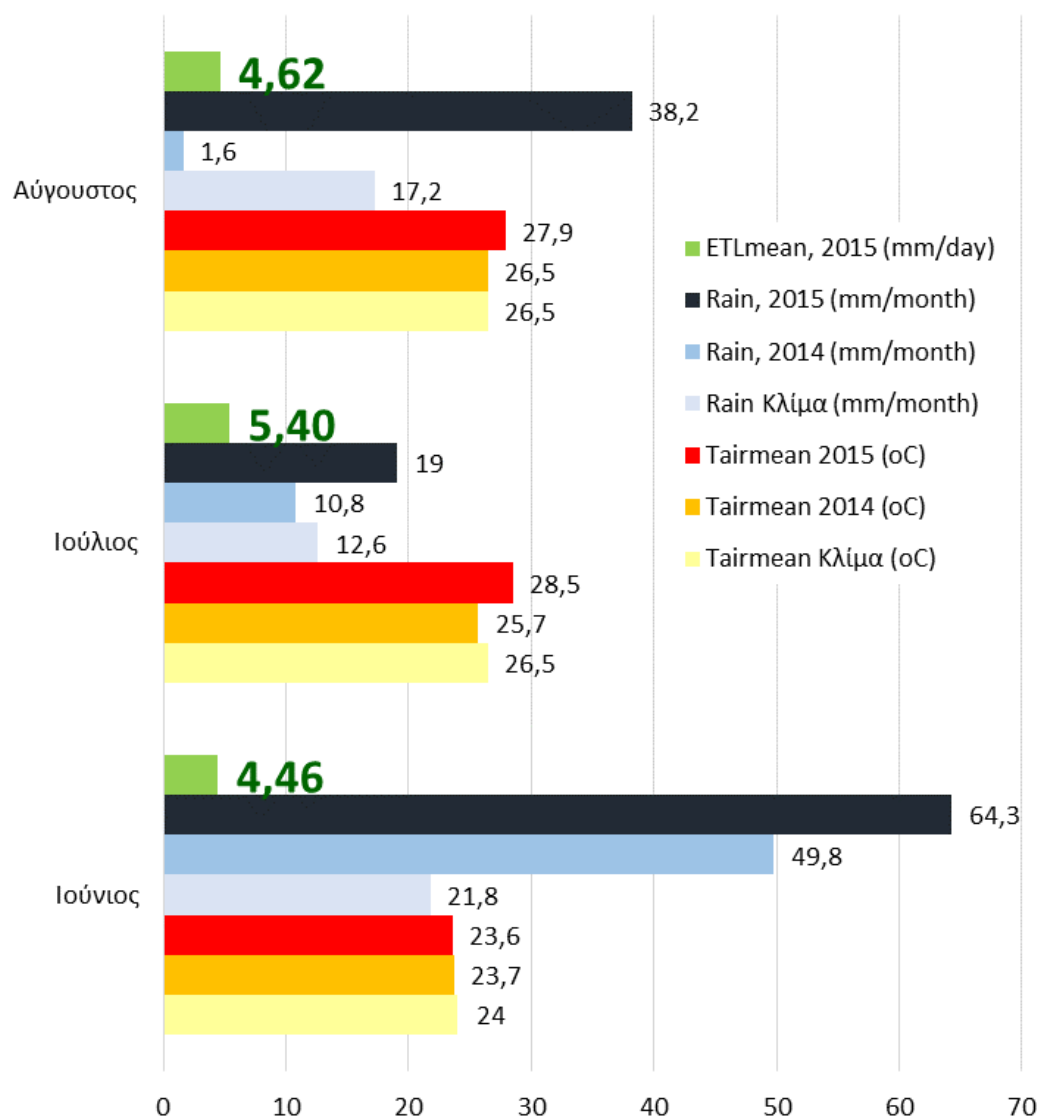
### ***Καιρικές συνθήκες***

Στο στη Εικόνα 31 παρουσιάζονται οι μέσες θερμοκρασίες και το ύψος βροχής για την περιοχή της Άρτας (κλιματικές τιμές και καλοκαίρια 2014 και 2015). Είναι προφανές ότι το καλοκαίρι του 2015 είχαμε πολύ αυξημένες βροχοπτώσεις σε σχέση με τις κλιματικές τιμές αλλά και το καλοκαίρι του 2014.

