



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Τμήμα Επιστήμης Φυτικής παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου

“Αξιολόγηση της αντοχής του
θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum
vaginatum* στην άρδευση με νερό
αυξημένης αλατότητας σε συνθήκες
εκτατικού φυτοδώματος”

ΚΑΛΛΙΟΠΗ Κ. ΜΠΡΙΛΑΚΗ



Επιβλέπων καθηγητής: Νεκτάριος Παναγιώτης,
Καθηγητής Γ.Π.Α.

ΑΘΗΝΑ 2018

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**Τμήμα Επιστήμης Φυτικής παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου**

Μεταπτυχιακό “Αρχιτεκτονική Τοπίου”

**«Αξιολόγηση της αντοχής του
θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum*
στην άρδευση με νερό
αυξημένης αλατότητας σε συνθήκες
εκτατικού φυτοδώματος»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΚΑΛΛΙΟΠΗ Κ. ΜΠΡΙΛΑΚΗ

**Επιβλέπων καθηγητής: Νεκτάριος Παναγιώτης,
Καθηγητής Γ.Π.Α.**

ΑΘΗΝΑ 2018

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Αξιολόγηση της αντοχής του
θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum*
στην άρδευση με νερό
αυξημένης αλατότητας σε συνθήκες
εκτατικού φυτοδώματος»**

ΚΑΛΛΙΟΠΗ Κ. ΜΠΡΙΛΑΚΗ

ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων καθηγητής: Νεκτάριος Παναγιώτης,

Καθηγητής Γ.Π.Α.

Μέλη:

Κάργας Γεώργιος, Αναπλ. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Βισίλια Άννα-Μαρία, Λέκτορας Γ.Π.Α.

Στην Γιαγιά μου

Ιωάννα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή μελέτη πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, κ. Νεκτάριο Παναγιώτη για την ανάθεση της παρούσας μεταπτυχιακής μελέτης, όπου η διεκπεραίωση της, με βοήθησε να εξερευνήσω έναν άγνωστο για εμένα, τομέα έως τώρα.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Διδάκτορα κ. Νικόλαο Ντούλα μέλος Ε.Δ.Ι.Π. του Εργαστηρίου, για την καθοδήγηση του, την συνεχή υποστήριξη και την μετάδοση των γνώσεων και τεχνικών που χρειάστηκαν για την παρούσα μελέτη, καθώς και για τη κατανόηση και την υπομονή του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κάργα Γεώργιο για την συμβολή του στην ανάλυση των αποτελεσμάτων και μαζί με την Λέκτορα κα. Βισύλια Άννα- Μαρία για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Τατιάννα, την γιαγιά μου Ιωάννα και τους θείους μου Παναγιώτη, Σοφία και Δημήτρη, Μαριάννα, για την παρότρυνση, συμπαράσταση και υποστήριξη τους καθ' όλη την περίοδο της μεταπτυχιακής μου εκπαίδευσής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT.....	8
1 . ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1 Αστική Ανάπτυξη και Χώροι Πρασίνου.....	10
1.2 Εφαρμογή φυτεμένων δωματίων-Ιστορική αναδρομή.....	13
1.3 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα Φυτεμένων Δωματίων.....	15
1.4 Φυτεμένο δώμα.....	16
1.4.1 Τύποι φυτεμένου δώματος.....	18
1.4.1 ^α Εκτατικού τύπου Φυτοδώματα.....	19
1.4.1 ^β Εντατικού τύπου Φυτοδώματα.....	20
1.4.1 ^γ Ημί-εντατικού τύπου Φυτοδώματα.....	21
1.4.2 Χρήση Χλοοτάπητα σε φυτεμένο δώμα.....	22
2 . ΑΡΔΕΥΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΩΝ ΜΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ-ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ.....	29
2.1 Άνθρωπος και Νερό.....	29
2.2 Άρδευση Χλοοταπήτων με ανακυκλωμένο νερό ή νερό υψηλής αλατότητας.....	30
2.3 Μηχανισμοί των χλοοταπήτων για την αντιμετώπιση της υψηλής αλατότητας.....	37
3 . ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	39
4 . ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	39
4.1 Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών λυσιμέτρων.....	39
4.2 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	42
4.3 Επιλογή χλοοτάπητα <i>Paspalum vaginatum</i> ‘Platinum TE’ και διαχείριση του στα λυσίμετρα.....	42
4.4 Άρδευση χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια της μελέτης.....	43
4.5 Είδη και συχνότητα μετρήσεων.....	44
4.5.1 Μέτρηση του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα.....	44
4.5.2 Μέτρηση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI).....	46

4.5.3 Στατιστική ανάλυση.....	47
4.5.4 προσδιορισμός του όγκου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού έκπλυσης.....	47
4.5.5 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	48
4.5.5.1 Θεωρητικές προσεγγίσεις εκτίμησης της αλατότητας του υποστρώματος ανάπτυξης.....	48
5 . ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	51
5.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του διαλύματος έκπλυσης.....	51
5.2 Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC).....	53
5.3 Συσχέτιση Εδαφοκάλυψης Χλοοτάπητα με την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του Διαλύματος Απορροής.....	55
5.4 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI).....	59
5.5 Στατιστική ανάλυση.....	62
5.6 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.....	65
5.7 Ανάκαμψη από την υδατική καταπόνηση κατά την φθινοπωρινή περίοδο.....	70
6 . ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	72
6.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα και όγκος διαλύματος έκπλυσης.....	72
6.2 Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC) και Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης.....	73
6.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος.....	76
6.4 Ανάκαμψη από καταπόνηση σε αυξημένη αλατότητα κατά την φθινοπωρινή περίοδο.....	77
7 . ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχόμενη μείωση των αποθεμάτων πόσιμου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο καθιστά επιτακτική την ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών πηγών άρδευσης των φυτεμένων δωμαίων εντός του αστικού ιστού ιδιαίτερα στις νότιες ημι-ξηρικές Μεσογειακές χώρες. Η ανάγκη αυτή είναι μεγαλύτερη στις περιπτώσεις όπου χλοοτάπητας εγκαθίσταται σε φυτεμένα δώματα με μειωμένο βάθος υποστρώματος. Στις περιπτώσεις αυτές, άρδευση των φυτεμένων δωμαίων με ανακυκλωμένο νερό ή με νερό υποβαθμισμένης ποιότητας θα μπορούσε να συμβάλλει σημαντικά στη διατήρηση και προστασία των πολύτιμων αποθεμάτων πόσιμου νερού.

Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκε η αντοχή του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' στην άρδευση με νερό αυξημένης αλατότητας όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος καθώς και η ικανότητα επαναφοράς του σε συνθήκες φυσικής βροχόπτωσης μετά την παρέλευση της περιόδου καταπόνησης. Επίσης, διερευνήθηκε η ικανότητα προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος ανάπτυξης του χλοοτάπητα (EC_{sw}), με τη χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας. Η μελέτη διεξήχθη από 7 Ιουλίου 2015 έως 7 Οκτωβρίου 2015 σε εξωτερικό χώρο και ο χλοοτάπητας ήταν τοποθετημένος σε λυσίμετρα διαμέτρου 30 cm, εντός των οποίων είχε δημιουργηθεί υποδομή εκτατικού φυτεμένου δώματος. Οι επεμβάσεις περιλάμβαναν: α) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) και β) τέσσερα διαφορετικά επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης (πόσιμο νερό $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, 6 dS m^{-1} , 12 dS m^{-1} και 24 dS m^{-1}).

Οι μετρήσεις περιλάμβαναν τον προσδιορισμό του ποσοστού της εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI), του όγκου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής από τα πειραματικά λυσίμετρα καθώς και της διηλεκτρικής διαπερατότητας (ϵ_b) και της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b) του υποστρώματος ανάπτυξης με τη χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2.

Κατά την περίοδο της καταπόνησης του χλοοτάπητα ο όγκος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής επηρεάστηκαν από το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης αλλά όχι από το βάθος του υποστρώματος, με υψηλότερες τιμές να παρουσιάζονται και για τα δύο όταν η άρδευση

πραγματοποιούνταν με διάλυμα 24 dS m^{-1} . Οι τιμές του GTC και NDVI επηρεάστηκαν τόσο από το βάθος του υποστρώματος όσο και από τη διαφορετική αλατότητα των διαλυμάτων άρδευσης. Η εδαφοκάλυψη και η φυσιολογική κατάσταση του χλοοτάπητα ήταν βελτιωμένες στο μεγαλύτερο βάθος των 15 cm, ενώ άρδευση με διάλυμα 6 dS m^{-1} δεν παρουσίασε σημαντική μείωση των τιμών τους σε σχέση με την άρδευση με πόσιμο νερό. Μέσω συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής και της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να μην παρατηρηθεί μείωση του GTC η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής δεν θα πρέπει να υπερβεί τα $19,8 \text{ dS m}^{-1}$. Κατά την ανάκαμψη του χλοοτάπητα το φθινόπωρο μετά την περίοδο καταπόνησης παρατηρήθηκε ανάκαμψη του χλοοτάπητα σε όλες της επεμβάσεις με τιμές GTC που κυμαίνονταν από 71,7% έως 87,2%. Από τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή της μεθόδου του δείκτη αλατότητας προβλέπει σχετικά αξιόπιστα την EC_{sw} . Η προσέγγιση των τιμών της EC_{sw} ήταν καλύτερη για τα υψηλότερα επίπεδα αλατότητας.

Η διατριβή πραγματοποιήθηκε στον αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Διεύθυνση: Ιερά Οδός 75, Αθήνα 118 55

Λέξεις Κλειδιά: Χλοοτάπητας, Αλατότητα, *P. vaginatum*, Εκτατικά Φυτοδώματα.

ABSTRACT

The continuing decline in global drinking water reserves necessitates finding alternative sources of water for turfgrass irrigation on shallow green roof systems in contemporary cities, especially in southern semi-dry Mediterranean countries. In such cases, irrigation of green roofs with recycled or gray water could contribute to the conservation of valuable drinking water supplies. The aim of the study was to evaluate the potential of using water with increased electrical conductivity for irrigating the warm season turfgrass *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE', when grown on extensive green roof systems and determine turfgrass autumn recovery under natural rainfall after the termination of the stress period. The ability to determine the electrical conductivity of the green roof substrate (EC_{sw}) was also evaluated employing the salinity index method. The study was conducted from 7th July 2015 until 7th October 2015. It was comprised of outdoor lysimeters with 30 cm diameter. Within each lysimeter a complete layered simulation of an extensive green roof system was constructed. Treatments included: a) two substrate depths of 7.5 cm and 15 cm and b) four irrigation solutions with electrical conductivity of 0.3 dS m⁻¹ (drinking water), 6 dS m⁻¹, 12 dS m⁻¹ and 24 dS m⁻¹. Measurements included the determination of green turf cover (GTC), normalized difference vegetation index (NDVI), volume and electrical conductivity of the leachate from lysimeters, as well as the substrate dielectric permittivity (ϵ_b) and bulk electrical conductivity (σ_b) using the WET-2 dielectric sensor. During stress period, volume and electrical conductivity of the leachate were most affected by irrigation solution electrical conductivity but not affected by substrate depth, with higher values recorded when irrigation was applied with the solution of 24 dS m⁻¹. Green turf cover and NDVI were affected by both the substrate depth and the irrigation solution salinity level. Groundcover and physiological status of turfgrass were best in the deeper profile (15 cm) while irrigation with the solution of 6 dS m⁻¹ did not result to a significant reduction compared to irrigation with drinking water. Regression between leachate electrical conductivity and GTC revealed that in order to avoid GTC reduction the runoff solution electrical conductivity should not exceed 19,8 dS m⁻¹. During autumn recovery, which occurred just after the termination of the stress period, turfgrass recovered in all treatments with GTC values ranging from 71,7% to 87,2%. From the

determination of leachate electrical conductivity, it was found that the use of the salinity index method predicts in a reliable manner the EC_{sw} . The estimation of EC_{sw} using the salinity index method was better for higher salinity levels.

The thesis was conducted in the field of the Floriculture and Landscape Architecture Laboratory of the Agricultural University of Athens.

Address: Iera Odos 75, Athens 118 55

Keywords: Turfgrass, Salinity, *P. vaginatum*, Extensive Green roof system.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αστική Ανάπτυξη και Χώροι Πρασίνου

Η βιομηχανική επανάσταση των προηγούμενων δεκαετιών είχε ως αποτέλεσμα τη συγκέντρωση των πληθυσμών, στα αστικά κέντρα. Η ανάγκη για δημιουργία περισσότερων χώρων στέγασης, εργασίας, περίθαλψης, μεταφορών, μόρφωσης, και διάφορων δραστηριοτήτων αναγκαστικής για τους κατοίκους, ήταν πλέον επιτακτική. Οι ελεύθεροι χώροι πρασίνου αντικαταστάθηκαν από σκληρές και μη περατές επιφάνειες με δυσμενή αποτελέσματα για το περιβάλλον και την ποιότητα της ζωής των πολιτών. Στην Ελλάδα, η μεγάλη αξία της γης και τα οικονομικά συμφέροντα από την οικοδόμηση, δεν άφησαν περιθώρια για τη δημιουργία ενός σωστού χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού, παρουσιάζοντας το φαινόμενο της εκτεταμένης έως και παντελούς έλλειψης ελεύθερων χώρων πρασίνου στα αστικά κέντρα.

Η σταδιακή μείωση των επιφανειών με φυτική κάλυψη στις πόλεις, συνδέθηκε με τη σταδιακή υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Τα αστικά κέντρα μπορεί να πρόσφεραν ένα καλύτερο επίπεδο ζωής με περισσότερες ανέσεις, αισθητικά αναβαθμισμένο, αλλά το μικροκλίμα που διαμορφώθηκε εντός των αστικών κέντρων, διέφερε αισθητά από τα προάστια τους. Το μικροκλίμα στα αστικά κέντρα χαρακτηρίζεται πλέον, από υψηλότερη θερμοκρασία, μειωμένη ατμοσφαιρική υγρασία, χαμηλότερη μέση ταχύτητα ανέμων και αυξημένα επίπεδα ρύπων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία επιβαρυνμένων περιβαλλοντικών συνθηκών για τον άνθρωπο σε σωματικό και ψυχικό επίπεδο (Patargias and Mitoula, 2001; Κοτσίρης, 2012).

Η σταδιακή αισθητική και ποιοτική υποβάθμιση των πόλεων δεν είναι το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε από τη μείωση του πρασίνου. Φαινόμενα όπως το φωτοχημικό νέφος (Photochemical smog), η τρύπα του όζον και το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse phenomenon) έκαναν αισθητά την εμφάνιση τους και αποτελούν έως και σήμερα από τα πρωτεύοντα προβλήματα που επιζητούν άμεσα λύση.

Η αύξηση του πράσινου στις μεγάλες πόλεις του 21^ο αιώνα κρίνεται πλέον απαραίτητη, προκειμένου να φιλτράρει τη ρύπανση που προκαλείται από την αύξηση

των μέσων τηλε-μεταφορών, συγκοινωνιών και των κτιριακών υποδομών και παράλληλα να προσφέρει την αίσθηση της ηρεμίας και της γαλήνης στο σύγχρονο άνθρωπο.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση εντός των πόλεων, προκαλεί ανυπολόγιστα προβλήματα στην υγεία του ανθρώπου και συμβάλει αρνητικά στην κλιματική αλλαγή του πλανήτη, στην τρύπα του όζοντος, στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους, στη φυσιογνωμία, τη λειτουργικότητα και την αισθητική των πόλεων και στην πολιτιστική τους κληρονομιά.

Ως βιοσιμότερη λύση για την αντιμετώπιση των παραπάνω αρνητικών επιπτώσεων της συνεχούς αυξανόμενης δόμησης στα μεγάλα αστικά κέντρα, προτείνεται, η αύξηση των χώρων πρασίνου εντός του αστικού ιστού και η σύνδεση τους με το περιαστικό πράσινο, μέσω δημιουργίας πράσινων διαδρομών. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται ένα πιο σταθερό περιβάλλον εντός των πόλεων, το οποίο θα προάγει την οικονομική ανάπτυξη, την ισορροπία στην κοινωνία και την προστασία και βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος, χωρίς να περιορίζει τις δυνατότητες εξέλιξης των επόμενων γενεών (Patargias and Mitoula, 2001; Κοτσίρης, 2012).

Στους δημόσιους αστικούς χώρους πρασίνου εντάσσονται: τα πάρκα, οι πλατείες, οι αθλητικές εγκαταστάσεις, οι παραποτάμιες περιοχές, οι πράσινες διαδρομές και τα μονοπάτια, τα φυτεμένα δώματα, οι πράσινοι τοίχοι, οι δημόσιοι κήποι, το πράσινο στους πεζόδρομους και στα κοιμητήρια, τα άλση και οι φυσικές υπό διατήρηση περιοχές.

Στο ιδιωτικό αστικό πράσινο εντάσσονται: οι οικιακοί κήποι, τα οικόπεδα προς οικοδόμηση, και οι κατασκηνώσεις.

Η ανάγκη του ανθρώπου για χώρους πρασίνου, συνδέεται στενά με την προστασία της σωματικής και ψυχικής του υγείας, αφού αυτοί οι χώροι προσφέρουν εκτός των άλλων, τη δυνατότητα φυσικής άσκησης. Οι άνθρωποι που έχουν την δυνατότητα να αθλούνται σε μια περιοχή με πράσινο, παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα άγχους και είναι πιο ενεργοί στην ζωή τους, εν' σχέση με αυτούς, που δεν έχουν συχνή επαφή με το πράσινο.

Οι παραπάνω χώροι εκτός από το να προστατεύουν την δημόσια υγεία του αστικού πληθυσμού, υποστηρίζουν την οικολογική ακεραιότητα των πόλεων, βελτιώνουν το μικροκλίμα και γενικά τις συνθήκες διαβίωσης εντός τους.

Συγκεκριμένα, η βλάστηση βοηθάει τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων, την καλύτερη διαχείριση των όμβριων υδάτων, την βελτίωση της ποιότητας του νερού, την ρύθμιση και αναχαίτιση της ταχύτητας του αέρα εντός της πόλης, στην ηχοπροστασία μέσω της απορρόφησης, ανάκλασης και διάθλασης του ήχου από το φύλλωμα. Εκτός αυτών, δημιουργεί καλύτερες συνθήκες διαβίωσης στους εξωτερικούς χώρους μέσω της σκίασης και της εξατμισοδιαπνοής του φυλλώματος, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις υψηλές θερμοκρασίες και προκαλώντας συνθήκες θερμικής άνεσης στους κατοίκους (Wolch et al., 2014).

Προκειμένου, η βλάστηση εντός του αστικού ιστού να μπορεί να επιδράσει θετικά, θα πρέπει να υπολογιστούν κάποιοι παράγοντες, οι οποίοι καθορίζουν την επιτυχή αύξηση του πρασίνου εντός των πόλεων.

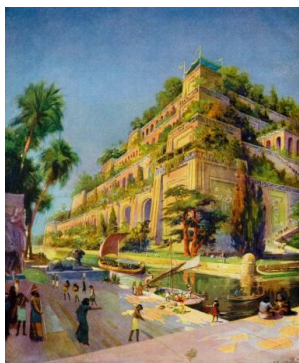
Ο υπολογισμός της συνολικής έκτασης των φυτοκαλυμμένων επιφανειών και η ποσοστιαία αναλογία τους σε σχέση με τις δομημένες επιφάνειες, όπως και η πυκνότητα και ποιότητα του φυτικού υλικού, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και το είδος του (δένδρα, θάμνοι, πόες) είναι σημαντικοί παράγοντες για την επιτυχία καλύτερων συνθηκών εντός των πόλεων. Επίσης η σύνθεση της βλάστησης και η αναλογία μεταξύ φυλλοβόλων και αειθαλών φυτών, οι συνθήκες άρδευσης, η χωροθέτηση των επιφανειών πρασίνου εντός των πόλεων, καθώς και η σύνδεση τους με το περιαστικό πράσινο μπορούν να προάγουν την δημιουργία ενός βελτιωμένου μικροκλίματος στις μεγάλες πόλεις.

Παρόλα τα πολλαπλά πλεονεκτήματα της αύξησης του πρασίνου εντός των μεγάλων αστικών κέντρων, τα κτίρια καταλαμβάνουν το 20-25% της συνολικής επιφάνειας μιας πόλης και αυτό το ποσοστό μπορεί να πλησιάσει το 40-50% στα πυκνοκατοικημένα κεντρικά τμήματα, αφήνοντας ελάχιστες εναλλακτικές λύσεις, για την εύρεση και εγκατάσταση νέων χώρων πρασίνου (Dunnett and Kingsbury, 2008). Η λύση της κατεδάφισης κτιρίων, για τη δημιουργία ανοιχτών χώρων πρασίνου, αποτελεί μια χρονοβόρα και δαπανηρή, σχεδόν μη εφικτή διαδικασία. Έτσι αναγκαία κρίνεται η εύρεση εναλλακτικών μεθόδων όπως η εγκατάσταση φυτικού υλικού στα ίδια τα κτίρια. Η δημιουργία φυτεμένων δωμάτων και πράσινων τοίχων, θα μπορούσε να δράσει ευεργετικά και να αποκαταστήσει μέρος του χαμένου αστικού πρασίνου.

1.2 Εφαρμογή φυτεμένων δωμάτων-Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη καταγεγραμμένη εμφάνιση των φυτεμένων δωμάτων έγινε στην περιοχή της Μεσοποταμίας στα πυραμοειδή Ζιγκουράτ, το 3000-600 π.Χ. περίπου, πάνω στα οποία, έχτιζαν οι Βαβυλώνιοι τους ναούς και τα ιερά τους. Διέθεταν αναβαθμίδες με εγκατεστημένη βλάστηση, όπως και οι Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας, ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου.

Στην Μεσόγειο, ανασκαφές στην πόλη της Πομπηίας αποκάλυψαν τρεις οικίες που διέθεταν φυτεμένα δώματα, κατά την ρωμαϊκή περίοδο και είχαν διατηρηθεί σε πολύ καλή κατάσταση, λόγω της ηφαιστειακής στάχτης που τα είχε καλύψει το 79 μ.Χ. στην έκρηξη του Βεζούβιου.



Εικόνα 1. Κρεμαστοί Κήποι της Βαβυλώνας
(www.theworldsbestever.com)



Εικόνα 2. Villa dei Misteri στην Πομπηία
(www.itinerandi.net)

Στον Καναδά και τις Σκανδιναβικές χώρες, η κάλυψη των στεγών με διάφορα είδη χλοοτάπητα, για τη μείωση των απωλειών θερμότητας, την προστασία από την βροχή το χειμώνα και την αισθητική του κτιρίου, ξεκίνησε από την εποχή των Βίκινγκς (Εικ. 3, 4) και συνεχίζεται έως και σήμερα.



Εικόνα 3. Παραδοσιακό σπίτι των Βίκινγκς στην Γροιλανδία



Εικόνα 4. L'Anse aux Meadows στον Καναδά
(www.fenopatrn.com)

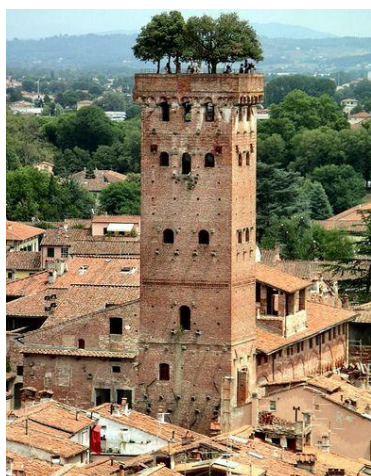
Από τον 15^ο αιώνα, με την Αναγέννηση έως τον 20^ο αιώνα η χρήση των φυτεμένων δωμάτων συναντώνται σε παλάτια (Palazzo Piccolomini στην Pienza), επαύλεις (Villa Pliniana στο Torno), εκκλησιαστικά κτίρια, μοναστήρια, πύργους (Torre Guinigi στην Τοσκάνη) και εμπορικά κέντρα (Rockefeller Center στην Νέα Υόρκη), αποκτώντας όλο και περισσότερη απήχηση και υποστηρικτές (Frank Lloyd Wright, Roberto Burle Marx.).



Εικόνα 5. Palazzo Piccolomini στην Pienza (www.travelingintuscany.com)



Εικόνα 6. Villa Pliniana στο Torno (www.explorelakecomo.com)



Εικόνα 7. Torre Guinigi στην Τοσκάνη (www.kuriositas.com)



Εικόνα 8. Rockefeller Center στην Νέα Υόρκη (www.untappedcities.com)

Σήμερα, η μορφή των φυτεμένων δωμάτων είναι επηρεασμένη από τις γερμανόφωνες Βόρειο-ευρωπαϊκές χώρες, στις οποίες αναπτύχθηκαν πρώτες οι κατασκευαστικές και εμπορικές εταιρείες με ειδίκευση και τεχνογνωσία σε αυτόν τον τομέα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και των κατασκευαστικών υλικών, έδωσε την δυνατότητα περισσότερων εναλλακτικών λύσεων και την ταχύτερη διάδοση της τεχνικής των φυτεμένων δωμάτων.

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Φυτεμένων Δωμάτων

Τα φυτεμένα δώματα παρουσιάζουν κοινωνικά, περιβαλλοντικά, ενεργειακά και οικονομικά οφέλη, όπως και τεχνικό-οικονομικά μειονεκτήματα.

Σύμφωνα με μελέτες έως το 2050 το 70% του πληθυσμού του πλανήτη θα ζει σε πόλεις (Albino et al., 2015). Οι πόλεις και τα προάστια, προσθέτουν όλο και περισσότερες μη περατές επιφάνειες, υπό μορφή κτιρίων, δρόμων και χώρων στάθμευσης, για να καλύψουν τις ανάγκες διαβίωσης του αυξημένου πληθυσμού. Μόλις το 2006 τα 2/3 από το σύνολο των αδιαπέραστων επιφανειών ήταν σε μορφή χώρων στάθμευσης, αυτοκινητόδρομων, δρόμων και λεωφόρων. Κατά συνέπεια, παρατηρείται η ελαχιστοποίηση των φυσικών εκτάσεων, με πρόκληση σημαντικών περιβαλλοντικών προβλημάτων, τα οποία ζητούν άμεση παρέμβαση με την δημιουργία πρόσθετων χώρων πρασίνου (π.χ προσθήκη βλάστησης στις επιφάνειες των κτιρίων), προκειμένου να επιτευχθεί η αισθητική και οικολογική βελτίωση του αστικού τοπίου, με συνέπεια την άμεση αναβάθμιση του ψυχοσωματικού βιοτικού επιπέδου των κατοίκων των πόλεων (Getter and Rowe, 2006).

Με την αύξηση του ποσοστού των φυτοκαλυμμένων επιφανειών στον αστικό ιστό, επιτυγχάνεται η αισθητική και οικολογική διατήρηση της περιβαλλοντικής ισορροπίας, με την μείωση της ηχορρύπανσης, τη διαχείριση των όμβριων υδάτων και απόδοση αυτών στο περιβάλλον, τη μείωση της ρύπανσης του αέρα και τη βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας στον αστικό ιστό, τη μείωση του φαινομένου της «αστικής θερμικής νησίδας» και την εξουδετέρωση θερμικών εντάσεων κατά τη διάρκεια της μέρας, (Getter and Rowe, 2006).

Επίσης, λειτουργεί ως ένα καταφύγιο φυτικών ειδών και χλωρίδας προς εξαφάνιση των περιοχών αυτών, ενώ δημιουργούνται νέοι υπαίθριοι χώροι πρασίνου και δικτύων «πράσινων αειφορικών» διαδρόμων στον αστικό ιστό.

