

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου

Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση χλοοταπήτων που προορίζονται για τη φυτοκάλυψη κτιρίων εντός του αστικού τοπίου

Διδακτορική Διατριβή
Νικόλαου Β. Ντούλα
Γεωπόνου MSc.



Αθήνα 2013

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου

«Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση χλοοταπήτων που προορίζονται για τη φυτοκάλυψη κτιρίων εντός του αστικού τοπίου»

Διδακτορική Διατριβή
Νικόλαου Β. Ντούλα
Γεωπόνου MSc.

Αθήνα 2013

Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής
Εργαστήριο Ανθοκομίας & Αρχιτεκτονικής Τοπίου

«Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση χλοοταπήτων που προορίζονται για τη φυτοκάλυψη κτιρίων εντός του αστικού τοπίου»

Διδακτορική Διατριβή
Νικόλαου Β. Ντούλα, Γεωπόνου MSc.

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Νεκτάριος Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α (Επιβλέπων)
2. Παπαφωτίου Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α (Μέλος)
3. Μάσσας Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α (Μέλος)

Εφταμελής Εξεταστική Επιτροπή

1. Νεκτάριος Παναγιώτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Γ.Π.Α
2. Παπαφωτίου Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Γ.Π.Α
3. Μάσσας Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α
4. Κάργας Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α
5. McElroy Scott, Associate Professor, Auburn University, USA
6. Παρασκευοπούλου Αγγελική, Επίκουρη Καθηγήτρια Γ.Π.Α
7. Σαϊτάνης Κώστας, Επίκουρος Καθηγητής Γ.Π.Α

Η έγκριση της παρούσας διατριβής από το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα (Ν.5343/1932 άρθρο 202, παρ. 2)

Τμήμα της παρούσας διδακτορικής διατριβής εκπονήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος: Ερευνητική και τεχνολογική συνεργασία για την επιλογή και σύσταση υποστρωμάτων και φυτικών συνθέσεων για φυτοδώματα - **Urban BioRoof** (Cooperation for R&D on screening and formulation of substrates and plants for green roofs - **Urban BioRoof**), το οποίο χρηματοδοτείται από τη Γενική Γραμματεία έρευνας και Τεχνολογίας (Γ.Γ.Ε.Τ.).

Το Πρόγραμμα **Urban BioRoof** συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

The Project **Urban BioRoof** is co-funded by Greece and European Union.



(Ε. Π. Ανταγωνιστικότητα και Επιχειρηματικότητα (ΕΠΑΝ ΙΙ), ΠΕΠ Μακεδονίας – Θράκης, ΠΕΠ Κρήτης και Νήσων Αιγαίου, ΠΕΠ Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας – Ηπείρου, ΠΕΠ Αττικής)

*Στους γονείς μου
Βασίλη και Χρυσούλα*



Το επιστημονικό περιοδικό HortScience στο τεύχος Ιουλίου 2013 φιλοξένησε στο εξώφυλλό του τα πειραματικά τεμάχια της παρούσας διατριβής με αφορμή τη δημοσίευση σε αυτό της ερευνητικής εργασίας:

Ntoulas, N., Nektarios, P. A., and Nydrioti, E. (2013). Performance of *Zoysia matrella* 'Zeon' in shallow green roof substrates under moisture deficit conditions. *HortScience*: 48(7): 929-937.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην περάτωσή της.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμότητα τον επιβλέποντά μου Αναπλ. Καθηγητή Π. Νεκτάριο τόσο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, όσο και για την μεθοδική καθοδήγηση, τη συνεχή υποστήριξη και τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσε. Έχοντας φτάσει στο τέλος της προσπάθειας αυτής, χαίρομαι ιδιαίτερα για την άριστη συνεργασία μας όλα αυτά τα χρόνια μέσω της οποίας αποκόμισα ουσιαστικά οφέλη που θα αποτελέσουν εφόδια στην μετέπειτα πορεία μου.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Αναπλ. Καθηγήτρια Μ. Παπαφωτίου, Διευθύντρια του Εργαστηρίου, όπως επίσης και στον Επικ. Καθηγητή Ι. Μάσσα για την πολύτιμη συμβολή τους στην εκπόνηση της διατριβής. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επικ. Καθηγητή Γ. Κάργα για την καθοδήγηση και υποστήριξη στη διεξαγωγή των μελετών βαθμονόμησης των αισθητήρων προσδιορισμού εδαφικής υγρασίας. Ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στον κ. McElroy Scott, Associate Professor του Auburn University, στην Επικ. Καθηγήτρια Α. Παρασκευοπούλου και στον Επικ. Καθηγητή Κ. Σαϊτάνη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετάσχουν ως μέλη στην Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή και πάνω από όλα για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσαν για την εξέταση της παρούσας διατριβής.

Θα ήταν παράληψη να μην συμπεριλάβω στις ευχαριστίες μου τους συναδέλφους του οικείου Εργαστηρίου κ.κ. Α. Ακουμιανάκη Επικ. Καθηγήτρια, Ά.Μ. Βισίλια Λέκτορα και Κ. Μπερτσουκλή για τη βοήθειά τους και τη στήριξή τους, όποτε χρειάστηκε.

Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω θερμά τους φίλους, φοιτητές και συναδέλφους κ.κ. Ελ. Χαραλάμπους, Κ. Σπανέα, Δ. Χριστοφόρου, Αχ. Ψαρούλη και Ν. Καδόγλου, Θ.Ε. Καψάλη, Ζ. Δήμα, Ε. Νυδριώτη, Η. Κοκκίνου, Γ. Κοτοπούλη, και Λ. Ποδαροπούλου για την πολύτιμη βοήθειά τους τόσο κατά την κατασκευή των πειραματικών τεμαχίων της διατριβής όσο και κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Ευχαριστώ την εταιρεία Egreen ΕΠΕ για την παραχώρηση των αποστραγγιστικών διαστρώσεων και του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος προκειμένου να διεξαχθεί η μελέτη του Κεφαλαίου 5. Ευχαριστώ την εταιρεία ΛΑΒΑ Α.Ε. για την παραχώρηση της ελαφρόπετρας και την εταιρεία Λ. Καμπάνης Α.Ε. για την παραχώρηση του κομπόστ, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στη σύνθεση των υποστρωμάτων της διατριβής. Επίσης, ευχαριστώ την εταιρεία Hellasod ΕΠΕ. για την παραχώρηση του έτοιμου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Βασίλη και Χρυσούλα και τα αδέρφια μου Στέφανο και Εύη που χωρίς τη συμπαράσταση, παρότρυνση και υποστήριξή τους, η εκπόνηση της διατριβής μου δε θα ήταν δυνατή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
Περίληψη	1
Abstract	3
Συνοτομογραφίες	5
Κεφάλαιο 1	7
Γενική Εισαγωγή	9
1.1 Αστικό περιβάλλον και βλάστηση	9
1.2 Φυτεμένα δώματα	14
1.2.1 <i>Ιστορική αναδρομή</i>	14
1.2.2 <i>Κατασκευαστικές λεπτομέρειες φυτεμένων δωμαίων</i>	16
1.2.3 <i>Κατηγοριοποίηση των φυτεμένων δωμαίων</i>	17
1.2.4 <i>Οφέλη φυτεμένων δωμαίων</i>	19
1.2.4.1 <i>Περιβαλλοντικά οφέλη</i>	19
1.2.4.2 <i>Οικονομικά οφέλη</i>	22
1.2.4.3 <i>Κοινωνικά οφέλη</i>	22
1.2.5 <i>Κίνητρα και εφαρμογές φυτεμένων δωμαίων</i>	23
1.2.6 <i>Εφαρμογή εκτατικού τύπου φυτεμένων δωμαίων στις Μεσογειακές χώρες</i>	25
1.2.7 <i>Παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχή και βιώσιμη εγκατάσταση εκτατικών φυτοδωμαίων</i>	28
1.2.7.1 <i>Είδος υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμαίων</i>	30
1.2.7.2 <i>Βάθος υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμαίων</i>	31
1.2.7.3 <i>Άρδευση εκτατικών φυτοδωμαίων</i>	32
1.3 Χρήση χλοοταπήτων σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα σε ημι-άνυδρες περιοχές	34
1.3.1 <i>Άρδευση χλοοταπήτων</i>	36
1.3.2 <i>Ελλειμματική άρδευση χλοοταπήτων</i>	37
1.3.3 <i>Υδατική καταπόνηση χλοοταπήτων</i>	38
1.3.4 <i>Μεθοδολογίες ορθολογικής άρδευσης χλοοταπήτων</i>	39

Κεφάλαιο 2	43
Βαθμονόμηση δύο διηλεκτρικών αισθητήρων για το βέλτιστο προσδιορισμό της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωμαίων εκτατικού τύπου	45
Περίληψη	45
2.1 Εισαγωγή	46
2.2 Υλικά και μέθοδοι	51
2.2.1 <i>Σύνθεση υποστρωμάτων φυτεμένων δωμαίων και προσδιορισμός των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους</i>	51
2.2.2 <i>Αισθητήρες προσδιορισμού εδαφικής υγρασίας</i>	52
2.2.2.1 <i>Αισθητήρας WET-2</i>	52
2.2.2.2 <i>Αισθητήρας TDR300</i>	53
2.2.3 <i>Προσδιορισμός υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωμαίων</i>	55
2.2.4 <i>Προσδιορισμός της επίδρασης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υποστρωμάτων στην ακρίβεια μέτρησης των αισθητήρων</i>	56
2.2.4.1 <i>Αξιολόγηση της ευαισθησίας των αισθητήρων με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων με σταδιακή αύξηση της ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας</i>	56
2.2.4.2 <i>Αξιολόγηση της ευαισθησίας των αισθητήρων σε υποστρώματα με βαθμιαία αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα</i>	57
2.2.5 <i>Στατιστικές αναλύσεις</i>	57
2.3 Αποτελέσματα και Συζήτηση	58
2.3.1 <i>Βαθμονόμηση των δύο αισθητήρων</i>	58
2.3.1.1 <i>Αισθητήρας WET-2</i>	58
2.3.1.2 <i>Αισθητήρας TDR 300</i>	62
2.3.2 <i>Αποτελέσματα της επίδρασης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υποστρωμάτων στην ακρίβεια μέτρησης των αισθητήρων</i>	66
2.3.2.1 <i>Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υδατικών διαλυμάτων στην ακρίβεια των μετρήσεων των αισθητήρων</i>	66
2.3.2.2 <i>Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος στην ακρίβεια των μετρήσεων των αισθητήρων</i>	68
2.4 Συμπεράσματα	71

Κεφάλαιο 3	73
Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του <i>Zoysia matrella</i> ‘Zeon’	75
Περίληψη	75
3.1 Εισαγωγή	76
3.2 Υλικά και Μέθοδοι	78
3.2.1 <i>Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων</i>	78
3.2.2 <i>Μετεωρολογικά δεδομένα</i>	87
3.2.3 <i>Μετρήσεις υποστρώματος</i>	88
3.2.4 <i>Επιλογή χλοοτάπητα <i>Zoysia matrella</i> ‘Zeon’</i>	88
3.2.5 <i>Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα</i>	89
3.2.6 <i>Μετρήσεις εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης</i>	91
3.2.7 <i>Περίοδοι καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης</i>	93
3.2.7.1 <i>Διαχείριση του χλοοτάπητα κατά τις περιόδους καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης</i>	93
3.2.7.2 <i>Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης</i>	93
3.2.8 <i>Στατιστικές αναλύσεις</i>	98
3.3 Αποτελέσματα και Συζήτηση	100
3.3.1 <i>Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων</i>	100
3.3.2 <i>Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα χλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης</i>	105
3.3.3 <i>Αποτελέσματα από τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης</i>	111
3.3.3.1 <i>Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος</i>	111
3.3.3.2 <i>Εδαφοκάλυψη πράσινων τμημάτων χλοοτάπητα (GTC)</i>	113
3.3.3.3 <i>Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)</i>	118
3.3.3.4 <i>Αντίσταση στοματίων των φύλλων χλοοτάπητα</i>	120
3.3.3.5 <i>Πρόβλεψη της καταπόνησης του χλοοτάπητα βάση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία</i>	122

3.4	Συμπεράσματα	123
	Κεφάλαιο 4	125
	Ανάπτυξη και αντοχή του <i>Zoysia matrella</i> ‘Zeon’ στην υδατική καταπόνηση όταν αναπτύσσεται σε υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων με διαφορετική οργανική σύνθεση και βάθος και σε συνδυασμό με δύο επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης	127
	Περίληψη	127
4.1	Εισαγωγή	128
4.2	Υλικά και Μέθοδοι	131
4.2.1	Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων	131
4.2.2	Μετεωρολογικά δεδομένα	133
4.2.3	Μετρήσεις υποστρώματος	133
4.2.4	Εγκατάσταση και διαχείριση κλοοτάπητα	134
4.2.5	Μετρήσεις κάλυψης κλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης	136
4.2.6	Περίοδος υδατικής καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης	136
4.2.6.1	Άρδευση του κλοοτάπητα κατά την περίοδο εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης	136
4.2.6.2	Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά την περίοδο υδατικής καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης	137
4.2.7	Στατιστική ανάλυση	138
4.3	Αποτελέσματα και Συζήτηση	140
4.3.1	Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων	140
4.3.2	Εδαφοκάλυψη από τμήματα πράσινου κλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης	142
4.3.3	Αποτελέσματα από την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης	146
4.3.3.1	Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος	146
4.3.3.2	Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του κλοοτάπητα (GTC)	148
4.3.3.3	Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)	153
4.3.3.4	Αντίσταση στοματίων φύλλων κλοοτάπητα	155
4.4	Συμπεράσματα	157

Κεφάλαιο 5		159
	Αξιολόγηση της αντοχής και της ικανότητας ανάκαμψης του θερμόφιλου χλοοτάπητα <i>Zoysia matrella</i> μετά από υδατική καταπόνηση σε συνθήκες πραγματικού εκτατικού φυτοδώματος όπου διαφοροποιείται το είδος και το βάθος του υποστρώματος καθώς και η ποσότητα της άρδευσης	161
	Περίληψη	161
5.1	Εισαγωγή	162
5.2	Υλικά και Μέθοδοι	164
5.2.1	<i>Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων</i>	164
5.2.2	<i>Μετεωρολογικά δεδομένα</i>	170
5.2.3	<i>Μετρήσεις υποστρώματος</i>	170
5.2.4	<i>Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα</i>	171
5.2.5	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης και ανάκαμψης</i>	173
5.2.5.1	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης</i>	173
5.2.5.2	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους ανάκαμψης</i>	173
5.2.6	<i>Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης</i>	174
5.2.7	<i>Στατιστικές αναλύσεις</i>	175
5.3	Αποτελέσματα και Συζήτηση	175
5.3.1	<i>Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων</i>	175
5.3.2	<i>Αποτελέσματα από τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης</i>	178
5.3.2.1	<i>Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος</i>	181
5.3.2.2	<i>Εδαφοκάλυψη πράσινου χλοοτάπητα (GTC)</i>	184
5.3.2.3	<i>Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)</i>	189
5.3.2.4	<i>Σχετικό υδατικό δυναμικό φύλλων (RWC)</i>	192
5.3.3	<i>Ανάκαμψη μετά την υδατική καταπόνηση</i>	194
5.4	Συμπεράσματα	197
Κεφάλαιο 6		199
	Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος καθώς και του επιπέδου άρδευσης στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του <i>Paspalum vaginatum</i> 'Platinum TE'	201

	Περίληψη	201
6.1	Εισαγωγή	202
6.2	Υλικά και Μέθοδοι	205
6.2.1	<i>Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων</i>	205
6.2.2	<i>Μετεωρολογικά δεδομένα</i>	207
6.2.3	<i>Μετρήσεις υποστρώματος</i>	207
6.2.4	<i>Επιλογή χλοοτάπητα <i>Paspalum vaginatum</i> ‘Platinum TE’</i>	210
6.2.5	<i>Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα</i>	211
6.2.6	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης και ανάκαμψης</i>	213
6.2.6.1	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης</i>	214
6.2.6.2	<i>Άρδευση κατά τις περιόδους ανάκαμψης</i>	215
6.2.7	<i>Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης και αναβλάστησης του χλοοτάπητα</i>	216
6.2.8	<i>Στατιστικές αναλύσεις</i>	217
6.3	Αποτελέσματα και Συζήτηση	222
6.3.1	<i>Αποτελέσματα των περιόδων υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα</i>	222
6.3.1.1	<i>Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος</i>	222
6.3.1.2	<i>Ποσοστό εδαφοκάλυψης πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC)</i>	230
6.3.1.3	<i>Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)</i>	262
6.3.2	<i>Ανάκαμψη μετά την υδατική καταπόνηση κατά τη φθινοπωρινή περίοδο</i>	270
6.3.3	<i>Ανάκαμψη μετά τον χειμερινό λήθαργο</i>	274
6.3.4	<i>Πρόβλεψη της καταπόνησης του χλοοτάπητα βάση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία</i>	286
6.4	Συμπεράσματα	289
	Γενικά Συμπεράσματα	291
	Βιβλιογραφία	297

Περίληψη

Η εγκατάσταση φυτεμένων δωμαίων εκτατικού τύπου προσφέρει μια βιώσιμη λύση για την αύξηση του αστικού πρασίνου στον ήδη πυκνοδομημένο αστικό ιστό. Όμως, η μειωμένη δυνατότητα πρόσβασης και δημιουργίας χρηστικού υπαίθριου χώρου σε αυτού του τύπου τα φυτοδώματα δρα αποτρεπτικά στη μαζική κατασκευή τους. Η εγκατάσταση χλοοταπήτων μπορεί να προσφέρει μία πιθανή διέξοδο στον παραπάνω προβληματισμό.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή διερευνήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα χρήσης των θερμόφιλων ειδών χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' και *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα και προσδιορίστηκαν οι προϋποθέσεις προκειμένου να υπάρξει βιώσιμη ανάπτυξη αυτών στην Μεσογειακή ζώνη, εστιάζοντας στον τύπο και το βάθος του υποστρώματος καθώς και στην αντοχή τους σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος καθώς και του επιπέδου άρδευσης στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση των επιλεγμένων ειδών χλοοτάπητα πραγματοποιήθηκαν συνολικά 3 μελέτες αγρού όπου εξομοιώθηκαν συνθήκες φυτοδώματος, ενώ πραγματοποιήθηκε και μία μελέτη σε πραγματικό δώμα κτιρίου.

Για τις ανάγκες των επί μέρους μελετών κατασκευάστηκαν συνολικά έξι υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων προερχόμενα από την ανάμιξη υλικών διαθέσιμων στην τοπική αγορά και πιο συγκεκριμένα αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτης (Per), ζεόλιθος (Z), τύρφη (P) και κομπόστ (C) σε κατ' όγκο αναλογίες όπως αυτές υποδεικνύονται από τους αντίστοιχους δείκτες: $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, ενώ αξιολογήθηκε και ένα εμπορικό υπόστρωμα, του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι.

Η αξιολόγηση των υποστρωμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω του καθορισμού των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους όπως η κοκκομετρία, το ξηρό βάρος και το βάρος στον κορεσμό, το ολικό πορώδες, οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, ο προσδιορισμός της *in situ* υγρασίας, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά.

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των διαφόρων υπό μελέτη παραγόντων, προσδιορίστηκε η οπτική ποιότητα και η φυσιολογική κατάσταση των χλοοταπήτων μέσω του προσδιορισμού του ποσοστού της εδαφοκάλυψης από πράσινα φυτικά

τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Cover), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), της στοματικής αντίστασης (LSR, Leaf Stomatal Resistance) και του σχετικού υδατικού δυναμικού (RWC, Leaf Relative Water Content) των φύλλων του χλοοτάπητα.

Επιπλέον, προκειμένου να υπάρξει ακριβής προσδιορισμός της υγρασίας των υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες μελέτες της διατριβής, αναπτύχθηκαν κατάλληλες εξισώσεις βαθμονόμησης για δύο διαφορετικούς διηλεκτρικούς αισθητήρες, τον WET-2 (Delta-T devices) και τον TDR300 (Spectrum Technologies), ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε και η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην ακρίβεια μέτρησης της υγρασίας. Διαπιστώθηκε ότι για τη λήψη αξιόπιστων μετρήσεων της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου απαιτείται και για τους δύο αισθητήρες η χρήση ξεχωριστών ειδικών εξισώσεων βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα.

Αναφορικά με τα υποστρώματα τα οποία δοκιμάστηκαν, διαπιστώθηκε πως όλα εμπίπτουν στις κατευθυντήριες οδηγίες FLL για την κατασκευή εκτατικών φυτεμένων δωματίων. Κατά τη διάρκεια των περιόδων υδατικής καταπόνησης τα υποστρώματα τα οποία περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τη μικρότερη καταπόνηση και για τα δύο είδη χλοοτάπητα, λόγω της μεγαλύτερης ικανότητας συγκράτησης της υγρασίας και της μικρότερης ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας στα υποστρώματα αυτά. Αντίθετα, κατά τις περιόδους εφαρμογής επαρκούς άρδευσης, τα υποστρώματα τα οποία περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) βελτίωσαν σημαντικά την ανάπτυξη των δύο γρασιδιών λόγω της αυξημένης περιεκτικότητάς τους σε θρεπτικά στοιχεία.

Η αύξηση του βάθους του υποστρώματος από 7,5 cm σε 15 cm βελτίωσε σημαντικά την εγκατάσταση, ανάπτυξη, την αντοχή στην υδατική καταπόνηση και την επαναφορά μετά από υδατική καταπόνηση ή λήθαργο και στα δύο είδη χλοοτάπητα επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι το βάθος υποστρώματος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχία και τη βιωσιμότητα ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος.

Μέσω συσχέτισης της υγρασίας του υποστρώματος και της εδαφοκάλυψης των δύο ειδών χλοοτάπητα διαπιστώθηκε ότι προκειμένου να διατηρείται η οπτική ποιότητα του *Z. matrella* στα ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα, θα πρέπει η υγρασία του υποστρώματος να κυμαίνεται από 13% έως 19%, ενώ στην περίπτωση του *P. vaginatum* θα πρέπει η υγρασία του υποστρώματος να κυμαίνεται από 23% έως 28%.

Abstract

Extensive green roofs could offer a sustainable solution to increase urban greening within the existing built space of contemporary cities. However, the inaccessibility of this type of green roofs and their restricted utilization as functional open urban green spaces prevent their broad application over constructed urban surfaces. The use of turfgrasses could provide a possible way out in the above discussion.

The aim of the present thesis was to evaluate the potential of using warm season turf species *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' and *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' as plant cover in extensive green roofs. More specifically, the goals were to identify the requirements of turfed extensive green roofs focusing on substrate type and depth and drought tolerance in order to have sustainable growth under Mediterranean conditions. The study utilized three outdoor experimental fields where green roof conditions were simulated, as well as a fourth experimental plot that was constructed on an actual roof top. Several studies were conducted in order to determine the effects of extensive green roof substrate type and depth and irrigation regime on the establishment, growth and drought resistance of two turfgrass species.

Six extensive green roof substrates were produced for the needs of the studies by mixing locally available materials such as sandy loam soil (S), pumice (Pum), perlite (Per), zeolite (Z), peat (P) and compost (C) in volumetric proportions indicated by their subscripts: $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ and $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$. In addition, a commercially available substrate based on crushed tiles was also evaluated. Evaluation of substrates was conducted through determination of their physical and chemical properties such as particle size distribution, saturated and dry bulk density, total porosity, water potential curves, in situ substrate moisture, pH, electrical conductivity and nutrient content. Turfgrass quality and physiological status was determined by measuring green turf cover (GTC), normalized difference vegetation index (NDVI), leaf stomatal resistance (LSR) and leaf relative water content (RWC).

Moreover, the accuracy of two dielectric sensors of different technologies [WET-2 (Delta-T devices) and TDR300 (Spectrum Technologies)] in measuring moisture content were investigated. Calibration equations were developed for both sensors and the effect of electrical conductivity on substrate moisture content

calculation was determined. It was concluded that the most reliable results for moisture content determination of the coarse-textured green roof substrates were obtained by substrate-specific calibration curves for both dielectric sensors.

All substrates under investigation complied with FLL guidelines for extensive green roof construction. Regarding substrate type, it was found that during water-deficit periods peat-amended substrates ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ and $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) resulted in reduced drought stress for both turfgrass species, mainly due to their increased water holding capacity in conjunction with the limited turfgrass growth. In contrast, when adequate irrigation was applied, compost-amended substrates ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ and $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) improved establishment and growth of both turfgrasses due to their increased nutritional status.

Increasing substrate depth from 7,5 cm to 15 cm significantly improved establishment and growth, ameliorated drought stress and enhanced recovery after water deficit periods or winter dormancy in both turfgrass species. These results further confirmed the fact that substrate depth is amongst the most influential factors concerning extensive green roof success and sustainability.

Correlation between substrate moisture and GTC for both turfgrass species revealed that in order to maintain the visual quality of *Z. matrella* within acceptable limits, the substrate moisture should range from 13% to 19%, while in the case of *P. vaginatum* substrate moisture should range from 23% to 28%.

Συντομογραφίες

FLL	<i>Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V - Landscape Development and Landscaping Research Society e.V</i>
IGRA	<i>International Green Roof Association</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
GRO	<i>Green Roof Organization</i>
CAM	<i>Crassulean Acid Metabolism</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
TDR	<i>Time Domain Reflectometry</i>
GTC	<i>Green Turf Cover</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
LSR	<i>Leaf Stomatal Resistance</i>
RWC	<i>Relative Water Content</i>

Κεφάλαιο 1

Γενική Εισαγωγή

1.1. Αστικό περιβάλλον και βλάστηση

Η βιομηχανική επανάσταση και τα μοντέλα της αστικής ανάπτυξης των τελευταίων δεκαετιών, προκάλεσαν τη μαζική μετακίνηση πληθυσμών από τις αγροτικές περιοχές προς τα μεγάλα αστικά κέντρα. Η πληθώρα των δυνατοτήτων που προσφέρονταν στις μεγαλουπόλεις αναφορικά με τη μόρφωση, την υγειονομική περίθαλψη και τη ψυχαγωγία καθώς και η οικονομική, κοινωνική και εργασιακή καταξίωση αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί έναν σημαντικό πόλο προσέλκυσης των ανθρώπων. Σύμφωνα με έκθεση των Ηνωμένων Εθνών, από το 2000 έως το 2030 ο παγκόσμιος αστικός πληθυσμός αναμένεται να αυξηθεί κατά 72%. Επιπροσθέτως, οι πόλεις των οποίων ο πληθυσμός υπερβαίνει τις 100.000 αναμένεται να έχουν αύξηση κατά 175% (United Nations, 2007). Ως εκ τούτου, η επιφάνεια της γης που καταλαμβάνεται από τους οικισμούς αυξάνεται επίσης και μάλιστα με τρόπο ευθέως ανάλογο προς την αύξηση του πληθυσμού. Ως αποτέλεσμα, οι ελεύθεροι χώροι πρασίνου, οι αγροτικές περιοχές και τα δάση αντικαταστάθηκαν από κτίρια και υποδομές οι οποίες χαρακτηρίζονται από σκληρές και μη περατές επιφάνειες. Η συνεχής πίεση της αστικοποίησης δημιούργησε μόνιμες και αυξανόμενες ανάγκες για στέγαση, μετακίνηση και εργασιακή δραστηριοποίηση, οι οποίες επέβαλαν επιτακτικά την εύρεση νέων χώρων εντός ή πλησίον του αστικού ιστού, ώστε να εξυπηρετηθούν οι ανάγκες του πληθυσμού.

Όμως στη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, κατά την ανάπτυξη των περισσότερων πόλεων, δόθηκαν μικρά περιθώρια για την ανάδειξη ή τη διαμόρφωση χώρων πρασίνου σε όλες τις κλίμακες του χώρου. Σε πολλές περιπτώσεις το γεγονός αυτό, οφείλεται στην άναρχη οικιστική ανάπτυξη μεγάλων τμημάτων πόλεων ή και ολόκληρων πόλεων, χωρίς προηγουμένως να έχει προηγηθεί κάποιος χωροταξικός και πολεοδομικός σχεδιασμός. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζει το μεγαλύτερο ποσοστό των ελληνικών πόλεων του 20ού αιώνα αλλά και πόλεων που αναπτύχθηκαν τον 19ο αιώνα μέσα στη δίνη της βιομηχανικής και μεταβιομηχανικής επανάστασης. Ωστόσο, είναι φανερό ότι η έλλειψη σχεδιασμού συνεχίζει να υφίσταται και τα τελευταία χρόνια λόγω της άναρχης και απρογραμματίστης δόμησης και της τάσης για εκμετάλλευση οποιουδήποτε ελεύθερου χώρου, γεγονός που συμβάλει σημαντικά στη δραματική μείωση των ανοικτών αστικών και περιστατικών ελεύθερων χώρων πρασίνου (Μητούλα, 2001).

Αποτέλεσμα της συνεχούς μείωσης των ελεύθερων χώρων και των χώρων πρασίνου, σε συνδυασμό με την άναρχη και απρογραμματίστη δόμηση είναι η υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων, η αποξένωση τους από τη φύση με σοβαρές επιπτώσεις στη σωματική και ψυχική τους υγεία, η αισθητική υποβάθμιση της εικόνας των πόλεων και η δημιουργία μη ανεκτών περιβαλλοντικών συνθηκών σε αυτές. Ως αποτέλεσμα, το σύγχρονο αστικό μικροκλίμα παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και διαφέρει σημαντικά από αυτό των γειτνιαζόντων αγροτικών και δασικών περιοχών. Έτσι, το αστικό μικροκλίμα χαρακτηρίζεται από αυξημένα επίπεδα ρύπων, υψηλότερες θερμοκρασίες και μειωμένη ατμοσφαιρική υγρασία. Εντός του αστικού ιστού, η μέση ταχύτητα των ανέμων είναι χαμηλότερη λόγω των έντονων διακυμάνσεων του ανάγλυφου η οποία προκαλείται από την παρουσία κτιρίων δημιουργώντας μία περισσότερο τυρβώδη ροή (Santamouris, 2001). Κύριο χαρακτηριστικό των σύγχρονων μεγάλων αστικών κέντρων αποτελεί και η εμφάνιση του «φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας» (Landsberg, 1981). Το «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας» συνίσταται στην αύξηση της θερμοκρασίας των πόλεων σε σχέση με τις γειτνιάζουσες περιαστικές περιοχές (Livada et al., 2002). Προκαλείται κυρίως από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας από τα σκληρά δομικά υλικά που κυριαρχούν στον αστικό ιστό, όπως είναι οι επιφάνειες των κτιρίων, τα οδοστρώματα, τα πεζοδρόμια και γενικότερα οι πλακοστρωμένες επιφάνειες, η οποία κατόπιν αποδίδεται ως θερμική ενέργεια στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Η εμφάνιση του «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας» στις πυκνοδομημένες σύγχρονες μεγαλουπόλεις έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών τα τελευταία χρόνια (Hassid et al., 2000; Weng et al., 2004; Kolokotroni et al., 2006; Mirzaei and Haghighat, 2010; Connors et al., 2013; Xu et al., 2013). Οι Santamouris et al. (2007) αναφέρουν πως στις κεντρικές περιοχές της πόλης της Αθήνας το φαινόμενο είναι αρκετά έντονο και γίνεται αισθητό, τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και κατά τη διάρκεια του χειμώνα με μέσες ημερήσιες διακυμάνσεις που κυμαίνονται από 6 έως 12°C. Η εμφάνιση της αστικής θερμικής νησίδας δεν περιορίζεται μόνο στα μεγάλα αστικά κέντρα, αλλά παρατηρείται και σε μικρότερου μεγέθους πόλεις. Οι Vardoulakis et al. (2013) σε μελέτη τους για την πόλη του Αγρινίου αναφέρουν την εμφάνιση του φαινομένου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους με διαφοροποιήσεις θερμοκρασίας που έφταναν στις ακραίες τιμές τους έως και 6°C με αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη κατά 36,3% σε σχέση με τις παρακείμενες αγροτικές περιοχές.

Παρ' όλες όμως τις προαναφερθείσες αρνητικές επιπτώσεις που έχει η διαβίωση σε μεγάλα αστικά κέντρα στην σωματική και στην ψυχική υγεία των κατοίκων τους, οι σύγχρονες μεγαλουπόλεις εξακολουθούν να προσελκύουν ανθρώπινο δυναμικό. Η συσσώρευση αυτή εντείνει τα ήδη υπάρχοντα και χρονίζοντα προβλήματα και καθιστά πλέον την αντιμετώπιση τους ιδιαίτερα επιτακτική.

Ως βιωσιμότερη λύση για την αναστροφή των δυσμενών επιπτώσεων της εκτεταμένης και άναρχης οικοδόμησης στο αστικό μικροκλίμα και περιβάλλον κρίνεται η αύξηση των ελεύθερων χώρων πρασίνου εντός του ιστού των πόλεων καθώς και η σύνδεσή του με το περιαστικό πράσινο (Niachou et al., 2001; Li et al., 2005). Η ευεργετική επίδραση των χώρων πρασίνου και γενικότερα της βλάστησης στη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος και της ποιότητας ζωής στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει αναγνωριστεί και έχει ήδη απασχολήσει διάφορους ερευνητές (Dhakal and Hanaki, 2002; Kardinal Jusuf et al., 2007; Bowler et al., 2010; Onishi et al., 2010). Τα φυτά μέσω της εξατμισοδιαπνοής τους και της σκίασης που παρέχουν βελτιώνουν σημαντικά τις θερμοϋγρασιακές συνθήκες στο άμεσο περιβάλλον, βελτιώνοντας τις συνθήκες διαβίωσης και τη θερμική άνεση των κατοίκων. Ταυτόχρονα, τα φυτά και κατ' επέκταση οι αστικοί πράσινοι χώροι βελτιώνουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα τόσο με την επίδρασή τους στο κλίμα όσο και με την ικανότητα δέσμησης αέριων ρύπων, ενώ παράλληλα συμβάλλουν στην καλύτερη διαχείριση των όμβριων υδάτων και στη βελτίωση της ποιότητας του νερού μέσω της δέσμησης ρυπαντών και βαρέων μετάλλων. Επίσης, τα μεγάλα δέντρα και οι ψηλοί θάμνοι αναχαιτίζουν και ρυθμίζουν τη ταχύτητα του αέρα, ενώ το φύλλωμά τους παρέχει ηχοπροστασία μέσω της απορρόφησης, ανάκλασης και διάθλασης του ήχου.

Η αναμενόμενη βιοκλιματική προσφορά της βλάστησης στη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως: α) η συνολική έκταση που καταλαμβάνουν οι φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, β) το είδος των φυτών (δένδρα θάμνοι, πόες), γ) η σύνθεση της βλάστησης, δ) το ποσοστό φυτοκάλυψης (πυκνότητα και ποιότητα βλάστησης), ε) η διατήρηση του φυλλώματος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (σειθαλή ή φυλλοβόλα), στ) τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών (μέγεθος, σχήμα και χρωματισμός φύλλων, διάταξη και πυκνότητα φυλλώματος), ζ) οι συνθήκες άρδευσης (αρδευόμενη ή ξηροφυτική βλάστηση), η) η ποσοστιαία αναλογία μεταξύ φυτοκαλυμμένων και δομημένων με σκληρά υλικά επιφανειών, θ) η χωροθέτηση

των επιφανειών πρασίνου εντός του αστικού ιστού και η σύνδεσή τους με το περιαστικό πράσινο (Χρονοπούλου-Σερέλη και Χρονόπουλος, 2011).

Το αστικό πράσινο διακρίνεται κυρίως στα μεγάλα αστικά πάρκα, τα μικρότερα συνοικιακά πάρκα, τις πλατείες, τους χώρους παιχνιδιού, τους αδόμητους χώρους που αποικήθηκαν από διάφορα είδη κλωρίδας, τους ιδιωτικούς κήπους, τους ακάλυπτους χώρους μεταξύ των πολυκατοικιών, τα άλση, τα ρέματα και τους φυτοκαλυμμένους λόφους. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η παρουσία βλάστησης και οι υδατοπερατές επιφάνειες. Κάθε ένας από αυτούς τους χώρους πρασίνου, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, συμβάλει λιγότερο ή περισσότερο στη διαμόρφωση ευνοϊκότερων μικροκλιματικών συνθηκών εντός του αστικού ιστού. Πέραν όμως της σημαντικής οικολογικής συνεισφοράς του αστικού πρασίνου υπάρχουν εξίσου σημαντικά κοινωνικά οφέλη. Οι άνθρωποι έχουν την τάση να επισκέπτονται τους χώρους αυτούς τόσο για αναψυχή όσο και εξαιτίας της ανάγκης τους να έχουν στενή επαφή με τη φύση. Οι χώροι πρασίνου στην πόλη ενδείκνυνται για την ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενώ μπορούν να αποτελέσουν ένα από τα σημαντικότερα μέσα ανάδειξης της πολιτιστικής και ιστορικής φυσιογνωμίας της πόλης.

Αντιλαμβανόμενοι τα πολλαπλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη του πρασίνου εντός του αστικού ιστού, είναι προφανές ότι η ανάγκη για σημαντική αύξηση της βλάστησης στα υπάρχοντα πυκνοδομημένα αστικά κέντρα είναι επιτακτική. Παρ' όλα αυτά, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, αφού η μείωση των διαθέσιμων χώρων για εγκατάσταση βλάστησης εντός του αστικού ιστού είναι συνεχιζόμενη και βασίζεται στο γεγονός ότι στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις η μεγάλη αξία της γης δεν επιτρέπει τη δημιουργία αξιόλογων χώρων πρασίνου, καθώς η ανέγερση κτιρίων είναι σαφώς μια πιο οικονομικά συμφέρουσα αξιοποίηση.

Παρ' όλα αυτά, οι δυσμενείς περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις, οι οποίες προκαλούνται από τη συνεχή δόμηση των ελεύθερων αστικών χώρων καθιστούν αναγκαία την εύρεση εναλλακτικών λύσεων. Προκειμένου να δημιουργηθούν χώροι πρασίνου στους υπάρχοντες πυκνοδομημένους αστικούς ιστούς έχουν προταθεί διάφορες λύσεις. Μία εξ αυτών είναι η απαλλοτρίωση ή η κατεδάφιση υπάρχοντων κτιρίων σε κλίμακα οικοδομικών τετραγώνων, η οποία όμως είναι μια ιδιαίτερα χρονοβόρα και δαπανηρή διαδικασία. Εναλλακτικά έχει προταθεί η εγκατάσταση φυτικού υλικού στη δομή των ίδιων των κτιρίων καθώς οι οροφές τους αποτελούν το 20 - 25% της συνολικής επιφάνειας μια πόλης (Akbari et

al., 2003). Το ποσοστό αυτό γίνεται ακόμη μεγαλύτερο (40-50%) στα πυκνοδομημένα κεντρικά τμήματα των πόλεων (Dunnnett and Kingsbury, 2010).

Η φύτευση των δωμάτων μπορεί να αποκαταστήσει εν μέρει το χαμένο φυσικό έδαφος και βλάστηση και να επαναφέρει μέρος των οικοσυστημάτων σε ένα υψηλότερο επίπεδο, με ευεργετικές συνέπειες (Brenneisen, 2003; Oberndorfer et al., 2007). Έτσι, στις σύγχρονες τάσεις σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης και της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, συμπεριλαμβάνεται και η δημιουργία φυτεμένων δωμάτων.

1.2. Φυτεμένα δώματα

Με τον όρο φυτεμένα δώματα εννοούμε τις φυτοκαλυμμένες επιφάνειες εκείνες των οποίων το υπόστρωμα ανάπτυξης δεν έχει καμία επαφή με το φυσικό έδαφος και εδράζεται πάνω σε κάποια κατασκευή. Το φυτεμένο δώμα μπορεί να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το φυσικό έδαφος, πάνω από υπόγεια κτίρια ή εγκαταστάσεις ή σε ύψος πολλών μέτρων πάνω σε ψηλά κτίρια. Συχνά χρησιμοποιούνται διάφορες ορολογίες προκειμένου να γίνει αναφορά στα φυτεμένα δώματα όπως “πράσινα δώματα” (green roofs) που χρησιμοποιείται για να περιγράψει κάθε τύπο φυτεμένου δώματος που προωθεί τις ιδέες της αειφορίας, “οροφώκηποι” (roof gardens) που χρησιμοποιείται προκειμένου να δοθεί έμφαση στην αισθητική των φυτεμένων δωμάτων και “οικολογικά δώματα” (eco roofs) που αναφέρεται σε φυτεμένα δώματα με απλή υποδομή στα οποία έχει εγκατασταθεί φυσική βλάστηση (Environmental Impacts Team, 2003).

1.2.1. Ιστορική αναδρομή

Αν και σήμερα η χρήση των φυτεμένων δωμάτων πραγματοποιείται σε μεγάλη κλίμακα ως ένας ουσιαστικός τρόπος αντιμετώπισης της έλλειψης πρασίνου στον αστικό ιστό, η ιδέα της εγκατάστασης βλάστησης στις οροφές και στις στέγες των κτιρίων δεν είναι κάτι σύγχρονο, αλλά φαίνεται να έχει πανάρχαιες καταβολές. Τα φυτεμένα δώματα αποτελούσαν ανέκαθεν μια κατασκευαστική πρακτική σε πολλές χώρες κυρίως λόγω των εξαιρετικών θερμομονωτικών ιδιοτήτων της βλάστησης σε συνδυασμό με το εδαφικό υπόστρωμα. Ο Osmondson (1999) αναφέρει πως η πρώτη καταγεγραμμένη αναφορά σε φυτεμένα δώματα γίνεται στην περιοχή της αρχαίας Μεσοποταμίας στα πυραμοειδή Ζιγκουράτ, τα οποία τοποθετούνται χρονικά το 3000 - 600 π. Χ., πάνω στα οποία έχτιζαν οι Βαβυλώνιοι τους ναούς και τα ιερά για να λατρέψουν τους θεούς. Ανασκαφές των αρχαιολόγων έφεραν στο φως ενδείξεις ότι διέθεταν αναβαθμούς πάνω στους οποίους ήταν εγκατεστημένη βλάστηση. Αναφορές για την ύπαρξη φυτεμένων δωμάτων έχουμε και στους περίφημους Κρεμαστούς Κήπους της Βαβυλώνας, οι οποίοι αποτελούσαν ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου (Oberndorfer et al., 2007).

Τα φυτεμένα δώματα ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένα και στην περιοχή της Μεσογείου κατά την διάρκεια της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Σε ανασκαφές στην πόλη της Πομπηίας, η οποία είχε καλυφθεί από ηφαιστειακή στάχτη κατά την

έκρηξη του Βεζούβιου το 79 μ.Χ., ανακαλύφθηκαν σε πολύ καλή κατάσταση τρεις οικίες οι οποίες διέθεταν φυτεμένα δώματα (Osmundson, 1999).

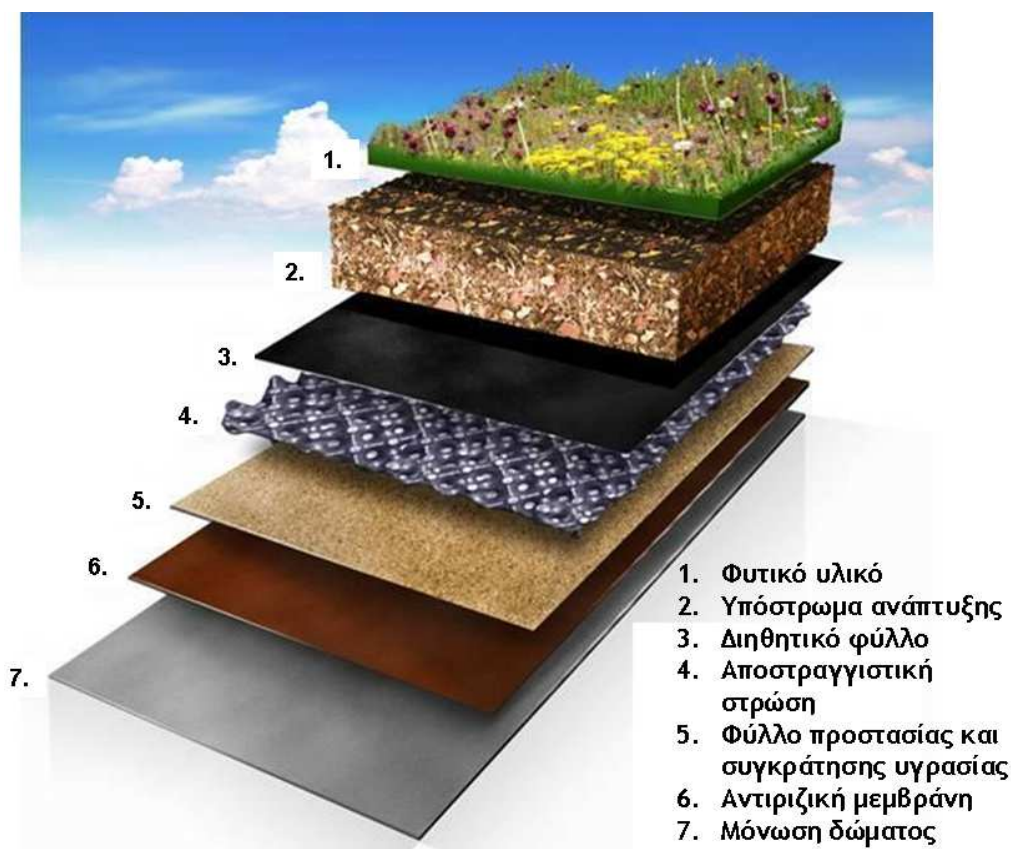
Στις Σκανδιναβικές χώρες, οι Βίκινγκς κάλυπταν τις σκεπές των σπιτιών τους με έδαφος πάνω στο οποίο εγκαθίσταντο διάφορα είδη γρασιδιών δημιουργώντας μια ενιαία φυτοκαλυμμένη επιφάνεια. Ο συνδυασμός του εδάφους και των γρασιδιών περιόριζε τις απώλειες θερμότητας των σπιτιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα και τα προστάτευε από τη βροχή. Η εγκατάσταση χλοοταπήτων σε δώματα σπιτιών στην Σκανδιναβία εξακολουθεί να εφαρμόζεται μέχρι και σήμερα, αλλά για αισθητικούς κυρίως λόγους (Dunnett and Kingsbury, 2010). Τα πρώτα παραδείγματα φυτεμένων σκεπών στον Καναδά επίσης, αποδίδονται στους Βίκινγκς και μετέπειτα στους Γάλλους αποίκους και βρίσκονται στις αποικίες Newfoundland και Nova Scotia (Peck and Kuhn, 2003).

Κατά την περίοδο της Αναγέννησης, τον 15^ο αιώνα, αρκετά καλά διατηρημένα φυτεμένα δώματα, συναντώνται σε παλάτια και επαύλεις της Ιταλίας με χαρακτηριστικό παράδειγμα την έπαυλη του Cosimo de' Medici στη Φλωρεντία και το Palazzo Piccolomini στην Pienza. Επίσης, φυτεμένα δώματα εντοπίζονται σε εκκλησιαστικά κτίρια και μοναστηριακά συγκροτήματα της βορειοδυτικής Γαλλίας.

Η εμφάνιση φυτεμένων δωματίων συνεχίστηκε να παρατηρείται και στους επόμενους αιώνες με χαρακτηριστικά παραδείγματα τον πύργο του Κρεμλίνου στη Μόσχα (1681) και τους κήπους του Βερολίνου (1900). Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αναδείχθηκαν αρκετοί υποστηρικτές της τεχνικής των φυτεμένων δωματίων με κύριους εκφραστές τους αρχιτέκτονες Frank Lloyd Wright, Le Corbusier και Roberto Burle Marx. Από το 1930 χρονολογούνται τα χαρακτηριστικά παραδείγματα φυτεμένων δωματίων στο Rockefeller Center, της Νέας Υόρκης και οι κήποι 'Derry and Toms' στο Λονδίνο. Με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα κατασκευαστικά υλικά για τη δημιουργία φυτεμένων δωματίων εξελίχθηκαν, με αποτέλεσμα την ύπαρξη περισσότερων εναλλακτικών λύσεων, γεγονός που συνετέλεσε στην αύξηση της διάδοσης της τεχνικής των φυτεμένων δωματίων. Τα φυτεμένα δώματα με τη μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα οφείλονται κυρίως στις γερμανόφωνες βόρειο-ευρωπαϊκές χώρες στις οποίες πρώτες αναπτύχθηκαν κατασκευαστικές και εμπορικές εταιρίες με ειδίκευση σε αυτό τον τομέα (Dunnett and Kingsbury, 2010).

1.2.2. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες φυτεμένων δωματίων

Τα σύγχρονα φυτεμένα δώματα αποτελούνται από ένα σύστημα πολυεπίπεδης διαστρωμάτωσης εξειδικευμένων υλικών τα οποία τοποθετούνται πάνω στο δώμα του κτιρίου και αποτελούν την υποδομή για την εγκατάσταση της βλάστησης. Οι διάφορες στρώσεις του φυτεμένου δώματος στοχεύουν στην αειφορική λειτουργία του, μέσω της προστασίας του κελύφους του κτιρίου, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν τις βέλτιστες δυνατές συνθήκες για την ανάπτυξη της βλάστησης. Αν και μεταξύ των εταιρειών που κατασκευάζουν και εμπορεύονται συστήματα φυτεμένων δωματίων υπάρχουν αρκετές διαφοροποιήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται, οι βασικές διαστρώσεις είναι ίδιες και συνίστανται στις: α) **υδατοστεγανωτική διάστρωση του δώματος**, η οποία στοχεύει στην προστασία του κτιρίου από τα όμβρια νερά καθώς και του νερού άρδευσης του φυτεμένου δώματος, β) **αντιριζική μεμβράνη**, η οποία παρέχει επιπλέον προστασία της υδατοστεγανωτικής διάστρωσης του δώματος και αποτρέπει τη διάτρηση της από το ριζικό σύστημα των φυτών τα οποία αναπτύσσονται επί του φυτεμένου δώματος, γ) **ύφασμα συγκράτησης υγρασίας και προστασίας της υδατοστεγάνωσης**, το οποίο είναι απαραίτητο για την εξασφάλιση της προστασίας των υποκείμενων στρώσεων του δώματος από μηχανικές καταστροφές κατά την εγκατάσταση του φυτεμένου δώματος. Το ύφασμα παρουσιάζει παράλληλα ικανότητα συγκράτησης του ύδατος και ως εκ τούτου λειτουργεί ως μια επιπλέον δεξαμενή νερού για τα φυτά που αναπτύσσονται στο φυτεμένο δώμα, δ) **αποστραγγιστική διάστρωση**, η οποία έχει την ικανότητα συγκράτησης μέρος του αποστραγγιζόμενου ύδατος, εξασφαλίζει την ταχεία απομάκρυνση του πλεονάζοντος ύδατος και επιτρέπει τον επαρκή αερισμό του υποστρώματος, ε) **διηθητική διάστρωση (γεωύφασμα)**, το οποίο ενεργεί ως φίλτρο επιτρέποντας τη ροή νερού και παρεμποδίζοντας τη μετακίνηση των μικροσωματιδίων του υποστρώματος και έως ένα βαθμό τη διείσδυση των ριζών προς την αποστραγγιστική διάστρωση, εξασφαλίζοντας ότι αυτή δεν θα φράξει και θα λειτουργεί συνεχώς και αποτελεσματικά και στ) **υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτών** (Εικ 1.1).



Εικόνα 1.1. Πολυεπίπεδη διαστρωμάτωση φυτεμένου δώματος
(Πηγή: www.prasinistegi.gr)

1.2.3. Κατηγοριοποίηση των φυτεμένων δωμάτων

Ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος και κατ' επέκταση των φυτικών ειδών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθώς και της έντασης διαχείρισής τους, τα φυτεμένα δώματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) εκτατικός τύπος (extensive) και εντατικός τύπος (intensive) (FLL, 2008).

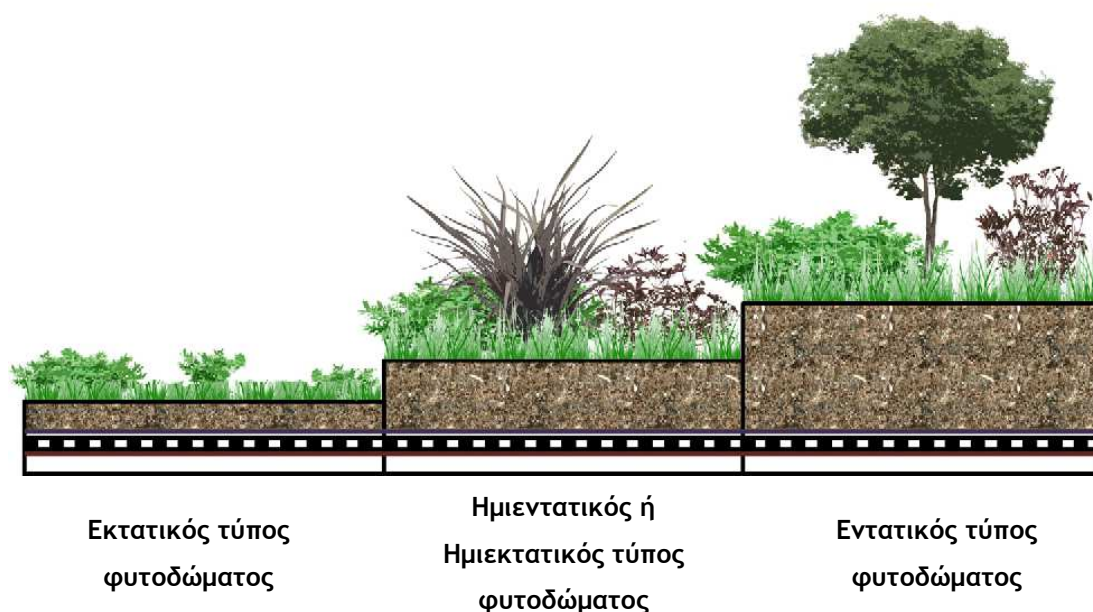
Εκτατικός τύπος φυτεμένων δωμάτων (extensive green roofs): Πρόκειται για κατασκευές των οποίων κύρια χαρακτηριστικά είναι το μικρό βάθος υποστρώματος ανάπτυξης (5-15 cm), το μικρό βάρος (έως 120 kg m^{-2}) και οι ελαχιστοποιημένες ανάγκες διαχείρισης και συντήρησης. Τα φυτοδώματα αυτής της κατηγορίας συνήθως δε χρησιμοποιούνται από τους χρήστες των κτιρίων καθώς συχνά είναι απροσπέλαστα. Το περιορισμένο βάρος της κατασκευής στο σύνολό της επιτρέπει την εγκατάστασή της σχεδόν σε οποιαδήποτε οροφή με κλίση έως και 30%. Για τη φύτευσή τους χρησιμοποιούνται φυτά χαμηλής βλάστησης, με ελάχιστες ανάγκες

άρδευσης, λίπανσης και διαχείρισης και με ιδιαίτερη αντοχή στις ακραίες θερμοκρασίες. Τα φυτικά αυτά είδη είναι αυτοφυείς πόες, αγριολούλουδα, παχύφυτα (*Sedum*), χαμηλοί θάμνοι καθώς και φυτά εδαφοκάλυψης. Το κόστος κατασκευής και διαχείρισης των εκτατικών φυτοδωμάτων είναι σχετικά μικρό, ενώ η περιβαλλοντική τους συνεισφορά ικανοποιητική, γεγονός που τους καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλείς ως κατασκευές (Dunnnett and Kingsbury, 2010).

Εντατικός τύπος φυτεμένων δωμάτων (intensive green roofs): Αφορά φυτοδώματα τα οποία δεν έχουν περιορισμό στο βάθος του υποστρώματος (άνω των 15 cm) και κατ' επέκταση των φορτίων που εφαρμόζονται στην κτιριακή υποδομή. Στις περιπτώσεις αυτές δύναται να χρησιμοποιηθεί πληθώρα φυτικών κατηγοριών όπως φυτά εδαφοκάλυψης, πόες, θάμνοι και δένδρα, και απαιτεί αυξημένες εισροές πόρων και διαχείρισης, ενώ μπορεί να φιλοξενήσει και κατασκευές όπως στοιχεία νερού, πέργολες, καθιστικά, κ.ά. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι οι χώροι αυτοί είναι προσβάσιμοι και χρηστικοί, ώστε να μη διαφέρουν από έναν κήπο ή ένα πάρκο (Dunnnett and Kingsbury, 2010). Τέτοιου είδους κατασκευές απαιτούν ειδική μέριμνα λόγω των αυξημένων φορτίων καθώς είναι σύνηθες να υπερβαίνουν τα 250 kg m⁻² με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η πρόβλεψη του πλεονάζοντος φορτίου από τη στατική μελέτη του κτιρίου στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθούν (Peck and Kuhn, 2003). Το κόστος κατασκευής και συντήρησης τους είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό των εκτατικών φυτοδωμάτων, γεγονός που περιορίζει σημαντικά την διάδοσή τους σε μη οικονομικά εύρωστες περιοχές.

Αν και τα φυτεμένα δώματα χαρακτηρίζονται είτε ως εκτατικού τύπου είτε ως εντατικού τύπου συχνά γίνεται αναφορά και σε μια τρίτη κατηγορία. Τα **ημιεντατικού ή ημικεκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα (Semi-intensive or Semi-extensive green roofs)** αποτελούν μια ενδιάμεση κατηγορία μεταξύ των δύο προηγούμενων όπου το βάθος υποστρώματος μεταβάλλεται μεταξύ 12 έως 25 cm και μπορεί να φιλοξενήσει ποώδη φυτά, μικρούς θάμνους και χλοοτάπητες, ενώ απαιτούνται μέτριες εισροές σε πόρους και περιοδική διαχείριση (IGRA, 2008). Το φυτεμένο δώμα αυτού του τύπου συνδυάζει τα περιβαλλοντικά οφέλη των φυτοδωμάτων, ενώ παράλληλα παρουσιάζει αισθητική αναβάθμιση σε σχέση με τα εκτατικά φυτεμένα δώματα. Το κόστος κατασκευής και διαχείρισής του είναι υψηλότερο από αυτό των εκτατικών φυτοδωμάτων, το οποίο όμως δικαιολογείται καθώς τα ημιεντατικά φυτοδώματα δύνανται να είναι προσβάσιμα στους χρήστες, με αποτέλεσμα να θεωρείται ως η βέλτιστη επιλογή για εγκατάσταση σε κτίρια

εντός του αστικού ιστού με περιορισμένες αντοχές σε πρόσθετα φορτία (Dunnett, 2002).



Εικόνα 1.2. Απεικόνιση των διαφόρων κατηγοριών φυτεμένων δωμάτων (Πηγή: Fernandez-Cañero et al., 2013)

1.2.4. Οφέλη φυτεμένων δωμάτων

Τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή φυτεμένων δωμάτων στις οροφές των κτιρίων είναι πολλαπλά και διακρίνονται σε περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά.

1.2.4.1. Περιβαλλοντικά οφέλη

Ένα από τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα προβλήματα των πυκνοδομημένων αστικών κέντρων είναι η διαχείριση των όμβριων υδάτων. Στις πυκνοδομημένες περιοχές, το νερό της βροχής προσπίπτει σε σκληρές αδιαπέραστες επιφάνειες, όπως οι συμβατικές στέγες, οι δρόμοι και τα πεζοδρόμια και καταλήγει στο κεντρικό σύστημα διαχείρισης των όμβριων υδάτων με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υπερχειλίσεις και πλημμυρικά φαινόμενα ακόμη και σε μέτριας έντασης βροχοπτώσεις (Scholz-Barth, 2001). Η χρήση φυτεμένων δωμάτων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων, δεδομένου ότι δεσμεύουν ένα σημαντικό ποσοστό του νερού της βροχής στο υπόστρωμα

ανάπτυξης καθώς και στις υπόλοιπες διαστρώσεις τους, το οποίο κατόπιν αποδίδουν σταδιακά στην ατμόσφαιρα μέσω της εξατμισοδιαπνοής (Mentens et al., 2006). Επίσης τα φυτεμένα δώματα μέσω της συγκράτησης του νερού της βροχής καθυστερούν και μειώνουν σημαντικά το ρυθμό απορροής επιτρέποντας την ομαλότερη διάθεση των όμβριων στο αποχετευτικό σύστημα (Bliss et al., 2009). Το ποσοστό συγκράτησης του νερού της βροχής εξαρτάται από την κλίση του δώματος, το είδος και το βάθος του υποστρώματος καθώς και από το είδος της βλάστησης (Rowe et al., 2003; VanWoert et al., 2005; Getter et al., 2007; Dunnett et al., 2008). Σε μελέτη των VanWoert et al. (2005) σε δώμα με τρία διαφορετικά είδη κάλυψης υπολόγισαν τη συγκράτηση νερού από τις βροχοπτώσεις για μια περίοδο 14 μηνών και διαπίστωσαν ποσοστά συγκράτησης 27,2% για κάλυψη με χαλίκι 2 cm, 50,4% για επιπλέον υπόστρωμα ανάπτυξης φυτών εκτατικού τύπου πάχους 4 cm χωρίς βλάστηση και 60,6% για φυτοκάλυψη από είδη του γένους *Sedum*.

Σημαντική είναι και η συμβολή των φυτεμένων δωματίων στη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος και στο μετριασμό του «φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας» (Santamouris et al., 2007; Alexandri and Jones, 2008; Susca et al., 2011). Η ύπαρξη φυτεμένου δώματος συμβάλει στη μείωση της θερμοκρασίας μέσω μείωσης των ηλιακών προσόδων από τις δομικές επιφάνειες του κτιρίου και της παρεπόμενης θερμικής εκπομπής τους (Papadakis et al., 2001). Τα φυτά που είναι εγκατεστημένα στο φυτοδώμα εμπλουτίζουν την ατμόσφαιρα σε υγρασία μέσω της εξατμισοδιαπνοής, ενώ παράλληλα λόγω του περιεχόμενου νερού συμβάλλουν στην ομαλότερη διακύμανση της θερμοκρασίας της οροφής μέσω της θερμικής συμπεριφοράς τους (Takebayashi et al., 2007). Η επιφανειακή θερμοκρασία των φυτεμένων δωματίων ποικίλει ανάλογα με το είδος της κάλυψης και ανάλογα με τα φυτικά είδη που έχουν επιλεγεί. Τα σημεία που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση σκούρου χρώματος, εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα με την αραιή και ανοιχτού χρώματος βλάστηση (Niachou et al., 2001).

Στα οικολογικά πλεονεκτήματα των φυτεμένων δωματίων περιλαμβάνεται και η αύξηση της βιοποικιλότητας εντός του αστικού τοπίου. Η δημιουργία φυτεμένων δωματίων αποτελεί μια καλή ευκαιρία για διατήρηση και ανάπτυξη νέων, μικρών, τοπικών οικοσυστημάτων, τα οποία ενοποιημένα μεταξύ τους, αλλά και σε συνδυασμό με τα περιστατικά οικοσυστήματα, μπορούν να αποτελέσουν ένα ενιαίο δυναμικό οικοσύστημα διατήρησης και διάδοσης της τοπικής χλωρίδας και πανίδας ακόμα και στο δομημένο περιβάλλον των πόλεων. Με την επαναφορά της «χαμένης» φύσης μέσα στο πυκνοδομημένο περιβάλλον των αστικών κέντρων, είναι

δυνατόν να πολλαπλασιαστούν πολλά είδη χλωρίδας, τα οποία θα ήταν αδύνατο να αναπτυχθούν στη στάθμη του εδάφους. Επιπλέον, το υπόστρωμα ανάπτυξης των φυτεμένων δωματίων μπορεί να φιλοξενήσει μικροοργανισμούς που ζουν στο έδαφος και έτσι να προωθηθεί ένα είδος αστικής οικολογίας (Schradera and Böning, 2006). Διαφορετικοί τύποι φυτεμένων δωματίων μπορούν να αποτελέσουν καταφύγιο για διαφορετικά είδη ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Ιδιαίτερα τα εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα που δεν είναι προσβάσιμα από το κοινό μπορούν να προσφέρουν ένα ήρεμο ενδιαίτημα για πουλιά, μικροοργανισμούς και έντομα (Getter and Rowe, 2006). Είναι χαρακτηριστικό ότι σε μελέτη που διεξήχθη σε 17 φυτεμένα δώματα στην Ελβετία, καταγράφηκαν 78 είδη αράχνης και 254 είδη σκαθαριών κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων ετών. Από αυτά, το 18% των αραχνών και το 11% των σκαθαριών ήταν είδη απειλούμενα ή σπάνια (Brenneisen, 2003).

Η βλάστηση των φυτεμένων δωματίων, σε συνδυασμό με το υπόστρωμα ανάπτυξης και τα ενδιάμεσα παγιδευμένα στρώματα του αέρα μπορούν να συμβάλλουν στη μείωση της ηχορρύπανσης που εισέρχεται στο κτίριο. Το ποσοστό απορρόφησης του ήχου επηρεάζεται από το βάθος υποστρώματος και από την υποδομή του φυτεμένου δώματος. Έρευνα έδειξε ότι υπόστρωμα πάχους 12 cm μπορεί να μειώσει τον ήχο κατά 40 dB, ενώ πάχος 20 cm κατά 46 dB (Peck et al., 1999). Οι Dunnet and Kingsbury (2010) αναφέρουν μείωση του θορύβου κατά 5dB σε φυτεμένο δώμα με βάθος υποστρώματος 10 cm στο αεροδρόμιο της Φρανκφούρτης. Επίσης, λόγω της μείωσης των ελεύθερων σκληρών επιφανειών μειώνεται η αντανάκλαση του ήχου από αυτές με αποτέλεσμα τη μείωση της ηχορρύπανσης στους εξωτερικούς χώρους κατά 3-4 dB (Jenrick, 2005).

Τέλος, τα φυτεμένα δώματα μπορούν να λειτουργήσουν ως φίλτρα βελτιώνοντας την ποιότητα της ατμόσφαιρας των πόλεων (Currie and Bass, 2008). Οι αέριοι ρύποι και τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης είτε κατακρατούνται από την φυλλική επιφάνεια και ξεπλένονται από τη βροχή, καταλήγοντας στο υπόστρωμα ανάπτυξης του φυτικού υλικού, είτε απορροφούνται από τα ίδια τα φυτά. Σε μελέτη των Yang et al. (2008) για την πόλη του Σικάγο προσδιορίστηκε ότι συνολικά 1.675 kg αέριων ρύπων απομακρύνθηκαν από 19,8 εκτάρια φυτεμένων δωματίων στη διάρκεια ενός έτους, με το όζον να αποτελεί το 57% του συνόλου των αερίων ρύπων. Επίσης αναφέρουν ότι στην περίπτωση κατά την οποία σε όλα τα δώματα των κτιρίων του Σικάγο εγκαθίσταντο εντατικού τύπου φυτεμένα δώματα, η απομάκρυνση των αερίων σωματιδίων θα ανέρχονταν σε 2.047 ton.

1.2.4.2. Οικονομικά οφέλη

Η εγκατάσταση φυτεμένων δωματίων συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου (Niachou et al., 2001; Theodosiou, 2003; Kotsiris et al., 2012a). Η πολυεπίπεδη υποδομή των φυτεμένων δωματίων, το υπόστρωμα ανάπτυξης και το φυτικό υλικό λειτουργούν ως επιπλέον θερμομονωτική διάταξη του κτιρίου περιορίζοντας τις θερμοκρασιακές διακύμανσης. Παράλληλα, τα φυτά μέσω της λειτουργίας της εξατμισοδιαπνοής συμβάλουν στην αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας και στην καλύτερη ψύξη του κτιρίου. Ανάλογα με τον τύπο και την υγρασία που συγκρατεί κάθε ένα από τα υποστρώματα αυτά μπορεί να επηρεάσει την ενεργειακή απόδοση του κτιρίου κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Peurportier, 2001).

Επίσης, η κατασκευή φυτεμένων δωματίων προστατεύει τα δομικά και κατασκευαστικά υλικά των κτιρίων μειώνοντας τις φθορές που μπορούν να προκληθούν από την συνεχή έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, τον αέρα, τις βροχοπτώσεις και τις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας (Osmundson, 1999). Οι Oberndorfer et al. (2007) αναφέρουν επιμήκυνση της διάρκειας ζωής της υδατοστεγάνωσης του κτιρίου έως και 20 χρόνια στις περιπτώσεις όπου καλύπτεται με φυτεμένο δώμα.

Η εγκατάσταση βλάστησης στα δώματα των κτιρίων, συνεισφέρει και στη βελτίωση της αισθητικής ολόκληρων των κτισμάτων. Η βελτίωση αυτή αποτελεί ένα επιπλέον κριτήριο για την επιλογή τους ως χώρους εργασίας ή κατοικίας, γεγονός το οποίο συμβάλει στην αύξηση της εμπορικής τους αξίας (Osmundson, 1999).