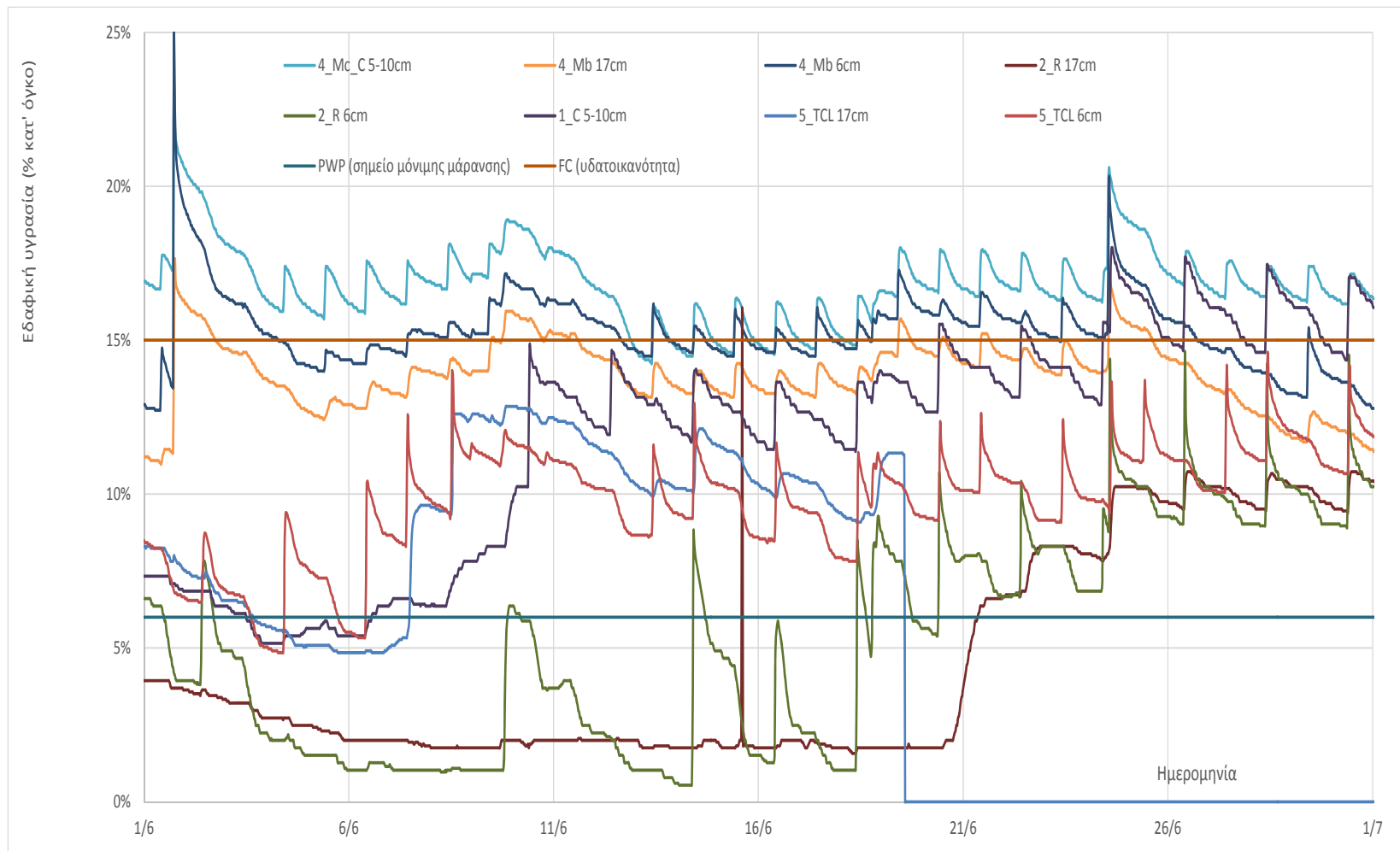
Το 2015, η μέση ημερήσια εξατμισοδιαπνοή (όπως υπολογίστηκε με τη μέθοδο Haargeaves (Allen κ.α., 1998)). του χλοοτάπητα που χρησιμοποιήθηκε κυμάνθηκε από 4,46 mm τον Ιούνιο έως 5,40 mm τον Ιούλιο.