Εκτός από τα κοινωνικά και περιβαλλοντικά οφέλη, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ενεργειακά οφέλη ως προς τα ίδια τα κτίρια και τους κατοίκους τους. Οι ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου με φυτεμένο δώμα μειώνονται, καθώς τα επίπεδα διαστρωμάτωσης που χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση της βλάστησης στην επιφάνεια του κτιρίου, λειτουργούν ως μονωτικό υλικό στοιχείο, το οποίο διατηρεί, (ανάλογα το είδος του φυτεμένου δώματος και το μέγεθος του), τη θερμοκρασία σταθερή εντός του, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας, από τη

μείωση της χρήσης κλιματιστικών ή άλλων μορφών θέρμανσης - ψύξης. Ταυτόχρονα η σταθεροποίηση των θερμοκρασιών στο κτίριο, δημιουργεί ένα αίσθημα θερμικής άνεσης στους ανθρώπους που διαμένουν σε αυτό, (Κότσιρης, 2012).

Οικονομικά τα φυτεμένα δώματα συμβάλουν στην αύξηση της αντικειμενικής αξίας του ακινήτου, τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της στέγης, την προστασία της μόνωσης και ταυτόχρονα, την ενίσχυση της αποδοτικότητας των υδατο-στεγανών μεμβρανών (λόγω των μειωμένων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας), τη μείωση του κινδύνου φθοράς των υδατο-στεγανών μεμβρανών από εξωτερικές μηχανικές πιέσεις, όπως επίσης και της αρνητικής επίδρασης των ανέμων, την ενίσχυση της θερμομόνωσης και ηχομόνωσης του κτιρίου, την προστασία από πιθανότητα πυρκαγιάς, (Oberndorfer et al., 2007), τη δυνατότητα καλλιέργειας εμπορεύσιμων φυτικών ειδών καθώς και τη δυνατότητα κρατικών επιδοτήσεων.

Παρόλα όμως, τα οφέλη ενός φυτεμένου δώματος, το αυξημένο κόστος για τη κατασκευή και τη συντήρηση του, πολλές φορές λειτουργεί αποτρεπτικά. Επίσης ο φόβος για αστοχία των στεγανοποιητικών διατάξεων (ιδιαίτερα, εάν η μελέτη εφαρμόζεται από μη εξειδικευμένο προσωπικό), η οποία θα έθετε σε κίνδυνο την ασφάλεια του κτιρίου, παραμένει επίκαιρη παρ' όλο την ανάπτυξη και γνωστοποίηση της σύγχρονης τεχνολογίας, η οποία ασχολείται με την κατασκευή φυτεμένων δωματίων.

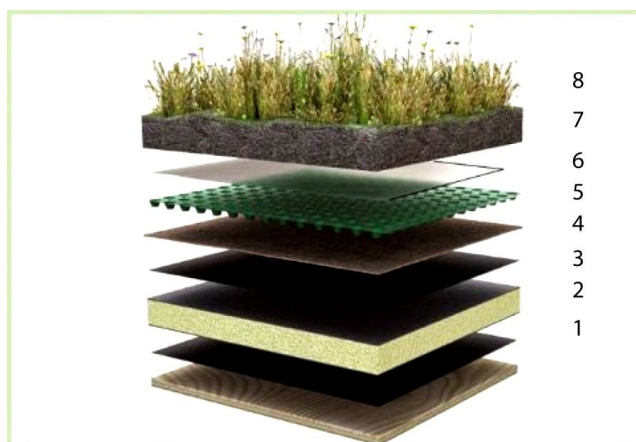
Η μελέτη, η εφαρμογή και η διαχείριση ενός φυτεμένου δώματος, θα πρέπει να διεκπεραιώνονται πάντα από εξειδικευμένους, έμπειρους επιστήμονες και προσωπικό, ώστε να αποφευχθεί η περαιτέρω διερεύνηση της συμμόρφωσης της εκάστοτε κατασκευής, με την εγκριθείσα μελέτη και η ανάγκη επαναυπολογισμού των στατικών αντοχών των ήδη υπάρχοντων κτιρίων. Επίσης, δυσκολία στην κατασκευή παρουσιάζουν οι διάφοροι εξοπλισμοί και κατασκευές (π.χ κεραίες, ντεπόζιτα κτλ.) που μπορεί να υπάρχουν ήδη στο δώμα.

1.4 Φυτεμένο δώμα

Ως φυτεμένο δώμα ορίζεται η επιφάνεια, που δεν έχει καμία επαφή με το φυσικό έδαφος και εδράζει σε κάποια τεχνητή κατασκευή (στέγη, εξώστης, οροφή υπόγειων χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων κτλ.), στην οποία δημιουργούνται οι κατάλληλες συνθήκες για την εγκατάσταση φυσικής βλάστησης.

Τα σύγχρονα φυτεμένα δώματα αποτελούνται από ένα **σύστημα πολυεπίπεδης διαστρωμάτωσης** που αποτελεί την υποδομή για την εγκατάσταση, ανάπτυξη, διαχείριση και άρδευση της βλάστησης που τοποθετείτε σε αυτό.

Τα επίπεδα διαστρωμάτωσης ενός φυτεμένου δώματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 9:



Εικόνα 9. Επίπεδα διαστρωμάτωσης ενός φυτεμένου δώματος (www.monosimacon.blogspot.gr)

1. **Η Διαχωριστική Διαστρωμάτωση:** αποτελείται από διάτρητες ασφαλικές μεμβράνες οπλισμένες με ύαλούφασμα ή συνθετικές μεμβράνες. Σκοπός της είναι να παρεμποδίσει την επίδραση του δομικού σκελετού του κτιρίου (συστολές ή διαστολές), στα υπερκείμενα υλικά του.
2. **Το Φράγμα Υδρατμών (vapour control layer):** αποτελείται από ασφαλικά φύλλα ή φύλλα πολυαιθυλενίου ή συνθετικό καουτσούκ ή πολυισοβουτιλένιο. Σκοπός του είναι η παρεμπόδιση της διέλευσης των υδρατμών από τη πλάκα του δώματος. Αυτή η στρώση προστίθεται μόνο όταν ακολουθεί θερμομόνωση, αλλιώς ταυτίζεται με τη στρώση υδατοστεγανότητας.
3. **Θερμομόνωση (thermal insulation):** αποτελείται από αφρώδη πολυστερίνη, εξηλλαγμένη πολυστερίνη, αφρό πολυουρεθάνης, φαινολικό αφρό ρητινών, εμποτισμένο φελλό και αφρώδες γυαλί. Σκοπός του είναι η θερμομόνωση του κτιρίου. Μερικές φορές αυτό το επίπεδο τοποθετείται κάτω από το επίπεδο της οροφής, με τη χρήση διαφορετικών υλικών.
4. **Στεγανοποιητική Διάστρωση (waterproofing):** αποτελείται από ασφαλικά υλικά (ασφαλτικά φύλλα, πολυμερισμένες ασφαλικές μεμβράνες) και συνθετικά θερμοπλαστικά υλικά (ECB, EVA, PEC, PIB, PVC) συνθετικά

(CSM, EPDM, ΠΑ). Σκοπός του είναι η υδατοστεγάνωση του κτιρίου από τα νερά της βροχής ή της άρδευσης του δώματος.

5. **Επίπεδο Προστασίας (root barrier):** μπορεί να αποτελείται από τσιμεντένια πλάκα χαμηλού φορτίου, άκαμπτα μονωτικά φύλλα, πλαστικά φύλλα μεγάλου πάχους, φύλλα χαλκού ή συνδυασμό τους, ανάλογα με την εκάστοτε εγκατάσταση. Σκοπός του είναι η προστασία των υποκείμενων στρώσεων της οροφής από μηχανικές καταστροφές κατά τη διάρκεια εγκατάστασης του οροφόκηπου, από λιπάσματα και διεισδύσεις ριζών.
6. **Αποστράγγιση (rigid drainage mat):** αποτελείται από διάφορες κατηγορίες υλικών:
 - α) **Αδρανή υλικά** (χαλίκι, λάβα και ελαφρόπετρα, πορώδες, πολυστυρένιο)
 - β) **Ανακυκλώσιμα υλικά** (θραυστά τούβλα, μεταλλική σκωρία, αφρώδες γυαλί)
 - γ) **Αποστραγγιστικές πλάκες** (σανίδες από αφρώδη τεμάχια, σανίδες από καουτσούκ, άκαμπτες πλαστικές σανίδες (αυγουλιέρες), πλαστικές σανίδες από αφρό.
7. **Γεώφασμα (filter membrane):** κατασκευάζεται από ίνες, παράλληλα ή τυχαία, δεμένες με μηχανικές, χημικές ή θερμικές διαδικασίες ή συνδυασμό τους. Σκοπός του είναι η παρεμπόδιση των σωματιδίων του υποστρώματος να μετακινηθούν προς την αποστραγγιστική διάστρωση.
8. **Υπόστρωμα Ανάπτυξης (growing medium):** μπορεί να αποτελείται από κατάλληλο έδαφος, άμμο, τύρφη-χούμος, γη διατομών, περλίτη, βερμικουλίτη, λάβα, ελαφρόπετρα, θραυστό κεραμίδι, διογκωμένη άργιλος, κλινοπτινολιτικοί ζεόλιθοι και πετροβάμβακα.
9. **Φυτικό Υλικό (vegetation)**, (Κοτσίρης, 2012).

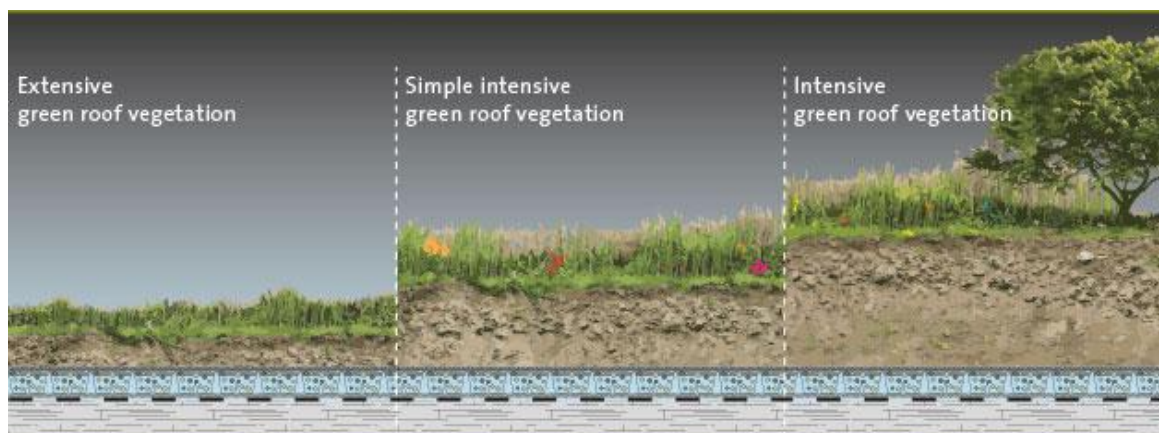
1.4.1 Τύποι φυτεμένου δώματος

Τα Φυτεμένα δώματα διακρίνονται σε τρεις τύπους, ανάλογα με το ύψος εφαρμογής του συστήματος υποδομής, το φυτικό υλικό, την χρήση του και τους παράγοντες που επηρεάζουν την συντήρηση του (Εικ. 10).

Εκτατικός τύπος (Extensive green roof)

Ημιακτατικός τύπος (Semi-extensive green roof)

Εντατικός τύπος (Intensive green roof)



Εικόνα 10. Τύποι Φυτεμένων Δομάτων (www.researchgate.net)

1.4.1^a Εκτατικού τύπου Φυτοδώματα

Εγκαθίστανται σε επιφάνειες με μικρή έως καθόλου προσβασιμότητα (Εικ. 11). Έχουν βάθος υποστρώματος από 5 έως 15 cm και κορεσμένο φορτίο από 80-180 kg/m². Ιδανικά για αυτό τον τύπο φυτοδώματος είναι τα φυτά χαμηλής βλάστησης, όπως φυτικοί τάπητες, παχύφυτα (Sedum), χλοοτάπητες, αγριολούλουδα και φυτά εδαφοκάλυψης με επιφανειακό ριζικό σύστημα (Εικ. 12). Τα φυτικά είδη επιλέγονται για την ικανότητα τους να επιβιώνουν κάτω από αντίξοες συνθήκες (κρύο, ζέστη, ξηρασία και άνεμο), να αυτοαναπαράγονται και να μην έχουν άμεση-τακτική ανάγκη συντήρησης (Εικ. 13).



Εικόνα 11. Ecospace Garden Studios with Sedum of Turf Roofs (www.homeli.co.uk)



Εικόνα 12. La Maison Vague (Wave House) by Patrick Nadeau
(www.homeli.co.uk)



Εικόνα 13. Kendram Turf House by Rural Design Architects
(www.homeli.co.uk)

1.4.1^β Εντατικού τύπου Φυτοδώματα

Εφαρμόζεται σε επιφάνειες με προδιαγραφές για συχνή και μεγάλη επισκεψιμότητα και αντοχή σε μεγάλα φορτία (Εικ. 16). Μπορεί να εγκατασταθεί φυτικό υλικό από χλοοτάπητες έως και δέντρα, με αποτέλεσμα την υψηλή αισθητική αναβάθμιση του κτιρίου (Εικ. 14). Επίσης υποστηρίζει κατασκευές, μονοπάτια, στοιχεία νερού και συστήματα σκίασης (Εικ. 15). Οι εισροές σε αγρο-χημικά και νερό άρδευσης, αυξάνουν το κόστος συντήρησης αυτού του τύπου φυτοδώματος. Το βάθος του υποστρώματος είναι από 15 έως 150 cm και κορεσμένο φορτίο τουλάχιστον 300 kg/m^2 .



Εικόνα 14. Morningstar's roof terrace
(www.hoerrschaudt.com)



Εικόνα 15. The roof of a parking garage in Tellez Street (Madrid, Spain) (www.tectonica-online.com)



Εικόνα 16. The Waldspirale in Darmstadt, Germany by Friedensreich Hundertwasser
(www.solaripedia.com)

1.4.1^γ Ημί-εντατικού τύπου Φυτοδώματα

Αποτελεί μια ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ του εντατικού και εκτατικού τύπου φυτεμένου δώματος (Εικ. 18). Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται περιορισμένη συντήρηση (άρδευση, λίπανση κτλ.), (Εικ. 19). Το φυτικό υλικό περιλαμβάνει από χλοοτάπητες έως μεσαίους θάμνους (Εικ. 17). Το βάθος του υποστρώματος υποστήριξης των φυτών είναι από 15 έως 25 cm και έχει κορεσμένο φορτίο που κυμαίνεται από 180-300 kg/m².



Εικόνα 17. Chicago City Hall
(www.greenroofs.com)



Εικόνα 18-19. Northern Kentucky University Griffin Hall
by Vivian L. Lambi & Associates (www.greenroofs.com)

1.4.2 Χρήση Χλοοτάπητα σε φυτεμένο δώμα

Οι χλοοτάπητες αποτελούν ιδιαίτερος χρήσιμα φυτικά είδη καθώς συνδυάζουν τις τρεις πιο βασικές απαιτήσεις για την εγκατάσταση πρασίνου εντός του αστικού ιστού δηλαδή, την αισθητική, τη λειτουργικότητα και την αναψυχή (Beard and Green, 1994).

Η δυνατότητα πρόσβασης των κατοίκων, σε ανοιχτούς χώρους πρασίνου, η βελτίωση του αστικού μικροκλίματος, σε περιβαλλοντικά υποβαθμισμένα τμήματα των πόλεων και η σημαντική μείωση της “Αστικής θερμικής νησίδας”, μέσω της ψύξης που προκαλεί ο αρδευόμενος χλοοτάπητας από την εξατμισοδιαπνοή, στα κτίρια και το άμεσο περιβάλλον του (Bass et al., 2002), είναι κάποια από τα βασικά κίνητρα για τη χρήση του, σε φυτοδώματα πυκνοδομημένων περιοχών, στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Στα φυτοδώματα και κυρίως στου εκτατικού τύπου, η χρήση χλοοταπύτων είναι περιορισμένη, λόγω των αυξημένων απαιτήσεων τους σε νερό σε σχέση με άλλα είδη φυτών, όπως τα παχύφυτα και τα ξηροφυτικά είδη τα οποία συνήθως προτιμούνται.

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του οδηγού «Οδηγίες για τον Σχεδιασμό, Κατασκευή και Συντήρηση Φυτεμένων Δωμάτων» του FLL (2008), που έχουν επικρατήσει να εφαρμόζονται στην Ελλάδα, ο τύπος του εκτατικού φυτοδώματος θα πρέπει να δέχεται ελάχιστες ανθρώπινες επεμβάσεις, μετά την τοποθέτηση του στο κτίριο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να είναι μη εφικτή η χρήση του χλοοτάπητα σε εκτατικά φυτοδώματα που κατασκευάζονται, σε περιοχές με συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και ελάχιστων βροχοπτώσεων τους θερινούς μήνες, όπως αυτές που απαντώνται στο μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας.

Οι Ntoulas et al (2013) σε μελέτη τους για την εγκατάσταση και ανάπτυξη του θερμοφιλου χλοοτάπητα *Zoysia matrella* ‘Zeon’ σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα, αναφέρουν ότι για την επιτυχή και βιώσιμη εγκατάσταση χλοοταπύτων σε εκτατικά φυτοδώματα στις ημι-ξηρικές περιοχές, απαιτείται να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ τεσσάρων παραγόντων και πιο συγκεκριμένα του υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών, του βάθους του υποστρώματος, την επιλογή των φυτικών ειδών και την διαχείριση των εισροών (Διάγραμμα 1).

Το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών: Αποτελείται από ανόργανα, ελαφροβαρή υλικά (θραυστό κεραμίδι ή τούβλο, διογκωμένη άργιλος, ζεόλιθος, άμμος, αμμοπηλώδες έδαφος, θερμικά διογκωμένος σχιστόλιθος, περλίτης, βερμικουλίτης, λάβα και ελαφρόπετρα), (Ntoulas et al., 2012; Ntoulas and Nektarios, 2015) τα οποία συσχετίζονται άμεσα με την ελαχιστοποίηση του βάρους του εκτατικού φυτοδώματος και την ικανότητα τους να συγκρατούν επαρκή υγρασία για την ανάπτυξη των φυτών.

Εκτός των ανόργανων συστατικών στο υπόστρωμα των εκτατικών φυτεμένων δωματίων, θα πρέπει να προστίθεται και ένα ποσοστό περίπου 15-20% κ.ό. οργανικού κλάσματος (τύρφη και κομπόστ), προκειμένου να αυξηθεί η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε θρεπτικά στοιχεία και να βελτιωθεί η ικανότητα συγκράτησης υγρασίας (Ampim et al., 2010; Κοτσίρης, 2012).

Το βάθος του υποστρώματος: Επιδρά στο βάρος, το κόστος κατασκευής και την βιωσιμότητα ενός φυτεμένου δωματίου. Όσο μεγαλύτερο το βάθος, τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό επιβίωσης των φυτών και της εδαφοκάλυψης, με αποτέλεσμα να αυξάνονται τα είδη φυτικού υλικού που μπορούν να εγκατασταθούν στο φυτοδώμα. Μελέτες έδειξαν ότι τα υποστρώματα με βάθος μεγαλύτερο των 5-7,5 cm παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιτυχία ανάπτυξης των φυτών σε σχέση με αυτά που έχουν 2,5 cm βάθος, (Durhman and Rowe, 2007). Τα αβαθή υποστρώματα προκαλούν δυσκολίες στην εις βάθος ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, στη μείωση της υγρασίας και στην αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών του υποστρώματος.

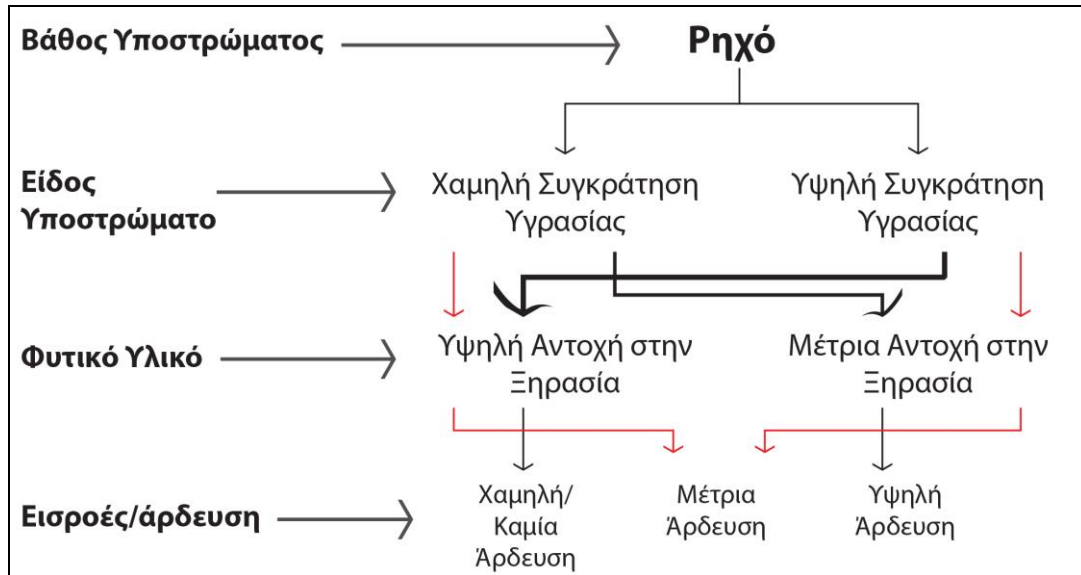
Μελέτη των Kotsiris and Nektarios (2011), πάνω στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* σε δυο βάθη υποστρώματος 10 cm και 20 cm, ημιεντατικού φυτοδωματίου, έδειξε ότι το πιο βαθύ υπόστρωμα επέδρασε θετικότερα στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα, σε συνθήκες επαρκούς άρδευσης. Επίσης μελέτη των Ntoula et al. (2013), σχετικά με την επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' σε εκτατικό φυτεμένο δώμα, έδειξε ότι σε υποστρώματα βάθους 15 cm εμφάνισαν καλύτερη αντοχή στην υδατική καταπόνηση σε σχέση με τα πιο αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm.

Η άρδευση στα εκτατικά φυτοδώματα: σε ημι-ξηρικές περιοχές με μικρή ετήσια βροχόπτωση, θα πρέπει να εφαρμόζεται τα πρώτα δυο χρόνια μετά την εγκατάσταση του φυτικού υλικού ή σε περιπτώσεις ακραίων ξηροθερμικών συνθηκών, με στόχο την καλύτερη εγκατάσταση και διατήρηση της ανάπτυξης των φυτών στο δώμα. Η άρδευση έχει την δυνατότητα να αντισταθμίσει τις δυσμενείς συνθήκες του μειωμένου βάθους του υποστρώματος.

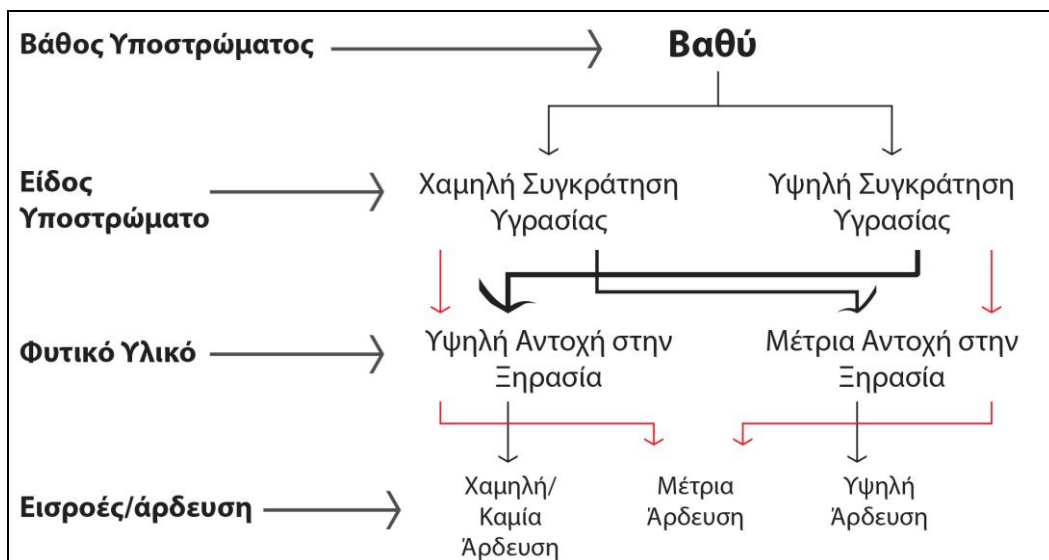
Μελέτη των Ntoula et al. (2012), στον χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' σε εκτατικό φυτοδώμα, έδειξε ότι η άρδευση με 6 mm είχε καλύτερα αποτελέσματα σε όλες τις μετρήσεις (πράσινη φυτοκάλυψη χλοοτάπητα, φυσιολογική κατάσταση του

χλοοτάπητα μέσω μέτρησης του δείκτη NDVI) σε σχέση με 3 mm, ανεξαρτήτου του βάθους του υποστρώματος.

A



B



Διάγραμμα 1. Αλληλεπίδραση μεταξύ των τεσσάρων βασικότερων παραγόντων, οι οποίοι συμβάλλουν στην επιτυχή και βιώσιμη ανάπτυξη των εκτατικών φυτοδομάτων σύμφωνα με τους Ntoulas et al. (2013). Τα διαφορετικά είδη γραμμών υποδεικνύουν ανεξάρτητη πορεία στο διάγραμμα A και B

Προκειμένου να αξιολογηθεί η βιώσιμη ανάπτυξη χλοοταπήτων σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα, μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί, οι οποίες διερευνούν την ισορροπία μεταξύ του είδους υποστρώματος ανάπτυξης των φυτών, του βάθους του υποστρώματος και του επιπέδου άρδευσης σε διάφορα είδη χλοοταπήτων.

Οι Ntoulas et al. (2013a), διερεύνησαν την ανάπτυξη και την αντοχή σε υδατική καταπόνηση του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon'. Στη μελέτη αξιολογήθηκαν δυο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 και 15 cm), καθώς και δυο διαφορετικά είδη υποστρώματος [το πρώτο αποτελούνταν από αμμοπηλώδες έδαφος, ελαφρόπετρα, περλίτη, κομπόστ και ζεόλιθο σε κατ' όγκο αναλογίες 15:40:20:20:5 (S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅), ενώ το δεύτερο ήταν ένα εμπορικό υπόστρωμα βασισμένο σε θραυστό κεραμίδι]. Άρδευση εφαρμόζονταν κάθε τρεις ημέρες σε ποσότητα 3 ή 6 mm. Οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν τον προσδιορισμό της υγρασίας του υποστρώματος της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) και του σχετικού υδατικού δυναμικού των φύλλων του χλοοτάπητα. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι το βάθος του υποστρώματος αποτέλεσε τον σημαντικότερο παράγοντα για την επιτυχή ανάπτυξη του *Z. matrella* 'Zeon' υπό συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος σε ημι-ξηρικές περιοχές. Αύξηση του βάθους του υποστρώματος είχε ως αποτέλεσμα και την αύξηση της αντοχής του χλοοτάπητα σε υδατική καταπόνηση. Επίσης, αύξηση του επιπέδου άρδευσης από 3 σε 6 mm είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση τόσο της εικόνας του χλοοτάπητα όσο και της φυσιολογικής του κατάστασης. Ο διαφορετικός τύπος του υποστρώματος είχε την μικρότερη επίδραση στην αντοχή του χλοοτάπητα σε υδατική καταπόνηση με το υπόστρωμα S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ να παρουσιάζει καλύτερη συγκράτηση υγρασίας σε σχέση με το εμπορικό υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι.