Τέλος, η υλοποίηση όλο και περισσότερων φυτεμένων δωματίων ενισχύει τόσο τον εμπορικό όσο και τον κατασκευαστικό κλάδο που σχετίζεται με το αντικείμενο αυτό. Οι τοπικές αγορές ενισχύονται, ενώ παράλληλα δημιουργούνται και νέες θέσεις εργασίας, τόσο για το ειδικευμένο όσο και για το ανειδίκευτο προσωπικό.

1.2.4.3. Κοινωνικά οφέλη

Η εγκατάσταση φύτευσης στα δώματα των κτιρίων πέραν της περιβαλλοντικής και οικονομικής διαθέτει και μια κοινωνική διάσταση. Τα κτίρια αναβαθμίζονται αισθητικά καθώς οι ανεκμετάλλετες επιφάνειες μεταμορφώνονται σε χώρους πρασίνου παρέχοντας στους κατοίκους των μεγαλουπόλεων τη δυνατότητα για ανάπαυλα, ξεκούραση, αναψυχή και επαφή με το φυσικό τοπίο. Τα φυτεμένα

δώρατα γίνονται τόπος συνεύρεσης, δραστηριοτήτων και προαγωγής των κοινωνικών σχέσεων. Όλα αυτά τα στοιχεία βελτιώνουν την ποιότητα ζωής του σύγχρονου ανθρώπου και συμβάλουν στην καλύτερη πνευματική, ψυχική και σωματική του υγεία, χωρίς να είναι αναγκασμένος να απομακρυνθεί από τον χώρο που ζει, εργάζεται και δραστηριοποιείται.

1.2.5. Κίνητρα και εφαρμογές φυτεμένων δωματίων

Η Γερμανία ήταν η πρώτη χώρα η οποία αξιολόγησε τα σημαντικά οικολογικά οφέλη των φυτεμένων δωματίων τη δεκαετία του 60 και τα χρησιμοποίησε προκειμένου να βελτιώσει τις περιβαλλοντικές συνθήκες των πόλεων. Η κατασκευή φυτεμένων δωματίων έλαβε πολύ γρήγορα μεγάλη έκταση σε βαθμό που το 2001 σε όλη τη Γερμανία το 14% των δωματίων της ήταν καλυμμένα με βλάστηση (Herman, 2003). Σημαντικό ρόλο στην εκτεταμένη αυτή διάδοση των φυτοδωματίων διαδραμάτισαν οικονομικά κίνητρα που δόθηκαν είτε άμεσα είτε έμμεσα. Σύμφωνα με τον Osmundson (1999) το 43% των γερμανικών πόλεων παρέχει οικονομικά κίνητρα για κατασκευή φυτεμένων δωματίων, το 37% υιοθετεί οικονομικά προγράμματα για προώθηση της εγκατάστασης πρασίνου, ενώ το 17% έχει εντάξει την κατασκευή φυτοδωματίων στο πρόγραμμα διαχείρισης των όμβριων υδάτων. Από τις 193 μεγαλύτερες πόλεις της Γερμανίας, οι 29 παρέχουν άμεση οικονομική ενίσχυση για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων καλύπτοντας από 25% έως 100% του κόστους, ενώ σε 13 από αυτές εφαρμόζονται και φοροαπαλλακτικές ρυθμίσεις. Για παράδειγμα, στην πόλη του Έσσλινγκεν, ο δήμος καλύπτει το 50% του κόστους κατασκευής του φυτεμένου δώματος, ενώ στις πόλεις της Βόννης και της Κολωνίας πραγματοποιούνται σημαντικές εκπτώσεις στα δημοτικά τέλη αποχέτευσης, όταν το κτίριο διαθέτει φυτεμένο δώμα (Getter and Rowe, 2006). Η Γερμανία ήταν και η πρώτη χώρα η οποία θέσπισε οδηγίες και κανονισμούς για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων το 1982, ενώ από τότε έχει παρουσιάσει αρκετές βελτιωμένες εκδόσεις με τελευταία αυτή του 2008 (FLL- Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing).

Στην Ελβετία, το 12% των δωματίων των κτιρίων είναι καλυμμένα με βλάστηση, ενώ επιβάλλεται η εγκατάσταση φυτεμένων δωματίων στο 25% των εμπορικών κτιριακών συγκροτημάτων για την προστασία και βελτίωση του αστικού μικροκλίματος. Στο Λονδίνο υπάρχει πρόγραμμα δημιουργίας 240.000.000 m². φυτοκαλυμμένων κτιρίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της διάδοσης των φυτεμένων δωματίων στην Ασία αποτελεί το Τόκυο, όπου η ανάγκη για μείωση του

«φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας» οδήγησε στη θέσπιση νόμων που προέβλεπαν την κάλυψη όλων των μεγάλων κτιρίων με φυτικό υλικό, τουλάχιστον στο 20% της επιφάνειάς τους (Dunnett and Kingsbury, 2010)

Αν και η διάδοση της κατασκευής φυτεμένων δωματίων καθυστέρησε στις χώρες της Βόρειας Αμερικής, την τελευταία δεκαετία υιοθετήθηκαν μοντέλα διάδοσης των φυτεμένων δωματίων όπως και στην Ευρώπη μέσω επιδότησης μέρους του κόστους κατασκευής ή παροχής άλλων κινήτρων. Το Σικάγο ενσωμάτωσε την κατασκευή φυτεμένων δωματίων στην προσπάθειά του για αύξηση του ποσοστού πρασίνου εγκαθιστώντας πάνω από 100 στέμματα φυτοδωμάτων σε κυβερνητικά και ιδιωτικά κτίρια. Στο Portland του Oregon επιτρέπεται στους κατασκευαστές να αυξήσουν την πυκνότητα εγκατάστασης των κτιρίων μόνο μετά από μελέτη και υλοποίηση φύτευσης στα δώματα (Liu and Baskaran, 2003). Επίσης, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής διαμορφώθηκε το διεθνώς αναγνωρισμένο πρωτόκολλο LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) βάση του οποίου οι κατασκευαστές μπορούν να πιστοποιήσουν τα κτίρια τους ως βιώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον. Τα πρωτόκολλο αυτό αναγνωρίζει τα φυτεμένα δώματα ως μια τεχνολογία με σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη και αυξάνει σημαντικά τη βαθμολόγηση των κτιρίων στα οποία είναι εγκατεστημένα.

Στην Ελλάδα η ανάπτυξη των φυτεμένων δωματίων βρίσκεται ακόμη σε αρχικά στάδια με αποτέλεσμα να υπάρχουν χιλιάδες τετραγωνικά μέτρα ανεκμετάλλευτων δωματίων, τα οποία θα μπορούσαν ύστερα από σωστή μελέτη να μετατραπούν σε νησίδες πρασίνου και να συμβάλουν σημαντικά στην αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος των πόλεων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα φυτεμένων δωματίων στον ελληνικό χώρο αποτελούν το εντατικού τύπου φυτοδώμα που έχει εγκατασταθεί στο κέλυφος της επέκτασης του Μεγάρου Μουσικής Αθηνών, το φυτοδώμα έκτασης 650 m² στο κτίριο του Υπουργείου Οικονομίας, η πράσινη στέγη του κτιρίου διοίκησης του ΗΣΑΠ στην πλατεία Ομονοίας και το εκτατικό φυτοδώμα στο αμαξοστάσιο του ΗΛΠΑΠ έκτασης 6 στρεμμάτων. Σημαντικά βήματα προς τη αύξηση κατασκευής φυτοδωμάτων έχουν γίνει τελευταία με τον νέο Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό, ο οποίος τέθηκε σε ισχύει τον Απρίλιο του 2012 μέσω του νόμου 4067/2012, όπου για πρώτη φορά στην Ελλάδα εισάγεται ο ορισμός των φυτεμένων επιφανειών και διευκολύνεται η διάδοσή τους, τόσο σε νέα όσο και σε υφιστάμενα κτίρια, ενώ παράλληλα προσδιορίζονται αναλυτικά τα κριτήρια και οι διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται. Ένα από τα σημαντικότερα κίνητρα που δίνει ο νέος ΓΟΚ, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί, είναι η αύξηση του συντελεστή δόμησης μέσω της κατασκευής φυτεμένου δώματος με απώτερο

σκοπό τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε νέου κτιρίου. Επίσης, σημαντικό κίνητρο για την διάδοση των φυτεμένων δωμαίων αποτέλεσε το Πρόγραμμα «Πράσινα Δώματα σε Δημόσια Κτήρια» το οποίο είναι μια επιμέρους πρωτοβουλία του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) και του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) στο πλαίσιο του Άξονα Προτεραιότητας 1 «Προστασία Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος & Αστικές Μεταφορές - Αντιμετώπιση Κλιματικής Αλλαγής - Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» του Ε.Π. «Περιβάλλον και Αειφόρος Ανάπτυξη» 2007-2013» (ΕΠΠΕΡΑΑ), το οποίο χρηματοδοτεί εκατό τοις εκατό τους δικαιούχους δημόσιων κτιρίων για την κατασκευή φυτεμένων δωμαίων σε κτίρια, όπως σχολεία, νοσοκομεία, δημαρχεία κ.ά.. Ο συνολικός αρχικός προϋπολογισμός του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν τα 20.000.000 ευρώ, ενώ πρόσφατα ανακοινώθηκαν τα αποτελέσματα και εγκρίθηκαν περίπου τα 15.000.000 ευρώ από το σύνολο των μελετών που κατατέθηκαν, τα οποία αφορούν δημόσια κτίρια σε όλη την Ελλάδα και αναμένεται να δημοπρατηθούν και να υλοποιηθούν εντός του 2014.

1.2.6. Εφαρμογή εκτατικού τύπου φυτεμένων δωμαίων στις Μεσογειακές χώρες

Η διάδοση της ιδέας των φυτεμένων δωμαίων στις μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Πορτογαλία) καθυστέρησε αρκετά σε σχέση με τις βορειότερες χώρες, κυρίως λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στις περιοχές αυτές. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και οι ελάχιστες έως ανύπαρκτες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών περιορίζουν σημαντικά τη βιωσιμότητα των φυτεμένων δωμαίων, ιδιαίτερα αυτών που κατατάσσονται στον εκτατικό τύπο, καθώς ελάχιστα φυτά μπορούν να ανταπεξέλθουν στις άνυδρες κλιματικές συνθήκες, όταν μάλιστα αυτές συνδυάζονται και με μικρού βάθους υποστρώματα.

Τα εκτατικού τύπου φυτοδώματα φιλοξενούν ως επί το πλείστον παχύφυτα ή άλλα ξηροφυτικά είδη και ως εκ τούτου παρουσιάζουν περιορισμένη αισθητική και περιβαλλοντική συνεισφορά, ενώ παράλληλα είναι εντελώς απρόσιτα ή επιτρέπουν μόνο ελάχιστη πρόσβαση (Getter και Rowe, 2006). Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται μια προτίμηση για κατασκευή λειτουργικών και χρηστικών φυτεμένων δωμαίων εντατικού τύπου έναντι των μη προσβάσιμων εκτατικών φυτοδωμαίων (Fernandez-Cañero, 2013). Η προτίμηση αυτή, είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιπτώσεις όπου η κατασκευή φυτεμένων δωμαίων δεν υποστηρίζεται από το κράτος είτε μέσω

άμεσων επιχορηγήσεων, είτε μέσω έμμεσων απαλλαγών όπως είναι οι εκπτώσεις στα δημοτικά τέλη. Ως εκ τούτου, το κόστος κατασκευής επιβαρύνει αποκλειστικά τους ιδιοκτήτες των κτιρίων (Williams et al, 2010; Claus και Rousseau, 2012). Ωστόσο, τα εντατικού ή ημι-εντατικού τύπου φυτοδώματα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε κτίρια, τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να αντέχουν στα επιπλέον φορτία του φυτοδώματος, τα οποία μπορεί να κυμαίνονται από 200 kg m⁻² έως και πάνω από 1.300 kg m⁻². Το γεγονός αυτό δρα αποτρεπτικά στην εγκατάσταση φυτοδωμάτων εντατικού τύπου στις κεντρικές και συνήθως παλαιότερες περιοχές των μεγάλων αστικών κέντρων οι οποίες, ως επί το πλείστον, καταλαμβάνονται από κτίρια μεγάλης ηλικίας τα οποία μπορούν να αντέξουν ελάχιστα επιπλέον φορτία. Επίσης, στις περιοχές αυτές το μεγαλύτερο ποσοστό των κατοίκων διαθέτει μειωμένα ή και ελάχιστα εισοδήματα με αποτέλεσμα, ελλείψει οικονομικών κινήτρων, να παρουσιάζονται διστακτικοί στο να επενδύσουν σε κατασκευές φυτεμένων δωμαίων.

Το δίλημμα αυτό θεωρείται κομβικό και σημαντικό καθώς τα κεντρικά τμήματα των πόλεων αποτελούν τις αστικές εκείνες περιοχές στις οποίες παρουσιάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό τα διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως είναι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας ή τα πλημμυρικά φαινόμενα μετά από έντονες βροχοπτώσεις. Έτσι, η κατασκευή των φυτοδωμάτων έρχεται αντιμέτωπη με ένα αντιφατικό παράδοξο: η κατασκευή τους να είναι περιβαλλοντικά εποικοδομητικότερη σε περιοχές στις οποίες όμως η υλοποίησή τους είναι δυσχερής, είτε λόγω παλαιότητας των κτιρίων είτε λόγω οικονομικής αδυναμίας των κατοίκων. Το παράδοξο αυτό έχει οδηγήσει σε μια στάσιμη αγορά φυτεμένων δωμαίων, ιδιαίτερα στις νότιες ημι-ξηρικές ευρωπαϊκές χώρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια βιώσιμη επιλογή καθώς χαρακτηρίζονται από μικρό βάθος υποστρώματος, μειωμένο βάρος, μικρό κόστος κατασκευής και απαιτούν ελάχιστες προσόδους διαχείρισης. Ως εκ τούτου, κρίνεται απολύτως απαραίτητο να αναζητηθούν επιτυχημένες και βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες θα επιτρέψουν την ευρεία εγκατάσταση εκτατικών φυτεμένων δωμαίων στις στέγες των κτιρίων των σύγχρονων πόλεων με άμεσο στόχο τη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος (Akbari et al., 2001; Getter and Rowe, 2006).

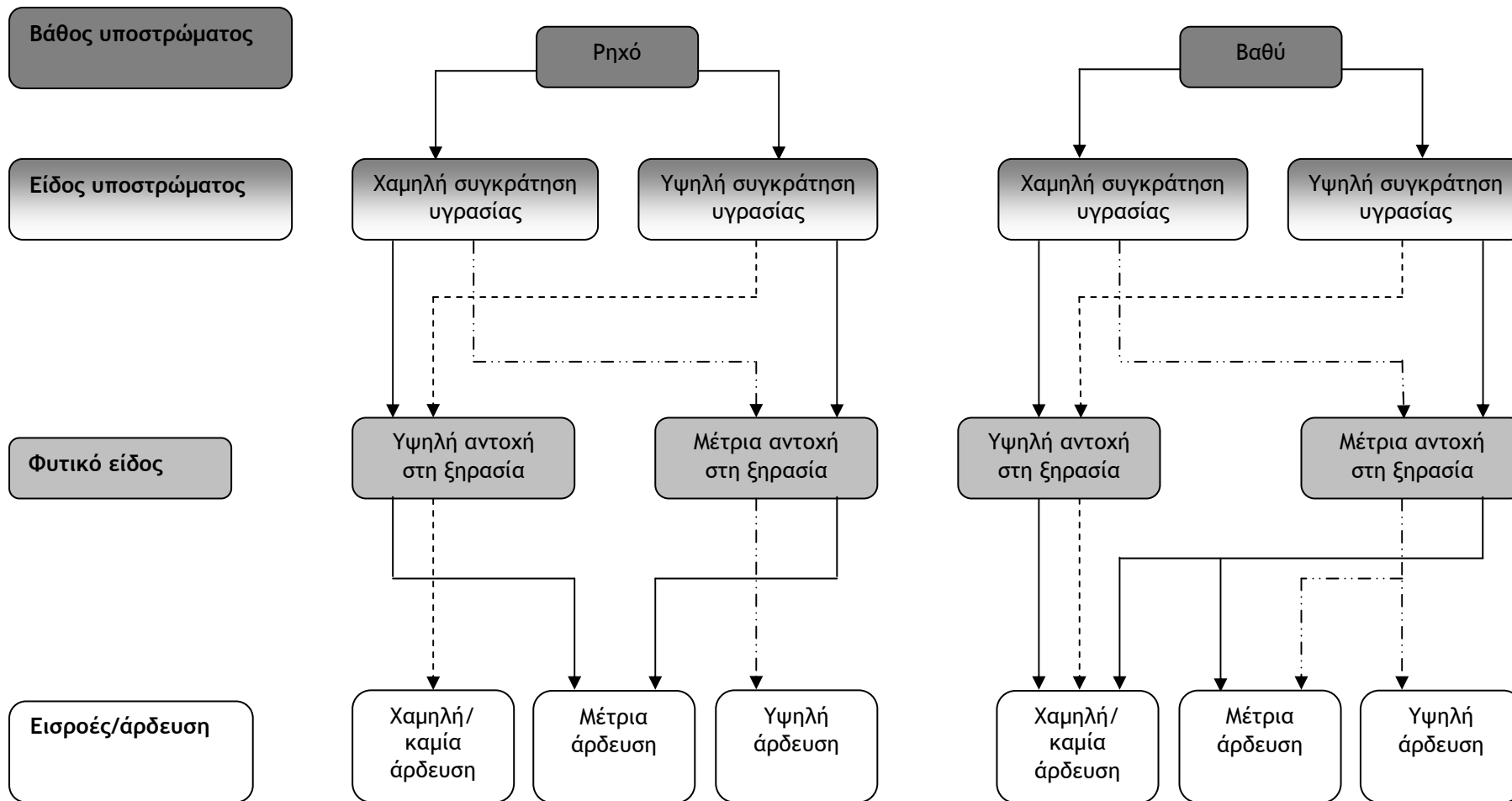
Ένας επίσης σημαντικός παράγοντας ο οποίος συντελεί στην περιορισμένη διάδοση των εκτατικών φυτεμένων δωμαίων στις αστικοποιημένες Μεσογειακές περιοχές, είναι η απουσία επίσημων προδιαγραφών και κατευθυντήριων οδηγιών προσαρμοσμένες στις ιδιαίτερες απαιτήσεις αυτών των χωρών. Οι προδιαγραφές

που υφίστανται και αποτελούν τις βασικές οδηγίες για την κατασκευή των φυτεμένων δωμάτων έως και σήμερα είναι οι «Οδηγίες για Σχεδιασμό, Κατασκευή και Συντήρηση Φυτεμένων Δωμάτων» (Guidelines for the Planning, Constructions and Maintenance of Green Roofing) οι οποίες εκδίδονται από το Γερμανικό οργανισμό FLL (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V - Landscape Development and Landscaping Research Society e.V) με τελευταία έκδοση αυτή του 2008. Παρόμοιες οδηγίες για την κατασκευή και συντήρηση φυτεμένων δωμάτων εξέδωσε και ο Οργανισμός Φυτεμένων Δωμάτων (Green Roof Organization -GRO) του Ηνωμένο Βασιλείου το 2011 (The GRO Green Roof Code: Green Roof Code of Best Practice for the UK 2011). Επίσης οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έχουν πρόσφατα αναπτύξει και αυτές τις δικές τους προδιαγραφές μέσω του ASTM (American Society for Testing and Materials) οι οποίες έχουν μικρές διαφοροποιήσεις από τις Γερμανικές (ASTM E2400-06 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems, ASTM E2396-11, ASTM E2397-11, ASTM E2398-11, ASTM E2399-11). Παρ' όλα αυτά, οι κατευθυντήριες οδηγίες του FLL θεωρούνται οι μόνες οδηγίες για κατασκευή και διαχείριση φυτεμένων δωμάτων, οι οποίες είναι δοκιμασμένες στο χρόνο. Ωστόσο, οι προδιαγραφές του FLL μειονεκτούν υπό την έννοια ότι έχουν διαμορφωθεί για βορειότερες χώρες με σημαντικά διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Ως αποτέλεσμα, η καθολική εφαρμογή τους σε θερμότερα και πιο ξηρά κλίματα να παρουσιάζει αρκετά προβλήματα. Οι Μεσογειακές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του θέρους και μειωμένες βροχοπτώσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα κυρίως κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου ή του χειμώνα. Η αυστηρή τήρηση των οδηγιών FLL κατά την κατασκευή και διαχείριση ιδιαίτερα των εκτατικού τύπου φυτοδωμάτων καθιστά αδύνατη την επιβίωση και τη βιώσιμη ανάπτυξή τους.

Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες, απαιτείται μια παρέκκλιση από τις στερεότυπες κατευθυντήριες οδηγίες και τον τυπικό διαχωρισμό των φυτεμένων δωμάτων και κρίνεται απαραίτητη η υιοθέτηση μιας προσαρμοστικής προσέγγισης η οποία θα βασίζεται στις ιδιαίτερες συνθήκες της κάθε περιοχής (Fioretti et al., 2010; Kotsiris et al., 2012b). Σε μια τέτοια προσαρμοστική προσέγγιση επιτρέπονται ελάχιστες αλλά απαραίτητες εισροές πόρων, όπως είναι η άρδευση, προκειμένου να διευκολυνθεί η εγκατάσταση φυτών και να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα των φυτοδωμάτων εκτατικού τύπου.

1.2.7. Παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχή και βιώσιμη εγκατάσταση εκτατικών φυτοδωμάτων

Για την επιτυχή και βιώσιμη εγκατάσταση εκτατικών φυτοδωμάτων στις ημι-ερημικές/ξηρικές περιοχές απαιτείται να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ τεσσάρων παραγόντων και συγκεκριμένα: τον τύπο του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος, την επιλογή των φυτικών ειδών και την εισροή/συχνότητα πόρων (Διάγρ. 1.1). Η ισορροπία αυτή δεν είναι μοναδική, αλλά μεταβάλλεται σύμφωνα με τις αλληλεπιδράσεις των τεσσάρων αυτών παραγόντων. Κάθε ένας από τους τέσσερις αυτούς παράγοντες είναι σημαντικός για τη βιωσιμότητα των εκτατικών φυτοδωμάτων και μπορεί να υποκατασταθεί εν μέρει από κάποιον άλλο. Εάν, για παράδειγμα, είναι απαραίτητο να μειωθεί το βάρος του φυτοδώματος ελαχιστοποιώντας το βάθος του υποστρώματος, αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί είτε μέσω της χρήσης φυτικών ειδών ανθεκτικών στην ξηρασία σε συνδυασμό με υποστρώματα με αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού, είτε μέσω της αύξησης της ποσότητας ή της συχνότητας άρδευσης του φυτοδώματος.



Διάγραμμα. 1.1. Διάγραμμα αλληλεπίδρασης μεταξύ των τεσσάρων σημαντικότερων παραγόντων (βάθος και είδος υποστρώματος, επιλογή φυτικού είδους και εισροές/αρδεύσεις), οι οποίοι συμβάλλουν στην επιτυχή και βιώσιμη ανάπτυξη των εκτατικών φυτοδωμάτων, σύμφωνα με την προσαρμόσιμη προσέγγιση. Τα διαφορετικά είδη γραμμών υποδεικνύουν ανεξάρτητη πορεία στο διάγραμμα.

1.2.7.1. Είδος υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμάτων

Το είδος του υποστρώματος σχετίζεται άμεσα με το βάρος του εκτατικού φυτεμένου δώματος με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται ελαφροβαρή υλικά, τα οποία έχουν την ικανότητα να συγκρατούν επαρκή υγρασία για την ανάπτυξη των φυτών. Εκτός από την αυξημένη συγκράτηση υγρασίας και την ελαχιστοποίηση του βάρους, τα υποστρώματα των εκτατικών φυτεμένων δωματίων θα πρέπει να πληρούν και ορισμένες άλλες προϋποθέσεις όπως: να διευκολύνουν την ταχεία απομάκρυνση της περίσσειας του νερού, να εξασφαλίζουν ικανοποιητικό πορώδες επιτρέποντας την ανάπτυξη και τον αερισμό του ριζικού συστήματος των φυτών, να επιτρέπουν την αγκύρωση των φυτών, να παρουσιάζουν αντοχή στη συμπίεση, να μην αποδομούνται και να παρουσιάζουν σταθερή σύσταση στη διάρκεια του χρόνου, να παρουσιάζουν αντοχή στις ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, να παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και να έχουν κατάλληλο pH και αλατότητα για την ανάπτυξη των φυτών (Friedrich, 2005; Getter και Rowe, 2006; FLL, 2008). Σύμφωνα με τον Miller (2003) τα ανόργανα υλικά μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις. Τα ανόργανα υλικά τα οποία είναι κατάλληλα για τη δημιουργία υποστρωμάτων εκτατικών φυτεμένων δωματίων χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: στα φυσικά, στα τεχνητά και σε αυτά που προέρχονται από ανακύκλωση (Dunnett and Kingsbury, 2010). Διάφορα ελαφροβαρή υλικά έχουν διερευνηθεί όσον αφορά την καταλληλότητα συμμετοχής τους στη σύσταση υποστρωμάτων εκτατικών φυτοδωμάτων. Μερικά από αυτά τα υλικά είναι: θραυστό κεραμίδι ή τούβλο (Nagase and Dunnett, 2011), διογκωμένη άργιλος, ζεόλιθος (Nektarios et al., 2011a), άμμος (VanWoert et al., 2005) , αμμοπηλώδες έδαφος (Nektarios et al., 2011a) θερμικά διογκωμένος σχιστόλιθος (Beattie και Berghage, 2004; Thuring et al., 2010), περλίτης (Nektarios et al., 2003), βερμικουλίτης, λάβα και ελαφρόπετρα (Rowe et al., 2006; Nektarios et al., 2011a; Kotsiris et al., 2012b)

Εκτός των ανόργανων συστατικών, στα υποστρώματα των φυτοδωμάτων εκτατικού τύπου θα πρέπει να προστίθεται και ένα ποσοστό οργανικού κλάσματος προκειμένου να βελτιωθεί η ικανότητα τους να συγκρατούν υγρασία καθώς και να αυξηθεί η περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά στοιχεία (Scrivens, 2004). Η συμμετοχή των οργανικών ουσιών, όπως η τύρφη και τα κομπόστ, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 15-20% καθώς έχει παρατηρηθεί καθίζηση των υποστρωμάτων λόγω αποσύνθεσης της οργανικής ουσίας στο χρόνο (Beattie and Berghage, 2004), όπως επίσης και αύξηση της έκπλυσης ανόργανων στοιχείων όπως N και P στο νερό

απορροής (Moran et al., 2005). Επιπροσθέτως, αυξημένα επίπεδα οργανικής ουσίας στα υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων ενθαρρύνει την ανάπτυξη πλούσιας βλάστησης η οποία αναπόφευκτα υπόκεινται σε υδατική καταπόνηση ιδιαίτερα όταν δεν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση (Getter και Rowe, 2006; Nagase and Dunnett, 2011).

1.2.7.2. Βάθος υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμάτων

Το βάθος υποστρώματος αναγνωρίζεται ως ο σημαντικότερος παράγοντας ο οποίος επιδρά τόσο στο βάρος και το κόστος κατασκευής ενός φυτοδώματος όσο στη βιωσιμότητα του. Οι πλείστες των μελετών έχουν δείξει ότι η αύξηση του βάθους του υποστρώματος, συνεπάγεται ανάλογη αύξηση του ποσοστού επιβίωσης των φυτών και της εδαφοκάλυψης, της ανάπτυξής τους και της άνθησής τους (Boivin et al., 2001; VanWoert et al., 2005; Getter and Rowe, 2006; Durhman et al., 2007; Dunnett et al., 2008; Thuring et al., 2010; Nektarios et al., 2011a), ενώ ταυτόχρονα διευρύνεται και ο αριθμός των φυτικών ειδών, τα οποία μπορούν επιτυχώς να εγκατασταθούν σε εκτατικά φυτοδώματα (Durhman et al., 2007; Dunnett et al., 2008). Τα βάθη υποστρώματος που έχουν δοκιμαστεί για πράσινες στέγες εκτατικού τύπου μεταβάλλονται από το ελάχιστο βάθος των 2,5 cm έως και τα 15 cm, το οποίο αποτελεί και το ανώτατο όριο βάσης των κατευθυντήριων οδηγιών FLL (2008). Η δυσκολία της βιώσιμης ανάπτυξης των φυτών σε εξαιρετικά αβαθή υποστρώματα οφείλεται κυρίως στην ταχεία εξάντληση της υγρασίας του υποστρώματος, στην αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών (ανώτατη και ελάχιστη) του υποστρώματος (Boivin et al., 2001; Dunnett and Nolan 2002) καθώς και στον περιορισμό της εις βάθος ανάπτυξης του ριζικού συστήματος.

Οι Nektarios et al. (2011a) διαπίστωσαν υψηλότερο δείκτη ανάπτυξης του αυτοφυούς είδους *Dianthus fruticosus ssp fruticosus*, σε βάθος υποστρώματος 15 cm, έναντι βάθους 7,5 cm. Οι Dunnett et al. (2008) ανέφεραν σε μελέτη τους που διήρκεσε έξι χρόνια, ότι σε βάθος υποστρώματος 20 cm έναντι βάθους 10 cm, παρατηρήθηκαν υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης, ανάπτυξης και άνθησης καθώς και μεγαλύτερος αριθμός φυτικών ειδών από τα δεκαπέντε ποώδη πολυετή αγρωστώδη φυτά που ελέγησαν. Ομοίως, οι Getter and Rowe (2008) ανέφεραν αυξημένη ανάπτυξη και εδαφοκάλυψη σε 12 είδη *Sedum* όταν αυτά αναπτύσσονταν σε βάθος υποστρώματος 10 cm και 7 cm σε σύγκριση με βάθος υποστρώματος 4 cm. Οι Benvenuti και Bacci (2010) ανέφεραν σημαντικά μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη και ρυθμό ανάπτυξης σε 20 είδη, τα οποία προέρχονταν από ξηροφυτικά ενδιαιτήματα,

όταν το βάθος του υποστρώματος αυξήθηκε από 10 cm σε 15 cm. Οι Durhman et al. (2007) μελέτησαν 25 είδη παχύφυτων σε τρία διαφορετικά βάθη υποστρώματος φυτοδωμάτων (2,5 cm, 5 cm και 7,5 cm) και διαπίστωσαν ότι τα βαθύτερα υποστρώματα προάγουν την επιβίωση, την ανάπτυξη και το ποσοστό φυτοκάλυψης, αν και βρέθηκαν αρκετά είδη τα οποία εξακολουθούσαν να επιβιώνουν στο αβαθές υπόστρωμα των 2,5 cm.

Αντίθετα, υπάρχουν περιορισμένες περιπτώσεις όπου έχει διαπιστωθεί ότι το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα δεν έχει σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη των διαφόρων φυτικών ειδών. Οι Dunnnett and Nolan (2002) σε μελέτη τους η οποία αφορούσε την επίδραση του βάθους του υποστρώματος και της άρδευσης σε ποώδη φυτά εγκατεστημένα σε ημιεκτατικού τύπου φυτοδώμα, διαπίστωσαν ότι η αύξηση του βάθους από 10 σε 20 cm χωρίς παράλληλη αύξηση του επιπέδου άρδευσης δεν παρουσίασε σημαντικά αποτελέσματα στην ανάπτυξη των φυτών. Μάλιστα σε ορισμένα φυτά χαμηλής ανάπτυξης που συνήθως χρησιμοποιούνται σε φυτεύσεις εκτατικών φυτοδωμάτων (*Armeria maritima* 'Alba', *Eryngium bourgatii*, *Festuca scoparia*, και *Gaura lindheimeri*) παρατηρήθηκε χαμηλότερη επίδοση κατά τα δύο πρώτα έτη όταν αναπτύσσονταν στο μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος. Ομοίως, οι Getter and Rowe (2007) διαπίστωσαν ότι σε μονοκαλλιέργεια του γένους *Sedum*, η μεταβολή του βάθους του υποστρώματος ανάπτυξης (4, 7 και 10 cm) δεν επηρέασε την επιβίωση μοσχευμάτων *Sedum* κατά την εγκατάστασή τους την περίοδο του χειμώνα.

1.2.7.3. Άρδευση εκτατικών φυτοδωμάτων

Οι κατευθυντήριες οδηγίες FLL (2008) παρέχουν ελάχιστες πληροφορίες σχετικά με την άρδευση των φυτοδωμάτων, δεδομένου ότι έχουν διατυπωθεί για βορειότερες περιοχές με πιο υγρά κλίματα. Ως εκ τούτου, αρκετοί μελετητές έχουν επισημάνει ότι σε ημι-ξηρικές περιοχές με μικρή ετήσια βροχόπτωση θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα κατά τα πρώτα δύο χρόνια μετά την εγκατάσταση του φυτικού υλικού ή κατά τη διάρκεια ακραίων συνθηκών ξηρασίας με στόχο τη βέλτιστη εγκατάσταση και τη διατήρηση της ανάπτυξης των φυτών του φυτεμένου δώματος (Getter and Rowe, 2006; Nagase and Thuring, 2006; Dunnnett and Kingsbury, 2010; Wolf and Lundholm, 2008; Williams et al., 2010, Kotsiris et al., 2012b). Σύμφωνα με τους Monterusso et al. (2005), η εφαρμογή συμπληρωματικής άρδευσης παρέχει τη δυνατότητα διεύρυνσης της ποικιλίας των φυτικών ειδών, τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε εκτατικά φυτοδώματα.

Η διαθεσιμότητα υγρασίας στο υποστρώμα ανάπτυξης των εκτατικών φυτοδωμάτων αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για τη βιωσιμότητα του φυτικού υλικού ιδιαίτερα σε άνυδρες ή ημι-ξηρικές περιοχές. Οι Latocha and Batorska (2007), σε έρευνά τους με σκοπό τη διερεύνηση της επίδρασης της άρδευσης σε φυτά εκτατικών φυτοδωμάτων αναφέρουν πως η εφαρμογή άρδευσης κατά τη διάρκεια των θερμών και ξηρών καλοκαιρινών μηνών, βελτίωσε την επιβίωση και την ανάπτυξη των φυτών. Οι Thuring et al. (2010) διαπίστωσαν πως εκτός από την ποσότητα της άρδευσης, η χρονική στιγμή της επιβολής της υδατικής καταπόνησης έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στην επιβίωση των φυτών των εκτατικών φυτοδωμάτων. Οι ερευνητές αναφέρουν πως, όταν η υδατική καταπόνηση έλαβε χώρα σύντομα μετά την εγκατάσταση των φυτών στο δώμα προκλήθηκαν αρνητικές επιπτώσεις όσον αφορά την επιβίωση και την ανάπτυξή τους. Αντίθετα, όταν η υδατική καταπόνηση ελάμβανε χώρα μετά την πλήρη εγκατάσταση των φυτών, η επιβίωση και η ανάπτυξή τους ήταν βελτιούμενη.

Είναι γεγονός πως η άρδευση διαθέτει την ικανότητα να αντισταθμίσει τις δυσμενείς επιπτώσεις του μειωμένου βάθους του υποστρώματος σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα. Οι Dunnet and Nolan (2002) διαπίστωσαν ότι η βιωσιμότητα και η ανάπτυξη των φυτών βελτιώθηκε, όταν εφαρμόστηκε άρδευση και μάλιστα η άρδευση είχε τη δυνατότητα να αντισταθμίσει τις δυσχέρειες οι οποίες προκλήθηκαν από τη μείωση του βάθους του υποστρώματος.

Η επιλογή του κατάλληλου είδους και βάθους υποστρώματος συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα της υγρασίας τα οποία είναι διαθέσιμα στα φυτά. Οι VanWoert et al. (2005), σε μελέτη τους που αφορούσε την ανάπτυξη παχύφυτων σε διαφορετικά βάθη υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμάτων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα βαθύτερα υποστρώματα των 6 cm παρουσίασαν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας υπό συνθήκες ξηρασίας και κατ' επέκταση μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τα υποστρώματα βάθους 2 cm.

1.3. Χρήση χλοοταπήτων σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα σε ημι-άνυδρες περιοχές

Οι χλοοτάπητες αποτελούν ιδιαίτερος χρήσιμα φυτικά είδη για την εγκατάσταση λειτουργικών και προσβάσιμων ανοιχτών χώρων πρασίνου καθώς ως φυτική κατηγορία πληρούν και τις τρεις απαιτήσεις για εγκατάσταση πρασίνου εντός των αστικών χώρων δηλαδή, την αισθητική, τη λειτουργικότητα και την αναψυχή (Beard and Green, 1994). Παρόλα αυτά, η αξιολόγηση της χρήσης χλοοταπήτων σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα είναι περιορισμένη, κυρίως λόγω των αυξημένων απαιτήσεων τους σε νερό σε σύγκριση με άλλα φυτικά είδη και κυρίως με τα παχύφυτα ή τα ξηροφυτικά φυτά, τα οποία λόγω των μειωμένων αναγκών διαχείρισής τους συμφωνούν περισσότερο με τις κατευθυντήριες οδηγίες για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων (FLL, 2008). Η στερεότυπη αυτή προσέγγιση, περιορίζει την εγκατάσταση χλοοταπήτων σε εκτατικά φυτεμένα δώματα σε κλιματικές ζώνες με επαρκή ετήσια βροχόπτωση και ήπιες θερμοκρασίες κατά τους θερινούς μήνες (Dunnett and Kingsbury, 2010). Σύμφωνα με τις υπάρχουσες κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008), τα φυτοδώματα εκτατικού τύπου θα πρέπει να έχουν ελάχιστες διαχειριστικές απαιτήσεις και εισροές φυσικών πόρων, όπως είναι το νερό άρδευσης.

Οι Boussetot et al. (2011) αξιολόγησαν τα γρασίδια *Bouteloua gracilis*, *Buchloe dactyloides* σε φυτοδοχεία μικρού μεγέθους σε μειούμενα επίπεδα υγρασίας. Οι MacIvor and Lundholm (2011) συνέκριναν την επιβίωση και τη φυτοκάλυψη διαφόρων ειδών γρασιδιών (*Festuca rubra*, *Deschampsia flexuosa*, *Danthonia spicata*) σε θαλαμίσκους τοποθετημένους σε οροφή ενός κτιρίου. Σε άλλες περιπτώσεις, τα αγρωστώδη που μελετήθηκαν ήταν κυρίως καλλωπιστικά εδαφοκαλυπτικά φυτά και όχι επιφάνειες χλοοταπήτων όπως τα είδη *Festuca glauca ovina* (Dunnett and Nolan, 2002), *Schizachyrium scoparium* (Durhman et al., 2006), *F. ovina*, *Trisetum flavescens*, *Anthoxanthum odoratum* (Nagase and Dunnett, 2010), *F. scoparia* (Dunnett et al., 2008) και *Koeleria macrantha* (Monterusso et al., 2005; Nagase and Dunnett, 2010).

Σε αντίθεση με τις γενικευμένες κατευθυντήριες οδηγίες για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων, η προσαρμόσιμη προσέγγιση που αναπτύχθηκε προηγουμένως (Παρ. 1.2.7), επιτρέπει την εφαρμογή των απαραίτητων ανά περίπτωση ποσοτήτων άρδευσης με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η χρήση χλοοταπήτων σε εκτατικά φυτοδώματα ακόμη και σε ημι-ξηρικές περιοχές. Έτσι, η εισαγωγή των χλοοταπήτων σε αρδευόμενα φυτοδώματα εκτατικού τύπου θα

μπορούσε να δημιουργήσει μία προσβάσιμη, λειτουργική και ευχάριστη φυτοκαλυμμένη αστική επιφάνεια. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό κίνητρο προκειμένου οι κάτοικοι των μεγάλων αστικών κέντρων, και ιδιαίτερα αυτών, οι οποίοι διαμένουν στις πιο πυκνοδομημένες περιοχές και στερούνται την εύκολη πρόσβαση σε ανοιχτούς χώρους πρασίνου, να επενδύσουν στην κατασκευή φυτοδωμάτων. Οι Fernandez-Cañero et al. (2013) πραγματοποίησαν μελέτη στην νότια Ισπανία με σκοπό τη διερεύνηση των προτιμήσεων των πολιτών, όσον αφορά τον τύπο φυτεμένου δώματος και το είδος της φυτοκάλυψής του. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε μια αυξημένη προτίμηση των πολιτών σε φυτοδώματα τα οποία ήταν πλήρως καλυμμένα με χλοοτάπητα σε σχέση με φυτοδώματα στα οποία είχαν εγκατασταθεί παχύφυτα (*Sedum*) ή άλλα ξηροφυτικά φυτά. Πρώτα σε προτίμηση των πολιτών που συμμετείχαν στην έρευνα ήταν φυτοδώματα εντατικού τύπου, τα οποία φιλοξενούσαν μια ποικιλία φυτικών κατηγοριών, όπως δένδρα, θάμνοι και φυτά εδαφοκάλυψης.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης αρδευόμενων χλοοταπίτων σε εκτατικά φυτοδώματα στα κεντρικά και περιβαλλοντικά υποβαθμισμένα τμήματα των πόλεων, είναι η αποτελεσματικότερη συμβολή τους στη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος. Τα παχύφυτα ή τα ξηροφυτικά είδη τα οποία είναι εγκατεστημένα στα συμβατικά εκτατικά φυτεμένα δώματα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αναπτύσσονται κάτω από έντονες συνθήκες ξηρασίας και λόγω της ικανότητάς τους να ελαχιστοποιούν τη διαπνοή τους δεν αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας του αστικού περιβάλλοντος. Αντίθετα, οι αρδευόμενοι χλοοτάπητες μέσω της εξατμισοδιαπνοής ψύχουν τόσο το κτίριο όσο και το άμεσο περιβάλλον του περιορίζοντας σημαντικά το «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας» (Spronken-Smith and Oke, 1998; Takebayashi and Moriyama, 2009). Σε έρευνα που έγινε για τον έλεγχο του περιορισμού του «φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας» στο Τορόντο του Καναδά, με ένα μετεωρολογικό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες των επιφανειών, τη θερμοκρασία, την υγρασία και τον άνεμο, αποδείχθηκε ότι η κάλυψη μόλις του 5% της επιφάνειας της πόλης με φυτεμένα δώματα θα μείωνε τη θερμοκρασία έως και 0,5 °C. Παράλληλα, όταν η προσομοίωση επαναλήφθηκε με αρδευόμενα φυτεμένα δώματα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές παρουσιάστηκε μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας της τάξης των 1-2 °C (Bass et al., 2002).

1.3.1. Άρδευση χλοοταπήςτων

Η σωστή και επαρκής εφαρμογή άρδευσης εξασφαλίζει υγιή χλοοτάπητα, με βαθύ χρωματισμό, μεγάλη πυκνότητα, κανονική ανάπτυξη και ικανότητα αναβλάστησης, ενώ η ανεπάρκεια νερού καταλήγει σε αναστολή της βλάστησης, αραίωμα και ξήρανση του φυλλώματος και εξασθένιση του πράσινου χρωματισμού (Turgeon, 2005). Η ποσότητα της άρδευσης ενός χλοοτάπητα θα πρέπει να βασίζεται στις ιδιαίτερες υδατικές απαιτήσεις του, οι οποίες συνίστανται: α) στην ποσότητα του νερού που απαιτείται για την ανάπτυξη του, β) στην ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω της διαπνοής από τα φύλλα του και γ) στην ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους (Huang, 2008). Δεδομένου ότι μόνο το 1 έως 3% του νερού που απορροφάται από τις ρίζες των φυτών του χλοοτάπητα χρησιμοποιείται για τις μεταβολικές διεργασίες του (Beard, 1973), οι απώλειες νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής (ET) του χλοοτάπητα μπορούν να αποτελέσουν ένα ακριβές μέτρο προσδιορισμού των υδατικών απαιτήσεων του. Η εξατμισοδιαπνοή εκφράζεται σε μονάδες μήκους (mm) και επηρεάζεται από τη ατμοσφαιρική θερμοκρασία, την ηλιακή ακτινοβολία, τη σχετική υγρασία, την ένταση των ανέμων, τη διάρκεια της ημέρας καθώς και από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επίσης, η εξατμισοδιαπνοή ποικίλει μεταξύ των διαφορετικών ειδών χλοοτάπητα όπως και μεταξύ των διαφόρων καλλιεργητικών τεχνικών που εφαρμόζονται. Οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής αυξάνουν με την αύξηση του ύψους κοπής του χλοοτάπητα όπως επίσης και με την εφαρμογή υψηλών επιπέδων λίπανσης. Οι Feldhake et al. (1983), Devitt et al. (1992), Ebdon et al. (1999) και Barton et al. (2009) αναφέρουν αύξηση στην κατανάλωση νερού από τους χλοοτάπητες στους οποίους έχουν εφαρμοστεί υψηλά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης σε σχέση με χαμηλότερα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης. Διαφοροποιήσεις στην εξατμισοδιαπνοή εντοπίζονται ακόμη και εντός των ποικιλιών του ίδιου είδους και μπορούν να κυμαίνονται από 20 έως 60% (Kjelgren, 2000). Αρκετοί ερευνητές αναφέρουν πως η εξατμισοδιαπνοή των διαφόρων ειδών και ποικιλιών χλοοτάπητα είναι γενετικά προκαθορισμένη και βάση αυτής μπορούν να καταταχθούν ως προς τις ημερήσιες ανάγκες άρδευσης τους (Leinauer et al., 2012). Σε γενικές γραμμές το ύψος της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής κυμαίνεται για τα θερμόφιλα είδη χλοοτάπητα από 2 έως 5 mm, ενώ για τα ψυχρόφιλα είδη χλοοτάπητα από 3 έως 8 mm (Cockerham and Leinauer, 2011). Τα θερμόφιλα είδη χλοοτάπητα έχουν σημαντικά μειωμένες ανάγκες άρδευσης σε σχέση με τα ψυχρόφιλα. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται κυρίως στην φωτοσυνθετική οδό που χρησιμοποιούν

τα θερμόφιλα είδη (C4) η οποία τους επιτρέπει την παραγωγή υδατανθράκων ακόμη και κάτω από συνθήκες υδατικής καταπόνησης όπου τα στομάτια είναι μερικώς κλειστά (Bell, 2011). Στη βιομηχανία των χλοοταπήτων, η αναγνώριση και η χρήση ειδών ή ποικιλιών χλοοτάπητα που απαιτούν μειωμένες ποσότητες άρδευσης είναι πρωταρχικής σημασίας ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η φυσική βροχόπτωση είναι μειωμένη ή υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί στη διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης (Fernandez and Love, 1993).

1.3.2. Ελλειμματική άρδευση χλοοταπήτων

Σημαντική παράμετρος καθορισμού της ποσότητας άρδευσης των χλοοταπήτων αποτελεί η επιθυμητή ποιότητα του χλοοτάπητα (Kneebone and Pepper, 1982). Οι Gibeault et al. (1989) αναφέρουν πως, η ποσότητα άρδευσης θα πρέπει να είναι αρκετή ώστε ο χλοοτάπητας να διατηρείται από πλευράς ποιότητας σε τέτοια επίπεδα ώστε να ικανοποιεί τη λειτουργία για την οποία προορίζεται. Ως εκ τούτου, η άρδευση μπορεί να εφαρμοστεί σε σημαντικά μικρότερα ποσοστά της εξατμισοδιαπνοής στις περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται εντατική χρήση και συντήρηση και η ποιότητα του χλοοτάπητα μπορεί να είναι αποδεκτή ακόμη και με χαμηλότερα επίπεδα οπτικής ποιότητας.

Όλα τα είδη χλοοτάπητα μπορούν να διατηρήσουν αποδεκτή ποιότητα για μια ορισμένη περίοδο χρόνου όταν αρδεύονται με ποσότητες μικρότερες του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιώντας φυσιολογικούς μηχανισμούς που τους επιτρέπουν να προσαρμόζονται σε συνθήκες ξηρασίας (Shearman, 2008). Η εφαρμογή άρδευσης σε ποσότητες μικρότερες του 100% της εξατμισοδιαπνοής καλείται ελλειμματική άρδευση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια μέθοδος οικονομίας στην κατανάλωση των υδάτινων πόρων. Παρόλα αυτά, η ελλειμματική άρδευση είναι αποτελεσματική μόνο, όταν ο χλοοτάπητας δέχεται ικανοποιητικό ύψος βροχόπτωσης προκειμένου περιστασιακά η υγρασία στο υπόστρωμα ανάπτυξης να αυξάνεται επαρκώς (Shearman, 2008). Σε ερημικές/ξηρικές και ημι-ερημικές/ημι-ξηρικές περιοχές όπου η φυσική βροχόπτωση είναι αρκετά χαμηλή θα πρέπει κατά τις περιόδους ξηρασίας να εφαρμόζεται περιοδικά αυξημένη άρδευση προκειμένου να παρέχεται στο χλοοτάπητα η δυνατότητα να επανακάμψει (Baird et al., 2009).

1.3.3. Υδατική καταπόνηση χλοοταπήτων

Η υδατική καταπόνηση αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στην ανάπτυξη των χλοοταπήτων (Beard, 1973), ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές όπου η διαθεσιμότητα του νερού άρδευσης είναι σημαντικά περιορισμένη. Υδατική καταπόνηση παρατηρείται όταν το επίπεδο της υγρασίας του υποστρώματος ανάπτυξης μειώνεται σε τέτοιο βαθμό οπότε προκαλούνται μορφολογικές και φυσιολογικές αλλοιώσεις στα φυτά. Η επιλογή και η χρήση ειδών και ποικιλιών χλοοτάπητα με αυξημένη αντοχή στην ξηρασία και μειωμένες απαιτήσεις άρδευσης αποτελεί μια βιώσιμη στρατηγική για εξοικονόμηση νερού (Carrow et al., 1990). Η γνώση της επίδρασης της ξηρασίας στη φυσιολογία των φυτών του χλοοτάπητα καθώς και οι μηχανισμοί με τους οποίους αντιδρά είναι πολύ σημαντική, προκειμένου να εξασφαλιστεί η διατήρηση των χλοοταπήτων σε ικανοποιητικό επίπεδο με τις ελάχιστες δυνατές εισροές.

Οι χλοοτάπητες διαθέτουν τρεις βασικούς μηχανισμούς προκειμένου να ανταπεξέρχονται σε συνθήκες ξηρασίας και συνίστανται: α) μηχανισμοί διαφυγής της ξηρασίας (drought escape), β) μηχανισμοί αποφυγής της ξηρασίας (drought avoidance) και γ) μηχανισμοί αντοχής στην ξηρασία (drought tolerance) (Huang, 2008).

Οι μηχανισμοί διαφυγής της ξηρασίας συνίστανται στην ικανότητα ορισμένων χλοοταπήτων να επιβιώνουν εισερχόμενοι σε λήθαργο κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας (πολυετή είδη) ή να ολοκληρώνουν τον κύκλο της ζωής τους πριν την εμφάνιση της ξηρασίας (ετήσια είδη). Η αναβλάστηση των φυτών πραγματοποιείται συνήθως από τους σπόρους ή τα ριζώματα που έχουν παραμείνει στο υπόστρωμα ανάπτυξης, όταν η υγρασία αυξηθεί και είναι κατάλληλη για βλάστηση (Cockerham and Leinauer, 2011).

Ο μηχανισμός αποφυγής της ξηρασίας αναφέρεται στην ικανότητα των φυτών του χλοοτάπητα να αναπτύσσονται υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης αποφεύγοντας την αφυδάτωση και διατηρώντας επαρκές εσωτερικό υδατικό δυναμικό μέσω μείωσης της χρήσης νερού ή μείωσης των απωλειών νερού από τη φυλλική τους επιφάνεια ή μέσω αύξησης της ποσότητας νερού που απορροφά το ριζικό σύστημα από το υπόστρωμα ανάπτυξης. Τα είδη χλοοτάπητα που παρουσιάζουν μηχανισμούς αποφυγής στην ξηρασία μπορούν να επιβιώσουν και να έχουν επαρκή ανάπτυξη και φυσιολογικές λειτουργίες για σύντομα διαστήματα

ξηρασίας μέχρις ότου αυξηθεί η υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα (Fry and Huang, 2004).

Οι μηχανισμοί αντοχής στην ξηρασία συνίστανται στην ικανότητα του χλοοτάπητα να διατηρεί τις μεταβολικές του διεργασίες ακόμη και σε μειωμένο κυτταρικό υδατικό δυναμικό επιβιώνοντας για εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας. (Fry and Huang, 2004).

Τα διάφορα είδη χλοοτάπητα μπορούν να παρουσιάσουν και να συνδυάσουν περισσότερους του ενός από τους προαναφερθέντες μηχανισμούς προκειμένου να αντεπεξέλθουν σε συνθήκες ξηρασίας (Huang, 2008). Σημαντικός αριθμός μελετητών έχουν αναφέρει χαρακτηριστικά των χλοοταπήτων τόσο σε θερμόφιλα όσο και σε ψυχρόφιλα είδη, τα οποία σχετίζονται με την αποφυγή και την αντοχή στην ξηρασία όπως η μείωση της εξατμισοδιαπνοής, η ανάπτυξη εκτεταμένου και σε βάθος ριζικού συστήματος, η υψηλή αναλογία μεταξύ ριζικού και υπέργειου τμήματος των φυτών, μεταβολή των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φύλλων, μείωση απορρόφησης ακτινοβολίας (Beard, 1989; Salaiz et al., 1995; Carrow, 1996; White et al. 1992, Qian et al., 1997; Ebdon et al., 1998; Huang et al., 1998; Carrow and Duncan, 2003).

1.3.4. Μεθοδολογίες ορθολογικής άρδευσης χλοοταπήτων

Βασικός στόχος της κατάρτισης ενός ορθολογικού προγράμματος άρδευσης χλοοταπήτων θα πρέπει να είναι η εφαρμογή των αναγκαίων ποσοτήτων νερού την κατάλληλη χρονική στιγμή προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απορρόφηση του από τις ρίζες των φυτών του χλοοτάπητα. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος εκτίμησης των αναγκών άρδευσης των χλοοταπήτων είναι ο προσδιορισμός του ρυθμού εξατμισοδιαπνοής τους. Η χρήση λυσιμέτρων, εξατμισίμετρων καθώς και εμπειρικών μοντέλων είναι μερικές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής.

Τα λυσίμετρα είναι δοχεία, διαφόρων μεγεθών, τα οποία πληρώνονται με υπόστρωμα ανάπτυξης και φυτικό υλικό που αναπτύσσεται υπό φυσιολογικές συνθήκες. Μπορούν να είναι τοποθετημένα στην επιφάνεια του εδάφους ή βυθισμένα εντός αυτού με την άνω επιφάνειά τους να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με τον εγκατεστημένο χλοοτάπητα. Ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής προκύπτει από τη μεταβολή του βάρους του λυσιμέτρου σε δεδομένα χρονικά διαστήματα. Η μέθοδος αυτή αν και αρκετά επίπονη, θεωρείται ως η ακριβέστερη για τον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής του χλοοτάπητα (Fry and Huang, 2004).

Μια πιο απλουστευμένη μέθοδος προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής του χλοοτάπητα είναι με τη χρήση εξατμισίμετρων μέσω των οποίων προσδιορίζεται η εξάτμιση του νερού από μια ελεύθερη επιφάνεια και κατόπιν με τη χρήση συντελεστών εξατμισίμετρου (K_p) εκτιμάται η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o) (Doorenbos and Pruit, 1977). Ο πιο διαδεδομένος τύπος εξατμισίμετρου είναι αυτός τύπου λεκάνης και πιο συγκεκριμένα η μέθοδος Class-A Pan. Από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογίζονται οι πραγματικές ανάγκες άρδευσης του χλοοτάπητα με τη χρήση συντελεστών καλλιέργειας (K_c) (Harivandi, 1990). Οι συντελεστές καλλιέργειας ποικίλουν σημαντικά και εξαρτώνται από το είδος του χλοοτάπητα και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μπορεί επίσης να εκτιμηθεί και με τη χρήση εμπειρικών και θεωρητικών μοντέλων όπως αυτό του Penman (Penman, 1948) ή του Penman and Monteith (Allen et al., 1998). Τα μοντέλα αυτά αποτελούν εξισώσεις, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη κλιματικά δεδομένα όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου.

Μια εναλλακτική μέθοδος προσδιορισμού των αναγκαίων ποσοτήτων άρδευσης του χλοοτάπητα αποτελεί ο προσδιορισμός της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας στο υπόστρωμα ανάπτυξης. Στόχος είναι η διατήρηση του ποσοστού υγρασίας στο υπόστρωμα εντός των επιθυμητών ορίων αντικαθιστώντας μέσω της άρδευσης τις απώλειες νερού από εξατμισοδιαπνοή ή στράγγιση προκειμένου να επιτρέπεται η απρόσκοπτη ανάπτυξη του χλοοτάπητα (Muñoz-Carpena et al., 2004).

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης εδαφικής υγρασίας έχουν αναπτυχθεί διάφορες άμεσες και έμμεσες μεθοδολογίες. Ο άμεσος προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος συνίσταται στην εξαγωγή πυρήνων εδάφους και προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας μετά από ξήρανση (Torpp and Ferre, 2002). Η μέθοδος αυτή είναι η συνηθέστερη σε εργαστηριακό επίπεδο με σημαντικό όμως μειονέκτημα ότι τα αποτελέσματα δεν είναι άμεσα, ενώ παράλληλα διαταράσσεται και η επιφάνεια του χλοοτάπητα. Ως αποτέλεσμα, για τον καθορισμό αποτελεσματικών προγραμμάτων άρδευσης χρησιμοποιούνται έμμεσοι τρόποι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας με την χρήση διηλεκτρικών αισθητήρων ή τενσιομέτρων (Cockerham and Leinauer, 2011). Ιδιαίτερη σημασία κατά τη χρήση των έμμεσων αυτών μεθόδων προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας θα πρέπει να δίνεται στον τύπο του υποστρώματος ανάπτυξης, στην ακρίβεια μέτρησης των οργάνων καθώς και στα επίπεδα της αλατότητας (Leinauer et al., 2012). Διάφορες μελέτες αξιολόγησαν την αποτελεσματικότητα της άρδευσης χλοοταπίτων μέσω

προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας. Η χρήση тенσιομέτρων στην άρδευση αγριάδας είχε ως αποτέλεσμα την μηνιαία εξοικονόμηση νερού από 42% έως και 95% σε σχέση με τον κλασικό τρόπο άρδευσης μέσω προγραμματιστή με χρονοδιακόπτη (Augustin and Snyder, 1984). Οι Cockerham and Leinauer (2011) αναφέρουν μείωση στο νερό άρδευσης σε χλοοτάπητα του είδους *Lolium perenne* κατά 66% τον μήνα Ιούλιο και 50% τον μήνα Αύγουστο όταν χρησιμοποιήθηκαν ασύρματοι διηλεκτρικοί αισθητήρες για τον καθορισμό του προγράμματος άρδευσης σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους βασιζόμενες στον προσδιορισμό της εξατμισοδιαπνοής. Μείωση 50% του νερού άρδευσης παρατήρησε ο Miller (2007) σε χλοοτάπητα *Agrostis stolonifera* όταν τροποποίησε την άρδευση, η οποία βασιζόταν σε προσδιορισμό της εδαφικής υγρασίας, από 12% κ.ο. σε 10% κ.ο. στο υπόστρωμα ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 2

Βαθμονόμηση δύο διηλεκτρικών αισθητήρων για το βέλτιστο προσδιορισμό της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου

Περίληψη

Οι υπάρχουσες πληροφορίες σχετικά με την ακρίβεια προσδιορισμού της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων με τη χρήση διηλεκτρικών αισθητήρων είναι περιορισμένες. Στην παρούσα μελέτη, διερευνήθηκε η ακρίβεια προσδιορισμού της υγρασίας δύο διαφορετικών διηλεκτρικών αισθητήρων (WET-2 και TDR300) σε έξι χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων. Αναπτύχθηκαν εξισώσεις βαθμονόμησης και για τους δύο αισθητήρες, ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε και η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) στη μέτρηση της υγρασίας του υποστρώματος. Για τον αισθητήρα WET-2 διαπιστώθηκε ότι η σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς ($\sqrt{\epsilon}$) και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος (θ_m) ήταν ισχυρά γραμμική για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα φυτεμένων δωματίων. Ωστόσο, για κάθε υπόστρωμα απαιτήθηκε μια ξεχωριστή ειδική εξίσωση βαθμονόμησης. Η συσχέτιση μεταξύ της διηλεκτρικής σταθεράς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος ήταν γραμμική για όλα τα επίπεδα υγρασίας (0% έως 35%) για τον αισθητήρα WET-2. Στην περίπτωση του αισθητήρα TDR 300, απαιτήθηκαν επίσης διακριτές καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα φυτεμένου δώματος, προκειμένου να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ της πραγματικής υγρασίας και της περιόδου (T). Διαπιστώθηκε πως η σχέση αυτή, ήταν πολυωνυμική δευτέρου βαθμού για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα. Επιπροσθέτως, οι μετρήσεις του αισθητήρα TDR300 παρουσίασαν πολυωνυμική μορφή δευτέρου βαθμού καθώς αυξάνονταν τα επίπεδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η σχέση αυτή βρέθηκε να επηρεάζεται επιπλέον και από την υγρασία του υποστρώματος. Συμπερασματικά, τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά τον προσδιορισμό της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου, ελήφθησαν και για τους δύο αισθητήρες με τη χρήση ειδικών εξισώσεων βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα.

2.1. Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός της υγρασίας των πορωδών μέσων αποτελεί σημαντική παράμετρο για τη βέλτιστη διαχείριση τόσο των φυσικών πόρων όσο και των συστημάτων υποστρώματος/φυτού. Οι σύγχρονες μεθοδολογίες προσδιορίζουν έμμεσα την υγρασία των εδαφών και υποστρωμάτων με τη χρήση αισθητήρων και ηλεκτρονικών συστημάτων. Ο έμμεσος προσδιορισμός της υγρασίας γίνεται διαμέσου της μέτρησης της διηλεκτρικής σταθεράς του πορώδους μέσου. Η βασική μέθοδος ενός τέτοιου προσδιορισμού είναι η μέθοδος του πεδίου χρονικής ανακλαστικότητας (time domain reflectometry - TDR, Torpp et al., 1980), ενώ υπάρχουν και άλλες μέθοδοι (Bittelli, 2011). Η μέθοδος του TDR θεωρείται ως η ακριβέστερη τεχνική προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας ενός υποστρώματος ανάπτυξης (Noborio et al., 1994; Robinson et al., 2003). Η μεθοδολογία της, βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου μετάδοσης των ηλεκτρονικών παλμών κατά μήκος ενός κυματοδηγού (ραβδίο), ο οποίος σχετίζεται άμεσα με τη διηλεκτρική σταθερά (ϵ) του υποστρώματος ανάπτυξης. Καθώς το νερό διαθέτει πολύ μεγαλύτερη τιμή διηλεκτρικής σταθεράς ($\epsilon=80$) σε σχέση με τον αέρα ($\epsilon=1$) ή τα εδαφικά στερεά ($\epsilon=3-7$), η μετρούμενη διηλεκτρική σταθερά αποτελεί κυρίως συνάρτηση της περιεκτικότητας του πορώδους μέσου ανάπτυξης σε υγρασία (Seyfried and Murdock, 2001).

Ωστόσο, το υψηλό κόστος της μεθόδου TDR και οι δυσκολίες που συνδέονται με την απαιτούμενη ανάλυση της κυματομορφής έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη εναλλακτικών διηλεκτρικών αισθητήρων μέτρησης, οι οποίοι χρησιμοποιούν επίσης τις διηλεκτρικές ιδιότητες του υποστρώματος ανάπτυξης για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς του σε υγρασία (Seyfried and Murdock, 2004). Οι τεχνολογίες χωρητικότητας (capacitance) και συχνοτήτων (frequency) προσφέρουν μια εξαιρετική εναλλακτική λύση έναντι του TDR καθώς έχουν χαμηλότερο κόστος, διαθέτουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής των δεδομένων, χαρακτηρίζονται από επαναληψιμότητα των μετρήσεων και έχουν δυνατότητα εφαρμογής σε ένα ευρύ φάσμα πορωδών μέσων ανάπτυξης (Dean et al., 1987; Kargas et al., 2011; Kargas and Soulis, 2011). Οι περισσότερες από τις μέχρι σήμερα ερευνητικές εργασίες και βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με τη μέθοδο TDR καθώς και τις άλλες διηλεκτρικές μεθόδους αναφέρονται κυρίως σε διαταραγμένα και αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα στο εργαστήριο και στον αγρό, ενώ μόνο πρόσφατα διερευνήθηκε η χρήση τους σε χονδρόκοκκα υποστρώματα

ανάπτυξης, τα οποία χαρακτηρίζονται από την απουσία του εδαφικού παράγοντα (Morel and Michel, 2004; Scoggins and van Iersel, 2006; Nemali et al., 2007; van Iersel et al., 2011). Στην περίπτωση της μεθόδου TDR, έχει αποδειχθεί ότι για μια μεγάλη ποικιλία εδαφών, η διηλεκτρική σταθερά συσχετίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια με το ποσοστό της υγρασίας των πορωδών μέσων ανάπτυξης, χρησιμοποιώντας μια απλή εμπειρική εξίσωση βαθμονόμησης, η οποία αναπτύχθηκε από τους Torpp et al. (1980). Επιπλέον, έχουν παρουσιαστεί και εναλλακτικές εξισώσεις οι οποίες βασίζονται σε διηλεκτρικά μοντέλα ανάμιξης (Roth et al., 1990).

Οι Ferre και Torpp (2000) απέδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της περιεκτικότητας σε υγρασία είναι γραμμική. Η γραμμική αυτή συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας της υγρασίας ενός πορώδους μέσου και της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς, έχει παρατηρηθεί σε αρκετές μελέτες για ανόργανα εδάφη χρησιμοποιώντας αισθητήρες που διατίθενται στο εμπόριο (Seyfried and Murdock, 2004; Kargas et al., 2011). Η χρήση διηλεκτρικών αισθητήρων σε οργανικά και ανόργανα υποστρώματα ανάπτυξης αποκάλυψε ότι οι παράμετροι βαθμονόμησης μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί έκπληξη, λαμβάνοντας υπόψη το ευρύ φάσμα των ιδιοτήτων των υποστρωμάτων αυτών. Έτσι, οι διηλεκτρικοί αισθητήρες απαιτούν συγκεκριμένη βαθμονόμηση για κάθε υπόστρωμα, λόγω των διαφορετικών διηλεκτρικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων ανάπτυξης (Yoshikawa et al., 2004; van Iersel et al., 2011). Τα ευρήματα αυτά έχουν οδηγήσει τους ερευνητές στην αναζήτηση των πλέον κατάλληλων εξισώσεων βαθμονόμησης για κάθε τύπο αισθητήρα και υποστρώματος ανάπτυξης (Morel and Michel, 2004).

Στην προσπάθεια προσδιορισμού της υγρασίας υποστρώματος με τη χρήση διηλεκτρικών αισθητήρων, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι υπεισέρχονται επιπλέον παράγοντες που σχετίζονται με το υπόστρωμα ανάπτυξης, όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η θερμοκρασία, η φαινόμενη πυκνότητα κ.ά. καθώς και τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα, όπως είναι για παράδειγμα η συχνότητα λειτουργίας. Οι παράμετροι αυτές, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τον προσδιορισμό της διηλεκτρικής σταθεράς ενός υποστρώματος ανάπτυξης και κατ' επέκταση και την τιμή της υπολογιζόμενης υγρασίας (Nemali et al., 2007). Είναι χαρακτηριστικό ότι οι Robinson et al. (1999) ανέφεραν ότι η μέθοδος TDR υπερεκτίμησε το ποσοστό της υγρασίας σε αλατούχα εδάφη, λόγω υπερεκτίμησης της διηλεκτρικής σταθεράς. Στους διηλεκτρικούς αισθητήρες, οι οποίοι αναπτύχθηκαν μεταγενέστερα του TDR και διατίθενται προσφάτως στο εμπόριο,

δόθηκε μικρή ή ελάχιστη προσοχή όσον αφορά την επίδραση της αλατότητας στον προσδιορισμό της διηλεκτρικής σταθεράς. Έτσι, για τους περισσότερους διηλεκτρικούς αισθητήρες συνιστάται η διεξαγωγή συγκεκριμένης βαθμονόμησης για το κάθε υπόστρωμα ανάπτυξης με στόχο την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας στον προσδιορισμό της υγρασίας ενός υποστρώματος ανάπτυξης. Αν και έχουν γίνει προσπάθειες βαθμονόμησης στο πεδίο, η βαθμονόμηση των διηλεκτρικών αισθητήρων πραγματοποιείται ως επί το πλείστον σε εργαστηριακές συνθήκες, λόγω της δυνατότητας διεξαγωγής μιας σχετικά γρήγορης βαθμονόμησης των αισθητήρων σε μεγάλο φάσμα εδαφικών υγρασιών.