### ***Υγρασία υποστρώματος***

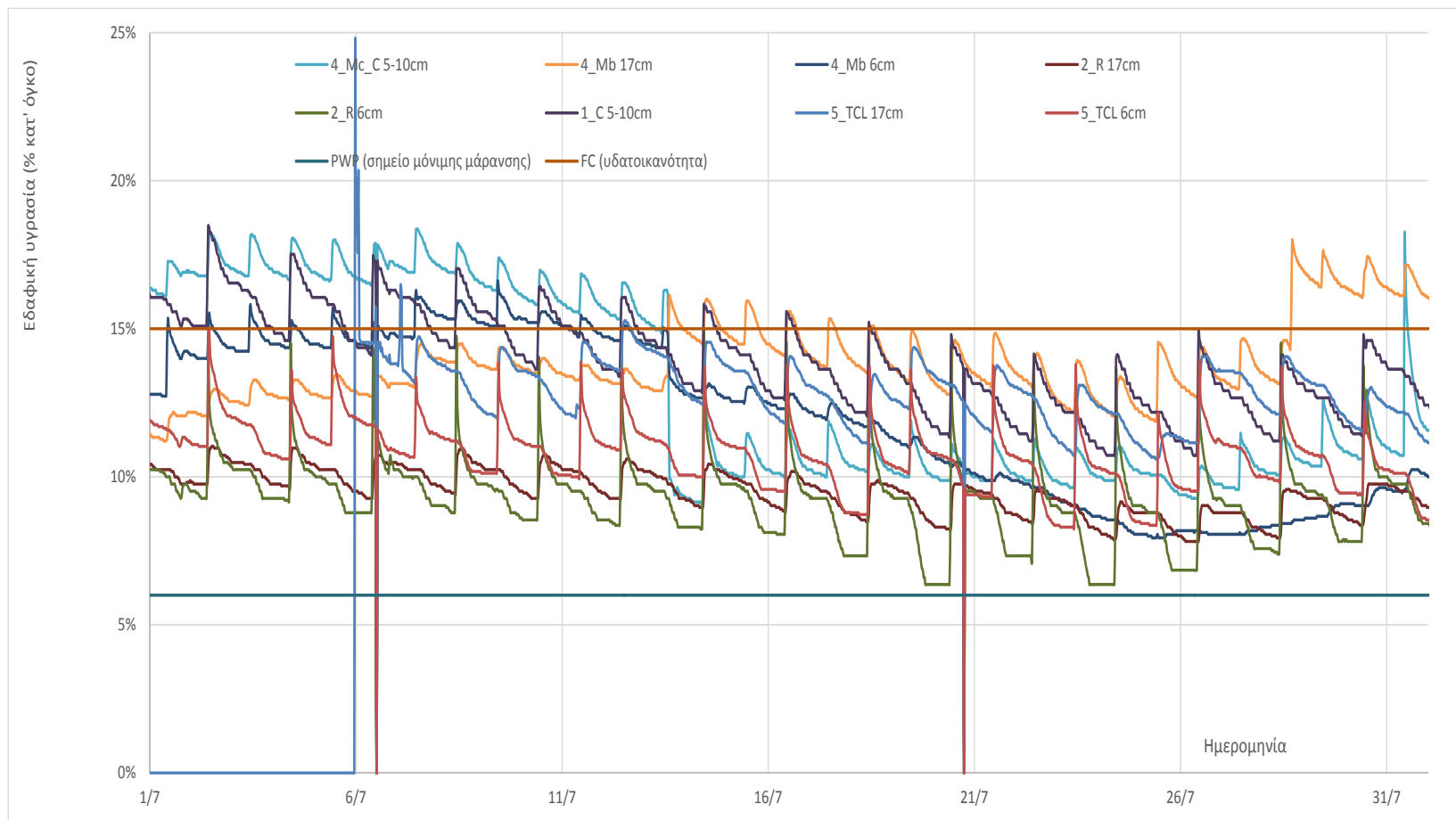
Παρατηρούμε τις εναλλαγές στο ποσοστό εδαφικής υγρασίας σε κάθε τεμάχιο την περίοδο του πειράματος (Εικόνα 32, Εικόνα 33 και Εικόνα 34).



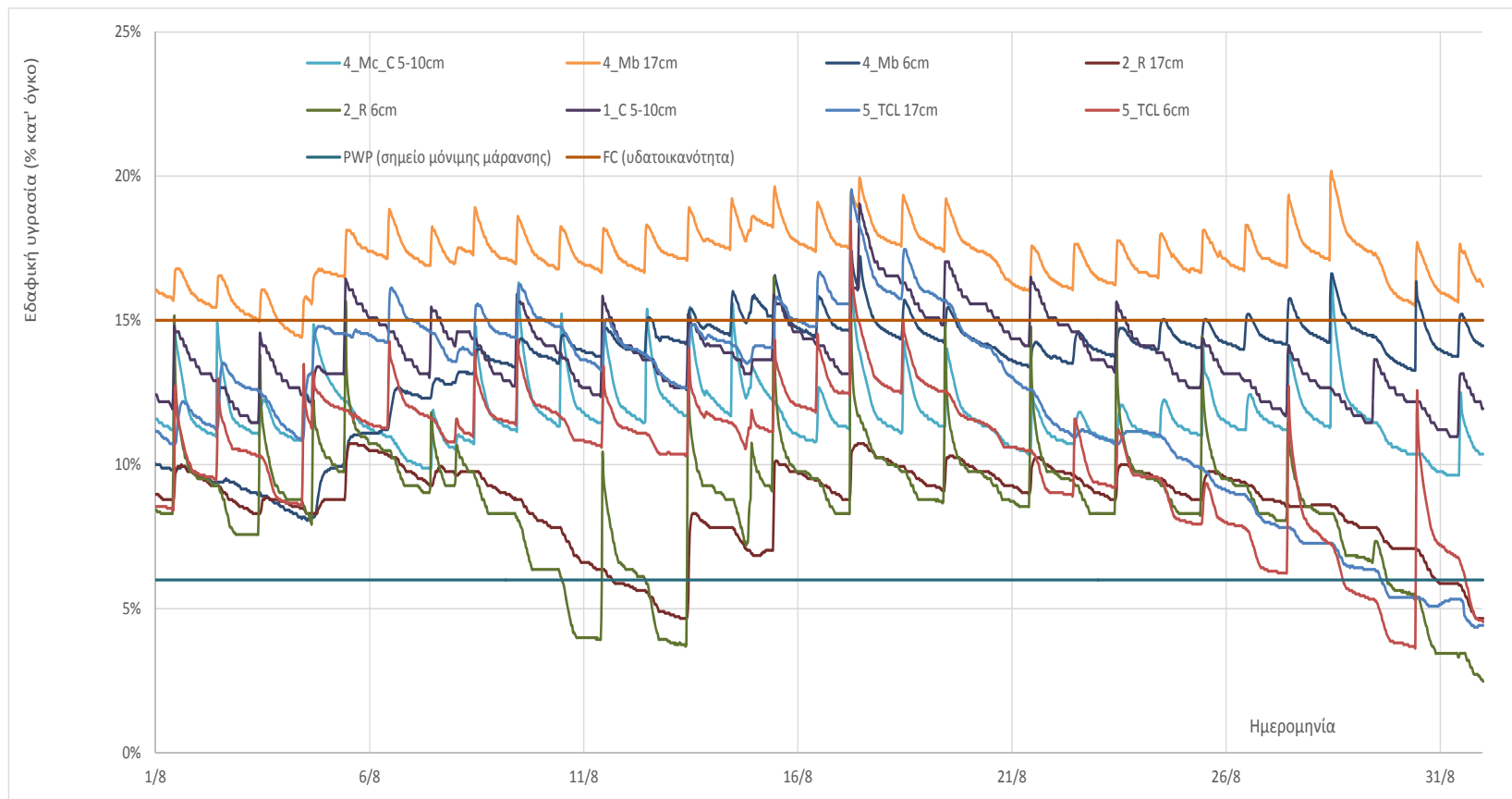
Εικόνα 31 Θερμοκρασίες και βροχόπτωση με βάση κλιματικά δεδομένα (EMY, 2015) και μετρήσεις για καλοκαιρινές περιόδους 2014 και 2015 (METEO.GR, 2015)