Οι Ntoulas et al. (2013b) αξιολόγησαν την επίδραση τεσσάρων διαφορετικών υποστρωμάτων αποτελούμενων από υλικά διαθέσιμα στην τοπική αγορά (S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅, S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅, S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀, και S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀ όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος, σε κατ' όγκο αναλογίες, όπως αυτές υποδεικνύονται από τους δείκτες τους) σε συνδυασμό με δύο βάθη υποστρώματος (7,5 και 15 cm) στην εγκατάσταση και ανάπτυξη του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος καθώς και την συνδυαστική επίδραση των παραπάνω παραγόντων στην

αντοχή του χλοοτάπητα σε υδατική καταπόνηση μέσω του προσδιορισμού της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και της στοματικής αντίστασης των φύλλων του διαπιστώθηκε πως κατά την εγκατάσταση του χλοοτάπητα όταν εφαρμοζόταν επαρκής άρδευση, τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) σε συνδυασμό με τα υποστρώματα τα οποία περιελάμβαναν κομπόστ ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές εδαφοκάλυψης, ενώ τα αβαθή υποστρώματα (7,5 cm) που περιλάμβαναν τύρφη ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές εδαφοκάλυψης. Το αντίθετο παρατηρήθηκε κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης, όπου τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη και σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος παρουσίασαν τη μικρότερη υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα, καθώς εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές εδαφοκάλυψης και κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και τις χαμηλότερες τιμές στοματικής αντίστασης των φύλλων του. Τα υποστρώματα τα οποία περιείχαν κομπόστ σε συνδυασμό με αβαθή υποστρώματα (7,5 cm) προκάλεσαν αυξημένη υδατική καταπόνηση στο χλοοτάπητα. Τέλος από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι προκειμένου το *Z. matrella* 'Zeon' να διατηρήσει ικανοποιητικά ποσοστά πράσινης εδαφοκάλυψης σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή χρήση υδατικών πόρων, η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία θα πρέπει να διατηρηθεί περίπου στο 15% κ.ό..

Σε μελέτη των Nektarios et al. (2014), διερευνήθηκε η αντοχή στην υδατική καταπόνηση του ψυχρόφιλου χλοοτάπητα *Festuca arundinacea* Schreb. σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος. Αξιολογήθηκαν δυο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) και δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (65% και 85% της εξατμισοδιαπνοής). Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούσαν τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος, τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI), την αντίσταση των στομάτων των φύλλων (LSR) και το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής, με βάση την ζύγιση των λυσίμετρων στα οποία ήταν εγκατεστημένος ο χλοοτάπητας. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι ο ρυθμός εξατμισοδοαπνοής του χλοοτάπητα επηρεάστηκε μόνο από την άρδευση και όχι από το βάθος του υποστρώματος. Επίσης διαπιστώθηκε ότι προκειμένου ο χλοοτάπητας *Festuca arundinacea* να διατηρήσει ικανοποιητική ανάπτυξη σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση σε

επίπεδα όχι μικρότερα από το 85% της εξατμισοδιαπνοής ενώ η μείωση του βάθους από 15 σε 7,5 cm δεν καταπονεί σημαντικά το χλοοτάπητα.

Οι Ntoulas and Nektarios (2015), αξιολόγησαν της επίδρασης έξι υποστρώματων κατάλληλων για εκτατικού τύπου φυτοδώματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη αμμοπηλώδους εδάφους, ελαφρόπετρας, περλίτη, ζεόλιθου, τύρφης, κομπόστ σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm ή 15,0 cm) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (60% και 100% της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, ET_c) στην αντοχή του θερμοφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* Swartz 'Platinum TE' στην υδατική καταπόνηση, καθώς και την επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος ανάπτυξης κατά την επαναφορά του *P. vaginatum* μετά από υδατική καταπόνηση και χειμερινό λήθαργο. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι κατά τις περιόδους της υδατικής καταπόνησης τα βαθύτερα υποστρώματα καθυστέρησαν την εκδήλωση ενδείξεων καταπόνησης στο χλοοτάπητα, ενώ το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης επιμήκυνε σημαντικά το χρόνο εμφάνισης της καταπόνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι επεμβάσεις διέφεραν ως και 9 ημέρες στην εμφάνιση των πρώτων ενδείξεων καταπόνησης, γεγονός που θα μπορούσε να έχει πολύ σημαντική επίδραση στις ανάγκες άρδευσης του χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια του έτους, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζονται συχνές βροχοπτώσεις. Με βάση τον αριθμό των ημερών που απαιτήθηκαν προκειμένου το ποσοστό της εδαφοκάλυψης να μειωθεί στο 1%, 25%, 50% ή 75% του πειραματικού τεμαχίου, προσδιορίστηκε πως τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) σε συνδυασμό με το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης του 100% ET_c αποτέλεσαν τις επεμβάσεις με τη μικρότερη υδατική καταπόνηση. Κατά τις περιόδους ανάκαμψης του χλοοτάπητα μετά από τις περιόδους υδατικών καταπονήσεων καθώς και μετά από το χειμερινό λήθαργο, η οπτική ποιότητα του χλοοτάπητα επηρεάστηκε κυρίως από το είδος του υποστρώματος, καθώς τα υποστρώματα τα οποία περιελάμβαναν κομπόστ στη σύνθεσή τους βελτίωσαν σημαντικά την εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα σε σύγκριση με αυτά που περιελάμβαναν τύρφη.

Οι Ntoulas and Nektarios (2017), διερεύνησαν την μεταβολή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) του *Paspalum vaginatum* σε σχέση με την περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία (SMC), σε έξι διαφορετικά υποστρώματα (SL₁₅:Pum₆₀:Pt₂₀:CZ₅, SL₁₅:Pum₆₀:Cmp₂₀:CZ₅, SL₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:Pt₂₀:

CZ₅, SL₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:Cmp₂₀:CZ₅, SL₃₀:Pum₄₀:Pt₂₀:CZ₁₀ και SL₃₀:Pum₄₀:Cmp₂₀:CZ₁₀ όπου SL: αμμο-αργιλώδες έδαφος, Pum: ελαφρόπετρα, Per: περλίτη, Cmp: κομπόστ, CZ: ζεόλιθος και Pt: τύρφη) και σε δύο βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) με δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (60% και 100% της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας, ET_c). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το βάθος του υποστρώματος και η άρδευση του χλοοτάπητα επηρέασαν σημαντικά το NDVI σε σχέση με το είδος του υποστρώματος που δεν επηρέασε τη φυσιολογική κατάσταση του *Paspalum vaginatum*. Ο χλοοτάπητας διατήρησε υψηλές τιμές NDVI για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα όταν η άρδευση του 100% της εξατμισοδιαπνοής συνδυάστηκε με το μεγάλο βάθος υποστρώματος των 15 cm. Συσχέτιση μεταξύ του SMC και του NDVI φανέρωσε ότι θα πρέπει η υγρασία του υποστρώματος να κυμαίνεται από το 23,7% έως 28,5% (v/v) προκειμένου να παραμένει το *Paspalum vaginatum* σε αποδεκτά επίπεδα NDVI, όταν αναπτύσσεται σε εκτατικά φυτοδώματα.

Οι Ntoulas et al. (2017), αξιολόγησαν την ανάπτυξη και την ποιότητα τριών θερμοφίλων χλοοταπήτων σε δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος 7,5 cm και 15 cm, με σκοπό τη διερεύνηση ειδών με καλή εγκατάσταση και κάλυψη πρασίνου σε αβαθή υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων. Οι χλοοτάπητες που εγκαταστάθηκαν σε λυσίμετρα ήταν το *Cynodon dactylon* (L.) Pers. x *C. transvaalensis* Burt-Davy 'MiniVerde', το *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' και το *Zoysia japonica* 'Zenith'. Τα αποτελέσματα δείχνανε ότι το *Zoysia japonica* 'Zenith' είχε την καλύτερη προσαρμογή και στα δύο βάθη του υποστρώματος, διατηρώντας μια αισθητικά αποδεκτή και λειτουργική επιφάνεια πρασίνου και στα δυο χρόνια μελέτης (2011, 2012). Το *Cynodon dactylon* προσαρμόστηκε καλύτερα σε βάθος υποστρώματος 15 cm, παρέχοντας αποδεκτή πράσινη φυτοκάλυψη, ενώ το *Paspalum vaginatum* εμφάνισε τις μεγαλύτερες δυσκολίες ακόμα και σε βάθος υποστρώματος 15 cm.

2.ΑΡΔΕΥΣΗ ΧΛΟΟΤΑΠΗΤΩΝ ΜΕ ΥΦΑΛΜΥΡΟ – ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΝΕΡΟ

2.1 Άνθρωπος και Νερό

Η διασφάλιση του πόσιμου νερού θεωρούνταν πάντα πρωταρχική προτεραιότητα του ανθρώπου. Αν και το νερό εντοπίζεται σε μεγάλες ποσότητες στη

γη, στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο ποσοστό του είναι αλμυρό (θάλασσα 98,78%) και δεν προσφέρεται για εκτεταμένη εκμετάλλευση. Στην περίπτωση του γλυκού νερού (1,22%) το μεγαλύτερο ποσοστό (1,95%) είναι παγιδευμένο στα πολικά καλύμματα υπό μορφή πάγων και επομένως, το διαθέσιμο νερό, είναι ένα ασήμαντο ποσοστό του συνολικού (ποτάμια 0,0014%). Τον αιώνα που διανύουμε, η ραγδαία ανάπτυξη του πληθυσμού, της βιομηχανίας και της τεχνολογίας, καθώς και η αυξημένη αστικοποίηση, έχουν επιφέρει μια αυξανόμενη ανάγκη του ανθρώπου για αυξημένες ποσότητες νερού, για την κάλυψη των απαιτήσεων της ατομικής και οικιακής καθαριότητας του, καθώς και των λειτουργιών των πόλεων που ζει.

Το φυσικό νερό, που χρησιμοποιείται, παρουσιάζει ποικιλία ποιοτικών χαρακτηριστικών (φυσικά, χημικά, ραδιολογικά, βιολογικά, μικροβιολογικά) ανάλογα με τις περιεχόμενες ξένες προσμίξεις. Για κάθε χρήση (ύδρευση, άρδευση, διαβίωση ψαριών κτλ.) απαιτείται ορισμένη διακύμανση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού, που καθορίζεται συνήθως, από τα πρότυπα ποιότητας (quality standards). Ανάλογα την ποιότητα του νερού χρησιμοποιείται και για τις ανάλογες αστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, με τελικό αποτέλεσμα περίπου το 10,7% του συνολικού υδατικού δυναμικού να καταλήγει στην αποχέτευση ως απόβλητα, χωρίς δυνατότητα περαιτέρω εκμετάλλευσης.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, το ποσοστό του νερού, για τις γεωργικές εφαρμογές υπερβαίνει το 70% της συνολικής κατανάλωσης νερού. Στην Ελλάδα, το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 84%, ποσοστό αρκετά σημαντικό σε σχέση με το 2-3% που διατίθεται για βιομηχανική χρήση και το 13% που διατίθεται για αστική χρήση, (Βαρδούλη, 2005).

Η άνιση κατανομή των υδατικών πόρων, κυρίως από τη μεγάλη κατανάλωση νερού από τον κλάδο της γεωργίας, η ρύπανση, η συνεχής αύξηση των υδατικών αποβλήτων, η συνεχής υποβάθμιση των επιφανειακών, όσο και των υπόγειων νερών και οι περιοδικές ξηρασίες, έχουν οδηγήσει σε προσπάθειες εξεύρεσης και εκμετάλλευσης νέων πηγών νερού. Σε μεγάλες βιομηχανικές και αστικές περιοχές τίθενται θέματα υδατο-τροφοδοσίας και εκμετάλλευσης των υγρών αποβλήτων, ως ένα μέσω μείωσης της κατανάλωσης του πόσιμου νερού. Ήδη σε χώρες όπως το Ισραήλ, η Ισπανία, η Σουηδία, η Κύπρος κα. ένα ποσοστό του αρδευτικού νερού προέρχεται από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, (Ζάγγας, 2007).

Εκτός από την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων και την χρήση τους στην άρδευση, μελετώνται και τρόποι αξιοποίησης και εκμετάλλευσης του υφάλμυρου ή θαλασσινού νερού.

2.2 Άρδευση Χλοοτάπητων με ανακυκλωμένο νερό ή νερό υψηλής αλατότητας

Στις μεσογειακές χώρες, που η οικονομία τους είναι βασισμένη στον τουρισμό, η χρήση του χλοοτάπητα θεωρείται αναγκαία (ξενοδοχειακές μονάδες, γήπεδα γκολφ, ιδιωτικές κατοικίες κτλ.), όπως και η έρευνα για την αξιοποίηση του υφάλμυρου νερού για την άρδευση του.

Η εγκατάσταση του χλοοτάπητα σε εδάφη με υψηλή αλατότητα ή σε περιοχές όπου το νερό άρδευσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, οι οποίες θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν υπήρχε εξειδικευμένο προσωπικό και καλύτερη διαχείριση του.

Η κατασκευή των γηπέδων γκολφ σε παράκτιες περιοχές ή σε περιοχές με προβλήματα στο νερό (γνωρίζοντας ότι το θαλασινό νερό μπορεί να εισχωρήσει σε αρδευόμενες περιοχές, εντός 16km από την ακτογραμμή), είναι εφικτή μπορεί όμως να προκαλέσει μεγάλα προβλήματα στη διαχείριση του.

Προβλήματα με την αλατότητα παρουσιάζονται συχνά ακόμα και στους χλοοτάπητες των παρτεριών των πεζοδρόμιων, από τη χρήση αλατιού για το λιώσιμο του χιονιού, που συσσωρεύεται τον χειμώνα. Η λάθος χρήση και διαχείριση του υφάλμυρου νερού, ως μια μέθοδος καταπολέμησης των ζιζανίων, έχει προκαλέσει την αλλοίωση ολόκληρων περιοχών, με τα φυτά να καταπονούνται λόγω μεγάλης συσσώρευσης αλάτων στο έδαφος.

Ωστόσο η χρήση πόσιμου νερού για την άρδευση του χλοοτάπητα δεν θεωρείται άμεσης προτεραιότητας, ειδικά σε περιοχές με έλλειψη νερού. Ήδη στις δυτικές Πολιτείες της Αμερικής έχουν ψηφιστεί νόμοι οι οποίοι επιβάλλουν την χρήση ανακυκλωμένου νερού στους χλοοτάπητες, (Marcum, 2005).

Η μακροχρόνια χρήση υφάλμυρου νερού σε πολυετείς χλοοτάπητες δημιουργεί καταπόνηση, από τη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων άλατος (salinity stress), πρόκειται για μια σημαντική αβιοτική περιβαλλοντική καταπόνηση που είναι υπεύθυνη για τη μείωση της ανάπτυξης των φυτών παγκοσμίως, (Uddin et al., 2012). Η υψηλή αλατότητα στο έδαφος παρεμποδίζει την απορρόφηση του νερού και των

θρεπτικών συστατικών από το ριζικό σύστημα των φυτών του χλοοτάπητα, λόγω της οσμωτικής πίεσης που έχει το εδαφικό διάλυμα, οδηγώντας στην αναστολή της ανάπτυξης του και στην δημιουργία συμπτωμάτων ξηρασίας.

Τα κύρια προβλήματα που παρουσιάζονται στα φυτά που εκτίθενται σε υψηλή αλατότητα είναι η μείωση της διαθεσιμότητας του νερού, το οποίο οι ρίζες δεν μπορούν να απορροφήσουν από το έδαφος λόγω του πλεονάσματος του Na, ενώ εμφανίζονται τοξικότητες από τα ιόντα στα φύλλα και τον βλαστό καθώς και διατροφικές διαταραχές (Marcum, 2005).

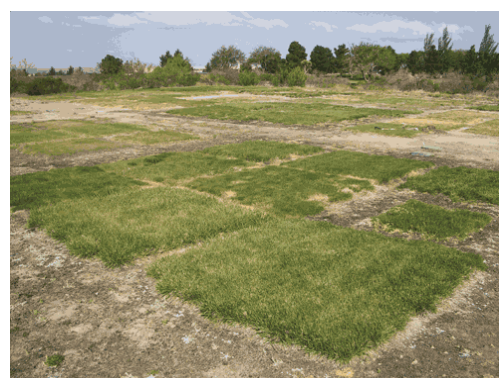
Δευτερευόντως η ποιότητα του χλοοτάπητα μειώνεται (Carrow and Duncan, 1998) και ο προγραμματισμός της άρδευσης του γίνεται πιο δύσκολος.

Ως αποτέλεσμα επέρχεται αναστολή της ανάπτυξης του φυτού, αφυδάτωση και θρεπτική ανισορροπία. Επίσης η ανάκαμψη του χλοοτάπητα από καταπονήσεις γίνεται πιο αργή και η εξατμισοδιαπνοή του, λόγω των τοξικοτήτων από τα ιόντα που συγκεντρώνονται στα ώριμα και παλιά φύλλα, αλλοιώνεται, οδηγώντας σταδιακά στην ξήρανση του.

Πιο αναλυτικά, παρουσιάζονται προβλήματα στην απορρόφηση του φωσφόρου, του μαγνησίου και του σιδήρου. Ο ρυθμός ανάπτυξης των βλαστών μειώνεται δραστικά και εμφανίζονται χλωρωτικά με σημεία μαράνσεως (Εικ. 20, 21), ενώ συχνά δημιουργούνται νεκρώσεις στην κορυφή του ελάσματος.



Εικόνα 20. Θερμόφιλος χλοοτάπητας: *Zoysia macrantha* σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, 2011. (www.dl.sciencesocieties.org)



Εικόνα 21. Ψυχρόφιλος χλοοτάπητας σε συνθήκες αυξημένης αλατότητας, (Sevostianova et al., 2006).

Τα είδη που διαθέτουν αντοχή στην αλατότητα (salinity tolerant), έχουν την ικανότητα να ελαχιστοποιούν τα επιβλαβή αποτελέσματα της υψηλής εδαφικής αλατότητας με την παραγωγή μιας σειράς ανατομικών, μορφολογικών και

φυσιολογικών προσαρμογών, όπως πιο εκτεταμένο ριζικό σύστημα και αδένες στην επιφάνεια των φύλλων που εκκρίνουν τα άλατα, (Lee et al., 2007).

Βασικά κριτήρια για την ποσοτικοποίηση της καταπόνησης, είναι η μάζα και το μήκος των ριζών, το μήκος των βλαστών και η ποιότητα του χλοοτάπητα. Μελέτες έχουν διενεργηθεί σε διάφορα είδη χλοοτάπητα, σε σχέση με την αντοχή και την ανταπόκριση τους στην αυξημένη αλατότητα.

Από τα ψυχρόφιλα είδη πολύ καλή ανθεκτικότητα στην αλατότητα παρουσιάζει το *Agrostis stolonifera* και το *Puccinellia distans*, ενώ σε μελέτη του Alshammery et al. (2003) αναφέρεται ότι το *Festuca arundinacea*, είχε μείωση της ποιότητας και της ανάπτυξης των βλαστών σε αλατότητα από 4 σε 12 dSm⁻¹ κατατάσσοντας το ως χλοοτάπητα καλής αντοχής στην αλατότητα. Μέτριας αντοχής είναι το *Lolium perenne*, ενώ κακής η *Poa pratensis*, η οποία σε έρευνα που δημοσιοποιήθηκε από τον Alshammery et al. (2003) παρουσίασε μείωση 50% της ανάπτυξης των βλαστών ήδη σε αλατότητα υποστρώματος 4,9-5,5 dSm⁻¹ και των ριζών σε 5,8-7,9 dSm⁻¹.

Πίνακας 1: Σύγκριση της αντοχής στην αλατότητα μεταξύ των κυριότερων ψυχρόφιλων ειδών χλοοτάπητα

Αντοχή	Ψυχρόφιλα Είδη	Ερευνητής- έτος
Πολύ Καλή	<i>Agrostis stolonifera</i> spp. <i>Palustris</i> <i>Puccinellia distans</i>	Butle et al., (1974) Alshammery et al., (2004)
Καλή	<i>Festuca arundinacea</i>	Alshammery et al., (2004)
Μέτρια	<i>Festuca ovina</i> <i>Festuca rubra</i> ssp. <i>rubra</i> <i>Lolium perenne</i>	
Κακή	<i>Poa pratensis</i> <i>Poa trivialis</i>	Alshammery et al., (2004)

Από τα θερμόφιλα είδη το *Paspalum vaginatum*, το *Zoysia japonica* και το *Stenotaphrum secundatum* παρουσιάζουν καλή αντοχή στην αλατότητα. Σημαντικές είναι όμως και οι διαφορές ανάμεσα στις διάφορες ποικιλίες του κάθε είδους.

Έρευνες του Lee et al. (2004) έδειξαν ότι το *Paspalum vaginatum* 'Adalayd' έχει μικρότερη αντοχή στην αλατότητα ($28,1 \text{ dS m}^{-1}$) σε σχέση με το *Paspalum vaginatum* 'SI 93-2' και 'HI 101', που είναι ανθεκτικότερες στην άρδευση με νερό υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ακόμα και σε τιμές άνω των $41,1 \text{ dS m}^{-1}$. Ο οικότυπος 'Adalayd' ξεκίνησε με $7,09 \text{ g}$ συνολικό ξηρό βάρος στην EC_{w0} και έφτασε τα $3,38 \text{ g}$ συνολικού ξηρού βάρους σε EC_{w50} , έχοντας μείωση άνω του μισού της μάζας του σε σχέση με το SI 93-2 που ξεκίνησε από $7,88 \text{ g}$ συνολικό ξηρό βάρος σε EC_{w0} και έφτασε τα $6,2 \text{ g}$ συνολικού ξηρού βάρους σε EC_{w50} παρουσιάζοντας μικρή αναστολή της φυσιολογικής του ανάπτυξης. Παρόμοια αντοχή στην αλατότητα με το *P. vaginatum* 'Adalayd', παρουσιάζει και ο οικότυπος 'Tifgreen' του *Cynodon dactylon* σύμφωνα με μελέτες του Lee et al. (2004) η ίδια έρευνα έδειξε επίσης, ότι οι οικότυποι του *P.vaginatum* 'SI 94-1' και 'SI 92' είχαν την μεγαλύτερη προσαρμογή στην αύξηση της αλατότητας με τη μείωση τους από $2,66 \text{ g}$ και $2,09 \text{ g}$ συνολικό ξηρό βάρος αντιστοίχως σε EC_{w0} ($1,1 \text{ dS m}^{-1}$), σε $1,66 \text{ g}$ και $1,53 \text{ g}$ συνολικό ξηρό βάρος αντιστοίχως σε EC_{w40} ($41,1 \text{ dS m}^{-1}$).

Πιο πρόσφατες μελέτες του Uddin et al. (2012) έδειξαν ότι, το ξηρό βάρος του υπέργειου μέρους του *P. vaginatum*, σε αλατότητα άνω των 24 dS m^{-1} είχε μόλις 23% μείωση του βάρους σε σχέση με τη φυσιολογική του ανάπτυξη, ενώ το ξηρό βάρος των ριζών σε αλατότητα 48 dS m^{-1} έδειξε 34% μείωση του βάρους. Επίσης σε υψηλά επίπεδα αλατότητας 48 dS m^{-1} η ξήρανση του φυλλώματος ήταν μόνο 15%.

Το 2013 μελέτη του Uddin et al. για την διαχείριση των ζιζανίων που εμφανίζονται στον χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* και την αντιμετώπιση τους με την χρήση τεσσάρων διαλυμάτων νερού με αυξημένη αλατότητα ($0, 24, 48$ and 72 dS m^{-1}), έδειξε ότι το *P. vaginatum* κατάφερε να ανταπεξέλθει στην υψηλότερη αλατότητα (72 dS m^{-1}) με ξηρό βάρος φυλλώματος $13,59 \text{ g/plot}$, με την τιμή ξηρού βάρους σε διάλυμα χωρίς αλατότητα (0 dS m^{-1}) να είναι $15,38 \text{ g/plot}$.

Ο Dudeck et al. (1993) μελέτησαν την αντοχή στην αλατότητα του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Stenotaphrum secundatum*. Από τις ποικιλίες που αξιολογήθηκαν, η 'Floratom', η 'Floratine' και η 'Floralawn' έδειξαν μείωση 50% της υπέργειας ανάπτυξης στα $22,8 \text{ dS m}^{-1}$, ενώ την καλύτερη αντοχή στην αλατότητα

την είχε η ποικιλία 'Seville' με μείωση 50% της υπέργεια ανάπτυξης στα 28,1 dS m⁻¹. Η ποικιλία 'Seville' θεωρείται ότι έχει την ίδια αντοχή σε αλατότητα με την ποικιλία 'FSP-1' του *Paspalum vaginatum* και με κάποιες ποικιλίες του *Cynodon spp.*

Περαιτέρω έρευνες των Marcum και Murdoch (1994) έδειξαν ότι, η ανάπτυξη των ριζών του *Stenotaphrum secundatum* μειώθηκε στο 50% όταν η αλατότητα έφτασε τα 395 mM NaCl, παρουσιάζοντας αντοχή στην αλατότητα σχεδόν όσο το *Zoysia matrella* (L.) Merr. και το *Paspalum vaginatum* (\approx 400 mM NaCl), ενώ το *Cynodon dactylon* x *C. transvaalensis* Burtt-Davey έδειξε μείωση 50% ήδη από τα 272 mM NaCl και το *Zoysia japonica* Steud στα 130 mM NaCl. Το λιγότερο προσαρμόσιμο είδος στην αλατότητα ήταν το *Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack., με μείωση 50% μόλις στα 77 mM NaCl.

Οι Uddin et al. (2010) σε έρευνες πάνω στο *Zoysia japonica* για την αντοχή της στην αλατότητα, ανέφεραν μείωση 50% της υπέργεια ανάπτυξης στα 36 dS m⁻¹ και των ριζών στα 44,9 dS m⁻¹ κατατάσσοντας την στους θερμόφιλους χλοοτάπητες με καλύτερη αντοχή στην αλατότητα σε σχέση με το *Zoysia tenuifolia* (28,4 dS m⁻¹ και 31 dS m⁻¹ αντιστοίχως), το *Digitaria didactyla* (26,4 dS m⁻¹ και 29,5 dS m⁻¹), το *Paspalum notatum* (20 dS m⁻¹ και 21,5 dS m⁻¹) και το *Axonopus compressus* (18,6 dS m⁻¹ και 21,4 dS m⁻¹), που μελετήθηκαν στο ίδιο πείραμα και δεν εμφάνισαν τόσο καλή προσαρμογή στην αύξηση της αλατότητας. Περαιτέρω έρευνες των Uddin et al. (2012) έδειξαν ότι, στο επίπεδο αλατότητας 48 dS m⁻¹, το *Z. japonica* υπέστη 25% ξήρανση του φυλλώματος. Το ξηρό βάρος των φύλλων σε αλατότητα άνω των 24 dS m⁻¹ έδειξε μόλις 23% μείωση του βάρους από το φυσιολογικό, ενώ το ξηρό βάρος των ριζών σε αλατότητα 48 dS m⁻¹ έδειξε 46% μείωση του βάρους.