Για την πραγματοποίηση συγκεκριμένης βαθμονόμησης υπάρχουν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση χρησιμοποιεί δείγματα εδάφους, τα οποία έχουν διάφορες προκαθορισμένες περιεκτικότητες υγρασίας. Στην περίπτωση αυτή, η υγρασία θεωρείται ότι κατανέμεται ομοιόμορφα στο σύνολο του εδαφικού όγκου του δείγματος, και ως εκ τούτου προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής περιεκτικότητας σε υγρασία (θ_m). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει τα μειονεκτήματα της μη σταθερής φαινόμενης πυκνότητας, είναι χρονοβόρα, και μπορεί να δώσει περιορισμένα ζεύγη τιμών $\epsilon-\theta_m$ (Seyfried et al., 2005). Η δεύτερη προσέγγιση, αφορά τη μέθοδο της αυξανόμενης διύγρυνσης όπως προτάθηκε από τους Young et al. (1997), και η οποία είναι σχετικά γρήγορη και παρέχει περισσότερα δεδομένα καλύπτοντας ένα μεγαλύτερο εύρος της πραγματικής περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία. Όμως, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο TDR και σε αισθητήρες οι οποίοι λειτουργούν σε συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz (Kargas et al., 2011)

Για τις ανάγκες προσδιορισμού της υγρασίας των υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις πειραματικές μελέτες της παρούσας διατριβής, χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες υγρασίας, οι οποίοι έχουν διατεθεί στο εμπόριο προσφάτως: i) ένας διηλεκτρικός αισθητήρας που η λειτουργία του βασίζεται σε πεδίο συχνοτήτων (WET-2 sensor; Delta-T devices, Cambridge, UK) και ii) ένας διηλεκτρικός αισθητήρας που η λειτουργία του βασίζεται στον προσδιορισμό ενός χρονικού πεδίου (TDR300; Spectrum Technologies, Plainfield, IL). Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες επιλέχθηκαν ως κατάλληλοι για τον προσδιορισμό της υγρασίας σε αβαθή υποστρώματα φυτεμένων δωματίων λόγω του μειωμένου μήκους των ραβδίων τους, καθώς ο αισθητήρας WET-2 έχει μήκος ραβδίων 6,8 cm, ενώ ο αισθητήρας TDR300 διαθέτει μήκος ραβδίων που ποικίλει από 3,8 έως 20 cm.

Μέχρι σήμερα, κανείς από τους δύο αισθητήρες δεν έχει διερευνηθεί πλήρως, όσον αφορά την ικανότητά του να προσδιορίζει με ακρίβεια την υγρασία σε χονδρόκοκκα υποστρώματα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου. Στο σημείο αυτό, χρειάζεται να τονιστεί ότι τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στα φυτεμένα δώματα, αποτελούνται από χονδρόκοκκα υλικά προκειμένου να ανταποκρίνονται σε διάφορα κριτήρια όπως το να συγκρατούν επαρκή υγρασία για την ανάπτυξη των φυτών, ενώ ταυτόχρονα οφείλουν να διευκολύνουν την ταχεία αποστράγγιση της περίσσειας του νερού, να παρέχουν υποστήριξη και αγκύρωση στα φυτά, επαρκή θρεπτικά συστατικά, καθώς και να έχουν κατάλληλο pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα για την απρόσκοπτη ανάπτυξη των φυτών (Getter and Rowe, 2006; FLL, 2008). Εκτός από τα προαναφερθέντα κριτήρια, τα υποστρώματα των φυτεμένων δωματίων οφείλουν να έχουν μειωμένο βάρος, το οποίο επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση ελαφροβαρών υλικών είτε με μείωση του βάθους του υποστρώματος. Έτσι, διάφορα ελαφροβαρή υλικά έχουν χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία φυτεμένων δωματίων συμπεριλαμβανομένης της ελαφρόπετρας (Nektarios et al., 2011a), του διογκωμένου σχιστόλιθου και της διογκωμένης αργίλου (Beattie and Berghage, 2004; Rowe et al., 2006), τον περλίτη (Kotsiris et al., 2012b) και άλλα. Τα υλικά αυτά είναι χονδρόκοκκα με τα περισσότερα σωματίδια να έχουν διάμετρο που κυμαίνεται από 0,5 έως 16 mm, προκειμένου να συμφωνούν με τις οδηγίες FLL (2008). Παρά την ύπαρξη κοινών χαρακτηριστικών, τα υλικά αυτά έχουν διαφορετικές ικανότητες συγκράτησης της υγρασίας ανάλογα με την ύπαρξη ή μη εσωτερικού πορώδους, καθώς και από το είδος του εσωτερικού πορώδους.

Η σημαντικότητα του ορθού προσδιορισμού της υγρασίας του υποστρώματος στα φυτεμένα δώματα έγκειται στην ανατροπή της υπάρχουσας κλασικής αντίληψης σχετικά με τα εκτατικά φυτεμένα δώματα, η οποία προϋποθέτει άρδευση μόνο κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης των φυτών (FLL, 2008). Σύμφωνα με τη νέα αντίληψη, προτείνεται μια προσαρμόσιμη προσέγγιση η οποία έχει ως στόχο να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα των εκτατικών φυτοδωματίων στις ημι-ξηρικές περιοχές και ιδιαίτερα αυτές της Μεσογείου (Kotsiris et al., 2012b). Κατά την προσαρμόσιμη αυτή προσέγγιση, είναι επιτρεπτή η εφαρμογή κατάλληλα σχεδιασμένης και ελεγχόμενης άρδευσης, η οποία θα εξασφαλίσει τη βιώσιμη ανάπτυξη των φυτών, όταν οι αντίξοες κλιματικές συνθήκες συνδυάζονται με τα αβαθή υποστρώματα των εκτατικών φυτεμένων δωματίων. Είναι προφανές, ότι στις περιπτώσεις αυτές, ο ακριβής προσδιορισμός της υγρασίας του υποστρώματος είναι

αναγκαίος προκειμένου να προσδιοριστεί η έγκαιρη και ορθολογική εφαρμογή της άρδευσης.

Με βάση όλα τα παραπάνω, έγινε προσπάθεια ανάπτυξης κατάλληλων εξισώσεων βαθμονόμησης για τους δύο αισθητήρες, προκειμένου να υπάρξει ακριβής προσδιορισμός της υγρασίας των υποστρωμάτων των φυτεμένων δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες μελέτες της παρούσας διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι ήταν: α) να αξιολογηθεί η ικανότητα του αισθητήρα WET-2 στον προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας σε διάφορα χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις βαθμονόμησης που προτείνονται από τον κατασκευαστή και να εξεταστεί η αξιοπιστία της ειδικής εξίσωσης βαθμονόμησης με χρήση των δύο ακραίων τιμών της υγρασίας (ξηρή κατάσταση και κορεσμός), β) να εξεταστεί η συμπεριφορά του αισθητήρα TDR300 σε υποστρώματα φυτεμένων δωματίων λόγω της απουσίας μεθοδολογίας βαθμονόμησης από τον κατασκευαστή, γ) να προσδιοριστεί κατά πόσον οι βαθμονομήσεις των αισθητήρων WET-2 και TDR300 ποικίλουν σε διάφορα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων, και δ) να διερευνηθεί η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην ακρίβεια των μετρήσεων των δύο αισθητήρων.

Τα αποτελέσματα από μια τέτοια ενδελεχή αξιολόγηση αυτών των δύο αισθητήρων, αναμένονται να συνεισφέρουν στη βελτίωση της χρήσης τους σε μελλοντικά προγράμματα άρδευσης χονδρόκοκκων υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων.

2.2. Υλικά και μέθοδοι

2.2.1. Σύνθεση υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων και προσδιορισμός των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης δημιουργήθηκαν έξι υποστρώματα φυτεμένων δωματίων με ανάμειξη οργανικών [τύρφη (P) και κομπόστ (C)] και ανόργανων υλικών [αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτης (Per) και ζεόλιθος (Z)] σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδεικνύονται από τους δείκτες:

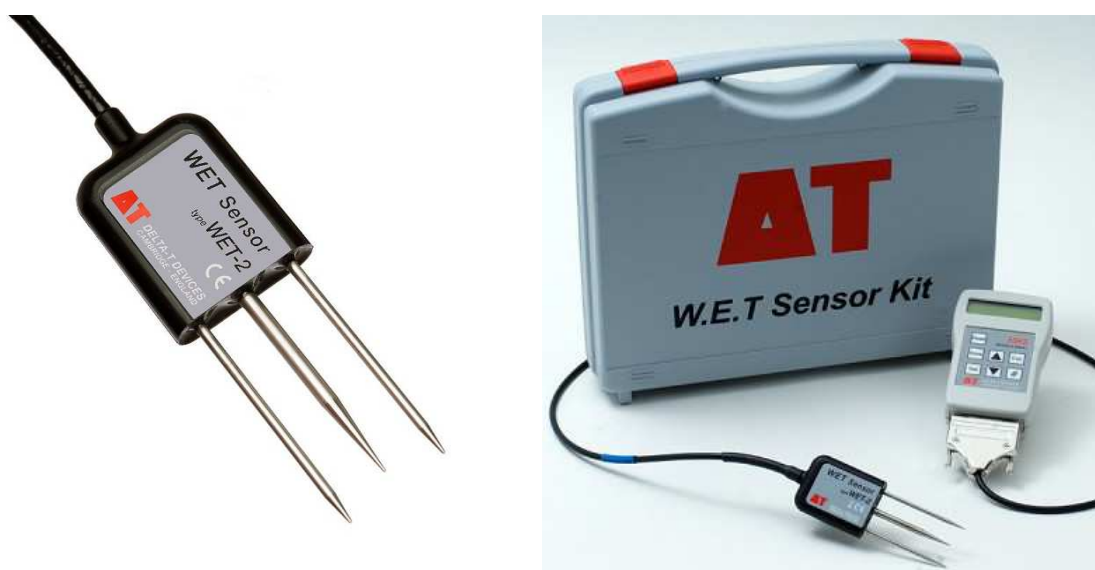
- α) $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (Υπόστρωμα #1)
- β) $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (Υπόστρωμα #2)
- γ) $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα #3)
- δ) $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα #4)
- ε) $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα #5)
- στ) $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα #6)

Τα υποστρώματα που δημιουργήθηκαν χαρακτηρίζονταν από μια σταθερή αναλογία οργανικών και ανόργανων συστατικών (80% ανόργανα και 20% οργανικά), ενώ η συμμετοχή των ανόργανων συστατικών διαφοροποιήθηκε μεταξύ των υποστρωμάτων. Το αμμοπηλώδες έδαφος είχε περιεκτικότητα σε άμμο 77,0%, σε ιλύ 7,8% και σε άργιλο 15,2%, ενώ διέθετε 0,703% (κ.β.) οργανική ουσία. Η ελαφρόπετρα είχε κοκκομετρία που κυμαίνονταν από 0,05 έως 8 mm (ΛΑΒΑ, Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα). Ο ζεόλιθος ήταν κλινοπιλολιτικός με κοκκομετρία 0,8-2,5 mm (S & B Βιομηχανικά Ορυκτά ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) και ο περλίτης (Perloflor, ISOCON ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) είχε κοκκομετρία 0,25-5 mm. Το κομπόστ αποτελείτο από άχυρο, πριονίδια, κηπευτικά υπολείμματα (υπολείμματα κοπής χλοοτάπητα ξύλου) και κόπρο από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, ιπποφορβεία και πουλερικά και είχε pH 7,49, ηλεκτρική αγωγιμότητα $6810 \mu S \text{ cm}^{-1}$ και περιεκτικότητα σε οργανική και τεμάχια ουσία 38,70%. Η τύρφη ήταν της εταιρείας Klasman (Klasman Deilmann GmbH, Geeste-Grob Hesepe,) και είχε pH 5,5 και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 90% κ.β.

2.2.2. Αισθητήρες προσδιορισμού εδαφικής υγρασίας

2.2.2.1. Αισθητήρας WET-2

Ο αισθητήρας WET-2 (Delta-T Devices) είναι ένας σχετικά καινούργιος και όχι ιδιαίτερα δαπανηρός αισθητήρας προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας. Διαθέτει τρία μεταλλικά ραβδία μήκους 6,8 cm και διαμέτρου 3 mm, τα οποία ισαπέχουν 1,5 cm μεταξύ τους (Εικ. 2.1). Το κεντρικό ραβδί είναι καλυμμένο με ειδικό υλικό επικάλυψης εκτός από την άκρη του και χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θερμοκρασίας του υποστρώματος. Ο αισθητήρας συνδέεται με τον καταγραφέα υγρασίας HH2 (Delta-T Devices), ο οποίος τροφοδοτεί με ρεύμα τον αισθητήρα και ταυτόχρονα καταγράφει τις μετρήσεις του (Delta-T Devices, 2005). Ο αισθητήρας καταγράφει την υγρασία σε ένα κυλινδρικό όγκο υποστρώματος μήκους 6,8 cm και διαμέτρου 10 cm καταλήγοντας κατά προσέγγιση σε ένα όγκο δειγματοληψίας περίπου 500 mL.



Εικόνα 2.1. Ο αισθητήρας WET-2 και η σύνδεσή του με τον καταγραφέα υγρασίας HH2 (Πηγή: www.delta-t.co.uk).

Ο αισθητήρας μετρά τη χωρητικότητα (C) και την αγωγιμότητα (G) του υποστρώματος σε συχνότητα 20 MHz μεταξύ των ραβδίων. Η τιμή της διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ) προσδιορίζεται από τη χωρητικότητα χρησιμοποιώντας ένα εσωτερικό αρχείο βαθμονόμησης, και στη συνέχεια η υγρασία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση βαθμονόμησης:

$$\theta = \frac{\sqrt{\varepsilon} - \alpha_0}{\alpha_1} \quad [\text{Εξίσωση 2.1}]$$

όπου οι παράμετροι α_0 και α_1 εξαρτώνται από το υποστρώμα. Οι τιμές των α_0 και α_1 , όπως προτείνονται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα για τα διάφορα είδη εδαφών παρέχονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Τιμές των παραμέτρων α_0 and α_1 της Εξίσωσης 2.1, όπως προτείνονται από τον κατασκευαστή του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 για τους διάφορους τύπους εδαφών.

Τύπος εδάφους	α_0	α_1
Ανόργανα εδάφη	1,8	10,1
Οργανικά εδάφη	1,4	8,4
Αμμώδη εδάφη	1,4	8,4
Αργιλώδη εδάφη	2	11

2.2.2.2. Αισθητήρας TDR300

Ο αισθητήρας TDR300 (Spectrum Technologies) διαθέτει πολλαπλά πλεονεκτήματα χρήσης, όπως είναι η δυνατότητα αλλαγής των ραβδίων από 3,8 έως 20 cm, η ύπαρξη σκελετού που διευκολύνει την δειγματοληψία και η ταχύτητα μέτρησης (Εικ. 2.2). Ο αισθητήρας TDR300 βασίζεται επίσης στο γεγονός ότι η διηλεκτρική σταθερά του ύδατος είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του αέρα και του εδάφους προκειμένου να προσδιορίσει την υγρασία σε υποστρώματα είτε στο πεδίο, είτε εργαστηριακά. Είναι εξοπλισμένος με δύο ραβδία από ανοξείδωτο ατσάλι, που δρουν ως κυματοηγούς. Το ηλεκτρονικό σύστημα που είναι ενσωματωμένο στον αισθητήρα στέλνει ένα ηλεκτρομαγνητικό παλμό προς τα ραβδία, ο οποίος «ταξιδεύει» σε όλο το μήκος τους και ανακλάται μερικώς, όταν φθάνει στο σημείο επαφής μεταξύ της άκρης του ραβδίου και του υποστρώματος. Στον TDR300 καταγράφεται ως δεδομένο η περίοδος (T), η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τον αριθμό των ανακλάσεων ανά δευτερόλεπτο. Η περίοδος αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της υγρασίας του υποστρώματος. Έτσι, όσο υψηλότερη είναι η υγρασία του υποστρώματος τόσο μεγαλύτερη είναι και η τιμή της περιόδου (T).

Ο όγκος δειγματοληψίας είναι ένας ελλειπτικός κύλινδρος, ο οποίος εκτείνεται περίπου 3 cm πέραν των άκρων των ράβδων. Ο αισθητήρας διαθέτει εσωτερικές βαθμονομήσεις προκειμένου να συσχετίσει το ποσοστό της υγρασίας και την περίοδο μόνο για «standard» και «high-clay» τύπους εδαφών (Spectrum Technologies, 2009). Ως εκ τούτου, ένα κενό υφίσταται στην πληροφόρηση όσον αφορά τη βαθμονόμηση του αισθητήρα TDR300 σε χονδρόκοκκα υποστρώματα. Με βάση το εγχειρίδιο λειτουργίας του κατασκευαστή, υψηλά ποσοστά αργίλου ή αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας ($EC > 2 \text{ dS m}^{-1}$), επηρεάζουν την ακρίβεια μέτρησης του αισθητήρα. Ομοίως, πολύ υψηλή περιεκτικότητα του υποστρώματος σε οργανική ουσία επηρεάζει την ακρίβεια του οργάνου. Το πρόβλημα της βαθμονόμησης του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι πολύ πιο δύσκολο, καθώς η κατασκευάστρια εταιρεία δεν παρέχει τη συχνότητα λειτουργίας του αισθητήρα.



Εικόνα 2.2. Ο αισθητήρας TDR 300 και η δυνατότητα που παρέχει για εναλλαγή ραβδίων (Πηγή: www.spectrometers.com).

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια προσδιορισμού της υγρασίας του υποστρώματος συνιστάται από την κατασκευάστρια εταιρεία η εκτέλεση ειδικής βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα ανάπτυξης έναντι της χρήσης των δύο εσωτερικών βαθμονομήσεων του αισθητήρα (“standard” ή “high clay”). Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι ο κατασκευαστής δεν παρέχει μια σχέση συσχετισμού της περιόδου με τη διηλεκτρική σταθερά, δεν είναι εφικτή η χρήση της Εξίσωσης 2.1 αφού δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η διηλεκτρική σταθερά του υποστρώματος. Σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ειδική βαθμονόμηση για κάθε υπόστρωμα προκειμένου να διαμορφωθεί μια σχέση μεταξύ της περιόδου και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν δύο ζεύγη ραβδίων από ανοξείδωτο ατσάλι μήκους 7,5 και 12 cm.

2.2.3. Προσδιορισμός υγρασίας σε χονδρόκοκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων

Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόστηκε βαθμονόμηση με τη χρήση δειγμάτων υποστρώματος με προκαθορισμένη περιεκτικότητα υγρασίας υπό σταθερή θερμοκρασία (23 ± 1 °C). Ο λόγος που επιλέχθηκε η μέθοδος αυτή είναι η χαμηλή συχνότητα λειτουργίας του αισθητήρα WET-2 (20 MHz) καθώς και το γεγονός ότι η συχνότητα του TDR300 είναι άγνωστη (Kargas et al., 2011). Πραγματοποιήθηκε ξήρανση των υποστρωμάτων σε ξηραντήριο στους 60 °C για 48 ώρες. Συγκεκριμένη μάζα από το κάθε ξηρό υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε ορθογώνιο κουτί από PVC με διαστάσεις 10 × 10 × 15 cm προκειμένου να επιτευχθεί μία σταθερή φαινόμενη πυκνότητα για κάθε υπόστρωμα. Ξεκινώντας από ξηρό υπόστρωμα ($\theta = 0$), προστέθηκε βαθμιαία σε ισόποσα βήματα $\Delta\theta = 0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ απιονισμένο νερό προκειμένου να δημιουργηθούν δείγματα με προκαθορισμένες περιεκτικότητες υγρασίας υποστρώματος ξεκινώντας από εντελώς ξηρό δείγμα και φθάνοντας έως το κεκορεσμένο, μεριμνώντας ώστε σε κάθε τμηματική αύξηση της υγρασίας να επιτυγχάνεται η ομοιογενής κατανομή της εντός του δείγματος. Για το σκοπό αυτό, σε κάθε βήμα πραγματοποιούνταν προσεκτική ανάμειξη δια χειρός της ποσότητας του υποστρώματος με την απαιτούμενη ποσότητα απιονισμένου νερού. Στη συνέχεια, ο αισθητήρας WET-2 τοποθετούνταν οριζόντια στο μέσο του κουτιού και λαμβάνονταν οι απαραίτητες μετρήσεις (ποσοστό υγρασίας, διηλεκτρική σταθερά, ηλεκτρική αγωγιμότητα πορώδους και θερμοκρασία) με τη χρήση του καταγραφικού HH2. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνταν ο αισθητήρας TDR300 και προσδιοριζόταν η περίοδος σε $\mu\text{seconds}$ ταυτόχρονα με την καταγραφή του ποσοστού της υγρασίας στο υπόστρωμα σύμφωνα με την εσωτερική βαθμονόμηση του κατασκευαστή χρησιμοποιώντας τη ρύθμιση “standard”. Για κάθε υπόστρωμα και σε κάθε επίπεδο υγρασίας, πραγματοποιούνταν τρεις μετρήσεις με τον κάθε αισθητήρα.

Με τη χρήση της προαναφερθείσας μεθοδολογίας παρέχεται επαρκής αριθμός ζευγών τιμών διηλεκτρικής σταθεράς και πραγματικής περιεκτικότητας σε υγρασία ($\epsilon - \theta_m$) για τον αισθητήρα WET-2, καθώς και ένας επαρκής αριθμός ζευγών τιμών περιόδου και πραγματικής υγρασίας ($\theta_m - T$) για τον αισθητήρα TDR300 για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα. Οι τιμές υγρασίας που ελήφθησαν από τους δύο αισθητήρες συγκρίθηκαν με τις πραγματικές τιμές υγρασίας του κάθε δείγματος.

Η ειδική βαθμονόμηση του αισθητήρα WET-2 βασίστηκε στην Εξίσωση 2.1, η οποία εκφράζεται σε δύο ισοδύναμες μορφές (Εξισώσεις 2.2 και 2.3) και έχει εφαρμοστεί ευρέως σε συσκευές TDR καθώς και σε άλλους διηλεκτρικούς

αισθητήρες (Ledieu et al., 1986; White et al., 1994; Spaans and Baker, 1996; Ferre and Topp, 2002; Delta-T Devices, 2005).

$$\sqrt{\varepsilon} = \alpha_1 \theta + \alpha_0 \quad [\text{Εξίσωση 2.2}]$$

Οι παράμετροι α_0 και α_1 εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος και ο υπολογισμός τους μπορεί να γίνει με δύο μεθόδους: α) Μέσω γραμμικής παλινδρόμησης όλων των ζευγών τιμών μεταξύ της πραγματικής υγρασίας υποστρώματος και της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς (CALAL) και β) με τη χρήση μόνο δύο ανεξάρτητων γνωστών ζευγών τιμών της περιεκτικότητας σε υγρασία (ξηρή κατάσταση και κορεσμός) και την τετραγωνική ρίζα της διηλεκτρικής σταθεράς (CAL). Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με ένα ξηρό δείγμα υποστρώματος, όπου το περιεχόμενο σε υγρασία είναι $\theta = 0$, και ως εκ τούτου η τιμή του α_0 λαμβάνεται εύκολα από την Εξίσωση 2.2. Η δεύτερη τιμή της υγρασίας λαμβάνεται στον κορεσμό προκειμένου να καλυφθεί το πλήρες φάσμα της υγρασίας του υποστρώματος (Seyfried et al., 2005). Η τιμή της παραμέτρου α_1 δίνεται κατόπιν από την Εξίσωση 2.3.

$$\alpha_1 = \frac{\sqrt{\varepsilon} - \sqrt{\varepsilon_{\theta=0}}}{\theta} \quad [\text{Εξίσωση 2.3}]$$

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω μεθόδους (γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιώντας όλα τα ζεύγη δεδομένων-CALAL και βαθμονόμηση δύο σημείων-CAL), υπολογίστηκαν οι εξισώσεις ειδικής βαθμονόμησης για το κάθε ένα από τα έξι υποστρώματα.

2.2.4. Προσδιορισμός της επίδρασης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υποστρωμάτων στην ακρίβεια μέτρησης των αισθητήρων

2.2.4.1. Αξιολόγηση της ευαισθησίας των αισθητήρων με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων με σταδιακή αύξηση της ηλεκτρικής τους αγωγιμότητας

Πριν τη χρήση των αισθητήρων στα επιλεγμένα υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων, διενεργήθηκαν προκαταρκτικά πειράματα, ώστε να προσδιοριστεί η ευαισθησία των αισθητήρων στα διάφορα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν 25 διαφορετικά υδατικά διαλύματα χλωριούχου νατρίου (NaCl), των οποίων η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνονταν από 0 έως 10 dS m⁻¹.

Η διηλεκτρική σταθερά για τον αισθητήρα WET-2 και η περίοδος για τον αισθητήρα TDR300 προσδιορίστηκαν στα διαλύματα καθώς αυξανόταν σταδιακά η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους. Η μέτρηση πραγματοποιούνταν με βύθιση των αισθητήρων εντός του διαλύματος μέχρις ότου, τα ραβδία τους να καλυφθούν πλήρως από το υδατικό διάλυμα. Για τον αισθητήρα TDR300, οι μετρήσεις διεξήχθησαν τόσο με τα ραβδία μήκους 7,5 cm όσο και με τα ραβδία μήκους 12 cm.

2.2.4.2. Αξιολόγηση της ευαισθησίας των αισθητήρων σε υποστρώματα με βαθμιαία αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα

Η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην ακρίβεια των μετρήσεων των δύο αισθητήρων διερευνήθηκε σε ένα εκ των έξι υποστρωμάτων φυτεμένου δώματος [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα #5)]. Διαλύματα με αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιήθηκαν για την ενυδάτωση του υποστρώματος αντί χρήσης απιονισμένου νερού. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαλυμάτων που προστέθηκαν στο υπόστρωμα ήταν 0,5, 1,5, 2,5 και 3,5 $dS\ m^{-1}$. Για κάθε επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας και για κάθε πραγματική υγρασία υποστρώματος, προσδιορίζονταν με τη χρήση του αισθητήρα WET-2 το ποσοστό της υγρασίας, η διηλεκτρική σταθερά, η ηλεκτρική αγωγιμότητα πορώδους και η θερμοκρασία. Ομοίως, για τον αισθητήρα TDR300, για κάθε επίπεδο ηλεκτρικής αγωγιμότητας και για κάθε πραγματική υγρασία υποστρώματος προσδιοριζόταν η περίοδος.

2.2.5. Στατιστικές αναλύσεις

Για κάθε υπόστρωμα και για κάθε επίπεδο υγρασίας πραγματοποιούνταν τρεις μετρήσεις με κάθε έναν από τους δύο αισθητήρες σε διαφορετικές περιοχές του δείγματος. Για κάθε υπόστρωμα φυτεμένου δώματος εξήχθη μια εξίσωση βαθμονόμησης, η οποία προήλθε από τη συσχέτιση των δεδομένων της μελέτης. Η εξαρτημένη μεταβλητή ήταν η περιεκτικότητα της υγρασίας του υποστρώματος, ενώ η ανεξάρτητη μεταβλητή ήταν τετραγωνική ρίζα της διηλεκτρικής σταθεράς για τον αισθητήρα WET-2 ή η περίοδος για τον αισθητήρα TDR300. Οι εξισώσεις παλινδρόμησης διεξήχθησαν χρησιμοποιώντας το στατιστικό πακέτο JMP (version 8; SAS Institute Inc., Cary, NC). Για τον αισθητήρα WET-2, η αξιολόγηση της συγκεκριμένης βαθμονόμησης προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τη ρίζα του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE) για τη βαθμονόμηση με χρήση του συνόλου των δεδομένων (CALAL), για τη βαθμονόμηση δύο σημείων (CAL,) και για τη

βαθμονόμηση που προτείνεται από τον κατασκευαστή. Η χρήση της ίδιας διαδικασίας δεν ήταν δυνατό να εφαρμοστεί και στον αισθητήρα TDR300 καθώς σε αυτήν την περίπτωση, η σχέση μεταξύ της περιόδου και της διηλεκτρικής σταθεράς ήταν πολυωνυμική 2^{ου} βαθμού και όχι γραμμική.

2.3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

2.3.1. Βαθμονόμηση των δύο αισθητήρων

2.3.1.1. Αισθητήρας WET-2

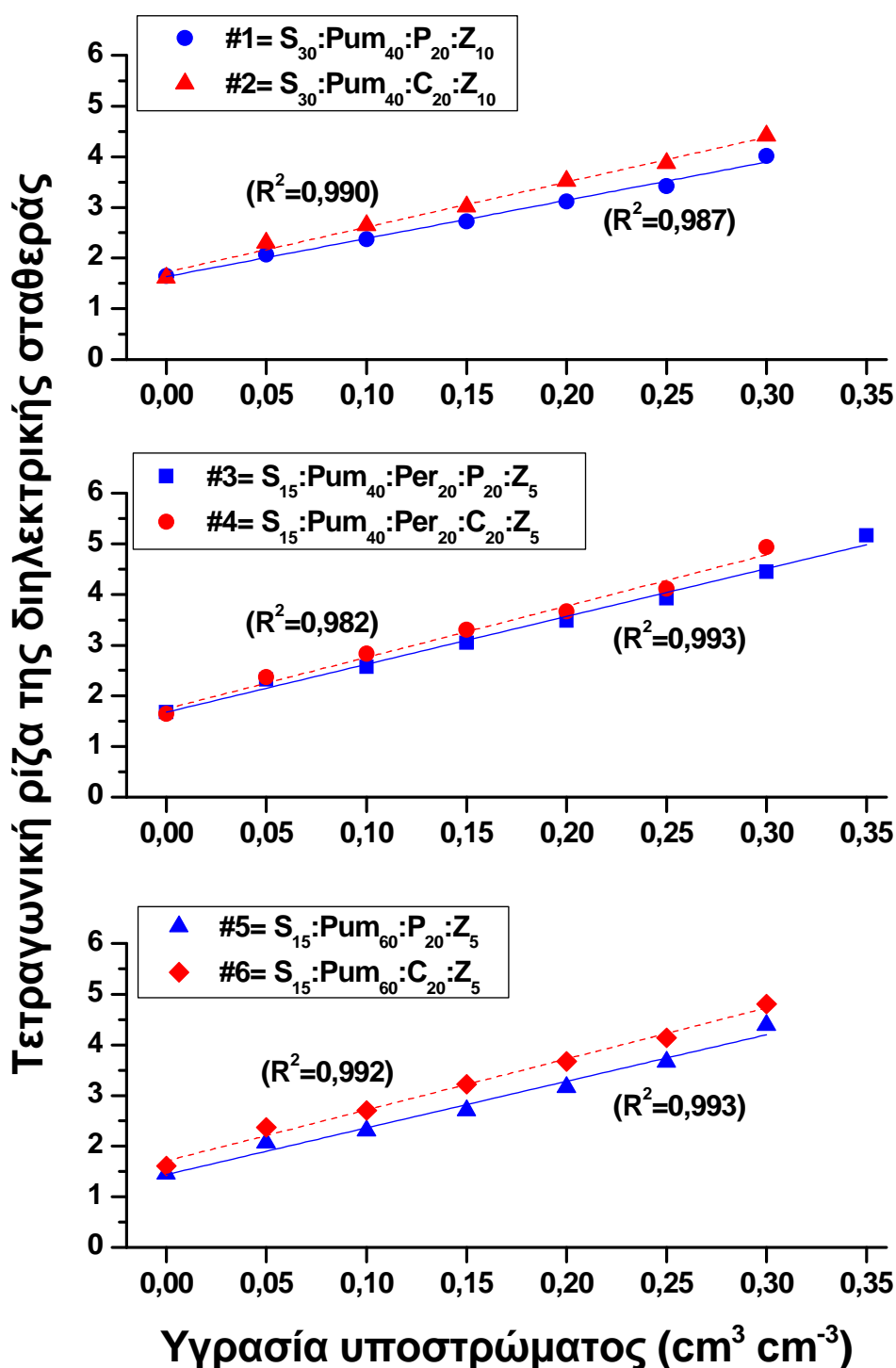
Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος είναι ισχυρά γραμμική με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης R^2 ($0,982 < R^2 < 0,993$) και για τα έξι υποστρώματα (Διάγρ. 2.1). Ως εκ τούτου, για τα χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων μια απλή γραμμική σχέση μπορεί να περιγράψει τη σχέση μεταξύ τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος, όπως ακριβώς προτείνεται από τον κατασκευαστή του αισθητήρα και για άλλους τύπους πορωδών μέσων. Η σχέση αυτή έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική και για άλλους αισθητήρες επίσης (Kargas and Kerkides, 2008; Kargas and Soulis, 2011).

Οι τιμές των παραμέτρων α_0 και α_1 , είτε αυτές προσδιορίζονται από τη γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας όλα τα πειραματικά δεδομένα (CALAL), είτε μέσω της βαθμονόμησης δύο σημείων (CAL), ήταν παρόμοιες για όλα τα υποστρώματα (Πίν. 2.2).

Για την εκτίμηση της κάθε συγκεκριμένης βαθμονόμησης, υπολογίστηκε η ρίζα του μέσου τετράγωνου του σφάλματος (RMSE) με βάση την Εξίσωση 2.4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\theta_m - \theta)^2}{n}} \quad [\text{Εξίσωση 2.4}]$$

όπου θ_m είναι η πραγματική περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία, θ είναι η προβλεπόμενη τιμή της υγρασίας είτε μέσω των ειδικών βαθμονομήσεων CALAL και CAL, είτε μέσω της βαθμονόμησης που παρέχει ο κατασκευαστής και n ο αριθμός των ζευγών $\theta_m - \theta$.



Διάγραμμα 2.1. Συσχέτιση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας υποστρώματος (cm³ cm⁻³) για το διηλεκτρικό αισθητήρα WET-2 στα έξι υπό μελέτη υποστρώματα [S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀ (1), S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀ (2), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅ (3), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ (4), S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ (5), S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες]. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν τον μέσο όρο τριών επαναλήψεων.

Πίνακας 2.2. Τιμές των παραμέτρων α_0 και α_1 και της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος (RMSE) των γραμμικών παλινδρομήσεων του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 χρησιμοποιώντας είτε την ειδική βαθμονόμηση με χρήση όλων των μετρήσεων (CALAL) είτε αυτή με τις δύο ακραίες τιμές (CAL) για τα έξι υποστρώματα [$S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (1), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (5), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες]. Παρατίθενται επίσης οι τιμές της τετραγωνικής ρίζας του μέσου τετραγώνου του σφάλματος σύμφωνα με την εργοστασιακή βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας τις ενδείξεις “ανόργανα εδάφη” και “οργανικά εδάφη” του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2.

Υπόστρωμα	CALAL		CAL		RMSE			
	α_0^\dagger	α_1	α_0	α_1	Αισθητήρας WET-2 “ανόργανα εδάφη”	Αισθητήρας WET-2 “οργανικά εδάφη”	CALAL	CAL
$S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (1)	1,68	9,42	1,67	9,23	0,026	0,049	0,011	0,012
$S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (2)	1,74	10,12	1,64	10,93	0,011	0,075	0,011	0,012
$S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3)	1,44	9,19	1,44	9,83	0,049	0,025	0,013	0,017
$S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4)	1,70	10,1	1,61	10,63	0,027	0,071	0,010	0,011
$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (5)	1,63	7,53	1,64	7,90	0,060	0,017	0,008	0,012
$S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (6)	1,72	8,87	1,61	9,33	0,028	0,048	0,008	0,010

$\dagger \alpha_0$ η τομή και α_1 η κλίση της εξίσωσης $\sqrt{\varepsilon} = \alpha_1 \theta + \alpha_0$, όπου ε = διηλεκτρική σταθερά και θ = υγρασία του υποστρώματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, η βαθμονόμηση μέσω της γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιώντας όλα τα πειραματικά δεδομένα (CALAL), οδήγησε σε καλύτερη συσχέτιση ($0,008 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,013 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) σε σύγκριση με βαθμονόμηση των δύο σημείων (Πίν. 2.2). Ωστόσο, η βαθμονόμηση των δύο σημείων παρέιχε επίσης επαρκώς αξιόπιστα αποτελέσματα ($0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,017 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), ενώ ως μεθοδολογία ήταν σχετικά ευκολότερη σε σχέση με τη βαθμονόμηση η οποία χρησιμοποιούσε όλα τα πειραματικά δεδομένα (Πίν. 2.2). Ως εκ τούτου, η βαθμονόμηση των δύο σημείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνήθεις μετρήσεις υγρασίας σε υποστρώματα φυτεμένων δωματίων χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα WET-2.

Για τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη, η χρήση της καμπύλης βαθμονόμησης που προτείνεται από τον κατασκευαστή και αναφέρεται ως “οργανικά εδάφη” ($\alpha_0 = 1,4$ και $\alpha_1 = 8,4$) παρέιχε καλύτερες τιμές RMSE ($0,017 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,049 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) σε σύγκριση με την καμπύλη βαθμονόμησης που αναφέρεται ως “ανόργανα εδάφη” ($0,026 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,060 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) (Πίν. 2.2). Αντίθετα, για τα υποστρώματα που περιείχαν κόμποστ αντί της τύρφης ως οργανικό συστατικό, η βαθμονόμηση του κατασκευαστή που αναφέρεται ως “ανόργανα εδάφη” ($\alpha_0 = 1,8$ and $\alpha_1 = 10,1$) παρέιχε καλύτερες τιμές RMSE ($0,011 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,028 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) σε σύγκριση με τη βαθμονόμηση “οργανικά εδάφη” ($0,048 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,075 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Οι διαφορές αυτές υποδεικνύουν ευκρινώς την ανάγκη διεξαγωγής ειδικής βαθμονόμησης των υποστρωμάτων και τον προσδιορισμό συγκεκριμένων τιμών α_0 and α_1 , λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κάθε υποστρώματος.

Αυξάνοντας στα υποστρώματα το ποσοστό συμμετοχής της ελαφρόπετρας από 40% σε 60%, ενώ η αναλογία μεταξύ ανόργανων-οργανικών συστατικών παρέμενε σταθερή σε αναλογία 80:20, παρατηρήθηκε μείωση στις τιμές της παραμέτρου α_1 και στα δύο υποστρώματα [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (5), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (6)] τα οποία περιελάμβαναν τύρφη ή κομποστ (7,53 και 8,87, αντίστοιχα, Πίν. 2.2). Σε αντίθεση, οι τιμές του α_0 ήταν σχεδόν παρόμοιες μεταξύ των υποστρωμάτων που περιείχαν ελαφρόπετρα σε ποσοστό είτε 60%, είτε 40% πλην του υποστρώματος $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3). Επομένως, είναι σαφές ότι για τον προσδιορισμό της υγρασίας σε υποστρώματα φυτοδωματίων με τη χρήση του αισθητήρα WET-2, κρίνεται απαραίτητος ο προσδιορισμός των συγκεκριμένων τιμών των παραμέτρων α_0 και α_1 για κάθε διακριτό υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνεται να έρχονται σε αντίθεση με εκείνα των Nemali et al. (2007), οι οποίοι αξιολόγησαν διάφορους διηλεκτρικούς αισθητήρες σε εννέα υποστρώματα με αναλογία

οργανικών προς ανόργανων συστατικών 60-40% και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, ανεξάρτητα από το είδος των οργανικών και ανόργανων συστατικών που χρησιμοποιούνταν για τη δημιουργία ενός υποστρώματος, μια ενιαία εξίσωση βαθμονόμησης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία. Το αντίθετο αυτό συμπέρασμα σε σχέση με τα παρόντα ευρήματα, πιθανόν να οφείλεται στις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας των διηλεκτρικών αισθητήρων (70 και 100 MHz) που χρησιμοποιήθηκαν από τους Nemali et al. (2007) σε σχέση με τον αισθητήρα WET-2 (20 MHz) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υποστρωμάτων, όπως αυτή μετρήθηκε με τη χρήση του αισθητήρα WET-2 και με βάση το μοντέλο του Hilhorst (2000), παρείχε τιμές οι οποίες κυμαίνονταν από 1,44 έως 2,82 dS m⁻¹. Τα υποστρώματα που περιελάμβαναν κομπόστ παρουσίασαν υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας πορώδους (2,5 dS m⁻¹ < EC_p < 2,82 dS m⁻¹) σε σύγκριση με εκείνα που περιελάμβαναν τύρφη (1,44 dS m⁻¹ < EC_p < 1,77 dS m⁻¹). Ωστόσο, η εξίσωση βαθμονόμησης των υποστρωμάτων με κομπόστ δεν επηρεάστηκε από την ηλεκτρική αγωγιμότητα πορώδους μέχρι το όριο των 2,82 dS m⁻¹, γεγονός που τεκμηριώνεται και από τις υψηλές τιμές του συντελεστή συσχέτισης R² μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος (Διάγρ. 2.1).

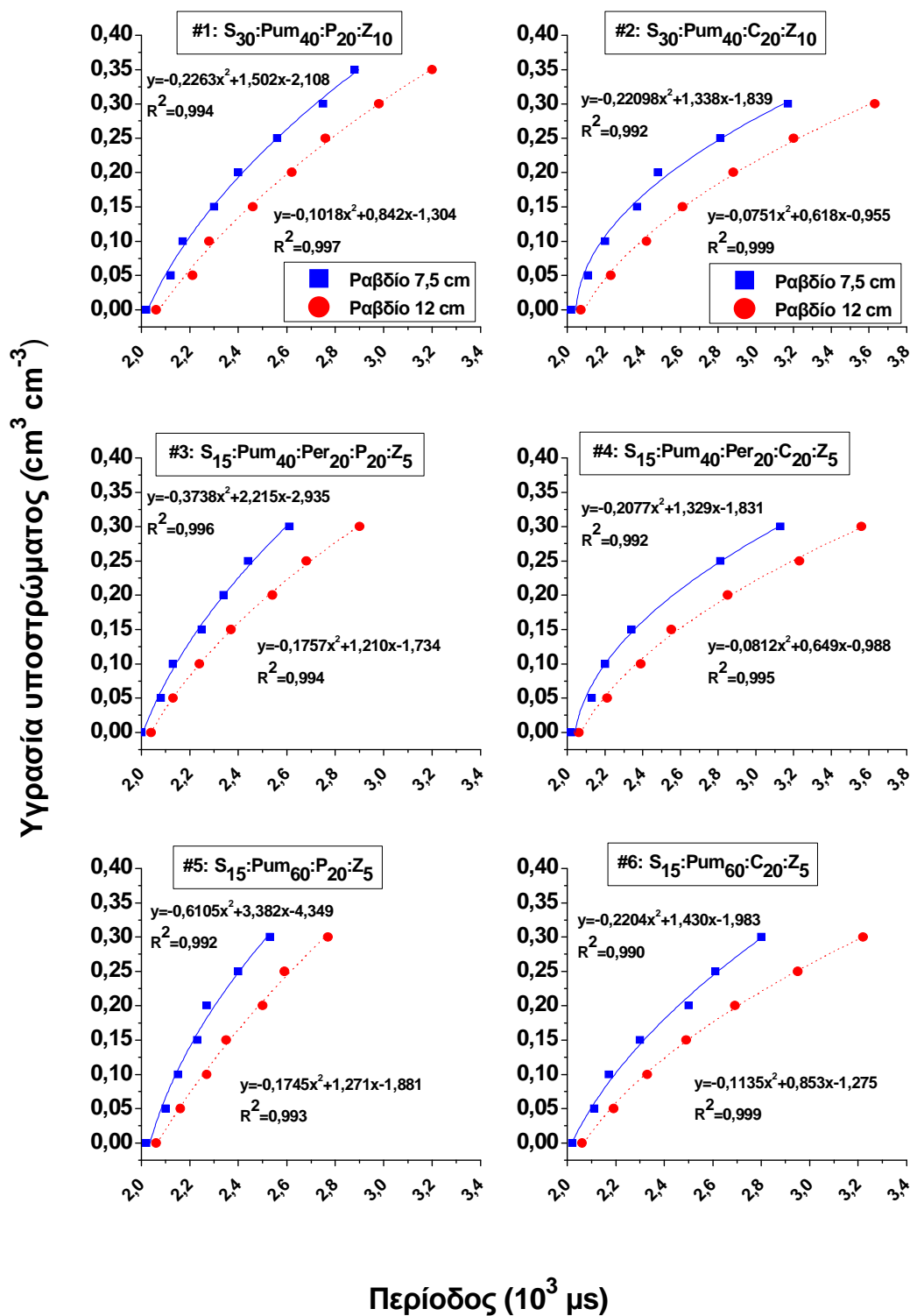
2.3.1.2. Αισθητήρας TDR 300

Σε αντίθεση με τον αισθητήρα WET-2, ο οποίος λειτουργεί βάση του προσδιορισμού της διηλεκτρικής σταθεράς, ο αισθητήρας TDR300 καταγράφει την περίοδο και υπολογίζει το ποσοστό της υγρασίας με τη χρήση μίας εσωτερικής εξίσωσης του οργάνου. Με τον τρόπο αυτό, η διαδικασία της συγκεκριμένης βαθμονόμησης του αισθητήρα TDR300 διαφέρει από αυτή του WET-2. Στην περίπτωση αυτή, η σχέση μεταξύ της περιόδου και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος πρέπει να διερευνηθεί για κάθε ένα υπόστρωμα. Διαπιστώθηκε ότι για την ίδια πραγματική υγρασία υποστρώματος, η περίοδος ήταν πάντα μεγαλύτερη στα ραβδία μήκους 12 cm σε σχέση με αυτά μήκους 7,5 cm (Διάγρ. 2.2). Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού αυξάνοντας τους κυματοδηγούς αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής του σήματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η περίοδος.

Για όλα τα υποστρώματα και για τα δύο μήκη ραβδίων (7,5 και 12 cm), η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της περιόδου και της πραγματικής

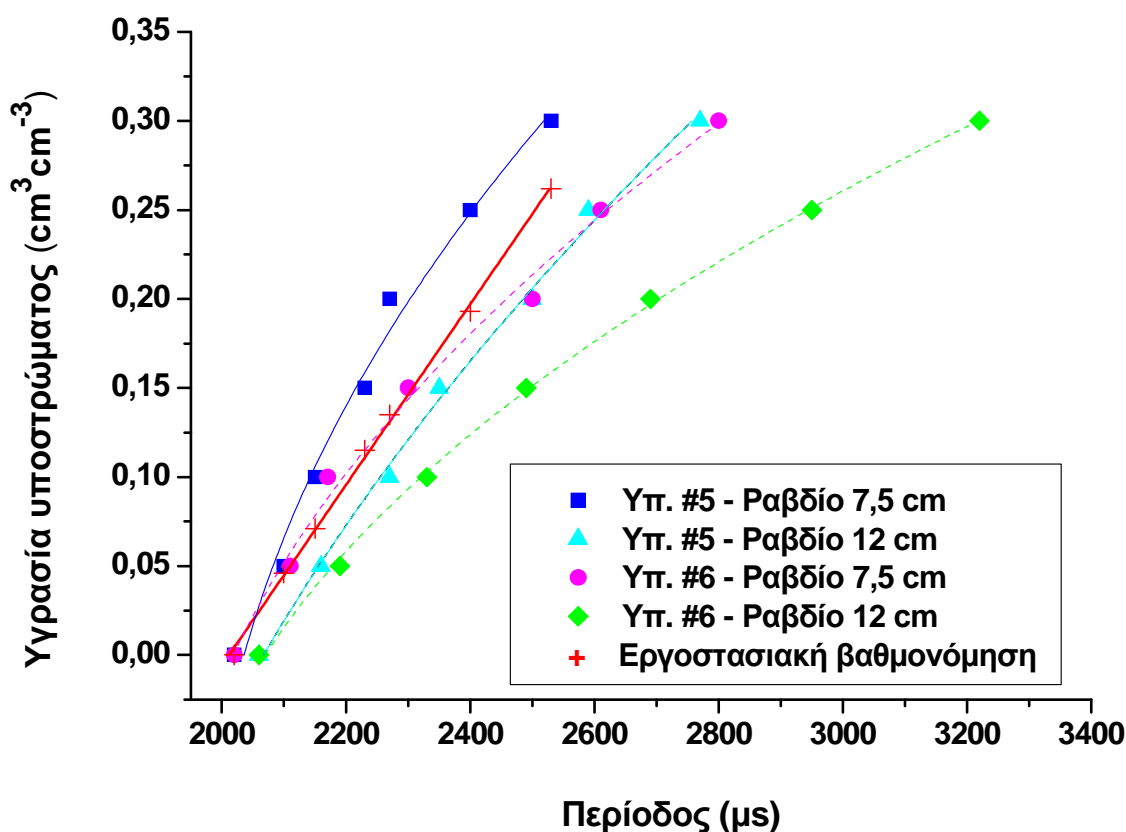
υγρασίας του υποστρώματος ήταν πολυωνυμική δευτέρου βαθμού με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης R^2 (Διάγρ. 2.2). Αντίθετα, η εσωτερική βαθμονόμηση του κατασκευαστή που αναφέρεται ως “standard” μεταξύ της υγρασίας και της περιόδου, (θ -T) βρέθηκε να είναι γραμμική με $R^2 > 0,99$ σε όλες τις περιπτώσεις.

Επιπλέον, διερευνήθηκε κατά πόσο τα υποστρώματα με την ίδια ποσότητα και είδος οργανικού συστατικού (για παράδειγμα τα υποστρώματα # 1, # 3 και # 5 ή τα υποστρώματα # 2, # 4 και # 6) θα μπορούσαν να βαθμονομηθούν με τη χρήση μιας ενιαίας εξίσωσης (Διάγρ. 2.2). Διαπιστώθηκε ότι όμοια με τα ευρήματα που αφορούσαν τον αισθητήρα WET-2, έτσι και για τον αισθητήρα TDR300 απαιτείται διακριτή καμπύλη βαθμονόμησης για κάθε ένα υπόστρωμα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αυτά των Morel and Michel (2004), οι οποίοι αξιολόγησαν τη χρήση του TDR σε διάφορους τύπους υποστρωμάτων. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι για υγρασία υποστρώματος $\theta_m=0,2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, οι τιμές της περιόδου του TDR300, όταν χρησιμοποιήθηκαν τα ραβδία μήκους 7,5 cm, ήταν 2.400, 2.340 και 2.270 μs για τα υποστρώματα # 1, # 3 και # 5, αντιστοίχως (Διάγρ. 2.2).



Διάγραμμα 2.2. Συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής υγρασίας υποστρώματος ($cm^3 cm^{-3}$) και της περιόδου (μs) όπως δίνεται από τον διηλεκτρικό αισθητήρα TDR300 για τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα [$S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (1), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (5), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] και χρησιμοποιώντας δύο μήκη ραβδίων 7,5 ή 12 cm. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων.

Προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση του είδους του οργανικού συστατικού των υποστρωμάτων στην εξίσωση βαθμονόμησης του αισθητήρα TDR300, συγκρίθηκαν δύο υποστρώματα, τα οποία είχαν την ίδια ανόργανη σύνθεση [$S_{15}:P_{160}:Z_5$ (5), $S_{15}:P_{160}:C_{20}:Z_5$ (6)] και τα οποία διέφεραν μεταξύ τους μόνο ως προς το είδος τους οργανικού συστατικού (τύρφη ή κομπόστ) (Διάγρ. 2.3). Διαπιστώθηκε ότι για το ίδιο επίπεδο πραγματικής υγρασίας, στο υπόστρωμα που περιελάμβανε κομπόστ παρουσιάστηκαν πολύ μεγαλύτερες τιμές περιόδου σε σύγκριση με το υπόστρωμα το οποίο περιελάμβανε τύρφη. Κατά συνέπεια, οι μεγαλύτερες τιμές της περιόδου στο υπόστρωμα #6 με κομπόστ προκάλεσαν μια υπερεκτίμηση του ποσοστού υγρασίας, με βάση τη “standard” εξίσωση βαθμονόμησης του κατασκευαστή για τιμές υγρασίας μεγαλύτερες από $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Αντίθετα, στο υπόστρωμα #5, το οποίο περιελάμβανε τύρφη, η εξίσωση βαθμονόμησης του κατασκευαστή “standard” οδήγησε σε υποεκτίμηση του ποσοστού υγρασίας του υποστρώματος. Η παρατήρηση αυτή στο υπόστρωμα με τύρφη πιθανότατα οφείλεται στο φαινόμενο της «δεσμευμένης υγρασίας». Στην περίπτωση αυτή η διηλεκτρική σταθερά του πορώδους μέσου είναι χαμηλότερη σε σχέση με ένα άλλο το οποίο έχει την ίδια περιεκτικότητα υγρασίας, αλλά δεν παρουσιάζει το φαινόμενο της δεσμευμένης υγρασίας (Dasperg and Hopmans, 1992; Anisko et al., 1994). Αντίθετα, στην περίπτωση του υποστρώματος με κομπόστ, η παρατηρούμενη υπερεκτίμηση για τα επίπεδα υγρασίας μεγαλύτερα από $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη αλατότητα του υποστρώματος. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υποστρωμάτων που περιέχουν κομπόστ, όπως αυτή υπολογίστηκε από το μοντέλο του Hilhorst (2000), κυμαίνονταν από 2,5 έως $2,82 \text{ dS m}^{-1}$. Οι τιμές αυτές, ήταν μεγαλύτερες από το όριο των 2 dS m^{-1} και ενδεχομένως θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ακρίβεια της μέτρησης του αισθητήρα TDR300. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε ιδιαιτερότητες της λειτουργίας του συγκεκριμένου αισθητήρα και επομένως η ευαισθησία αυτή διερευνήθηκε περαιτέρω.



Διάγραμμα 2.3. Συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής υγρασίας υποστρώματος ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) και της περιόδου (μs) όπως δίνεται από το διηλεκτρικό αισθητήρα TDR300 για τα υποστρώματα $S_{15}:P_{10m_{60}}:P_{20}:Z_5$ (5) και $S_{15}:P_{10m_{60}}:C_{20}:Z_5$ (6) (όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{10m} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) και χρησιμοποιώντας δύο μήκη ραβδίων 7.5 ή 12 cm. Η εργοστασιακή βαθμονόμηση δίνεται επίσης για το υπόστρωμα #5 και για μήκος ραβδίου 7,5 cm. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων.

2.3.2. Αποτελέσματα της επίδρασης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υποστρωμάτων στην ακρίβεια μέτρησης των αισθητήρων

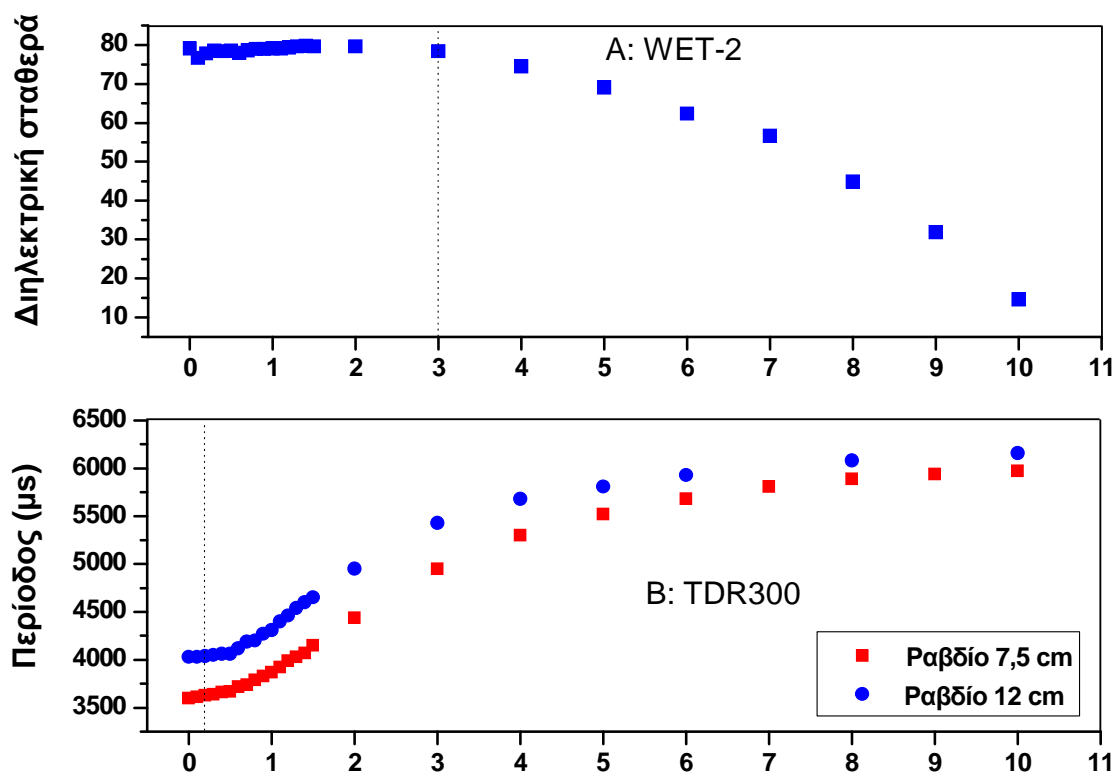
2.3.2.1. Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υδατικών διαλυμάτων στην ακρίβεια των μετρήσεων των αισθητήρων

Η διηλεκτρική σταθερά του αισθητήρα WET-2 παρέμεινε σχετικά σταθερή καθώς η ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαλυμάτων αυξάνονταν από 0 σε 3 dS m^{-1} (Διάγρ. 2.4A). Αντίθετα, όταν οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υπερέβησαν το όριο των 3 dS m^{-1} , οι τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς μειώθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά των Regalado et al. (2007) και έρχονται σε αντίθεση

με τους ισχυρισμούς του κατασκευαστή ότι για τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας μικρότερες ή ίσες με 6 dS m^{-1} δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες επιπτώσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς.

Για τον αισθητήρα TDR300, η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσίασε μια εντελώς διαφορετική αντίδραση σε σύγκριση με τον αισθητήρα WET-2 (Διάγρ. 2.4B). Πιο συγκεκριμένα, η σταδιακή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της περιόδου από την αρχική τιμή των $3.600 \mu\text{s}$ (απιονισμένο νερό), ακόμη και για πολύ χαμηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας $0,2 \text{ dS m}^{-1}$ για τα ραβδία μήκους $7,5 \text{ cm}$. Σύμφωνα με το εγχειρίδιο λειτουργίας του αισθητήρα TDR300, η ένδειξη του ποσοστού υγρασίας σε απιονισμένο νερό θα πρέπει να κυμαίνεται από 70% έως 75% για τα ραβδία μήκους 12 cm . Πράγματι, στη μελέτη μας, όταν τα ραβδία μήκους 12 cm βυθίστηκαν σε απιονισμένο νερό με ηλεκτρική αγωγιμότητα 0 dS m^{-1} , η ένδειξη του αισθητήρα TDR300 ήταν 73,1% υγρασία και η αντίστοιχη τιμή της περιόδου ήταν $4.130 \mu\text{s}$. Ωστόσο, όταν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο υδατικό διάλυμα ήταν 10 dS m^{-1} , η περίοδος έφθασε περίπου στην τιμή των $6.000 \mu\text{s}$, η οποία αντιστοιχούσε σε ένα μη υπαρκτό ποσοστό υγρασίας της τάξης του 195%. Έτσι, αποδεικνύεται ότι ο αισθητήρας TDR300 είναι ευαίσθητος στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Κατά συνέπεια, η αύξηση της περιόδου εξαιτίας της αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα διαλύματα οδήγησε σε αυξημένες τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς (Topp et al., 2000).

Από την προαναφερθείσα ανάλυση είναι προφανές ότι κάθε ένας από τους δύο αισθητήρες είχε διαφορετική αντίδραση στα διάφορα επίπεδα αλατότητας. Αυτό φαίνεται να είναι ένα αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο, το οποίο επηρεάζεται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε αισθητήρα, όπως είναι για παράδειγμα, η συχνότητα λειτουργίας του.



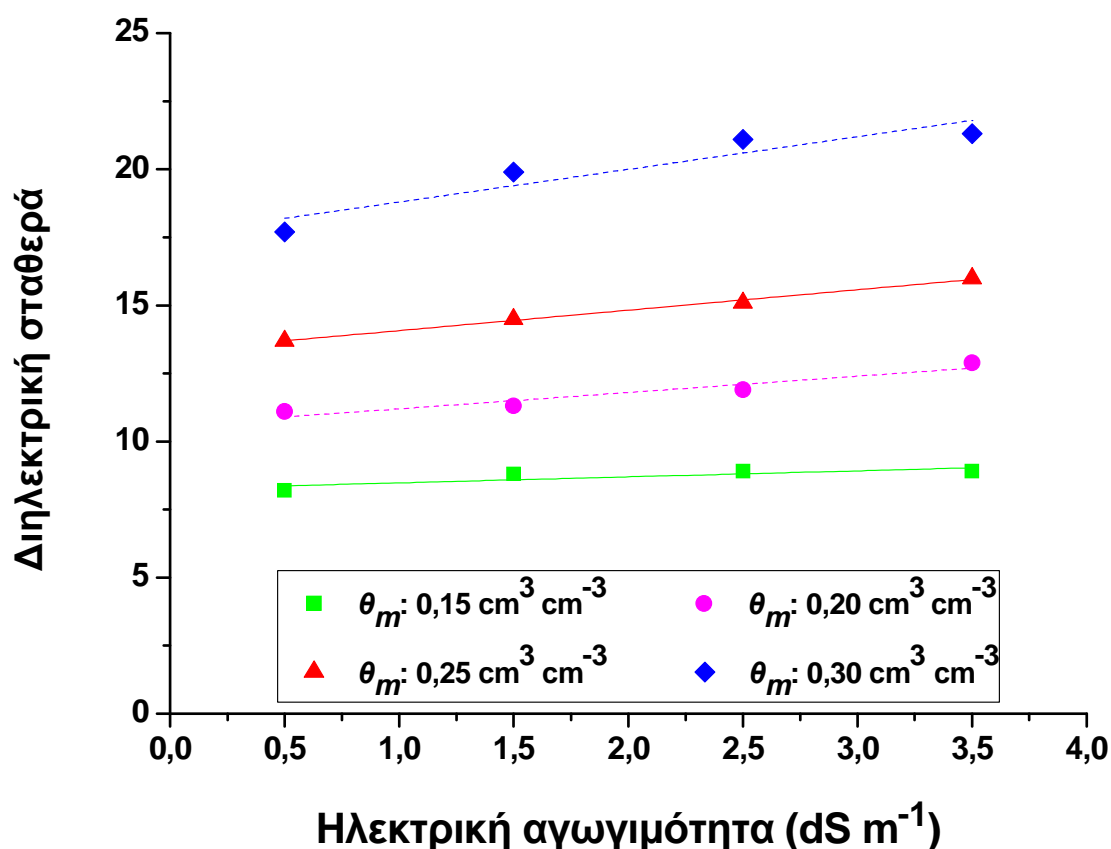
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (dS m⁻¹)

Διάγραμμα 2.4. Α) Μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς σε σχέση με την αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαλυμάτων για τον διηλεκτρικό αισθητήρα WET-2. Β) Μεταβολές της περιόδου σε σχέση με την αυξανόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα των διαλυμάτων για τον διηλεκτρικό αισθητήρα TDR300 χρησιμοποιώντας δύο μήκη ραβδίων 7,5 ή 12 cm. Οι στικτές γραμμές αντιπροσωπεύουν το κατώφλι μετά το οποίο η ηλεκτρική αγωγιμότητα παρεμβαίνει στις μετρήσεις των διηλεκτρικών αισθητήρων.

2.3.2.2. Επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος στην ακρίβεια των μετρήσεων των αισθητήρων

Από τη μελέτη διαπιστώθηκε πως για τον αισθητήρα WET-2 η σχέση μεταξύ της διηλεκτρικής σταθεράς και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν γραμμική με συντελεστή συσχέτισης R^2 μεγαλύτερο από 0,91. Η επίδραση της αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη διηλεκτρική σταθερά ήταν μικρή και σχεδόν η ίδια σε όλα τα επίπεδα υγρασίας του υποστρώματος όπως αυτό υποδεικνύεται από τις παρόμοιες κλίσεις των ευθειών (Διάγρ. 2.5). Η μεταβολή της διηλεκτρικής σταθεράς παρουσίασε μία μέγιστη μεταβολή της υγρασίας της τάξης των $0,032 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ καθώς αυξάνονταν οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο υψηλότερο επίπεδο υγρασίας υποστρώματος ($\theta = 0,3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Με βάση όλα τα παραπάνω είναι προφανές ότι ο αισθητήρας WET-2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τιμές ηλεκτρικής

αγωγιμότητας έως και $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ με μια ενιαία εξίσωση βαθμονόμησης για συνήθεις μετρήσεις υγρασίας πεδίου.

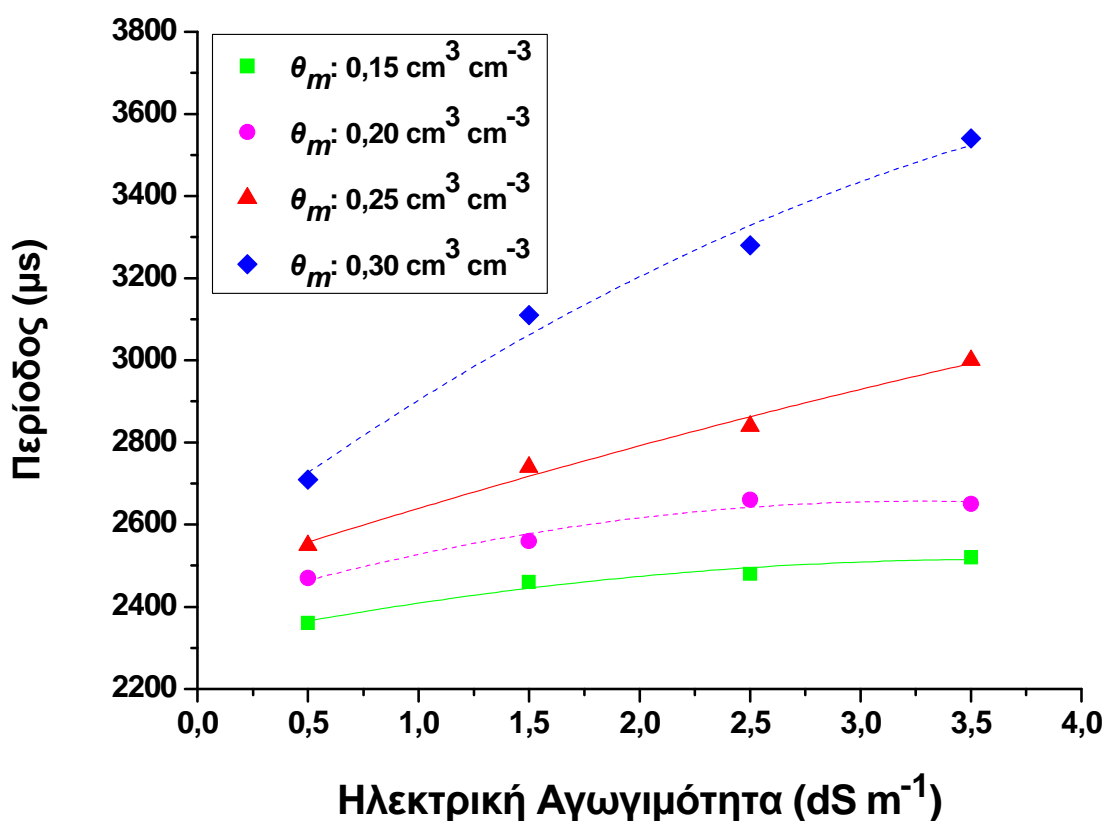


Διάγραμμα 2.5. Αλληλεπίδραση της αυξανόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του επιπέδου της υγρασίας υποστρώματος (θ_m , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) στις μετρήσεις του διηλεκτρικού αισθητήρα WET-2 χρησιμοποιώντας το υπόστρωμα #5 ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων.

Προκειμένου να συγκριθεί η επίδραση της αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ των δύο αισθητήρων, η ίδια έρευνα διεξήχθη και για τον αισθητήρα TDR300. Η επίδραση της αύξησης της αλατότητας στον αισθητήρα TDR300 ήταν πολυωνυμικής μορφής $2^{\text{ου}}$ βαθμού (Διάγρ. 2.6). Η συμπεριφορά αυτή του αισθητήρα, φαίνεται να επηρεάζεται τόσο από το ποσοστό της υγρασίας όσο και από το επίπεδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος. Έτσι, σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας ($0,15$ και $0,2 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος εμφάνισε μικρότερες επιπτώσεις στις μετρήσεις του αισθητήρα. Αντίθετα, σε υψηλότερα επίπεδα υγρασίας ($0,3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) η

επίδραση της αύξησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, σε επίπεδο υγρασίας $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, οι τιμές της περιόδου κυμαίνονταν από 2.360 έως 2.520 μs για τα αντίστοιχα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας από 0,5 έως 3,5 dS m^{-1} . Για υγρασία $0,3 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, οι τιμές της περιόδου κυμαίνονταν από 2.710 έως 3.540 μs ανάλογα με το επίπεδο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Διάγρ. 2.6).