**Εικόνα 32 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Ιούνιο.**



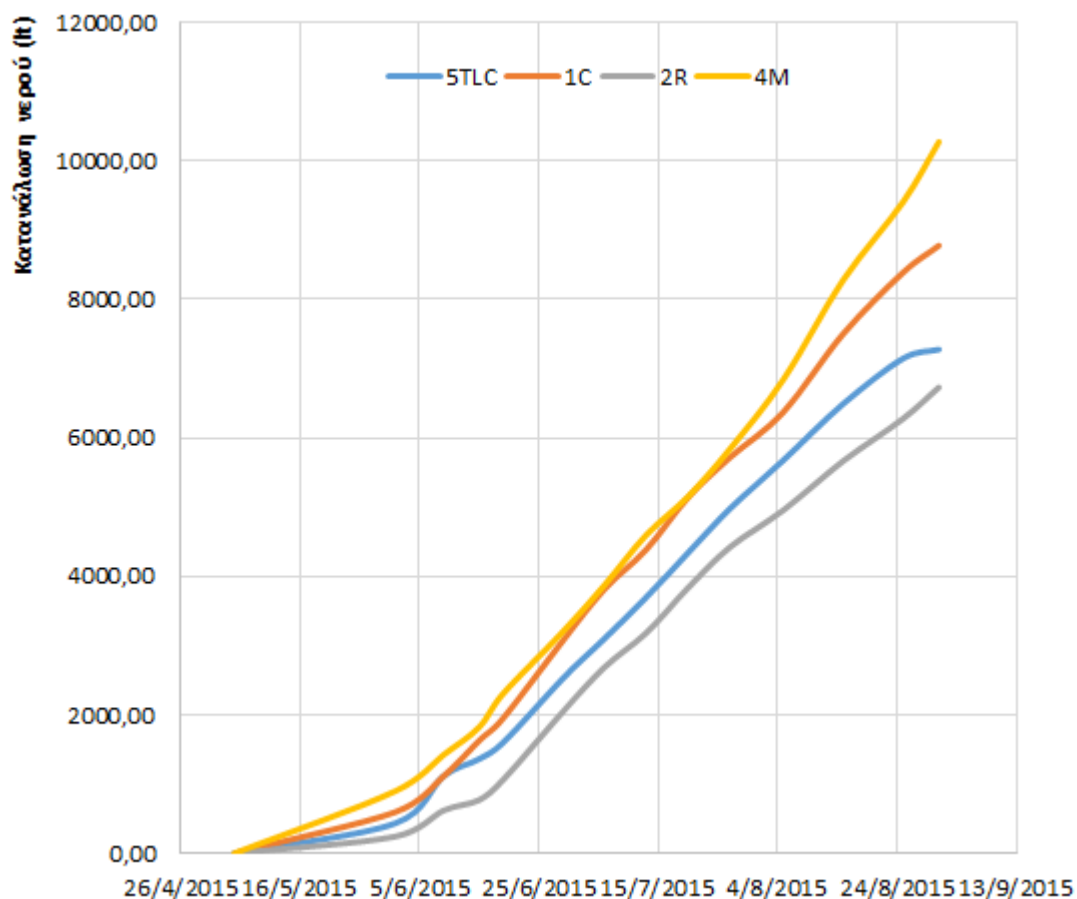
**Εικόνα 33 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Ιούλιο.**



**Εικόνα 34 Υγρασία υποστρώματος για τον μήνα Αύγουστο.**

## **Αθροιστική κατανάλωση νερού**

Κατά τη διάρκεια του πειράματος ανά συγκεκριμένα διαστήματα πήραμε μετρήσεις κατανάλωσης νερού, για τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε τεμάχιο. Τα αθροιστικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στην Εικόνα 35.