Έρευνες που έγιναν από τους Chen et al. (2009) για το *Zoysia matrella* 'Merrill', έδειξαν ότι, το ποσοστό του πράσινου χρωματισμού υπό συνθήκες καταπόνησης λόγω αλατότητας στα 360 mM παρέμεινε στο 100% μέχρι η αλατότητα να φτάσει τα 900 mM όπου και προκάλεσε την ολική ξήρανση του χλοοτάπητα. Το 2012, οι Uddin et al. παρουσίασαν περαιτέρω στοιχεία, όπου στο επίπεδο αλατότητας 48 dS m⁻¹, το *Z. matrella* είχε 39% κάψιμο του φυλλώματος.

Πίνακας 2: Σύγκριση της αντοχής στην αλατότητα μεταξύ των κυριότερων θερμόφιλων ειδών χλοοτάπητα.

Αντοχή	Θερμόφιλα Είδη	Ερευνητής- έτος
Πολύ Καλή	<i>Paspalum vaginatum</i>	Marcum, 1994; Lee et al., 2004,2005; Pessarakli and Touchane, 2006; Shonubi and Okusanya, 2007; Chen et al., 2009; Uddin et al., 2012.
	<i>Stenotaphrum secundatum</i>	Dudeck et al., 1993; Marcum and Murdoch, 1994.
	<i>Distichlis spicata</i>	Alshammary et al., 2004.
	<i>Zoysia matrella</i>	
	<i>Pennisetum clandestinum</i>	Marcum and Murdoch, 1994; Chen et al., 2009; Uddin et al., 20011,2012
Καλή	<i>Cynodon spp.</i>	Marcum and Murdoch, 1994; Lee et al., 2004; Pessarakli and Touchane, 2006; Chen et al., 2009; Uddin et al., 2012.
	<i>Zoysia japonica</i>	Marcum and Murdoch, 1994; Chen et al., 2009; Uddin et al., 2011, 2012.
Κακή	<i>Digitaria didactyla</i>	Uddin et al., 2012
Πολύ Κακή	<i>Axonopus affinis</i>	
	<i>Eremochloa ophiuroides</i>	

2.3 Μηχανισμοί των χλοοταπήτων για την αντιμετώπιση της υψηλής αλατότητας

Τα φυτά διαθέτουν μηχανισμούς αποφυγής και διαχείρισης της αυξημένης αλατότητας στο υπόστρωμα που αναπτύσσονται. Οι μηχανισμοί αποφυγής μπορούν να είναι μορφολογικοί: χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελεί το πιο μακρύ ριζικό σύστημα, το οποίο, συναντάται σε φυτά που είναι κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές, έτσι ώστε, να έχουν την δυνατότητα άντλησης νερού από τα βαθύτερα υποστρώματα, με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού να είναι συνήθως χαμηλότερη, σε σχέση με το επιφανειακό έδαφος, το οποίο συγκεντρώνει το μεγαλύτερο ποσοστό του άλατος. Επίσης μηχανισμός διαχείρισης της αυξημένης αλατότητας θα μπορούσε να θεωρηθεί η αποφυγή της αυξημένης εισχώρησης των ιόντων Na και Cl εντός των ιστών του φυτού, (Choukr-Allah et al., 1995).

Μορφολογικές προσαρμογές που παρατηρούνται στα φυτά που αναπτύσσονται σε υψηλής αλατότητας εδάφη είναι: η απομάκρυνση της περίσσιας άλατος μέσω των παλαιότερων φύλλων και η συνεχής αναπαραγωγή νέας βλάστησης, η ανάπτυξη βαθύτερου ριζικού συστήματος και η απομάκρυνση του άλατος από ειδικούς αδένες στα φύλλα (*Cynodon dactylon*, *Zoysia macrantha*) ή από κύστες στα κύτταρα των φύλλων. Επίσης παρατηρούνται και φυσιολογικοί μηχανισμοί για την αντιμετώπιση της αυξημένης αλατότητας, όπως η ρύθμιση της απορρόφησης των ιόντων Νατρίου, Καλίου και Χλωρίου καθώς, και η διαχείριση τους από τα κύτταρα του φυτού (Choukr-Allah et al., 1995).

Οι παραπάνω μηχανισμοί των φυτών με υψηλή αντοχή στην καταπόνηση από αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, παρατηρούνται και στις παρακάτω μελέτες χλοοταπήτων:

Οι Huang et al., (1997) αναφέρουν ότι η παραγωγή βαθύτερων ριζών του *Paspalum vaginatum*, λειτουργεί ως ένας μηχανισμός αποφυγής της ξήρανσης από αδυναμία πρόσληψης νερού λόγω αυξημένης αλατότητας, με την αναζήτηση του νερού σε βαθύτερα στρώματα του υποστρώματος. Στην έρευνα των Alshammary et al., (2004) προς την αντοχή στην αλατότητα τεσσάρων ειδών χλοοτάπητα (*Poa pratensis*, *Festuca arundinacea*, *Puccinellia distans*, *Distichlis spicata*), παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη επέκταση του ριζικού συστήματος των: *Festuca arundinacea*, *Puccinellia distans*, *Distichlis spicata* ως ένας μηχανισμός αντιμετώπισης της αυξημένης αλατότητας, κατατάσσοντας τα ως ανθεκτικότερα στην

καταπόνηση από αυξημένη αλατότητα σε σχέση με την *Poa pratensis* που δεν παρουσίασε αυτόν τον μηχανισμό.

Σε μελέτη των Lee et al. (2004) με 8 οικότυπους του *Paspalum sp.* και σε 3 οικότυπους του *Cynodon sp* παρατηρήθηκε, ως μηχανισμός αντιμετώπισης της αυξημένης αλατότητας, η μεγαλύτερη ανάπτυξη του φυλλώματος τους κάτω από συνθήκες υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_w24) από 0,11 g έως 0,64 g ξηρού βάρους φυλλώματος, ενώ σε άρδευση με πόσιμο νερό (EC_w0) το ξηρό βάρος της βλάστησης δεν αναμένεται να υπερβεί τα 0,48 g.

Τα φυτά που στο φυσικό τους περιβάλλον, μεγαλώνουν κάτω από συνθήκες αυξημένης αλατότητας, καταφέρνουν να ρυθμίσουν την οσμωτική πίεση στις ρίζες, είτε με το να προσλαμβάνουν ανόργανους οσμωλύτες (K^+) ή με οργανικούς οσμωλύτες, όπως η προλίνη, μειώνοντας έτσι την πρόσληψη Νατρίου στις ρίζες και περιορίζοντας τη μεταφορά του στους βλαστούς (*Paspalum vaginatum*), (Uddin et al., 2012).

Άλλοι μηχανισμοί είναι η οσμωτική προσαρμογή, μέσω της σύνθεσης οργανικών ενώσεων (*Paspalum vaginatum*) και η εμφάνιση αδένων στα φύλλα για την έκκριση των αλάτων (*Distichlis spicata*, *Zoysia matrella*). Έρευνες του Shonubi and Olusanya, (2007) όσο αφορά την ανταπόκριση του *P.vaginatum* σε σύγκριση με το *P.scrobiculatum*, στην αυξημένη αλατότητα, έδειξαν ότι η ικανότητα του *P.vaginatum* να ρυθμίζει το ποσοστό των αλάτων στις ρίζες του και να παίρνει το απαραίτητο νερό που χρειάζεται μέσω της ρύθμισης της οσμωτικής πίεσης, ενώ ταυτόχρονα απομακρύνει την περίσσια των αλάτων από τα πιο παλιά φύλλα, το βοηθάει να επιβιώνει σε εδάφη με αυξημένη αλατότητα σε σχέση, με το *P.scrobiculatum* που δεν διαθέτει αυτούς τους μηχανισμούς προσαρμογής.

Οι Chen et al. (2009) σε μελέτη τους αναφέρουν ότι ο συνδυασμός της υψηλότερης ικανότητας έκκρισης αλατιού, με την υψηλότερη πυκνότητα του φυλλώματος και τη μείωση της ανάπτυξης των φύλλων συνέβαλε στην υψηλότερη ανοχή στην αλατότητα του *Zoysia matrella* 'Diamond' σε σχέση με το *Zoysia japonica* 'Z080', το *Cynodon dactylon* 'C291' και το *Paspalum vaginatum* 'Adalayd' που μελετήθηκαν σε αυτό το πείραμα.

3. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παρούσα μελέτη είχε ως σκοπό την αξιολόγηση της δυνατότητας καλλιέργειας του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE', σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος, με νερό άρδευσης αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm). Επίσης, διερευνήθηκε η ικανότητα επαναφοράς του χλοοτάπητα, μετά την καταπόνηση του, μέσω των φυσικών βροχοπτώσεων κατά την φθινοπωρινή περίοδο. Τέλος, μελετήθηκε η ικανότητα προσδιορισμού της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος ανάπτυξης του χλοοτάπητα, με τη χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας.

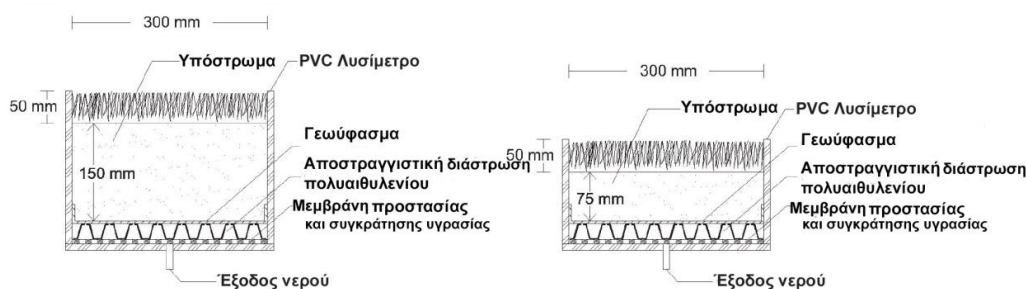
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών λυσιμέτρων.

Η πειραματική μελέτη πραγματοποιήθηκε στον αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από την 7^η Ιουλίου 2015 έως και την 7^η Οκτωβρίου 2015. Η μελέτη περιελάμβανε 48 κυλινδρικά λυσίμετρα, εσωτερικής διαμέτρου 30 mm και εμβαδού 0,07 m². Το πειραματικό σχέδιο το οποίο ακολουθήθηκε ήταν πολύ-παραγοντικό, με δύο παράγοντες: α) νερό άρδευσης με τέσσερις διαφορετικές ηλεκτρικές αγωγιμότητες και β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος. Η κάθε επέμβαση είχε 6 επαναλήψεις και η διάταξη των τεμαχίων ακολούθησε το εντελώς τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο.

Τα λυσίμετρα ήταν τοποθετημένα σε πάγκους ρυθμιζόμενου ύψους ώστε να επιτευχθεί η οριζοντίωση τους και να αποφευχθούν φαινόμενα συσσώρευσης νερού στα άκρα του πυθμένα των λυσιμέτρων (Εικ. 24). Εντός των λυσιμέτρων είχε τοποθετηθεί πολύ-επίπεδη διάστρωση αποστραγγιστικών διατάξεων όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου (Εικ. 22). Οι διαστρώσεις αποτελούνταν από: α) το επίπεδο προστασίας το οποίο αποτελείτο από ύφασμα συνθετικών μη αποδομήσιμων ινών πολυεστέρα, πάχους 3 mm και ξηρού βάρους

0,32 kg m⁻², το οποίο λειτουργεί ως δεξαμενή νερού με ικανότητα συγκράτησης 3 L m⁻² σύμφωνα με τα δεδομένα του κατασκευαστή (TSM32, Zinco, egreen, Αθήνα, Ελλάδα). Στη συνέχεια, πάνω από το ύφασμα προστασίας, τοποθετήθηκε αποστραγγιστική διάστρωση από ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο ύψους 25 mm και βάρους 1,7 kg m⁻² (FD25, Zinco, egreen) με ανάγλυφο σχήμα το οποίο έχει την ικανότητα συγκράτησης του αποστραγγισμένου νερού καθώς και ανοίγματα για τον επαρκή αερισμό του υποστρώματος. Η αποστραγγιστική διάστρωση έχει την ικανότητα αποθήκευσης 3 L m⁻² η οποία χρησιμεύει ως μία πρόσθετη δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Η αποστραγγιστική διάστρωση καλύφθηκε από ένα μη υφαντό γεωύφασμα (SF, Zinco, egreen) το οποίο ήταν κατασκευασμένο από θερμικά ενισχυμένο πολυπροπυλένιο, πάχους 600 μm, βάρους 0,1 kg m⁻², με φαινόμενο μέγεθος ανοίγματος D₉₀= 95 μm και ταχύτητα διήθησης του νερού 0,07 m s⁻¹.



Εικόνα 22. Κατασκευαστική λεπτομέρεια της εξομίωσης των εκτατικών φυτοδωμάτων εντός των πειραματικών λυσιμέτρων. (Nektarios et al., 2014/ Μετάφραση Καλλιόπη Μπριλάκη)

Τα λυσίμετρα πληρώθηκαν με υπόστρωμα κατάλληλο για εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα σε βάθος είτε 7,5 είτε 15 cm (Εικ. 23, 24). Το υπόστρωμα αποτελούταν από ελαφρόπετρα, ατταπουλγιτική άργιλο, ζεόλιθο και κομπόστα στέμφυλων σε κατ' όγκο αναλογίες 65:15:5:15 αντίστοιχα σύμφωνα με την ευρεσιτεχνία με αριθμό #1008610. Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακα 3: Φυσικές και χημικές ιδιότητες υποστρώματος αποτελούμενο από ελαφρόπετρα, ατταπουλγυτική άργιλο, ζεόλιθο και κομπόστα στέμφυλων σε κατ' όγκο αναλογίες 65:15:5:15, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την πλήρωση των λυσίμετρων στη μελέτη.

Μετρήσεις	Μονάδα μετρήσεις	Τιμή (\pm SE)	Μηχανική ανάλυση	
			Μέγεθος κόκκων (mm)	%
pH		7,2 (\pm 0,02)	9,5-6,3	1,9
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα	mS·m ⁻¹	60 (\pm 2,10)	6,3-3,2	23,6
Βάρος στον κορεσμό	g·cm ⁻³	1,30 (\pm 0,05)	3,2-2,0	17,3
Βάρος στη μέγιστη υδατοικανότητα	g·cm ⁻³	1,20 (\pm 0,03)	2,0-1,0	25,9
Ξηρό βάρος	g·cm ⁻³	0,80 (\pm 0,02)	1,0-0,25	20,4
Ολικό πορώδες	%	63,8 (\pm 2,30)	0,25-0,05	4,4
Μέγιστη υδατοικανότητα	% vol.	54,2 (\pm 1,65)	0,05-0,002	5,4
Υδραυλική αγωγιμότητα	mm·min ⁻¹	7,62 (\pm 0,67)	<0,002	1,1

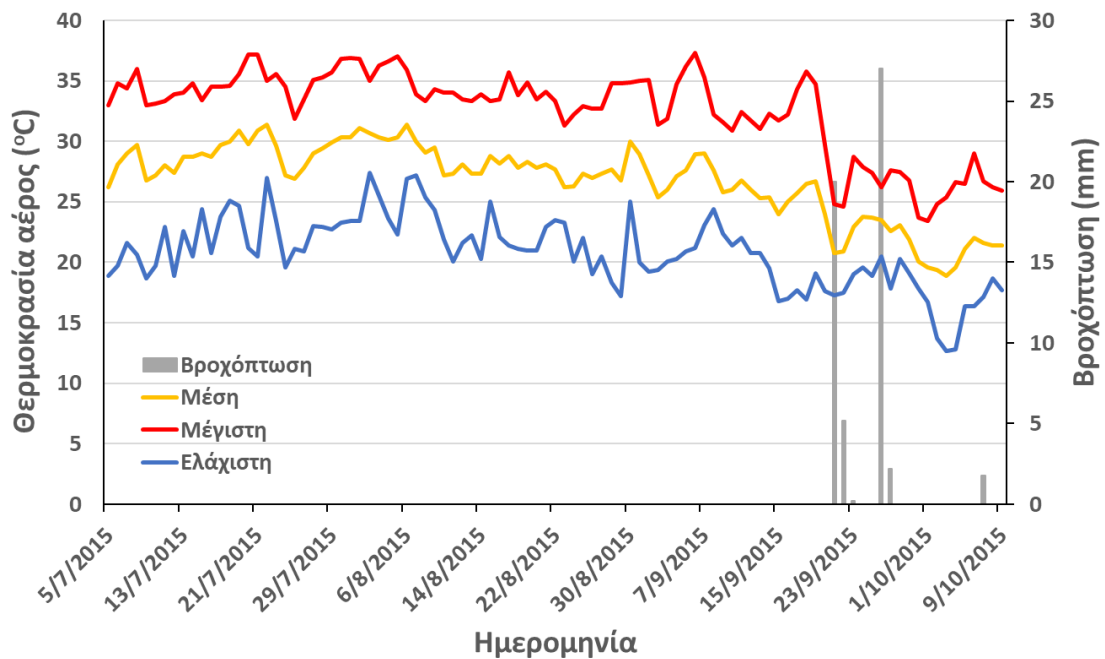
Στο κέντρο της κάτω επιφάνειας κάθε λυσίμετρου διανοίχθηκε οπή διαμέτρου Φ10, στην οποία τοποθετήθηκε ειδικό μεταλλικό σπείρωμα και αντίστοιχης διαμέτρου, σωληνάκι το οποίο χρησίμευε για τη συλλογή του απορρέοντος νερού σε δοχεία (Εικ. 22).



Εικόνες 23, 24. Τα πειραματικά λυσίμετρα της μελέτης, πριν την τοποθέτηση του χλοοτάπητα.

4.2 Μετεωρολογικά δεδομένα

Καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, η θερμοκρασία του αέρα και οι βροχοπτώσεις καταγράφονταν από το μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος βρίσκεται 15 m μακριά από τον πειραματικό χώρο.



Διάγραμμα 2. Ημερήσια βροχόπτωση και μέγιστη, μέση και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της μελέτης(7 Ιουλίου 2015 έως 9 Οκτωβρίου 2015)

4.3 Επιλογή χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* ‘Platinum TE’ και διαχείριση του στα λυσίμετρα.

Στα λυσίμετρα ήταν εγκατεστημένος ο θερμόφιλος χλοοτάπητας *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'. Η εγκατάσταση του είχε πραγματοποιηθεί ένα χρόνο πριν την έναρξη της μελέτης με τη χρήση πλυμένου έτοιμου χλοοτάπητα (Εικ. 26). Το *Paspalum vaginatum* πρόκειται για ένα θερμόφιλο γρασίδι, με λαμπερό, εξαιρετικά σκούρο πράσινο χρώμα φυλλώματος, πολύ λεπτή υφή φύλλων και έντονη πυκνότητα, (Duncan and Carrow, 2000). Τοποθετείται σε παραθαλάσσιες περιοχές λόγω της μεγάλης αντοχής που έχει στα σταγονίδια της θάλασσας, στα ξηρά, άγονα, αμμώδη και αλατούχα εδάφη και στο νερό με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα. Έχει μικρές ως μέτριες απαιτήσεις σε νερό και προτιμάται να τοποθετείται σε ηλιόλουστες, ημι σκιερές τοποθεσίες. Επίσης είναι αρκετά ανθεκτικό στις ασθένειες αν και δημιουργεί οργανικό στρώμα (thatch). Καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης το ύψος του χλοοτάπητα διατηρήθηκε στα 5 cm μέσω εβδομαδιαίας κοπής με τη χρήση χειροκίνητου ηλεκτρικού ψαλιδιού (Εικ. 25), ενώ τα υπολείμματα κοπής απομακρύνονταν χειρωνακτικά. Λίπανση εφαρμόστηκε μια μόνο φορά πριν την έναρξη της μελέτης στις 30 Ιουνίου 2015 με λίπασμα αργής αποδέσμευσης Floranid Permanent 16-7-15 (+2Mg, +7S + 0.5 Fe, Compo Hellas SA), σε ποσότητα 10 g m⁻². Κατά την διάρκεια της μελέτης δεν πραγματοποιήθηκε καμία φυτό-προστατευτική επέμβαση.



Εικόνα 25. Κοπή χλοοτάπητα με ηλεκτρικό ψαλίδι



Εικόνα 26. Πειραματικά λυσίμετρα

4.4 Άρδευση χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια της μελέτης

Κατά τη έναρξη της μελέτης όλα τα λυσίμετρα αρδεύτηκαν με πόσιμο νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας περίπου 0,3 dS m⁻¹ έως κορεσμό προκειμένου να

εξασφαλιστούν ομοιόμορφες συνθήκες υγρασίας. Στη συνέχεια, ο χλοοτάπητας στα λυσίμετρα αρδεύονταν κάθε δεύτερη ημέρα με ποσότητα ίση με 1 L το οποίο αντιστοιχεί σε ύψος άρδευσης 14 mm (7 mm ανά ημέρα) δεδομένου ότι το εμβαδό των λυσίμετρων ήταν 0,07 m².

Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' υπό συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος χρησιμοποιήθηκαν τρία διαλύματα άρδευσης με ηλεκτρικές αγωγιμότητες 6, 12, 24 dS m⁻¹ ενώ ως μάρτυρας χρησιμοποιήθηκε πόσιμο νερό (ηλεκτρικής αγωγιμότητας 0,3 dS m⁻¹). Για την παρασκευή των διαλυμάτων άρδευσης χρησιμοποιήθηκε NaCl (M=58,44, Scharlau Chemie, SA, Barcelona, Spain) το οποίο διαλύθηκε σε πόσιμο νερό σε κατάλληλες ποσότητες (2,7 g NaCl ανά L πόσιμου νερού για την παρασκευή διαλύματος 6 dS m⁻¹, 5,8 g NaCl ανά L πόσιμου νερού για την παρασκευή διαλύματος 12 dS m⁻¹ και 12,4 g NaCl ανά L πόσιμου νερού για την παρασκευή διαλύματος 24 dS m⁻¹). Μετά την παρασκευή των διαλυμάτων, η επαλήθευση των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας τους, πραγματοποιούνταν με τη χρήση φορητού αγωγιμόμετρου (Cyber Scan 200, Eutech Instruments, Singapore). Κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές άρδευσης (9, 11 και 13 Ιουλίου 2015) πραγματοποιήθηκε άρδευση μόνο με πόσιμο νερό για τους μάρτυρες και με το διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 6 dS m⁻¹ για τις επεμβάσεις υψηλής αλατότητας προκειμένου να αποφευχθεί η απότομη καταπόνηση του χλοοτάπητα και να επιτραπεί η σταδιακή προσαρμογή του. Από το σημείο αυτό και μετά άρδευση εφαρμόζονταν και με όλα τα διαλύματα ηλεκτρικής αγωγιμότητας (3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹) σύμφωνα με το σχεδιασμό του πειράματος.

Άρδευση των λυσίμετρων, με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, πραγματοποιήθηκε μέχρι και την 1^η Σεπτεμβρίου 2015. Κατόπιν η άρδευση πραγματοποιούνταν μόνο μέσω φυσικών βροχοπτώσεων προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάκαμψης του χλοοτάπητα κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. (Διάγρ. 2). Οι βροχοπτώσεις που καταγράφηκαν κατά την περίοδο επαναφοράς του χλοοτάπητα ήταν 25,4 mm το διάστημα 21-23 Σεπτεμβρίου 2015, 29,2 mm το διάστημα 26-27 Σεπτεμβρίου 2015 και 1,8 mm στις 7 Οκτωβρίου 2015.

4.5 Είδη και συχνότητα μετρήσεων

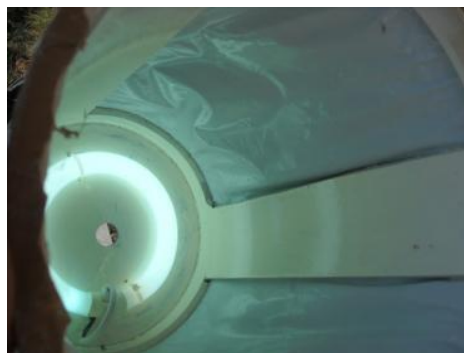
4.5.1 Μέτρηση του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα

Κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης του χλοοτάπητα μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (7 Ιουλίου 2015 έως 1 Σεπτεμβρίου 2015) ανά τέσσερις ημέρες, προσδιορίζονταν το ποσοστό της εδαφοκάλυψης, το ποσοστό δηλαδή του υποστρώματος το οποίο καλυπτόταν από τμήματα του χλοοτάπητα τα οποία είχαν πράσινο χρωματισμό (GTC, Green Turf Cover). Επίσης, το ποσοστό της εδαφοκάλυψης προσδιορίστηκε και στο τέλος της περιόδου επαναφοράς του χλοοτάπητα μέσω φυσικών βροχοπτώσεων (7 Οκτωβρίου 2015).

Ο προσδιορισμός επιτεύχθηκε με τη χρήση ψηφιακών εικόνων απεικόνισης του κάθε λυσίμετρου, οι οποίες λαμβάνονταν ανά τέσσερις ημέρες, πριν την άρδευση, καθ' όλη την περίοδο του πειράματος, με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 100 IS (Canon Europe Ltd, UK) τοποθετημένη στην κορυφή ενός μετακινούμενου κυλινδρικού φωτογραφικού θαλάμου διαμέτρου 30 cm και ύψους 45 cm (Εικ. 27). Ο θάλαμος διασφάλισε σταθερές συνθήκες φωτισμού καθ' όλη τη διαδικασία απόκτησης δεδομένων και ήταν εφοδιασμένος με 1 λαμπτήρα φθορισμού (Phillips Ελλάς Α.Ε.Β.Ε., Αθήνα) 1200 lumens με ένταση φωτός 22 W και θερμοκρασία χρώματος 3000 Kelvin, ο οποίος ήταν τοποθετημένος στην εσωτερική πλευρά του άνω τμήματός του (Εικ. 28). Εξωτερικά ο θάλαμος ήταν μαύρου χρώματος για να αποτραπεί επίδραση του εξωτερικού φωτός στο εσωτερικό του θαλάμου, ενώ εσωτερικά ήταν λευκού χρώματος για την επίτευξη ομοιόμορφης διάχυσης του εσωτερικού φωτός, το οποίο προερχόταν από τον κυκλικό λαμπτήρα φθορισμού.



Εικόνα 27: Μετακινούμενος κυλινδρικός φωτογραφικός θάλαμος



Εικόνα 28. Λαμπτήρας φθορισμού στο άνω εσωτερικό τμήμα του φωτογραφικού θαλάμου

Οι ρυθμίσεις της ψηφιακής κάμερας διατηρήθηκαν σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης έχοντας διάφραγμα F3.2, την εξισορρόπηση του λευκού σε λαμπτήρες φθορισμού, την ευαισθησία ISO στο 200, και το εστιακό μήκος στα 33 mm. Οι ψηφιακές εικόνες ήταν σε μορφή αρχείου JPEG, μεγέθους 1600 × 1200 εικονο-στοιχείων (pixels). Κάθε εικόνα περικόπηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό Adobe Photoshop CS3 (Adobe Systems Inc, USA), προκειμένου να αφαιρεθούν τυχόν ανεπιθύμητα τμήματά της. Το ποσοστό της εδαφοκάλυψης από τμήματα χλοοτάπητα πράσινου χρωματισμού, προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανάλυσης ψηφιακών εικόνων SigmaScan Pro έκδοση 5.0 (SigmaScan Pro, Systat Software S.A., Chicago, IL) σύμφωνα με την μεθοδολογία των Richardson et al. (2001). Κατά τη διαδικασία προσδιορισμού του GTC, τα τμήματα του χλοοτάπητα με πράσινο χρωματισμό, προσδιορίζονταν επιλεκτικά στις εικόνες ρυθμίζοντας το φάσμα απόχρωσης από 47-107 και τον κορεσμό από 0-100. Σε κάθε εικόνα, το ποσοστό του GTC προσδιορίστηκε, διαιρώντας τον αριθμό των “πράσινων εικονο-στοιχείων” με το συνολικό αριθμό των εικονο-στοιχείων της κάθε εικόνας.