Έτσι, στα υποστρώματα με κομπόστ, τα οποία είχαν αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, αναμένεται για τα ίδια επίπεδα υγρασίας, η υπερεκτίμηση της περιόδου να εμφανιστεί από τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας της τάξης των 1,5 dS m^{-1} , καταδεικνύοντας ότι το ανώτατο όριο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, το οποίο αναφέρεται από τον κατασκευαστή (2 dS m^{-1}) είναι ανακριβές γι' αυτού του είδους τα υποστρώματα (Διάγρ. 2.6).



Διάγραμμα 2.6. Αλληλεπίδραση της αυξανόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του επιπέδου της υγρασίας υποστρώματος (θ_m , $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) στις μετρήσεις του διηλεκτρικού αισθητήρα TDR300, ο οποίος φέρει ραβδί μήκους 7,5 cm, χρησιμοποιώντας το υπόστρωμα #5 ($S_{15}:P_{10}m_{60}:P_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P₁₀= ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο τριών επαναλήψεων.

Η ευαισθησία του αισθητήρα TDR300 στην ηλεκτρική αγωγιμότητα καθώς και η αλληλεπίδρασή της με το επίπεδο της υγρασίας του υποστρώματος, καθιστούν αρκετά περίπλοκη τη διαδικασία βαθμονόμησης αυτού. Η όλη διαδικασία βαθμονόμησης μπορεί να διευκολυνθεί μόνο στις περιπτώσεις εκείνες όπου, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού άρδευσης είναι σταθερή και δεν πραγματοποιούνται μεταβολές στη συγκέντρωση αλάτων στο υπόστρωμα. Σε περίπτωση που οι προαναφερθείσες προϋποθέσεις δεν ισχύουν, τότε κρίνεται απαραίτητος ο περιοδικός έλεγχος της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος και παράλληλα η διενέργεια καινούργιας ειδικής βαθμονόμησης. Ωστόσο, όταν τα επίπεδα υγρασίας είναι χαμηλά (έως $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν έχει σημαντική επίπτωση στην ακρίβεια μέτρησης του αισθητήρα TDR300. Δεδομένου όμως ότι, αποκλίσεις από τις προαναφερθείσες προϋποθέσεις παρατηρούνται συχνά σε υποστρώματα φυτεμένων δωματίων (δηλαδή, $\theta > 0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), είναι προφανές ότι απαιτείται ειδική βαθμονόμηση για κάθε υπόστρωμα.

2.4. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η αξιολόγηση της ακρίβειας προσδιορισμού της υγρασίας σε υποστρώματα φυτεμένων δωματίων με συγκεκριμένη βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας τους διηλεκτρικούς αισθητήρες WET-2 και TDR300 καθώς και ο προσδιορισμός της επίδρασης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του υποστρώματος στην ακρίβεια των μετρήσεων της υγρασίας. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης εξήχθησαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Για τον αισθητήρα WET-2, βρέθηκε ότι η σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος ήταν ισχυρά γραμμική με πολύ υψηλό συντελεστή συσχέτισης R^2 για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα των φυτεμένων δωματίων. Ωστόσο, απαιτείται ο προσδιορισμός των παραμέτρων a_0 και a_1 της εξίσωσης γραμμικής παλινδρόμησης για κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά. Η πιο απλοποιημένη μέθοδος βαθμονόμησης των δύο σημείων για τον αισθητήρα WET-2 παρουσίασε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα προσδιορισμού της πραγματικής υγρασίας υποστρώματος ($0,01 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} < \text{RMSE} < 0,017 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) απαιτώντας πολύ λιγότερο χρόνο σε σύγκριση με τη μεθοδολογία βαθμονόμησης πολλαπλών σημείων. Οι μεταβολές της διηλεκτρικής σταθεράς καθώς αυξανόταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα είχαν ως αποτέλεσμα μία μέγιστη μεταβολή της υγρασίας της τάξης του $0,032 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα ο αισθητήρας

WET-2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικές αγωγιμότητες υποστρώματος έως $3,5 \text{ dS m}^{-1}$, χρησιμοποιώντας μία μόνο εξίσωση βαθμονόμησης.

2. Ο αισθητήρας TDR300 απαιτεί επίσης διακριτές καμπύλες βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα φυτεμένου δώματος, προκειμένου να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ της πραγματικής υγρασίας και της περιόδου. Η σχέση μεταξύ υγρασίας και περιόδου ήταν πολυωνυμική δευτέρου βαθμού. Επιπροσθέτως, οι μετρήσεις του αισθητήρα TDR300 παρουσίασαν μια πολυωνυμική μορφή δευτέρου βαθμού καθώς αυξάνονταν τα επίπεδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η σχέση αυτή βρέθηκε να επηρεάζεται επιπλέον και από την υγρασία του υποστρώματος. Με βάση τα παραπάνω, η ακρίβεια του αισθητήρα TDR300 είναι αμφισβητήσιμη σε συνθήκες αυξημένης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνδυασμό με αυξημένη υγρασία υποστρώματος. Αντίθετα, όταν η υγρασία στο υπόστρωμα είναι μικρότερη από $0,15 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, η αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει μικρή επίδραση και τα αποτελέσματα των μετρήσεων του TDR300 είναι πιο ακριβή.

Κεφάλαιο 3

Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του *Zoysia matrella* 'Zeon'

Περίληψη

Η χρήση χλοοταπήτων σε προσαρμόσιμα εκτατικά φυτοδώματα μπορεί να προσφέρει μια βιώσιμη λύση για την αύξηση του αστικού πρασίνου στις ημιξηρικές περιοχές της Μεσογείου. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν περιορισμένα ερευνητικά δεδομένα όσον αφορά την εγκατάσταση και διαχείριση χλοοταπήτων σε φυτοκαλυμμένα εκτατικά φυτοδώματα. Ο σκοπός της μελέτης ήταν: α) να διερευνηθεί η επίδραση τεσσάρων διαφορετικών υποστρωμάτων αποτελούμενων από υλικά διαθέσιμα στην τοπική αγορά ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$, και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = 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 γρασιδιού *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon', β) η αξιολόγηση της ικανότητας τοπικά παραγόμενου κομπόστ να υποκαταστήσει την τύρφη ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό σε υποστρώματα φυτοδωμάτων, γ) να προσδιοριστεί η επίδραση του ποσοστού του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων, στην ανάπτυξη και αντοχή του *Z. matrella* στην υδατική καταπόνηση και δ) να αξιολογηθεί η αντοχή του *Z. matrella* στη συνδυασμένη επίδραση τεσσάρων υποστρωμάτων και δύο διαφορετικών βαθών σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος και υπό υδατική καταπόνηση. Οι μετρήσεις περιελάμβαναν: α) τον καθορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων (κοκκομετρία, ξηρό βάρος και βάρος στον κορεσμό, ολικό πορώδες, χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, *in situ* υγρασία υποστρώματος, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα και περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και β) τον προσδιορισμό της οπτικής ποιότητας και της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα μέσω του προσδιορισμού του ποσοστού της εδαφοκάλυψης από πράσινα φυτικά τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Cover), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) και της στοματικής αντίστασης των φύλλων του γρασιδιού (LSR, Leaf Stomatal Resistance). Διαπιστώθηκε πως, κατά την εγκατάσταση του χλοοτάπητα οπότεν εφαρμοζόταν επαρκής άρδευση, τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) σε συνδυασμό με τα υποστρώματα τα οποία περιελάμβαναν κομπόστ ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ and $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές GTC, ενώ τα αβαθή υποστρώματα (7,5 cm) που περιελάμβαναν τύρφη ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ and $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τις χαμηλότερες τιμές GTC. Το αντίθετο παρατηρήθηκε κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης, όπου στο υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, το οποίο περιείχε τύρφη και σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος εμφάνισε τη μικρότερη υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα, καθώς εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές GTC και NDVI και τις χαμηλότερες τιμές LSR. Τα υποστρώματα τα οποία περιείχαν κομπόστ ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) σε συνδυασμό με αβαθή υποστρώματα (7,5 cm) προκάλεσαν αυξημένη υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα. Συμπερασματικά, κατά τη διάρκεια της καταπόνησης, το βάθος υποστρώματος αποτέλεσε το σημαντικότερο παράγοντα, δεδομένου πως η καταπόνηση του χλοοτάπητα μετριάστηκε σημαντικά καθώς αυξάνονταν από 7,5 σε 15 cm, ενώ θετική συνεισφορά αλλά σε μικρότερο βαθμό, είχε η συμμετοχή της τύρφης έναντι του κομπόστ.

3.1. Εισαγωγή

Τα φυτεμένα δώματα διαχωρίζονται γενικά σε εκτατικού και εντατικού τύπου ανάλογα με τις τεχνικές προδιαγραφές τους, όπως το βάθος υποστρώματος, η επιλογή φυτικών ειδών και οι απαιτήσεις συντήρησης (FLL, 2008). Ωστόσο, μια σημαντική διαφορά μεταξύ αυτών των δύο κατηγοριών είναι η προσβασιμότητα και η δυνατότητα να δημιουργήσουν ένα χρηστικό και ευχάριστο αστικό υπαίθριο χώρο. Έτσι, τα φυτοδώματα εντατικού τύπου δημιουργούν προσβάσιμους και λειτουργικούς αστικούς χώρους, ενώ αντίθετα τα φυτοδώματα εκτατικού τύπου είναι απροσπέλαστα ή έχουν περιορισμένη προσβασιμότητα δεδομένου ότι ως επί το πλείστον φιλοξενούν φυτά CAM (Crassulean Acid Metabolism) ή άλλα ξηροφυτικά είδη. Έτσι, η συνεισφορά τους περιορίζεται κυρίως σε θέματα αισθητικής και περιβάλλοντος (Getter και Rowe, 2006).

Σε αρκετές χώρες έχει παρατηρηθεί μια προτίμηση για κατασκευή λειτουργικών και χρηστικών φυτεμένων δωματίων εντατικού τύπου έναντι των μη προσβάσιμων εκτατικών φυτοδωμάτων (Williams et al., 2010; Fernandez-Cañero, 2013). Ωστόσο, τα εντατικού τύπου φυτοδώματα μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε κτίρια τα οποία είναι ειδικά σχεδιασμένα να αντέχουν τα πλεονάζοντα φορτία του φυτοδώματος. Λαμβάνοντας όμως υπόψη το γεγονός ότι οι περισσότερες περιοχές στα μεγάλα αστικά κέντρα καταλαμβάνονται κυρίως από κτίρια μεγάλης ηλικίας, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να δεχθούν ελάχιστα επιπλέον φορτία, γίνεται κατανοητό πως η λύση των εντατικών φυτοδωμάτων είναι ανέφικτη. Όμως, λόγω της απουσίας ενθαρρυντικών κυβερνητικών κινήτρων, οι ιδιοκτήτες των κτιρίων είναι απρόθυμοι να επενδύσουν σε μη προσβάσιμα και μη χρηστικά φυτοδώματα εκτατικού τύπου.

Ο φαύλος αυτός κύκλος έχει οδηγήσει σε μια στάσιμη αγορά φυτεμένων δωματίων, ιδιαίτερα στις νότιες ημι-ξηρικές ευρωπαϊκές χώρες οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλές καλοκαιρινές θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με την πλήρη έλλειψη βροχοπτώσεων. Στις περιπτώσεις αυτές, τα αβαθή εκτατικά φυτοδώματα αντιμετωπίζουν προβλήματα βιωσιμότητας καθώς οι συνθήκες είναι αντίξοες για την ανάπτυξη των φυτών.

Η στασιμότητα στην κατασκευή φυτεμένων δωματίων έχει άμεση επίπτωση στο αστικό περιβάλλον, καθώς αναμένεται ότι τα φυτοδώματα θα μπορούσαν να βελτιώσουν τα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίζονται στις αστικές περιοχές (δυσμενές μικροκλίμα, φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας,

διαχείριση των κατακλυσμικών φαινομένων, τη σκόνη και τα ελεύθερα σωματίδια) υπό την προϋπόθεση ότι η κατασκευή τους θα εφαρμοστεί σε εκτεταμένες εκτάσεις εντός του αστικού ιστού (Akbari et al., 2001; Getter and Rowe, 2006). Ως εκ τούτου, κρίνεται απολύτως απαραίτητο να αναζητηθούν επιτυχημένες και βιώσιμες εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες θα επιτρέψουν την ευρεία εγκατάσταση φυτεμένων δωμαίων στις στέγες των κτιρίων των σύγχρονων πόλεων.

Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες, απαιτείται μια παρέκκλιση από τις στερεότυπες κατευθυντήριες οδηγίες για την κατασκευή των φυτεμένων δωμαίων. Η ανάγκη για μια τέτοια απόκλιση οδήγησε στην ανάπτυξη μιας προσαρμόσιμης προσέγγισης (Fioretti et al., 2010; Kotsiris et al., 2012b), όπου επιτρέπονται ελάχιστες εισροές πόρων, όπως η άρδευση, προκειμένου να διευκολυνθεί η εγκατάσταση φυτών και να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα του φυτοδώματος. Σημαντικό πλεονέκτημα μια τέτοιας προσέγγισης αποτελεί η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων των φυτοδωμαίων εκτατικού τύπου, όπως είναι το μικρό φορτίο κατασκευής, ενώ παράλληλα παρέχεται η δυνατότητα να φιλοξενηθούν φυτικά είδη τα οποία προσδίδουν χρηστική αξία και προσβασιμότητα, όπως είναι οι χλοοτάπητες. Οι χλοοτάπητες αποτελούν χρήσιμα φυτικά είδη για την εγκατάσταση λειτουργικών και προσβάσιμων ανοιχτών χώρων πρασίνου μιας και πληρούν και τις τρεις απαιτήσεις για την επιλογή φυτών κατάλληλων για εγκατάσταση εντός του αστικού χώρου δηλαδή, την αισθητική, τη λειτουργικότητα και την αναψυχή (Beard and Green, 1994).

Σε μια τέτοια προσαρμοστική προσέγγιση, η διαδικασία λήψης αποφάσεων βασίζεται σε μια διαρκή ισορροπία μεταξύ τεσσάρων παραγόντων, και συγκεκριμένα: τον τύπο του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος, την επιλογή των φυτικών ειδών και την εισροή/συχνότητα πόρων.

Το βάθος υποστρώματος φαίνεται να είναι ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που σχετίζονται με τη βιωσιμότητα ενός φυτοδώματος. Όλες οι μελέτες υποδεικνύουν ότι αύξηση του βάθους του υποστρώματος, οδηγεί σε ανάλογη αύξηση της επιβίωσης των φυτών και εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα του φυτοδώματος (Boivin et al., 2001; VanWoert et al., 2005; Getter and Rowe, 2006; Durhman et al., 2007; Dunnett et al., 2008; Thuring et al., 2010; Nektarios et al., 2011a), ενώ ταυτόχρονα διευρύνονται οι δυνατότητες επιλογής φυτικών ειδών (Durhman et al., 2007; Dunnett et al., 2008). Αντίθετα, το είδος του υποστρώματος φαίνεται να έχει μικρότερη επίδραση σε σχέση με το βάθος του υποστρώματος, γεγονός που οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στο ότι τα περισσότερα υπό μελέτη

υποστρώματα παρουσιάζουν αυξημένη ικανότητα συγκράτησης νερού (Nektarios et al., 2003, 2011a; Rowe et al., 2006; Thuring et al., 2010; Kotsiris et al., 2012b).

Υπό το πρίσμα μιας προσαρμόσιμης προσέγγισης, όπου παρέχεται η δυνατότητα χρήσης των χλοοταπήτων σε εκτατικά φυτοδώματα σε ημι-ξηρικές περιοχές οι στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν: i) η αξιολόγηση της επίδρασης τεσσάρων υποστρωμάτων εκτατικού φυτοδώματος προερχόμενα από την ανάμειξη υλικών διαθέσιμων στην τοπική αγορά σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη στην εγκατάσταση και ανάπτυξη του *Zoysia matrella* 'Zeon'[L.] Merr. 'Zeon', ii) η αξιολόγηση της ικανότητας τοπικού παραγόμενου κομπόστ να υποκαταστήσει την τύρφη ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό σε υποστρώματα φυτοδωμάτων, iii) να προσδιοριστεί η επίδραση της αύξησης της συμμετοχής του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων στη ανάπτυξη και αντοχή στην υδατική καταπόνηση του *Z. matrella*, iv) να αξιολογηθεί η επίδραση τεσσάρων υποστρωμάτων φυτεμένων δωμάτων και δύο διαφορετικών βαθών αυτών στην αντοχή του *Z. matrella* σε υδατική καταπόνηση και v) να προσδιοριστούν τα επίπεδα υγρασίας στο υπόστρωμα ανάπτυξης κατά τα οποία η *Z. matrella* διατηρεί αποδεκτή οπτική ποιότητα.

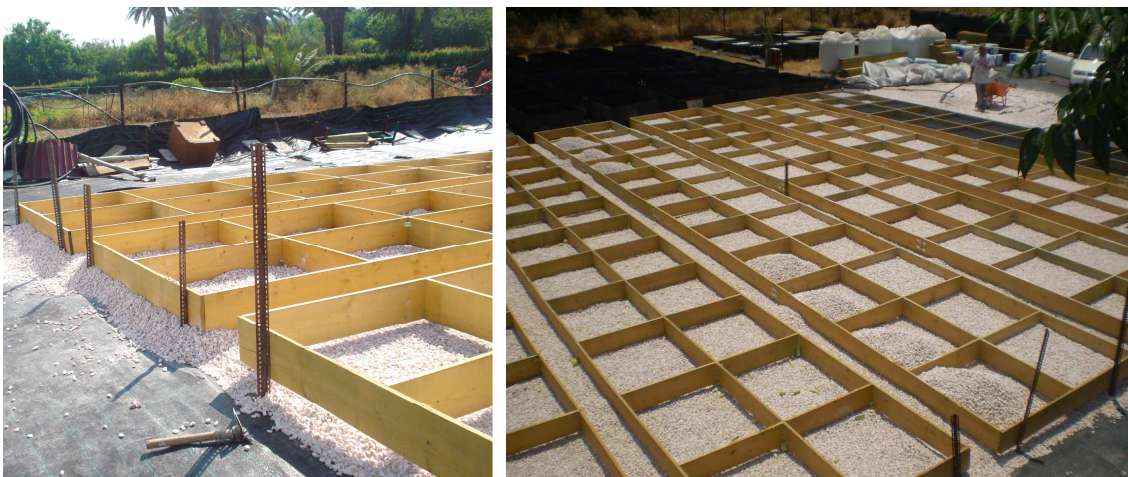
3.2. Υλικά και Μέθοδοι

3.2.1. Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37° 59' Β και 23° 42' Α, 35 m) από την 7^η Ιουλίου 2009 μέχρι και την 7^η Σεπτεμβρίου 2010. Η μελέτη περιελάμβανε 48 πειραματικά τεμάχια καθένα εκ των οποίων είχε επιφάνεια 0,80 m² (εσωτερικές διαστάσεις 0,8 m X 1,0 m). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν πολυπαραγοντικό με δύο παράγοντες: α) τέσσερα υποστρώματα διαφορετικού τύπου και β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος. Η κάθε επέμβαση είχε 6 επαναλήψεις και η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων ακολούθησε το εντελώς τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο.

Τα πειραματικά τεμάχια κατασκευάστηκαν πάνω σε μια ενιαία και ομοιόμορφη επιφάνεια χαλικιού πάχους 20 cm. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν ξύλινες σανίδες πάχους 2 cm και ύψους 20 cm προκειμένου τα γειτνιάζοντα πειραματικά τεμάχια να διαχωριστούν και να εξασφαλιστεί η μηχανική και υδραυλική ασυνέχεια τόσο μεταξύ αυτών όσο και με τον περιβάλλοντα χώρο (Εικ.

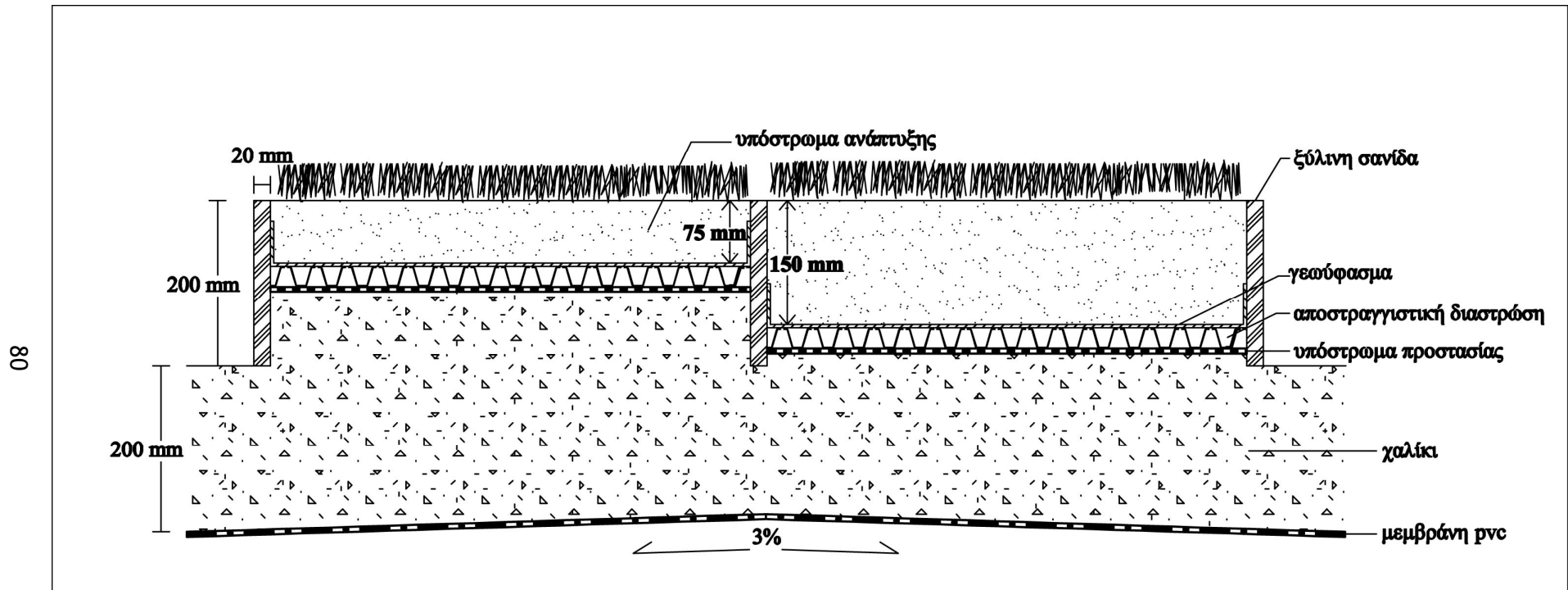
3.1-3.2). Στα μισά πειραματικά τεμάχια το χαλίκι εισερχόταν εντός αυτών αφήνοντας κενό 10,5 cm από την άνω επιφάνεια τους, ενώ στα άλλα μισά το χαλίκι άφηγε κενό χώρο 18 cm (Εικ. 3.3-3.4). Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν τα δύο βάθη υποστρώματος αφού λαμβάνοντας υπόψη τα 3,0 cm του συνολικού πάχους των αποστραγγιστικών διαστρώσεων απέμεναν στα μεν αβαθή πειραματικά τεμάχια 7,5 cm και στα βαθύτερα πειραματικά τεμάχια 15 cm προκειμένου να πληρωθούν με το κατάλληλο υπόστρωμα (Εικ. 3.5).



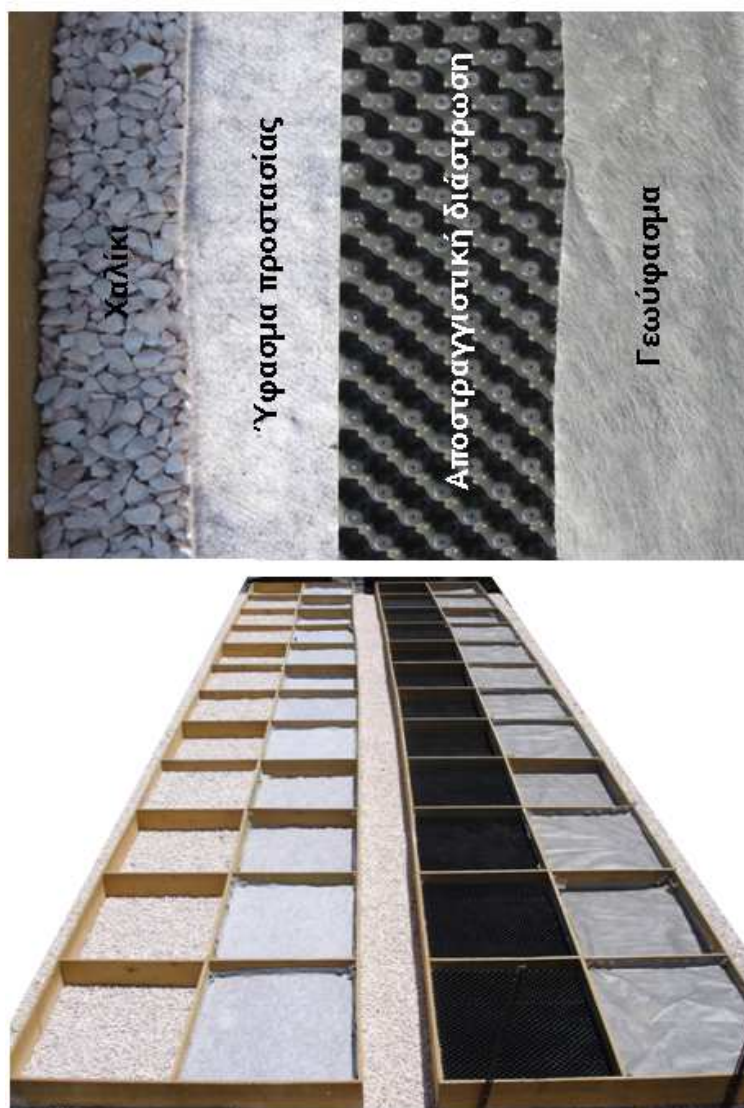
Εικόνες 3.1-3.2. Κατασκευή πειραματικών τεμαχίων με τη χρήση ξύλινων σανίδων πάχους 2 cm και ύψους 20 cm πάνω σε μια ενιαία και ομοιόμορφη επιφάνεια χαλικιού πάχους 20 cm.



Εικόνες 3.3-3.4. Δημιουργία του βάθους του υποστρώματος με τη χρήση του χαλικιού. Στα αβαθή υποστρώματα αφέθηκε κενό 10,5 cm, ενώ στα βαθύτερα αφέθηκε κενό 18 cm από την άνω επιφάνεια των πειραματικών τεμαχίων.



Εικόνα. 3.5. Κατασκευαστική λεπτομέρεια της εξομείωσης των εκτατικών φυτοδωμάτων στα πειραματικά τεμάχια του αγρού.



Εικόνα 3.6. Πολυεπίπεδη διάστρωση αποστραγγιστικών διατάξεων όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου.

Στον πυθμένα κάθε πειραματικού τεμαχίου τοποθετήθηκε πολυεπίπεδη διάστρωση αποστραγγιστικών διατάξεων όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου (Εικ. 3.6). Οι διαστρώσεις αποτελούνταν από:

α) το επίπεδο προστασίας το οποίο αποτελείται από ύφασμα συνθετικών μη αποδομήσιμων ινών πολυεστέρα, πάχους 3 mm και ξηρού βάρους $0,32 \text{ kg m}^{-2}$, το οποίο λειτουργεί ως δεξαμενή νερού με ικανότητα συγκράτησης 3 L m^{-2} σύμφωνα με τα δεδομένα του κατασκευαστή (TSM32, Zinco, egreen, Αθήνα, Ελλάδα) (Εικ. 3.7). Στη συνέχεια, πάνω από το ύφασμα προστασίας, τοποθετήθηκε αποστραγγιστική διάστρωση από ανακυκλωμένο πολυαιθυλένιο ύψους 25 mm και βάρους $1,7 \text{ kg m}^{-2}$ (FD25, Zinco, egreen) με ανάγλυφο σχήμα το οποίο έχει την ικανότητα συγκράτησης του αποστραγγιζόμενου ύδατος καθώς και ανοίγματα για επαρκή αερισμό του υποστρώματος (Εικ. 3.8). Η αποστραγγιστική διάστρωση έχει

την ικανότητα αποθήκευσης 3 L m^{-2} η οποία χρησιμεύει ως μία πρόσθετη δεξαμενή αποθήκευσης νερού.

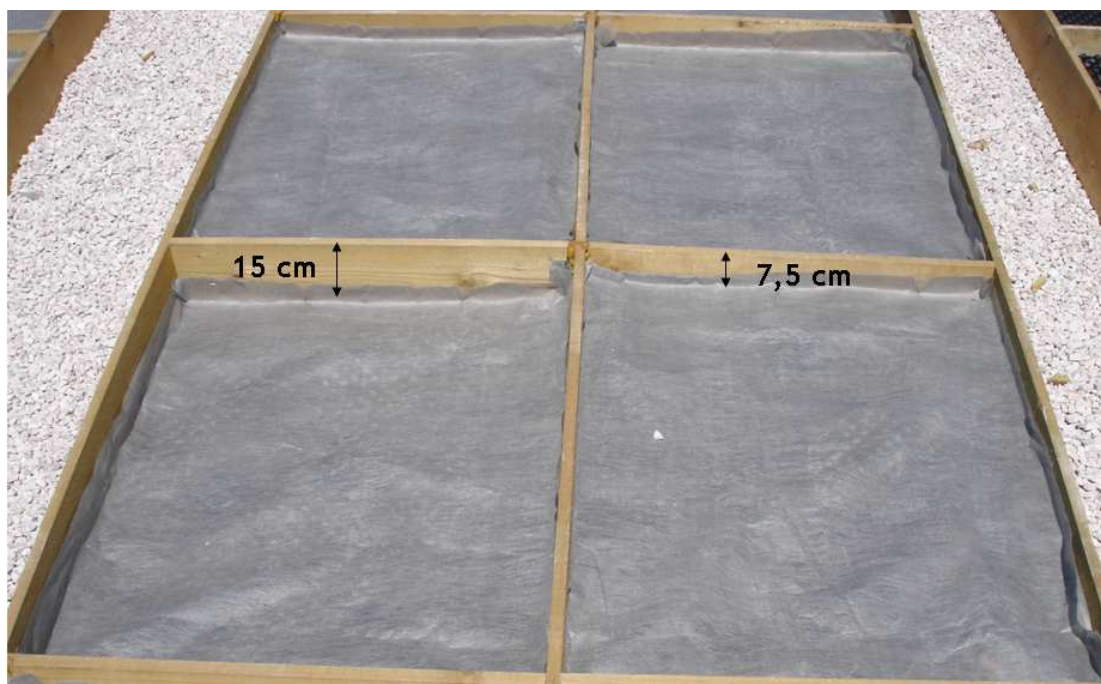


Εικόνες 3.7-3.8. Τοποθέτηση του υφάσματος προστασίας και της αποστραγγιστικής διάστρωσης εντός των πειραματικών τεμαχίων.

Μέσα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, η αποστραγγιστική διάστρωση καλύφθηκε από ένα μη υφαντό γεωύφασμα (SF, Zinco, egreen) το οποίο ήταν κατασκευασμένο από θερμικά ενισχυμένο πολυπροπυλένιο, πάχους 600 μm , βάρους $0,1 \text{ kg m}^{-2}$, με φαινόμενο μέγεθος ανοίγματος $D_{90} = 95 \mu\text{m}$ και ταχύτητα διήθησης του νερού $0,07 \text{ m s}^{-1}$ (Εικ. 3.9). Το γεωύφασμα χρησιμοποιήθηκε για την αποτροπή της μετακίνησης των μικροσωματιδίων του υποστρώματος προς την αποστραγγιστική διάστρωση, εξασφαλίζοντας ότι αυτή δεν θα φράξει και θα λειτουργεί συνεχώς και αποτελεσματικά. Το γεωύφασμα πακτώθηκε στα πλευρικά ξύλινα διαχωριστικά του εκάστοτε πειραματικού τεμαχίου και κόπηκε κάτω από την τελική επιφάνεια του υποστρώματος προκειμένου να διακοπεί η συνέχεια του γεωυφάσματος προς την ατμόσφαιρα και να ελαχιστοποιηθεί πιθανή τριχοειδής ανέλιξη του ύδατος από το υπόστρωμα προς την ατμόσφαιρα (Εικ. 3.10-3.11).



Εικόνες 3.9-3.10. Τοποθέτηση του γεωφάσματος πάνω από την αποστραγγιστική διάστρωση και πάκτωση αυτού στις ξύλινες πλευρικές σανίδες.



Εικόνα 3.11. Τελική διάταξη εντός των πειραματικών τεμαχίων μετά από την τοποθέτηση όλων των αποστραγγιστικών διαστρώσεων φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου.

Στη συνέχεια, τα πειραματικά τεμάχια πληρώθηκαν με ένα εκ των τεσσάρων υπό μελέτη υποστρωμάτων τα οποία αποτελούνταν από αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (P_{um}), τύρφη (P), κομπόστ (C) και ζεόλιθο (Z) (Εικ. 3.12). Το αμμοπηλώδες έδαφος είχε περιεκτικότητα σε άμμο 77,0%, σε ιλύ 7,8% και σε άργιλο 15,2% ενώ διέθετε 0,703% κ.β. οργανική ουσία, pH 8,63 και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) ίση με 80 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Η ελαφρόπετρα είχε pH 9,23, ηλεκτρική αγωγιμότητα ίση με

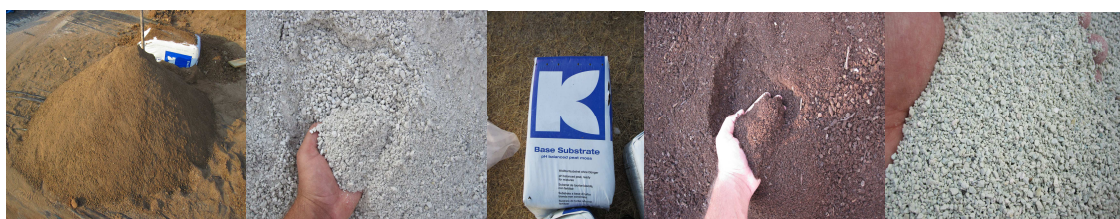
55,80 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και κοκκομετρία που κυμαίνονταν από 0,05 έως 8 mm (ΛΑΒΑ, Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα). Ο ζεόλιθος ήταν κλινοπιλολιτικός με ηλεκτρική αγωγιμότητα 30,90 $\mu\text{S cm}^{-1}$, pH ίσο με 8,0 και κοκκομετρία 0,8-2,5 mm (S & B Βιομηχανικά Ορυκτά ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα). Το κομπόστ αποτελείτο από άχυρο, πριονίδια, κηπευτικά υπολείμματα (υπολείμματα κοπής χλοοτάπητα και τεμάχια ξύλου) και κόπρο από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, ιπποφορβεία και πουλερικά (Πιν. 3.1). Η τύρφη ήταν της εταιρίας Klasman (Klasman Deilmann GmbH, Geeste-Grob Hesepe), είχε περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 90% κ.β. ηλεκτρική αγωγιμότητα 79,40 $\mu\text{S cm}^{-1}$ και διορθωμένο pH ίσο με 5,5.

Πίνακας 3.1. Χημική ανάλυση του κομπόστ σε ξηρό δείγμα (105 °C)

Οργανική ουσία (%)	38,70
Ολικό N (%)	2,09
Ολικό P ₂ O ₅ (%)	1,61
Ολικό K ₂ O (%)	2,72
Ολικό MgO (%)	1,69
Ολικό Ca (%)	7,16
Ολικό Na (%)	0,31
Ολικό Fe (mg kg ⁻¹)	7.330
Ολικό Zn (mg kg ⁻¹)	231
Ολικό Mn (mg kg ⁻¹)	433
Ολικό Cu (mg kg ⁻¹)	40
Ολικό B (mg kg ⁻¹)	321
pH υδατικό διάλυμα (3:50)	8,60
E.C. υδατικό διάλυμα (1:5)	5
C/N	10,70
pH	7,49
Ηλεκτρική αγωγιμότητα ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	6810
Φαινόμενη πυκνότητα ξηρού δείγματος (kg L ⁻¹)	0,40

Τα υλικά αναμείχθηκαν ομοιόμορφα με τη χρήση μηχανικού ανάμεικτη σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδηλώνονται από τους δείκτες τους ως εξής: α) S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ (υπόστρωμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος και χρήση τύρφης ως οργανικού συστατικού), β) S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ (χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος και χρήση κομπόστ ως οργανικού

συστατικού), γ) $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (υψηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος και χρήση τύρφης ως οργανικού συστατικού και δ) $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (υψηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος και χρήση κομπόστ ως οργανικού συστατικού). Κάθε ένα από τα τέσσερα υποστρώματα τοποθετήθηκε είτε σε αβαθή πειραματικά τεμάχια βάθους 7,5 cm είτε στα βαθύτερα με βάθος υποστρώματος 15 cm. Κάθε επέμβαση είχε 6 επαναλήψεις με αποτέλεσμα να προκύπτουν συνολικά 48 πειραματικά τεμάχια ($4_{\text{υποστρώματα}} \times 2_{\text{βάθη}} \times 6_{\text{επαναλήψεις}} = 48$ πειραματικά τεμάχια). Μετά την πλήρωση όλων των πειραματικών τεμαχίων, τα υποστρώματα συμπιέστηκαν ελαφρά και ισοπεδώθηκαν (Εικ. 3.13-3.14).

Αμμοπηλώδες
έδαφος

Ελαφρόπετρα

Τύρφη

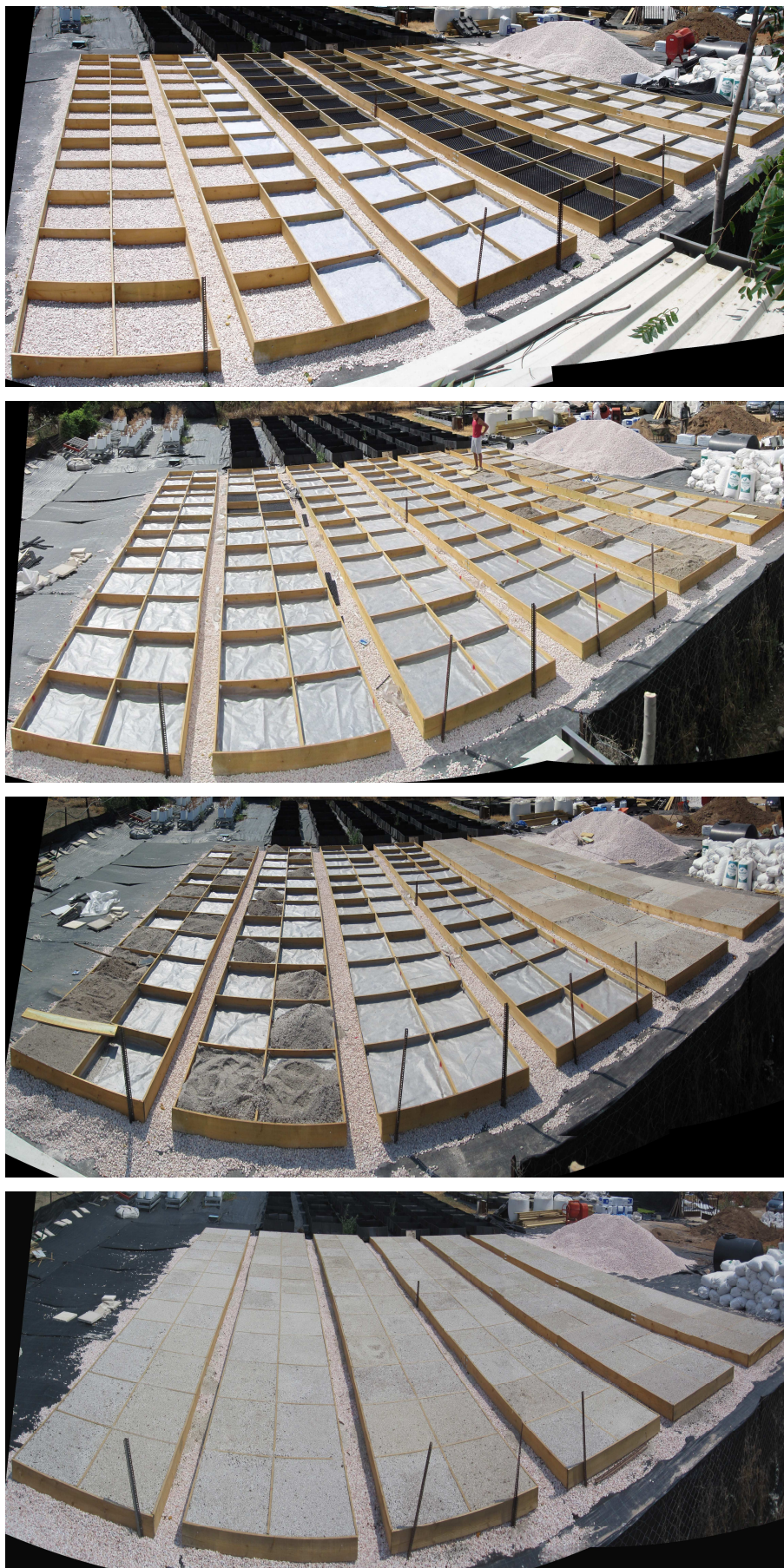
Κομπόστ

Ζεόλιθος

Εικόνα 3.12. Υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση των υποστρωμάτων.



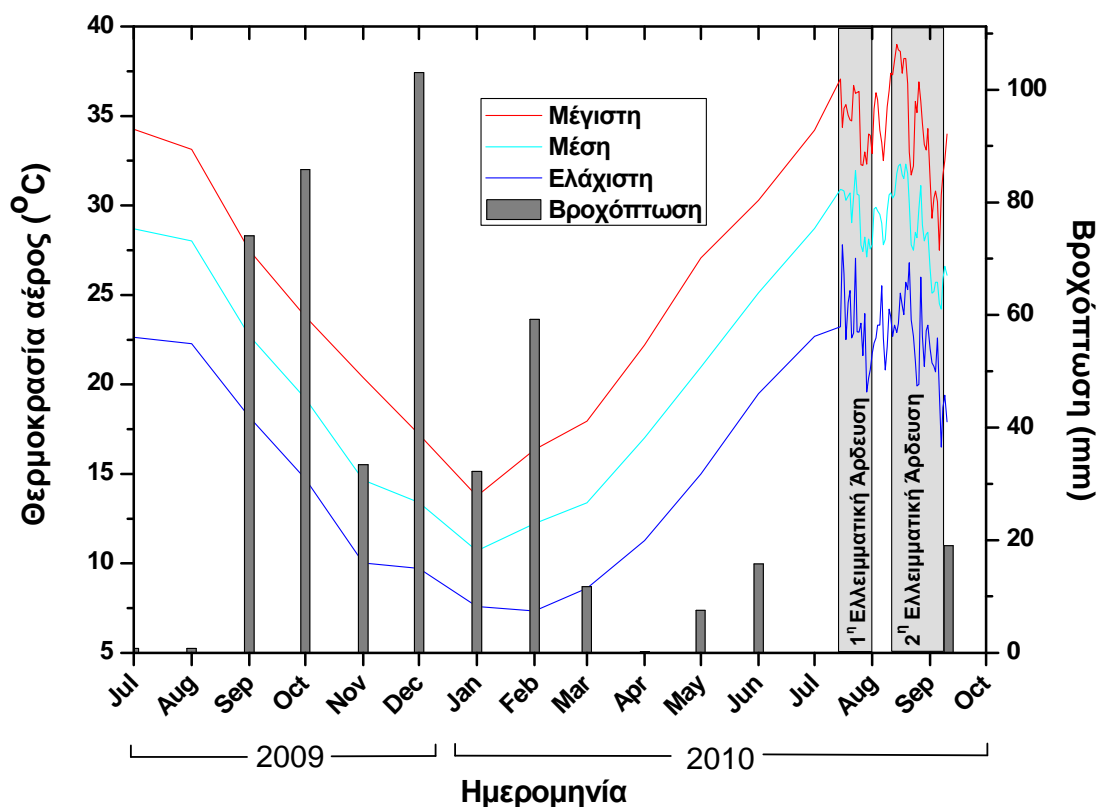
Εικόνες 3.13-3.14. Πλήρωση των πειραματικών τεμαχίων με τα υπό μελέτη υποστρώματα και τελική ισοπέδωσή τους.



Εικόνα 3.15-3.18. Στάδια κατασκευής των πειραματικών τεμαχίων του αγρού.

3.2.2. 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 (Διάγρ. 3.1).



Διάγραμμα 3.1. Μηνιαία βροχόπτωση και μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια των δύο ετών της μελέτης (2009 και 2010). Οι γκρίζες περιοχές υποδεικνύουν τις δύο περιόδους εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης, όπου παρουσιάζονται η ημερήσια μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα.

3.2.3. Μετρήσεις υποστρώματος

Η κοκκομετρία του υποστρώματος προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας συστοιχία από κόσκινα διαφόρων μεγεθών (ASTM D 422-63, 2007), η οποία δονούταν σε μηχανικό αναδευτήρα (Vibratory Sieve Shaker AS 200 basic, Retsch Ltd., Haan, Γερμανία). Η κατανομή των σωματιδίων του κάθε υλικού καταγράφηκε και τοποθετήθηκε σε λογαριθμική κλίμακα προκειμένου να ελεγχθεί η συμφωνία του κάθε υποστρώματος με τις αντίστοιχες κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008).

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των υποστρωμάτων προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία των Nektarios et al. (2011b) χρησιμοποιώντας μία στήλη 85 cm που απαρτίζεται από 17 διακριτούς δακτυλίους, με εσωτερική διάμετρο 7,5 cm και ύψος 5 cm ο κάθε ένας. Το ολικό πορώδες και η ξηρά και κεκορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα του κάθε υποστρώματος προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας λυσίμετρα ύψους 15 cm με εσωτερική διάμετρο 30,5 cm (Nektarios et al., 2011a). Το pH και η EC των υποστρωμάτων προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας 1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα.

3.2.4. Επιλογή χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon'

Ο χλοοτάπητας, ο οποίος επιλέχθηκε να εγκατασταθεί στα πειραματικά τεμάχια, ήταν το είδος *Zoysia matrella* 'Zeon'. Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι πυκνής ανάπτυξης σκουρόχρωμη, με μέτρια υφή, η οποία χαρακτηρίζεται από αυξημένη αντοχή σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας και στη σκίαση σε σύγκριση με άλλες ποικιλίες του είδους *Z. matrella* (Qian and Engelke, 1997; Morris, 2001). Παρουσιάζει αργό ρυθμό εγκατάστασης σε σχέση με άλλα θερμοφιλα είδη χλοοτάπητα και η ανάπτυξή της είναι κυρίως πλευρική με στόλωνες και ριζώματα, ενώ αντίθετα η κάθετη ανάπτυξή της είναι εξαιρετικά περιορισμένη απαιτώντας ελάχιστες κοπές (Volterrani et al., 2008). Το εκτεταμένο ριζικό της σύστημα σε συνδυασμό με τους στόλωνες και τα ριζώματά της δημιουργούν ένα συμπαγές και πυκνό φυτικό στρώμα, το οποίο έχει αποδειχτεί ότι αποτρέπει την εγκατάσταση των ζιζανίων (De Luca et al., 2008a). Επίσης, παρουσιάζει αυξημένη αντοχή στο ψύχος σε σύγκριση με άλλα θερμοφιλα είδη και ποικιλίες, γεγονός το οποίο αυξάνει τη διάρκεια διατήρησης του πράσινου χρωματισμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Patton and Reicher, 2007; De Luca et al., 2008b). Τέλος παρουσιάζει αυξημένη αντοχή σε εντομολογικές και φυτοπαθολογικές προσβολές (Anderson et al., 2007; Patton, 2010).

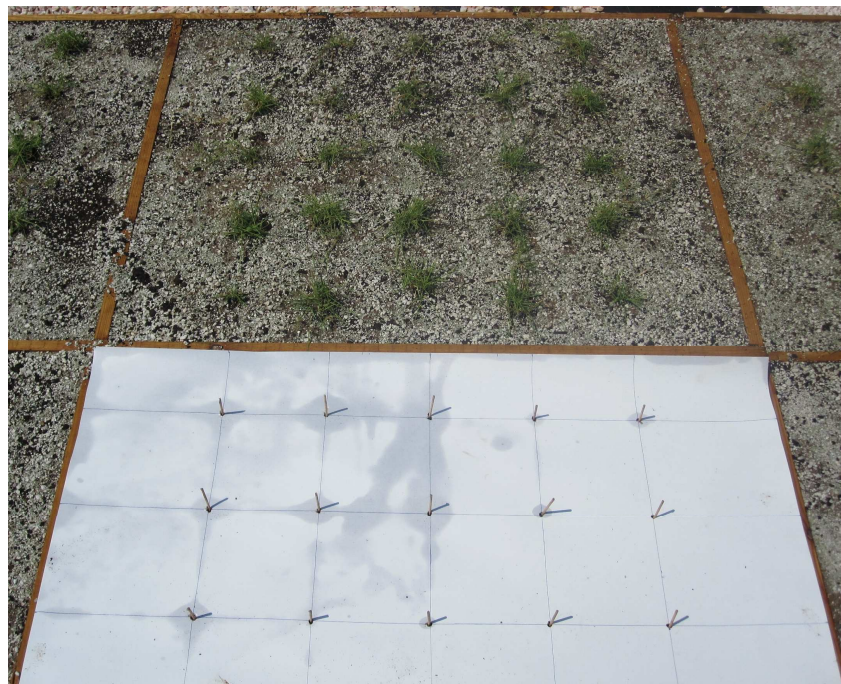
Βάσει όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών το *Z. matrella* 'Zeon' παρουσιάζεται ως μια δυνητική λύση για την εγκατάσταση χλοοταπήτων σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα σε ημιξηρικές περιοχές, τα οποία θα έχουν περιορισμένες ανάγκες διαχείρισης.

3.2.5. Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα

Ο χλοοτάπητας *Z. matrella* 'Zeon' εγκαταστάθηκε στα πειραματικά τεμάχια την 7^η Ιουλίου 2009 με τη χρήση κυλινδρικών πυρήνων χλοοτάπητα ύψους 5 cm και διαμέτρου 3 cm (Εικ. 3.19-3.20). Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, φυτεύτηκαν 25 πυρήνες σε κάρναβο με ισοαποστάσεις 20 cm × 20 cm μεταξύ των διαδοχικών πυρήνων και 10 cm από τις άκρες των τεμαχίων (Εικ. 3.21).



Εικόνες 3.19-3.20. Πυρήνες του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon'.



Εικόνα 3.21. Φύτευση των πυρήνων χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' σε κάνναβο με ισοαποστάσεις 20 cm × 20 cm μεταξύ των διαδοχικών πυρήνων.



Εικόνα 3.22. Άποψη των πειραματικών τεμαχίων μετά την ολοκλήρωση της φύτευσης των πυρήνων χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon'.

Τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν μια φορά την ημέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης (7 Ιουλίου έως 21 Οκτωβρίου 2009), προκειμένου να προαχθεί η εγκατάσταση και να αποφευχθεί η υδατική καταπόνηση των πυρήνων του χλοοτάπητα. Στη συνέχεια η εφαρμογή άρδευσης σταμάτησε κυρίως λόγω της εμφάνισης συχνών φυσικών βροχοπτώσεων αλλά και εξαιτίας της εισόδου του θερμόφιλου χλοοτάπητα σε χειμερινό λήθαργο. Η επανέναρξη της άρδευσης εφαρμόστηκε και πάλι μετά την παρέλευση του χειμερινού λήθαργου (20 Μαρτίου 2010). Η άρδευση εφαρμοζόταν ανά διήμερο μέχρι την έναρξη των επεμβάσεων καταπόνησης ελλειμματικής άρδευσης (15 Ιουλίου 2010), προκειμένου να εξασφαλιστεί ομοιομορφία του χλοοτάπητα μεταξύ των επεμβάσεων.

Οι ανάγκες σε λίπανση καλύφθηκαν από υδατοδιαλυτό κοκκώδες λίπασμα (Complezal 12-12-17, με περιεκτικότητα σε άζωτο 6,5% NH_4^+ και 5,5% NO_3^- , 12N-5,2P-14,1K-1,2Mg-8,0S, Agrevo Hellas AE, Αθήνα, Ελλάδα) το οποίο εφαρμόστηκε σε ποσότητα 25 g m⁻² κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του χλοοτάπητα στις ημερομηνίες 8 Ιουλίου και 10 Αυγούστου 2009 και 21 Μαΐου, 16 Ιουνίου και 5 Ιουλίου 2010.

Στο χλοοτάπητα δεν εφαρμόστηκε κουρά το 2009, λόγω της πολύ περιορισμένης κάθετης ανάπτυξής του. Το έτος 2010 εφαρμόστηκε κουρά σε ύψος 32 mm με τη χρήση χλοοκοπτικής μηχανής κυλινδρικού τύπου (Bosch ASM32, Robert Bosch GmbH, 70049, Stuttgart, Germany) με συχνότητα μίας κοπής κάθε μήνα μέχρι την έναρξη των επεμβάσεων ελλειμματικής άρδευσης. Τα υπολείμματα κοπής συλλέγονταν.

3.2.6. Μετρήσεις εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης

Κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα και πριν την έναρξη των επεμβάσεων καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης, προσδιορίστηκε το ποσοστό της εδαφοκάλυψης, το ποσοστό δηλαδή του υποστρώματος το οποίο καλυπτόταν από τμήματα του χλοοτάπητα (φύλλα, κολεοί, στόλωνες και ανθικά στελέχη) τα οποία είχαν πράσινο χρωματισμό (GTC, Green Turf Cover). Ο προσδιορισμός επιτεύχθηκε με τη χρήση ψηφιακών εικόνων απεικόνισης του κάθε πειραματικού τεμαχίου, οι οποίες λαμβάνονταν σε δεκαπενθήμερα διαστήματα με ψηφιακή φωτογραφική μηχανή Canon IXUS 100 IS (Canon Europe Ltd, UK) από σταθερό ύψος 1,2 m μεταξύ του φακού και της επιφάνειας χλοοτάπητα (Εικ. 3.23). Οι εικόνες ελήφθησαν σε ημέρες με πλήρη

ηλιοφάνεια και ώρες από 12:00 έως 16:00 λαμβάνοντας μέριμνα ώστε να μην υπάρχουν σκιάσεις επί των πειραματικών τεμαχίων. Οι ψηφιακές εικόνες ήταν σε μορφή αρχείου JPEG, μεγέθους 1600 × 1200 εικονοστοιχείων (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). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία προσδιορισμού της εδαφοκάλυψης έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα από διάφορους ερευνητές με ικανοποιητικά και ακριβή αποτελέσματα (Richardson et al., 2001; Olmstead et al., 2004; Karcher and Richardson, 2005; Boussetot et al., 2010). 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 εικονοστοιχείων” με το συνολικό αριθμό των εικονοστοιχείων της κάθε εικόνας.



Εικόνα 3.23. Λήψη ψηφιακών εικόνων των πειραματικών τεμαχίων για τον προσδιορισμό του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* ‘Zeon’.

3.2.7. Περίοδοι καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης

Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος στην υδατική καταπόνηση του *Z. matrella*, πραγματοποιήθηκαν δύο μελέτες καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης. Η πρώτη μελέτη διήρκησε από 15 Ιουλίου έως 30 Ιουλίου 2010, ενώ η δεύτερη μελέτη διήρκησε από 10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010.

3.2.7.1. Διαχείριση του χλοοτάπητα κατά τις περιόδους καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης

Κατά τη διάρκεια και των δύο μελετών ο χλοοτάπητας αρδευόταν κάθε τρεις ημέρες με ποσότητα άρδευσης ίση με το 25% της αθροιστικής εξάτμισης (E_{pan}) μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων, όπως αυτή προσδιοριζόταν από εξατμισίμετρο τύπου Class A Pan. Κατά την έναρξη του κάθε κύκλου καταπόνησης, όλα τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν μέχρις ότου τα υποστρώματα φθάσουν κοντά στο επίπεδο του κορεσμού προκειμένου να βρίσκονται σε παρόμοια υγρασιακή κατάσταση. Κατά τη διάρκεια των περιόδων καταπόνησης ο χλοοτάπητας αρδευόταν δια χειρός με λάστιχο εξοπλισμένο με ροόμετρο ακρίβειας 0,1 L (Wohnungswasserzähler Typ ETR, Rossweiner Armaturen & MEßGERÄTE GmbH & Co, Rosswein, Γερμανία). Στο διάστημα μεταξύ των δύο κύκλων καταπόνησης, εφαρμόστηκε καθημερινή άρδευση με επαρκείς ποσότητες προκειμένου να προαχθεί η γρήγορη ανάκαμψη και επαναφορά του χλοοτάπητα. Η λήξη της δεύτερης περιόδου εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης καθορίστηκε από την πρώτη φθινοπωρινή βροχόπτωση (11 Σεπτεμβρίου 2010).

3.2.7.2. Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης

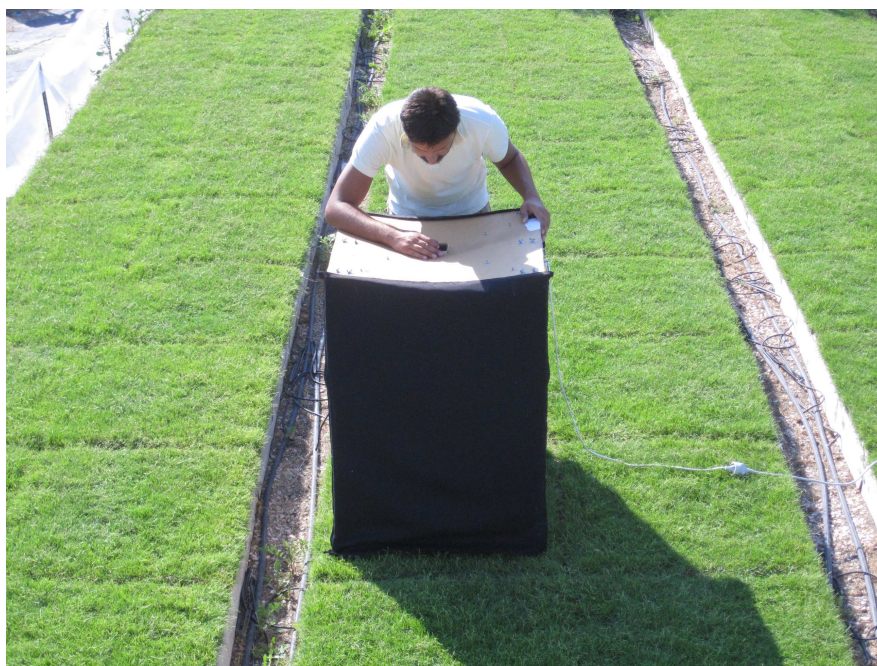
Η υγρασιακή κατάσταση του υποστρώματος προσδιοριζόταν σε τακτά τριήμερα διαστήματα πριν από την εφαρμογή της άρδευσης με τη χρήση του αισθητήρα WET-2 (Delta-T Devices, Cambridge, UK) (Εικ. 3.24). Τα ραβδία του αισθητήρα έχουν μήκος 6,8 cm με αποτέλεσμα να προσδιορίζει την υγρασία του υποστρώματος σε μια κυλινδρική περιοχή δειγματοληψίας βάθους 65 mm και πλάτους 45 mm καταλήγοντας σε ένα όγκο δειγματοληψίας περίπου 500 mL. Ο αισθητήρας συνδέεται με HH2 φορητό μετρητή υγρασίας (Delta-T Devices,

Cambridge, UK). Για την ακρίβεια των μετρήσεων διενεργήθηκε ειδική βαθμονόμηση και για τα τέσσερα είδη υποστρωμάτων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2 και έχει δημοσιευτεί από τους Kargas et al. (2013).



Εικόνα 3.24. Προσδιορισμός του ποσοστού υγρασίας του υποστρώματος με τη χρήση του αισθητήρα WET-2 συνδεδεμένου με το φορητό μετρητή υγρασίας HH2.

Το ποσοστό του GTC προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας ψηφιακές εικόνες του κάθε πειραματικού τεμαχίου, οι οποίες λαμβάνονταν σε κάθε ημερομηνία άρδευσης με ψηφιακή κάμερα Canon IXUS 100 IS τοποθετημένη στην κορυφή ενός μετακινούμενου φωτογραφικού θαλάμου διαστάσεων 0,7 m × 0,7 m × 1 m ύψος. Ο θάλαμος διασφάλισε σταθερές συνθήκες φωτισμού καθ' όλη τη διαδικασία απόκτησης δεδομένων και ήταν εφοδιασμένος με 4 λαμπτήρες φθορισμού 1200 lumens ο κάθε ένας, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι στην εσωτερική πλευρά του άνω τμήματός του (Εικ. 3.25-3.27). 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 εικόνες αποθηκεύθηκαν σε αρχεία JPEG με μέγεθος 1600 × 1200 εικονοστοιχείων (pixels). Κατόπιν το ποσοστό εδαφοκάλυψης προσδιορίστηκε με μεθοδολογία όμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα (Παρ. 3.2.6).



Εικόνες 3.25-3.27. Λήψη ψηφιακών εικόνων από το κάθε πειραματικό τεμάχιο, με τη χρήση ψηφιακής κάμερας τοποθετημένη στην κορυφή ενός μετακινούμενου φωτογραφικού θαλάμου. Ο θάλαμος ήταν εφοδιασμένος με 4 λαμπτήρες φθορισμού προκειμένου να διασφαλιστούν σταθερές συνθήκες φωτισμού.

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του πρώτου κύκλου καταπόνησης, η στοματική αντίσταση των φύλλων του χλοοτάπητα (LSR, Leaf Stomatal Resistance) προσδιορίστηκε με τη χρήση πορόμετρου (AP4 diffusion porometer, Delta-T Devices). Η μέτρηση λαμβανόταν πριν την εφαρμογή της κάθε άρδευσης, κατά τις ώρες 12:00 έως 16:00 υπό συνθήκες πλήρους ηλιοφάνειας. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν στην κάτω πλευρά νεαρών, πλήρως ανεπτυγμένων φύλλων

του χλοοτάπητα, τα οποία βρίσκονταν στα κεντρικά τμήματα του κάθε πειραματικού τεμαχίου. Συνολικά λαμβάνονταν τρεις μετρήσεις ανά πειραματικό τεμάχιο (Εικ. 3.28-3.29).



Εικόνες 3.28-3.29. Προσδιορισμός της στοματικής αντίστασης των φύλλων του χλοοτάπητα με τη χρήση πορόμετρου.

Κατά τη διάρκεια του δεύτερου κύκλου καταπόνησης, προσδιορίστηκε ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) μέσω της φασματικής ανακλαστικότητας, η οποία καθοριζόταν πριν από κάθε εφαρμογή άρδευσης και μεταξύ των ωρών 12:00 έως 14:00 με χρήση δύο διπλοκάναλων αισθητήρων SKR 1800 (Skye Instruments Ltd, Powys, Ηνωμένο Βασίλειο) (Εικ. 2.30-2.31). Οι αισθητήρες είχαν κεντρικά μήκη κύματος 650 nm (Red) και 800 nm (Near Infrared-NIR) και ένα εύρος ζώνης περίπου 10 nm. Οι αισθητήρες συνδέονταν με ένα μετρητή με οθόνη (SKL 925 SpectroSense2 +. GPS, Skye Instruments Ltd) και τοποθετούνταν σε τηλεσκοπική ράβδο (SKL 910, Skye Instruments Ltd) με τον καθοδικό αισθητήρα να βρίσκεται 1,30 m πάνω από την επιφάνεια του χλοοτάπητα, προσδιορίζοντας μια περιοχική δειγματοληψίας συνολικής επιφάνειας 0,25 m².

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

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

όπου NIR_i = η προσπίπτουσα NIR ακτινοβολία ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$), Red_i = η προσπίπτουσα Red ακτινοβολία ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$), NIR_r = η ανακλώμενη NIR ακτινοβολία (nA), Red_r = 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. Όταν τα φυτά βρίσκονται υπό υδατική καταπόνηση, έχουν προσβληθεί από κάποια ασθένεια ή είναι καταπονημένα από κάποιο άλλο περιβαλλοντικό παράγοντα, τα φύλλα τους ανακλούν σημαντικά λιγότερη NIR ακτινοβολία και περισσότερη RED ακτινοβολία (Knipling, 1970). Ως αποτέλεσμα, οι τιμές του NDVI μειώνονται με την αύξηση της καταπόνησης των φυτών. Ο δείκτης NDVI έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές προκειμένου να προσδιοριστεί η φυσιολογική κατάσταση διαφόρων ειδών χλοοτάπητων συσχετίζοντάς τον με το χρώμα και την πυκνότητα του χλοοτάπητα, την περιεκτικότητα των φύλλων σε χλωροφύλλη και άζωτο, την υδατική καταπόνηση και το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, το μέγεθος της προσβολής από ασθένειες ή το μέγεθος της ζημίας του φυλλώματος από άλλους παράγοντες (Stone et al., 1996; Fenstermaker-Shaulis et al., 1997; Green et al., 1998; Trenholm et al., 1999; Bell et al., 2000, 2002; Fitz-Rodriguez and Choi, 2002; Schuerger et al., 2003; Jiang and Carrow, 2005; Baghzouz et al., 2006; Xiong et al., 2007).



Εικόνες 2.30-2.31. Προσδιορισμός κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI)

3.2.8. Στατιστικές αναλύσεις

Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων ακολούθησε το πλήρως τυχαιοποιημένο σχέδιο με έξι επαναλήψεις ανά επέμβαση ($4_{\text{τύποι υποστρώματος}} \times 2_{\text{βάθη υποστρώματος}} \times 6_{\text{επαναλήψεις}} = 48$ πειραματικά τεμάχια). Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας το λογισμικό JMP ver.8 (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Building S, Cary, NC) και την ανάλυση MANOVA. Λόγω των σημαντικών στατιστικών διαφορών των επεμβάσεων μεταξύ των δύο κύκλων υδατικής καταπόνησης, τα στοιχεία της κάθε περιόδου παρουσιάζονται ξεχωριστά. Ωστόσο, παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ των δεδομένων των δύο περιόδων καταπόνησης.

Το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε σχέση με την ανάπτυξη του χλοοτάπητα και των ποιοτικών δεικτών (GTC, NDVI), της στοματικής αντίστασης LSR και της υγρασίας του υποστρώματος για κάθε διακριτή ημερομηνία δειγματοληψίας. Η ανάλυση MANOVA χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας ως διπαραγοντικό πείραμα (τύπος υποστρώματος \times βάθος υποστρώματος). Λόγω όμως των σημαντικών αλληλεπιδράσεων που παρουσιάστηκαν μεταξύ των επεμβάσεων κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων καταπόνησης, απετράπη η περαιτέρω πολυπαραγοντική ανάλυση των δεδομένων.

Ως εκ τούτου, πραγματοποιήθηκε μονοπαραγοντική ανάλυση των δεδομένων με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού JMP ver.8 (SAS Institute Inc.) σύμφωνα με το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο ορίζοντας τις επεμβάσεις ως κύριο τεμάχιο και το χρόνο (ημερομηνίες δειγματοληψίας) ως υποτεμάχιο (Πίν. 3.2). Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά του Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$).

Πίνακας 3.2. Ανάλυση διασποράς σύμφωνα με το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο ορίζοντας τις επεμβάσεις ως κύριο τεμάχιο και τις ημερομηνίες δειγματοληψίας ως υποτεμάχιο για το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) κατά την περίοδο εγκατάστασης καθώς και για το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος, το ποσοστό εδαφοκάλυψης (GTC), τον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) και την αντίσταση των στοματιών των φύλλων (LSR) για τους δύο κύκλους καταπόνησης σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επέμβασης.