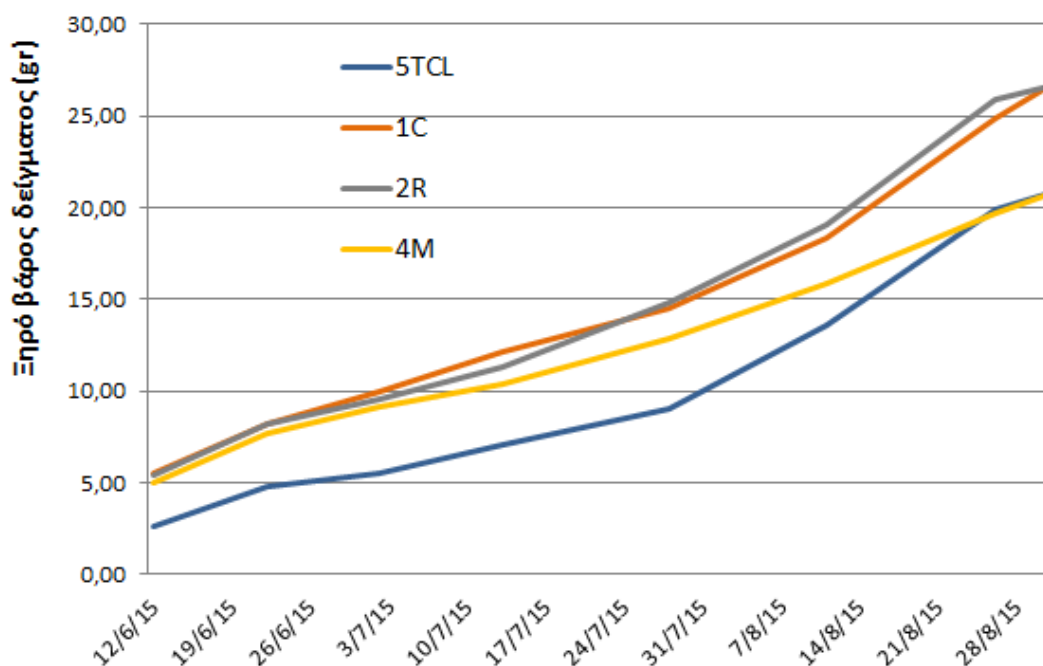


Εικόνα 35 Αθροιστική κατανάλωση νερού για άρδευση

## **Ανάπτυξη χλοοτάπητα (ξηρό βάρος κοπών)**

Για να υπολογιστεί η ανάπτυξη του χλοοτάπητα, πάρθηκε ανά διαστήματα φυτικό υλικό που προήλθε από τις κοπές, στο οποίο έγινε ξήρανση και στη συνέχεια ζυγίστηκε για να υπολογιστεί το ξηρό βάρος.

Η ανάπτυξη του χλοοτάπητα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 36).



Εικόνα 36 Ξηρό βάρος χλοοτάπητα

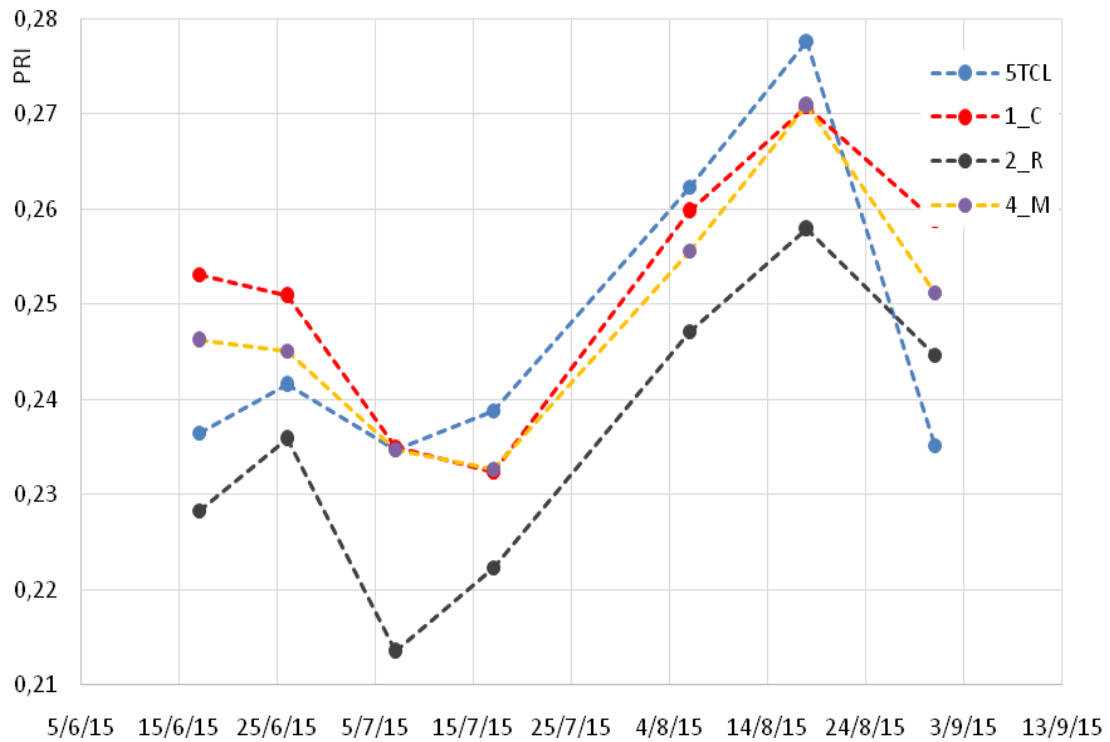
Η σύγκριση των μέσω τιμών με Student's t-test (95%), έδειξε ότι:

- 1C και 2R έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (δεν διαφέρουν σημαντικά)
- 1C και 4M έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (δεν διαφέρουν σημαντικά)
- 1C και 5TCL έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (δεν διαφέρουν σημαντικά).

### **Οπτική αξιολόγηση ποιότητας χλοοτάπητα (PRI)**

Όπως ήδη αναφέρθηκε, λόγω των περιορισμών του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε, για την αξιολόγηση της διαφοράς της ποιότητας χρησιμοποιήσαμε το ποσοστό ανάκλασης στα μήκη κύματος 510 και 560nm για να ορίσουμε ένα δείκτη παρόμοιο με τον PRI:  $PRI_{cropscan} = (R560 - R510) / (R560 + R510)$ .

Στην Εικόνα 37 παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη κατά την περίοδο αξιολόγησης.



**Εικόνα 37** Εξέλιξη του δείκτη PRIcropscan κατά την περίοδο αξιολόγησης

Η σύγκριση των μέσων τιμών με Student's t-test (95%), έδειξε ότι:

- 1C και 2R δεν έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (διαφέρουν σημαντικά)
- 1C και 4M έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (δεν διαφέρουν σημαντικά)
- 1C και 5TCL έχουν τυχαία η διαφοροποίηση (δεν διαφέρουν σημαντικά).



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το καλοκαίρι του 2015 ήταν πιο βροχερό με αυτο του 2014 και γενικά σε σχέση με τα ιστορικά κλιματικά δεδομένα για την περιοχή. Σχετικά με την θερμοκρασία το καλοκαίρι του 2015 ήταν είναι πιο θερμό τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο από το έτος 2014 και το κλίμα της περιοχής, ενώ τον Ιούνιο δεν παρατηρήθηκαν μεγάλες διαφορές στην μέση θερμοκρασία. Όσο αφορά τις βροχοπτώσεις, τους μήνες Ιούνιο και Αύγουστο υπήρχε μεγάλη αύξηση: 64,3 και 38,2 mm βροχής αντίστοιχα ενώ τον Ιούλιο παρατηρήθηκαν επίσης αυξημένες βροχοπτώσεις αλλά πιο κοντά στο κλίμα της περιοχής.

Είχε υπολογιστεί (Πίνακας 1) ότι η μέση ημερήσια εξαμισοδιαπνοή χλοοτάπητα, με βάση ιστορικά κλιματικά στοιχεία είναι της τάξης των 4,50, 4,73 και 4,22 mm d<sup>-1</sup> για τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο αντίστοιχα. Επομένως για κάθε μεταχείριση (έκταση 12m<sup>2</sup>) ένα τυπικό πρόγραμμα άρδευσης για σύστημα καταιονισμού (αποτελεσματικότητα 65-75%) θα έδινε συνολικά περίπου 7 m<sup>3</sup> νερό κατά το διάστημα αυτό.

Καταγραφή των αθροιστικών καταναλώσεων (Εικόνα 35) σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του 2014:

**Πίνακας 3** Καταγραφή καταναλώσεων σε λίτρα ανά τεμάχιο πειράματος από μεγαλύτερη προς μικρότερη κατανάλωση.

2015	2014
<ul style="list-style-type: none"><li>• 9- για την 1_C</li><li>• 6+ m<sup>3</sup> για την 2_R</li><li>• 7+ m<sup>3</sup> για την 5TCL</li><li>• 4+ m<sup>3</sup> για την 4Ma</li><li>• 3- m<sup>3</sup> για την 4Mb</li><li>• 3+ m<sup>3</sup> για την 4Mc</li><li>• 9+ m<sup>3</sup> για την 4M(Συνολικά)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 9-10 για την 1_C</li><li>• 7+ m<sup>3</sup> για την 2_R</li><li>• 7- m<sup>3</sup> για την 5TCL</li><li>• 4- m<sup>3</sup> για την 4M</li></ul>

Βέβαια πρέπει να αναφερθεί ότι σε αυτές τις ποσότητες περιλαμβάνονται και το νερό που καταναλώθηκε κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος για ρυθμίσεις, συντηρήσεις κοκ.

Είναι προφανές ότι η μεταχείριση 4M εμφανίζει μία πολύ μεγάλη διαφορά από τις άλλες, αφού κατανάλωσε το περισσότερο με διαφορά νερό, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρήσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου.