4.5.2 Μέτρηση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI)

Παράλληλα με τον προσδιορισμό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα κατά τη περίοδο καταπόνησης του, (7 Ιουλίου 2015 έως 1 Σεπτεμβρίου 2015) ανά τέσσερις ημέρες, προσδιοριζόταν και ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), ανά τέσσερις ημέρες πριν από την εφαρμογή άρδευσης και μεταξύ των ωρών 12:00 έως 14:00, με χρήση δύο διπλό-κάναλων αισθητήρων SKR 1800 (Skye Instruments Ltd, Powys, Ηνωμένο Βασίλειο) (Εικ. 30). Οι αισθητήρες είχαν κεντρικά μήκη κύματος 650 nm (Red) και 800 nm (Near Infrared-NIR) και ένα εύρος ζώνης περίπου 10 nm. Ο κατώτερος αισθητήρας τοποθετούνταν περίπου σε απόσταση 50 cm από την επιφάνεια του χλοοτάπητα, ώστε η περιοχή δειγματοληψίας να είναι μια κυκλική επιφάνεια ακτίνας 12 cm στο κέντρο του λυσίμετρου (Εικ. 29). Οι μετρήσεις ξεκίνησαν 7 Ιουλίου 2015 και τελείωσαν 1 Σεπτεμβρίου 2015.

Οι ανακλαστικότητες στο Red και NIR χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) μέσω της εξίσωσης:

$$NDVI = \frac{(Z \times NIRr \times Redi) - (Redr \times NIRi)}{(Z \times NIRr \times Redi) + (Redr \times NIRi)} \quad (1)$$

όπου $NIRi$ = η προσπίπτουσα NIR ακτινοβολία ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$), $Redi$ = η προσπίπτουσα Red ακτινοβολία ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$), $NIRr$ = η ανακλώμενη NIR ακτινοβολία (nA), $Redr$ = η ανακλώμενη Red ακτινοβολία (nA) και Z = ο συντελεστής ευαισθησίας του λόγου των ανακλώμενων ακτινοβολιών NIR/Red. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από 0 έως 1 με το 0 να αντιστοιχεί σε πλήρη έλλειψη βλάστησης και το 1 να αντιστοιχεί στην υψηλότερη δυνατή πυκνότητα πράσινων φύλλων σε συνδυασμό με την καλύτερη δυνατή φυσιολογική κατάσταση των φυτών.



Εικόνες 29, 30. Μετρήσεις NDVI με τη χρήση δύο διπλοκάναλων αισθητήρων SKR 1800

4.5.3 Στατιστική ανάλυση

Η διάταξη των πειραματικών λυσιμέτρων, ακολούθησε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο με έξι επαναλήψεις ανά επέμβαση (4 διαλύματα άρδευσης \times 2 βάθη υποστρώματος \times 6 επαναλήψεις = 48 πειραματικά λυσιμέτρα). Τα δεδομένα μέτρησης της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα και του δείκτη NDVI υποβλήθηκαν σε στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας το λογισμικό JMP ver.8 (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Building S, Cary, NC) και την πολυπαραγοντική ανάλυση λόγω έλλειψης αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δύο παραγόντων καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, κατά την περίοδο καταπόνησης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο ορίζοντας ως κύριο τεμάχιο τα διαλύματα άρδευσης, ως υπό-τεμάχιο το βάθος του υποστρώματος και ως υπό-υπό

τεμάχιο το χρόνο. Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς του Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$).

4.5.4 Προσδιορισμός του όγκου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού έκπλυσης.

Κατά τον πρώτο μήνα της περιόδου καταπόνησης του *Paspalum vaginatum* (7 Ιουλίου έως 8 Αυγούστου 2015), πριν την εφαρμογή άρδευσης και ανά τέσσερις ημέρες, προσδιορίζονταν ο όγκος καθώς και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος έκπλυσης, το οποίο προέρχονταν από την προηγούμενη εφαρμογή άρδευσης και το οποίο συγκεντρώνονταν σε δοχεία τοποθετημένα κάτω από τα λυσίμετρα. Για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα έκπλυσης, χρησιμοποιήθηκε φορητό αγωγιμόμετρο (Cyber Scan 200, Eutech Instruments, Singapore), το οποίο έκανε αυτόματα τη διόρθωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους 25 °C.

4.5.5 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος.

Παράλληλα με τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος έκπλυσης πραγματοποιούταν προσδιορισμός της διηλεκτρικής διαπερατότητας (ϵ_b) καθώς και η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος (σ_b). Ο προσδιορισμός γινόταν κάθε τέσσερις ημέρες, πριν την άρδευση, με τη χρήση του αισθητήρα WET-2 (Delta-T Devices, Cambridge, UK). Τα ραβδία του αισθητήρα έχουν μήκος 6,8 cm με αποτέλεσμα να δημιουργούν μια κυλινδρική περιοχή δειγματοληψίας βάθους 65 mm και πλάτους 45 mm. Ο αισθητήρας συνδέεται με HH2 φορητό μετρητή υγρασίας (Delta-T Devices). Στη συνέχεια μέσω των παραπάνω τιμών πραγματοποιούταν πρόβλεψη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος με τη χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας (salinity index, X_s) ο οποίος ορίζεται ως η μερική παράγωγος της σ_b σε σχέση με την ϵ_b , και αναλύεται λεπτομερώς στην παρακάτω παράγραφο.

4.5.5.1 Θεωρητικές προσεγγίσεις εκτίμησης της αλατότητας του υποστρώματος ανάπτυξης.

Η εκτίμηση της αλατότητας του εδαφικού διαλύματος, κυρίως στηρίζεται στην μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκχυλίσματος της εδαφικής πάστας κορεσμού, EC_e (U.S. Salinity Laboratory, 1954) η οποία έχει καθιερωθεί πλέον ως πρότυπη μέθοδος. Όμως, η μέθοδος αυτή είναι επίπονη και χρονοβόρα αφού περιλαμβάνει δειγματοληψία εδάφους, δημιουργία πάστας κορεσμού, συλλογή εκχυλίσματος και μέτρηση της EC_e του εκχυλίσματος (Kargas et al., 2017a). Ως αποτέλεσμα, αντί της EC_e , σε πολλές περιπτώσεις προσδιορίζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων εδάφους / νερού σε διάφορες αναλογίες. Η μέθοδος αυτή της έμμεσης εκτίμησης της EC_e είναι πρακτικά ευκολότερη αλλά απαιτεί να είναι γνωστή εκ των προτέρων η σχέση μεταξύ της EC_e και της EC της συγκεκριμένης αναλογίας, για να μπορεί να είναι δυνατή η εκτίμηση της EC_e .

Οι διηλεκτρικές συσκευές έχουν δημιουργήσει δυνατότητες ταυτόχρονης μέτρησης της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_b), της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b) και της θερμοκρασίας στο ίδιο σημείο του εδάφους. Από την μέτρηση της σ_b μπορεί να υπολογιστεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος στους πόρους του εδάφους ή του υποστρώματος (EC_{sw}) με την βοήθεια μοντέλων (Rhoades et.al., 1976; Malicki and Walczak, 1999; Hilhorst, 2000; Kargas and Kerkides, 2010, 2012; Kargas et al., 2017b).

Οι Malicki and Walczak (1999) εισηγήθηκαν την έννοια του δείκτη αλατότητας (salinity index, X_s), αξιοποιώντας τα δεδομένα (ϵ_b) και (σ_b) με την εφαρμογή της μεθόδου TDR (time domain reflectometry). Στην συνέχεια οι Wilczak et al., (2012) εφάρμοσαν την μέθοδο του δείκτη αλατότητας για τον υπολογισμό της EC_{sw} από δεδομένα (ϵ_b) και (σ_b) τα οποία αποκτήθηκαν από έναν αισθητήρα FDR (frequency domain reflectometry) ο οποίος δούλευε σε συχνότητα μέχρι 500 MHz.

Ο δείκτης αλατότητας ορίζεται ως η μερική παράγωγος της σ_b σε σχέση με την ϵ_b , όπου και οι δύο παράμετροι προσδιορίζονται από ένα διηλεκτρικό αισθητήρα την ίδια στιγμή και στο ίδιο σημείο του εδάφους.

$$X_s = \frac{\partial \sigma_b}{\partial \epsilon_b} \quad (2)$$

Επίσης, οι Malicli and Walczak (1999) απέδειξαν ότι ο δείκτης αλατότητας (X_s) του εδάφους ως συνάρτηση του EC_{sw} είναι ανεξαρτήτως της κατ' όγκο υγρασίας του εδάφους και ότι ο X_s εξαρτάται από την αλατότητα και την υφή του εδάφους.

Η σχέση μεταξύ της σ_b - ε_b αποδείχθηκε ότι είναι γραμμική και ότι η κλίση, η οποία αποτελεί το δείκτη αλατότητας, αυξάνει με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος διαβροχής (EC_i) στο ίδιο πορώδες μέσο αλλά είναι διαφορετική για την ίδια τιμή της EC_i σε διαφορετικά πορώδη μέσα. Ο σταθερός όρος της γραμμικής σχέσης εξαρτάται επίσης από το είδος του μέσου και την τιμή της EC_i .

Όταν είναι γνωστή η τιμή του X_s και η κλίση (l) της σχέσης X_s - EC_i τότε είναι δυνατόν να υπολογιστεί η τιμή της EC_{sw} από την εξίσωση:

$$EC_{sw} = \frac{X_s}{l} \quad (3)$$

Οι Malicki and Walczak (1999) για την περίπτωση των ανόργανων εδαφών πρότειναν μια εξίσωση (Εξ. 4) για τον υπολογισμό του X_s (για τιμές $\sigma_b > 0.08 \text{ dS m}^{-1}$ και $\varepsilon_s > 6.2$)

$$X_s = \frac{\sigma_b - 0.08}{\varepsilon_s - 6.2} \quad (4)$$

όπου $\sigma_b = 0.08 \text{ dS.m}^{-1}$ και $\varepsilon_s = 6.2$ είναι το κοινό σημείο που συγκλίνουν οι ευθείες $\sigma_b(\varepsilon_s, EC_{sw})$.

Επίσης έδειξαν ότι η κλίση l μπορεί να υπολογιστεί από μια εμπειρική σχέση με βάση την περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο.

Η προτεινόμενη τελική εξίσωση υπολογισμού της EC_{sw} είναι

$$EC_{sw} = \frac{X_s}{l} = \frac{\sigma_b - 0.08}{(\varepsilon_s - 6.2)(0.0057 + 0.00007S)} \quad (5)$$

όπου S είναι η περιεκτικότητα % του εδάφους σε άμμο.

Η ύπαρξη γραμμικής σχέσης σ_b - ε_b από δεδομένα του αισθητήρα WET-2 (Delta-T Devices, Cambridge, UK) ο οποίος λειτουργεί σε συχνότητα 20 MHz έχει επιβεβαιωθεί σε πολλές περιπτώσεις ανόργανων πορωδών μέσων (Kargas and Kerkides, 2010, 2012; Regalado et al., 2007). Παρόλα αυτά, δεν έχει εξεταστεί ποτέ μέχρι τώρα η μορφή της σχέσης με την χρήση του αισθητήρα WET-2 στην

περίπτωση υποστρωμάτων κατάλληλων για φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου καθώς και η δυνατότητα χρήσης του εμπειρικού μοντέλου των Malicki and Walczak (1999) (Εξ. 5) στην πρόβλεψη της EC_{sw} σε τέτοιου είδους υποστρώματα. Όμως για την εύρεση μιας τέτοιας σχέσης απαιτείται να είναι γνωστό το σημείο τομής των γραμμικών σχέσεων σ_b - ϵ_b όπως στα ανόργανα εδάφη αλλά και μια ανάλογη συσχέτιση της l με την περιεκτικότητα σε άμμο. Όμως στην περίπτωση των υποστρωμάτων η περιεκτικότητα σε άμμο είναι μηδενική οπότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Εξίσωση (5). Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να ευρεθεί μια εμπειρική σχέση που να συσχετίζει την l με μια άλλη ιδιότητα των υποστρωμάτων π.χ περιεκτικότητα σε άργιλο ή οργανική ουσία. Για να είναι δυνατόν να ευρεθεί τέτοια σχέση απαιτούνται πολύ περισσότερα πειραματικά δεδομένα από διαφορετικά υποστρώματα. Τέτοιες σχέσεις για την περίπτωση εδαφών έχουν παρουσιάσει οι Wilczak et al. (2012). Σαν μια πρώτη προσέγγιση στην παρούσα μελέτη θα αξιολογηθεί η δυνατότητα χρήσης της Εξίσωσης (3) για την εκτίμηση της τιμής της EC_{sw} για τα διάφορα επίπεδα της EC_i .



Εικόνα 31. Ο αισθητήρας WET-2 συνδυσασμένος με το φορητό μετρητή υγρασίας HH2, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της διηλεκτρικής διαπερατότητας (ϵ_b) καθώς και η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος (σ_b).

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του διαλύματος έκπλυσης

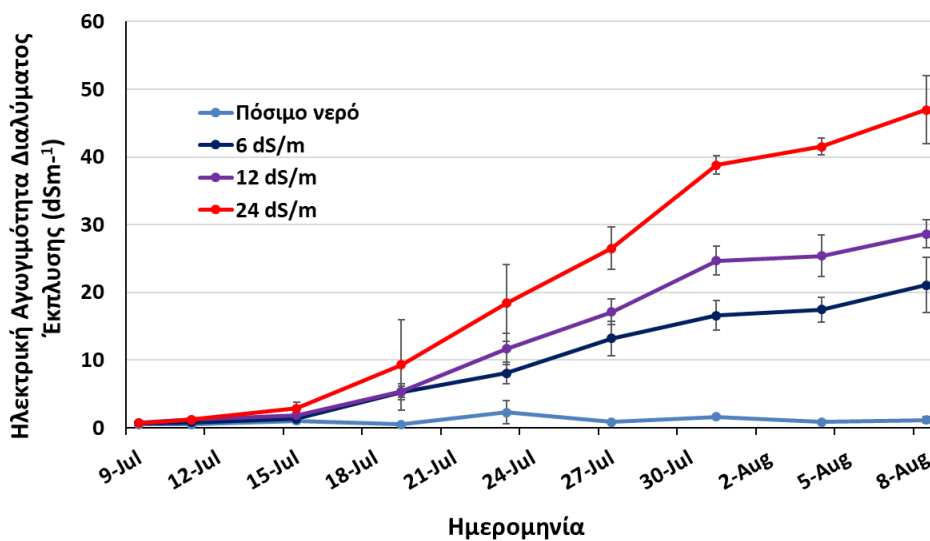
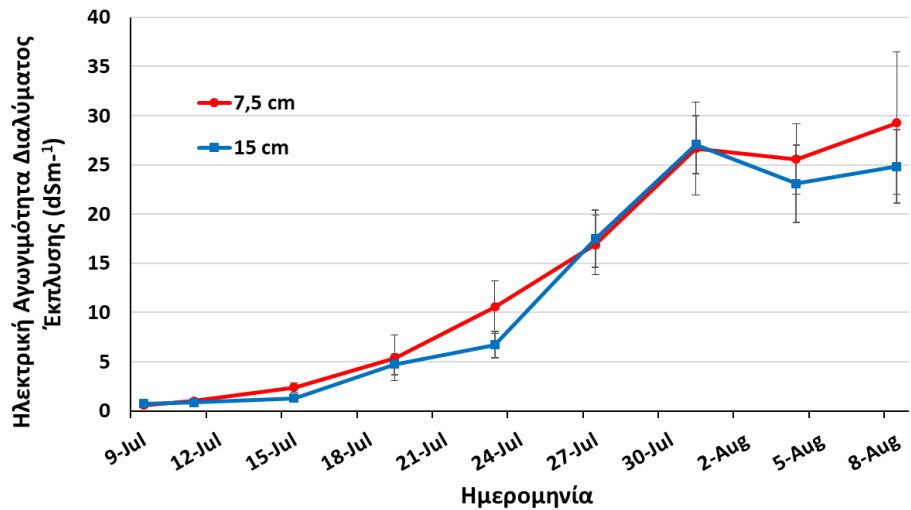
Κατά τον πρώτο μήνα της περιόδου καταπόνησης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* (7 Ιουλίου 2015 έως 8 Αυγούστου 2015) προσδιορίστηκε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος έκπλυσης. Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται η επίδραση του βάθους του υποστρώματος, καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης, στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος έκπλυσης.

Όσον αφορά την επίδραση των διαφόρων επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης, αύξηση της αλατότητας του διαλύματος έκπλυσης παρατηρήθηκε μετά τις 15 Ιουλίου 2015, οπότε και άρχισαν να πραγματοποιούνται κανονικά οι αρδεύσεις με διαλύματα υψηλής αλατότητας. Εξίσωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διαλυμάτων άρδευσης και των διαλυμάτων απορροής επήλθε στις 19 Ιουλίου 2015 για άρδευση με πόσιμο νερό και διάλυμα 3 dS m^{-1} και στις 23 Ιουλίου 2015 για άρδευση με διαλύματα 12 dS m^{-1} και 24 dS m^{-1} . Από τις ημερομηνίες αυτές και μετά συνεχόμενη αύξηση αλάτων στο σύστημα υπόστρωμα-αποστραγγιστικές διατάξεις του φυτεμένου δώματος είχε ως αποτέλεσμα την συνεχή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής. Η μεγαλύτερη αύξηση παρουσιάστηκε όταν άρδευση γινόταν με διάλυμα 24 dS m^{-1} καταλήγοντας στο τέλος του πρώτου μήνα της μελέτης, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος έκπλυσης, να είναι $46,94 \text{ dS m}^{-1}$ (Διάγρ. 3). Μετά της 24 Ιουλίου 2015 παρουσιάζεται σαφής διαχωρισμός μεταξύ των επεμβάσεων της αλατότητας των διαλυμάτων άρδευσης, με τα διαλύματα των 6 dS m^{-1} και 12 dS m^{-1} να παρουσιάζουν μέτρια αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος έκπλυσης, καταλήγοντας στα $21,08 \text{ dS m}^{-1}$ και $28,65 \text{ dS m}^{-1}$ (Διάγρ. 3) αντιστοίχως, στο τέλος του πρώτου μήνα της μελέτης. Η άρδευση με πόσιμο νερό παρουσίασε τις χαμηλότερες τιμές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής καθ' όλη τη διάρκεια του πρώτου μήνα της μελέτης με τιμή $1,15 \text{ dS m}^{-1}$ στην τελευταία ημερομηνία μέτρησης (8 Αυγούστου 2015).

Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής για όλη τη διάρκεια του πρώτου μήνα της μελέτης καταπόνησης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη

όταν άρδευση πραγματοποιούταν με διάλυμα 24 dS m^{-1} και ίση με $20,85 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 1,60 \text{ dS m}^{-1}$). Ακολούθως, η άρδευση με διαλύματα 12 dS m^{-1} και 6 dS m^{-1} παρουσίασε μέσες τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής ίσες με $13,10 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 1,28 \text{ dS m}^{-1}$) και $9,46 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 1,39 \text{ dS m}^{-1}$), αντιστοίχως. Σημαντικά μικρότερη μέση τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής παρουσιάστηκε όταν άρδευση πραγματοποιούταν με πόσιμο νερό και ήταν ίση με $0,84 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 0,16 \text{ dS m}^{-1}$)

Όσο αφορά τα δυο διαφορετικά βάθη του υποστρώματος, αυτά παρουσίασαν ένα παρόμοιο ρυθμό αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος έκπλυσης. Αν και το βάθος των 15 cm παρουσίασε μειωμένες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με το βάθος των $7,5 \text{ cm}$ σε ορισμένες ημερομηνίες μέτρησης, σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο βαθών δεν παρατηρήθηκαν κατά των πρώτο μήνα της μελέτης. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής για όλη τη διάρκεια του πρώτου μήνα της μελέτης καταπόνησης ήταν $13,28 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 1,87 \text{ dS m}^{-1}$) για το βάθος υποστρώματος των $7,5 \text{ cm}$ και $11,26 \text{ dS m}^{-1}$ ($\pm 1,76 \text{ dS m}^{-1}$) για το βάθος υποστρώματος των 15 cm .



Διάγραμμα 3: Ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος έκπλυσης (dS m^{-1}), όπως αυτή επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, 6 dS m^{-1} , 12 dS m^{-1} , ή 24 dS m^{-1}) και το βάθος υποστρώματος ($7,5 \text{ cm}$ ή 15 cm). Οι μπάρες υποδηλώνουν το \pm τυπικό σφάλμα.

5.2 Όγκος του διαλύματος έκπλυσης

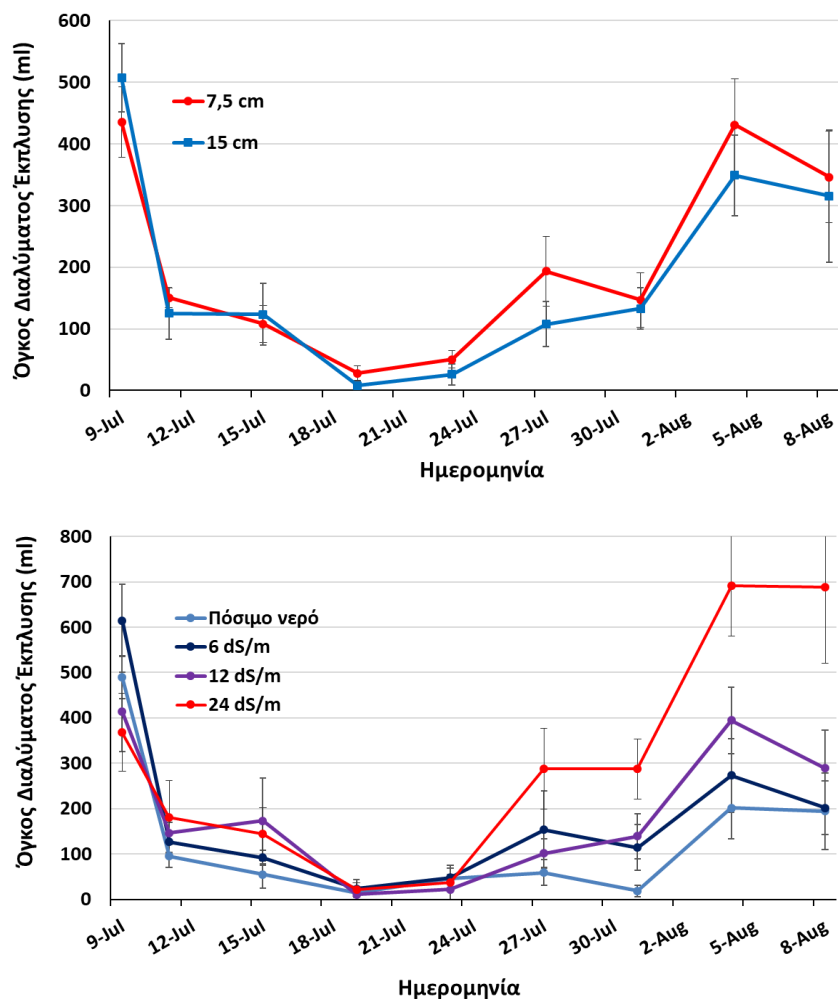
Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζεται η επίδραση του βάθους του υποστρώματος, καθώς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης στο όγκο το διαλύματος έκπλυσης κατά τον πρώτο μήνα της περιόδου καταπόνησης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* (7 Ιουλίου 2015 έως 8 Αυγούστου 2015).

Κατά τις πρώτες τρεις μετρήσεις (9, 11 και 15 Ιουλίου), ο όγκος του διαλύματος έκπλυσης παρουσίασε μια τάση μείωσης φθάνοντας στις χαμηλότερες τιμές στις 19 Ιουλίου 2015. Κατά το διάστημα αυτό δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές

διαφορές μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο διάλυμα άρδευσης. Από τις 22 Ιουλίου και μετά ο όγκος του διαλύματος έκπλυσης παρουσίασε αύξηση για όλες τις επεμβάσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Μετά τις 24 ημέρες από την έναρξη της μελέτης, στις 31 Ιουλίου η άρδευση με διάλυμα 24 dS m^{-1} παρουσίασε στατιστικά το μεγαλύτερο όγκο εκροής σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις διατηρώντας αυτή τη διαφορά μέχρι και το τέλος του πρώτου μήνα καταπόνησης του χλοοτάπητα (8 Αυγούστου 2015). Στις 4 Αυγούστου το διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 24 dS m^{-1} παρουσίασε τον μεγαλύτερο όγκο έκπλυσης με ποσοστό απορροής 69,1% επί του όγκου άρδευσης (1000 ml). Την ίδια ημερομηνία το διάλυμα άρδευσης με ηλεκτρική αγωγιμότητα 12 dS m^{-1} είχε ποσοστό έκπλυσης 39,5% παρουσιάζοντας στατιστικά μεγαλύτερη απορροή σε σχέση με το μάρτυρα ο οποίος είχε ποσοστό απορροής 20,2%.

Κατά μέσο όρο, κατά τον πρώτο μήνα καταπόνησης του χλοοτάπητα η άρδευση με διάλυμα 24 dS m^{-1} παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό απορροής ίσο με 27,6% ($\pm 3,3\%$). Η άρδευση με διαλύματα 6 dS m^{-1} και 12 dS m^{-1} παρουσίασε ενδιάμεσα ποσοστά απορροής ίσα με 18,3% ($\pm 2,3\%$) και 18,2% ($\pm 2,4\%$), αντιστοίχως. Το μικρότερο ποσοστό απορροής κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης παρουσίασε η άρδευση με πόσιμο νερό ίση με 12,7% ($\pm 2,0\%$).

Τα δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 και 15 cm) δεν επηρέασαν σημαντικά τον όγκο του διαλύματος απορροής δεδομένου ότι δεν παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε καμία ημερομηνία μέτρησης κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης καταπόνησης του χλοοτάπητα. Κατά μέσο όρο το βάθος των 7,5cm παρουσίασε ποσοστό έκπλυσης 20,3% ($\pm 2,2\%$) ενώ το βάθος των 15 cm παρουσίασε ποσοστό έκπλυσης 18,1% ($\pm 1,9\%$).



Διάγραμμα 4: Όγκος διαλύματος έκπλυσης (ml), όπως αυτό επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, 6 dS m^{-1} , 12 dS m^{-1} , ή 24 dS m^{-1}) και το βάθος υποστρώματος (7,5 cm ή 15 cm). Οι μπάρες υποδηλώνουν το \pm τυπικό σφάλμα.

5.3 Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC)

Το βάθος υποστρώματος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος άρδευσης επηρέασαν σημαντικά την εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα. Βάσει της στατιστικής ανάλυσης (Πιν. 4) το GTC επηρεάστηκε περισσότερο από το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης σε σύγκριση με το βάθος του υποστρώματος. Η αλληλεπίδραση των δύο παραγόντων δεν ήταν σημαντική γι' αυτό τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε παράγοντα (Διάγρ. 5).

Μέσω του προσδιορισμού του GTC, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα άρχισε να μειώνεται 16 ημέρες (23 Ιουλίου 2015) μετά την έναρξη της καταπόνησης του μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (7 Ιουλίου 2015).