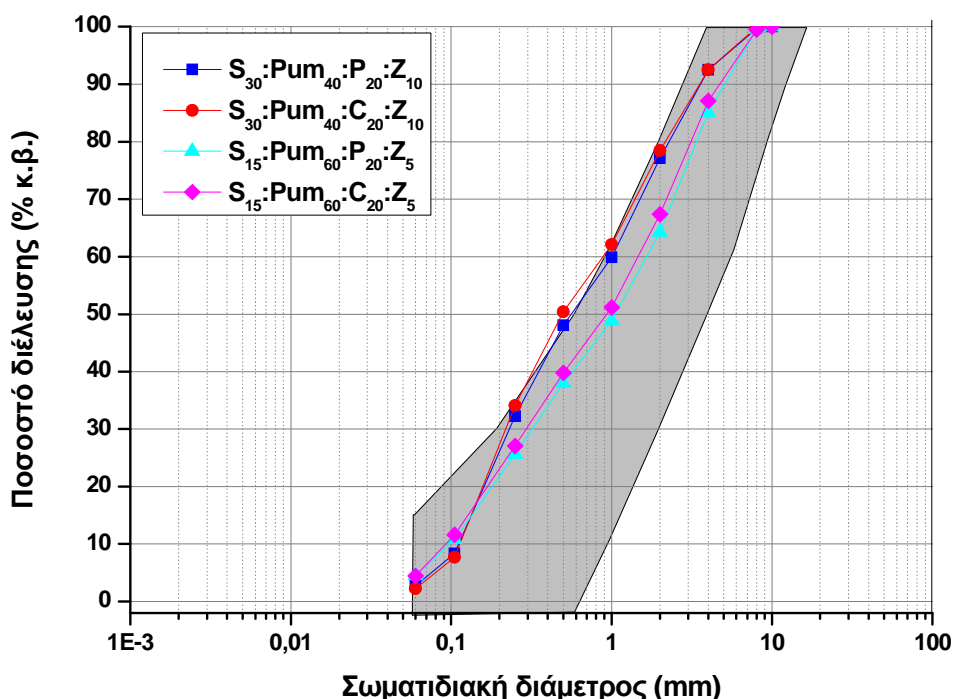
Πηγή παραλλακτικότητας	Υδατική καταπόνηση χλοοτάπητα						Εγκατάσταση χλοοτάπητα
	Υγρασία υποστρώματος		GTC		LSR	NDVI	GTC
	-----% κ.ό.-----		-----%-----		$s\ cm^{-1}$	-----	-----%-----
	1 ^{ος} κύκλος	2 ^{ος} κύκλος	1 ^{ος} κύκλος	2 ^{ος} κύκλος	1 ^{ος} κύκλος	2 ^{ος} κύκλος	
Επεμβάσεις (T)							
Z ₅ :Pum ₆₀ :P ₂₀ :Z ₅ -15 cm	25,49	16,65	79,61	43,80	5,72	0,6410	43,37
S ₁₅ :Pum ₆₀ :P ₂₀ :Z ₅ -7,5 cm	20,97	16,06	53,80	28,40	30,80	0,5401	36,42
S ₁₅ :Pum ₆₀ :C ₂₀ :Z ₅ -15 cm	22,65	13,80	67,50	41,31	17,03	0,6082	64,40
S ₁₅ :Pum ₆₀ :C ₂₀ :Z ₅ -7,5 cm	17,86	12,57	49,15	28,00	39,57	0,5268	48,87
S ₃₀ :Pum ₄₀ :P ₂₀ :Z ₁₀ -15 cm	19,94	12,96	70,63	41,02	14,39	0,6117	40,24
S ₃₀ :Pum ₄₀ :P ₂₀ :Z ₁₀ -7,5 cm	17,60	13,53	68,05	30,09	30,33	0,5405	35,21
S ₃₀ :Pum ₄₀ :C ₂₀ :Z ₁₀ -15 cm	18,78	11,97	70,20	36,45	18,46	0,5936	61,23
S ₃₀ :Pum ₄₀ :C ₂₀ :Z ₁₀ -7,5 cm	15,71	12,70	48,10	29,40	41,61	0,5327	50,34
F	27,67	18,58	20,60	14,06	33,61	11,07	165,67
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
LSD	1,70	1,13	7,29	5,04	6,32	0,0380	2,43
Ημερομηνίες δειγματοληψίας (D)							
F	2879,3	1786,5	872,7	1995,4	330,10	2077,0	1352,21
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Αλληλεπίδραση T x D							
F	10,51	11,96	18,31	21,32	11,05	13,78	21,56
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Επαναλήψεις							
F	0,63	0,63	0,82	1,00	1,37	1,37	0,20
P	0,6803	0,6747	0,5464	0,4326	0,2577	0,2600	0,9615
Υπόλοιπο A							
F	4,50	1,97	3,41	4,27	1,41	10,21	4,56
P	0,0000	0,0013	0,0000	0,0000	0,0802	0,0000	0,0000
Υπόλοιπο B							
F	181,70	137,77	64,72	159,9	25,58	167,63	173,25
P	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Z₅= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P=τύρφη, C= κομπόστ, Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες

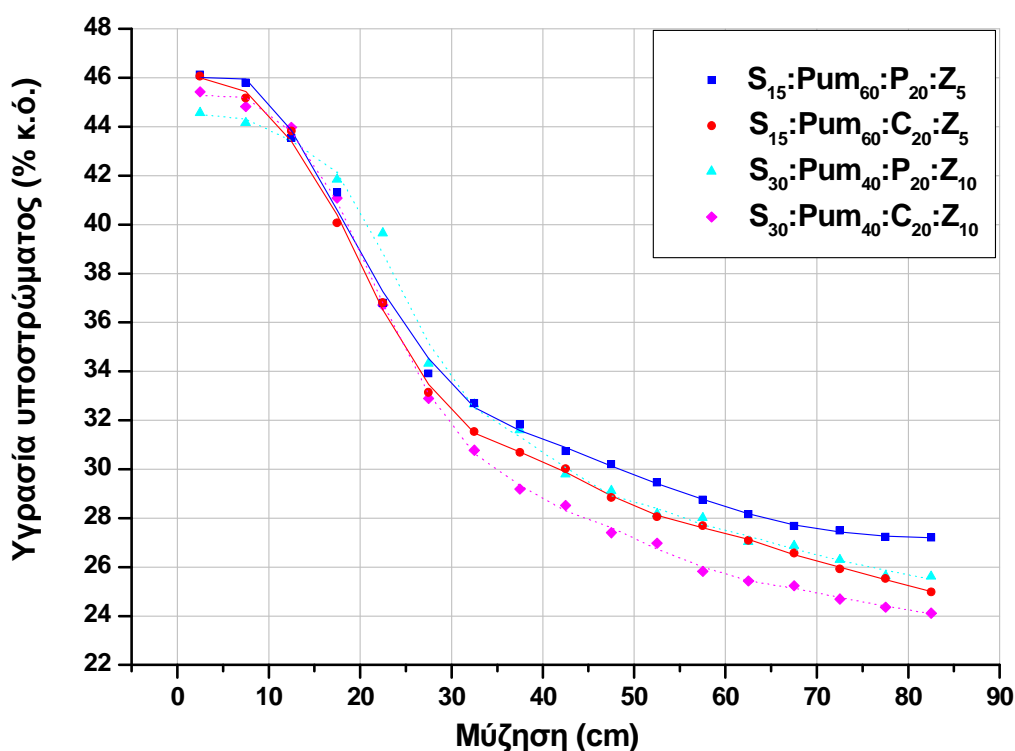
3.3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.3.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων

Οι κοκκομετρικές κατανομές των τεσσάρων υπό μελέτη υποστρωμάτων βρέθηκαν να εμπίπτουν στα όρια τα οποία συστήνονται από τις κατευθυντήριες οδηγίες FLL (FLL, 2008) για την κατασκευή εκτατικών φυτεμένων δωμαίων (Διάγρ. 3.3). Τα υποστρώματα, τα οποία περιείχαν 30% αμμοπηλώδες έδαφος στη σύνθεσή τους ($S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν ελαφρώς μεγαλύτερα ποσοστά από αυτά των οδηγιών για σωματιδιακές διαμέτρους μεταξύ 0,25-1 mm. Μια τέτοια παρέκκλιση όμως θεωρήθηκε ως ελάχιστης σημασίας λόγω της οριακής εκτροπής από τις οδηγίες και λόγω της ανάγκης για προσαρμογή των υπάρχουσών οδηγιών όπως αυτή προσδιορίστηκε από τους Nektarios et al. (2013). Τα υποστρώματα που περιείχαν 15% αμμοπηλώδες έδαφος στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$) είχαν πιο χονδρόκοκες κοκκομετρικές κατανομές οι οποίες ενέπιπταν απόλυτα στις κατευθυντήριες οδηγίες (Διάγρ. 3.3).



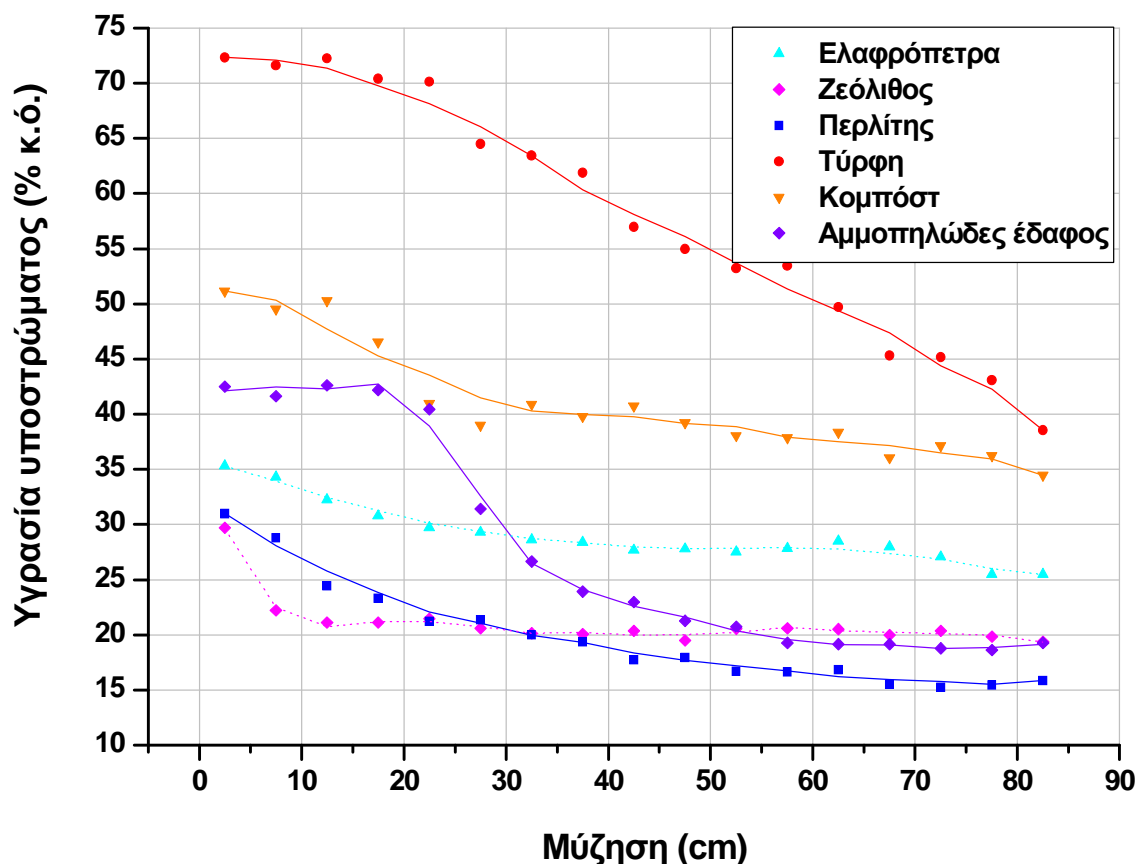
Διάγραμμα 3.3. Κατανομή κοκκομετρίας των τεσσάρων υποστρωμάτων ($S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους). Η γκριζα περιοχή υποδεικνύει το συνιστώμενο εύρος κοκκομετρίας σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008).



Διάγραμμα 3.4. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας για τα τέσσερα υποστρώματα ($S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους).

Από τις καμπύλες υγρασίας διαπιστώθηκε πως όλα τα υποστρώματα είχαν υψηλή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας στον κορεσμό, η οποία κυμαίνονταν από 44,5% έως 46% κ.ό. (Διάγρ. 3.4). Πιο συγκεκριμένα, τα υποστρώματα που περιείχαν 15% αμμοπηλώδες έδαφος στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$) εμφάνισαν ελαφρώς μεγαλύτερη υγρασία σε σχέση με αυτά που περιείχαν 30% αμμοπηλώδες έδαφος ($S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$), πιθανότατα λόγω της δημιουργίας μεγαλύτερου πορώδους στα υποστρώματα αυτά, το οποίο ευνόησε τη συγκράτηση της υγρασίας σε επίπεδα μύζησης 30-85 cm. Επίσης, τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) επέδειξαν περίπου 1-2% μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε σύγκριση με αυτά που περιείχαν κομπόστ ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$). Η διαφορά αυτή αποδίδεται στην αυξημένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας της τύρφης σε σχέση με το κομπόστ (Διάγρ. 3.5). Τα αποτελέσματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά των Olszewski et al. (2010) οι οποίοι ανέφεραν περιεκτικότητα υγρασίας 22-37% κ.ό. σε υποστρώματα

που περιείχαν χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο σχιστόλιθο, κομπόστ και hydrogel σε επίπεδα μύζησης 64 cm. Στην δική μας περίπτωση και για το ίδιο επίπεδο μύζησης η περιεκτικότητα σε υγρασία κυμαίνονταν από 25 έως 28% κ.ό.



Διάγραμμα 3.5. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των υλικών, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνθεση των υποστρωμάτων.

Η φαινόμενη πυκνότητα τόσο σε ξηρό όσο και σε κεκορεσμένο δείγμα ήταν μειωμένη στα υποστρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος (Πίν. 3.3) και ήταν σύμφωνη με την τιμή φαινόμενης πυκνότητας σε ξηρό των $0,96 \text{ g cm}^{-3}$ η οποία προτείνεται από τους Beattie and Berghage (2004) για υποστρώματα φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου. Οι φαινόμενες πυκνότητες των υπό μελέτη υποστρωμάτων ήταν παρόμοιες σε σχέση με τις τιμές φαινόμενης πυκνότητας των $0,87\text{-}0,88 \text{ g cm}^{-3}$ που αναφέρονται από τους Olszewski et al. (2010) για υποστρώματα φυτεμένων δωματίων αποτελούμενα από μίξη χονδρόκοκκου και λεπτόκοκκου σχιστόλιθου σε συνδυασμό με κομπόστ και hydrogel. Αντίθετα, οι Nektarios et al. (2011a) ανέφεραν τιμές φαινόμενης πυκνότητας που κυμαίνονταν

από 0,79 έως 0,77 g cm⁻³ σε υποστρώματα φυτοδωμάτων, τα οποία περιείχαν ελαφρόπετρα (40-50%), περλίτη (20%), κομπόστ (20%), ζεόλιθο (5-10%) και αμμοπηλώδες έδαφος (0-15%). Τα υποστρώματα των Nektarios et al. (2011a) ήταν ελαφρύτερα λόγω της χρήσης περλίτη στα μείγματα. Επιπροσθέτως, οι Getter and Rowe (2007) χρησιμοποίησαν στη μελέτη τους ένα εμπορικό υπόστρωμα το οποίο αποτελούταν από άμμο (86%), ιλύ (10%) και άργιλο (4%) το οποίο είχε φαινόμενη πυκνότητα στον κορεσμό 1,37 g cm⁻³, ενώ οι Nektarios et al. (2011a) ανέφεραν φαινόμενες πυκνότητες στον κορεσμό από 1,25 έως 1,26 g cm⁻³ για τα προαναφερόμενα υποστρώματα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και το ολικό πορώδες ήταν εντός των ορίων που προδιαγράφονται από τις κατευθυντήριες οδηγίες για εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα (Πίν. 3.3, FLL, 2008). Λόγω της χονδρόκοκκης υφής της ελαφρόπετρας καθώς και του αυξημένου εσωτερικού πορώδους της, το ολικό πορώδες στα υπό μελέτη υποστρώματα (44,5-46,1%) ήταν υψηλότερο σε σχέση με άλλες μελέτες. Πιο συγκεκριμένα, οι Olszewski and Young (2011) αναφέρουν τιμές ολικού πορώδους που κυμαίνεται από 33 έως 38% για υποστρώματα φυτοδωμάτων, τα οποία αποτελούνταν από διογκωμένη άργιλο διαφόρων κοκκομετριών σε συνδυασμό με κομπόστ. Οι Olszewski et al. (2010) αναφέρουν τιμές ολικού πορώδους που κυμαίνεται από 34 έως 44% για υποστρώματα αποτελούμενα από χονδρόκοκκο και λεπτόκοκκο σχιστόλιθο, κομπόστ και hydrogel. Στην ίδια μελέτη υψηλότερη τιμή πορώδους παρατηρήθηκε στο υπόστρωμα που περιείχε 50% χονδρόκοκκο σχιστόλιθο, 30% λεπτόκοκκο σχιστόλιθο και 20% κομπόστ σε συνδυασμό με την υψηλότερη περιεκτικότητα hydrogel.

Λόγω του αυξημένου pH της ελαφρόπετρας και του αμμοπηλώδους εδάφους, το pH των υπό μελέτη υποστρωμάτων ήταν υψηλό παραμένοντας όμως κάτω από το ανώτατο όριο του 8,5 που προδιαγράφουν οι οδηγίες FLL. Τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ (S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ και S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀) είχαν αυξημένα επίπεδα N, P, K και Mg σε σχέση με τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη (S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ και S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀) λόγω της υψηλής περιεκτικότητας του κομπόστ στα θρεπτικά στοιχεία αυτά (Πίν. 3.3).

Πίνακας 3.3. Φυσικές και χημικές ιδιότητες και περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία των υποστρωμάτων $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum=ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους.

	$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$	$S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$	$S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$	$S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$	Μέθοδος Ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.β.)	1,29	2,78	1,44	2,88	Απώλεια στην πύρωση
Ολικό N (%)	0,034	0,180	0,040	0,196	Kjeldahl
Ανταλλάξιμος P (mg kg ⁻¹)	4,0	107,8	2,8	151,8	Χρωματογραφικά
Ανταλλάξιμο K (mg kg ⁻¹)	73	1.919	495	1.584	Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Mg (mg kg ⁻¹)	153	415	112	384	
Ανταλλάξιμο Ca (mg kg ⁻¹)	1.840	1.510	2.586	2.627	
Ανταλλάξιμο Na (mg kg ⁻¹)	111	487	210	475	
pH	8,23	7,86	8,42	8,13	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm ⁻¹)	116,12	908,60	76,50	704,00	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Κορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα (kg L ⁻¹)	1,28	1,32	1,35	1,38	Λυσίμετρο
Φαινόμενη πυκνότητα ξηρού δείγματος (kg L ⁻¹)	0,806	0,824	0,868	0,876	Λυσίμετρο
Ολικό Πορώδες (%)	45,12	46,07	44,56	45,43	Λυσίμετρο

3.3.2. Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα χλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης

Η εδαφοκάλυψη (GTC) του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' παρουσίασε αύξηση αμέσως μετά την εγκατάσταση των πυρήνων (7 Ιουλίου 2009) και η αύξηση αυτή διήρκησε μέχρι την 21^η Σεπτεμβρίου 2009 (Διάγρ. 3.6). Κατόπιν, ο χλοοτάπητας άρχισε να εισέρχεται σταδιακά σε χειμερινό λήθαργο. Οι κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου και του χειμώνα του 2009 ήταν σχετικά ήπιες με τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία να παραμένει πάνω από τους 7,5 °C (Διάγρ. 3.1), με αποτέλεσμα ο χλοοτάπητας να μην εισέλθει σε πλήρη ληθαργική κατάσταση. Η έξοδος του χλοοτάπητα από το χειμερινό λήθαργο με την ταυτόχρονη σταδιακή επανάκτηση του πράσινου χρωματισμού του ξεκίνησε στις αρχές Μαρτίου 2010. Τα πειραματικά τεμάχια παρουσίασαν πλήρη εδαφοκάλυψη (100% GTC) περί τα τέλη Ιουνίου 2010 (Εικ. 3.33-3.34).

Διαπιστώθηκε πως, κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους (2009) δεν επετεύχθη πλήρης εδαφοκάλυψη στα πειραματικά τεμάχια καθώς, ανάλογα με την επέμβαση, κυμαινόταν από 62 έως 90% (Διάγρ. 3.6). Κατά το δεύτερο έτος της μελέτης (2010) το ποσοστό κάλυψης αυξήθηκε με σχετικά αργούς ρυθμούς αν και βελτιώθηκε σημαντικά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Το μεγάλο χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για την εγκατάσταση και πλήρη εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα στα πειραματικά τεμάχια, οφείλεται στον αργό ρυθμό ανάπτυξης του *Z. matrella* 'Zeon' όπως αναφέρεται και από τους Volterrani et al. (2010).

Τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος (15 cm) παρουσίασαν αυξημένη εδαφοκάλυψη από τον πρώτο κίολας μήνα μετά την εγκατάσταση των πυρήνων χλοοτάπητα καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 3.6). Τα υψηλότερα ποσοστά εδαφοκάλυψης στις επεμβάσεις αυτές, ήταν εμφανή και κατά την περίοδο του χειμερινού λήθαργου καθώς και κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2010. Τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ και ήταν τοποθετημένα σε πειραματικά τεμάχια με αβαθή υποστρώματα 7,5 cm παρουσίασαν ένα μέτριο ρυθμό εδαφοκάλυψης. Αντίθετα, τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν αργό ρυθμό εδαφοκάλυψης ιδιαίτερα όταν συνδυάζονταν με μικρό βάθος υποστρώματος (7,5 cm) (Διάγρ. 3.6, Πίν. 3.2).

Οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων που περιείχαν κομπόστ και αυτών με τύρφη, αποδίδονται στην αυξημένη περιεκτικότητα σε

θρεπτικά στοιχεία των υποστρώματων με κομπόστ όπως φαίνεται και από την ανάλυσή τους στον Πίνακα 3.3. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τη μελέτη των Ruemmele et al. (2001), οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση του ποσοστού εδαφοκάλυψης του *Z. matrella* όταν τα επίπεδα λίπανσης αυξάνονταν από 48,8 σε 97,66 kg ha⁻¹ κατά την παραγωγή μοσχεύματος έτοιμου χλοοτάπητα.

Σε επιλεγμένες ημερομηνίες δειγματοληψίας, τα υποστρώματα που περιείχαν χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος (S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ και S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅) παρουσίασαν μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη σε σχέση με τα υποστρώματα που περιείχαν υψηλότερο ποσοστό αμμοπηλώδους εδάφους (S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀ και S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀) (Διάγρ. 3.6). Παρ' όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα, δεν παρατηρήθηκε μια σαφής διάκριση, υποδεικνύοντας ότι η επίδραση του ποσοστού συμμετοχής του αμμοπηλώδους εδάφους δεν είναι σημαντική όταν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση (Πιν. 3.2).

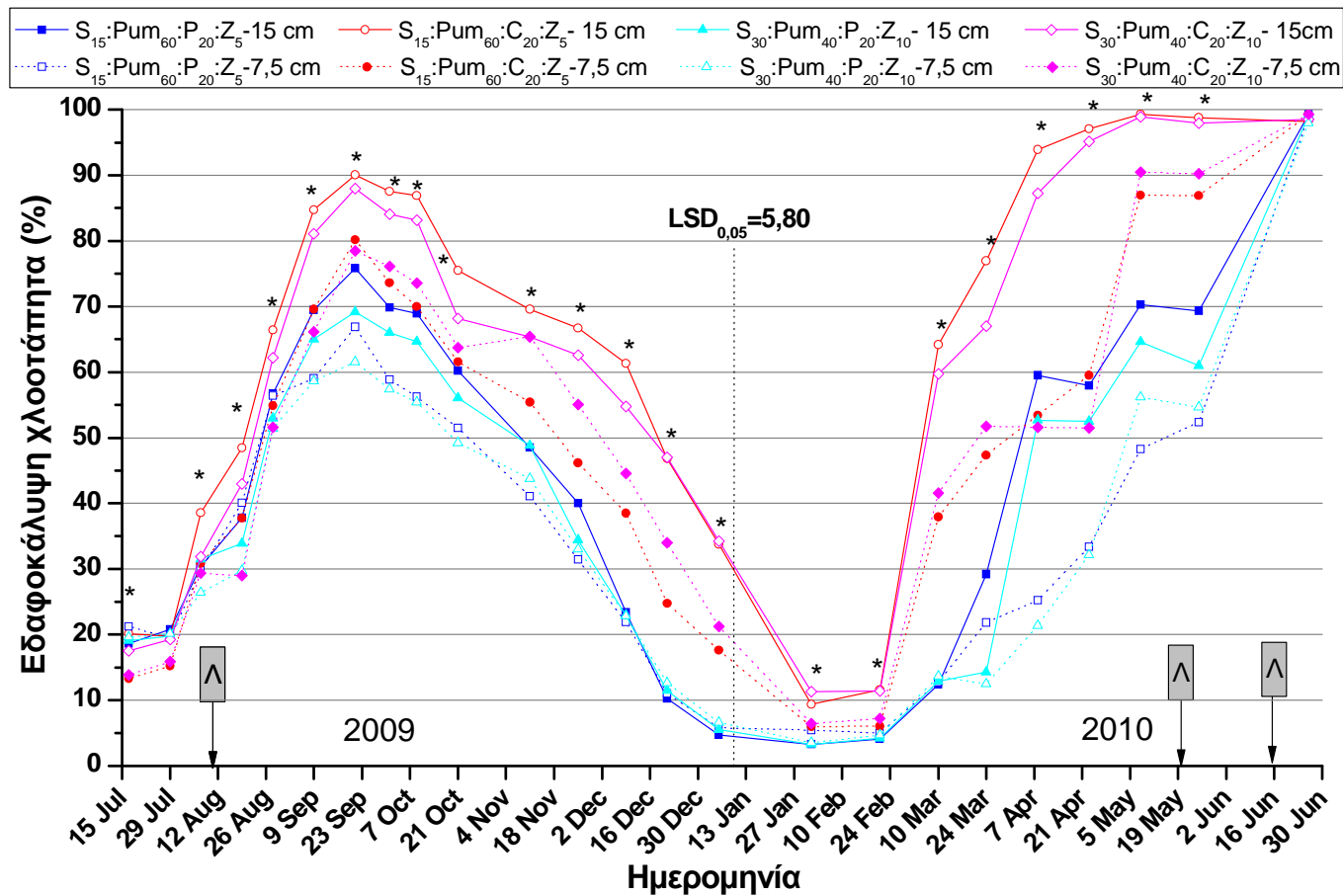
Όσον αφορά την επίδραση του βάθους του υποστρώματος παρατηρήθηκε πως, για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα, το ποσοστό εδαφοκάλυψης ήταν σημαντικά μεγαλύτερο στα πειραματικά τεμάχια με βάθος υποστρώματος 15 cm σε σύγκριση με αυτά που είχαν βάθος 7,5 cm. Οι διαφορές αυτές ήταν εμφανείς από τα μέσα Σεπτεμβρίου 2009, μεγιστοποιήθηκαν την άνοιξη του 2010 και διήρκησαν μέχρι και το τέλος της μελέτης εγκατάστασης και ανάπτυξης, περί τα τέλη Ιουνίου 2010, όπου η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων εξισορροπήθηκε και έφτασε στην μεγαλύτερη τιμή της (-100%).

Τα μεγαλύτερα ποσοστά εδαφοκάλυψης που παρατηρήθηκαν στα πειραματικά τεμάχια με βάθος 15 cm σε σχέση με αυτά των 7,5 cm μπορούν να αποδοθούν στη συνδυασμένη επίδραση πολλών παραγόντων όπως είναι: α) αυξημένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας λόγω του μεγαλύτερου βάθους και της μικρότερης εξάτμισης, β) ύπαρξη μεγαλύτερου όγκου υποστρώματος για επαρκή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, και γ) προστασία από τις ακραίες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις (Boivin et al., 2001). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους Dunnett et al. (2008), για συστήματα φυτεμένων δωματίων σχετικά με τη βιωσιμότητα και την ανάπτυξη 15 πολυετών ποωδών γρασιδιών και φυτών. Οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα πως όταν το βάθος υποστρώματος είναι 20 cm έναντι βάθους 10 cm υπάρχει σημαντική βελτίωση, τόσο ως προς τη βιωσιμότητα των φυτών σε συνθήκες φυτοδώματος, όσο και ως προς την ανάπτυξη αυτών. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρθηκαν και από τους Benvenuti και Bacci (2010) οι οποίοι μελέτησαν 20 ξηροφυτικά είδη φυτών και παρατήρησαν πως στην

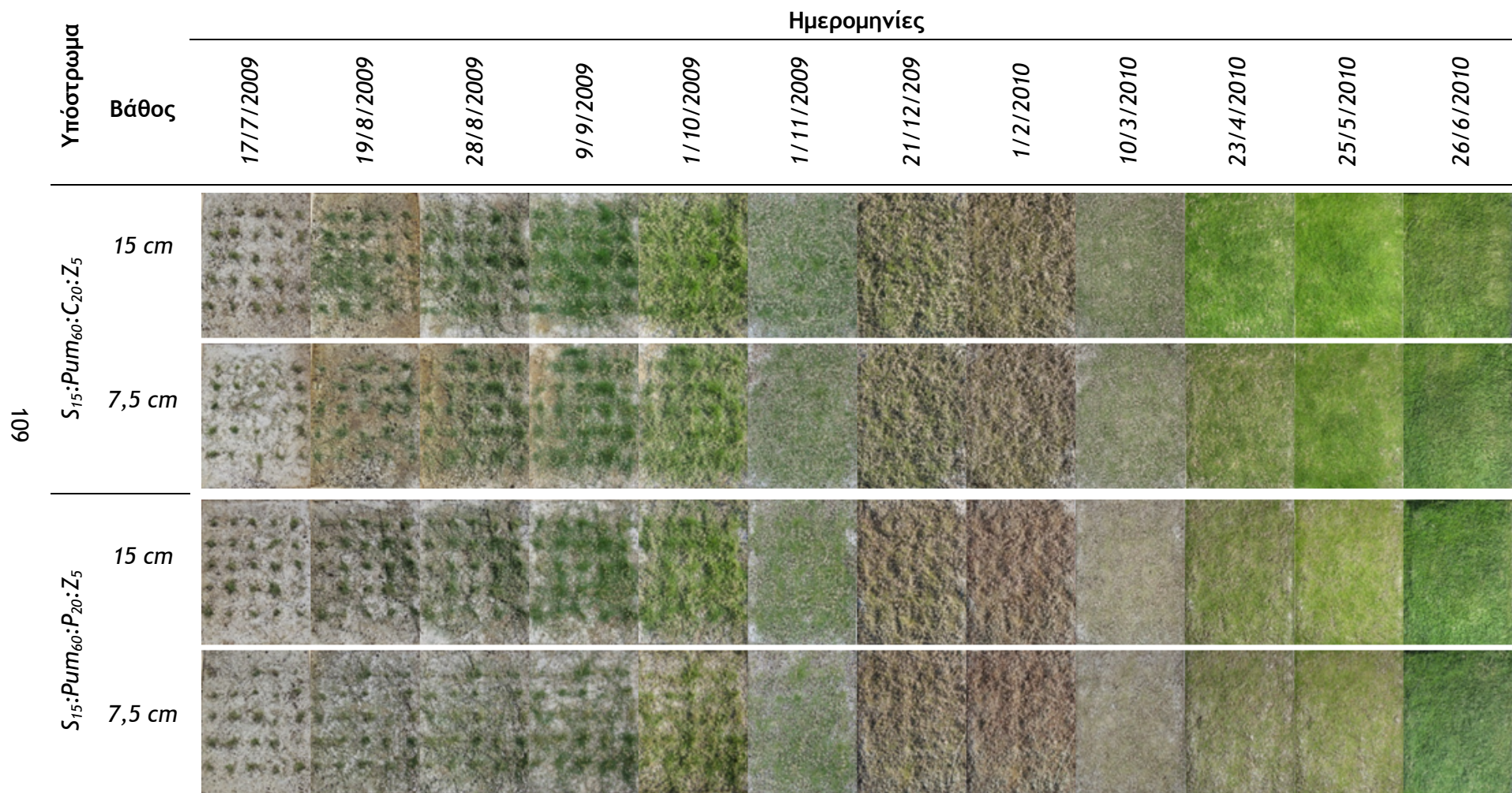
πλειοψηφία τους παρουσίασαν αύξηση στην ανάπτυξη τους και στο ποσοστό της εδαφοκάλυψης καθώς το βάθος του υποστρώματος αυξάνονταν από 10 σε 15 cm.



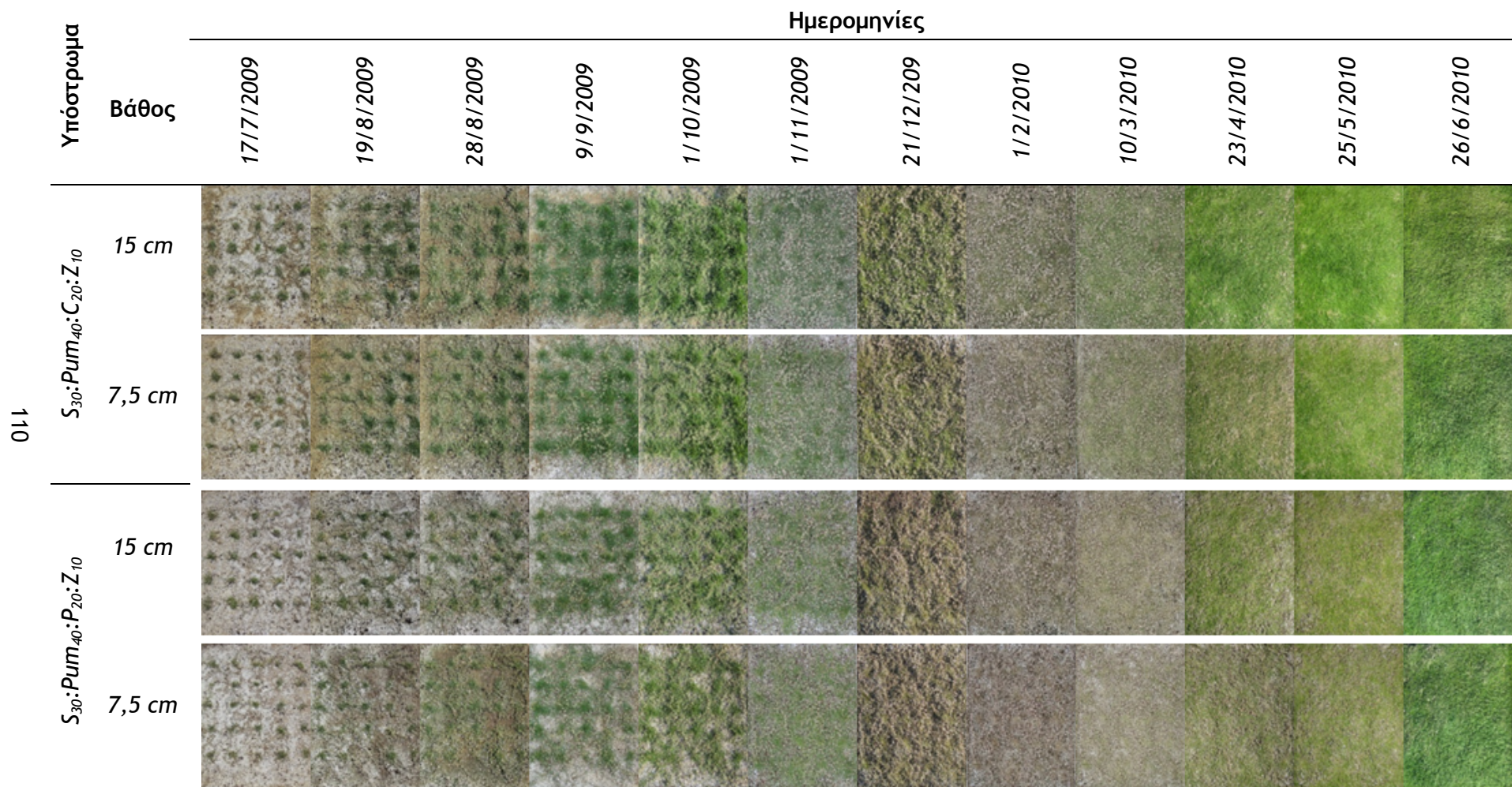
Εικόνα 3.32. Άποψη των πειραματικών τεμαχίων καλυμμένα με χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' (Ημερομηνία λήψης: 16/6/2010).



Διάγραμμα 3.6. Ποσοστό εδαφικάλυψης του χλοοτάπητα (%), όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:P_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Με το γράμμα "Λ" υποδεικνύονται οι ημερομηνίες εφαρμογής της λίπανσης.



Εικόνα 3.33. Φωτογραφική απεικόνιση της εδαφοκάλυψης του κλοστάπητα *Z. matrella* κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξής του όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm)



Εικόνα 3.34. Φωτογραφική απεικόνιση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα *Z. matrella* κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξής του όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ και $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm)

3.3.3. Αποτελέσματα από τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης

3.3.3.1. Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος

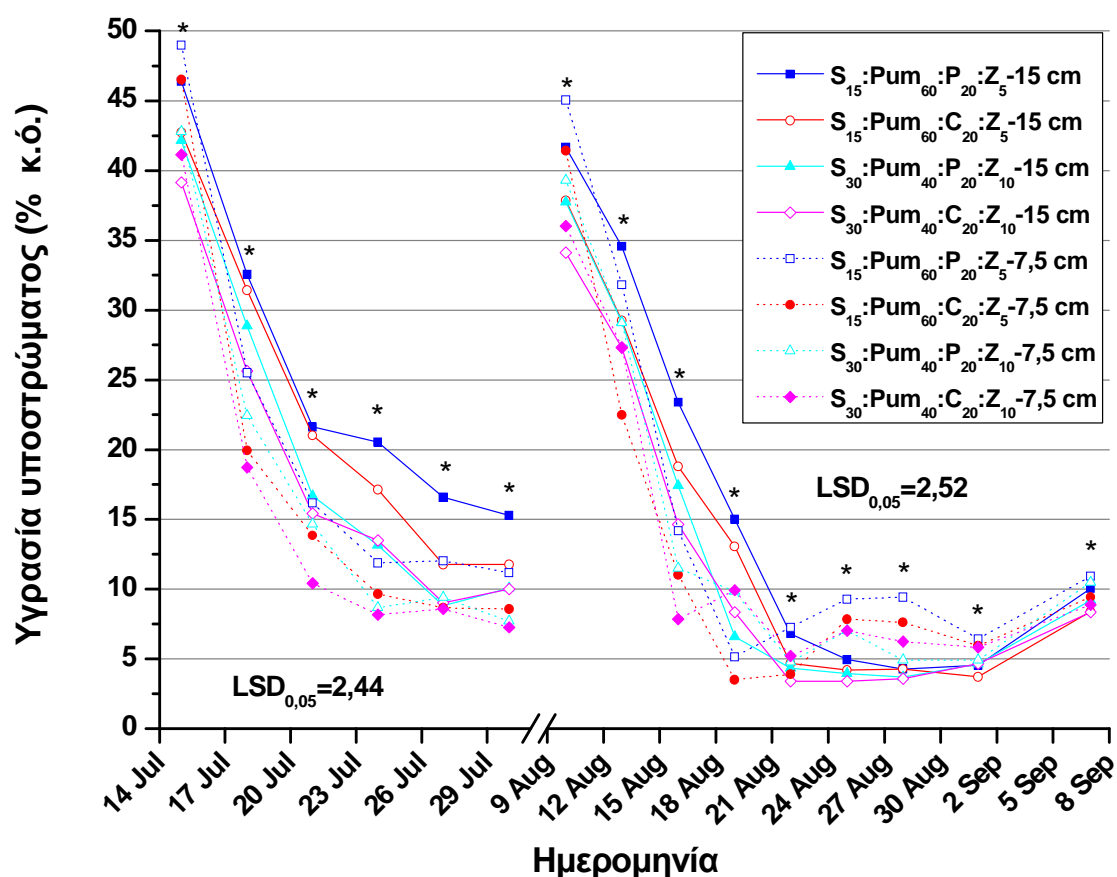
Κατά τη διάρκεια και των δύο περιόδων καταπόνησης του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' μέσω ελλειμματικής άρδευσης (15 έως 30 Ιουλίου 2010 και 10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010), το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος μειώθηκε σημαντικά εντός των 12 πρώτων ημερών ανεξαρτήτως του τύπου και του βάθους του υποστρώματος (Διάγρ. 3.7). Η μείωση της υγρασίας του υποστρώματος ήταν παρόμοια και για τις δύο περιόδους καταπόνησης όπως προκύπτει από τις καμπύλες του Διαγράμματος 3.7.

Κατά τη διάρκεια απώλειας υγρασίας των υποστρωμάτων, τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με τα αβαθή (7,5 cm) για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα και σε όλες τις ημερομηνίες δειγματοληψίας. Εξάιρεση αποτέλεσε κατά το δεύτερο κύκλο καταπόνησης η περίοδος από την 25^η Αύγουστου έως την 7^η Σεπτεμβρίου, όπου η κατάσταση αντιστράφηκε και η περιεκτικότητα σε υγρασία στα αβαθή υποστρώματα (7,5 cm) ήταν μεγαλύτερη από αυτή των βαθύτερων (15 cm). Η αναστροφή αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι στα αβαθή πειραματικά τεμάχια, ο χλοοτάπητας εισήλθε γρηγορότερα σε λήθαργο λόγω της υδατικής καταπόνησης, γεγονός το οποίο τεκμηριώνεται και από τις μετρήσεις του GTC καθώς και του NDVI (Διαγρ. 3.8 και 3.9). Ο ληθαργημένος χλοοτάπητας των αβαθών υποστρωμάτων δεν προκάλεσε απώλειες νερού μέσω της διαπνοής του, με αποτέλεσμα την αύξηση της υγρασίας του υποστρώματος δεδομένου ότι το νερό της άρδευσης δεν χρησιμοποιείτο πλέον από τα φυτά.

Το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ σε συνδυασμό με το βάθος υποστρώματος των 15 cm παρουσίασε τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες επεμβάσεις κατά τη διάρκεια και των δύο κύκλων καταπόνησης (Διάγρ. 3.7, Πίν. 3.2). Στο ίδιο βάθος (15 cm), το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ παρουσίασε σημαντικά αυξημένα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με τις εναπομείνουσες επεμβάσεις, μόνο όμως κατά τα πρώτα στάδια των δύο κύκλων καταπόνησης.

Στα πειραματικά τεμάχια με βάθος υποστρώματος 7,5 cm τα υποστρώματα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ και $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ παρουσίασαν τα χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας, ενώ τα υπόλοιπα υποστρώματα σε συνδυασμό με τα βαθύτερα είτε τα αβαθή τεμάχια παρουσίασαν μέτρια ποσοστά υγρασίας (Διάγρ. 3.7, Πίν. 3.2).

Γενικά, τα αποτελέσματα από τον επιτόπιο προσδιορισμό της υγρασίας των υποστρώματων ήταν σε συμφωνία με τις χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας τους όπως διαπιστώνεται και από το Διάγραμμα 3.4 ($S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5 > S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10} = S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5 > S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$).



Διάγραμμα 3.7. Ποσοστό της κατ' όγκο υγρασίας του υποστρώματος (% κ.ό.), όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων καταπόνησης του κλοσάπητα μέσω ελλειμματικής άρδευσης (15 Ιουλίου έως 30 Ιουλίου 2010 και 10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο.

3.3.3.2. Εδαφοκάλυψη πράσινων τμημάτων χλοοτάπητα (GTC)

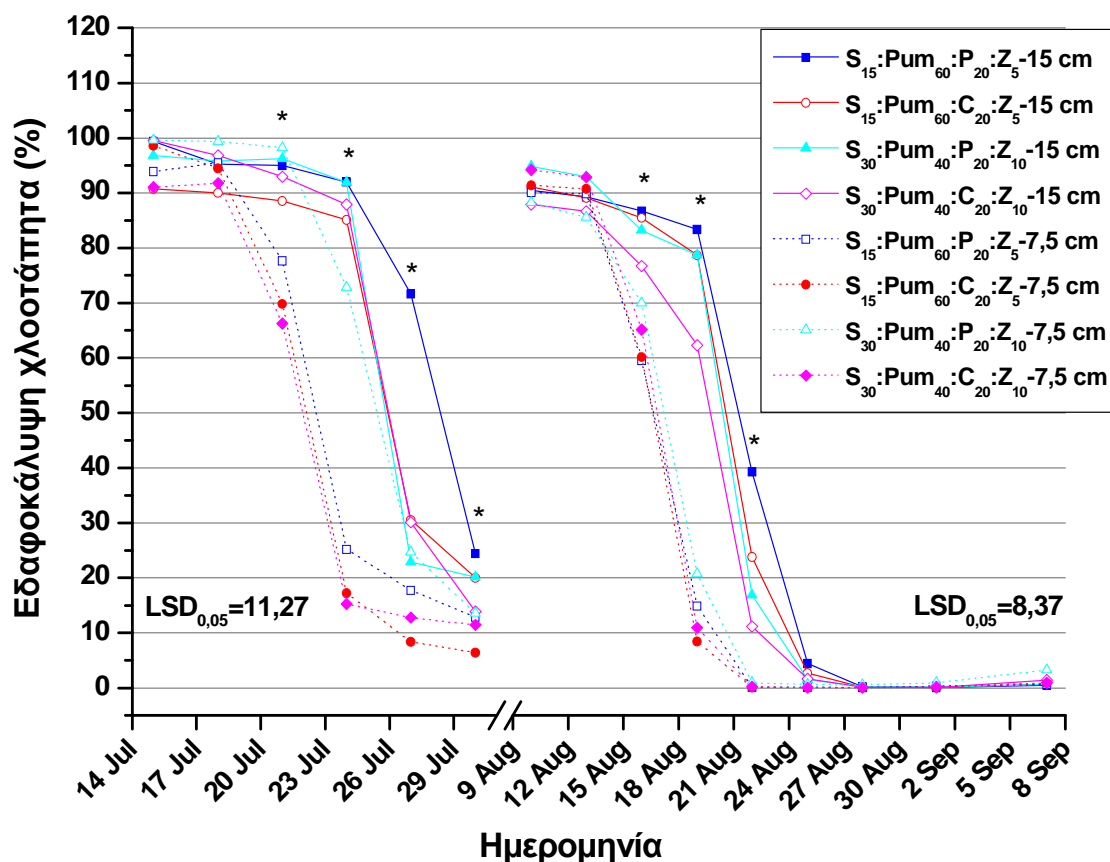
Με βάση τα αποτελέσματα εδαφοκάλυψης (GTC) του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon', η ανάπτυξή του άρχισε να μειώνεται 3 έως 6 ημέρες μετά την επιβολή καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης για τα πειραματικά τεμάχια με βάθος υποστρώματος 7,5 cm. Αντίθετα, για τα πειραματικά τεμάχια με βάθος υποστρώματος 15 cm το GTC εμφάνισε μείωση μετά από 6 έως 9 ημέρες. Η μείωση του GTC ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο κύκλων καταπόνησης (Διάγρ. 3.8). Η υδατική καταπόνηση, όπως αυτή εκφράζεται από το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, ήταν μικρότερη στα βαθύτερα υποστρώματα σε σύγκριση με τα αβαθή με μόνη εξαίρεση, το υπόστρωμα $S_{30}:P_{40}:P_{20}:Z_{10}$ σε βάθος υποστρώματος 7,5 cm κατά τις πρώτες 9 ημέρες του πρώτου κύκλου καταπόνησης.

Η σημαντικά μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη που παρατηρήθηκε σε βάθος υποστρώματος 15 cm σε σύγκριση με το βάθος των 7.5 cm (Πίν. 3.2) ήταν σε συνάρτηση με τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας που παρατηρήθηκαν στα βαθύτερα υποστρώματα (Διάγρ. 3.7). Η διαφορά αυτή μπορεί επίσης να αποδοθεί και στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος επιτρέπει την έκφραση των μηχανισμών αποφυγής του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση. Πιο συγκεκριμένα, η Huang (1999) ανέφερε πως το *Z. japonica* Steud, παρουσιάζει μηχανισμό αποφυγής στην υδατική καταπόνηση, ο οποίος συνίσταται σε μείωση των επιφανειακών ριζών και αναδιανομή του ριζικού συστήματος σε μεγαλύτερα βάθη, προκειμένου τα φυτά να εκμεταλλευτούν αποθέματα νερού που βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη. Ωστόσο, στα περιορισμένα βάθη υποστρώματος των εκτατικών φυτοδωμάτων, η έκφραση ενός τέτοιου μηχανισμού παρεμποδίζεται με αποτέλεσμα τα γρασίδια να είναι πιο ευάλωτα στην υδατική καταπόνηση. Επιπλέον, στα μεγαλύτερα βάθη υποστρώματος επιτρέπεται η ανάπτυξη περισσότερων ριζών, οι οποίες διευκολύνουν τα γρασίδια να ανταπεξέλθουν καλύτερα και να διατηρήσουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα τις φυσιολογικές τους λειτουργίες, όταν υπόκεινται στις δυσμενείς συνθήκες που προκαλούνται από την υδατική καταπόνηση (Marcum et al., 1995; Huang et al., 1997).

Το υπόστρωμα $S_{15}:P_{60}:P_{20}:Z_5$ επέδρασε θετικά και προκάλεσε τη μικρότερη καταπόνηση στο χλοοτάπητα μόνο όταν συνδυαζόταν με τα βαθύτερα υποστρώματα και στους δύο κύκλους ελλειμματικής άρδευσης (Διάγρ 3.8, Πίν. 3.2). Αντιθέτως, όλα τα υποστρώματα όταν συνδυάστηκαν με τα αβαθή υποστρώματα (7,5 cm), εμφάνισαν το χειρίστο GTC και στους δύο κύκλους καταπόνησης. Εξαίρεση αποτέλεσε το υπόστρωμα $S_{30}:P_{40}:P_{20}:Z_{10}$ κατά τον πρώτο κύκλο καταπόνησης

όπου επέδειξε τιμές παρόμοιες με αυτές των υποστρωμάτων σε βάθος 15 cm (Εικ. 3.35-3.36).

Στις περισσότερες ημερομηνίες δειγματοληψίας, τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν υψηλότερες τιμές GTC σε σύγκριση με αυτά που περιείχαν κομπόστ ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) στη σύνθεσή τους. Τα αποτελέσματα αυτά μπορούν να αποδοθούν στο γεγονός ότι τα υποστρώματα με τύρφη παρουσίασαν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας όπως παρατηρείται και από τα Διαγράμματα 3.4 και 3.7. Επίσης, στα υποστρώματα με κομπόστ ο χλοοτάπητας ανέπτυξε πλουσιότερη βλάστηση με αυξημένη φυλλική επιφάνεια, η οποία οδήγησε σε αυξημένες υδατικές απαιτήσεις. Αύξηση στην κατανάλωση νερού από χλοοτάπητες, όταν εφαρμόζονται υψηλά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης, έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές (Feldhake et al., 1983; Devitt et al., 1992; Barton et al., 2009). Ως εκ τούτου, οι αυξημένες αυτές απαιτήσεις δυσχέραναν τον εγκλιματισμό του χλοοτάπητα σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.



Διάγραμμα 3.8. Ποσοστό εδαφοκάλυψης πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (%), όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:P_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{60}:P_{20}:Z_{5}$, $S_{15}:P_{60}:C_{20}:Z_{5}$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους, σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια των δύο περιόδων καταπόνησης του χλοοτάπητα μέσω ελλειμματικής άρδευσης (15 Ιουλίου έως 30 Ιουλίου 2010 και 10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο.

Υπόστρωμα	Βάθος	1 ^{ος} Κύκλος Ελλειμματικής Άρδευσης						2 ^{ος} Κύκλος Ελλειμματικής Άρδευσης								
		15/7/2010	18/7/2010	21/7/2010	24/7/2010	27/7/2010	30/7/2010	10/8/2010	13/8/2010	16/8/2010	19/8/2010	22/8/2010	25/8/2010	28/8/2010	1/9/2010	7/9/2010
$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$	15 cm															
	7,5 cm															
$S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$	15 cm															
	7,5 cm															

Εικόνα 3.35. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* κατά τη διάρκεια των δύο κύκλων ελλειμματικής άρδευσης, όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm).

Υπόστρωμα	Βάθος	1 ^{ος} Κύκλος Ελλειμματικής Άρδευσης						2 ^{ος} Κύκλος Ελλειμματικής Άρδευσης								
		15/7/2010	18/7/2010	21/7/2010	24/7/2010	27/7/2010	30/7/2010	10/8/2010	13/8/2010	16/8/2010	19/8/2010	22/8/2010	25/8/2010	28/8/2010	1/9/2010	7/9/2010
$S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$	15 cm															
	7,5 cm															
$S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$	15 cm															
	7,5 cm															

Εικόνα 3.36. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* κατά την διάρκεια των δύο κύκλων ελλειμματικής άρδευσης όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ και $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm).

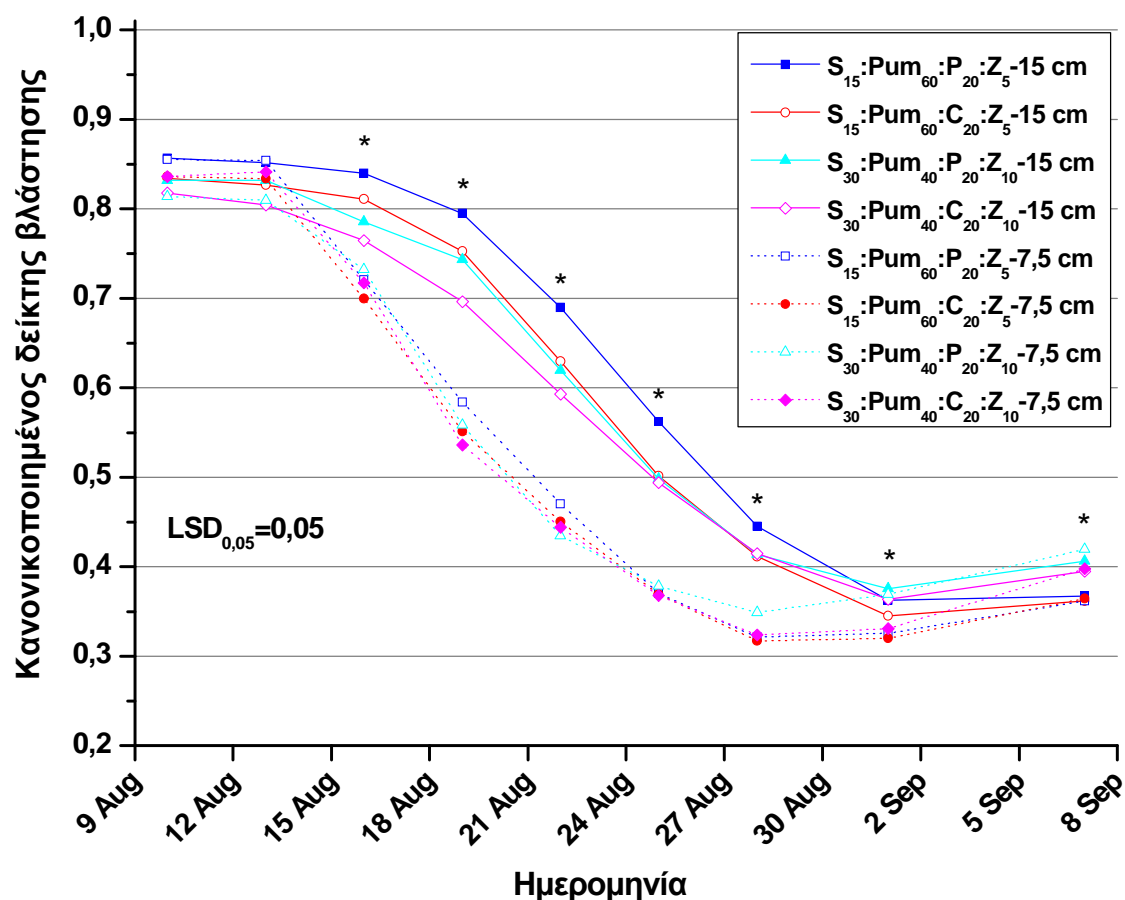
3.3.3.3. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα των μετρήσεων του GTC, παρουσιάζοντας ένα σαφή διαχωρισμό μεταξύ των δύο διαφορετικών βαθών υποστρώματος (Διάγρ. 3.9). Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώθηκαν σημαντικά υψηλότερες τιμές NDVI και κατ' επέκταση μεγαλύτερη αντοχή του χλοοτάπητα σε συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης, όταν τα υποστρώματα βρίσκονταν σε πειραματικά τεμάχια με βάθος υποστρώματος 15 cm, έναντι αυτών με βάθος υποστρώματος 7,5 cm.

Ιδιαίτερα, στο βάθος υποστρώματος των 15 cm, το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ παρουσίασε τις υψηλότερες τιμές NDVI καθ' όλη τη διάρκεια του δεύτερου κύκλου καταπόνησης (Διάγρ. 3.9, Πίν 3.2). Τα υποστρώματα $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές NDVI από τις 16 έως τις 21 Αυγούστου 2010, ενώ τις χαμηλότερες τιμές κατά το διάστημα αυτό παρουσίασε το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$.

Στο μικρό βάθος υποστρώματος των 7,5 cm, όλα τα υποστρώματα παρουσίασαν παρόμοιες τιμές NDVI. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι, η καταπόνηση στο μικρό βάθος υποστρώματος ήταν έντονη κυρίως λόγω της περιορισμένης υγρασίας, ώστε η επίδραση του τύπου του υποστρώματος να υποβαθμίζεται.

Παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την επίδραση του βάθους του υποστρώματος στην ανάπτυξη και επιβίωση χλοοταπήτων έχουν δημοσιευτεί από τους Steinke et al. (2011) οι οποίοι μελέτησαν την αντίδραση διαφόρων ποικιλιών αγριάδας [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] και buffalograss [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.] μεταξύ περιορισμένου (10 cm) και απεριόριστου βάθους υποστρώματος για 60 συνεχόμενες ημέρες ξηρασίας. Οι ερευνητές ανέφεραν ότι, σε βάθος υποστρώματος 10 cm όλες οι ποικιλίες και για τα δύο είδη χλοοτάπητα απέτυχαν να επιβιώσουν, ενώ ο πράσινος χρωματισμός τους απωλέσθηκε εντός των πρώτων 20 ημερών της ξηρασίας. Αντίθετα, όλες οι ποικιλίες και των δύο ειδών χλοοτάπητα επέζησαν και ανέκαμψαν της ξηρασίας στην επέμβαση κατά την οποία δεν υπήρχε περιορισμός στο βάθος του εδάφους.



Διάγραμμα 3.9. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης του χλοοτάπητα, όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:P_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{60}:P_{20}:Z_{5}$, $S_{15}:P_{60}:C_{20}:Z_{5}$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{10} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου καταπόνησης του χλοοτάπητα μέσω ελλειμματικής άρδευσης (10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο.

3.3.3.4. Αντίσταση στοματίων των φύλλων χλοοτάπητα

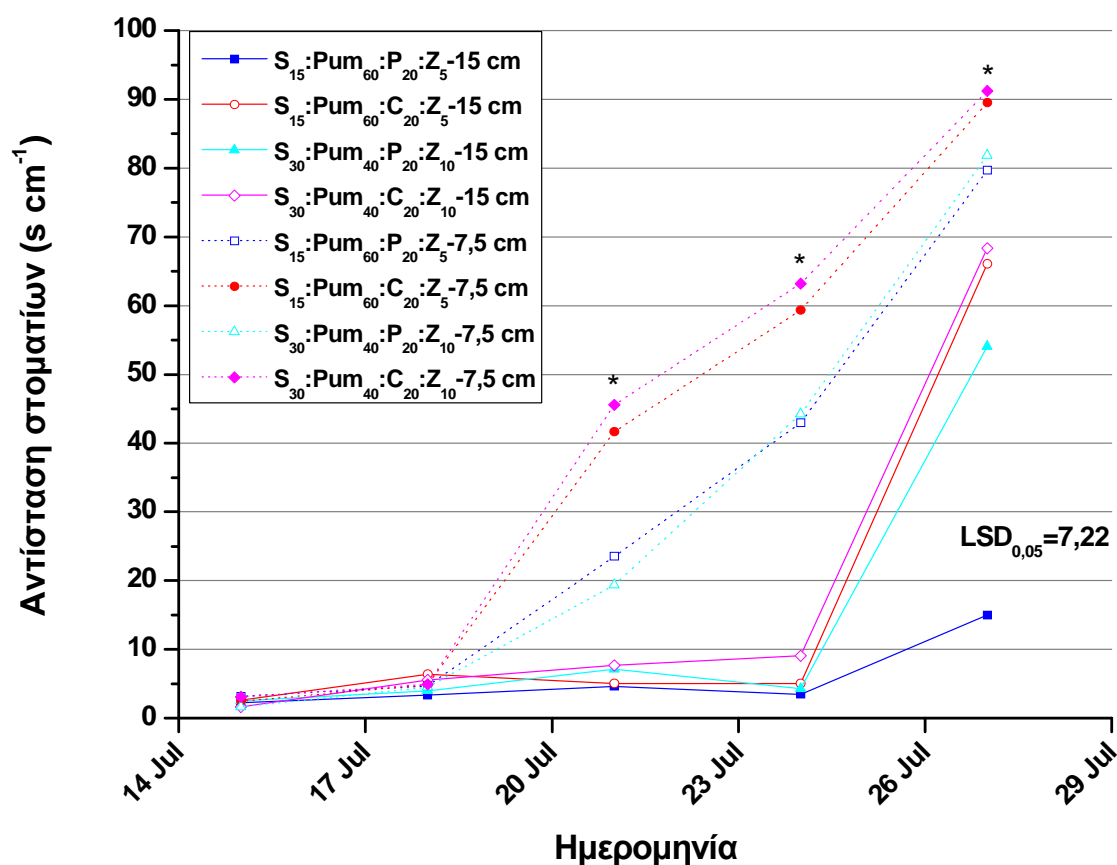
Όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα, όταν συνδυάστηκαν με βάθος υποστρώματος 15 cm παρουσίασαν σχετικά χαμηλή αντίσταση στοματίων κατά τις 9 πρώτες ημέρες του πρώτου κύκλου της υδατικής καταπόνησης υποδεικνύοντας ότι ο χλοοτάπητας δεν είχε υποστεί σημαντική καταπόνηση. Αντίθετα, όταν το βάθος του υποστρώματος ήταν 7,5 cm, η αντίσταση των στοματίων άρχισε να αυξάνεται μόλις 6 μέρες μετά από την έναρξη της υδατικής καταπόνησης (Διάγρ. 3.10).

Μελέτες όσον αφορά τη στοματική αγωγιμότητα σε σχέση με τη φυσιολογική κατάσταση διαφόρων ειδών χλοοταπήτων πραγματοποιήθηκαν από τους Carmo-Silva et al. (2008, 2009), οι οποίοι παρατήρησαν υπό συνθήκες ελλειμματικής άρδευσης στα είδη *Cynodon dactylon*, *Zoysia japonica* and *Paspalum dilatatum* [Poir.] ότι η μείωση της στοματικής αγωγιμότητας εμφανιζόταν νωρίτερα από τη μείωση της φωτοσύνθεσης και συμπέραναν ότι η φυσιολογική αυτή αλληλουχία εξασφαλίζει στα φυτά τη βελτιστοποίηση του υπάρχοντος νερού σε συνθήκες ξηρασίας. Οι ίδιοι ερευνητές ανέφεραν επίσης, πως σε συνθήκες μειωμένης υγρασίας υποστρώματος το είδος *Z. japonica* εμφάνισε έντονη συστροφή των φύλλων, φαινόμενο το οποίο παρεμποδίζει την αφυδάτωση των γρασιδιών ελαχιστοποιώντας την επιφάνεια εξατμισοδιαπνοής. Ομοίως παρατηρήθηκε στη μελέτη μας, ότι το είδος *Z. matrella* 'Zeon' παρουσίασε έντονη συστροφή των φύλλων 6 έως 12 ημέρες, ανάλογα με την επέμβαση, μετά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης των στοματίων.

Από τις μετρήσεις της αντίστασης των στοματίων διακρίνεται πως τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν μικρότερη καταπόνηση σε σχέση με αυτά που περιείχαν κομπόστ ενισχύοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα των μετρήσεων που αφορούσαν το GTC και το NDVI (Διάγρ. 3.8-3.10). Σε συμφωνία με τις προαναφερθείσες μετρήσεις το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ συνδυαζόμενο με βάθος υποστρώματος 15 cm είχε τη μικρότερη αντίσταση στοματίων, υποδηλώνοντας πως στην επέμβαση αυτή ο χλοοτάπητας είχε τη μικρότερη καταπόνηση (Πίν. 3.2)

Η παρατηρούμενη αύξηση της αντίστασης των στοματίων (Διάγρ. 3.10) βρέθηκε να είναι σε καλή αντιστοιχία με το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος για κάθε επέμβαση (Διάγρ. 3.7). Πιο συγκεκριμένα, η αντίσταση των στοματίων στα υποστρώματα $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ και σε αβαθές υπόστρωμα 7,5 cm αυξήθηκε σε τιμές που υπερέβαιναν τα 40 s cm^{-1} μόλις 6 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης καθώς το ποσοστό της υγρασίας του

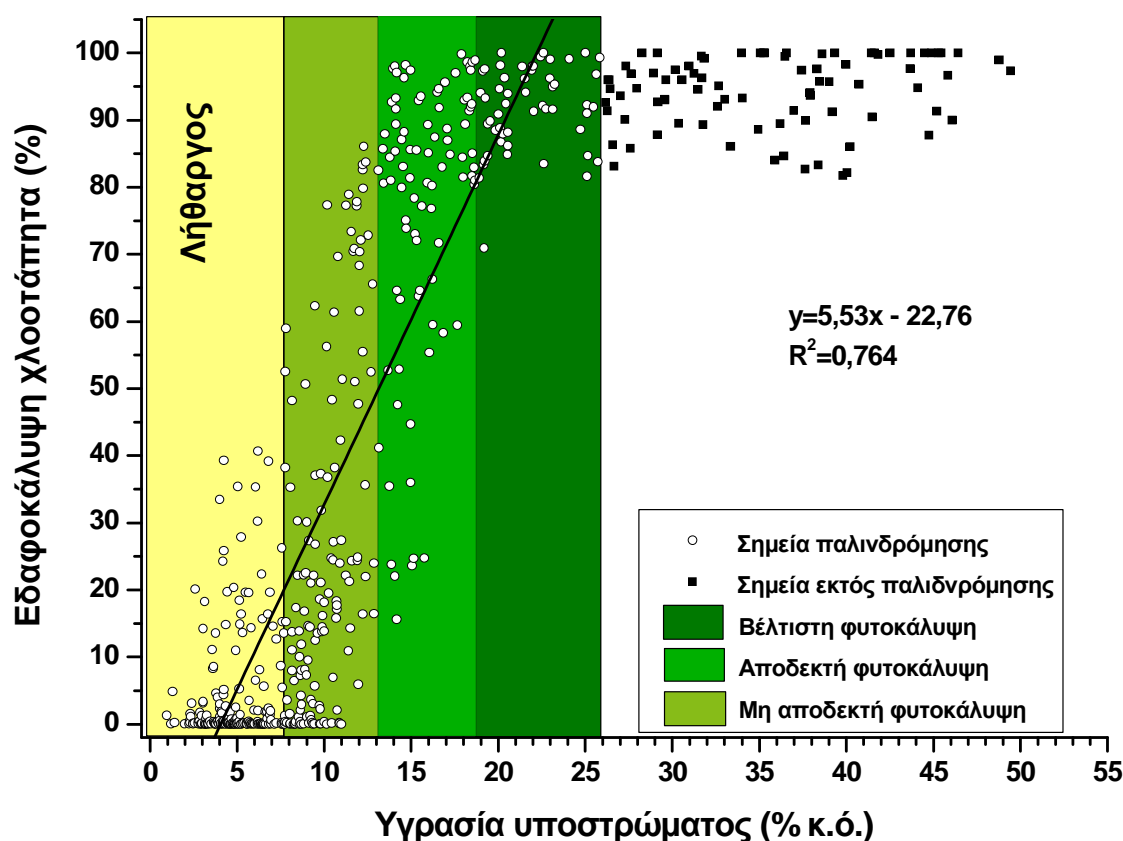
υποστρώματος στις επεμβάσεις αυτές κυμαίνονταν από 10 έως 15%. Τα υποστρώματα $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ έφτασαν στα ίδια επίπεδα αντίστασης στοματίων ($40-45 s\ cm^{-1}$) εννέα ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης που συμπίπτει με τη μείωση του ποσοστού υγρασίας στα συγκεκριμένα υποστρώματα σε ποσοστό 8-12%. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντίστασης των στοματίων, όλες οι επεμβάσεις παρουσίασαν αυξημένη καταπόνηση, όταν η υγρασία του υποστρώματος κυμαίνονταν από 10% έως 15%.



Διάγραμμα 3.10. Αντίσταση στοματίων ($s\ cm^{-1}$) των φύλλων του γρασιδιού *Zeosia matrella* 'Zeon', όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου-βάθους υποστρώματος ($S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους σε συνδυασμό με τα δύο βάθη υποστρώματος των 7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου υδατικής καταπόνησης (15 Ιουλίου έως 30 Ιουλίου 2010). Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο.

3.3.3.5. Πρόβλεψη της καταπόνησης του χλοοτάπητα βάση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία

Σε μια προσπάθεια να προσδιοριστεί η υδατική καταπόνηση που προκαλείται στο είδος *Z. matrella* 'Zeon' από την προοδευτική μείωση της υγρασίας στο υπόστρωμα πραγματοποιήθηκαν συσχετίσεις για κάθε μια από τις οκτώ επεμβάσεις (τύπος-βάθος υποστρώματος) και για κάθε περίοδο καταπόνησης. Από τις ανεξάρτητες εξισώσεις παλινδρόμησης που προέκυψαν για κάθε επέμβαση διαπιστώθηκε πως αυτές έχουν παρόμοιες κλίσεις. Ως εκ τούτου, όλα τα δεδομένα ενοποιήθηκαν προκειμένου να συσχετιστεί η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία με το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα.