Η μεταχείριση 2\_R είχε την μεγαλύτερη ανάπτυξη (Εικόνα 36) χωρίς να έχει ωστόσο μεγάλη κατανάλωση νερού ενώ μετά από αυτή ακολουθεί η 1\_C η οποία κατανάλωσε τη δεύτερη μεγαλύτερη ποσότητα. Η 5\_TCL και η 4M είχαν στο τέλος του πειράματος την ίδια παραγωγή φυλλικής επιφάνειας σε χαμηλά όμως επίπεδα, όπου στην 5\_TCL είναι αναμενόμενο καθώς είχε μικρή κατανάλωση νερού. Στην μεταχείριση 4M όμως παρατηρούμε το εξής οξύμωρο, μεγάλη κατανάλωση νερού και μικρή ανάπτυξη φυλλικής επιφάνειας. Επομένως υπάρχει πιθανότητα κακής ρύθμισης του αισθητήρα ή διαρροών.

Επομένως είναι προφανές ότι υπάρχουν πολύ ισχυρές ενδείξεις ότι η χρήση αισθητήρα βροχής (μεταχείριση 2\_R) μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα σημαντική οικονομία στην κατανάλωση νερού σε ένα θερμό καλοκαίρι με έντονες βροχοπτώσεις όπως αυτό του 2015. Βέβαια όσο αφορά την ποιότητα εμφανίζεται να έχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με την μεταχείριση αναφοράς (1C)..

Εν κατακλείδι, τα πλεονεκτήματα των αυτοματοποιημένων αρδευτικών συστημάτων, ειδικότερα με συνδυασμό διαφόρων αισθητήρων, υπερτερούν αυτών των απλοποιημένων, καθιστώντας τα αποδοτικότερα και αποτελεσματικότερα για μια ολοκληρωμένη αξιοποίηση του νερού άρδευσης.

### **Άλλα συμπεράσματα**

- Στην μεταχείριση 1\_C, η οποία δεν είχε κάποια ειδική μεταχείριση εκτός από Water Budget, είχαμε τη δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση νερού και ανάπτυξη φυλλικής επιφάνειας με ικανοποιητική ποιότητα. Τα ποσοστά εδαφικής υγρασίας ήταν σε σχετικά υψηλά επίπεδα, κάτι που ήταν αναμενόμενο.
- Γενικά παρατηρήθηκε μέτριο ποσοστό εδαφικής υγρασίας στη μεταχείριση 2\_R, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι ο αισθητήρας ήταν τοποθετημένος στα -17cm. Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, είχε την μικρότερη κατανάλωση νερού με ικανοποιητική ανάπτυξη του χλοοτάπητα.
- Στη μεταχείριση 4\_M χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υγρασίας εδάφους. Για το λόγο αυτό, στο διάγραμμα υγρασίας υποστρώματος, τα ποσοστά είναι υψηλά και σταθερά όμως έχει την μεγαλύτερη κατανάλωση νερού πράγμα που δείχνει ότι η άρδευση με αισθητήρες εδαφικής υγρασίας δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα όπως το 2014, πιθανόν λόγω των συχνών βροχοπτώσεων. Επιπλέον, παρατηρούμε αντίθετα αποτελέσματα ως προς την ανάπτυξη της φυλλικής επιφάνειας η οποία είναι η μικρότερη μαζί με την 5\_TCL.

- Στη μεταχείριση 5\_TCL παρατηρούνται εντός ορίων σταθερά ποσοστά υγρασίας εδάφους, τα οποία συνδέονται με μία σχετικά χαμηλή κατανάλωση νερού. Υπάρχει βέβαια, μικρότερη ανάπτυξη χωρίς μεγάλη απόκλιση σε σχέση με τα άλλα τεμάχια, χωρίς να επηρεάζεται κατά πολύ η εμφάνιση του χλοοτάπητα.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage. Paper 56, Rome.
- CMMC, Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean provided by Euro-Mediterranean Centre on Climate Change, 2013. Projected change in water availability for irrigation in the Mediterranean region. Διαθέσιμο στο: : <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-requirement-1/assessment>. Προσπελάστηκε: 1/9/2014.
- Davis S.L., Dukes M.D., 2010. Irrigation scheduling performance by evapotranspiration-based controllers. *Agricultural Water Management* 98(1):19–28
- Gamon J.A., 2014. The Photochemical Reflectance Index (PRI): An Optical Metric of Plant Stress. Decagon Webinar, διαθέσιμο στο: <http://www.decagon.com/education/virtual-seminar-the-photochemical-reflectance-index-pri-an-optical-metric-of-plant-stress/> προσπελάστηκε:24/09/2014
- Gamon J.A., Penñelas J., and Field C.B., 1992. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sensing of Environment*, 41: 35-44.
- Google Earth, 2014. Δορυφορική εικόνα, Προσπελάστηκε: 20/1/2014
- Haley, M. and Dukes, M., 2012. Validation of Landscape Irrigation Reduction with Soil Moisture Sensor Irrigation Controllers." *J. Irrig. Drain Eng.*, 138(2), 135-144.
- Hellasod, 2014. Χλοοτάπητας ΗΡΑΚΛΗΣ. Διαθέσιμο στο: [http://www.hellasod.gr/poikilies\\_xlootapita/82/Iraklis.htm](http://www.hellasod.gr/poikilies_xlootapita/82/Iraklis.htm). Προσπελάστηκε: 1/9/2014.
- Irrigation Association (USA), 2013 "Smart" Water Application Technologies. Διαθέσιμο στο <http://www.irrigation.org/swat/>. Προσπελάστηκε: 24/09/2014
- McCreedy M.S., M.D. Dukes., 2011 Landscape irrigation scheduling efficiency and adequacy by various control technologies. *Agricultural Water Management* 98(4): 697–704
- Melby P., 1995. *Simplified Irrigation Design*, Van Nostrand Reinhold