Όσον αφορά την επίδραση των διαφορετικών επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης, η μεγαλύτερη μείωση της εδαφοκάλυψης παρατηρήθηκε όταν πραγματοποιούνταν άρδευση με διάλυμα 24 dS m⁻¹. Πιο συγκεκριμένα στατιστικά σημαντικές διαφορές της συγκεκριμένης επέμβασης σε σχέση με το μάρτυρα παρουσιάστηκαν από τις 23 Ιουλίου 2015 έως και το τέλος περιόδου καταπόνησης (1 Σεπτεμβρίου 2015) (Διάγρ. 5). Η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα για άρδευση με διάλυμα 24 dS m⁻¹ ένα μήνα μετά την έναρξη καταπόνησης (8 Αυγούστου 2015) μειώθηκε στο 52,3 % ενώ κατά την τελευταία ημερομηνία μέτρησης (1 Σεπτεμβρίου 2015) η εδαφοκάλυψη ήταν 45,4%.

Το διάλυμα 12 dS m⁻¹ παρουσίασε μέτρια μείωση του GTC καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης, καταλήγοντας τον πρώτο μήνα η εδαφοκάλυψη να φτάνει το 78,7% και με το πέρας της μελέτης, 56 ημέρες μετά, η εδαφοκάλυψη να είναι 71,3%. Σημαντικές διαφορές άρχισαν να παρατηρούνται σε σχέση με τον μάρτυρα στις 4 Αυγούστου 2015, 28 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης.

Άρδευση με διάλυμα 6 dS m⁻¹ είχε ως αποτέλεσμα την διατήρηση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* σε υψηλά επίπεδα, παρουσιάζοντας μη σημαντικές στατιστικές διαφορές με τον μάρτυρα, καθ' όλη την περίοδο καταπόνησης πλην την τελευταίας ημερομηνίας μέτρησης όπου σημαντική μείωση της εδαφοκάλυψης παρατηρήθηκε σε σχέση με την άρδευση με πόσιμο νερό. Κατά την τελευταία ημερομηνία μέτρησης η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα για άρδευση με διάλυμα 6 dS m⁻¹ ήταν 84,2%.

Η άρδευση με πόσιμο νερό και διάλυμα 6 dS m⁻¹ είχε ως αποτέλεσμα η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να παρουσιάσει τις σημαντικά μεγαλύτερες μέσες τιμές για ολόκληρη την περίοδο καταπόνησης, οι οποίες ήταν ίσες με 93,9% και 92,1%, αντιστοίχως (Πίν. 4). Ενδιάμεση μέση τιμή εδαφοκάλυψης ίση με 84,7% παρουσίασε η άρδευση με διάλυμα 12 dS m⁻¹. Η άρδευση με διάλυμα 24 dS m⁻¹ παρουσίασε τη σημαντικά μικρότερη μέση τιμή εδαφοκάλυψης ίση με 66,7%.

Το βάθος του υποστρώματος παρουσίασε μικρότερη διαφορά σε σχέση με το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας της άρδευσης κατά τη διάρκεια της μελέτης καταπόνησης.

Σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο βαθών υποστρώματος παρατηρήθηκαν από της 27 Ιουλίου 2015, 20 ημέρες μετά την έναρξη καταπόνησης έως την προτελευταία ημερομηνία μέτρησης (28 Αυγούστου 2015). Υψηλότερες τιμές

εδαφοκάλυψης κατά το διάστημα αυτό παρουσίασε το βάθος υποστρώματος 15 cm σε σχέση με τα αβαθή υποστρώματα βάθους 7,5 cm. Ο μέσος όρος της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα για το βάθος των 15 cm ήταν 86,6% ενώ για το βάθος των 7,5cm ήταν σημαντικά μικρότερος στο 82,0%. (Πιν. 4)

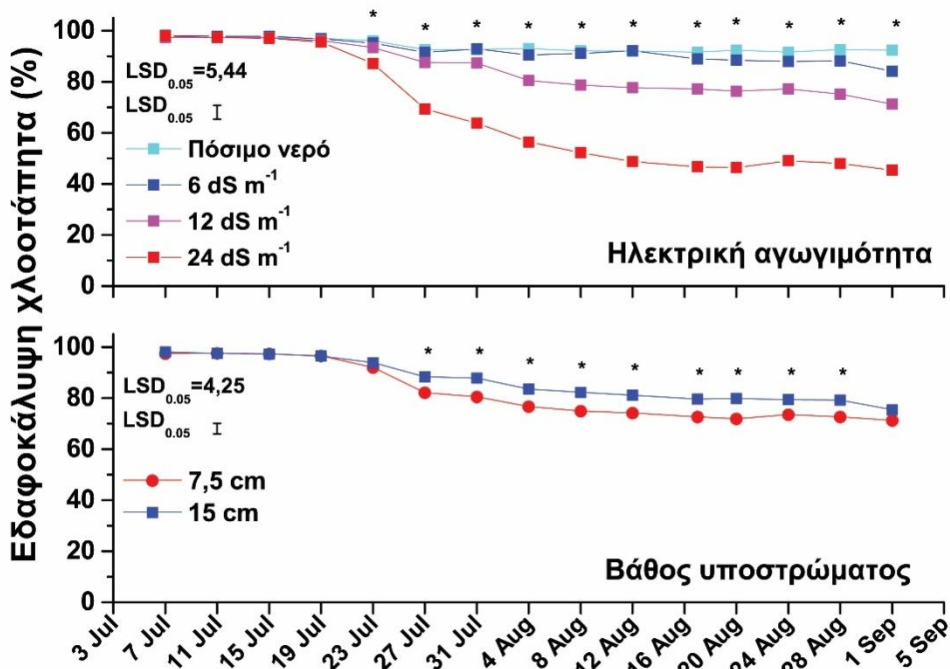
Πίνακας 4: Ανάλυση διασποράς του ποσοστού εδαφοκάλυψης (%) του χλοοτάπητα (GTC) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο, ορίζοντας το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας ως κύριο τεμάχιο, το βάθος του υποστρώματος ως υπότεμάχιο και τις ημερομηνίες δειγματοληψίας ως υπό-υπότεμάχιο. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επέμβασης.

Πηγή παραλλακτικότητας	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F
<i>Ανάλυση κορίων τεμαχίων</i>			
Επαναλήψεις	5	421,38	
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E)	3	27651,90	118,14 ^{***}
Υπόλοιπο (α)	15	234,06	
<i>Ανάλυση υπότεμαχίων</i>			
Βάθος υποστρώματος (D)	1	3773,51	9,90 ^{**}
E x D	3	237,26	0,62 ^{NS}
Υπόλοιπο (β)	20	380,98	
<i>Ανάλυση υπό-υπότεμαχίων</i>			
Ημερομηνίες δειγματοληψίας (T)	14	4218,09	142,03 ^{***}
E x T	42	951,74	32,05 ^{***}
D x T	14	118,75	4,00 ^{***}
E x D x T	42	43,40	1,46 [*]
Υπόλοιπο (γ)	560	29,70	
Σύνολο	719		
Μέσοι των επεμβάσεων			
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	GTC (%)		
Πόσιμο νερό	93,86 a		
6 dS m ⁻¹	92,07 a		
12 dS m ⁻¹	84,68 b		
24 dS m ⁻¹	66,72 c		
LSD	3.44		
Βάθος υποστρώματος	GTC (%)		
7,5 cm	82,04 b		
15 cm	86,62 a		
LSD	3.04		

^{*}, ^{**}, ^{***} Σημαντικότητα σε $P < 0,05$, 0,01 και 0,001, αντιστοίχως

NS, Μη σημαντικό σε $P < 0,05$

Μέσοι οι οποίοι ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$

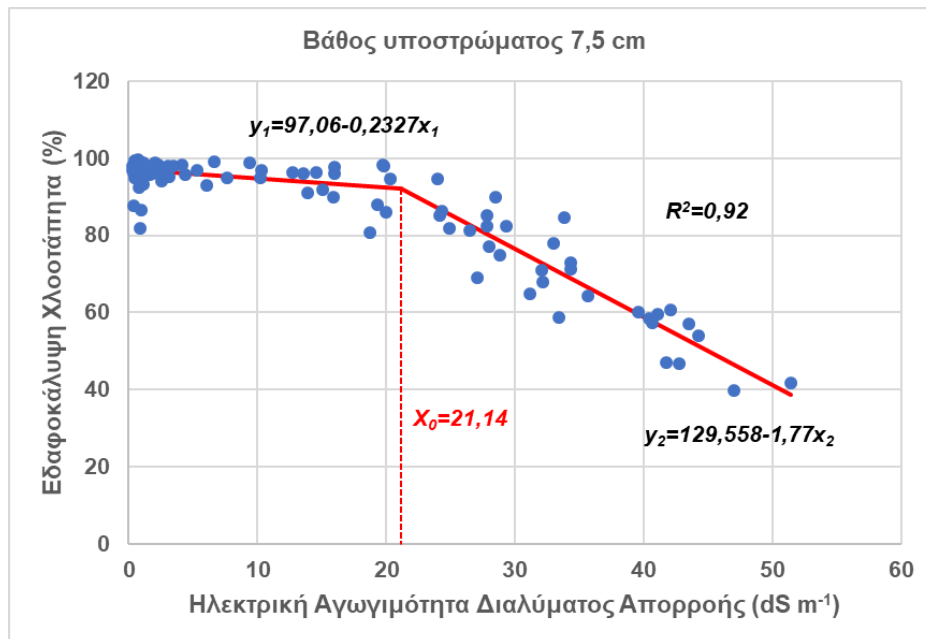


Διάγραμμα 5: Ποσοστό εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα (%), όπως αυτό επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό 0,3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹, 12 dS m⁻¹, ή 24 dS m⁻¹) και το βάθος υποστρώματος (7,5 cm ή 15 cm). Οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

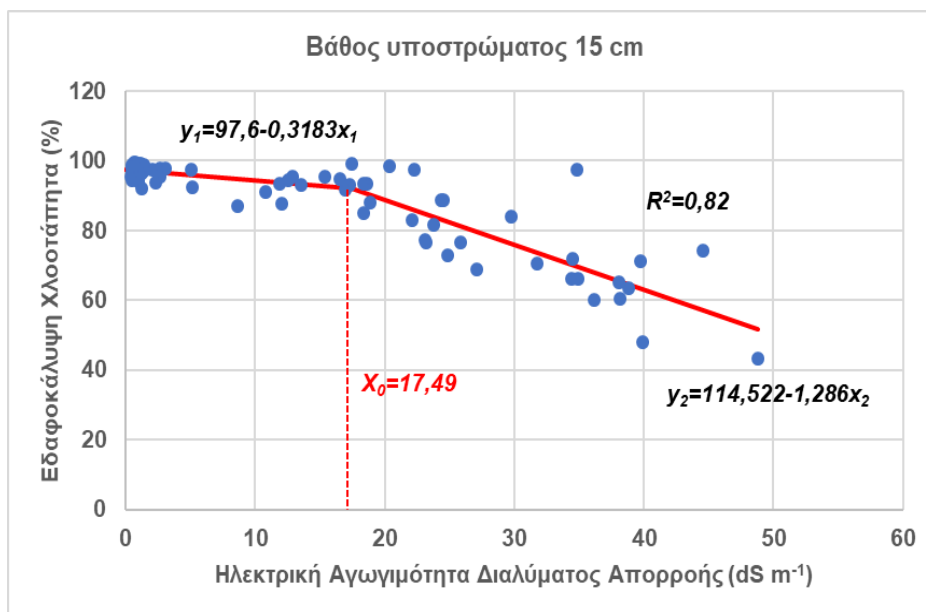
5.4 Συσχέτιση Εδαφοκάλυψης Χλοοτάπητα με την Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του Διαλύματος Απορροής

Συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής (dS m⁻¹) με το ποσοστό (%) εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε ένα από τα δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm ή 15 cm σύμφωνα με το μοντέλο της γραμμικής συσχέτισης δύο τμημάτων (Διάγρ. 6 και 7). Βάση της στατιστικής ανάλυσης δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ μεταξύ των κλίσεων των γραμμών παλινδρόμησης (y_1 και y_2) των δύο βαθών υποστρώματος ($t = -1,6155$, $BE = 223$, η τιμή του $P = 0,1076$). Για το λόγο αυτό τα δεδομένα για τα δύο βάθη υποστρώματος ενοποιήθηκαν σε ένα κοινό

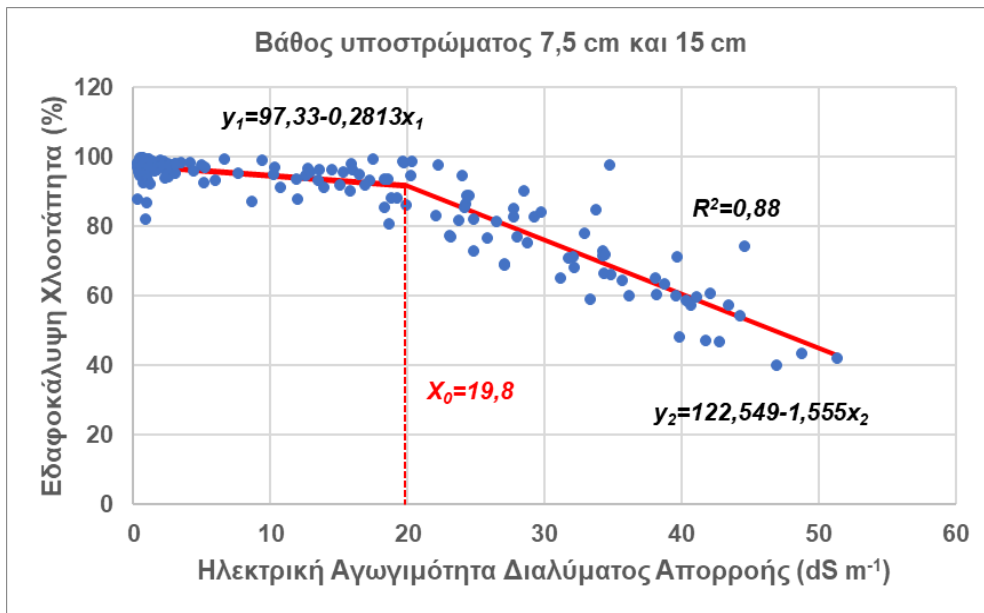
Διάγραμμα (Διάγρ. 8) μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής (dS m^{-1}) με το ποσοστό (%) εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα.



Διάγραμμα 6: Συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής (dS m^{-1}) με το ποσοστό (%) εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα για βάθος υποστρώματος 7,5 cm κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης.



Διάγραμμα 7: Συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής (dS m^{-1}) με το ποσοστό (%) εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα για βάθος υποστρώματος 15 cm κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης.



Διάγραμμα 8: Συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής (dS m⁻¹) με το ποσοστό (%) εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα και για τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 cm και 15 cm κατά το πρώτο μήνα της μελέτης.

Από το Διάγραμμα 8 παρατηρείται ότι το σημείο καμπής κατά το οποίο αρχίζει να μειώνεται η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να είναι τα 19,8 dS m⁻¹. Για τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής μικρότερες από 19,8 dS m⁻¹ η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα *P. vaginatum* μεταβάλετε ελάχιστα και παραμένει σε άριστα επίπεδα.

Για τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας απορροής μεγαλύτερες από 19,8 dS m⁻¹, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα μειώνεται, φτάνοντας στην ελάχιστη αποδεκτή τιμή 50% εδαφοκάλυψης, όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος είναι 46,6 dS m⁻¹. Για τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης μεγαλύτερες του 46,6 dS m⁻¹, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα αναμένεται να μειωθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από τα αποδεκτά του 50% (Trenholm et al., 1999).

Ένα τέτοιο μοντέλο συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας απορροής, με την εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα, θα μπορούσε να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο με πρακτικές εφαρμογές, στη λήψη αποφάσεων όσον αφορά την άρδευση με νερό αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκτατικών φυτοδωμάτων εδαφοκαλυμμένων με *P. vaginatum*. Προσδιορίζοντας με ένα αγωγιμόμετρο, την ηλεκτρική αγωγιμότητα

του νερού απορροής, λαμβάνετε εύκολα μέριμνα, προκειμένου αυτή να μην ξεπερνάει την κρίσιμη τιμή του $19,8 \text{ dS m}^{-1}$. Αν κάτι τέτοιο παρατηρηθεί, αναγκαία κρίνεται η λήψη μέτρων, για την άμεση μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως η εφαρμογή έκπλυσης με πόσιμο νερό, για την απομάκρυνση της περίσσιας άλατος από το υπόστρωμα και τις αποστραγγίσιμες διατάξεις του εκτατικού φυτοδώματος.

5.5 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Το NDVI είναι ένας γενικότερος δείκτης, που μας βοηθάει να αντιληφθούμε πόσο μεταβάλλεται η πυκνότητα του χλοοτάπητα, σε συνδυασμό με την φυσιολογική κατάσταση του σε συνθήκες καταπόνησης.

Βρέθηκε ότι το NDVI επηρεάστηκε εξίσου σημαντικά τόσο από την ηλεκτρική αγωγιμότητα όσο και από το βάθος του υποστρώματος όπως παρατηρείται στον Πίνακα 5, σε αντίθεση με το GTC όπου σημαντικότερη επίδραση είχε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος άρδευσης.

Πιο αναλυτικά, οι τιμές του NDVI άρχισαν να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές 16 ημέρες (23 Ιουλίου 2015) μετά την έναρξη της καταπόνησης μέσω άρδευσης με διαλύματα αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Διαγ. 9). Οι τιμές του NDVI όταν πραγματοποιούταν άρδευση με διάλυμα 6 dS m^{-1} παρέμειναν υψηλές χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με το μάρτυρα καθ' όλη την διάρκεια την περιόδου καταπόνησης.

Η μεγαλύτερη μείωση τις τιμές του NDVI παρατηρήθηκε όταν εφαρμόζονταν άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 24 dS m^{-1} . Σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα εμφανίστηκαν στις 23 Ιουλίου 2015 και διατηρήθηκαν μέχρι και το τέλος της περιόδου καταπόνησης. Μετά από 56 ημέρες καταπόνησης, η τιμή του NDVI μειώθηκε κατά 15,6% σε σχέση με την αρχική υποδεικνύοντας σημαντική υποβάθμιση στην φυσιολογική κατάσταση του χλοοτάπητα.

Ενδιάμεσες τιμές NDVI παρουσίασε η άρδευση με διάλυμα 12 dS m^{-1} . Σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα παρατηρήθηκαν στις 4 Αυγούστου 2015, 28 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την δυνατότητα άρδευσης του *P. vaginatum* σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας έως 12 dS m^{-1} για περιορισμένες χρονικά περιόδους προκειμένου να μην μειωθεί σημαντικά η φυσιολογική κατάσταση του

χλοοτάπητα. Κατά την τελευταία ημερομηνία μέτρησης (1 Σεπτεμβρίου 2015) η τιμή του NDVI μειώθηκε κατά 7,2% σε σχέση με την αρχική τιμή.

Η μέση τιμή του NDVI του χλοοτάπητα για όλη τη διάρκεια της μελέτης καταπόνησης ήταν σημαντικά μεγαλύτερη όταν άρδευση πραγματοποιούταν με πόσιμο νερό και διάλυμα 6 dS m⁻¹ και ίση με 0,7730 και 0,7688, αντιστοίχως (Πιν. 5). Ακολούθως, η άρδευση με διαλύματα 12 dS m⁻¹ παρουσίασε μέση τιμή του NDVI ίση με 0,7441. Σημαντικά μικρότερη μέση τιμή NDVI παρουσίασε ο χλοοτάπητας όταν άρδευση πραγματοποιούταν με διάλυμα 12 dS m⁻¹ και ήταν ίση με 0,7161.

Το βάθος του υποστρώματος επηρέασε σημαντικά τις τιμές του NDVI, με το βαθύτερο υπόστρωμα των 15 cm να παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές, σε σχέση με το αβαθές υπόστρωμα των 7,5 cm (Πίνακας 5). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των δυο υποστρωμάτων παρατηρήθηκαν από την 23 Ιουλίου 2015, 16 ημέρες μετά την έναρξη καταπόνησης έως και την προτελευταία ημερομηνία καταπόνησης (28 Αυγούστου 2015). Η μέση τιμή του NDVI του χλοοτάπητα του χλοοτάπητα για το βάθος των 15 cm ήταν 0,7616 ενώ για το βάθος των 7,5cm ήταν σημαντικά μικρότερη στα 0,7394 (Πιν. 5).

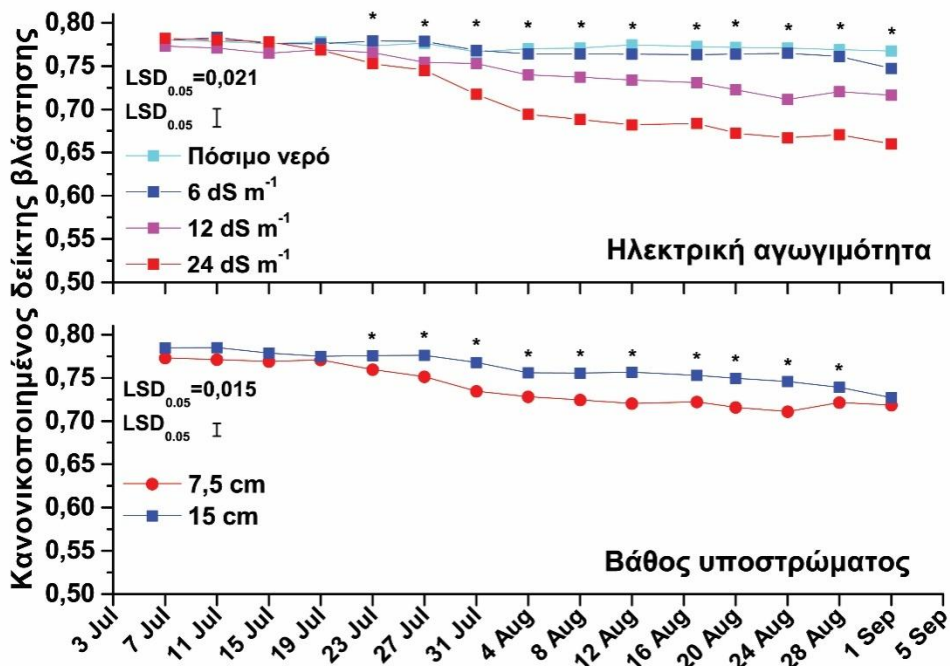
Πίνακας 5: Ανάλυση διασποράς του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο ορίζοντας το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας ως κύριο τεμάχιο, το βάθος του υποστρώματος ως υπότεμάχιο και τις ημερομηνίες δειγματοληψίας ως υπό-υπότεμάχιο. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επέμβασης.

Πηγή παραλλακτικότητας	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F
<i>Ανάλυση κυρίων τεμαχίων</i>			
Επαναλήψεις	5	0,0117	
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E)	3	0,1239	45,39 ^{***}
Υπόλοιπο (α)	15	0,0027	
<i>Ανάλυση υπότεμαχίων</i>			
Βάθος υποστρώματος (D)	1	0,0885	34,61 ^{***}
E x D	3	0,0035	1,39 ^{NS}
Υπόλοιπο (β)	20	0,0026	
<i>Ανάλυση υπό-υπότεμαχίων</i>			
Ημερομηνίες δειγματοληψίας (T)	14	0,0190	37,55 ^{***}
E x T	42	0,0046	9,08 ^{***}
D x T	14	0,0015	2,89 ^{***}
E x D x T	42	0,0005	1,03 ^{NS}
Υπόλοιπο (γ)	560	0,0005	
Σύνολο	719		
Μέσοι των επεμβάσεων			
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	NDVI		
Πόσιμο νερό	0,7730 a		
6 dS m ⁻¹	0,7688 a		
12 dS m ⁻¹	0,7441 b		
24 dS m ⁻¹	0,7161 c		
LSD	0,0117		
Βάθος υποστρώματος	NDVI		
7,5 cm	0,7394 b		
15 cm	0,7616 a		
LSD	0,0079		

*, **, *** Σημαντικότητα σε $P < 0,05$, 0,01 και 0,001, αντιστοίχως

NS, Μη σημαντικό σε $P < 0,05$

Μέσοι οι οποίοι ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά σε $P < 0,05$

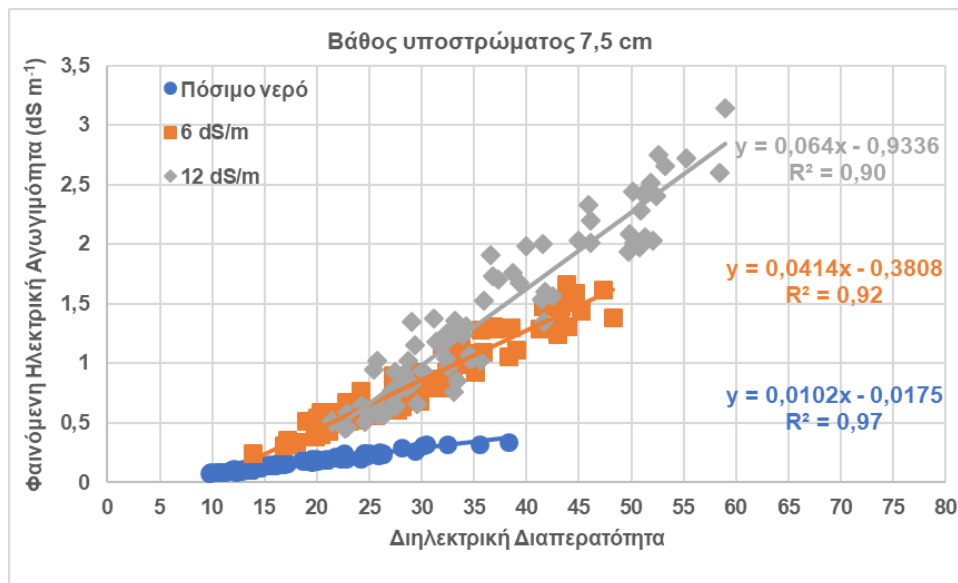


Διάγραμμα 9: Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) όπως αυτός επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, 6 dS m^{-1} , 12 dS m^{-1} , ή 24 dS m^{-1}) και το βάθος υποστρώματος ($7,5 \text{ cm}$ ή 15 cm). Οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με το κριτήριο της Ελάχιστης Σημαντικής Διαφοράς (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων.