Διάγραμμα 3.11. Συσχέτιση μεταξύ της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) και της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία (% κ.ό.), η οποία προκύπτει από την ενοποίηση των δεδομένων όλων των επεμβάσεων και για τις δυο περιόδους υδατικής καταπόνησης.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 3.11 η εδαφοκάλυψη του *Z. matrella* 'Zeon', όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες φυτοδώματος εκτατικού τύπου, είναι η βέλτιστη, όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 19% και 26% κ.ό. Επιπλέον, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα είναι εντός αποδεκτών ορίων οπτικής ποιότητας, όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται από 13% έως 19% κ.ό., ενώ μειώνεται σε μη αποδεκτά επίπεδα, όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος είναι μικρότερο από 13% κ.ό., οπότε και ο χλοοτάπητας εισέρχεται σε λήθαργο λόγω της υδατικής καταπόνησης. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με την προσαρμοστική προσέγγιση διαχείρισης ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος, προκειμένου το *Z. matrella* 'Zeon' να διατηρήσει ικανοποιητικά ποσοστά πράσινης εδαφοκάλυψης σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή χρήση υδατικών πόρων κατά το θέρος, η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία θα πρέπει να διατηρηθεί περίπου στο 15% και όχι λιγότερο από 13% κ.ό.

3.4. Συμπεράσματα

1. Όσον αφορά την επιλογή υποστρώματος διαπιστώθηκε πως αυτά που περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) βελτίωσαν σημαντικά την εγκατάσταση και την ανάπτυξη του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon'. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια των δύο κύκλων υδατικής καταπόνησης τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τη μικρότερη καταπόνηση χλοοτάπητα. Έτσι, συμπεραίνεται πως, το τοπικά παραγόμενο κομπόστ θα μπορούσε να αντικαταστήσει την τύρφη ως οργανικό συστατικό των υποστρωμάτων φυτεμένων δωμάτων εκτατικού τύπου, μόνο όταν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση.
2. Η μείωση του ποσοστού του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων και κατά συνέπεια η αύξηση του ποσοστού της ελαφρόπετρας είχε ως αποτέλεσμα τη μικρότερη καταπόνηση του χλοοτάπητα κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης. Επίσης, η μείωση του ποσοστού του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους τους, ιδιαίτερα όταν στη σύνθεσή τους περιελάμβαναν τύρφη αντί για κομπόστ.
3. Η αύξηση του βάθους από 7,5 cm σε 15 cm βελτίωσε σημαντικά, τόσο την εγκατάσταση και ανάπτυξη του χλοοτάπητα όσο και την αντοχή στην υδατική καταπόνηση. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν περαιτέρω το γεγονός ότι

- το βάθος υποστρώματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχία και βιωσιμότητα ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος.
4. Ο συνδυασμός του υποστρώματος $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ και του βάθους υποστρώματος των 15 cm είχε τα καλύτερα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια των περιόδων της ελλειμματικής άρδευσης, καθώς εμφάνισε τη μικρότερη καταπόνηση μεταξύ όλων των επεμβάσεων κυρίως λόγω της αυξημένης ικανότητάς του να συγκρατεί νερό. Αντίθετα, η μεγαλύτερη καταπόνηση χλοοτάπητα διαπιστώθηκε όταν τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ συνδυάστηκαν με βάθος υποστρώματος 7,5 cm.
 5. Όταν το βάθος υποστρώματος περιοριζόταν στα 7,5 cm το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ παρουσίασε τη μικρότερη καταπόνηση κατά τη διάρκεια των περιόδων ελλειμματικής άρδευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα.
 6. Εν κατακλείδι, συμπεραίνεται ότι για την εγκατάσταση του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' σε εκτατικού τύπου προσαρμοστικά φυτοδώματα είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί ένα υπόστρωμα που βασίζεται στην ελαφρόπετρα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αμμοπηλώδες έδαφος (15% κ.ό.) και σε βάθος υποστρώματος 15 cm. Εντούτοις, εάν υπάρχουν περιορισμοί στη στατική αντοχή του κτιρίου στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το φυτεμένο δώμα και επιβάλλεται η χρήση υποστρώματος 7,5 cm τότε απαιτείται η εφαρμογή άρδευσης σε ποσότητα και συχνότητα, η οποία θα διατηρεί το ποσοστό υγρασία του υποστρώματος άνω του 15% κ.ό.

Κεφάλαιο 4

Ανάπτυξη και αντοχή του *Zoysia matrella* 'Zeon' στην υδατική καταπόνηση όταν αναπτύσσεται σε υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων με διαφορετική οργανική σύνθεση και βάθος και σε συνδυασμό με δύο επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης

Περίληψη

Η συνεχής μείωση των ελεύθερων χώρων και των χώρων πρασίνου, σε συνδυασμό με την άναρχη και απρογραμματίστη δόμηση των αστικών κέντρων προκαλεί τη διαρκή επιδείνωση του αστικού μικροκλίματος και της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Με στόχο την αύξηση των χώρων πρασίνου στις ήδη δομημένες αστικές περιοχές, η εγκατάσταση χλοοτάπητων σε φυτοδωμάτια εκτατικού τύπου μπορεί να προσφέρει μια εφαρμόσιμη και χρηστική λύση. Στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε: α) η επίδραση του είδους του οργανικού εδαφοβελτιωτικού (τύρφη ή τοπικά παραγόμενο κομπόστ) σε υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων εκτατικού τύπου ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) στην ανάπτυξη και στην αντοχή του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' σε υδατική καταπόνηση, β) η επίδραση δύο διαφορετικών βαθών υποστρώματος (7,5 και 15 cm) στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα και γ) η επίδραση δύο διαφορετικών επιπέδων ελλειμματικής άρδευσης (3 mm ή 6 mm κάθε 3 ημέρες) στην αντοχή του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση. Οι μετρήσεις περιελάμβαναν: α) τον καθορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων (κοκκομετρία, ξηρό και κεκορεσμένο βάρος, ολικό πορώδες, χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, *in situ* υγρασία υποστρώματος, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα και περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία) και β) τον προσδιορισμό της οπτικής ποιότητας και της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα μέσω προσδιορισμού του ποσοστού της εδαφοκάλυψης από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Color), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) και της αντίστασης των στοματίων των φύλλων του χλοοτάπητα (LSR, Leaf Stomatal Resistance). Διαπιστώθηκε ότι κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα ο τύπος του υποστρώματος αποτέλεσε το σημαντικότερο παράγοντα με το υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ να βελτιώνει σημαντικά το GTC σε σύγκριση με το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη. Αντιθέτως, το υπόστρωμα $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ το οποίο περιείχε τύρφη στη σύνθεσή του, παρουσίασε μικρότερη καταπόνηση κατά την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης, καθώς εμφάνισε τις υψηλότερες τιμές GTC και NDVI και τις χαμηλότερες τιμές LSR σε σχέση με το υπόστρωμα $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ το οποίο περιείχε κομπόστ. Το βάθος υποστρώματος των 15 cm βελτίωσε σημαντικά την εγκατάσταση και ανάπτυξη του χλοοτάπητα καθώς και την αντοχή του στην υδατική καταπόνηση σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm. Και οι τρεις υπό μελέτη παράγοντες (τύπος και βάθος υποστρώματος και επίπεδο άρδευσης) βρέθηκαν να έχουν σημαντική επίδραση τόσο στην ανάπτυξη όσο και στην αντοχή του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση. Κατά την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης, οι μεγαλύτερες τιμές GTC και NDVI καθώς και οι μικρότερες τιμές LSR εμφανίστηκαν στο υπόστρωμα το οποίο περιείχε τύρφη και είχε βάθος υποστρώματος 15 cm και υψηλό επίπεδο άρδευσης (6 mm κάθε 3 ημέρες). Αντίθετα, η υψηλότερη καταπόνηση παρατηρήθηκε στο υπόστρωμα το οποίο περιείχε κομπόστ, με βάθος υποστρώματος 7,5 cm και χαμηλό επίπεδο άρδευσης (3 mm κάθε 3 ημέρες).

4.1. Εισαγωγή

Aντιλαμβανόμενοι τα πολλαπλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη των ελευθέρων χώρων πρασίνου εντός των σύγχρονων πόλεων παρουσιάζεται επιτακτική η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών λύσεων αύξησης της βλάστησης στον ήδη δομημένο αστικό χώρο. Μία εξ αυτών των λύσεων αποτελεί και η εγκατάσταση φυτικού υλικού στη δομή των ίδιων των κτιρίων. Έτσι, στις σύγχρονες τάσεις σύμφωνα με τις αρχές της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης και της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, συμπεριλαμβάνεται και η δημιουργία φυτεμένων δωματίων (Dunnett and Kingsbury, 2010). Η διαχείριση των όμβριων υδάτων (Scholz-Barth, 2001), ο μετριασμός του «φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας» (Santamouris et al., 2007; Alexandri and Jones, 2008), η αύξηση της βιοποικιλότητας εντός του αστικού τοπίου (Brenneisen, 2003), η μείωση της ηχορρύπανσης που εισέρχεται στο κτίριο (Peck et al., 1999), η βελτίωση της ποιότητας της ατμόσφαιρας (Yang et al., 2008), η εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου (Niachou et al., 2001; Kotsiris et al., 2012a) και η βελτίωση της αισθητικής των κτισμάτων (Osmundson, 1999) είναι μερικά από τα πολλαπλά οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή των φυτεμένων δωματίων στις οροφές των κτιρίων.

Η διάδοση της ιδέας των αβαθών εκτατικών φυτεμένων δωματίων καθυστέρησε αρκετά στις μεσογειακές χώρες σε σχέση με τις βορειότερες χώρες, κυρίως λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών συνθηκών που επικρατούν στις περιοχές αυτές. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και οι ελάχιστες έως ανύπαρκτες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών περιορίζουν σημαντικά τη βιωσιμότητα των φυτεμένων δωματίων ιδιαίτερα αυτών που κατατάσσονται στον εκτατικό τύπο καθώς ελάχιστα φυτά μπορούν να ανταπεξέλθουν στις άνυδρες κλιματικές συνθήκες, όταν μάλιστα αυτές συνδυάζονται και με υποστρώματα μικρού βάθους. Ως εκ τούτου, τα εκτατικού τύπου φυτοδώματα φιλοξενούν ως επί το πλείστον φυτά CAM (Crassulean Acid Metabolism) ή άλλα ξηροφυτικά φυτά με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν περιορισμένη αισθητική και περιβαλλοντική συνεισφορά ενώ παράλληλα είναι εντελώς απρόσιτα ή επιτρέπουν μόνο ελάχιστη πρόσβαση στους δυνητικούς χρήστες των φυτεμένων δωματίων (Getter και Rowe, 2006).

Οι χλοοτάπητες αν και πληρούν όλες τις απαιτήσεις για εγκατάσταση πρασίνου εντός του αστικού χώρου σπανίως έχουν αξιολογηθεί σε εκτατικού τύπου

φυτεμένα δώματα κυρίως λόγω των αυξημένων απαιτήσεων τους σε νερό. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις κατευθυντήριες οδηγίες για την κατασκευή και διαχείριση των εκτατικών φυτεμένων δωματίων (FLL, 2008) και περιορίζει τη χρήση τους σε βόρειες περιοχές όπου η φυσική βροχόπτωση είναι επαρκής. Σε αντίθεση με τις γενικευμένες κατευθυντήριες οδηγίες, η προσαρμοστική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στην Παράγραφο 1.2.7, επιτρέπει την εφαρμογή των απαραίτητων ανά περίπτωση ποσοτήτων άρδευσης με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η χρήση χλοοταπήτων σε εκτατικά φυτοδώματα ακόμη και σε ημι-ξηρικές περιοχές. Έτσι, η εισαγωγή των χλοοταπήτων σε αρδευόμενα φυτοδώματα εκτατικού τύπου θα μπορούσε να δημιουργήσει μία προσβάσιμη, λειτουργική και ευχάριστη φυτοκαλυμμένη αστική επιφάνεια.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου αποτελούνται συνήθως από ανόργανα συστατικά σε ποσοστό 80-90%, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό καταλαμβάνεται από οργανικά συστατικά (Beattie and Berghage, 2004). Η συμμετοχή των οργανικών ουσιών, όπως η τύρφη και τα κομπόστ, αποσκοπεί στη βελτίωση της ικανότητας συγκράτησης υγρασίας των υποστρωμάτων καθώς και στην αύξηση της περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά στοιχεία (Scrivens, 2004). Αρκετές μελέτες έχουν διεξαχθεί προκειμένου να διερευνηθεί η ικανότητα αντικατάστασης της τύρφης ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό στα υποστρώματα ανάπτυξης με τοπικά παραγόμενα κομπόστ σε μια γενικότερη προσπάθεια μείωσης της χρήσης της (Lamanna et al., 1991; Parafotiou et al., 2004; Liu et al., 2005; Nektarios et al., 2011c; Ntoulas et al., 2011)

Σε μελέτη των Parafotiou et al. (2013) αξιολογήθηκε η επίδραση δύο υποστρωμάτων εκτατικών φυτοδωμάτων που διέφεραν μόνο στον τύπο του οργανικού συστατικού σε συνδυασμό με δύο βάθη υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και δύο συχνότητες άρδευσης (ανά 5 και 7 ημέρες στα ρηχά και βαθύτερα υποστρώματα, αντίστοιχα ή ανά 3 και 5 ημέρες στα ρηχά και βαθύτερα υποστρώματα, αντίστοιχα) στην ανάπτυξη των Μεσογειακών αρωματικών φυτών *Artemisia absinthium* L., *Helichrysum italicum* Roth και *Helichrysum orientale* L. Τα υπό μελέτη υποστρώματα αποτελούνταν από έδαφος, περλίτη και κομπόστ στεμφύλων ή τύρφη σε κατ' όγκο αναλογίες 3:5:2. Οι ερευνητές κατέληξαν πως και τα τρία υπό μελέτη είδη παρουσίασαν τη μεγαλύτερη ανάπτυξη στο υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ όταν αυτό συνδυάστηκε με το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος ανεξαρτήτως συχνότητας άρδευσης.

Επίσης, οι Kotsiris et al. (2012b) αξιολόγησαν την ανάπτυξη και την φυσιολογική κατάσταση του *Lavandula angustifolia* σε τρία διαφορετικά είδη

υποστρώματος ημι-εντατικών φυτοδωμάτων και σε δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (20 ή 30 cm). Τα δύο από τα τρία υπό μελέτη υποστρώματα διέφεραν αποκλειστικά και μόνο στον τύπο του οργανικού συστατικού και περιείχαν είτε τύρφη είτε κομπόστ φυτικών υπολειμμάτων σε ποσοστό 30%, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό αποτελείτο από ελαφρόπετρα σε ποσοστό 65% και ζεόλιθο 5%. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε ότι το βάθος υποστρώματος αποτέλεσε τον πιο σημαντικό παράγοντα καθώς τα βαθύτερα υποστρώματα εμφάνισαν μεγαλύτερη ανάπτυξη στο υπέργειο και το ριζικό σύστημα των φυτών, ενώ παράλληλα παρουσίασαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη και μειωμένη στοματική αντίσταση. Οι διαφορές μεταξύ του τύπου υποστρώματος ήταν μικρότερες σε σχέση με αυτές του βάθους όπου το υπόστρωμα το οποίο περιείχε κομπόστ στη σύνθεσή του είχε μεγαλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με αυτό που περιείχε τύρφη κατά την περίοδο της άνοιξης. Το αντίθετο φαινόμενο παρατηρήθηκε κατά την περίοδο του καλοκαιριού, οπότε το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη εμφάνισε μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών, ενώ τα φυτά που αναπτύσσονταν στο υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ παρουσίασαν υψηλότερη στοματική αντίσταση καταδεικνύοντας μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση.

Οι Nagase and Dunnett (2011) διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ του ποσοστού οργανικής ουσίας σε υποστρώματα φυτοδωμάτων εκτατικού τύπου και της ανάπτυξης τεσσάρων φυτικών ειδών (*Allium schoenoprasum*, *Limonium latifolium*, *Melica ciliata* και *Nepeta × faassenii*), ιδιαίτερα κατά την περίοδο εγκατάστασής τους. Για τις ανάγκες της μελέτης τους ανάμειξαν κομπόστ φυτικών υπολειμμάτων σε ποσοστά 0%, 10%, 25% και 50% κ.ο. με ένα εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι. Στα φυτά, τα οποία αναπτύσσονταν στα μίγματα που προέκυψαν, εφαρμόστηκαν δύο συχνότητες άρδευσης, κάθε 5 ημέρες ή κάθε 15 ημέρες. Διαπιστώθηκε πως η προσθήκη 10% οργανικής ουσίας στο υπόστρωμα ήταν η ιδανική και για τα τέσσερα φυτικά είδη, αφού παρουσίασαν μια σταθερή ανάπτυξη ανεξαρτήτου συχνότητας άρδευσης. Αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας, όταν εφαρμόζονταν άρδευση κάθε 5 ημέρες, είχε ως αποτέλεσμα τα φυτά να αναπτύξουν πλούσια βλάστηση, η οποία πιθανόν να εμφάνιζε προβλήματα αντοχής στην καταπόνηση κατά την περίοδο ξηρασίας. Αντιθέτως, όταν εφαρμόζονταν άρδευση κάθε 15 ημέρες, η αύξηση του ποσοστού της οργανικής ουσίας δεν παρουσίασε ανάλογη αύξηση στην ανάπτυξη των φυτών.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα της βιβλιογραφίας, έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η μελέτη της επίδρασης του είδους της οργανικής ουσίας στην

ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση σε χλοοτάπητες οι οποίοι αναπτύσσονται σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα. Έτσι, στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκε: α) η επίδραση του είδους του οργανικού εδαφοβελτιωτικού (τύρφη ή τοπικά παραγόμενο κομπόστ) σε υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων εκτατικού τύπου στην ανάπτυξη και στην αντοχή του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. ‘Zeon’ σε υδατική καταπόνηση, β) η επίδραση δύο διαφορετικών βαθών υποστρώματος (7,5 και 15 cm) στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα και γ) η επίδραση δύο διαφορετικών επιπέδων ελλειμματικής άρδευσης (3 mm ή 6 mm κάθε 3 ημέρες) στην αντοχή του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση.

4.2. Υλικά και Μέθοδοι

4.2.1. Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37° 59' Β και 23° 42' Α, 35 m) από 20 Αυγούστου 2009 έως και 10 Σεπτεμβρίου 2010. Η μελέτη περιελάμβανε 48 πειραματικά τεμάχια καθένα εκ των οποίων είχε επιφάνεια 0,80 m² (εσωτερικές διαστάσεις 0,8 m X 1,0 m). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν πολυπαραγοντικό με τρεις παράγοντες: α) δύο διαφορετικούς τύπους υποστρώματος, β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος και γ) δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης. Κάθε επέμβαση είχε 6 επαναλήψεις και η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων ακολούθησε το εντελώς τυχαίο πειραματικό σχέδιο.

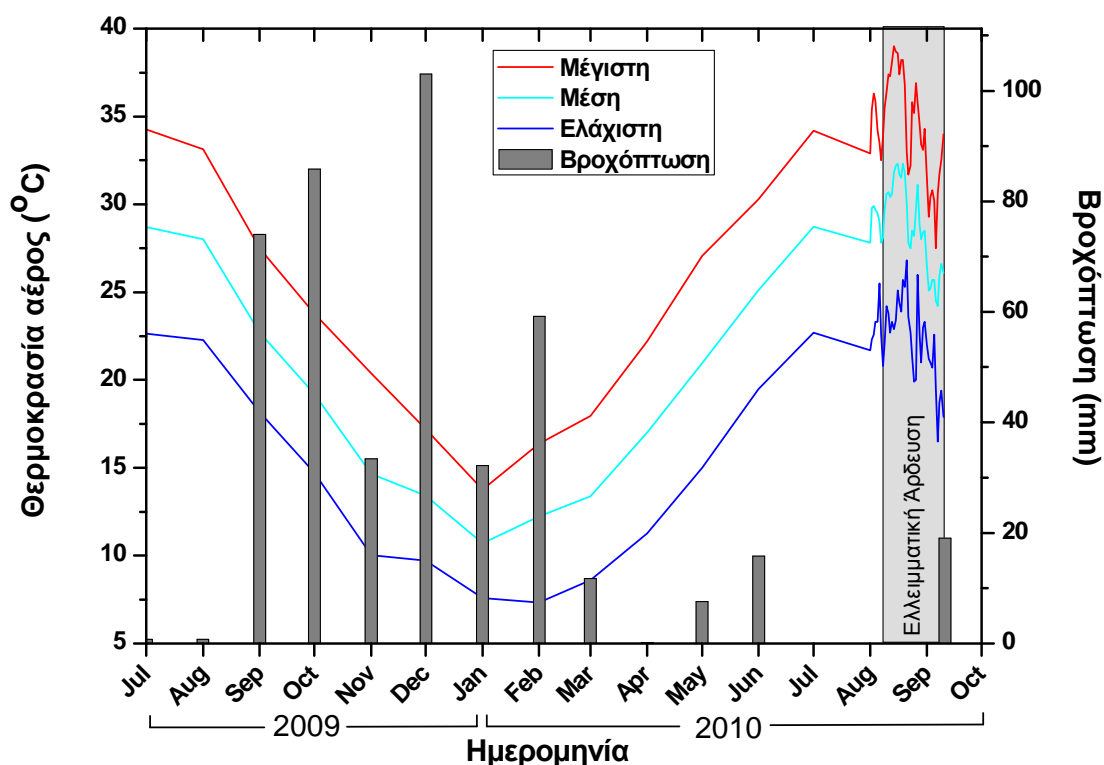
Τα πειραματικά τεμάχια κατασκευάστηκαν με τρόπο όμοιο με αυτό που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.2.1. Στη συνέχεια τα πειραματικά τεμάχια πληρώθηκαν με ένα εκ των δύο υπό μελέτη υποστρωμάτων τα οποία προέρχονταν από την ανάμιξη ανόργανων υλικών προερχόμενων από την τοπική αγορά [αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτη (Per), και ζεόλιθο (Z)] σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά οργανικά εδαφοβελτιωτικά [τύρφη (P) ή τοπικά παραγόμενο κομπόστ (C)]. Το αμμοπηλώδες έδαφος είχε περιεκτικότητα σε άμμο 77,0%, σε ιλύ 7,8% και σε άργιλο 15,2%, ενώ διέθετε 0,703% (κ.β.) οργανική ουσία, pH 8,63 και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) 80 μS cm⁻¹. Η ελαφρόπετρα είχε κοκκομετρία μεταξύ 0,05-8 mm (ΛΑΒΑ, Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα). Ο ζεόλιθος ήταν κλινοπτιλολιτικός με κοκκομετρία 0,8-2,5 mm (S & B Βιομηχανικά Ορυκτά ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) και ο περλίτης (Perloflor, ISOCON ΑΕ,

Αθήνα, Ελλάδα) είχε κοκκομετρία 0,25-5 mm. Το κομπόστ αποτελείτο από άχυρο, πριονίδια, κηπευτικά υπολείμματα (υπολείμματα κοπής χλοοτάπητα και τεμάχια ξύλου) και κόπρο από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, ιπποφορβεία και πουλερικά. Η τύρφη είχε περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 90% κ.β. και διορθωμένο pH ίσο με 5,5.

Τα υλικά αναμείχθηκαν ομοιόμορφα με τη χρήση μηχανικού ανάμεικτη σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδηλώνονται από τους δείκτες: α) $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ και β) $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$. Κάθε υπόστρωμα επαναλήφθηκε 24 φορές με τα μισά πειραματικά τεμάχια να έχουν βάθος υποστρώματος 7,5 cm και τα άλλα μισά να έχουν βάθος υποστρώματος 15 cm. Μετά την πλήρωση όλων των πειραματικών τεμαχίων, τα υποστρώματα συμπιέστηκαν ελαφρά και ισοπεδώθηκαν.

4.2.2. 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 το πειραματικό χώρο (Διάγρ. 4.1).



Διάγραμμα 4.1. Μηνιαία βροχόπτωση και μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της μελέτης (2009 και 2010). Η γκριζα περιοχή υποδεικνύει την περίοδο εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης, όπου παρουσιάζονται η ημερήσια μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα.

4.2.3. Μετρήσεις υποστρώματος

Όσον αφορά τα δύο υπό μελέτη υποστρώματα προσδιορίστηκε για το καθ' ένα από αυτά η κοκκομετρία του, η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, το ολικό πορώδες, η ξηρά και κεκορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα, η τιμή του pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Οι μεθοδολογίες προσδιορισμού των παραπάνω παραμέτρων περιγράφονται στην Παράγραφο 3.2.3.

4.2.4. Εγκατάσταση και διαχείριση κλοοτάπητα

Ο κλοοτάπητας ο οποίος επιλέχθηκε να εγκατασταθεί στα πειραματικά τεμάχια ήταν το είδος *Z. matrella* 'Zeon' και οι λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου είδους περιγράφονται αναλυτικά στην Παράγραφο 3.2.4. Ο κλοοτάπητας εγκαταστάθηκε στα πειραματικά τεμάχια με αγενή τρόπο και συγκεκριμένα με χρήση τετράγωνων τμημάτων έτοιμου κλοοτάπητα, διαστάσεων 5 cm X 5 cm, ο οποίος ήταν πλυμένος προκειμένου να μη διαθέτει καθόλου εδαφικό υπόστρωμα (Εικ. 4.1-4.2).



Εικόνες 4.1-4.2. Τετράγωνα τμήματα πλυμένου έτοιμου κλοοτάπητα διαστάσεων 5 cm X 5 cm.

Η εγκατάσταση διεξήχθη την 20^η Αυγούστου 2009, σχεδόν ένα έτος πριν από την έναρξη της επιβολής καταπόνησης με ελλειμματική άρδευση, προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής και ομοιόμορφη ανάπτυξη μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, 20 τμήματα χλοοτάπητα φυτεύτηκαν σε ένα κάρναβο σε ισοαποστάσεις των 20 cm × 20 cm μεταξύ των διαδοχικών τμημάτων και 10 cm από τις άκρες των πειραματικών τεμαχίων (Εικ. 4.3-4.4).



Εικόνες 4.3-4.4. Φύτευση των τμημάτων πλυμένου έτοιμου χλοοτάπητα στα πειραματικά τεμάχια.

Τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν μια φορά την ημέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης (20 Αυγούστου έως 21 Οκτωβρίου 2009), προκειμένου να προαχθεί η εγκατάσταση και να αποφευχθεί η υδατική καταπόνηση των τμημάτων του χλοοτάπητα. Στη συνέχεια, η εφαρμογή άρδευσης σταμάτησε κυρίως λόγω της εμφάνισης συχνών φυσικών βροχοπτώσεων, αλλά και εξαιτίας της επαγωγής του θερμοφιλου χλοοτάπητα σε χειμερινό λήθαργο. Η άρδευση εφαρμόστηκε και πάλι μετά την παρέλευση του χειμερινού λήθαργου (20 Μαρτίου 2010), οπότε και εφαρμοζόταν σε διήμερα διαστήματα μέχρι την έναρξη της υδατικής καταπόνησης (10 Αυγούστου 2010) προκειμένου να εξασφαλιστεί ομοιομορφία του χλοοτάπητα μεταξύ των επεμβάσεων.

Οι ανάγκες σε λίπανση καλύφθηκαν από υδατοδιαλυτό κοκκώδες λίπασμα (Complezal 12-12-17, με περιεκτικότητα σε άζωτο 6,5% NH_4^+ και 5,5% NO_3^- , 12N-5,2P-14,1K-1,2Mg-8,0S, Agrevo Hellas SA, Αθήνα, Ελλάδα) το οποίο εφαρμόστηκε σε ποσότητα 25 g m⁻² κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του χλοοτάπητα στις ημερομηνίες 2 Οκτωβρίου 2009 και 21 Μαΐου, 16 Ιουνίου 2010.

Ο χλοοτάπητας δεν κουρευτήκε κατά τη διάρκεια του 2009, λόγω της πολύ περιορισμένης κάθετης ανάπτυξής του. Στις 4 Αύγουστου 2010, λίγες μέρες πριν την

έναρξη της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα εφαρμόστηκε κοπή σε ύψος 60 mm με τη χρήση χλοοκοπτικής μηχανής περιστροφικού τύπου Bosch Rotak 320 (Robert Bosch GmbH, 70049, Stuttgart, Germany) και τα υπολείμματα κοπής συλλέχθηκαν.

4.2.5. Μετρήσεις κάλυψης χλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης

Κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα και πριν την έναρξη των επεμβάσεων υδατικής καταπόνησης προσδιορίστηκε το ποσοστό της εδαφοκάλυψης από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Cover) με τη χρήση ψηφιακών εικόνων του κάθε πειραματικού τεμαχίου που λαμβάνονταν σε δεκαπενθήμερα διαστήματα. Η διαδικασία λήψης των ψηφιακών εικόνων καθώς και η επεξεργασία τους προκειμένου να προσδιοριστεί το ποσοστό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα περιγράφονται λεπτομερώς στην Παράγραφο 3.2.6.

4.2.6. Περίοδος υδατικής καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης

Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος σε συνδυασμό με τα δύο επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης στην υδατική καταπόνηση του *Z. matrella*, πραγματοποιήθηκε μελέτη καταπόνησης που διήρκησε από τις 10 Αυγούστου έως τις 10 Σεπτεμβρίου 2010.

4.2.6.1. Άρδευση του χλοοτάπητα κατά την περίοδο εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης

Πριν από την έναρξη της περιόδου καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης, όλα τα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν πλησίον του κορεσμού προκειμένου να υπάρξουν κοινές και όμοιες συνθήκες υγρασίας μεταξύ των επεμβάσεων. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση όπου κάθε 3 ημέρες εφαρμόζονταν 3 mm για την επέμβαση της χαμηλής άρδευσης και 6 mm για την επέμβαση της υψηλής άρδευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τα κλιματολογικά στοιχεία δεκαετίας του Εργ. Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, η μέση πραγματική εξατμισοδιαπνοή για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο είναι 5 mm d^{-1} (Kotsiris et al., 2012a). Έτσι, οι επεμβάσεις άρδευσης

των 6 mm και 3 mm, οι οποίες εφαρμόστηκαν σε τριήμερα διαστήματα, αντιστοιχούν στο 40% και το 20% της πραγματικής αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής, αντίστοιχα. Κατά την επιβολή της υδατικής καταπόνησης, ο χλοοτάπητας αρδευόταν δια χειρός με λάστιχο εξοπλισμένο με ροόμετρο ακρίβειας 0,1 L (Wohnungswasserzähler Typ ETR, Rosswainer Armaturen & MEßGERÄTE GmbH & Co, Rosswein, Γερμανία). Η λήξη της περιόδου εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης συνέπεσε με την εμφάνιση της πρώτης φθινοπωρινής βροχόπτωσης (11 Σεπτεμβρίου 2010).

4.2.6.2. Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά την περίοδο υδατικής καταπόνησης μέσω ελλειμματικής άρδευσης

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος σε συνδυασμό με τα δύο διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης στην αντοχή του *Z. matrella* στην υδατική καταπόνηση σε συνθήκες εκτατικού φυτεμένου δώματος, προσδιορίστηκε η υγρασιακή κατάσταση του υποστρώματος, το ποσοστό εδαφικάλυψης το οποίο καταλαμβάνονταν από πράσινα τμήματα (φύλλα, κολεοί, στόλωνες και ανθικά στελέχη) του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Color), ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης, (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), και η αντίσταση των στοματίων των φύλλων του χλοοτάπητα (LSR, Leaf Stomatal Resistance). Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιούνταν κάθε 3 ημέρες πριν από την εφαρμογή της άρδευσης και η μεθοδολογία προσδιορισμού ήταν όμοια με αυτή που περιγράφεται αναλυτικά στην Παράγραφο 2.2.7.2.

4.2.7. Στατιστική ανάλυση

Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων ακολούθησε το εντελώς τυχαιοποιημένο σχέδιο. Κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα ο σχεδιασμός του πειράματος ήταν διπαραγοντικός (τύπος υποστρώματος × βάθος υποστρώματος) και η ανάλυση διασποράς για τα δεδομένα του GTC πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού JMP ver.8 (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Building 5, Cary, NC) σύμφωνα με το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων στο χρόνο ορίζοντας τον τύπο υποστρώματος ως κύριο τεμάχιο, το βάθος υποστρώματος ως υποτεμάχιο και το χρόνο (ημερομηνίες δειγματοληψίας) ως υπό-υποτεμάχιο. Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά του Fisher (LSD) σε επίπεδο πιθανότητας 5% ($P < 0,05$).

Κατά την περίοδο της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα, το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε σχέση με την ανάπτυξη του χλοοτάπητα και των ποιοτικών δεικτών (GTC, NDVI), της αντίστασης των στοματίων των φύλλων του χλοοτάπητα (LSR) και της υγρασίας του υποστρώματος για κάθε διακριτή ημερομηνία δειγματοληψίας. Η πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς (MANOVA) χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας ως τριπαραγοντικό πείραμα (τύπος υποστρώματος × βάθος υποστρώματος × επίπεδο άρδευσης) (Πίν 4.1). Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά του Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$).

Πίνακας 4.1. Πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς της υγρασίας του υποστρώματος, της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) και της αντίστασης των στοματίων των φύλλων (LSR) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επεμβάσεις για κάθε προσδιοριζόμενη παράμετρο για την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης (10 Αυγούστου έως 10 Σεπτεμβρίου).

Επέμβαση	Περίοδος Ελλειμματικής Άρδευσης			
	Υγρασία υποστρώματος	GTC	NDVI	LSR
	----% κ.ό.----	----%----	-----	--s cm ⁻¹ --
Είδος υποστρώματος (S)				
^Z S ₁₅ :Pum ₄₀ :Per ₂₀ :P ₂₀ :Z ₅	11,67	47,99	0,6433	6,41
S ₁₅ :Pum ₄₀ :Per ₂₀ :C ₂₀ :Z ₅	11,35	39,71	0,5967	9,97
<i>F</i>	0,09	6,17	6,79	4,59
<i>P</i>	0,7692	0,0134	0,0095	0,0345
<i>Σημαντικότητα</i>	^x NS	^y *	**	*
Βάθος υποστρώματος (D)				
7.5 cm	10,86	37,97	0,5811	11,42
15 cm	12,17	47,94	0,6567	4,96
<i>F</i>	1,42	6,04	17,99	16,76
<i>P</i>	0,2336	0,0144	0,0000	0,0001
<i>Σημαντικότητα</i>	NS	*	***	***
Επίπεδο άρδευσης (I)				
3 mm	10,85	39,70	0,5922	10,78
6 mm	12,17	46,21	0,6500	5,60
<i>F</i>	1,46	2,57	10,7	10,65
<i>P</i>	0,2277	0,1095	0,0012	0,0015
<i>Σημαντικότητα</i>	NS	NS	**	**
LSD	2,14	7,97	0,0350	3,02
Αλληλεπίδραση		<i>P</i>		
S x D	0,4628	0,4158	0,5572	0,189
S x I	0,9619	0,8696	0,9885	0,6249
D x I	0,8398	0,9462	0,8763	0,2074
S x D x I	0,912	0,9836	0,6234	0,5353

^ZS= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ, Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες

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

^xNS, Μη σημαντικό σε $P < 0,05$

4.3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

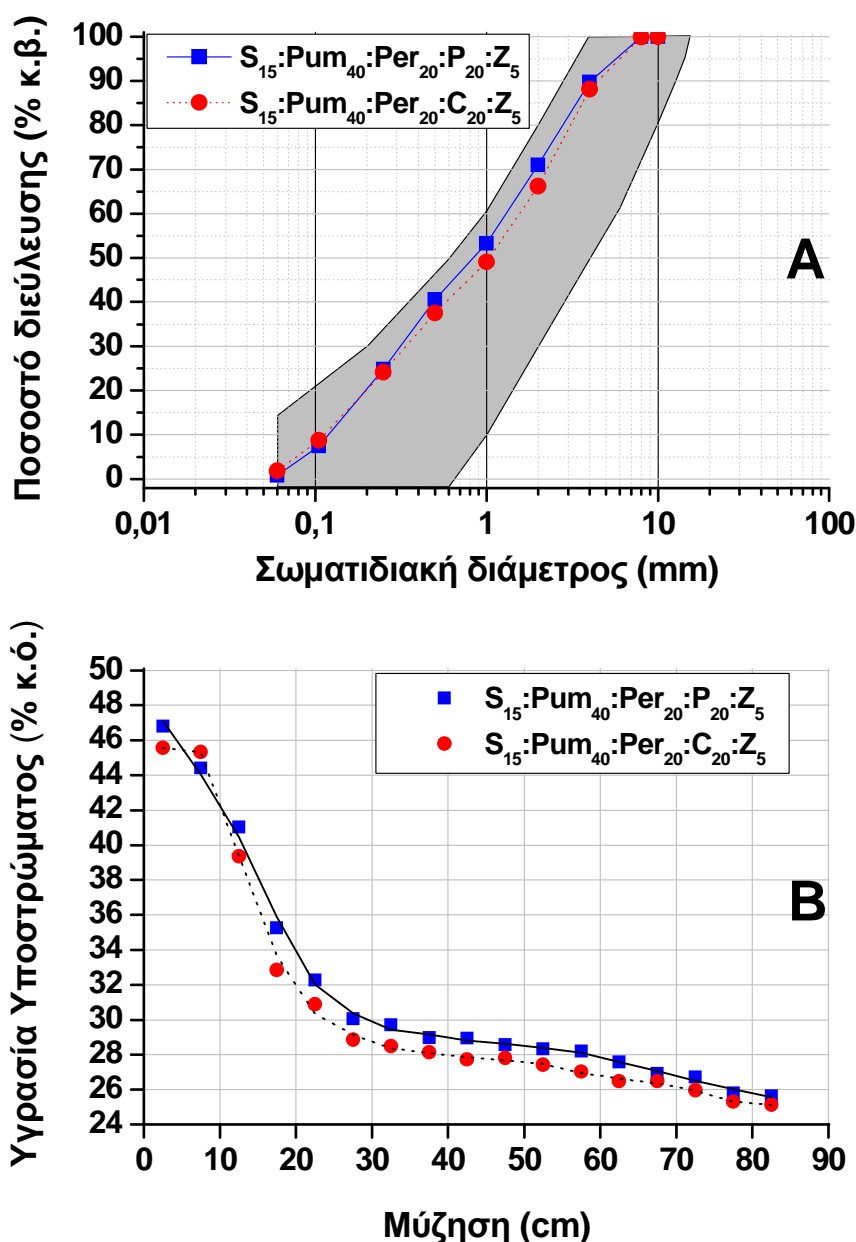
4.3.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 4.2A οι κοκκομετρικές κατανομές και των δύο υπό μελέτη υποστρωμάτων ήταν πανομοιότυπες και εντός των ορίων που συστήνονται από τις κατευθυντήριες οδηγίες FLL για την κατασκευή εκτατικών φυτεμένων δωματίων (FLL, 2008). Το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη ως οργανικό συστατικό παρουσίασε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας για όλα τα επίπεδα μύζησης κατά 1,5% περίπου σε σχέση με το υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ στη σύνθεση του (Διάγρ. 4.2B). Καθώς τα δύο υπό μελέτη υποστρώματα διαφοροποιούνται αποκλειστικά ως προς το είδος της οργανικής ουσίας που συμμετέχει στο μίγμα είναι προφανές πως η τύρφη αύξησε την ικανότητα συγκράτησης της υγρασίας όπως τεκμηριώνεται και από τη χαρακτηριστική καμπύλη των υλικών που συμμετέχουν στα υποστρώματα (Διάγρ. 3.5). Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με τις μελέτες των Chong et al. (2004) και Boniak et al. (2004), οι οποίοι παρατήρησαν αύξηση της ικανότητας συγκράτησης της υγρασίας ανάλογη με την αύξηση της περιεκτικότητας της τύρφης σε μίγματα με άμμο.

Η φαινόμενη πυκνότητα τόσο σε ξηρό όσο και σε κεκορεσμένο δείγμα παρουσιάστηκε ελαφρώς μειωμένη στο υπόστρωμα που περιείχε τύρφη σε σχέση με αυτό που περιείχε κομπόστ (Πίν. 4.2). Επίσης, το ολικό πορώδες ήταν κατά 2,6% μεγαλύτερο στο υπόστρωμα με τύρφη. Σε σύγκριση με τα υποστρώματα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη του Κεφαλαίου 3, και τα δύο υποστρώματα ήταν ελαφρύτερα από 7,81% έως 14,49% στο ξηρό και από 12,53% έως 24,09% στον κορεσμό. Η βελτίωση στο βάρος οφείλεται στη συμμετοχή του περλίτη, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πλέον ελαφροβαρή υλικά για φυτικά υποστρώματα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά σε περιπτώσεις όπου η στατική επάρκεια του κτιρίου είναι οριακή, τότε η χρήση του περλίτη μπορεί να ενδείκνυται. Παρ' όλα αυτά η χρήση του συγκεκριμένου υλικού θα πρέπει να αποφεύγεται σε περιοχές όπου υπάρχουν συνεχείς και έντονοι κύκλοι παγωνιάς/τήξης καθώς η δομή του είναι εύθραυστη με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται η κοκκομετρική σύσταση του μίγματος και να ενέχεται μακροπρόθεσμα κίνδυνος για την καλή λειτουργία του συστήματος του φυτεμένου δώματος (Hitchmough, 1994).

Οι ιδιότητες των υποστρωμάτων όπως το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) και η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (O.O.) βρέθηκαν εντός των ορίων που

υποδεικνύονται από τις κατευθυντήριες οδηγίες FLL για την κατασκευή εκτατικών φυτεμένων δωμάτων (pH= 6,0-8,5, EC≤ 3,5 g L⁻¹ και O.O.≤ 65 g L⁻¹). Από τη χημική ανάλυση των δύο υποστρωμάτων (Πίν. 4.2) διαπιστώθηκε αυξημένη συγκέντρωση όλων των θρεπτικών στοιχείων στο υπόστρωμα το οποίο περιείχε κομπόστ σε σχέση με αυτό που περιείχε τύρφη, λόγω της αυξημένης συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων στο κομπόστ (Πίν. 3.1).



Διάγραμμα 4.2. Α. Κατανομή κοκκομετρίας των δύο υποστρωμάτων ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες). Η γκριζα περιοχή προσδιορίζει το υποδεικνυόμενο εύρος κοκκομετρίας σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008). Β. Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το κάθε υπόστρωμα.

Πίνακας 4.2. Φυσικές και χημικές ιδιότητες και περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία των υποστρωμάτων $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη C = κομπόστ, Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες.

	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}$: $P_{20}:Z_5$	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}$: $C_{20}:Z_5$	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.β.)	3,95	4,12	Απώλεια στην πύρωση
Ολικό N (%)	0,070	0,230	Kjeldahl
Ανταλλάξιμος P (mg kg ⁻¹)	3,2	106,4	Χρωματογραφικά
Ανταλλάξιμο K (mg kg ⁻¹)	581	2.213	Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Mg (mg kg ⁻¹)	493	556	
Ανταλλάξιμο Ca (mg kg ⁻¹)	2.160	2.626	
Ανταλλάξιμο Na (mg kg ⁻¹)	329	1.090	
pH	7,96	7,87	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm ⁻¹)	107,53	833,33	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Κορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα (kg L ⁻¹)	1,180	1,206	Λυσίμετρο
Φαινόμενη πυκνότητα ξηρού δείγματος (kg L ⁻¹)	0,665	0,705	Λυσίμετρο
Ολικό Πορώδες (%)	46,8	45,6	Λυσίμετρο

4.3.2. Εδαφοκάλυψη από τμήματα πράσινου κλοοτάπητα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης

Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους (2009) ο κλοοτάπητας *Z. matrella* 'Zeon' παρουσίασε αρκετά περιορισμένη εδαφοκάλυψη με τις τιμές του GTC να παραμένουν κάτω από το 40% (Διάγρ. 4.3) επιβεβαιώνοντας τον πολύ αργό ρυθμό εγκατάστασης του (Volterrani et al., 2010). Το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο κατά 30 έως 60% σε σύγκριση με τη μελέτη, η οποία αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3. Η σημαντική αυτή διαφορά μεταξύ των δύο μελετών έγκειται στην καθυστερημένη εγκατάσταση του κλοοτάπητα της παρούσας μελέτης (20 Αυγούστου 2009) έναντι αυτής του Κεφαλαίου 3 (15 Ιουλίου 2009). Λόγω της αργής ανάπτυξης του συγκεκριμένου είδους κλοοτάπητα, η διαφορά αυτή των 36 ημερών καθυστέρησε σημαντικά την εδαφοκάλυψη των πειραματικών τεμαχίων όπως είναι εμφανές και

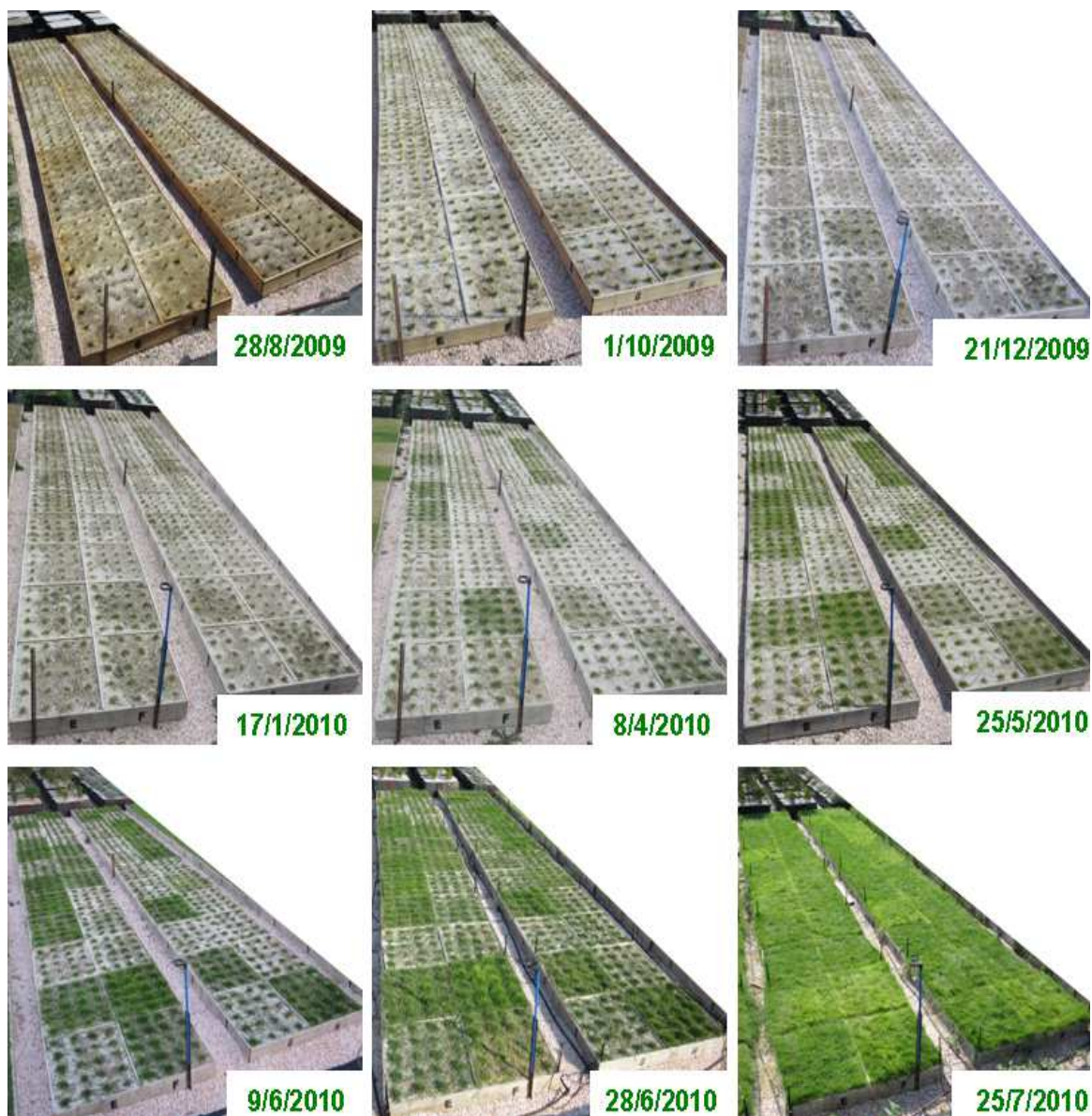
από την Εικ. 4.5. Ο βραδύς ρυθμός εγκατάστασης επιδεινώθηκε και από τις περιορισμένες εφαρμογές λίπανσης προκειμένου να προσομοιωθούν οι συνθήκες διαχείρισης εκτατικού φυτεμένου δώματος. Ως εκ τούτου, η εγκατάσταση του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου συστήνεται να πραγματοποιείται όσο το δυνατό νωρίτερα και κατά προτίμηση κατά την έναρξη του θέρους.

Στις αρχές Μαρτίου 2010 ο χλοοτάπητας άρχισε να εξέρχεται από το λήθαργο και να επανακτά σταδιακά τον πράσινο χρωματισμό του παρουσιάζοντας πλήρη κάλυψη των πειραματικών τεμαχίων περί τα μέσα Ιουλίου 2010 (Διάγρ. 4.3). Κατά το δεύτερο έτος (2010) ο ρυθμός εδαφοκάλυψης ήταν επίσης αργός, αλλά βελτιώθηκε σημαντικά κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι του 2010 και ιδιαίτερα μετά την εφαρμογή λιπάνσεων, φθάνοντας την 15^η Ιουλίου 2010 σε τιμές GTC που κυμαίνονταν από 98,8 έως 99,2%. Οι τελευταίες εφαρμογές λίπανσης κρίθηκαν αναγκαίες προκειμένου ο χλοοτάπητας να έχει παρόμοια κάλυψη σε όλα τα πειραματικά τεμάχια κατά την έναρξη της εφαρμογής της υδατικής καταπόνησης.

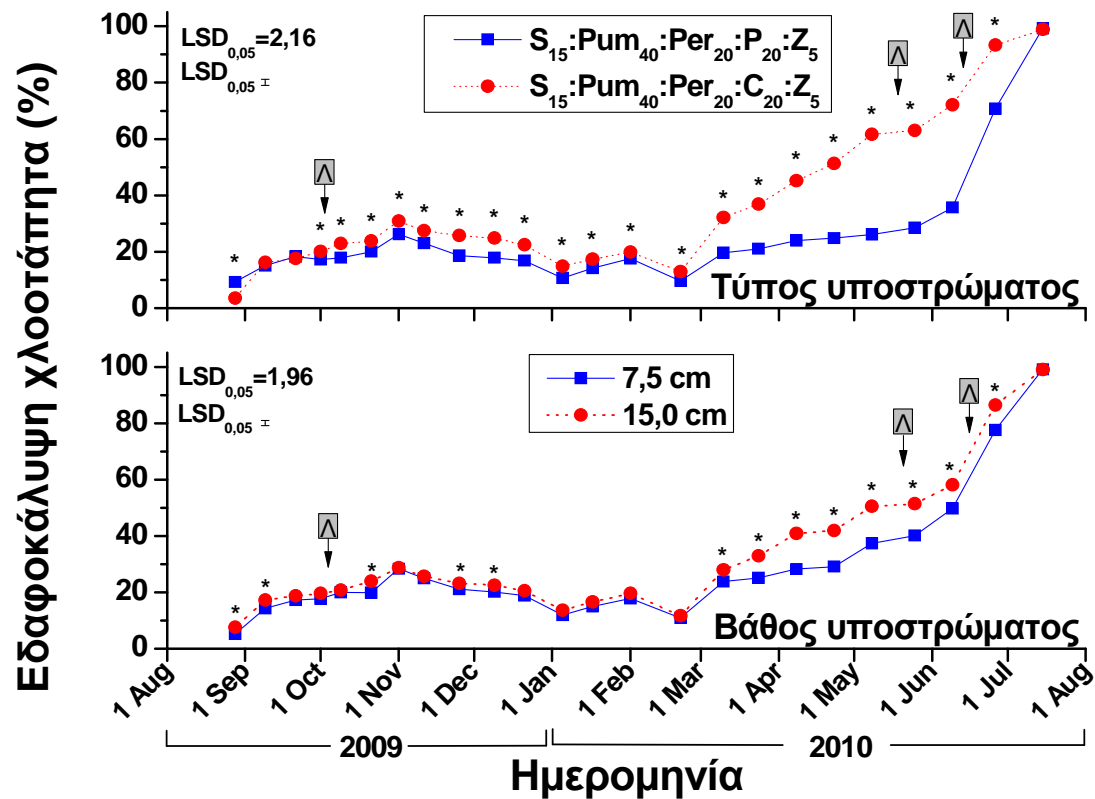
Κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα *Z. matrella*, τόσο ο τύπος του υποστρώματος όσο και το βάθος του επηρέασαν σημαντικά την εδαφοκάλυψή του. Το 2009, το υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ στη σύνθεσή του παρουσίασε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές GTC σε σχέση με το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη κυρίως λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς του σε θρεπτικά στοιχεία (Πίν. 4.2). Ο διαχωρισμός αυτός μεταξύ των δύο υποστρωμάτων ήταν διακριτός και κατά την περίοδο του χειμερινού λήθαργου και μεγιστοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της άνοιξης 2010. Οι διαφορές αυτές εξαφανίστηκαν τον Ιούλιο 2010 μετά τις εφαρμογές των λιπάνσεων στα τέλη της άνοιξης (Διάγρ. 4.3).

Αντίθετα με το είδος, το βάθος του υποστρώματος βελτίωσε ελάχιστα το GTC κατά το έτος 2009. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης 2010 το GTC ήταν σημαντικά μεγαλύτερο στο βάθος υποστρώματος των 15 cm σε σύγκριση με το βάθος των 7,5 cm. Αν και δεν υπήρξε ποσοτικός προσδιορισμός του ριζικού συστήματος μεταξύ των επεμβάσεων προκειμένου να μη διαταραχθεί η επιφάνεια του χλοοτάπητα και αλλοιωθούν οι μετρήσεις του GTC, πιθανολογείται ότι οι διαφορές αυτές οφείλονται στην περιορισμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος κατά το έτος 2009 λόγω της αργής ανάπτυξης του χλοοτάπητα. Ένα αβαθές ριζικό σύστημα, αδυνατεί να εκμεταλλευτεί τα πλεονεκτήματα που προσδίδουν τα βαθύτερα υποστρώματα στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα, όπως αυτά περιγράφηκαν στην Παράγραφο 3.3.2. Οι διαφορές αυτές μεταξύ των επεμβάσεων εξαλείφθηκαν περί τα μέσα Ιουλίου,

οπότε η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα (GTC) εξομοιώθηκε μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων φτάνοντας τις μέγιστες τιμές της (Διάγρ. 4.3).



Εικόνα 4.5. Απόψεις των πειραματικών τεμαχίων κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα (20 Αυγούστου 2009 έως 25 Ιουλίου 2010).



Διάγραμμα 4.3. Ποσοστό εδαφικάλυψης του χλοοτάπητα (%), όπως αυτό επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) και το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) κατά τη διάρκεια της περιόδου εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 12 επαναλήψεων και οι αστερίσκοι υποδηλώνουν σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας σύμφωνα με την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$ ακολουθώντας το μοντέλο των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων. Με το γράμμα "Λ" υποδεικνύονται οι ημερομηνίες εφαρμογής λίπανσης.

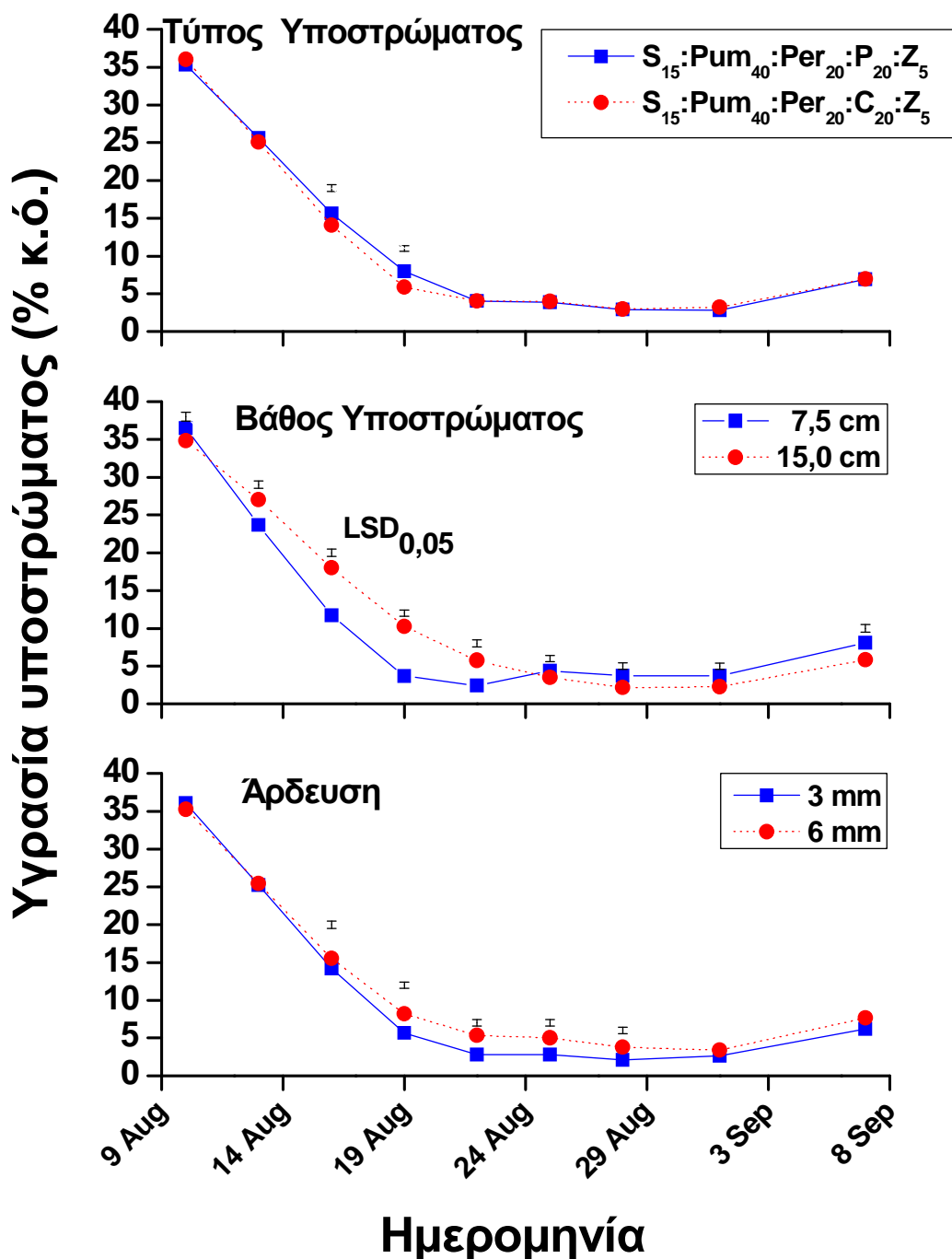
4.3.3. Αποτελέσματα από την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης

4.3.3.1. Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος

Κατά την επιβολή υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα μέσω ελλειμματικής άρδευσης (10 Αυγούστου έως 10 Σεπτεμβρίου), η υγρασία του υποστρώματος παρουσίασε απότομη πτώση εντός των 12 πρώτων ημερών (Διάγρ. 4.4). Οι διαφορές μεταξύ των δύο διαφορετικών τύπων υποστρώματος ήταν ελάχιστες και ήταν εμφανείς μόνο 6 και 9 ημέρες μετά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης, οπότεν το υπόστρωμα, το οποίο περιείχε τύρφη εμφάνισε υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με αυτό το οποίο περιείχε κομπόστ. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι σύμφωνες με τις καμπύλες υγρασίας των δύο υποστρωμάτων με το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη να παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε όλα τα επίπεδα μύζησης (Διάγρ. 4.2B).

Σε αντίθεση με τον τύπο του υποστρώματος, τα δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος παρουσίασαν τις πιο έντονες διαφορές. Πιο συγκεκριμένα, το βάθος υποστρώματος των 15 cm είχε μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας κατά την περίοδο της γρήγορης απώλειας υγρασίας του υποστρώματος (13 έως 22 Αυγούστου 2010), ενώ αντίθετα, το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm εμφάνισε υψηλότερη υγρασία κατά την πρώτη ημερομηνία δειγματοληψίας (10 Αυγούστου 2010) και κατά την περίοδο της έντονης υδατικής καταπόνησης, οπότεν η περιεχόμενη υγρασία είχε πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (25 Αύγουστου έως 10 Σεπτεμβρίου 2010). Η αναστροφή αυτή με τα αβαθή υποστρώματα να παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά υγρασίας σε σχέση με τα βαθύτερα παρατηρήθηκε και στη μελέτη του Κεφαλαίου 3 και αποδίδεται στο γεγονός ότι στα αβαθή υποστρώματα, ο χλοοτάπητας εισήλθε νωρίτερα σε λήθαργο με αποτέλεσμα να μην απορροφά πλέον νερό από το υπόστρωμα. Αντίθετα, στα βαθύτερα υποστρώματα ο χλοοτάπητας συνέχιζε να διαπνέει καταναλώνοντας υγρασία από το υπόστρωμα.

Το επίπεδο της άρδευσης επηρέασε επίσης το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος καθώς το υψηλό επίπεδο άρδευσης των 6 mm εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές υγρασίας σε σχέση με τα 3 mm άρδευσης από την 16^η Αυγούστου μέχρι και την 28^η Αύγουστου 2010.



Διάγραμμα 4.4. Ποσοστό της κατ' όγκο υγρασίας του υποστρώματος (% κ.ό.), όπως αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια της περιόδου επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

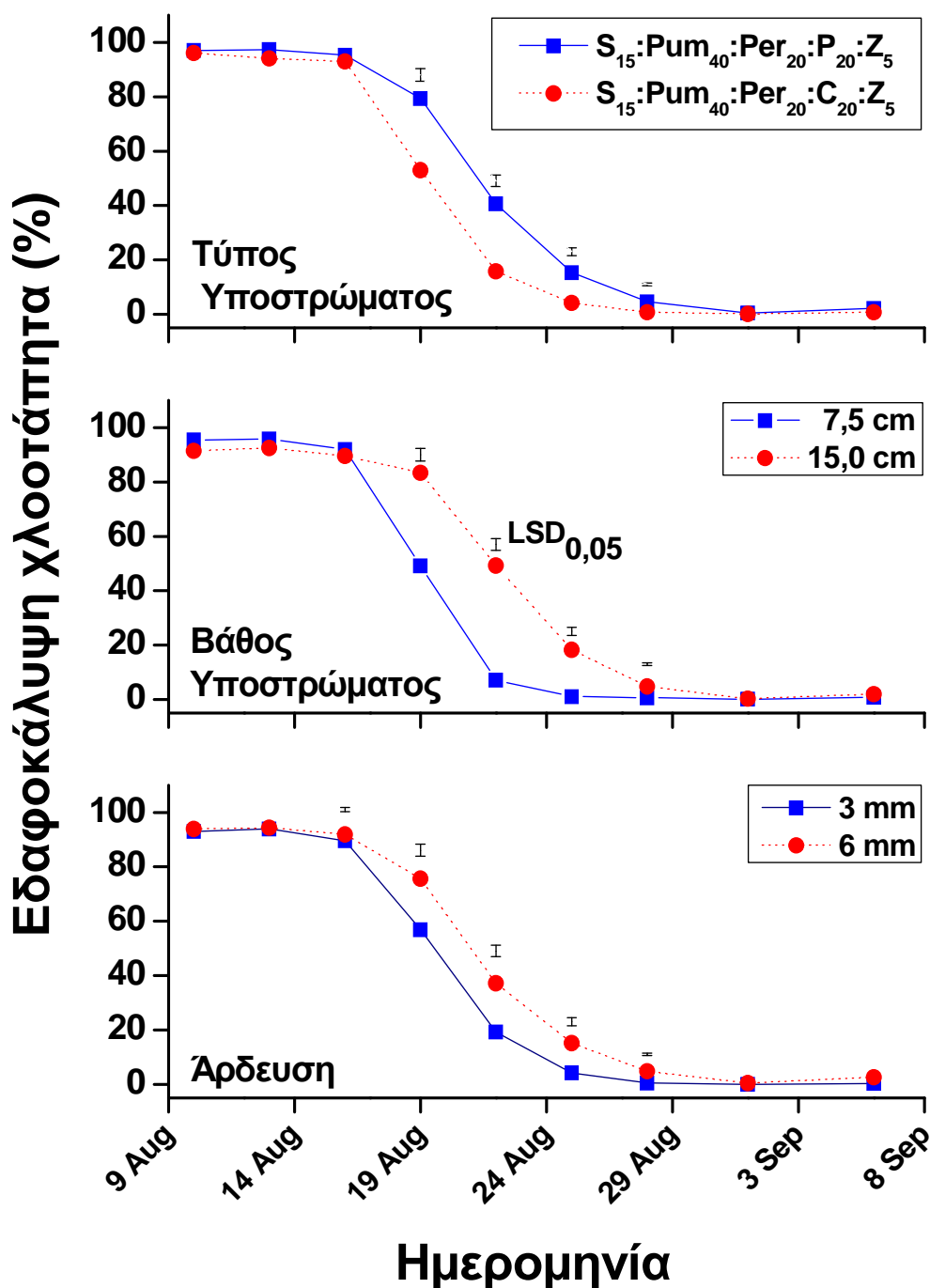
4.3.3.2. Εδαφοκάλυψη από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC)

Η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα όπως αυτή προσδιορίστηκε μέσω του GTC άρχισε να μειώνεται 6 ημέρες μετά την έναρξη εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης και έφτασε στην ελάχιστη τιμή της (-0%) μετά από 18 ημέρες. Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν και για τους τρεις παράγοντες (τύπος και βάθος υποστρώματος και επίπεδο άρδευσης) με την εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να επηρεάζεται περισσότερο από το βάθος υποστρώματος και μετρίως από τον τύπο υποστρώματος και το επίπεδο άρδευσης (Διάγρ. 4.5). Πιο συγκεκριμένα, σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν κατά το διάστημα μείωσης του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα από την 16^η έως και την 28^η Αυγούστου 2010.