- METEO.GR, 2015. Στοιχεία μετεωρολογικού σταθμού Άρτας για τα έτη 2014 και 2015. Διαθέσιμο στο: <http://www.meteo.gr/stations/arta/>. Προσπελάστηκε: 2/10/2015
- Morris K.N., Shearman R.C. 2008. NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines. Διαθέσιμο στο: <http://www.ntep.org/contents2.shtml> Προσπελάστηκε: 24/09/2014
- Penñelas J., Gamon J. A., Fredeen A. L., Merino J. and Field C. B., 1994. Reflectance Indices Associated with Physiological Changes in Nitrogen- and Water-Limited Sunflower Leaves REMOTE SENS. ENVIRON. 48:135-146
- Smith R.B., 2001, Introduction to hyperspectral imaging. Διαθέσιμο στο: [www.microimages.com](http://www.microimages.com). Προσπελάστηκε: 10/04/2014
- Sprinkler Warehouse. Irrigation supplies. Διαθέσιμο στο: <http://www.sprinklerwarehouse.com/EZ-Flo-Irrigation-Fertilizer-Combo-Pack-p/ezflo-combo-2.htm>. Προσπελάστηκε: 24/09/2014
- Suárez L., Zarco-Tejada P.J., González-Dugo V., Berni J.A.J., Sagardoy R., Morales F. and Fereres E., 2009. Detecting water stress effects on fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery. Remote Sensing of Environment.
- Thenkabail PS, Smith RB, Pauw ED. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote Sensing Environment 71: 158–182.
- Toro. Precision soil sensor. Toro. Διαθέσιμο στο : <http://www.toro.com/en-gb/professionalcontractor/irrigation/sensors/Pages/Model.aspx?pid=Precision-Soil-Sensor>. Προσπελάστηκε:24/09/2014
- WUCOLS, University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources, 2000. A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California - The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III (WUCOLS is the acronym for Water Use Classifications of Landscape Species). Διαθέσιμο στο: <http://www.water.ca.gov/wateruseefficiency/docs/wucols00.pdf>. Προσπελάστηκε: 1/09/2014
- Zakaluk, R. and Sri Ranjan, R. 2008. Predicting the leaf water potential of potato plants using RGB reflectance. Can. Bios. Eng. 50:7.1-7.12.

- Ανώνυμος, 2008, Εφαρμογές αισθητήρων. Διαθέσιμο στο: <http://www.inventorengineering.gr/apps-env-sensors.shtml>  
Προσπελάστηκε:24/09/2014
- ΓΓΔΕ, Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-01  
Άρδευση φυτών
- ΓΓΔΕ, Προσωρινές Προδιαγραφές Τεχνικών Έργων: 10-06-02-02  
Άρδευση χλοοτάπητα - Φυτών εδαφοκάλυψης - Χλοοτάπητα πρανών
- ΕΕ, Ευρωπαϊκή Ένωση, 2000. Οδηγία πλαίσιο για τα νερά. Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/?tabid=248>. Προσπελάστηκε: 1/9/2015.
- ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2015. Κλιματολογικά στοιχεία Άρτας (ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: 1976-1997), Διαθέσιμο στο: [http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology\\_region\\_diagrams\\_html?dr\\_city=Arta&dr\\_region=ClimEpirus](http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams_html?dr_city=Arta&dr_region=ClimEpirus). Προσπελάστηκε: 2/10/2015
- Μπαμπίλης Δ., 2004. Άρδευτικά Δίκτυα Πρασίνου. Εκδόσεις ΣΤΑΜΟΥΛΗ Α.Ε., Αθήνα.
- Μπάτσης Σ., Νικομάνη Ε., Κυπριωτάκη Χ.Κ., 2014. Αξιολόγηση διαφορετικών αισθητήρων αυτόματης ρύθμισης συστημάτων άρδευσης χλοοτάπητα. Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Ηπείρου.
- Τσιρογιάννης Γ., «Σημειώσεις εργαστηριακών ασκήσεων άρδευσης έργων πράσινου», ΤΕΙ Ηπείρου Τμήμα Ανθοκομίας – Αρχιτεκτονικής Τοπίου, Άρτα 2009 (140 σελ, α έκδοση 2007)