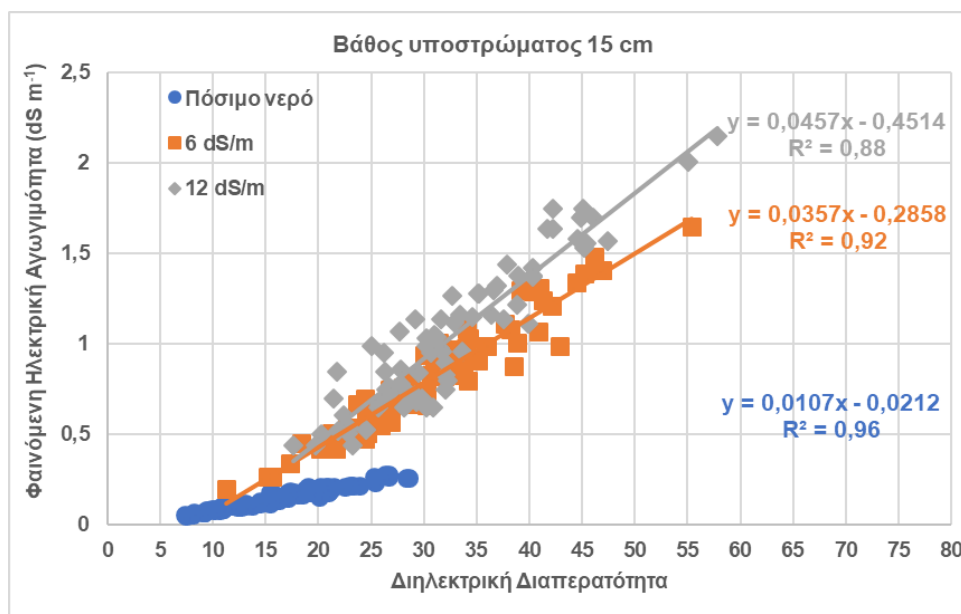
5.6 Προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος

Ως βάση για τις προβλέψεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος του υποστρώματος σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου, με την χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας σύμφωνα με τις θεωρητικές προσεγγίσεις του Κεφαλαίου 4.5.5.1 χρησιμοποιήθηκαν η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (σ_b) και η διηλεκτρική διαπερατότητα (ϵ_b), όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης καταπόνησης, για τα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης (EC_i) $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ (πόσιμο νερό), 6 dS m^{-1} και 12 dS m^{-1} . Τα δεδομένα ηλεκτρικής αγωγιμότητας όταν το διάλυμα άρδευσης ήταν 24 dS m^{-1} θα χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση του μοντέλου που θα προκύψει από τα δεδομένα των υπολοίπων τριών επεμβάσεων. Η συσχέτιση σ_b - ϵ_b

παρουσιάζεται στο Διάγρ. 10 για το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm και στο Διάγρ. 11 για το βάθος 15 cm.



Διάγραμμα 10: Συσχέτιση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b , dS m^{-1}) με την διηλεκτρική διαπερατότητα του υποστρώματος (ϵ_b) όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη χρήση του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 για βάθος υποστρώματος 7,5 cm και άρδευση με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας: α) πόσιμο νερό το οποίο χρησίμευσε ως μάρτυρας με $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, β) 6 dS m^{-1} και γ) 12 dS m^{-1} .



Διάγραμμα 11: Συσχέτιση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (σ_b , dS m^{-1}) με την διηλεκτρική διαπερατότητα του υποστρώματος (ϵ_b) όπως αυτές προσδιορίστηκαν με τη χρήση του διηλεκτρικού

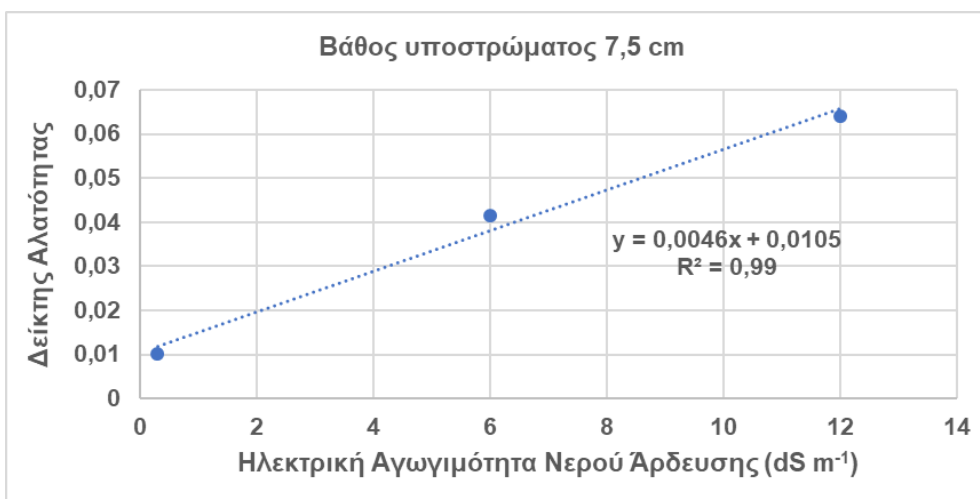
αισθητήρα WET-2 για βάθος υποστρώματος 15 cm και άρδευση με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας: α) πόσιμο νερό το οποίο χρησίμευσε ως μάρτυρας με $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, β) 6 dS m^{-1} και γ) 12 dS m^{-1} .

Από τα Διαγράμματα 10 και 11 φαίνεται ότι η σχέση $\sigma_b - \varepsilon_b$ είναι ισχυρά γραμμική για άρδευση με πόσιμο νερό και τα διαλύματα με αγωγιμότητα 6 dS m^{-1} και 12 dS m^{-1} και για τα δύο βάρη υποστρώματος των 7,5 cm και 15 cm. Για το βάθος των 7,5 cm οι τιμές του R^2 είναι 0,97, 0,92, 0,90 αντίστοιχα ενώ για το βάθος των 15 cm είναι 0,96, 0,92 και 0,88. Μεγάλη μείωση στις τιμές του R^2 δεν παρατηρήθηκαν λόγω του γεγονότος ότι οι τιμές της ε_b είναι αξιόπιστες μέχρι την τιμή $\sigma_b = 3 \text{ dS m}^{-1}$ σύμφωνα με τους Kargas et al. (2014), αφού για μεγαλύτερες τιμές σ_b εμφανίζεται μείωση της τιμής της ε_b . Επίσης από τα Διαγράμματα 10 και 11 φαίνεται ότι το σημείο τομής των σχέσεων $\sigma_b - \varepsilon_b$ είναι αρκετά διαφορετικό από αυτό των ανόργανων εδαφών, οπότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων η προτεινόμενη εξίσωση (4) (Κεφάλαιο 4.5.5.1) των Malicki and Walczak (1999).

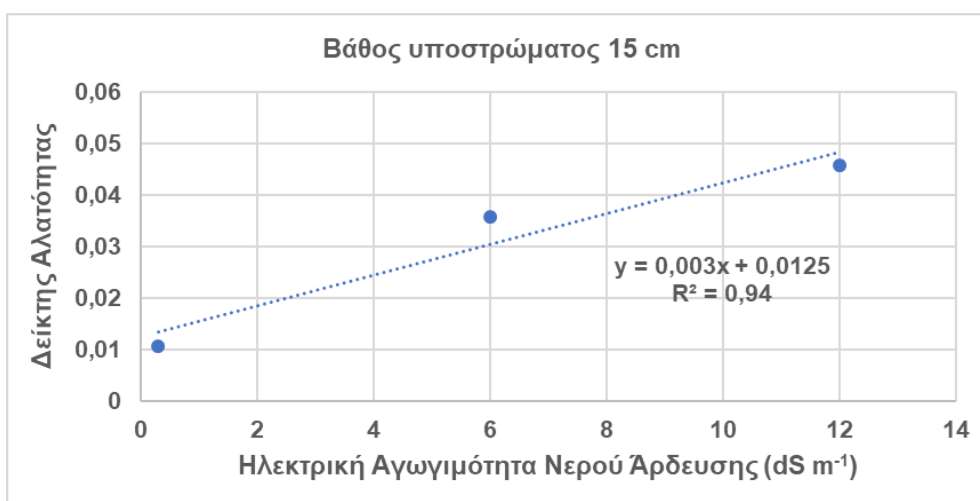
Παρατηρώντας τις κλίσεις των συσχετίσεων $\sigma_b - \varepsilon_b$, οι οποίες ισοδυναμούν με την τιμή του δείκτη αλατότητας (X_s), διαπιστώνεται ότι αυτή αυξάνεται με τη αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης (EC_i) και συνεπώς είναι ανάλογη του καθεστώτος αλατότητας που έχει διαμορφωθεί στο υπόστρωμα. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του X_s μεταβάλλονται από 0,064 έως 0,0102 για το βάθος των 7,5 cm και για το βάθος 15 cm από 0,0457 έως 0,0107 ανάλογα με την τιμή της EC_i .

Επίσης από τα δεδομένα φαίνεται ότι η τιμή του σταθερού όρου των γραμμικών σχέσεων μειώνεται με την αύξηση της τιμής EC_i . Έτσι για τιμή $EC_i = 0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ο σταθερός όρος έχει τιμή $-0,0175$ ενώ για $EC_i = 12 \text{ dS m}^{-1}$ έχει τιμή $-0,9336$ για το βάθος των 7,5 cm ενώ για το βάθος των 15 cm για τιμή $EC_i = 0,3 \text{ dS m}^{-1}$ ο σταθερός όρος έχει τιμή $-0,0212$ ενώ για $EC_i = 12 \text{ dS m}^{-1}$ έχει τιμή $-0,4514$.

Στα Διαγράμματα 12 και 13 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ του δείκτη αλατότητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης για τα δύο βάρη υποστρώματος 7,5 cm και 15 cm αντίστοιχα. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα οι σχέσεις αυτές είναι γραμμικές με $R^2 = 0,99$ και κλίση 0,0046 για το βάθος των 7,5 cm και $R^2 = 0,94$ και κλίση 0,003 για το βάθος των 15 cm.



Διάγραμμα 12: Συσχέτιση του δείκτη αλατότητας για τα τρία επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό το οποίο χρησίμευσε ως μάρτυρας με 0,3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης για βάθος υποστρώματος 7,5 cm.



Διάγραμμα 13: Συσχέτιση του δείκτη αλατότητας για τα τρία επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό το οποίο χρησίμευσε ως μάρτυρας με 0,3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹) με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης για βάθος υποστρώματος 15 cm.

Η τιμή της κλίσης για το υπόστρωμα φυτεμένου δώματος που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη και στα δύο βάθη, είναι πολύ διαφορετική από αυτές που παρουσίασαν οι Malicki and Walczak (1999), για διάφορους τύπους εδαφών. Για αμμώδες έδαφος παρουσίασαν τιμές 0.0136 και 0.0126, για αμμοπηλώδες 0.0125,

ενώ για πηλοαμμώδες 0.011. Συνεπώς η σχέση αυτή, όπως και το σημείο τομής των ευθειών σ_b - ε_b , εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου.

Συνεπώς λόγω των προαναφερόμενων, η προτεινόμενη εξίσωση (5) (Κεφάλαιο 4.5.5.1) για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος (EC_{sw}), δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των υποστρωμάτων φυτεμένων δωμάτων επειδή αυτά έχουν τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σαν μια πρώτη προσέγγιση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση (3) (Κεφάλαιο 4.5.5.1) για να εκτιμήσουμε την τιμή της EC_{sw} , η οποία θα διαμορφωθεί στο υπόστρωμα για κάθε τιμή της EC_i .

Πίνακας 6: Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος του υποστρώματος με τη χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα νερού άρδευσης	Κλίση συσχέτισης δείκτη αλατότητας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού άρδευσης	Δείκτης αλατότητας	Εκτιμώμενη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος υποστρώματος ($dS m^{-1}$)	Μετρημένη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα διαλύματος απορροής ($dS m^{-1}$)	Μέσο κλάσμα έκπλυσης
Βάθος υποστρώματος 7,5 cm					
0,3 $dS m^{-1}$	0,0046	0,0102	2,21	0,81	0,11
6 $dS m^{-1}$	0,0046	0,0414	8,99	9,83	0,14
12 $dS m^{-1}$	0,0046	0,064	13,90	14,82	0,15
24 $dS m^{-1}$	0,0046	0,0832	18,08	22,82	0,33
Βάθος υποστρώματος 15 cm					
0,3 $dS m^{-1}$	0,003	0,0107	3,55	0,85	0,05
6 $dS m^{-1}$	0,003	0,0357	11,89	9,12	0,12
12 $dS m^{-1}$	0,003	0,0457	15,22	10,90	0,17
24 $dS m^{-1}$	0,003	0,0627	20,89	18,44	0,26

Από τον Πίνακα 6 για υπόστρωμα βάθους 7,5 cm φαίνεται ότι η εκτιμώμενη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος για τους αντίστοιχους δείκτες

αλατότητας είναι $2,21 \text{ dS m}^{-1}$ για άρδευση με πόσιμο νερό, $8,99 \text{ dS m}^{-1}$ για άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας, 6 dS m^{-1} και $13,90 \text{ dS m}^{-1}$ για διάλυμα 12 dS m^{-1} . Για υποστρώμα βάθους 15 cm η εκτιμώμενη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος είναι $3,55 \text{ dS m}^{-1}$ για άρδευση με πόσιμο νερό, $11,89 \text{ dS m}^{-1}$ για άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 6 dS m^{-1} και $15,22 \text{ dS m}^{-1}$ για διάλυμα 12 dS m^{-1} .

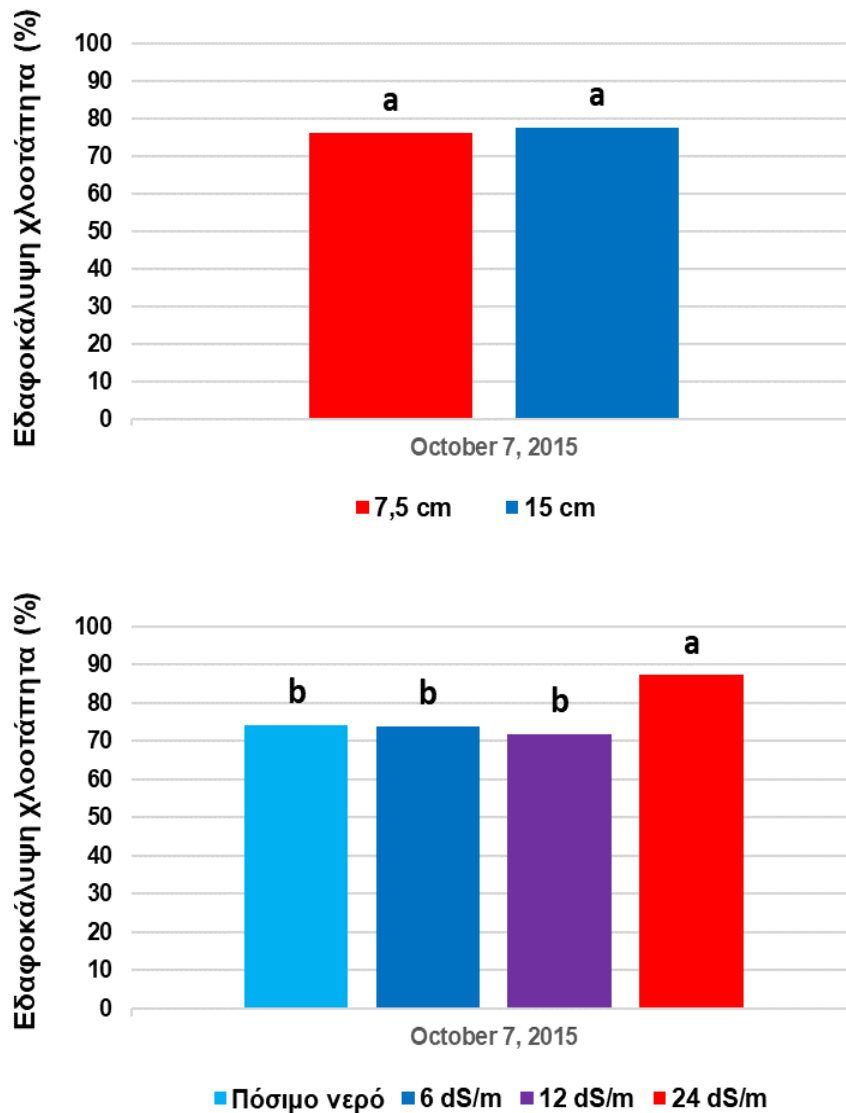
Από τις μετρήσεις της μέσης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής προκύπτει ότι για άρδευση με πόσιμο νερό αυτή είναι $0,81 \text{ dS m}^{-1}$, για άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 6 dS m^{-1} αυτή είναι $9,83 \text{ dS m}^{-1}$ και για άρδευση με διάλυμα 12 dS m^{-1} είναι $14,82 \text{ dS m}^{-1}$ όταν το βάθος υποστρώματος είναι $7,5 \text{ cm}$ (Πίνακας 6). Για βάθος υποστρώματος 15 cm προκύπτει ότι για άρδευση με πόσιμο νερό, η μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής είναι $0,85 \text{ dS m}^{-1}$, για άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 6 dS m^{-1} αυτή είναι $9,12 \text{ dS m}^{-1}$ και για άρδευση με διάλυμα 12 dS m^{-1} είναι $10,90 \text{ dS m}^{-1}$.

5.7 Ανάκαμψη από καταπόνηση σε αυξημένη αλατότητα κατά την φθινοπωρινή περίοδο

Η καταπόνηση σε αυξημένη αλατότητα ολοκληρώθηκε στις 1 Σεπτεμβρίου 2015. Από το τέλος της καταπόνησης και μετά ο χλοοτάπητας αρδευόταν μόνο μέσω φυσικών βροχοπτώσεων. Κατά τις αρχές του Οκτωβρίου, 37 ημέρες από τη λήξη της καταπόνησης πραγματοποιήθηκε μέτρηση της εδαφοκάλυψης του *P. vaginatum* (7 Οκτωβρίου 2015), πριν αυτό εισέρθει σε χειμερινό λήθαργο, ώστε να διερευνηθεί το ποσοστό ανάκαμψης του χλοοτάπητα, ύστερα από την περίοδο καταπόνησης με νερό άρδευσης υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Κατά την περίοδο επαναφοράς (1 Σεπτεμβρίου 2015 έως 7 Οκτωβρίου 2015) καταγράφηκαν συνολικά τρεις βροχοπτώσεις, $25,4 \text{ mm}$ το διάστημα 21-23 Σεπτεμβρίου 2015, $29,2 \text{ mm}$ το διάστημα 26-27 Σεπτεμβρίου 2015 και $1,8 \text{ mm}$ στις 7 Οκτωβρίου 2015. Σημειώνεται ότι κατά την περίοδο επαναφοράς δεν εφαρμόστηκε λίπανση ούτε κοπή στα λυσίμετρα.

Από τις μετρήσεις του GTC (Διάγρ. 14) παρατηρήθηκε μερική ανάκαμψη του χλοοτάπητα σε όλες τις επεμβάσεις. Το σημαντικά υψηλότερο ποσοστό εδαφοκάλυψης $87,2\%$ παρατηρήθηκε στην επέμβαση άρδευσης με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 24 dS m^{-1} (Πιν. 7). Οι υπόλοιπες επεμβάσεις ηλεκτρικής

αγωγιμότητας παρουσίασαν μικρότερες τιμές GTC οι οποίες κυμάνθηκαν από 71,7% έως 74,1%. Όσον αφορά το βάθος υποστρώματος, δεν παρατηρήθηκε σημαντική επίδραση μεταξύ του βάθους των 7,5 cm και 15 cm στην επαναφορά του χλοοτάπητα καταγράφοντας ποσοστά εδαφοκάλυψης ίσα με 76,0 % και 77,4%, αντιστοίχως (Πιν. 4).



Διάγραμμα 14: Ποσοστό εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα (%) κατά την 7^η Οκτωβρίου 2015 όπως αυτό επηρεάζεται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης (πόσιμο νερό 0,3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹, 12 dS m⁻¹, ή 24 dS m⁻¹) και το βάθος υποστρώματος (7,5 cm ή 15 cm).. Μέσοι οι οποίοι ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά σε $P < 0,05$

Πίνακας 7: Πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) κατά την 7η Οκτωβρίου 2015 σε επίπεδο σημαντικότητας $P<0,05$

Πηγή παραλλακτικότητας	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (E)	3	604,79	13,55 ^{***}
Βάθος υποστρώματος (D)	1	21,47	0,48 ^{NS}
E x D	3	29,38	0,66 ^{NS}
Υπόλοιπο	40	44,64	
Σύνολο	47		
Μέσοι των επεμβάσεων			
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	GTC (%)		
Πόσιμο νερό	74,1 b		
6 dS m ⁻¹	73,8 b		
12 dS m ⁻¹	71,7 b		
24 dS m ⁻¹	87,2 a		
LSD	5,5		
Βάθος υποστρώματος	GTC (%)		
7,5 cm	76,0 a		
15 cm	77,4 a		
LSD	3,9		

*, **, *** Σημαντικότητα σε $P<0,05$, 0,01 και 0,001, αντιστοίχως

NS, Μη σημαντικό σε $P<0,05$

Μέσοι οι οποίοι ακολουθούνται από διαφορετικό γράμμα διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο σημαντικότητας $P<0,05$

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα και όγκος διαλύματος έκπλυσης

Ο προσδιορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος έκπλυσης κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης παρουσίασε σημαντικές διαφορές μόνο ως προς το διαφορετικό επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης και όχι ως

προς το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης (Διάγρ. 3). Το γεγονός αυτό καταδεικνύει πως το καθεστώς αλατότητας το οποίο διαμορφώθηκε κατά τον πρώτο μήνα τόσο στο υπόστρωμα όσο και στις αποστραγγιστικές διαστρώσεις του φυτεμένου δώματος είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης και δεν επηρεάστηκε από τον όγκο του υποστρώματος. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στην μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα σε νερό των αποστραγγιστικών διατάξεων (3 L m^{-2} στο επίπεδο προστασίας και 3 L m^{-2} στην αποστραγγιστική διάστρωση) του φυτεμένου δώματος σε σχέση με την ικανότητα συγκράτησης νερού στο υπόστρωμα ανάπτυξης. Ο ισχυρισμός αυτός ενισχύεται από το γεγονός ότι σημαντικές διαφορές μεταξύ του βάθους των 7,5 cm και 15 cm δεν παρατηρήθηκαν ούτε στον όγκο του διαλύματος απορροής κατά τον πρώτο μήνα της μελέτης (Διαγρ. 4)

Η σταδιακή μείωση στον όγκο απορροής που παρατηρήθηκε μετά την έναρξη της μελέτης και για τις ημερομηνίες μέτρησης 9, 11, 15 και 19 Ιουλίου 2015, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων επιπέδων αλατότητας, οφείλεται στην αυξημένη εξατμισοδιαπνοή από τα πειραματικά λυσίμετρα. Η αυξημένη εξατμισοδιαπνοή μπορεί να αποδοθεί τόσο στις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο (Διαγρ. 2) όσο και στην αυξημένη κατανάλωση νερού από το χλοοτάπητα, ο οποίος κατά το διάστημα αυτό παρουσίασε πλήρη εδαφοκάλυψη σε όλα τα λυσίμετρα όπως διαπιστώνεται από το Διάγραμμα 5 ενώ η φυσιολογική του κατάσταση, όπως αυτή προσδιορίστηκε μέσω μέτρησης του δείκτη NDVI, ήταν υψηλή χωρίς σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων (Διαγρ. 9).

Από της 23 Ιουλίου 2015 έως και τις 8 Αυγούστου 2015 παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση στον όγκο απορροής με την άρδευση με διάλυμα 24 dS m^{-1} να εμφανίζει κατά της τρεις τελευταίες ημερομηνίες μέτρησης σημαντικά αυξημένη απορροή έναντι των υπολοίπων επεμβάσεων αλατότητας. Η αυξημένη αυτή απορροή ταυτίζεται με τη σημαντική μείωση τόσο της εδαφοκάλυψης όσο και του δείκτη NDVI στην συγκεκριμένη επέμβαση με αποτέλεσμα την μειωμένη κατανάλωση νερού από το χλοοτάπητα.

6.2 Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC) και Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) κατά τη διάρκεια της περιόδου καταπόνησης

Η μέτρηση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα ως ένα κριτήριο για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας χλοοταπήτων στην αυξημένη αλατότητα έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές (Lee et al., 2004; Marcum 1999). Στην παρούσα μελέτη η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα άρχισε να μειώνεται 16 ημέρες (23 Ιουλίου 2015) μετά την έναρξη της καταπόνησης του μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητα, με τη μεγαλύτερη μείωση της εδαφοκάλυψης να παρατηρείται όταν πραγματοποιούνταν άρδευση με διάλυμα 24 dS m^{-1} και στατιστικά σημαντικά διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα να εμφανίζονται από τις 23 Ιουλίου 2015 έως και το τέλος περιόδου καταπόνησης (1 Σεπτεμβρίου 2015) (Διάγρ. 5). Άρδευση με διάλυμα 12 dS m^{-1} παρουσίασε μέτρια μείωση της εδαφοκάλυψης εμφανίζοντας σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα 28 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης, από τις 4 Αυγούστου 2015 έως και το τέλος της μελέτης. Αντιθέτως, η άρδευση με 6 dS m^{-1} δεν είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα σε σχέση με το μάρτυρα. Μέσω της συσχέτισης της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής διαπιστώθηκε έναρξη μείωσης της εδαφοκάλυψης μετά την κρίσιμη τιμή των $19,86 \text{ dS m}^{-1}$ και με την εδαφοκάλυψη να μειώνεται στο 50% όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος ήταν $46,6 \text{ dS m}^{-1}$ (Διαγρ. 8)

Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν στη παρούσα μελέτη είναι παραπλήσια με τα αποτελέσματα των Lee et al. (2004) και Uddin et al. (2012, 2013), οι οποίοι εφάρμοσαν άρδευση του χλοοτάπητα *P. vaginatum*. με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Το 2013 οι Uddin et al., έδειξαν ότι υπήρχαν οικότυποι του *P. vaginatum* που μπορούσαν να ανταπεξέλθουν, με πολύ μικρή μείωση του συνολικού τους ξηρού βάρους από $15,3 \text{ g}$ ανά πειραματικό τεμάχιο, όταν το διάλυμα νερού άρδευσης ήταν 0 dS m^{-1} σε $13,6 \text{ g}$ ανά πειραματικό τεμάχιο, όταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος ήταν 72 dS m^{-1} (Uddin et al., 2013). Το 2012 οι Uddin et al., είχε αναφέρει την αντοχή του *P. vaginatum* σε αλατότητα 48 dS m^{-1} , με μείωση του ξηρού βάρους των ριζών κατά 34% και του φυλλώματος κατά 15%, ενώ σε διαλύματα 24 dS m^{-1} η μείωση του υπέργειου ξηρού βάρους δεν ξεπερνούσε το 23%. Έρευνες των Lee et al. (2004) έδειξαν ότι, οικότυποι του *P. vaginatum*, όπως το ‘SI 93-2’ και ‘HI 101’, είναι ανθεκτικοί στην άρδευση με νερό υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ακόμα και σε τιμές άνω των $41,1 \text{ dS m}^{-1}$, σε σχέση με τον οικότυπο ‘Adalayd’ ($28,1 \text{ dS m}^{-1}$). Οι Olusola and Okusanya (2007) σύγκριναν την αντοχή

στην αλατότητα του *P. vaginatum* και του *P. scrobiculatum*, με το πρώτο να παρουσιάζει μια μικρή αύξηση στο συνολικό του ξηρό βάρος όταν η αλατότητα αυξήθηκε άνω των 100 Mm και μια απότομη μείωση καθώς η αλατότητα ξεπέρασε τα 200 mM ($p < 1\%$ για 200 mM και $p < 0,1\%$ για 300 mM και 400 mM), ενώ στο *P. scrobiculatum* η μείωση του συνολικού ξηρού βάρους σημειώθηκε με την αύξηση της αλατότητας άνω των 50 Mm.

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτη καταπόνησης του *P. vaginatum* μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, σε σχέση με τα αποτελέσματα των παραπάνω μελετών, θεωρούμε ότι εμφάνισαν διαφορές που οφείλονταν, στο περιορισμό του υποστρώματος ανάπτυξης του χλοοτάπητα σε βάθος μικρότερο των 15 cm (εκτατικό φυτοδώμα), ενώ δεν υφίστατο περιορισμός βάθους υποστρώματος στις παραπάνω μελέτες.