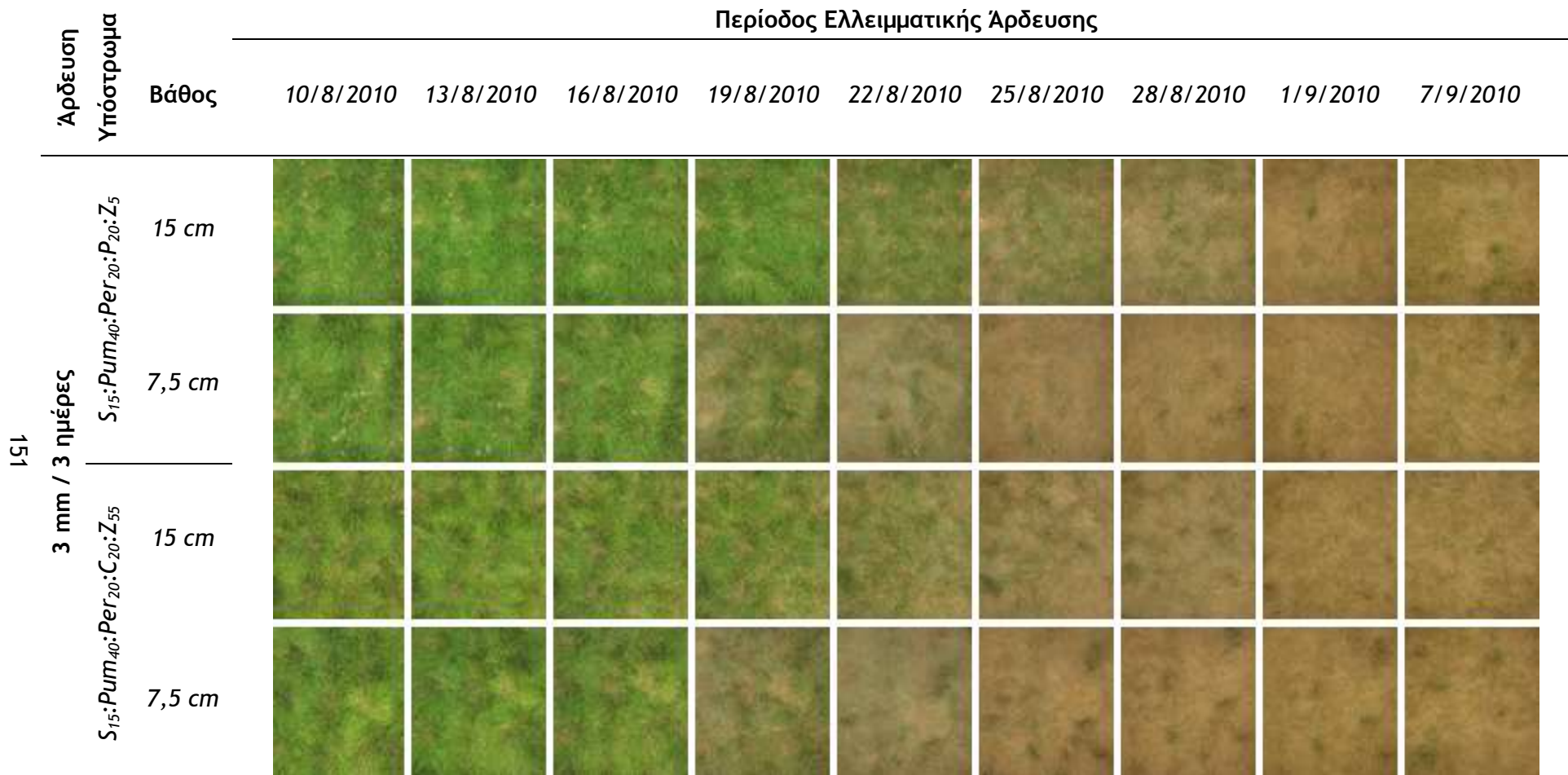
Όσον αφορά τον τύπο υποστρώματος, το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη στη σύνθεση του εμφάνισε μεγαλύτερες τιμές GTC σε σχέση με το υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ (Διάγρ. 4.5). Τα αποτελέσματα της υδατικής καταπόνησης έρχονται σε αντίθεση με αυτά που παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα (Διάγρ. 4.3). Αυτό εξηγείται με βάση το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης, τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν κανονικά και ο κυρίαρχος περιοριστικός παράγοντας ανάπτυξης, ήταν η περιεκτικότητα των υποστρωμάτων σε θρεπτικά στοιχεία (Πίν. 4.2). Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της περιόδου ελλειμματικής άρδευσης, η διαθεσιμότητα της υγρασίας στο υπόστρωμα απετέλεσε το σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα και η οποία ήταν μεγαλύτερη στα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη (Διάγρ. 4.2B και 4.4). Επιπλέον, ο χλοοτάπητας που είχε εγκατασταθεί σε υποστρώματα με κομπόστ ανέπτυξε πλουσιότερη βλάστηση σε σχέση με αυτή των υποστρωμάτων που περιείχαν τύρφη (Διάγρ. 4.3) γεγονός που κατέστησε δυσχερέστερο τον εγκλιματισμό του σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με διάφορες βιβλιογραφικές αναφορές. Για παράδειγμα, οι Ebdon et al. (1999) διαπίστωσαν αύξηση της εξατμισοδιαπνοής καθώς αυξανόταν η φυλλική επιφάνεια του χλοοτάπητα μετά από εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης σε *Poa pratensis* (L.). Ομοίως, οι Nagase και Dunnett (2011) ανέφεραν πως η αντοχή των φυτών στην υδατική καταπόνηση μειωνόταν καθώς αύξανε η περιεκτικότητα του υποστρώματος ανάπτυξης σε οργανικά συστατικά, κυρίως λόγω της προαγωγής πλουσιότερης βλάστησης.

Αύξηση του βάθους του υποστρώματος από 7,5 cm σε 15 cm, όπως επίσης και του επιπέδου άρδευσης από 3 mm σε 6 mm ανά τριήμερο, είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (Διάγρ. 4.5, Εικ. 4.6-4.7).

Η βελτίωση του GTC στα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm αποδόθηκε στην αυξημένη τους ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε σύγκριση με τα αβαθή των 7,5 cm (Διάγρ. 4.4). Είναι επίσης αναμενόμενο ότι στα βαθύτερα υποστρώματα το ριζικό σύστημα του κλοοτάπητα να έχει μεγαλύτερο όγκο για ανάπτυξη, γεγονός το οποίο επιτρέπει στα φυτά του κλοοτάπητα να αξιοποιήσουν την υγρασία από τα βαθύτερα τμήματα του υποστρώματος των 15 cm σε σύγκριση με αυτό των 7,5 cm, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αντοχής τους στην υδατική καταπόνηση (Huang et al., 1997; Marcum et al., 1995).



Διάγραμμα 4.5. Ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%), όπως αυτό επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος (S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅ και S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια της περιόδου επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας P < 0,05.



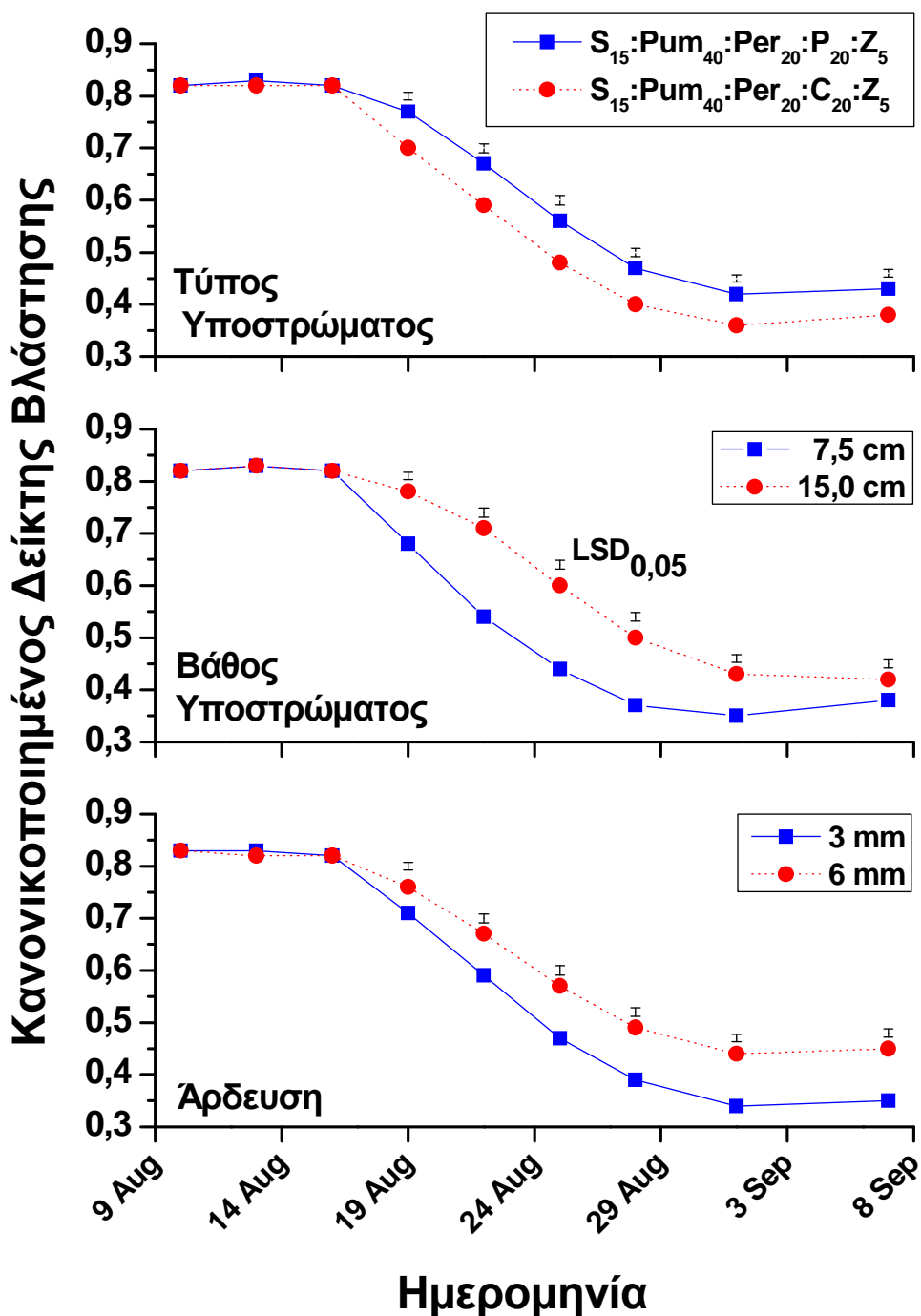
Εικόνα 4.6. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα *Z. matrella* κατά την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους) και βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) για το επίπεδο άρδευσης των 3 mm κάθε τρείς ημέρες.

Άρδευση Υπόστρωμα		Περίοδος Ελλειμματικής Άρδευσης									
		Βάθος	10/8/2010	13/8/2010	16/8/2010	19/8/2010	22/8/2010	25/8/2010	28/8/2010	1/9/2010	7/9/2010
Σάβρες 3 ημέρες 6 mm / 9 mm	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$	15 cm									
	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	7,5 cm									
	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_{55}$	15 cm									
	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	7,5 cm									

Εικόνα 4.7. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα *Z. matrella* κατά την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις τύπου υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους) και βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) για το επίπεδο άρδευσης των 6 mm κάθε τρεις ημέρες.

4.3.3.3. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης ως ένας γενικότερος εκτιμητής της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα, επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν για το ποσοστό εδαφικάλυψης του χλοοτάπητα. Όμοια με το GTC, το NDVI επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από το βάθος του υποστρώματος και μετρίως από το είδος υποστρώματος και το επίπεδο της άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη στη σύνθεσή του, το βάθος υποστρώματος των 15 cm και το υψηλό επίπεδο άρδευσης των 6 mm παρουσίασαν υψηλότερες τιμές NDVI, 9 ημέρες μετά τη έναρξη εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης (19 Αυγούστου 2010) και μέχρι και το τέλος της υδατικής καταπόνησης, καταδεικνύοντας μια καλύτερη φυσιολογική κατάσταση του χλοοτάπητα που είχε εγκατασταθεί στις επεμβάσεις αυτές (Διάγρ. 4.6).



Διάγραμμα 4.6. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης, όπως αυτός επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια της περιόδου επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

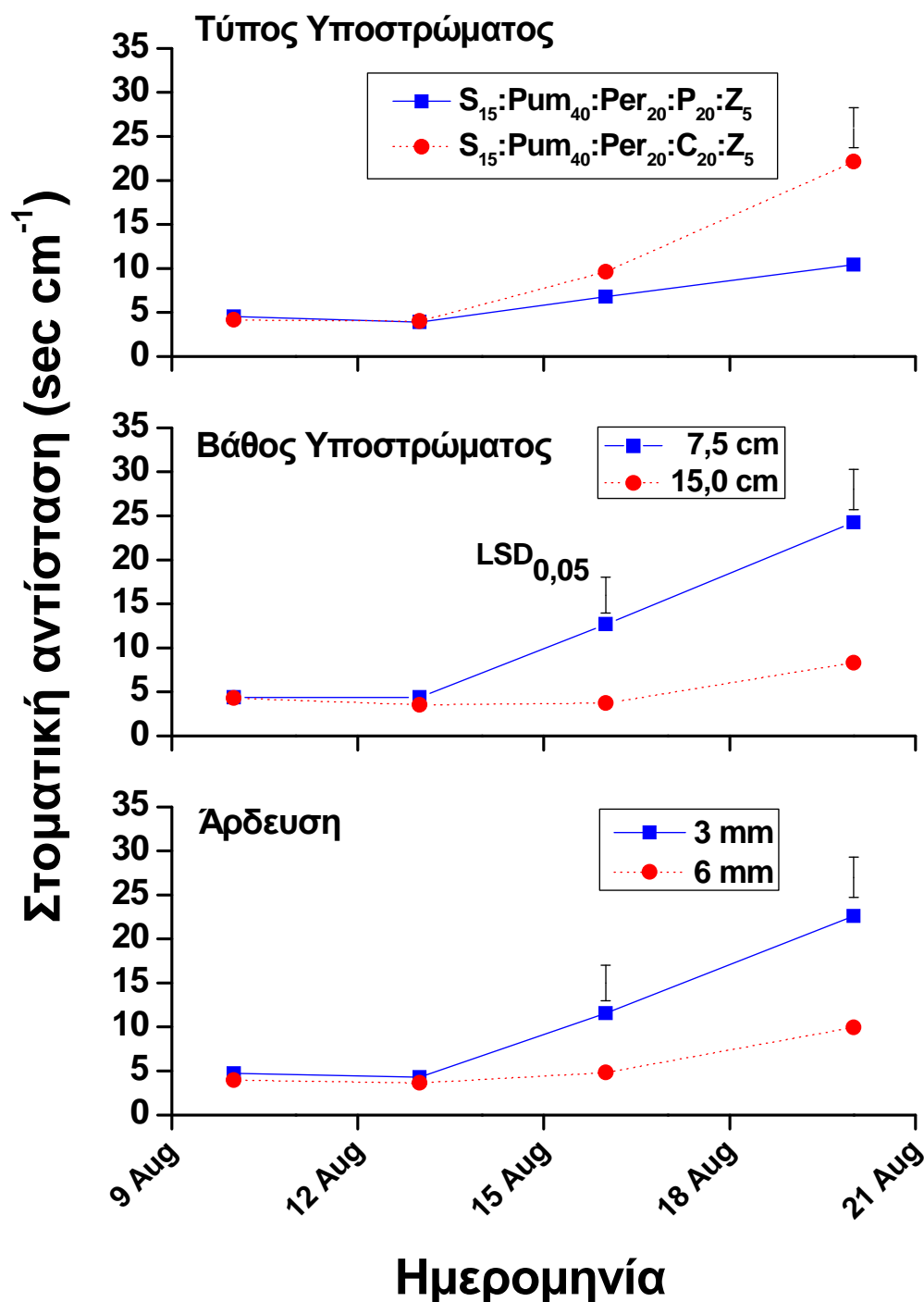
4.3.3.4. Αντίσταση στοματίων φύλλων χλοοτάπητα

Η αντίσταση των στοματίων άρχισε να αυξάνεται 6 μόλις μέρες μετά την έναρξη της εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης (Διάγρ. 4.7), πριν ακόμη παρατηρηθεί μείωση του ποσοστού εδαφοκάλυψης ή μείωση των τιμών του δείκτη NDVI (Διάγρ. 4.4 και 4.5). Όμοια συμπεριφορά της αντίστασης των στοματίων παρατηρήθηκε και στη μελέτη του Κεφαλαίου 3 όπου τα φύλλα του χλοοτάπητα παρουσίασαν έντονη συστροφή 6 έως 12 ημέρες, ανάλογα με την επέμβαση, μετά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης με αποτέλεσμα την αύξηση της αντίστασης των στοματίων πριν ακόμη εμφανιστούν οπτικές ενδείξεις καταπόνησης.

Σημαντικές διαφορές παρουσιάστηκαν και για τους τρεις παράγοντες (τύπος και βάθος υποστρώματος και επίπεδο άρδευσης) με την αντίσταση των στοματίων του χλοοτάπητα να επηρεάζεται περισσότερο από το βάθος υποστρώματος και το επίπεδο άρδευσης και μετρίως από τον τύπο υποστρώματος (Διάγρ. 4.7, Πίν. 4.1).

Παρ' όλο που η αύξηση της στοματικής αντίστασης και για τα δύο υποστρώματα εμφανίστηκε άμεσα, μόλις 6 ημέρες μετά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης, σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο κατά την τελευταία ημερομηνία δειγματοληψίας (20 Αυγούστου 2010). Το υπόστρωμα που περιείχε τύρφη στη σύνθεσή του παρουσίασε μικρότερη αντίσταση στοματίων καταδεικνύοντας μικρότερη καταπόνηση σε σχέση με το υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ επιβεβαιώνοντας περαιτέρω τα αποτελέσματα του GTC και του NDVI. Όσον αφορά την επίδραση του βάθους του υποστρώματος και του επιπέδου άρδευσης στη μεταβολή της στοματικής αντίστασης, παρατηρήθηκε μια καθυστέρηση τριών ημερών στην αύξηση της, όταν ο χλοοτάπητας βρισκόταν στα βαθύτερα υποστρώματα ή αρδεύονταν με το υψηλό επίπεδο άρδευσης. Γενικότερα, κατά την τελευταία ημερομηνία δειγματοληψίας η στοματική αντίσταση ήταν κατά 192,5% μεγαλύτερη στο βάθος υποστρώματος των 7,5 cm σε σχέση με το βάθος των 15 cm και 127,2% μεγαλύτερη στο επίπεδο άρδευσης των 3 mm σε σχέση με το επίπεδο άρδευσης των 6 mm καταδεικνύοντας μεγαλύτερη καταπόνηση του χλοοτάπητα στις επεμβάσεις αυτές.

Τέλος, σε συμφωνία με τη μελέτη του Κεφαλαίου 3, η παρατηρούμενη αύξηση της αντίστασης των στοματίων βρέθηκε να είναι σε καλή αντιστοιχία με το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος με τις επεμβάσεις να παρουσιάζουν αυξημένη καταπόνηση όταν η υγρασία του υποστρώματος κυμαίνονταν από 10% έως 15% (Διάγρ. 4.4. και 4.7).



Διάγραμμα 4.7. Αντίσταση στοματίων ($s\ cm^{-1}$) των φύλλων του κλοστάπητα, όπως αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια της περιόδου επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

4.4. Συμπεράσματα

1. Βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης διαπιστώθηκε ότι ο τύπος του υποστρώματος αποτελούσε το σημαντικότερο παράγοντα κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης του χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' καθώς το ποσοστό εδαφοκάλυψης βελτιώθηκε σημαντικά, όταν στο υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε κομπόστ έναντι της τύρφης. Το βάθος υποστρώματος επέδρασε σε μικρότερο βαθμό όπου παρατηρήθηκε αύξηση του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, όταν το βάθος του υποστρώματος αυξήθηκε από 7,5 σε 15 cm.
2. Κατά την περίοδο ελλειμματικής άρδευσης το βάθος του υποστρώματος αποτέλεσε το σημαντικότερο παράγοντα καθώς τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) παρείχαν μεγαλύτερες τιμές εδαφοκάλυψης, υγρασίας υποστρώματος και κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και μικρότερες τιμές στοματικής αντίστασης σε σύγκριση με τα μικρότερα βάθη των 7,5 cm.
3. Όσον αφορά την επιλογή υποστρώματος διαπιστώθηκε πως η χρήση τύρφης στο υπόστρωμα ανάπτυξης μείωσε σημαντικά την καταπόνηση του χλοοτάπητα μέσω της συγκράτησης υψηλότερων ποσοστών υγρασίας υποστρώματος σε σχέση με υποστρώματα, στα οποία χρησιμοποιήθηκε το κομπόστ ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό. Έτσι, συμπεραίνεται πως το τοπικά παραγόμενο κομπόστ θα μπορούσε να αντικαταστήσει την τύρφη ως οργανικό συστατικό των υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου μόνο όταν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση. Μιας και η χρήση κομπόστ στα υποστρώματα δεν παρουσίασε σημαντική μείωση της καταπόνησης του χλοοτάπητα κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης, περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου να προσδιοριστεί εάν η χρήση άλλων κομπόστ με μικρότερη περιεκτικότητα σε άζωτο θα μπορούσαν να υποκαταστήσουν πιο αποτελεσματικά την τύρφη.
4. Κανένα από τα δύο επίπεδα άρδευσης δεν κατάφερε να διατηρήσει την ποιότητα του χλοοτάπητα σε αποδεκτά επίπεδα. Έτσι, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα του εκτατικού φυτεμένου δώματος, θα πρέπει ο χλοοτάπητας κατά το θέρος να αρδεύεται με ποσότητες που ξεπερνούν το 40% της πραγματικής αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής.

Κεφάλαιο 5

**Αξιολόγηση της αντοχής και της ικανότητας ανάκαμψης του
θερμόφιλου χλοοτάπητα *Zoysia matrella* μετά από υδατική
καταπόνηση σε συνθήκες πραγματικού εκτατικού φυτοδώματος
όπου διαφοροποιείται το είδος και το βάθος του υποστρώματος
καθώς και η ποσότητα της άρδευσης**

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να προσδιοριστεί η αντοχή του γρασιδιού *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' στην υδατική καταπόνηση, όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες πραγματικού εκτατικού φυτοδώματος και υπό δύο διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης καθώς και η ικανότητα επαναφοράς του σε συνθήκες φυσικής βροχόπτωσης μετά την παρέλευση των περιόδων ελλειμματικής άρδευσης. Η διάρκεια της μελέτης ήταν δύο έτη και οι επεμβάσεις περιελάμβαναν: α) δύο είδη υποστρωμάτων (ένα υπόστρωμα το οποίο αποτελείτο από τοπικά διαθέσιμα υλικά $S_{15}:P_{40}:P_{20}:C_{20}:Z_5$ όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{40} = ελαφρόπετρα, P_{20} = περλίτης, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος, σε ογκομετρικές αναλογίες, όπως αυτές υποδεικνύονται από τους δείκτες τους και ένα εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα, του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι), β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm ή 15 cm), γ) δύο διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης (3 mm ή 6 mm άρδευσης κάθε 3 ημέρες). Οι μετρήσεις περιελάμβαναν τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υποστρωμάτων (κοκκομετρία, ξηρό βάρος και βάρος στον κορεσμό, ολικό πορώδες, χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας, *in situ* υγρασία υποστρώματος, pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα και ανάλυση των θρεπτικών τους συστατικών), καθώς και προσδιορισμό του ποσοστού της εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Cover), του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) και του σχετικού υδατικού δυναμικού των φύλλων (RWC, Leaf Relative Water Content). Κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης οι τιμές των GTC, NDVI και RWC επηρεάστηκαν περισσότερο από το βάθος του υποστρώματος, μετρίως από το επίπεδο της άρδευσης και, σε μικρότερο βαθμό, από τον τύπο του υποστρώματος. Η εδαφοκάλυψη και η φυσιολογική κατάσταση του χλοοτάπητα ήταν βελτιωμένες στις επεμβάσεις όπου χρησιμοποιούνταν το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος (15 cm), το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης (6 mm) και το υπόστρωμα από ανάμειξη τοπικών υλικών. Αντιθέτως, η μεγαλύτερη καταπόνηση του χλοοτάπητα παρουσιάστηκε στο μικρό βάθος υποστρώματος (7,5 cm), στο χαμηλό επίπεδο άρδευσης (3 mm) και στο υπόστρωμα, το οποίο βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι. Κατά τις περιόδους ανάκαμψης του χλοοτάπητα οι τιμές του GTC και του NDVI επηρεάστηκαν περισσότερο από το βάθος υποστρώματος με τα βαθύτερα υποστρώματα να παρουσιάζουν ταχύτερη επαναφορά σε σχέση με τα ρηχά. Αντιθέτως, οι διαφορές μεταξύ των δύο τύπων υποστρώματος εξαλείφθηκαν.

5.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, η χρήση των φυτεμένων δωματίων έχει αυξηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο, κυρίως λόγω των πολλαπλών περιβαλλοντικών και αισθητικών πλεονεκτημάτων που παρέχουν στο μονότονο πυκνοδομημένο τοπίο των σύγχρονων μεγαλουπόλεων (Claus and Rousseau, 2012). Η χρήση των φυτεμένων δωματίων συστήνεται κυρίως σε περιοχές οι οποίες χαρακτηρίζονται από έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως είναι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Τα περιβαλλοντικά αυτά προβλήματα εμφανίζονται κυρίως στα κεντρικά τμήματα των πόλεων, τα οποία καταλαμβάνονται κυρίως από παλαιότερα κτίρια με ελάχιστη αντοχή σε επιπρόσθετα φορτία βάρους. Στις περιπτώσεις αυτές τα φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου μπορούν να αποτελέσουν μια βιώσιμη επιλογή καθώς χαρακτηρίζονται από μικρό βάθος υποστρώματος, μειωμένο βάρος και ελάχιστες απαιτήσεις διαχείρισης. Ωστόσο, ελλείψει κινήτρων από την πολιτεία, μια οικονομική επένδυση μπορεί να δικαιολογηθεί από τους ενοίκους και τους ιδιοκτήτες των κτιρίων μόνο εάν η φυτοκάλυψη του δώματος μπορεί να αποτελέσει έναν προσβάσιμο και λειτουργικό χώρο (Williams et al., 2010, Fernandez-Cañero, 2013). Στις περιπτώσεις αυτές οι χλοοτάπητες μπορούν να αποτελέσουν μία ιδανική λύση καθώς εκπληρούν και τις τρεις απαιτήσεις του αστικού πρασίνου, δηλαδή την αισθητική, τη λειτουργικότητα και τη χρηστικότητα (Beard and Green, 1994).

Η χρήση των χλοοταπήτων σπανίως έχει αξιολογηθεί σε πράσινες στέγες εκτατικού τύπου, κυρίως λόγω των απαιτήσεων τους σε νερό οι οποίες είναι υψηλότερες σε σύγκριση με άλλα φυτικά είδη όπως είναι τα παχύφυτα ή τα ξηρόφυτα. Οι Boussetot et al. (2011) αξιολόγησαν τα γρασίδια *Bouteloua gracilis*, *Buchloe dactyloides* υπό θερμοκηπιακές συνθήκες, σε φυτοδοχεία μικρού μεγέθους και σε μειούμενα επίπεδα υγρασίας. Οι MacIvor and Lundholm (2011) συνέκριναν την επιβίωση και τη φυτοκάλυψη διαφόρων ειδών γρασιδιών (*Festuca rubra*, *Deschampsia flexuosa*, *Danthonia spicata*) σε θαλαμίσκους τοποθετημένους σε οροφή ενός κτιρίου. Σε άλλες περιπτώσεις, τα αγρωστώδη που μελετήθηκαν ήταν κυρίως καλλωπιστικά εδαφοκαλυπτικά φυτά και όχι επιφάνειες χλοοταπήτων όπως το *Festuca glauca ovina* (Dunnett and Nolan, 2002), *Schizachyrium scoparium* (Durhman et al., 2006), *F. ovina*, *Trisetum flavescens*, *Anthoxanthum odoratum* (Nagase and Dunnett, 2010), *F. scoparia* (Dunnett et al., 2008) και *Koeleria macrantha* (Monterusso et al., 2005; Nagase and Dunnett, 2010).

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008), τα φυτοδώματα εκτατικού τύπου θα πρέπει να έχουν ελάχιστες διαχειριστικές απαιτήσεις και εισροές φυσικών πόρων, όπως είναι για παράδειγμα το νερό άρδευσης. Παρ' όλα αυτά υπάρχει μία αυξανόμενη τάση για την ανατροπή των υπάρχουσών κατευθυντήριων οδηγιών (FLL, 2008), καθώς αυτές έχουν δημιουργηθεί για βόρεια και όχι μεσογειακά ξηρικά και ημι-ξηρικά κλίματα. Έτσι υπάρχουν συνεχώς αυξανόμενες αναφορές ερευνητικών μελετών οι οποίες υποδεικνύουν ότι η άρδευση είναι μια αναγκαιότητα για τη δημιουργία πράσινων στεγών εκτατικού τύπου σε ημι-άνυδρες περιοχές, ανεξάρτητα από την αντοχή των χρησιμοποιούμενων φυτών στην καταπόνηση από την έλλειψη υγρασίας (Dunnet and Nolan, 2002; Bousset et al., 2011; Kotsiris et al., 2012b). Σε πολλές περιπτώσεις έχει προταθεί ότι η άρδευση πρέπει να εφαρμόζεται κατά τα πρώτα δύο χρόνια μετά την εγκατάσταση του φυτικού υλικού ή κατά τη διάρκεια ακραίων συνθηκών ξηρασίας με στόχο τη βέλτιστη εγκατάσταση και τη διατήρηση της ανάπτυξης των φυτών της πράσινης στέγης (Getter and Rowe, 2006; Latocha and Batorska, 2007; Wolf and Lundholm, 2008; Williams et al., 2010).

Σημαντικό πλεονέκτημα των αρδευόμενων φυτεμένων δωματίων σε σύγκριση με τα μη αρδευόμενα, αποτελεί η αναμενόμενη σημαντική συνεισφορά τους στον περιορισμό της αστικής θερμικής νησίδας λόγω της ψύξης η οποία επιτυγχάνεται μέσω της διαπνοής των φυτών (Spronken-Smith and Oke, 1998; Takebayashi and Moriyama, 2009). Τα παχύφυτα ή άλλα φυτά με μεταβολισμό CAM ή ξηροφυτικά είδη τα οποία κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αναπτύσσονται κάτω από σοβαρή πίεση ξηρασίας δεν αναμένεται να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας του αστικού περιβάλλοντος, λόγω της ικανότητος τους να ελαχιστοποιούν τη διαπνοή τους (Feng et al., 2010).

Με εφαλτήριο τις νέες αυτές προσεγγίσεις στα θέματα των φυτοδωμάτων, προκαλεί ενδιαφέρον η διερεύνηση της εδαφοκαλυπτικής ικανότητας των χλοοταπήτων σε συνθήκες εκτατικού τύπου φυτεμένων δωματίων, οι οποίες χαρακτηρίζονται από αβαθή υποστρώματα καθώς και ο προσδιορισμός της ανάπτυξής τους κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας του Μεσογειακού θέρους. Έτσι, η εισαγωγή των χλοοταπήτων σε αρδευόμενα εκτατικά φυτοδώματα θα μπορούσε να δημιουργήσει μία εύχρηστη, λειτουργική και ευχάριστη φυτοκαλυμμένη αστική επιφάνεια.

Λόγω των περιορισμένων ερευνητικών δεδομένων μία τέτοιας προσέγγισης θα πρέπει να διερευνηθούν και να προσδιοριστούν τα κριτήρια και τα όρια της χρήσης των χλοοταπήτων σε αρδευόμενα εκτατικά φυτοδώματα, που βρίσκονται σε ημι-

ξηρικές περιοχές της Μεσογείου. Τα κριτήρια που πρέπει να πληρούνται αφορούν την επιλογή των φυτικών ειδών, τον τύπο του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος και τις ανάγκες σε άρδευση.

Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν: α) να συγκρίνει την αντοχή του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' στη υδατική καταπόνηση, όταν αυτός αναπτύσσεται σε συνθήκες πραγματικού εκτατικού φυτοδώματος σε δύο διαφορετικά υποστρώματα (ένα υπόστρωμα το οποίο αποτελείτο από τοπικά διαθέσιμα υλικά όπως αμμοπηλώδες έδαφος, ελαφρόπετρα, περλίτης, κομπόστ και ζεόλιθος και ένα εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα, του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι) σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και αρδεύεται με δύο διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης (3 mm ή 6 mm κάθε 3 ημέρες) και β) να διερευνηθεί η ικανότητα ανάκαμψης του *Z. matrella* σε συνθήκες φυσικής βροχόπτωσης μετά την παρέλευση των περιόδων ελλειμματικής άρδευσης καθώς και η ικανότητα επαναφοράς του μετά το χειμερινό λήθαργο.

5.2. Υλικά και Μέθοδοι

5.2.1. Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων

Η μελέτη διήρκησε δύο έτη με έναρξη την 19^η Αυγούστου 2009 έως και την 14^η Οκτωβρίου 2011 και διεξήχθη σε δώμα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, (37° 59' Β και 23° 42' Α, 35 m) (Εικ. 5.1). Η μελέτη περιελάμβανε 40 πειραματικά τεμάχια καθένα εκ των οποίων είχε επιφάνεια 0,81 m² (εσωτερικές διαστάσεις 0,9 m X 0,9 m). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν πολυπαραγοντικό με τρεις παράγοντες: α) δύο τύπους υποστρώματος, β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος και γ) δύο επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης. Κάθε επέμβαση είχε 5 επαναλήψεις.

Τα πειραματικά τεμάχια κατασκευάστηκαν σε δώμα κτιρίου εντός του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, το οποίο διαστρώθηκε με τις ακόλουθες διαδοχικές στρώσεις: α) φράγμα υδρατμών (Eshaelastic, Alfa Alfa Energy SA, Αττική, Ελλάδα), β) 20 mm θερμομόνωση πολυστερίνης με επικάλυψη αλουμινίου στη μία πλευρά (Temptra, Vaportherm, Alfa Alfa Energy SA), γ) επαλειφόμενο αστάρι προκειμένου να επιτραπεί η κατάλληλη επαφή των ασφαλτόπανων με τη θερμομόνωση (EXTRALAC, Alfa Alfa Energy SA), δ) δύο στρώσεις ασφαλτόπανων

(Eshagum Antiroot B2, Alfa Alfa Energy SA) με βάρος 4 kg m^{-2} , τα οποία διέθεταν ριζοαπωθητική ουσία (Preventol) (Εικ. 5.1). Περιμετρικά του δώματος εγκαταστάθηκε αποστραγγιστικό κανάλι με ψηφίδα με τη χρήση στοιχείων εγκιβωτισμού από αλουμίνιο ύψους 12 cm (DP 120, Zinco, egreen, Αθήνα, Ελλάδα) (Εικ. 5.2-5.4).



Εικόνα 5.1. Άποψη του δώματος στο οποίο πραγματοποιήθηκε η μελέτη. Διακρίνεται η υδατοστεγάνωση του δώματος.

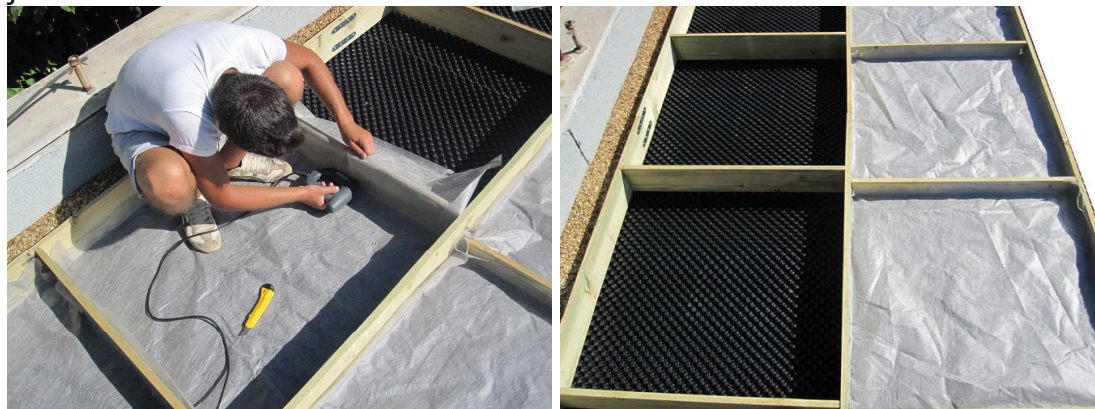


Εικόνες 5.2-5.4. Περιμετρικό αποστραγγιστικό κανάλι του δώματος με ψηφίδα.

Πάνω από τα ασφαλόπιανα τοποθετήθηκε μεμβράνη πολυαιθυλενίου με αντιριζικές ιδιότητες πάχους 0,36 mm, πυκνότητας 0,94 g m⁻³ και βάρους 0,33 kg m⁻² (WSF 40, Zinco, egreen) για επιπλέον προστασία της υγρομόνωσης από τις ρίζες των φυτών. Κατόπιν, τοποθετήθηκαν ξύλινες σανίδες πάχους 2 cm μεταβλητού ύψους προκειμένου να διαχωριστούν τα γειτνιαζόντα πειραματικά τεμάχια και να εξασφαλιστεί η μηχανική και υδρολογική ασυνέχεια μεταξύ αυτών (Εικ. 5.5). Ο πυθμένας των πειραματικών τεμαχίων καλύφθηκε με ένα υπόστρωμα προστασίας, το οποίο αποτελείτο από ύφασμα με συνθετικές μη αποδομήσιμες ίνες πολυεστέρα, πάχους 5 mm και ξηρού βάρους 0,47 kg m⁻², το οποίο λειτουργεί ως δεξαμενή νερού με ικανότητα συγκράτησης 5 L m⁻² σύμφωνα με τα δεδομένα του κατασκευαστή (SSM 45, Zinco, egreen). 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 αποστραγγιζόμενου ύδατος, ενώ διαθέτει και ανοίγματα για επαρκή αερισμό του υποστρώματος. Η διάστρωση της αποστράγγισης έχει την ικανότητα αποθήκευσης 3 L m⁻², η οποία χρησιμεύει ως μία πρόσθετη δεξαμενή αποθήκευσης νερού. Μέσα σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, 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 (Εικ. 5.6-5.7). Το γεωύφασμα χρησιμοποιήθηκε για την αποτροπή της μετακίνησης των μικροσωματιδίων του υποστρώματος προς την αποστραγγιστική διάστρωση, εξασφαλίζοντας ότι αυτή δεν θα φράξει και θα λειτουργεί συνεχώς και αποτελεσματικά. Το γεωύφασμα πακτώθηκε στα πλευρικά ξύλινα διαχωριστικά του εκάστοτε πειραματικού τεμαχίου και κόπηκε κάτω από την τελική επιφάνεια του υποστρώματος προκειμένου να διακοπεί η συνέχεια του γεωυφάσματος προς την ατμόσφαιρα και ως εκ τούτου να ελαχιστοποιηθεί τυχόν τριχοειδής μετακίνηση του ύδατος από το υπόστρωμα προς την ατμόσφαιρα.



Εικόνα 5.5. Ο διαχωρισμός των πειραματικών τεμαχίων επιτεύχθηκε με τη χρήση ξύλινων σανίδων.



Εικόνες 5.6-5.7. Κάλυψη της αποστραγγιστικής στρώσης με γεωύφασμα, το οποίο πακτώθηκε στα πλευρικά ξύλινα διαχωριστικά του εκάστοτε πειραματικού τεμαχίου.

Στη συνέχεια τα πειραματικά τεμάχια πληρώθηκαν με ένα εκ των δύο υπό μελέτη υποστρώματων (Εικ 5.8-5.10). Το πρώτο υπόστρωμα ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$) αποτελούνταν από αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτη (Per), κομπόστ (C) και ζεόλιθο (Z) στις ακόλουθες κατ' όγκο αναλογίες: 3 αμμοπηλώδες έδαφος: 8 ελαφρόπετρα: 4 περλίτη: 4 κομπόστ: 1 ζεόλιθο. Τα υλικά αναμίχθηκαν ομοιόμορφα με τη χρήση μηχανικού αναδευτήρα. Το αμμοπηλώδες έδαφος είχε περιεκτικότητα σε άμμο 77,0%, σε ιλύ 7,8% και σε άργιλο 15,2%, ενώ διέθετε 0,703% (κ.β.) οργανική ουσία, pH 8,63 και ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) 80 $\mu S\ cm^{-1}$. Η ελαφρόπετρα είχε κοκκομετρία μεταξύ 0,05-8 mm (ΛΑΒΑ, Μεταλλευτική και Λατομική Α.Ε., Αθήνα, Ελλάδα). Ο ζεόλιθος ήταν κλινοπιλολιτικός με κοκκομετρία 0,8-2,5 mm (S & B Βιομηχανικά Ορυκτά ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) και ο περλίτης (Perloflor, ISOCON ΑΕ, Αθήνα, Ελλάδα) είχε κοκκομετρία 0,25-5 mm. Το κομπόστ αποτελείτο από άχυρο, πριονίδια, κηπευτικά υπολείμματα (υπολείμματα κοπής χλοοτάπητα και τεμάχια ξύλου) και κόπρο από αγελάδες γαλακτοπαραγωγής,

ιπποφορβεία και πουλερικά. Το δεύτερο υπόστρωμα ήταν ένα εμπορικά διαθέσιμο προϊόν (Zinco, egreen) η σύσταση του οποίου βασιζόταν σε θραυστό κεραμίδι. Η ακριβής σύνθεση και αναλογίες των υλικών του υποστρώματος εμπίπτουν σε δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας της εταιρείας.

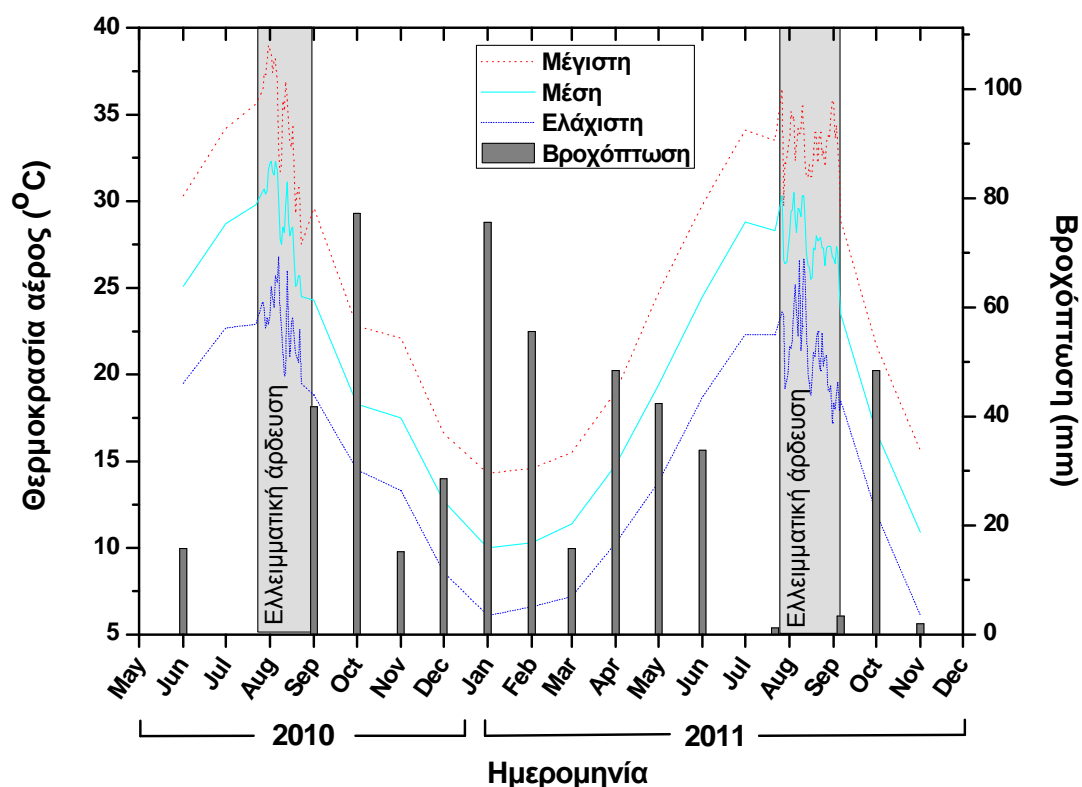
Τα μισά πειραματικά τεμάχια πληρώθηκαν με τυχαίο τρόπο, ώστε το βάθος του υποστρώματος να είναι 7,5 cm και τα υπόλοιπα σε βάθος υποστρώματος 15 cm. Μετά την πλήρωση όλων των πειραματικών τεμαχίων, τα υποστρώματα συμπίεστηκαν ελαφρά και ισοπεδώθηκαν.



Εικόνες 5.8-5.10. Πλήρωση των πειραματικών τεμαχίων με τα δύο υπό μελέτη υποστρώματα.

5.2.2. Μετεωρολογικά δεδομένα

Καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης, η θερμοκρασία του αέρα και οι βροχοπτώσεις καταγράφονταν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, ο οποίος βρίσκεται 205 m μακριά από το πειραματικό χώρο (Διάγρ. 5.1).



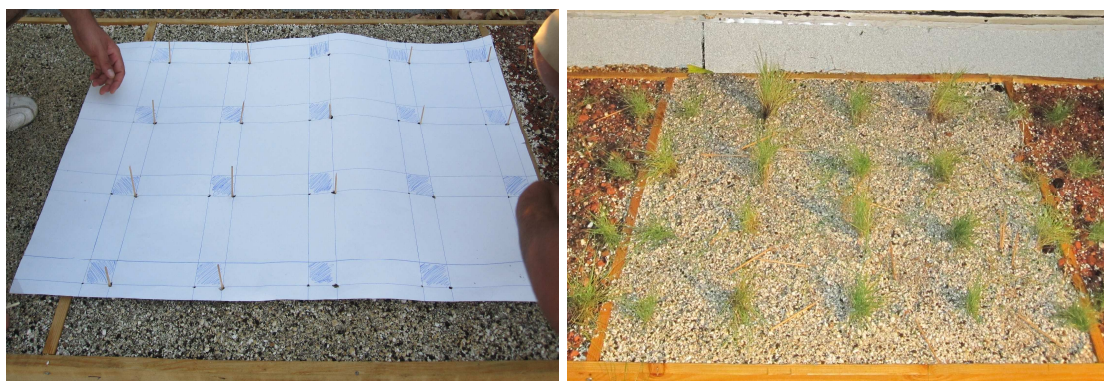
Διάγραμμα 5.1. Μηνιαία βροχόπτωση και μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια των δύο ετών της μελέτης (2010 and 2011). Οι γκριζες περιοχές υποδεικνύουν τις δύο περιόδους εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης, όπου παρουσιάζονται η ημερήσια μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα.

5.2.3. Μετρήσεις υποστρώματος

Για κάθε ένα από τα δύο υπό μελέτη υποστρώματα προσδιορίστηκε η κοκκομετρία, η χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, το ολικό πορώδες, η ξηρά και κεκορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα, η τιμή του pH και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι μεθοδολογίες προσδιορισμού των παραπάνω παραμέτρων περιγράφονται στην Παράγραφο 3.2.3.

5.2.4. Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα

Ο χλοοτάπητας, ο οποίος επιλέχθηκε να εγκατασταθεί στα πειραματικά τεμάχια, ήταν το είδος *Zoysia matrella* 'Zeon' και οι λόγοι επιλογής περιγράφονται αναλυτικά στην Παράγραφο 3.2.4. Ο χλοοτάπητας εγκαταστάθηκε στα πειραματικά τεμάχια με αγενή τρόπο και συγκεκριμένα με χρήση τετράγωνων τμημάτων έτοιμου χλοοτάπητα, διαστάσεων 5 cm X 5 cm, τα οποία ήταν πλυμένα προκειμένου να μην διαθέτουν καθόλου εδαφικό υπόστρωμα από τη μητρική φυτεία. Η εγκατάσταση διεξήχθη την 19^η Αυγούστου 2009, σχεδόν ένα έτος πριν από την έναρξη της επιβολής καταπόνησης με ελλειμματική άρδευση, προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής και ομοιόμορφη ανάπτυξη του χλοοτάπητα μεταξύ των πειραματικών τεμαχίων. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, 20 τμήματα χλοοτάπητα φυτεύτηκαν σε ένα κάνναβο με ισοαποστάσεις 15 cm x 15 cm μεταξύ των διαδοχικών τεμαχίων (Εικ. 5.11-5.12).



Εικόνες 5.11-5.12. Φύτευση των τεμαχίων του έτοιμου χλοοτάπητα σε κάνναβο με ισοαποστάσεις 15 cm x 15 cm μεταξύ των διαδοχικών τμημάτων.



Εικόνες 5.13. Άποψη των πειραματικών τεμαχίων μετά την ολοκλήρωση της φύτευσης των τεμαχίων του έτοιμου χλοοτάπητα.

Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης και ανάπτυξης (19 Αυγούστου 2009 έως 1 Ιουλίου 2010) τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν σύμφωνα με τις εκάστοτε υδατικές απαιτήσεις. Ειδικότερα, από 19 Αυγούστου έως 15 Οκτωβρίου 2009, τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν μία φορά την ημέρα, προκειμένου να προαχθεί η εγκατάσταση και να αποφευχθεί η υδατική καταπόνηση των τεμαχίων του χλοοτάπητα. Στη συνέχεια, η εφαρμογή άρδευσης σταμάτησε κυρίως λόγω της εμφάνισης συχνών φυσικών βροχοπτώσεων αλλά και εξαιτίας της εισόδου του θερμόφιλου χλοοτάπητα σε χειμερινό λήθαργο. Η άρδευση εφαρμόστηκε και πάλι μετά την παρέλευση του λήθαργου (20 Μαρτίου 2010), σε συχνότητα διημέρου μέχρι την έναρξη των επεμβάσεων υδατικής καταπόνησης (10 Αυγούστου 2010).



Εικόνα 5.14. Άποψη των πειραματικών τεμαχίων πλήρως καλυμμένα με το χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' (Ημερομηνία λήψης: 16/6/2010).

Κατά τη διάρκεια του 2009, δεν υπήρξε κουρά του χλοοτάπητα, λόγω της πολύ περιορισμένης κάθετης ανάπτυξής του. Κατά τα έτη 2010 και 2011, στα πειραματικά τεμάχια εφαρμόστηκε κοπή σε ύψος 60 mm με τη χρήση χλοοκοπτικής μηχανής περιστροφικού τύπου Bosch Rotak 320 (Robert Bosch GmbH, 70049, Stuttgart, Germany) και τα υπολείμματα κοπής συλλέγονταν. Η συχνότητα κοπής ήταν δύο φορές την εβδομάδα από τον Ιούνιο μέχρι και την έναρξη των επεμβάσεων ελλειμματικής άρδευσης.

Οι ανάγκες σε λίπανση καλύφθηκαν από υδατοδιαλυτό κοκκώδες λίπασμα (Complezal 12-12-17, με περιεκτικότητα σε άζωτο 6,5% NH_4^+ και 5,5% NO_3^- , 12N-5.2P-14.1K-1.2Mg-8.0S, Agrevo Hellas A.E., Αθήνα, Ελλάδα) το οποίο εφαρμόστηκε σε ποσότητα 25 g m⁻² κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του χλοοτάπητα και συγκεκριμένα στις ημερομηνίες 21 Μαΐου, 25 Ιουνίου και 18 Ιουλίου 2010.

5.2.5. Άρδευση κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης και ανάκαμψης

Η επιβολή της ελλειμματικής άρδευσης επαναλήφθηκε στο χρόνο (έτη 2010 και 2011). Το 2010, η περίοδος ελλειμματικής άρδευσης ξεκίνησε την 10^η Αυγούστου και έληξε την 7^η Σεπτεμβρίου, ενώ κατά το έτος 2011 άρχισε την 10^η Αυγούστου και έληξε την 20^η Σεπτεμβρίου, καθώς η λήξη κάθε περιόδου εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης συνέπιπτε με την εμφάνιση της πρώτης φθινοπωρινής βροχόπτωσης.

5.2.5.1. Άρδευση κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης

Πριν από την έναρξη της κάθε περιόδου υδατικής καταπόνησης μέσω της εφαρμογής ελλειμματικής άρδευσης, όλα τα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν έως κορεσμού προκειμένου να υπάρξουν κοινές και όμοιες συνθήκες υγρασίας σε όλες τις επεμβάσεις. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση όπου κάθε 3 ημέρες εφαρμόζονταν 3 mm για την επέμβαση της χαμηλής άρδευσης και 6 mm για την επέμβαση της υψηλής άρδευσης. Λαμβάνοντας υπόψη τα κλιματολογικά στοιχεία δεκαετίας του Εργ. Γενικής και Γεωργικής Μετεωρολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, η μέση πραγματική εξατμισοδιαπνοή για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο είναι 5 mm d⁻¹ (Kotsiris et al., 2012a). Έτσι, οι επεμβάσεις άρδευσης των 6 mm και 3 mm, οι οποίες εφαρμόστηκαν σε τριήμερα διαστήματα αντιστοιχούν στο 40% και το 20% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, αντίστοιχα. Ο χλοοτάπητας αρδευόταν δια χειρός με χρήση λάστιχου εφοδιασμένου με ροόμετρο ακρίβειας 0,1 L (Wohnungswasserzähler Typ ETR, Rossweiner Armaturen & MEBGERÄTE GmbH & Co, Rosswein, Γερμανία).

5.2.5.2. Άρδευση κατά τις περιόδους ανάκαμψης

Και στα δύο έτη της μελέτης, τα πειραματικά τεμάχια αφέθηκαν χωρίς άρδευση μετά την πρώτη φθινοπωρινή βροχόπτωση, προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάκαμψής τους με βάση τις φυσικές βροχοπτώσεις. Κατά την ανάκαμψη του χλοοτάπητα από το χειμερινό λήθαργο, η άρδευση εφαρμοζόταν καθημερινά κατά την άνοιξη του 2011 έως και την έναρξη της περιόδου επιβολής των ελλειμματικών αρδεύσεων, προκειμένου να προωθηθεί η ανάπτυξη του χλοοτάπητα και να επιτευχθεί ομοιόμορφη εδαφοκάλυψη μεταξύ των επεμβάσεων.

5.2.6. Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος σε συνδυασμό με τα δύο διαφορετικά επίπεδα ελλειμματικής άρδευσης, στην υδατική καταπόνηση του *Z. matrella* πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της υγρασιακής κατάστασης του υποστρώματος, του ποσοστού της εδαφοκάλυψης από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Color) και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index). Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιούνταν κάθε 3 ημέρες πριν την εφαρμογή της άρδευσης και η μεθοδολογία προσδιορισμού ήταν όμοια με αυτή που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.2.7.2.

Το σχετικό υδατικό δυναμικό των φύλλων (RWC, Leaf Relative Water Content) προσδιορίστηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Turner (1981). Πιο συγκεκριμένα, κάθε 3 ημέρες, πριν την εφαρμογή της άρδευσης, μεταξύ των ωρών 12:00 έως 14:00, λαμβάνονταν φυτικά δείγματα βάρους 1,5 g από φύλλα ευρισκόμενα σε πλήρη ανάπτυξη. Τα φύλλα βυθίζονταν άμεσα σε απιονισμένο νερό για 24 h, και προσδιοριζόταν το βάρος του κάθε δείγματος σε σπαργή. Στη συνέχεια, τα φύλλα τοποθετούνταν σε ξηραντήριο για 48 ώρες στους 75°C και προσδιοριζόταν το ξηρό τους βάρος. Το RWC υπολογίστηκε με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$RWC = \frac{(NB - \Xi B)}{(\Sigma B - \Xi B)} \times 100$$

όπου NB= νωπό βάρος, ΞB = ξηρό βάρος, ΣB = βάρος του ιστού των φύλλων σε σπαργή. Οι μετρήσεις του RWC τερματίστηκαν, όταν ο χλοοτάπητας ληθάργησε λόγω υδατικής καταπόνησης και απωλέσθηκε ο πράσινος χρωματισμός των φύλλων του.

Το RWC αποτελεί ένα πολύ καλό δείκτη, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον προσδιορισμό της υδατικής κατάστασης των φύλλων του χλοοτάπητα. Οι τιμές του για φύλλα που βρίσκονται σε σπαργή και διαπνέουν φυσιολογικά κυμαίνονται από 85% έως 95%. Οι τιμές του RWC μειώνονται σε 40% έως 50% σε έντονα αφυδατωμένα φύλλα, ενώ μπορούν να μειωθούν ακόμη περισσότερο σε περιπτώσεις όπου τα φύλλα αρχίζουν να ξεραίνονται (Cockerham and Leinauer, 2011).

5.2.7. Στατιστικές αναλύσεις

Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας το στατιστικό λογισμικό JMP ver.8 (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Building 5, Cary, NC) και την πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς MANOVA. Λόγω των σημαντικών στατιστικών διαφορών των επεμβάσεων μεταξύ των δύο ετών, τα στοιχεία του κάθε έτος παρουσιάζονται ξεχωριστά. Ωστόσο, παρόμοιες τάσεις παρατηρήθηκαν μεταξύ των δεδομένων των δύο ετών. Το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε σχέση με την ανάπτυξη του χλοοτάπητα και των ποιοτικών δεικτών (GTC, NDVI), του σχετικού υδατικού δυναμικού RWC και της υγρασίας του υποστρώματος για κάθε διακριτή ημερομηνία δειγματοληψίας. Η ανάλυση MANOVA χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας ως τριπαραγοντικό πείραμα (τύπος υποστρώματος × βάθος υποστρώματος × επίπεδο άρδευσης). Οι μέσοι των επεμβάσεων διαχωρίστηκαν χρησιμοποιώντας την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά του Fisher (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$).

5.3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

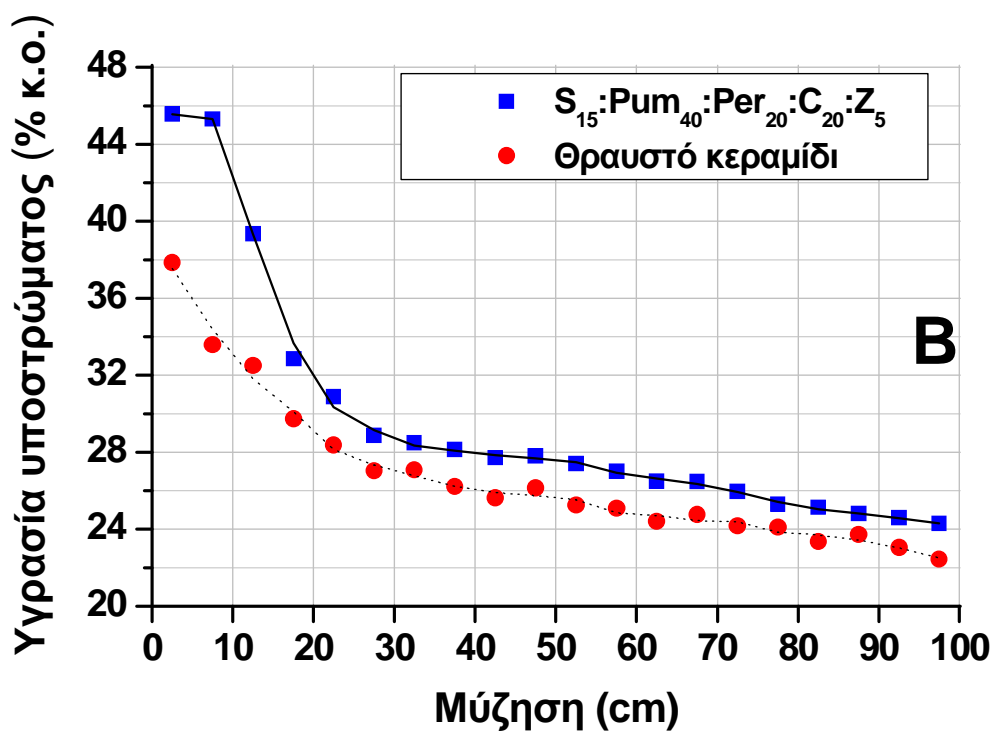
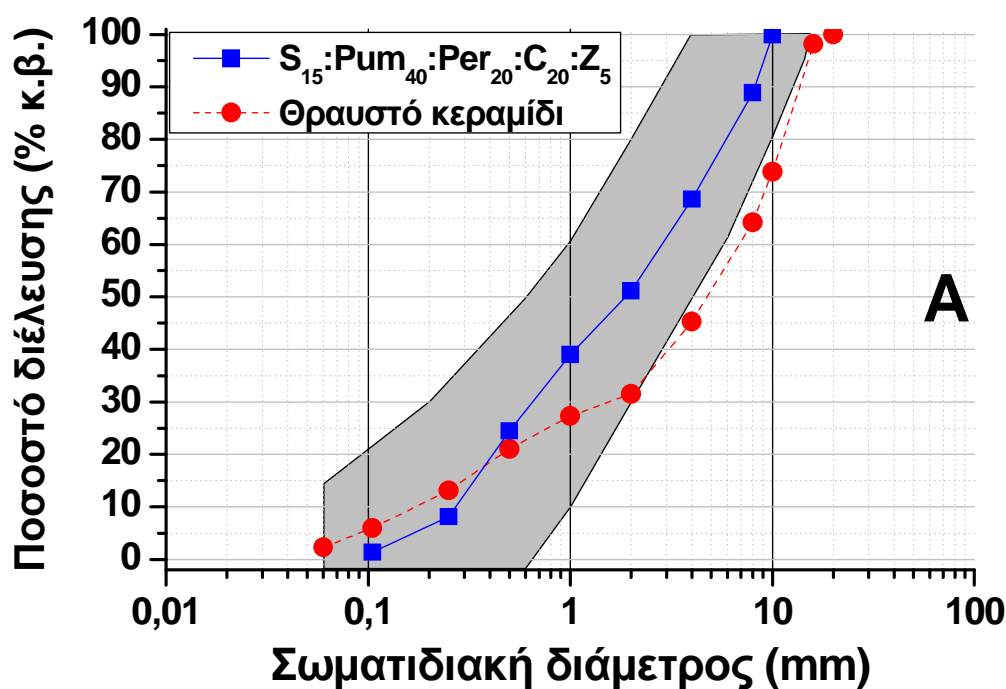
5.3.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες των υποστρωμάτων

Βρέθηκε ότι η κοκκομετρία των δύο υποστρωμάτων ήταν διαφορετική, καθώς από τα δύο υποστρώματα που εξετάστηκαν μόνο αυτό που κατασκευάστηκε από τοπικά διαθέσιμα υλικά ενέπιπε στο πλαίσιο των κατευθυντηρίων οδηγιών, όπως αυτό προτείνεται από το FLL (2008) για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου (Διάγρ. 5.2A). Αντίθετα, το εμπορικό υπόστρωμα το οποίο βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι, βρέθηκε να παρεκκλίνει ελαφρώς από τις κατευθυντήριες οδηγίες, καθώς ήταν περισσότερο χονδρόκοκκο για σωματιδιακές διαμέτρους άνω των 2 mm (Διάγρ. 5.2A).

Το υπόστρωμα από τοπικά υλικά επέδειξε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης του νερού σε όλα τα επίπεδα μύζησης (Διάγρ. 4.2B). Η αύξηση αυτή αποδόθηκε στη λεπτότερη υφή και στη δημιουργία μεγαλύτερου πορώδους στο υπόστρωμα (Πίν. 5.1), τα οποία ευνόησαν τη συγκράτηση του νερού στις χαμηλότερες μυζήσεις.

Η φαινόμενη πυκνότητα, τόσο σε ξηρό όσο και σε κεκορεσμένο δείγμα, ήταν μικρότερη στο υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι, λόγω των ελαφροβαρών συστατικών του και ιδιαίτερα της ελαφρόπετρας και του περλίτη. Αντιθέτως, το ολικό πορώδες του υποστρώματος από τοπικά διαθέσιμα υλικά ήταν υψηλότερο κατά 6% σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι (Πίν. 5.1).

Εκτός από τις φυσικές διαφορές, τα δύο υποστρώματα διέφεραν σημαντικά και όσον αφορά τα χημικά χαρακτηριστικά τους. Το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι είχε μεγάλη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία σε σύγκριση με το υπόστρωμα που αποτελείτο από τοπικά διαθέσιμα υλικά (Πίν. 5.1). Η αυξημένη οργανική ουσία του υποστρώματος με θραυστό κεραμίδι, αύξησε τη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων N, K, Mg και Na σε σύγκριση με το υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά. Ιδιαίτερη εντύπωση προκάλεσε η συγκέντρωση του ασβεστίου η οποία ήταν σημαντικά υψηλότερη στο εμπορικό υπόστρωμα, προφανώς λόγω της περίσσειας του Ca το οποίο περιέχουν τα θραυστά κεραμίδια. Αντίθετα, ο φώσφορος ήταν το μόνο στοιχείο που βρέθηκε σε παρόμοιες ποσότητες και στα δύο υποστρώματα. Το pH και EC και των δύο υποστρωμάτων ήταν παρόμοια και ενέπιπταν στα προσδιοριζόμενα επίπεδα για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου (FLL, 2008, Πίν. 5.1).



Διάγραμμα 5.2. Α. Κατανομή κοκκομετρίας των δύο υποστρωμάτων ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι). Η γκριζα περιοχή περιοχά προσδιορίζει το υποδεικνυόμενο εύρος κοκκομετρίας σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008). Β. Χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας για το κάθε υπόστρωμα.

Πίνακας 5.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες και περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία του υποστρώματος $S_{15}:P_{140}:P_{20}:C_{20}:Z_5$ (S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{140} = ελαφρόπετρα, P_{20} = περλίτης, C = κομπόστ, Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) και του εμπορικά διαθέσιμου υποστρώματος από θραυστό κεραμίδι.

	$S_{15}:P_{140}:P_{20}:C_{20}:Z_5$	Θραυστό κεραμίδι	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.β.)	4,12	7,71	Απώλεια στην πύρωση
Ολικό N (%)	0,230	0,46	Kjeldahl
Ανταλλάξιμος P (mg kg ⁻¹)	106,4	113,7	Χρωματογραφικά
Ανταλλάξιμο K (mg kg ⁻¹)	2.213	1.303	Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Mg (mg kg ⁻¹)	556	788	
Ανταλλάξιμο Ca (mg kg ⁻¹)	2.626	3.928	
Ανταλλάξιμο Na (mg kg ⁻¹)	1.090	633	
pH	7,87	7,55	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm ⁻¹)	833,33	877,3	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Κορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα (kg L ⁻¹)	1,206	1,438	Λυσίμετρο
Φαινόμενη πυκνότητα ξηρού δείγματος (kg L ⁻¹)	0,705	1,021	Λυσίμετρο
Ολικό Πορώδες (%)	45,6	43,1	Λυσίμετρο

5.3.2. Αποτελέσματα από τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης

Όταν όλα τα στοιχεία για το κάθε έτος μελέτης αναλύθηκαν συγκεντρωτικά, ήταν προφανές ότι το βάθος του υποστρώματος αποτελούσε το σημαντικότερο παράγοντα καθώς τα βαθύτερα υποστρώματα (15 cm) παρέιχαν μεγαλύτερες τιμές για το GTC, την υγρασία του υποστρώματος, το NDVI και το RWC σε σύγκριση με μικρότερα βάθη των 7,5 cm (Πίν. 5.2). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από αρκετούς ερευνητές και για διάφορα φυτικά είδη, τα οποία αναπτύσσονταν σε διαφορετικά βάθη υποστρώματος σε συστήματα φυτεμένων δωματίων. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα βαθύτερα υποστρώματα ευνόησαν τόσο την ανάπτυξη των φυτών όσο και την επιβίωσή τους, ενώ αύξησαν σημαντικά τον αριθμό των

φυτικών ειδών, τα οποία δύνανται να έχουν βιώσιμη ανάπτυξη σε εκτατικά φυτεμένα δώματα. Οι Nektarios et al. (2011a) διαπίστωσαν υψηλότερο δείκτη ανάπτυξης του αυτοφυούς είδους *Dianthus fruticosus* ssp *fruticosus*, σε βάθος υποστρώματος 15 cm, έναντι βάθους 7,5 cm, ενώ οι Dunnett et al. (2008) ανέφεραν ότι σε βάθος υποστρώματος 20 cm έναντι βάθους 10 cm, προήχθη τόσο η παραγωγικότητα όσο και ο αριθμός των φυτικών ειδών από τα δεκαπέντε ποώδη, πολυετή αγρωστώδη φυτά που ελέγχθησαν. Ομοίως, οι Getter and Rowe (2008) ανέφεραν αυξημένη ανάπτυξη και εδαφοκάλυψη σε 12 είδη *Sedum*, όταν αυτά αναπτύσσονταν σε βάθος υποστρώματος 10 cm και 7 cm σε σύγκριση με βάθος υποστρώματος 4 cm. Οι Benvenuti και Bacci (2010) ανέφεραν σημαντικά μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη και ρυθμό ανάπτυξης σε 20 είδη, τα οποία προέρχονταν από ξηροφυτικά ενδιαιτήματα, όταν το βάθος του υποστρώματος αυξήθηκε από 10 cm σε 15 cm.

Το επίπεδο της άρδευσης ήταν επίσης σημαντικός παράγοντας, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με το βάθος του υποστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης των 6 mm αύξησε το GTC μόνο κατά το έτος 2011, ενώ το NDVI και το RWC αυξήθηκαν και στα δύο έτη της μελέτης. Αντίθετα, το είδος του υποστρώματος ήταν αδιάφορο για τα GTC, NDVI και RWC, παρά το γεγονός ότι η περιεκτικότητα σε υγρασία του υποστρώματος από τοπικά διαθέσιμα υλικά ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι (Πίν. 5.2).

Πίνακας 5.2. Σημαντικότητα των προσδιοριζόμενων παραμέτρων. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε μίας εκ των δύο περιόδων ελλειμματικής άρδευσης (2010 και 2011).