Η επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα ήταν μικρότερη σε σχέση με το επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης με το βάθος των 15 cm να παρουσιάζει υψηλότερες τιμές εδαφοκάλυψης σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm, 20 ημέρες μετά την έναρξη την καταπόνησης έως και την προτελευταία ημερομηνία μέτρησης. Οι μεγαλύτερες τιμές του GTC στα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm μπορούν να αποδοθούν στην δυνατότητα ανάπτυξης των ριζών του χλοοτάπητα σε μεγαλύτερο όγκο υποστρώματος, λειτουργώντας ως ένας μηχανισμός αντιμετώπισης της αυξημένης αλατότητας στο υπόστρωμα και βοηθώντας τον χλοοτάπητα να προσαρμοστεί καλύτερα στην καταπόνηση από μειωμένη απορρόφηση νερού και ανεπάρκεια θρεπτικών στοιχείων. (Alshammery et al., 2004; Rozema and Visser, 1981). Αύξηση στο ξηρό βάρος των ριζών τριών ποικιλιών του χλοοτάπητα *P. vaginatum* από 30 έως και 60% παρατήρησαν οι Shahba et al. (2012) όταν οι ποικιλίες χλοοτάπητα αρδεύονταν με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας $44,0 \text{ dS m}^{-1}$ σε σχέση με το διάλυμα μάρτυρα το οποίο είχε ηλεκτρική αγωγιμότητα $2,2 \text{ dS m}^{-1}$. Αύξηση στο ξηρό βάρος των ριζών και άλλων ειδών χλοοτάπητα όπως το *Zoysia japonica*, *Distichis spicata* και *Cynodon dactylon* όταν αυτά αρδεύονταν με διαλύματα υψηλής αλατότητας παρατήρησαν σε μελέτες τους και οι Qian et al (2000, 2007) και Shahba (2010)

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης ως ένας γενικότερος δείκτης της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα των μετρήσεων της

εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (Διαγρ. 9). Στις 23 Ιουλίου, 16 ημέρες μετά την έναρξη της μελέτης καταπόνησης, η μείωση που παρατηρήθηκε στην εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα συνοδεύτηκε από αντίστοιχη μείωση των τιμών του NDVI. Η μεγαλύτερη μείωση τις τιμές του NDVI παρατηρήθηκε όταν εφαρμόζονταν άρδευση με διάλυμα ηλεκτρικής αγωγιμότητας 24 dS m^{-1} με σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα, οι οποίες και διατηρήθηκαν μέχρι και το τέλος της περιόδου καταπόνησης. Ενδιάμεσες τιμές NDVI παρουσίασε η άρδευση με διάλυμα 12 dS m^{-1} με σημαντικές διαφορές να παρατηρούνται σε σχέση με το μάρτυρα 28 ημέρες μετά την έναρξη καταπόνησης. Αντίθετα, άρδευση του χλοοτάπητα με διάλυμα 6 dS m^{-1} είχε ως αποτέλεσμα οι τιμές του NDVI να παραμείνουν υψηλές χωρίς να παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε σχέση με το μάρτυρα καθ' όλη την διάρκεια την περιόδου καταπόνησης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την δυνατότητα άρδευσης του *P. vaginatum* σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας έως 6 dS m^{-1} για εκτεταμένες περιόδους χωρίς σημαντική υποβάθμιση τόσο της οπτικής ποιότητας όσο και της φυσιολογικής του κατάστασης.

6.3 Ηλεκτρική αγωγιμότητα του υποστρώματος

Οι προβλέψεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος του υποστρώματος σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου πραγματοποιήθηκαν με την χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας (Κεφάλαιο 4.5.5.1).

Για το βάθος των 7,5 cm μπορούμε να ισχυριστούμε ότι το μοντέλο προβλέπει γενικά σωστά τις τιμές της EC_{sw} για άρδευση με διαλύματα 6 dS m^{-1} και 12 dS m^{-1} ενώ υπερεκτιμά σημαντικά για μικρές τιμές του δείκτη αλατότητας όπως η 0,0102 που αντιστοιχεί στο πόσιμο νερό ($EC_i=0.3 \text{ dS m}^{-1}$). Για αυτές τις περιπτώσεις όπου η άρδευση γίνεται με μικρές τιμές EC_i , η πρόβλεψη των τιμών της EC_{sw} μπορεί να γίνει με το μοντέλο Hilhorst (2000) το οποίο είναι ενσωματωμένο στον μετρητή HH2 στον οποίο συνδέεται ο αισθητήρας WET-2. Η μέση τιμή της EC_{sw} για το διάστημα της μελέτης για πόσιμο νερό και βάθος 7,5 cm, όπως μετρήθηκε με τον αισθητήρα WET-2 και με τη χρήση του μοντέλου Hilhorst είναι 0.91 dS m^{-1} η οποία είναι κοντά στην μετρούμενη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής ίσης με $0,81 \text{ dS m}^{-1}$.

Η χρήση του μοντέλου του δείκτη αλατότητας για άρδευση με πόσιμο νερό 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹ χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος, όταν το διάλυμα άρδευσης ήταν 24 dS m⁻¹. Η τιμή EC_{sw} που υπολόγισε το μοντέλο ήταν 18,08 dS m⁻¹ η οποία είναι αρκετά κοντά στην μετρημένη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής ίσης με 22,82 dS m⁻¹.

Για το βάθος των 15 cm το μοντέλο προβλέπει ικανοποιητικά τις τιμές της EC_{sw} για άρδευση με διαλύματα 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹ (Πίνακας 6). Παρόλα αυτά διαπιστώνεται μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ της εκτιμώμενης τιμής του EC_{sw} και της μετρημένης τιμής του διαλύματος απορροής σε σχέση με το βάθος των 7,5 cm. Το φαινόμενο αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην κατανομή της αλατότητας κατά βάθος του υποστρώματος. Τα ραβδία του αισθητήρα WET-2 έχουν μήκος 6,5 cm και πιθανόν να μην είναι σε θέση να προσδιορίσουν αυξημένη συγκέντρωση αλάτων σε μεγαλύτερο βάθος με αποτέλεσμα το μοντέλο του δείκτη αλατότητας να παρουσιάζει μια μικρή υπερεκτίμηση στον προσδιορισμό του EC_{sw}. Επίσης για άρδευση με πόσιμο νερό το μοντέλο υπερεκτιμά σημαντικά τον υπολογισμό της EC_{sw} (3,55 dS m⁻¹) όπως και στο βάθος των 7,5 cm (Πίν. 6). Η μέση τιμή της EC_{sw} για το διάστημα της μελέτης για πόσιμο νερό και βάθος 15 cm όπως μετρήθηκε με τον αισθητήρα WET-2 και με τη χρήση του μοντέλου Hilhorst είναι 0,97 dS m⁻¹, η οποία είναι κοντά στην μετρούμενη τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής ίσης με 0,85 dS m⁻¹. Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι για μικρές τιμές EC_i ενδείκνυται η χρήση του μοντέλου Hilhorst στον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα.

Η χρήση του μοντέλου του δείκτη αλατότητας για άρδευση με πόσιμο νερό 6 dS m⁻¹ και 12 dS m⁻¹ και σε βάθος 15 cm για την εκτίμηση της EC_{sw}, όταν το διάλυμα άρδευσης ήταν 24 dS m⁻¹ παρουσίασε πολύ καλά αποτελέσματα αφού η τιμή EC_{sw} που υπολόγισε το μοντέλο ήταν 20,89 dS m⁻¹, η οποία είναι αρκετά κοντά στην μετρημένη μέση ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής ίσης με 18,44 dS m⁻¹.

6.4 Ανάκαμψη από καταπόνηση σε αυξημένη αλατότητα κατά την φθινοπωρινή περίοδο

Στις 7 Οκτωβρίου 2015, 37 ημέρες μετά τη λήξη της καταπόνησης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και πριν αυτός εισέλθει σε χειμερινό λήθαργο, προσδιορίστηκε το ποσοστό εδαφοκάλυψης του προκειμένου να διερευνηθεί η ικανότητα ανάκαμψής του μόνο μέσω φυσικών βροχοπτώσεων (Διάγρ. 14). Κατά την τελευταία ημερομηνία μέτρησης της περιόδου καταπόνησης (1 Σεπτεμβρίου 2015) παρατηρήθηκε ένας σαφής διαχωρισμός μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης με το μικρότερο ποσοστό εδαφοκάλυψης ίσο με 45,4% να καταγράφεται για άρδευση με διάλυμα 24 dS m⁻¹. Ακολούθως, το ποσοστό εδαφοκάλυψης για άρδευση με διάλυμα 12 dS m⁻¹ ήταν 71,3% και για άρδευση με διάλυμα 6 dS m⁻¹ ήταν 84,2%, ενώ η άρδευση με πόσιμο νερό παρουσίασε το υψηλότερο ποσοστό εδαφοκάλυψης ίσο με 92,4%.

Κατά την μέτρηση στις 7 Οκτωβρίου 2015 παρατηρήθηκε μια αναστροφή στα ποσοστά εδαφοκάλυψης με την επέμβαση των 24 dS m⁻¹ να παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό, ίσο με 87,2%, έναντι των υπολοίπων επεμβάσεων που παρουσίασαν μικρότερα ποσοστά εδαφοκάλυψης που κυμαίνονταν από 71,7% έως 74,1%. Η αναστροφή αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι χρειάστηκε να παρέλθουν 21 ημέρες από την 1^η Σεπτεμβρίου 2015, οπότε και σταμάτησαν οι αρδεύσεις με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μέχρι και την πρώτη φθινοπωρινή βροχόπτωση στις 21 Σεπτεμβρίου 2015 (21-23 Σεπτεμβρίου: 25,4 mm βροχής). Κατά το διάστημα αυτό ο χλοοτάπητας στην επέμβαση των 24 dS m⁻¹, η οποία είχε και το μικρότερο ποσοστό εδαφοκάλυψης έναντι των υπολοίπων επεμβάσεων και κατά επέκταση την μικρότερη κατανάλωση νερού, μπόρεσε να ανταπεξέλθει καλύτερα χρησιμοποιώντας τα αποθέματα νερού που ήταν αποθηκευμένα στο υπόστρωμα και στις αποστραγγιστικές διατάξεις του φυτεμένου δώματος. Οι υπόλοιπες επεμβάσεις των 12 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹ και πόσιμου νερού 0,3 dS m⁻¹, οι οποίες κατά την τελευταία ημερομηνία μέτρησης της περιόδου καταπόνησης εμφάνιζαν υψηλά ποσοστά εδαφοκάλυψης (71,3%-92,4%) αναμένεται να παρουσίασαν αυξημένη κατανάλωση νερού κατά το διάστημα 1 έως 21 Σεπτεμβρίου 2015 με αποτέλεσμα να υποστούν υδατική καταπόνηση από τα περιορισμένα αποθέματα νερού στο φυτεμένο δώμα εντός των λυσιμέτρων και την κατά επέκταση περιορισμό της εδαφοκάλυψής τους. Το χρονικό διάστημα από τις 21 Σεπτεμβρίου 2015 έως και τις 7 Οκτωβρίου 2015, οπότε και πραγματοποιήθηκε μέτρηση της

εδαφοκάλυψης, καταγράφηκαν συχνές και υψηλές βροχοπτώσεις (21-23 Σεπτεμβρίου 2015: 25,4 mm; 26-27 Σεπτεμβρίου 2015: 29.2mm και 7 Οκτωβρίου 2015: 1,8 mm) οι οποίες επέτρεψαν την μερική επαναφορά του χλοοτάπητα στα λυσίμετρα με την επέμβαση των 24 dS m⁻¹ να έχει ένα ευνοϊκότερο προβάδισμα έναντι των υπολοίπων επεμβάσεων και να καταλήγει σε υψηλότερα ποσοστά εδαφοκάλυψης.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκε η συμπεριφορά του *P. vaginatum* όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος και υπό συνθήκες καταπόνησης από άρδευση με νερό υψηλής αλατότητας. Οι επεμβάσεις περιλάμβαναν δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm και 15 cm) και τέσσερα διαλύματα άρδευσης με διάφορα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας (πόσιμο νερό 0,3 dS m⁻¹, 6 dS m⁻¹, 12 dS m⁻¹, 24 dS m⁻¹).

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν με το πέρας της μελέτης και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων ήταν:

- Κατά την περίοδο καταπόνησης και το βάθος του υποστρώματος και η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος άρδευσης επηρέασαν εξίσου τις τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, ενώ το ποσοστό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα φάνηκε να επηρεάζεται περισσότερο από το επίπεδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης και λιγότερο από το βάθος του υποστρώματος.
- Αύξηση του βάθους του υποστρώματος φυτεμένου δώματος από 7,5 cm σε 15 cm είχε ως αποτέλεσμα την βελτίωση της εδαφοκάλυψης και της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα όταν αυτός αρδεύονταν με διαλύματα υψηλής αλατότητας
- Το καθεστώς αλατότητας το οποίο διαμορφώθηκε στο υπόστρωμα και τις αποστραγγιστικές διαστρώσεις του φυτεμένου δώματος είναι αποτέλεσμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης και δεν επηρεάστηκε από το βάθος του υποστρώματος.

- Μέσω συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος απορροής και της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να μην παρατηρηθεί μείωση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα *P. vaginatum*, όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος και αρδεύεται με νερό υψηλής αλατότητας, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος απορροής δεν θα πρέπει να υπερβεί τα $19,8 \text{ dS m}^{-1}$. Ένα τέτοιο μοντέλο θα μπορούσε να φανεί εξαιρετικά χρήσιμο σε πρακτικές εφαρμογές λήψης αποφάσεων, όσον αφορά την άρδευση εκτατικών φυτοδωμάτων με νερό αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Προσδιορίζοντας εύκολα με ένα αγωγιμόμετρο την ηλεκτρική αγωγιμότητα στο νερό απορροής, μπορεί να ρυθμιστεί με διαχειριστικές ενέργειες ώστε αυτό να μην ξεπερνά την κρίσιμη τιμή του $19,8 \text{ dS m}^{-1}$. Αν παρατηρηθεί τέτοια αύξηση τότε θα πρέπει να εφαρμοστούν διαχειριστικά μέτρα μείωσης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νερό απορροής, όπως έκπλυση με πόσιμο νερό προκειμένου να απομακρυνθεί η περίσσια άλατος από το υπόστρωμα και τις αποστραγγίσιμες διατάξεις του εκτατικού φυτεμένου δώματος.
- Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατή η άρδευσης του *P. vaginatum* σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος με νερό ηλεκτρικής αγωγιμότητας έως 6 dS m^{-1} για εκτεταμένες περιόδους χωρίς σημαντική υποβάθμιση τόσο της οπτικής ποιότητας όσο και της φυσιολογικής του κατάστασης.
- Από τα πειραματικά δεδομένα σε υπόστρωμα εκτατικού φυτοδώματος προέκυψε ότι η σχέση $\sigma_b - e_b$ είναι γραμμική για κάθε επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης και η κλίση της γραμμικής σχέσης αυξάνεται με την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του διαλύματος άρδευσης. Από την εφαρμογή του μοντέλου των Malicki and Walczak (1999) στην γενική μορφή προέκυψε ότι από την εφαρμογή του μοντέλου των Malicki and Walczak (1999) στην γενική μορφή προέκυψε ότι η χρήση της μεθόδου του δείκτη αλατότητας (salinity index) προβλέπει σχετικά αξιόπιστα την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος του υποστρώματος για άρδευση με διαλύματα υψηλής αλατότητας, ενώ υπερεκτιμά σημαντικά στις πολύ χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

- Το *P. vaginatum* παρουσίασε ικανοποιητική επαναφορά μέσω φυσικών βροχοπτώσεων κατά την φθινοπωρινή περίοδο μετά από καταπόνηση, κατά την διάρκεια των θερινών μηνών, μέσω άρδευσης με διαλύματα υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Albino V., U. Berardi and R. M. Dangelico, 2015, Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, Vol. 22, No. 1, 3–21.
- Alshammary S. F., Y.L. Qian and S.J. Wallner, 2003, Growth response of four turfgrass species to salinity. *Agricultural Water Management* 66, 97–111.
- Ampim P. A. Y., J. J. Sloan, R. I. Cabrera, D. A. Harp, and F. H. Jaber, 2010, Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. *J. Environ. Hort.* 28(4):244–252. December.
- Bass B., S. Krayenhoff, A. Martilli and R. Stull, 2002, Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure. *Monit*, 4(1): 2-3.
- Berndt W. L., 2007, Salinity Affects Quality Parameters of ‘SeaDwarf’ Seashore Paspalum. *HortScience*, 42(2):417–420.
- Beard J. B. and R. L. Green, 1994, The Role of Turfgrasses in Environmental Protection and Their Benefits to Humans. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 23 No. 3.
- Carrow R. N. and R. R. Duncan, 1998, Salt-Affected Turfgrass Sites: Assessment and Management. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Chen J., J. Yan, Y. Qian, Y. Jiang, T. Zhang, H. Guo, A. Guo and J. Liu, 2009, Growth responses and ion regulation of four warm season turfgrasses to long-term salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 122, 620–625.
- Choukr-Allah R., C. V. Malcolm, A. Hamdy, 1995, Halophytes and Biosaline Agriculture. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong.
- Dudeck A. E., C.H. Peacock and J.C. Wildmon, 1993, Physiological and Growth Responses of St. Augustinegrass Cultivars to Salinity. *HortScience*, 28(1):46-48.
- Dunnett, N. and N. Kingsbury, 2008, *Planting green roofs and living walls*.
- Durhman A. K. and D. B. Rowe, 2007, Effect of Substrate Depth on Initial Growth, Coverage, and Survival of 25 Succulent Green Roof Plant Taxa. *HortScience*, June vol. 42no. 3 588-595.

- FLL- Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing. – Green Roofing Guideline, 2008.
- Getter K. L. and D. B. Rowe, 2006, The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *HortScience*, 41(5):1276–1285.
- Hilhorst, M.A., 2000, A pore water conductivity sensor. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal*, 64: 1922-1925.
- Huang B., R. R. Duncan and R. N. Carrow, 1997, Drought-Resistance Mechanisms of Seven Warm-Season Turfgrasses under Surface Soil Drying: II. Root Aspects. *Crop Science*, Vol. 37 No. 6.
- Kargas G. and P. Kerkides, 2010, Evaluation of a dielectric sensor for measurements of soil water electrical conductivity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(8):553-558.
- Kargas, G., P. Kerkides, 2012. Comparison of two models in predicting pore water electrical conductivity in different porous media. *Geoderma*, 189:563-573.
- Kargas, G., P. Popescou, N. Kaliontzis, D. Marougas, P. Kerkides, 2017a, Estimation of the electrical conductivity of saturated paste extract using a dielectric sensor. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(6) [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001156](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001156).
- Kargas G., M. Persson, G. Kanelis, I. Markopoulou, P. Kerkides, 2017b, Prediction of soil solution electrical conductivity by the permittivity corrected linear model using a dielectric sensor. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* (In Press).
- Lee G., R. N. Carrow and R. R. Duncan, 2003, Photosynthetic responses to salinity stress of halophytic seashore paspalum ecotypes. *Plant Science*, 166. 1417–1425.
- Lee G., R. N. Carrow and R. R. Duncan, 2004, Growth and water relation responses to salinity stress in halophytic seashore paspalum ecotypes. *Scientia Horticulturae*, 104. 221–236.
- Lee G., R. R. Duncan and R. N. Carrow, 2004, Salinity Tolerance of Seashore Paspalum Ecotypes: Shoot Growth Responses and Criteria. *HortScience*, 39(5):1138–1142.

- Lee G., R. N. Carrow and R. R. Duncan, 2004, Salinity Tolerance of Seashore *Paspalum* and Bermudagrasses: Root and Verdure Responses and Criteria. *HortScience*, 39(5):1143–1147.
- Lee G., R. N. Carrow, R. R. Duncan, M. A. Eiteman and M. W. Rieger, 2007, Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. *Environmental and Experimental Botany*, 63. 19–27.
- Malicki M. A. and R. T. Walczak, 1999, Evaluating soil salinity status from bulk electrical conductivity and permittivity. *Eur. Journal soil science*, 50:505-514.
- Marcum, K. B. (1999). Salinity tolerance mechanisms of grasses in the subfamily Chloridoideae. *Crop science*, 39(4), 1153-1160.
- Marcum K. B., 2005, Use of saline and non-potable water in the turfgrass industry: Constraints and developments. *Agricultural Water Management*, 80. 132–146.
- Marcum K. B. and Murdoch C. L., 1994, Salinity Tolerance Mechanisms of Six C4 Turfgrasses, *J. AMER. SOC. HORT. SCI.*, 119(4):779–784.
- Nektarios P. A., N. Ntoulas, G. Kotopoulis, Th. Ttoulou and P. Iliia, 2014, *Festuca arundinacea* Drought Tolerance and Evapotranspiration when Grown on Two Extensive Green Roof Substrate Depths and under Two Irrigation Regimes. *Europ.J. Hort. Science.*, 79 (3). S. 142–149.
- Ntoulas N. and P. A. Nektarios, 2015, *Paspalum vaginatum* drought tolerance and recovery in adaptive extensive green roof systems. *Ecological Engineering*, 82. 189–200.
- Ntoulas N. and P. A. Nektarios, 2017, *Paspalum vaginatum* NDVI when Grown on Shallow Green Roof Systems and under Moisture Deficit Conditions. *Crop Sci.*, 57:1–14.
- Ntoulas N., P. A. Nektarios and E. Nydrioti, 2013, Performance of *Zoysia matrella* ‘Zeon’ in Shallow Green Roof Substrates under Moisture Deficit Conditions. *HortScience*, 48(7): 929–937.
- Ntoulas N., P. A. Nektarios, E. Charalambous and A. Psaroulis, 2013, *Zoysia matrella* cover rate and drought tolerance in adaptive extensive green roof systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12. 522–531.
- Ntoulas N., P. A. Nektarios, G. Kotopoulis, P. Iliia and Th. Ttoulou, 2017, Quality assessment of three warm-season turfgrasses growing indifferent substrate

depths on shallow green roof systems. *Urban Forestry & Urban Greening*, in Press.

- Ntoulas N., P. A. Nektarios, K. Spaneas and N. Kadoglou, 2012, Semi-extensive green roof substrate type and depth effects on *Zoysia matrella* 'Zeon' growth and drought tolerance under different irrigation regimes. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B _ Soil and Plant Science*, 62: Supplement 1, 165_173.
- Oberndorfer E., J. Lundholm, B. Bass, R. R. Coffman, H. Doshi, N. Dunnett, S. Gaffin, M. Köhler, K. K. Y. Liu, B. Rowe, 2007, Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57 (10): 823-833.
- Patargias P. A. and R. Mitoula, 2001, Environmental Substructure in Mega Cities and Sustainable Development. Aristotelion University of Thessaloniki.
- Pessaraki M. and H. Touchane, 2006, Growth responses of bermudagrass and seashore paspalum under various levels of sodium chloride stress. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol.4 (3&4) : 240 - 243.
- Pompeiano A., V. Giannini, M. Gaetani, F. Vita, L. Guglielminetti, E. Bonari and M. Volterrani, 2014, Response of warm-season grasses to N fertilization and salinity, *Scientia Horticulturae*, 177. 92–98.
- Pompeiano A., E. Di Patrizio, M. Volterrani, A. Scartazza and L. Guglielminetti, 2015, Growth responses and physiological traits of seashore paspalum subjected to short-term salinity stress and recovery. *Agricultural Water Management*, 163. 57–65.
- Qian, Y. L., Engelke, M. C., & Foster, M. J. V. (2000). Salinity effects on zoysiagrass cultivars and experimental lines. *Crop science*, 40(2), 488-492.
- Qian, Y. L., Fu, J. M., Wilhelm, S. J., Christensen, D., & Koski, A. J. (2007). Relative salinity tolerance of turf-type saltgrass selections. *HortScience*, 42(2), 205-209.
- Regalado, C., A. Ritter, and R. M. Rodriguez-Gonzalez, 2007, Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with Time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadoze zone Journal*, 6:244-254.
- Rhoades, J., P. Ratts, and R. Prather, 1976, Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Amer. Journal*, 40:651-655.

- Rozema, J., & Visser, M. (1981). The applicability of the rooting technique measuring salt resistance in populations of *Festuca rubra* and *Juncus* species. *Plant and Soil*, 62(3), 479-485.
- Shahba, M. A. (2010). Interaction effects of salinity and mowing on performance and physiology of bermudagrass cultivars. *Crop science*, 50(6), 2620-2631.
- Shahba, M. A., Alshammary, S. F., & Abbas, M. S. (2012). Effects of salinity on seashore paspalum cultivars at different mowing heights. *Crop science*, 52(3), 1358-1370.
- Shonubi O. O. and O. T. Okusanya, 2007, The Growth and Physiological Responses of *Paspalum vaginatum* S. W. and *Paspalum scrobiculatum* Linn. In Relation to Salinity. *Assian Journal of Plant Sciences* 6 (6): 949-956.
- Trenholm, L.E., R.N. Carrow, and R.R. Duncan. 1999. Relationship of multispectral radiometry data to qualitative data in turfgrass research. *Crop Sci.*, 39:763–769.
- Uddin Md. K., A. S. Juraimi, M. R. Ismail, R. Othman and A. A. Rahim, 2010, Relative salinity tolerance of warm season turfgrass species. *Journal of Environmental Biology*, May.
- Uddin Md. K., A. S. Juraimi, M. R. Ismail, Md. A. Hossain, R. Othman and A. A. Rahim, 2012, Physiological and Growth Responses of Six Turfgrass Species Relative to Salinity Tolerance. *The Scientific World Journal*, Volume, Article ID 905468.
- Uddin Md. K., A. S. Juraimi, M. R. Ismail, R. Othman and A. A. Rahim, 2013, Efficacy of sea water application for broadleaf weed control in seashore paspalum. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, Vol.11 (2): 836 - 840.
- Wilczek A., A. Szyplowska, W. Skierucha, J. Ciesla, V. Pichler and G. Janik, 2012, Determination of soil pore water salinity using an FDR sensor working at various frequencies up to 500 MHz. *Sensors*, 12:10890-10905.
- Wolch J. R., J. Byrne and J. P. Newell, 2014, Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, Volume 125, May.
- Zulkaliph N. A., A. S. Juraimi, Md. K. Uddin, M. Begum, M. S. Mustapha, S. M. Amrizal and N. H. Samsuddin, 2011, Use of saline water for weed control in

seashore *Paspalum* (*Paspalum vaginatum*). Australian Journal of Crop Science, 5(5):523-530.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βαρδούλη Β. Γ., 2005, Επαναχρησιμοποίηση Υγρών Αστικών Αποβλήτων για Άρδευση Πρασίνου. Μεταπτυχιακή Μελέτη, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Σχολή Γεωπονικών Επιστημών.

Ζάγγας Γ., 2007, Μελέτη της Επίδρασης Σύγχρονων Συστημάτων Άρδευσης Χλοοτάπητα με Υγρά Αστικά Απόβλητα. Πτυχιακή Μελέτη, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Σχολή Γεωπονικών Επιστημών.

Κοτοπούλης Γ., 2012, Προσδιορισμός της αντοχής σε υδατική καταπόνηση ειδών χλοοτάπητα, τα οποία αναπτύσσονται σε σύστημα φυτοδώματος. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Κότσιρης Γ. Α., 2012, Διερεύνηση της επίδρασης των υποστρωμάτων των φυτοκαλυμμένων δωματών στην ανάπτυξη των φυτών και στο συντελεστή θερμοπερατότητας αυτών. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Νεκτάριος Π. Α., 2013, Φυτοκάλυψη Δομημένων Χώρων στα Αστικά Κέντρα. Σημείωσης Μαθήματος Φυτοδώματα, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ντούλας Ν., 2013, Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση χλοοταπίτων που προορίζονται για την φυτοκάλυψη κτιρίων εντός του αστικού τοπίου. Διδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.