Επέμβαση	Περίοδος Ελλειμματικής Άρδευσης							
	Υγρασία υποστρώματος		Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (GTC)		Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)		Σχετικό υδατικό δυναμικό φύλλων (RWC)	
	-----% κ.ό.-----		-----%-----		-----		-----%-----	
	2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
Είδος υποστρώματος (S)								
S ₁₅ :Pum ₄₀ :Per ₂₀ :C ₂₀ :Z ₅ ^Z	12,18	11,72	42,86	33,79	0,6284	0,6316	62,25	66,93
Θραυστό κεραμίδι	9,59	8,42	41,49	33,39	0,6132	0,6299	59,89	66,40
<i>Σημαντικότητα</i>	<i>*y</i>	<i>***</i>	<i>NS^x</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
Βάθος υποστρώματος (D)								
7,5 cm	10,09	9,07	35,17	28,81	0,5737	0,5856	56,20	62,60
15 cm	11,68	11,07	49,17	38,37	0,6679	0,6760	65,94	70,64
<i>Σημαντικότητα</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>***</i>	<i>**</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
Επίπεδο άρδευσης (I)								
3 mm	10,20	10,87	39,08	29,86	0,5980	0,5820	56,94	61,68
6 mm	11,57	9,28	45,27	37,32	0,6436	0,6795	65,20	71,56
<i>Σημαντικότητα</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
<i>LSD</i>	<i>2,132</i>	<i>1,660</i>	<i>8,489</i>	<i>7,097</i>	<i>0,0409</i>	<i>0,0292</i>	<i>7,90</i>	<i>7,54</i>
Αλληλεπίδραση								
S x D	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
S x I	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
D x I	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
S x D x I	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>

^ZS= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ, Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες y*, **, *** Σημαντικότητα σε P<0,05, 0,01, και 0,001, αντιστοίχως

^xNS, Μη σημαντικό σε P<0,05

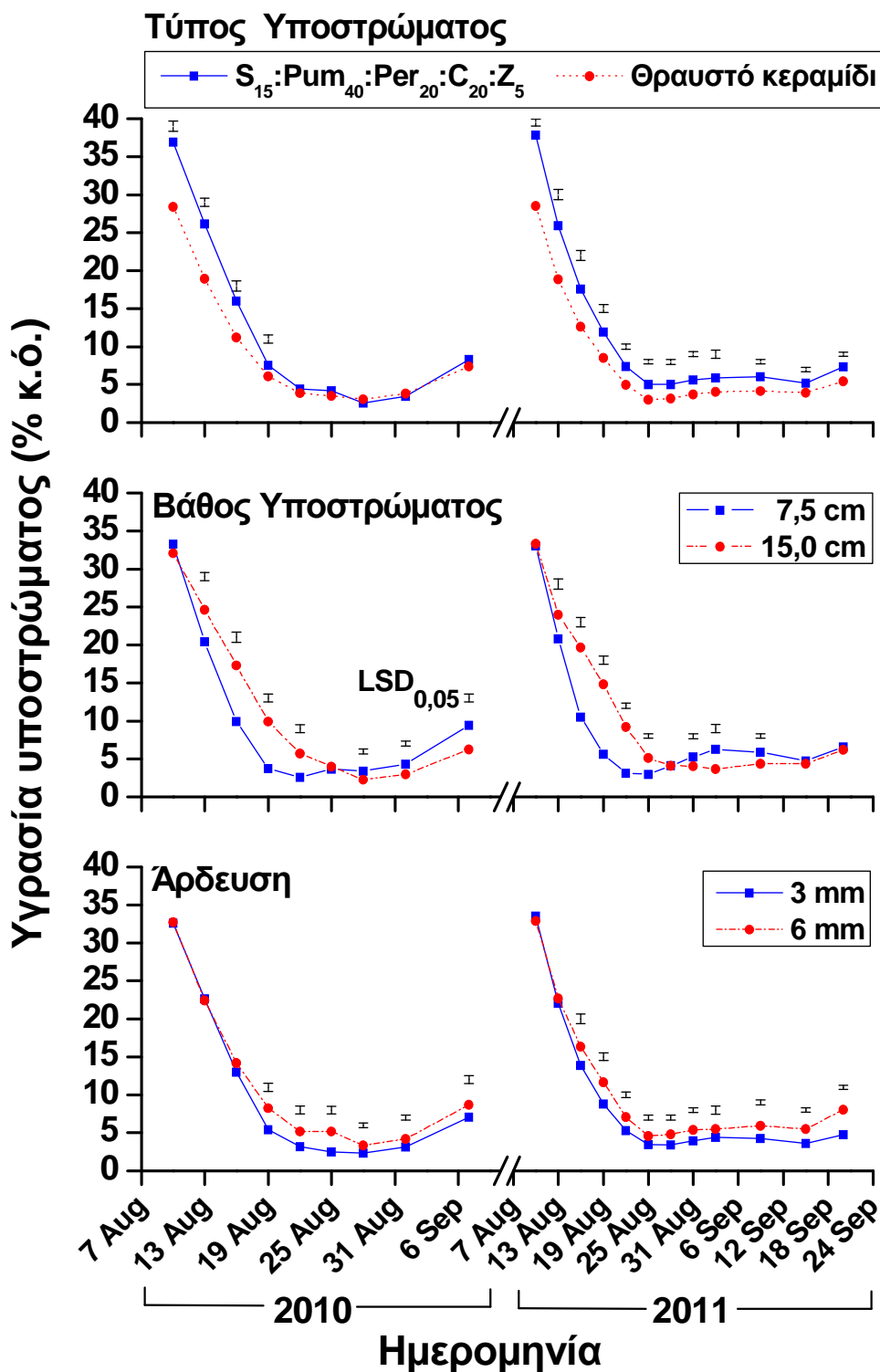
5.3.2.1. Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος

Κατά τη διάρκεια εφαρμογής των ελλειμματικών αρδεύσεων (10 Αυγούστου έως 7 Σεπτεμβρίου 2010 και 10 Αυγούστου έως 20 Σεπτεμβρίου 2011), παρατηρήθηκε ότι η υγρασία του υποστρώματος μειωνόταν ταχύτατα κατά τη διάρκεια των πρώτων 10 ημερών για όλες τις επεμβάσεις (Διάγρ. 5.3). Οι διαφορές της υγρασίας μεταξύ των διαφορετικών επιπέδων των τριών παραγόντων ήταν εμφανείς σε όλες τις επεμβάσεις (είδος και βάθος υποστρώματος και επίπεδα άρδευσης), αλλά οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρήθηκαν μεταξύ των δύο βαθών του υποστρώματος. Το υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά διατήρησε υψηλότερη υγρασία σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι και στις δύο περιόδους εφαρμογής της ελλειμματικής άρδευσης (2010, 2011), εκτός από τις πέντε τελευταίες ημερομηνίες δειγματοληψίας του 2010 (Διάγρ. 5.3). Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα με βάση τις διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των χαρακτηριστικών καμπυλών υγρασίας των δύο υποστρωμάτων (Διάγρ. 5.2B), όπου το υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά είχε αυξημένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι.

Το βάθος του υποστρώματος ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας μεταξύ των τριών που ελέχθησαν, καθώς εμφάνισε τις μεγαλύτερες διαφορές για όλες τις μετρήσεις σε σύγκριση με τον τύπο του υποστρώματος και το επίπεδο της άρδευσης και στα δύο έτη της μελέτης (Πίν. 5.2). Τα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm, εμφάνισαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία κατά τη διάρκεια των πρώτων έξι δειγματοληψιών (Διάγρ. 5.3). Ωστόσο, η κατάσταση αντιστράφηκε μετά την 6^η και 7^η δειγματοληψία για το 2010 και το 2011, αντίστοιχα, αφού τα αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm εμφάνισαν υψηλότερες τιμές υγρασίας υποστρώματος σε σύγκριση με τα 15 cm βάθος υποστρώματα. Η αντιστροφή αυτή παρατηρήθηκε και στις δυο περιόδους καταπόνησης καθώς επίσης και σε άλλες πειραματικές μελέτες της παρούσας διατριβής (Κεφ. 3.3.3.1 και 4.3.3.1). Η αναστροφή του επιπέδου της υγρασίας του υποστρώματος μεταξύ των βαθύτερων και των αβαθών υποστρωμάτων προκλήθηκε λόγω του διαφορετικού χρόνου επαγωγής του χλοοτάπητα σε λήθαργο. Πιο συγκεκριμένα, στα αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm ο λήθαργος λόγω υδατικής καταπόνησης επήλθε ταχύτερα σε σύγκριση με τα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm, όπως τεκμηριώνεται από τις μετρήσεις του GTC και του NDVI (Διάγρ. 5.4 και 5.5). Η ταχύτερη επαγωγή σε λήθαργο αναμένεται να επιδράσει άμεσα στη διαπνοή του χλοοτάπητα, με αποτέλεσμα τα αβαθή υποστρώματα να εμφανίσουν αύξηση της περιεκτικότητας της υγρασίας του

υποστρώματος. Αντίθετα, τα φυτά τα οποία αναπτύσσονταν στα βαθύτερα υποστρώματα ήταν ακόμα φυσιολογικά ενεργά, οπότεν και διέπνεαν και ως εκ τούτου συνέχιζαν να απορροφούν την υγρασία του υποστρώματος.

Το επίπεδο της άρδευσης επηρέασε επίσης το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος και στα δύο έτη της μελέτης, αφού η εφαρμογή 6 mm άρδευσης εμφάνισε υψηλότερο ποσοστό υγρασίας υποστρώματος σε σύγκριση με την άρδευση των 3 mm (Διάγρ. 5.3).



Διάγραμμα 5.3. Ποσοστό της κατ' όγκου υγρασίας του υποστρώματος (% κ.ό.), όπως αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Put_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Put= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια των περιόδων επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 5 επαναλήψεων. Οι ράβδοι αντιπροσωπεύουν την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

5.3.2.2. Εδαφοκάλυψη πράσινου χλοοτάπητα (GTC)

Το GTC επηρεάστηκε από όλους τους παράγοντες, αλλά σε διαφορετικό βαθμό για κάθε έναν από αυτούς. Με βάση το μέγεθος των παρατηρούμενων διαφορών μεταξύ των τριών παραγόντων, το GTC επηρεάστηκε ως επί το πλείστον από το βάθος του υποστρώματος, αλλά όχι τόσο πολύ από το επίπεδο της άρδευσης και τον τύπο του υποστρώματος (Διάγρ. 5.4, Πίν. 5.2). Οι διαφορές ήταν πιο έντονες κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της μελέτης (2010) σε σύγκριση με το δεύτερο (2011) για όλες τις επεμβάσεις, πιθανώς λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών που επικράτησαν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού του έτους 2011 σε σύγκριση με το έτος 2010 (Διάγρ. 5.1). Η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα άρχισε να μειώνεται 6 ημέρες μετά την έναρξη της ελλειμματικής άρδευσης και σταμάτησε εντελώς 18 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης για όλες τις επεμβάσεις. Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την περιορισμένη ανάπτυξη και την αδυναμία επιβίωσης διαφόρων ειδών χλοοτάπητα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες όπου το περιορισμένο βάθος του υποστρώματος συνδυάστηκε με ακραίες συνθήκες ξηρασίας. Οι Steinke et al. (2011) χρησιμοποίησαν ανάλυση ψηφιακών εικόνων προκειμένου να διαπιστώσουν την επίδραση του βάθους του υποστρώματος (10 cm βάθος ή απρόσκοπτη ανάπτυξη ριζικού συστήματος σε φυσικό έδαφος) στην ανάπτυξη των διαφόρων ποικιλιών αγριάδας [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] και buffalograss [*Buchloe dactyloides* (Nutt.) Engelm.] κατά τη διάρκεια 60 συνεχόμενων ημερών ξηρασίας. Οι ερευνητές ανέφεραν ότι στο βάθος των 10 cm κανένα είδος ή ποικιλία χλοοτάπητα δεν κατάφερε να επιζήσει, ενώ ο χλοοτάπητας αποχρωματίστηκε ολοκληρωτικά εντός των πρώτων 20 ημερών μετά την έναρξη της επιβολής της ξηρασίας. Αντίθετα, όλα τα είδη και ποικιλίες χλοοτάπητα επιβίωσαν και κατάφεραν να ανακάμψουν μετά την περίοδο της ξηρασίας, όταν αναπτύσσονταν σε έδαφος όπου δεν υπήρχε περιορισμός για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος παρ' όλο που υπόκεινταν στην ίδια διάρκεια ξηρασίας.

Το GTC παρουσίασε ελάχιστες διαφορές μεταξύ των δύο τύπων του υποστρώματος κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους της μελέτης (Διάγρ. 5.4, Εικ. 5.15). Σε αυτή την περίπτωση, το GTC του υποστρώματος που δημιουργήθηκε από τοπικά διαθέσιμα υλικά ήταν ελαφρώς αυξημένο σε σύγκριση με αυτό του εμπορικού υποστρώματος με θραυστό κεραμίδι. Οι διαφορές αυτές θα μπορούσαν να αποδοθούν στη μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας του υποστρώματος από τοπικά διαθέσιμα υλικά σε σχέση με αυτό των θραυστών κεραμιδιών (Διάγρ. 5.2B και 5.3). Εναλλακτικά, λαμβάνοντας υπόψη ότι κατά τις

περιόδους ελλειμματικής άρδευσης δεν εφαρμόστηκε λίπανση, υπάρχει η πιθανότητα η αυξημένη περιεκτικότητα του υποστρώματος με θραυστό κεραμίδι σε οργανική ουσία καθώς και άζωτο (Πίν. 5.1), να συντέλεσε στην εντονότερη ανάπτυξη του χλοοτάπητα και κατ' επέκταση της φυλλικής του επιφάνειας. Έχει τεκμηριωθεί ότι, η αυξημένη ανάπτυξη τόσο των χλοοταπίτων όσο και άλλων φυτικών ειδών πριν από περιόδους καταπόνησης επηρεάζει αρνητικά την αντοχή τους στην ξηρασία. Οι Ebdon et al. (1999) ανέφεραν αυξημένη εξατμισοδιαπνοή και ανάπτυξη των γρασιδιών του είδους *Poa pratensis* L., μετά από εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης, ενώ οι Nagase και Dunnett (2011) ανέφεραν ότι η αντοχή των φυτών στην ξηρασία μειωνόταν καθώς η οργανική ουσία του υποστρώματος αυξανόταν, κυρίως λόγω της ανάπτυξης πλούσιου φυλλώματος και κατ' επέκταση των εξατμισοδιαπνευστικών αναγκών των φυτών.

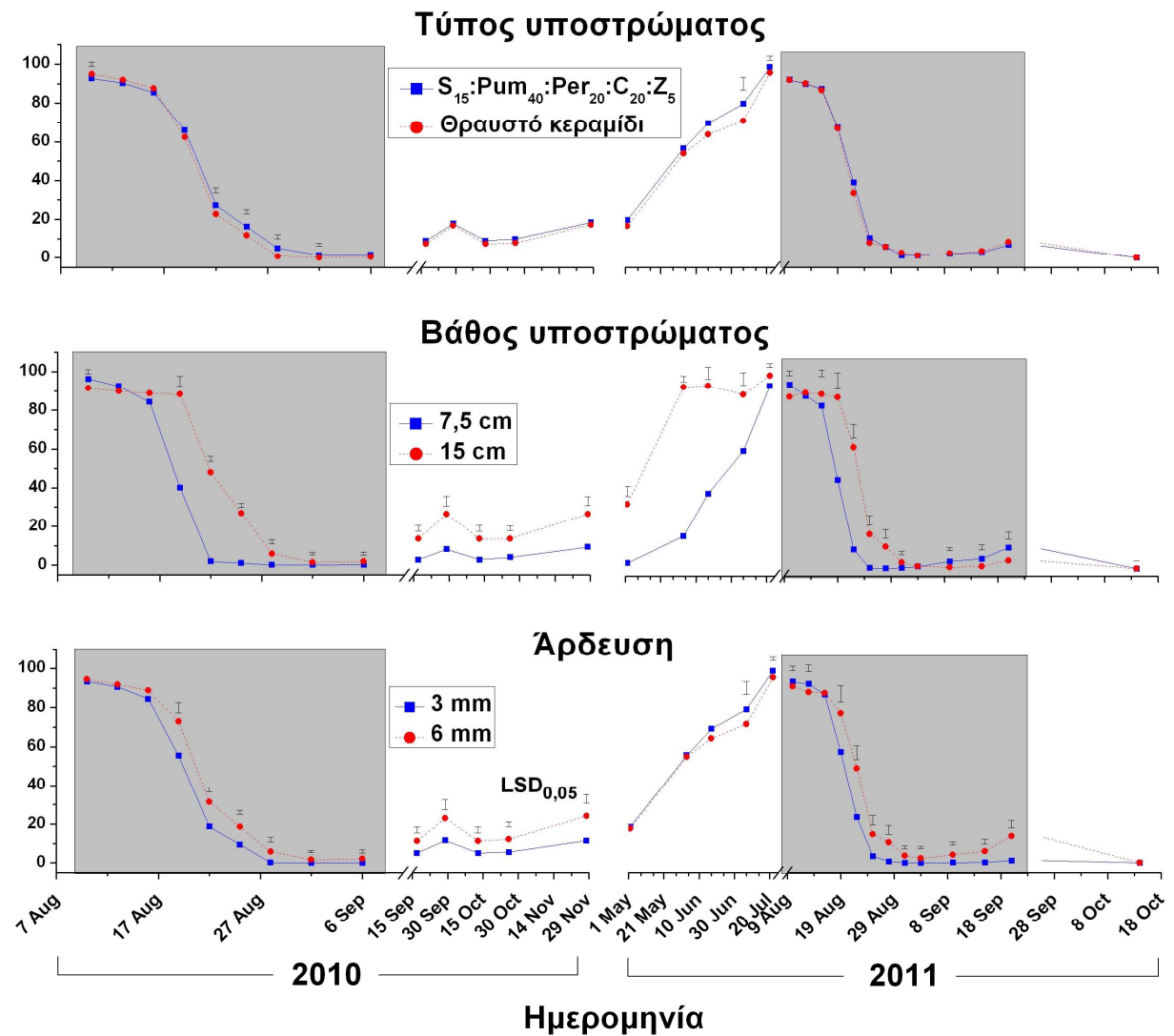
Η επέμβαση του βάθους του υποστρώματος προκάλεσε τις μεγαλύτερες διαφορές και στα δύο έτη της μελέτης, καθώς στα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm το GTC αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με τα αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης (Διάγρ. 5.4, Εικ. 5.15). Η βελτίωση του GTC στα βαθύτερα υποστρώματα αποδόθηκε στην αυξημένη τους ικανότητα συγκράτησης υγρασίας σε σύγκριση με τα αβαθή (Διάγρ. 5.3). Είναι επίσης αναμενόμενο ότι τα βαθύτερα υποστρώματα πιθανότατα να παρήγαγαν μεγαλύτερο ριζικό σύστημα, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει την υγρασία από βαθύτερα τμήματα του υποστρώματος των 15 cm σε σύγκριση με αυτό των 7,5 cm, με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αντοχής στην υδατική καταπόνηση (Marcum et al., 1995; Huang et al., 1997) και ως εκ τούτου την παραγωγή υψηλότερων τιμών GTC (Karcher et al., 2008).

Το υψηλό επίπεδο άρδευσης (6 mm) εμφάνισε καλύτερο GTC σε σύγκριση με το χαμηλό επίπεδο των 3 mm. Οι διαφορές μεταξύ των δύο επιπέδων άρδευσης συνάδουν με αυτές που παρατηρήθηκαν στις επιτόπιες μετρήσεις της υγρασίας του υποστρώματος (Διάγρ. 5.3 και 5.4). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους Fu et al. (2004) μέσω αξιολόγησης της οπτικής ποιότητας του είδους *Z. japonica*. Οι ερευνητές παρατήρησαν μια γρήγορη μείωση στην οπτική ποιότητα του χλοοτάπητα 20 ημέρες μετά την επιβολή υδατικής καταπόνησης, καθώς η άρδευση εφαρμοζόταν σε ποσοστό 20%, 40% και 60% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η επέμβαση που αφορούσε το επίπεδο άρδευσης 20% είχε ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μείωση της οπτικής ποιότητας, η οποία ακολουθήθηκε από το επίπεδο άρδευσης 40%. Στην παρούσα μελέτη, η μείωση του GTC ήταν ταχύτερη και έλαβε χώρα εντός 10 ημερών μετά την έναρξη της επιβολής της ελλειμματικής άρδευσης,

αλλά η διαφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί είτε στο μειωμένο βάθος του υποστρώματος σε σύγκριση με την έρευνα που διεξήγαγαν οι Fu et al. (2004), είτε σε διαφορετική ανταπόκριση όσον αφορά την υδατική καταπόνηση του είδους *Z. japonica* σε σχέση με το είδος *Z. matrella*, όπως έχει αναφερθεί από τους White et al. (2001).

Διάγραμμα 5.4. Ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon' (%), όπως αυτό επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια των περιόδων επιβολής ελλειμματικής άρδευσης (γκρίζες περιοχές) και ανάκαμψης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 5 επαναλήψεων και οι ράβδοι την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (%)



Υπόστρωμα		1 ^{ος} Περίοδος Ελλειμματικής Άρδευσης										2 ^{ος} Περίοδος Ελλειμματικής Άρδευσης																																		
		Βάθος		Άρδευση		10/8/2010		13/8/2010		16/8/2010		19/8/2010		22/8/2010		25/8/2010		28/8/2010		1/9/2010		7/9/2010		10/8/2011		13/8/2011		16/8/2011		19/8/2011		22/8/2011		25/8/2011		28/8/2011		31/8/2011		3/9/2011		9/9/2011		15/9/2011		
		881	$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	6 mm																						3 mm																				
Θραυστό κεραμίδι	6 mm																							3 mm																						
	7,5 mm																							3 mm																						
	6 mm																							3 mm																						

Εικόνα 5.15. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα *Z. matrella* κατά την διάρκεια των δύο περιόδων ελλειμματικής άρδευσης όπως αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι) το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και την άρδευση (3 ή 6 mm).

5.3.2.3. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Το NDVI, ως ένας γενικότερος δείκτης της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα επιβεβαίωσε τα ευρήματα των προηγούμενων μετρήσεων (Διάγρ. 5.5). Πιο συγκεκριμένα, το είδος του υποστρώματος εμφάνισε σημαντικές διαφορές μόνο κατά την πρώτη περίοδο της ελλειμματικής άρδευσης (2010), καθώς το υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά επέδειξε αυξημένο NDVI σε σύγκριση με αυτό του υποστρώματος από θραυστό κεραμίδι.

Σε αντίθεση με τον τύπο, το βάθος του υποστρώματος εμφάνισε τις μεγαλύτερες διαφορές, όπως παρατηρήθηκε και για το GTC (Πίν. 5.2). Οι τιμές του NDVI ήταν παρόμοιες μεταξύ όλων των επεμβάσεων κατά την έναρξη της κάθε περιόδου ελλειμματικής άρδευσης. Παρ' όλα αυτά, το βαθύτερο υπόστρωμα (15 cm) παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές NDVI σε σύγκριση με το μικρότερο βάθος των 7,5 cm, καθ' όλη τη διάρκεια της διετούς μελέτης (Διάγρ. 5.5). Τα ευεργετικά αποτελέσματα του μεγαλύτερου βάθους υποστρώματος θα μπορούσαν να αποδοθούν σε διάφορους παράγοντες. Πρώτον, τα βαθύτερα υποστρώματα παρουσιάζουν αύξηση της περιεκτικότητας σε υγρασία (Διάγρ. 5.3). Δεύτερον, έχει διαπιστωθεί ότι τα βαθύτερα υποστρώματα έχουν τη δυνατότητα να αμβλύνουν τις θερμοκρασιακές εξάρσεις εντός του υποστρώματος (Boivin et al., 2001). Το γεγονός αυτό αναμένεται να επιφέρει ιδιαίτερη βελτίωση σε εξαιρετικά πορώδη μέσα, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα για την κατασκευή φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου, λόγω της θερμομονωτικής επίδρασης του αέρα ο οποίος παγιδεύεται εντός του πορώδους υποστρώματος (Kotsiris et al., 2012a). Τρίτον, η αύξηση του βάθους του υποστρώματος μπορεί να έχει άμεσο αντίκτυπο στο μηχανισμό αντοχής του κάθε είδους γρασιδιού στην υδατική καταπόνηση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η ερευνητική εργασία της Huang (1999), η οποία επεσήμανε ότι τα γρασίδια του είδους *B. dactyloides* και σε μικρότερο βαθμό του είδους *Z. japonica* διαθέτουν μηχανισμό αποφυγής της υδατικής καταπόνησης, οποίος συνίσταται στη μείωση των επιφανειακών ριζών με ταυτόχρονη ανακατανομή του ριζικού συστήματος σε μεγαλύτερα βάθη, έτσι ώστε να αποκτήσουν τη δυνατότητα αξιοποίησης των αποθεμάτων νερού, τα οποία βρίσκονται σε βαθύτερα στρώματα. Είναι κατανοητό πως στα αβαθή υποστρώματα των φυτεμένων δωματίων, ο μηχανισμός αυτός αποφυγής της υδατικής καταπόνησης αδυνατεί να εκφραστεί, με αποτέλεσμα τα φυτά να υπόκεινται σε αυξημένα επίπεδα καταπόνησης. Με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος από τα 7,5 cm στα 15 cm, υπάρχει η πιθανότητα ο μηχανισμός αποφυγής που

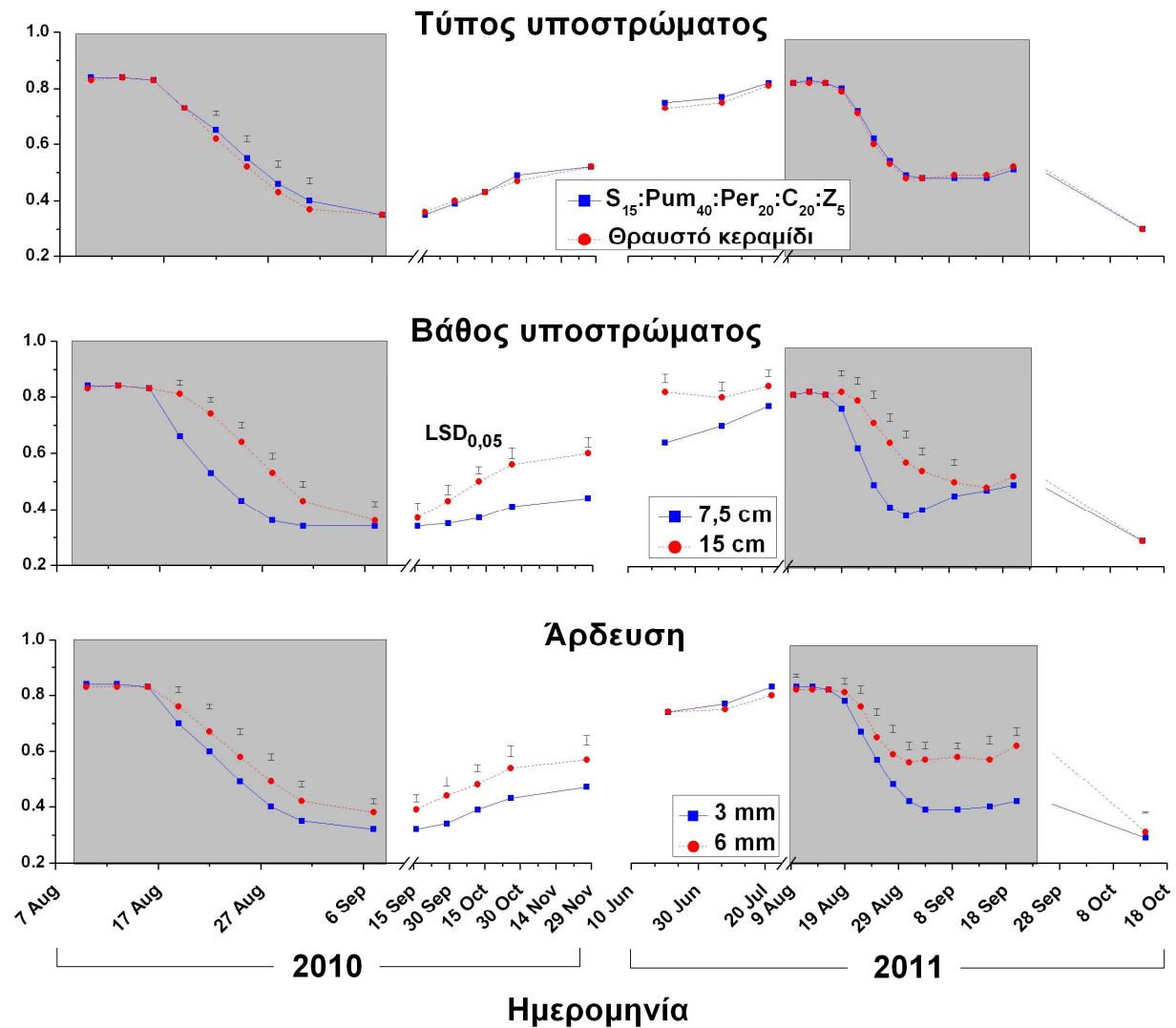
περιγράφηκε παραπάνω να μπορεί να εκφραστεί εν μέρει, ώστε να συμβάλει στην αύξηση των τιμών του NDVI.

Το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης των 6 mm εμφάνισε υψηλότερες τιμές NDVI σε σύγκριση με το επίπεδο των 3 mm καθ' όλη τη διάρκεια της διετούς μελέτης και ιδιαίτερα, κατά τις περιόδους επιβολής της ελλειμματικής άρδευσης. Ωστόσο, οι διαφορές ήταν μικρότερες σε σύγκριση με αυτές που παρατηρήθηκαν για το βάθος του υποστρώματος κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου υδατικής καταπόνησης (2010). Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου υδατικής καταπόνησης (2011), οι διαφορές αυξήθηκαν σημαντικά (Διάγρ. 5.5). Πιθανολογείται πως οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων υδατικής καταπόνησης (2010 και 2011) οφείλονται στις χαμηλότερες μέγιστες θερινές θερμοκρασίες που σημειώθηκαν το 2011 σε σύγκριση με το 2010, οι οποίες επέτρεψαν την καλύτερη ανάπτυξη του χλοοτάπητα στην επέμβαση της άρδευσης με 6 mm.

Διάγραμμα 5.5.

Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης του χλοοτάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon', όπως αυτός επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια των περιόδων επιβολής ελλειμματικής άρδευσης (γκρίζες περιοχές) και ανάκαμψης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 5 επαναλήψεων και οι ράβδοι την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητα $P < 0.05$.

Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης



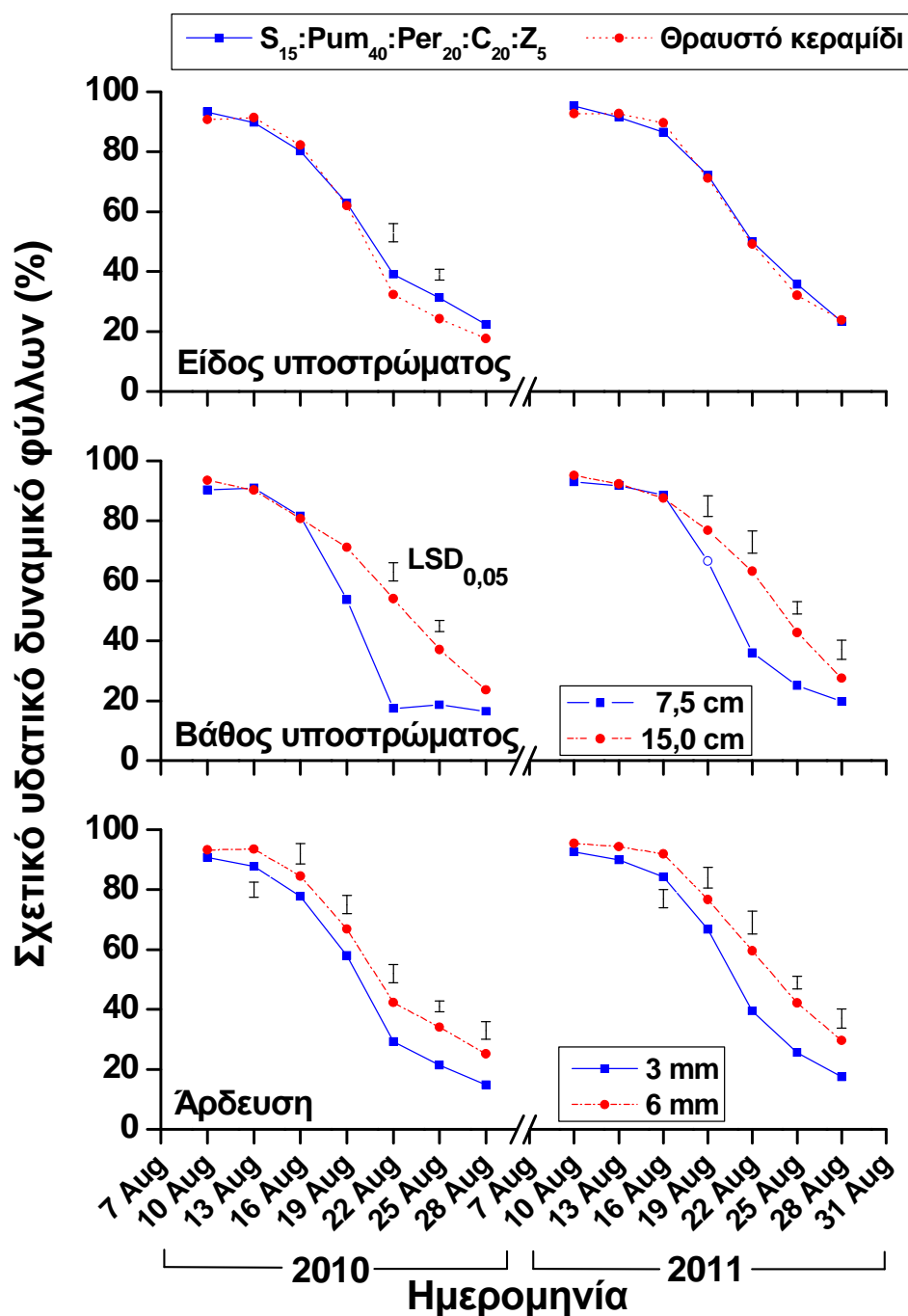
5.3.2.4. Σχετικό υδατικό δυναμικό φύλλων (RWC)

Το RWC είναι μια μέτρηση που υποδεικνύει τη φυσιολογική κατάσταση του φυτού μέσω του καθορισμού του κυτταρικού υδατικού δυναμικού. Ένα υψηλό RWC είναι ενδεικτικό ενός φυτού με υψηλότερη σπαργή και ως εκ τούτου, μιας καλύτερης φυσιολογικής κατάστασης.

Το RWC που προσδιορίστηκε για τα δύο είδη υποστρώματος ήταν παρόμοιο και στις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης, επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα των μετρήσεων που αφορούσαν το GTC και το NDVI, τα οποία υποδείκνυαν την παρόμοια συμπεριφορά των δύο υποστρωμάτων (Διάγρ. 5.6).

Σε αντίθεση με το είδος του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος και το επίπεδο της άρδευσης εμφάνισαν σημαντικές διαφορές και στις δύο περιόδους ελλειμματικής άρδευσης (2010 και 2011). Μετά την τρίτη ημερομηνία δειγματοληψίας το RWC ήταν μεγαλύτερο στα φυτά που αναπτύσσονταν στα βαθύτερα υποστρώματα σε σύγκριση με τα υποστρώματα βάθους 7,5 cm. Η επίδραση του επιπέδου της άρδευσης στο RWC ήταν άμεση καθώς η άρδευση των 6 mm διατήρησε υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την άρδευση των 3 mm από τη δεύτερη δειγματοληψία και ύστερα. Οι Carmo-Silva et al. (2009) ανέφεραν ότι το είδος *Z. japonica* άρχισε να μειώνει το RWC, όταν η υγρασία του υποστρώματος μειώθηκε κάτω από το όριο του 10%. Τα ευρήματα αυτά είναι παρόμοια με αυτά της παρούσας μελέτης, καθώς το RWC μειώθηκε απότομα όταν το ποσοστό της υγρασίας του υποστρώματος ήταν μεταξύ 10-15% κ.ο., ανάλογα με την επέμβαση (Διάγρ. 5.3 και 5.6). Οι Fu et al. (2004) προσδιόρισαν στο είδος *Z. japonica* 'Meyer' ότι η επιβολή υδατικής καταπόνησης επέφερε μείωση του RWC μετά από περίπου 20 ημέρες. Οι ερευνητές ανέφεραν ότι, όταν η άρδευση εφαρμοζόταν στο 20% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, η μείωση του RWC ήταν σημαντική φθάνοντας σε επίπεδο 50% του RWC μετά από 55 ημέρες. Όταν η εφαρμοζόμενη άρδευση ήταν στο 40% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, το RWC παρέμεινε σε επίπεδα ανώτερα του 60% RWC. Στην παρούσα μελέτη το RWC έφθασε το 50% RWC και για τα δύο επίπεδα άρδευσης (40% και 20% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής) σε σύντομο χρονικό διάστημα και συγκεκριμένα σε μόλις 9-12 ημέρες ανάλογα με την επέμβαση, μετά την έναρξη των περιόδων υδατικής καταπόνησης (Διάγρ. 5.6). Η σημαντική μείωση του χρόνου που απαιτήθηκε, ώστε η μείωση του αρχικού RWC να φθάσει στο επίπεδο του 50% RWC σε σχέση με την προαναφερόμενη μελέτη, αποδίδεται στο περιορισμένο βάθος του υποστρώματος που χρησιμοποιείται στα εκτακτικά

συστήματα φυτοδωμάτων σε σύγκριση με τα απεριόριστα βάθη των εδαφών που χρησιμοποιήθηκαν από τους Fu et al. (2004).



Διάγραμμα 5.6. Σχετικό υδατικό δυναμικό (%) του κλοστάπητα *Zoysia matrella* 'Zeon', όπως αυτό επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι), το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης (3 mm ή 6 mm) κατά τη διάρκεια των περιόδων επιβολής ελλειμματικής άρδευσης. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 5 επαναλήψεων και οι ράβδοι την Ελάχιστη Σημαντική Διαφορά (LSD) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

5.3.3. Ανάκαμψη μετά την υδατική καταπόνηση

Μετά την παρέλευση των περιόδων της υδατικής καταπόνησης, διερευνήθηκε η δυνατότητα ανάκαμψης του χλοοτάπητα σε συνθήκες φυσικής βροχόπτωσης και χωρίς την εφαρμογή άρδευσης. Λόγω του γεγονότος ότι το έτος 2011 η φυσική βροχόπτωση ήταν ελάχιστη το Σεπτέμβριο και ουσιαστικά έλαβε χώρα κυρίως τον Οκτώβριο, η ανάκαμψη εκτιμήθηκε κυρίως το έτος 2010, καθώς το 2011 η ανάκαμψη από την υδατική καταπόνηση δεν ολοκληρώθηκε λόγω της επαγωγή του χλοοτάπητα σε χειμερινό λήθαργο.

Το 2010, η περίοδος της υδατικής καταπόνησης έληξε το Σεπτέμβριο και συνέπεσε με την εμφάνιση των πρώτων βροχών του φθινοπώρου. Ο χλοοτάπητας ανέκαμψε, έστω και σε πολύ μικρό βαθμό, σε όλες τις επεμβάσεις, όπως παρατηρείται στη Εικόνα 5.16 και υποδεικνύεται από τις μετρήσεις του GTC (Διάγρ. 5.4) και του NDVI (Διάγρ. 5.5). Δεδομένου ότι δεν υπήρχε εφαρμογή άρδευσης, η ταχύτητα ανάκαμψης εξαρτάτο μόνο από τις φθινοπωρινές βροχοπτώσεις και συνεπώς οι τιμές του GTC του χλοοτάπητα δεν έφθασαν τα επίπεδα που υπήρχαν πριν την εφαρμογή της καταπόνησης και κυμάνθηκαν ανάλογα με την ύπαρξη και την ποσότητα των βροχοπτώσεων (Διάγρ. 5.1 και 5.4). Έτσι, δύο εβδομάδες μετά την έναρξη των βροχοπτώσεων, η ανάκαμψη του χλοοτάπητα έφθασε 20-25% του αρχικού GTC. Το ποσοστό αυτό συμπίπτει με το αναφερόμενο από τους Qian and Fry (1997), οι οποίοι ανέφεραν ανάκαμψη της τάξης του 22% για το είδος *Z. japonica* δύο εβδομάδες μετά τον τερματισμό της επιβολής υδατικής καταπόνησης.

Κατά την ανάκαμψη του χλοοτάπητα το φθινόπωρο του 2010, οι διαφορές που είχαν παρατηρηθεί μεταξύ των επεμβάσεων κατά την επιβολή της υδατικής καταπόνησης στις μετρήσεις του GTC και NDVI συνέχισαν να υπάρχουν, υποδεικνύοντας ότι οι δυσμενείς επιδράσεις της υδατικής καταπόνησης έχουν επίδραση και κατά τη φάση της ανάκαμψης. Έτσι, διατηρήθηκε και κατά τη φάση της ανάκαμψης η θετική επίδραση του μεγαλύτερου βάθους υποστρώματος και της υψηλότερης άρδευσης, ενώ αντίθετα οι διαφορές μεταξύ των δύο ειδών υποστρώματος εξαλείφθηκαν (Διάγρ. 5.4 και 5.5, Εικ.5.16)

Κατά την περίοδο ανάκαμψης του έτους 2011, μόνο μια μέτρηση κατέστη εφικτή (Εικ 5.16), καθώς η εδαφοκάλυψη (GTC) και η ποιότητα του χλοοτάπητα (NDVI) παρέμειναν στάσιμες λόγω των περιορισμένων βροχοπτώσεων του Σεπτεμβρίου (η βροχόπτωση όπως καταμετρήθηκε ήταν μόνο 3,4 mm βροχής, στις 20 Σεπτεμβρίου του 2011, Διάγρ. 5.1). Το έτος 2011, οι βροχοπτώσεις σημειώθηκαν κυρίως τον Οκτώβριο και ως εκ τούτου, ο χλοοτάπητας εισήλθε σε χειμερινό λήθαργο πριν την ολοκλήρωση της ανάκαμψης από την υδατική καταπόνηση.

Την άνοιξη του 2011 και μετά το τέλος της ληθαργικής περιόδου του χειμώνα, εφαρμόστηκε άρδευση στο χλοοτάπητα, προκειμένου να ανακάμψει και να επιτευχθεί ομοιομορφία σε όλα τα πειραματικά τεμάχια, ώστε να εκκινήσει η δεύτερη περίοδος της υδατικής καταπόνησης. Κατά την περίοδο της εαρινής ανάκαμψης, μετά το χειμερινό λήθαργο, το GTC (Διάγρ. 5.4) και το NDVI (Διάγρ. 5.5) βελτιώθηκε σημαντικά στα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm σε σύγκριση με τα αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm (Εικ. 5.16). Αντίθετα, το είδος του υποστρώματος και το επίπεδο της άρδευσης ήταν παρόμοια, εκτός από μια ημερομηνία (7 Ιουλίου 2011) οπότε η εφαρμογή της υψηλής άρδευσης (6 mm) και του υποστρώματος από τοπικά διαθέσιμα υλικά είχαν μεγαλύτερο GTC (Διάγρ. 5.4) σε σύγκριση με την άρδευση των 3 mm και του εμπορικού υποστρώματος από θραυστό κεραμίδι.

Υπόστρωμα	Βάθος	Άρδευση	Ανάκαμψη φθινοπώρου 2010					Ανάκαμψη άνοιξης 2011					Ανάκαμψη φθινοπώρου 2011
			17/9/2010	29/9/2010	13/10/2010	26/10/2010	28/11/2010	2/5/2011	3/6/2011	17/6/2011	7/7/2011	22/7/2011	14/10/2011
			$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	6 mm									
	3 mm												
	6 mm												
	3 mm												
Θραυστό κεραμίδι	6 mm												
	3 mm												
	6 mm												
	3 mm												

Εικόνα 5.16. Φωτογραφική απεικόνιση της ανάκαμψης του χλοοτάπητα *Z. matrella* κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου του 2010 και 2011 και της άνοιξης του 2011 όπως αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του υποστρώματος ($S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες και Θραυστό κεραμίδι= εμπορικά διαθέσιμο υπόστρωμα με βάση το θραυστό κεραμίδι) το βάθος υποστρώματος (7,5 ή 15 cm) και το επίπεδο άρδευσης κατά την υδατική καταπόνηση (3 ή 6 mm).

5.4. Συμπεράσματα

1. Όσον αφορά την επιλογή υποστρώματος, διαπιστώθηκε πως το υπόστρωμα από τοπικά υλικά επέδειξε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού σε σχέση με το εμπορικό υπόστρωμα, το οποίο βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι. Παράλληλα, το υπόστρωμα από τοπικά υλικά είχε μικρότερη φαινόμενη πυκνότητα, τόσο σε ξηρό όσο και σε κεκορεσμένο δείγμα λόγω κυρίως της ελαφρόπετρας και του περλίτη, τα οποία ήταν σε σχετικά μεγάλα ποσοστά στο μίγμα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη χρήση του συγκεκριμένου υποστρώματος στις περιπτώσεις εκείνες όπου το φορτίο αποτελεί ένα κρίσιμο ζήτημα για την κατασκευή ενός φυτεμένου δώματος
2. Κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης το βάθος του υποστρώματος αποτέλεσε το σημαντικότερο παράγοντα επιβεβαιώνοντας τα ερευνητικά δεδομένα που υπάρχουν για άλλα φυτικά είδη. Το βαθύτερο υπόστρωμα των 15 cm οδήγησε σε βελτιωμένη αντοχή στην υδατική καταπόνηση του *Z. matrella* 'Zeon' σε σχέση με τα πιο ρηχά υποστρώματα των 7,5 cm παρουσιάζοντας υψηλότερες τιμές υγρασίας υποστρώματος, εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα, κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και σχετικού υδατικού δυναμικού και στα δύο έτη μελέτης.
3. Το είδος του υποστρώματος είχε ελάχιστη επίδραση στην αντοχή του χλοοτάπητα στην υδατική καταπόνηση με το υπόστρωμα από τοπικά διαθέσιμα υλικά να παρουσιάζει σε πολύ λίγες ημερομηνίες δειγματοληψίας υψηλότερες τιμές GTC, NDVI και RWC σε σύγκριση με το υπόστρωμα από θραυστό κεραμίδι.
4. Το επίπεδο της άρδευσης ήταν επίσης σημαντικός παράγοντας, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σύγκριση με το βάθος του υποστρώματος. Παρ' όλα αυτά, κανένα από τα δύο επίπεδα άρδευσης δεν κατάφερε να διατηρήσει την ποιότητα του χλοοτάπητα σε αποδεκτά επίπεδα. Έτσι, προκειμένου να υπάρξει επαρκής και βιώσιμη ανάπτυξη του εκτατικού φυτεμένου δώματος κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών περιόδων θα πρέπει ο χλοοτάπητας να αρδεύεται με ποσότητες που ξεπερνούν το 40% της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.
5. Κατά τις περιόδους ανάκαμψης του χλοοτάπητα, τόσο μετά από την υδατική καταπόνηση όσο και μετά το χειμερινό λήθαργο, το βάθος υποστρώματος αποτέλεσε τον σημαντικότερο παράγοντα. Το βαθύτερο υπόστρωμα των 15 cm οδήγησε σε ταχύτερη επαναφορά του *Z. matrella* 'Zeon' σε σχέση με τα πιο ρηχά υποστρώματα των 7,5 cm. Αντιθέτως, οι διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων εξαλείφτηκαν.

6. Η δυνατότητα ανάκαμψης του χλοοτάπητα με συνθήκες φυσικής βροχόπτωσης μετά την παρέλευση της υδατικής καταπόνησης κατά τους θερινούς μήνες παρουσιάστηκε αρκετά περιορισμένη φθάνοντας σε μέγιστα επίπεδα εδαφοκάλυψης 20-25%. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη εφαρμογής συμπληρωματικής άρδευσης προκειμένου να εξασφαλιστεί επαναφορά του χλοοτάπητα σε αποδεκτά επίπεδα.

Κεφάλαιο 6

Επίδραση του είδους και του βάθους του υποστρώματος εκτατικού φυτοδώματος καθώς και του επιπέδου άρδευσης στην ανάπτυξη και υδατική καταπόνηση του *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'

Περίληψη

Η φυτοκάλυψη των δωματίων αποτελεί μία από τις ελάχιστες λύσεις που απομένουν προκειμένου να αυξηθεί το πράσινο σε πυκνοδομημένους αστικούς χώρους. Στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν: α) η αξιολόγηση της επίδρασης έξι υποστρωμάτων κατάλληλων για εκτατικού τύπου φυτοδώματα, τα οποία δημιουργήθηκαν από την ανάμιξη αμμοπηλώδους εδάφους (S), ελαφρόπετρας (Pum), περλίτη (Per), ζεόλιθου (Z), τύρφης (P), κομπόστ (C) σε κατ' όγκο αναλογίες όπως αυτές υποδεικνύονται από τους αντίστοιχους δείκτες: $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm ή 15,0 cm) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (60% και 100% της ET_c) στην αντοχή του θερμοφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' στην υδατική καταπόνηση, β) η διερεύνηση της επίδρασης του είδους και του βάθους του υποστρώματος ανάπτυξης κατά την επαναφορά του *P. vaginatum* μετά από υδατική καταπόνηση και χειμερινό λήθαργο. Η μελέτη διεξήχθη από 18 Ιουνίου 2011 έως 22 Ιουλίου 2013 και οι μετρήσεις περιελάμβαναν την ψηφιακή καταγραφή και απεικόνιση των πειραματικών τεμαχίων και μέσω αυτής τον προσδιορισμό του ποσοστού της εδαφοκάλυψης από πράσινα τμήματα του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Cover), προσδιορισμό της φυσιολογικής κατάστασης του χλοοτάπητα μέσω του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) καθώς και επιτόπιο προσδιορισμό της υγρασίας των υποστρωμάτων. Κατά τις περιόδους της υδατικής καταπόνησης διαπιστώθηκε πως τα βαθύτερα υποστρώματα καθυστέρησαν την εκδήλωση ενδείξεων καταπόνησης στο χλοοτάπητα, ενώ το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης επιμήκυνε σημαντικά το χρόνο εμφάνισης της καταπόνησης. Με βάση τον αριθμό των ημερών που απαιτούνταν προκειμένου το ποσοστό του GTC να μειωθεί στο 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 την εφαρμογή των 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.

6.1. Εισαγωγή

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει οδηγήσει στη δημιουργία αφιλόξενων πόλεων οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ολοκληρωτική κάλυψη από σκληρά δομικά υλικά και την έλλειψη ανοιχτών χώρων και χώρων πρασίνου. Η εγκατάσταση σε μεγάλη κλίμακα εκτατικών φυτεμένων δωματίων στις οροφές των κτιρίων εντός του αστικού ιστού παρέχει πολλαπλά οφέλη και μπορεί να δράσει περιοριστικά στα αρνητικά αποτελέσματα της αστικοποίησης (Getter and Rowe, 2006). Όμως, για την επιτυχή και βιώσιμη εγκατάσταση εκτατικών φυτοδωματίων στις ημι-ερημικές/ημι-ξηρικές περιοχές απαιτείται να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ τεσσάρων παραγόντων και συγκεκριμένα: τον τύπο του υποστρώματος, το βάθος του υποστρώματος, την επιλογή των φυτικών ειδών και την εισροή/συχνότητα πόρων. Εκτεταμένη έρευνα διεξάγεται παγκοσμίως προκειμένου να γίνει κατανοητή η διαχείριση των παραγόντων που προαναφέρθηκαν αλλά και να καθοριστούν οι πλέον βιώσιμες λύσεις.

Τα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται στα εκτατικά φυτεμένα δώματα θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις όπως: να διευκολύνουν την ταχεία απομάκρυνση της περίσσειας του νερού, να εξασφαλίζουν ικανοποιητικό πορώδες επιτρέποντας την ανάπτυξη και τον αερισμό του ριζικού συστήματος των φυτών, να επιτρέπουν την αγκύρωση των φυτών, να παρουσιάζουν αντοχή στη συμπίεση, να μην αποδομούνται και να παρουσιάζουν σταθερή σύσταση στη διάρκεια του χρόνου, να παρουσιάζουν αντοχή στις ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας να παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και να έχουν κατάλληλο pH και αλατότητα για την ανάπτυξη των φυτών (Friedrich, 2005; Getter και Rowe, 2006; FLL, 2008). Εκτός από τα προαναφερθέντα κριτήρια, τα υποστρώματα των φυτεμένων δωματίων οφείλουν να έχουν μειωμένο βάρος και αυξημένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας για την ανάπτυξη των φυτών (Dunnett and Kingsbury, 2010). Διάφορα ελαφροβαρή υλικά έχουν διερευνηθεί όσον αφορά την καταλληλότητα συμμετοχής τους στη σύσταση υποστρωμάτων εκτατικών φυτοδωματίων.

Οι Olszewski et al. (2010) χρησιμοποίησαν υποστρώματα φυτεμένων δωμάτων αποτελούμενα από μίξη χονδρόκοκκου και λεπτόκοκκου σχιστόλιθου σε συνδυασμό με κομπόστ και hydrogel προκειμένου να αξιολογήσουν την ανάπτυξη και κάλυψη των *Sedum floriferum* και *Sedum spurium*. Από τα αποτελέσματα της μελέτης διαπιστώθηκε πως στο υπόστρωμα με τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε κομπόστ και hydrogel τα φυτά παρουσίασαν 198% μεγαλύτερη ανάπτυξη στο υπέργειο τμήμα τους και 161% μεγαλύτερη κάλυψη σε σχέση με το υπόστρωμα που δεν περιείχε κανένα εδαφοβελτιωτικό και αποτελούταν αποκλειστικά από σχιστόλιθο.

Οι Nektarios et al. (2011a) μελέτησαν την επίδραση δύο υποστρωμάτων εκτατικού φυτοδώματος αποτελούμενα από ελαφρόπετρα, περλίτη, ζεόλιθο και κομπόστ στην αντοχή του αυτοφυούς είδους *Dianthus fruticosus* σε υδατική καταπόνηση. Τα υλικά αυτά δοκιμάστηκαν με και χωρίς τη συμμετοχή αμμοπηλώδους εδάφους και διαπιστώθηκε ότι η υγρασία του υποστρώματος ήταν αυξημένη στο υπόστρωμα που περιελάμβανε αμμοπηλώδες έδαφος κατά την διάρκεια της υδατικής καταπόνησης, γεγονός το οποίο όμως δεν είχε επίδραση στην ανάπτυξη των φυτών.

Οι Parafotiou et al. (2013) αξιολόγησαν την επίδραση δύο υποστρωμάτων εκτατικών φυτοδωμάτων τα οποία αποτελούνταν από έδαφος, περλίτη και κομπόστα στέμφυλων ή τύρφη σε κατ' όγκο αναλογίες 3:5:2. στην ανάπτυξη των Μεσογειακών αρωματικών φυτών *Artemisia absinthium* L., *Helichrysum italicum* Roth και *Helichrysum orientale* L. Οι ερευνητές κατέληξαν πως και τα τρία υπό μελέτη είδη παρουσίασαν τη μεγαλύτερη ανάπτυξη στο υπόστρωμα που περιείχε κομπόστ στη σύνθεσή του.

Οι Rowe et al. (2006) σε μελέτη που διενέργησαν, αξιολόγησαν τη χρήση θερμικά διογκωμένου σχιστόλιθου σε ποσοστό 60%, 70%, 80%, 90% και 100% σε ανάμιξη με άμμο, τύρφη και κομπόστ στην εγκατάσταση, ανάπτυξη και επιβίωση φυτών *Sedum* καθώς και άλλων αυτοφυών φυτών. Οι ερευνητές αναφέρουν πως τα υποστρώματα με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σχιστόλιθου είχαν ως αποτέλεσμα την περιορισμένη ανάπτυξη των φυτών με εμφάνιση μειωμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών ανεξάρτητα από το είδος τους. Αντιθέτως, ελαφρά αυξημένη περιεκτικότητα σχιστόλιθου (80%) στο μίγμα δεν είχε καμία αρνητική επίπτωση στην ανάπτυξη των φυτών, ενώ παράλληλα μειώθηκε και το βάρος του φυτοδώματος.

Το βάθος υποστρώματος αναγνωρίζεται ως ο σημαντικότερος παράγοντας ο οποίος επιδρά τόσο στο βάρος και στο κόστος κατασκευής ενός φυτοδώματος όσο και στη βιωσιμότητά του. Τα βάθη υποστρώματος που έχουν δοκιμαστεί για φυτοδώματα εκτατικού τύπου μεταβάλλονται από το ελάχιστο βάθος των 2,5 cm

έως και τα 15 cm, το οποίο αποτελεί και το ανώτατο όριο βάση των κατευθυντήριων οδηγιών FLL (2008). Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας είναι συνεπή καθώς η ανάπτυξη των φυτών και η βελτίωση του ποσοστού επιβίωσης αυτών αυξάνεται ταυτόχρονα με την αύξηση του βάθους του υποστρώματος (Boivin et al., 2001; VanWoert et al., 2005; Durhman et al., 2007; Thuring et al., 2010; Nektarios et al., 2011a).

Οι Dunnett et al. (2008) ανέφεραν σε μελέτη τους που διήρκησε έξι χρόνια, ότι σε βάθος υποστρώματος 20 cm έναντι βάθους 10 cm, παρατηρήθηκαν υψηλότερα ποσοστά επιβίωσης, ανάπτυξης και άνθησης καθώς και μεγαλύτερος αριθμός φυτικών ειδών από τα δεκαπέντε ποώδη πολυετή αγρωστώδη φυτά που ελέχθησαν. Ομοίως, οι Getter and Rowe (2008) ανέφεραν αυξημένη ανάπτυξη και εδαφοκάλυψη σε 12 είδη *Sedum* όταν αυτά αναπτύσσονταν σε βάθος υποστρώματος 10 cm και 7 cm σε σύγκριση με βάθος υποστρώματος 4 cm. Οι Benvenuti και Bacci (2010) ανέφεραν σημαντικά μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη και ρυθμό ανάπτυξης σε 20 είδη, τα οποία προέρχονταν από ξηροφυτικά ενδιαιτήματα, όταν το βάθος του υποστρώματος αυξήθηκε από 10 cm σε 15 cm.

Η διαθεσιμότητα υγρασίας στο υπόστρωμα ανάπτυξης των εκτατικών φυτοδωμάτων αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για τη βιωσιμότητα του φυτικού υλικού ιδιαίτερα σε άνυδρες ή ημι-ξηρικές περιοχές. Οι Rowe et al. (2006) αναφέρουν πως η διαθεσιμότητα νερού αποτέλεσε σημαντικότερο παράγοντα σε σχέση με την εφαρμογή λίπανσης στην επιβίωση φυτών *Sedum* καθώς και άλλων αυτοφυών φυτών. Η επιλογή του κατάλληλου είδους και βάθους υποστρώματος συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα της υγρασίας τα οποία είναι διαθέσιμα στα φυτά. Οι VanWoert et al. (2005), σε μελέτη τους που αφορούσε την ανάπτυξη παχύφυτων σε διαφορετικά βάθη υποστρώματος εκτατικών φυτοδωμάτων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα βαθύτερα υποστρώματα των 6 cm παρουσίασαν μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας υπό συνθήκες ξηρασίας και κατ' επέκταση μεγαλύτερη ανάπτυξη των φυτών σε σχέση με τα υποστρώματα βάθους 2 cm.

Σε εκτατικά φυτοδώματα η άρδευση μπορεί να αντισταθμίσει τη μείωση του βάθους του υποστρώματος (Dunnett and Nolan, 2002; Nektarios et al., 2011a). Ως εκ τούτου, αρκετοί μελετητές έχουν επισημάνει ότι σε περιοχές με μικρή ετήσια βροχόπτωση θα πρέπει να εφαρμόζεται άρδευση κατά τη διάρκεια ακραίων συνθηκών ξηρασίας με στόχο να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα του φυτοδώματος (Nagase and Thuring, 2006; Dunnett and Kingsbury, 2010; Wolf and Lundholm, 2008; Kotsiris et al., 2012b). Υπό μια τέτοια λογική καθίσταται δυνατή η εγκατάσταση χλοοταπής σε εκτατικού τύπου φυτοδώματα ακόμη και σε περιοχές

της Μεσογείου οι οποίες χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες και ελάχιστες έως ανύπαρκτες βροχοπτώσεις κατά τους θερινούς μήνες.

Στόχοι της παρούσας μελέτης ήταν: α) η αξιολόγηση της επίδρασης έξι υποστρώματων κατάλληλων για εκτατικού τύπου φυτοδώματα, σε συνδυασμό με δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος (7,5 cm ή 15 cm) και δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (60% και 100% της ET_c) στην αντοχή του θερμόφιλου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' στην υδατική καταπόνηση, β) η διερεύνηση της επίδρασης του είδους και του βάθους του υποστρώματος ανάπτυξης κατά την επαναφορά του *P. vaginatum* μετά από υδατική καταπόνηση και χειμερινό λήθαργο και γ) ο προσδιορισμός των επιπέδων υγρασίας στο υπόστρωμα ανάπτυξης κατά τα οποία το *P. vaginatum* διατηρεί αποδεκτή οπτική ποιότητα.

6.2. Υλικά και Μέθοδοι

6.2.1. Πειραματικός σχεδιασμός και κατασκευή πειραματικών τεμαχίων

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών (37°59' Β και 23°42' Α, 35 m) από 18 Ιουνίου 2011 έως 22 Ιουλίου 2013. Η μελέτη περιελάμβανε 144 πειραματικά τεμάχια καθένα εκ των οποίων είχε επιφάνεια 0,80 m² (0,8 m X 1,0 m εσωτερικές διαστάσεις). Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν πολυπαραγοντικό με τρεις παράγοντες: α) έξι διαφορετικούς τύπους υποστρώματος, β) δύο διαφορετικά βάθη υποστρώματος και γ) δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης. Κάθε επέμβαση είχε 6 επαναλήψεις και η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων ακολουθούσε το εντελώς τυχαιοποιημένο πειραματικό σχέδιο.

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά τεμάχια του αγρού του Εργαστηρίου Ανθοκομίας και Αρχιτεκτονικής Τοπίου, τα οποία είχαν κατασκευαστεί για τη μελέτη αντοχής στην υδατική καταπόνηση του θερμόφιλου είδους χλοοτάπητα *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' (Κεφάλαιο 3 και 4) και ο τρόπος κατασκευής τους περιγράφεται στην Παράγραφο 3.2.1. Τα πειραματικά τεμάχια πληρώθηκαν με ένα εκ των έξι υπό μελέτη υποστρώματα, τα οποία αποτελούνταν από αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτη (Per), τύρφη (P), κομπόστ (C) και ζεόλιθο (Z) (Εικ. 6.1-6.3). Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες των υλικών έχουν περιγραφεί στην Παράγραφο 3.2.1. Τα υλικά

αναμείχθηκαν ομοιόμορφα με τη χρήση μηχανικού αναμείκτη σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδηλώνονται από τους δείκτες:

- α) $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα 1)
- β) $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα 2)
- γ) $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα 3)
- δ) $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (Υπόστρωμα 4)
- ε) $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (Υπόστρωμα 5)
- στ) $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (Υπόστρωμα 6)

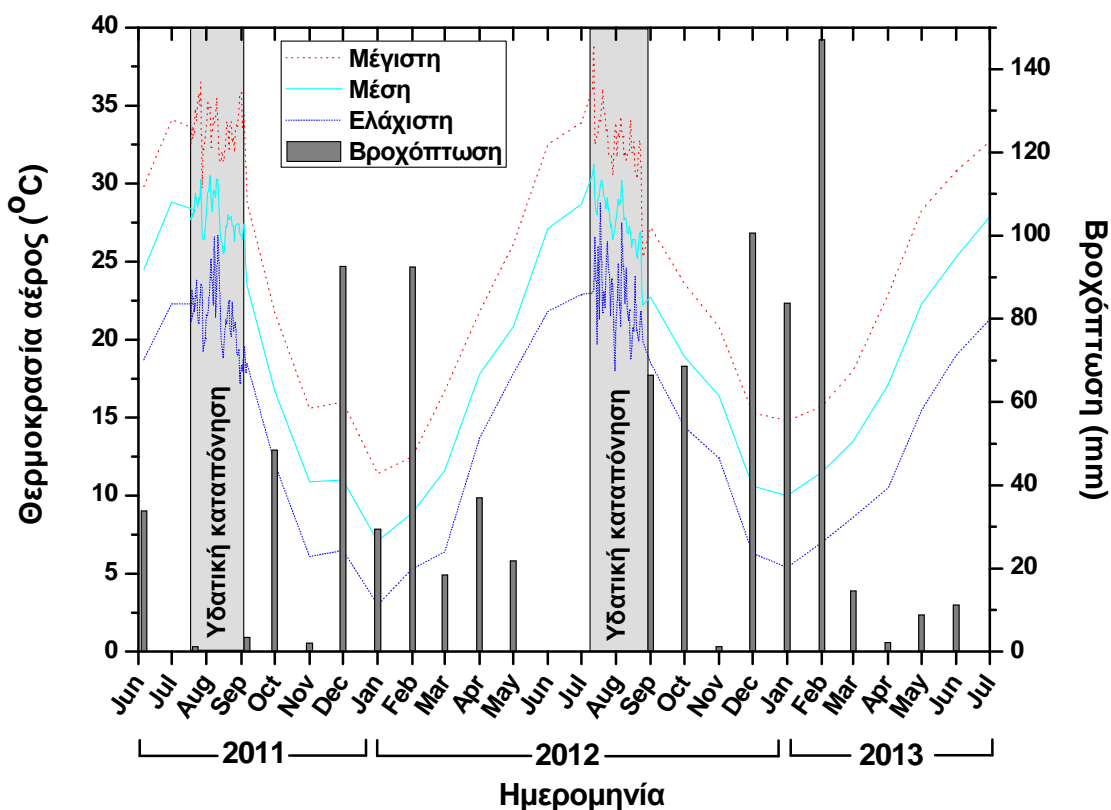
Κάθε υπόστρωμα επαναλήφθηκε 24 φορές με τα μισά πειραματικά τεμάχια να έχουν βάθος υποστρώματος 7,5 cm (S) και τα άλλα μισά να έχουν βάθος υποστρώματος 15 cm (D). Μετά την πλήρωση όλων των πειραματικών τεμαχίων, τα υποστρώματα συμπίεστηκαν ελαφρά και ισοπεδώθηκαν.



Εικόνες 6.1-6.3. Πλήρωση των πειραματικών τεμαχίων του αγρού με τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα.

6.2.2. 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 (Διάγρ. 6.1).



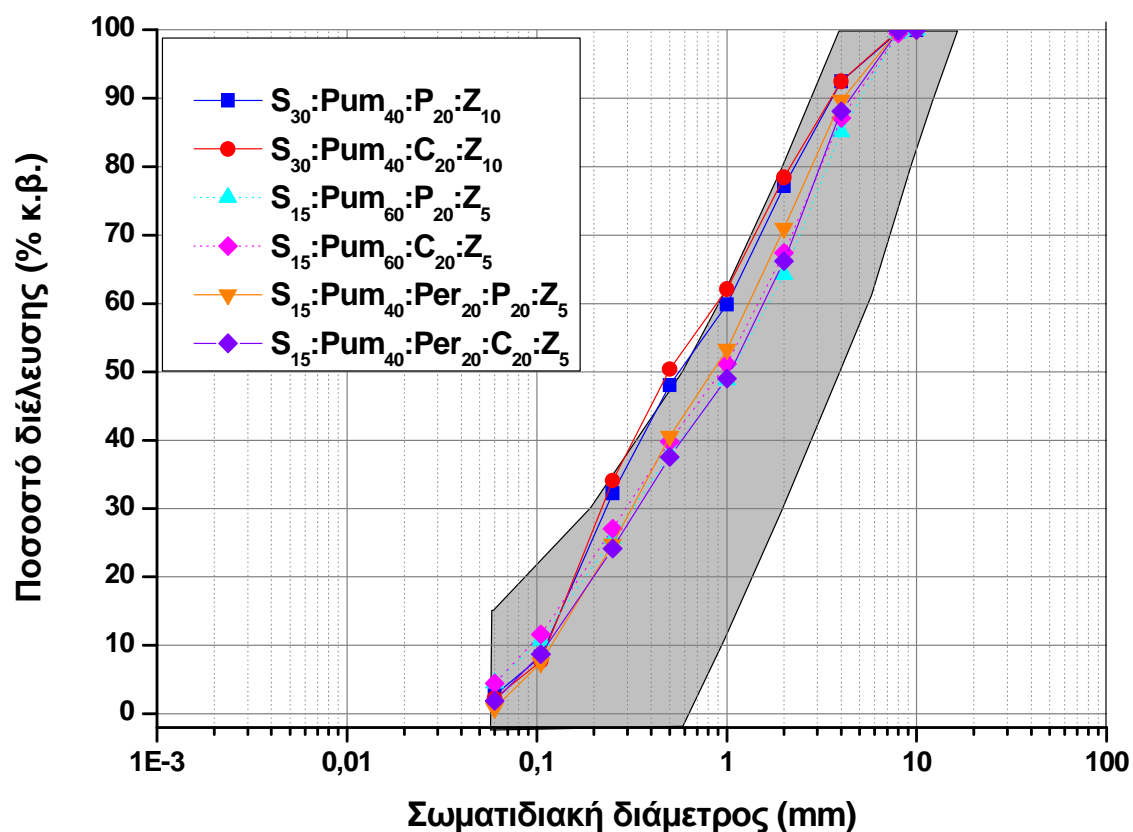
Διάγραμμα 6.1. Μηνιαία βροχόπτωση και μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της μελέτης (2011 έως και 2013). Οι γκρίζες περιοχές υποδεικνύουν τις περιόδους εφαρμογής υδατικής καταπόνησης, όπου παρουσιάζονται η ημερήσια μέγιστη, μέση και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα.

6.2.3. Μετρήσεις υποστρώματος

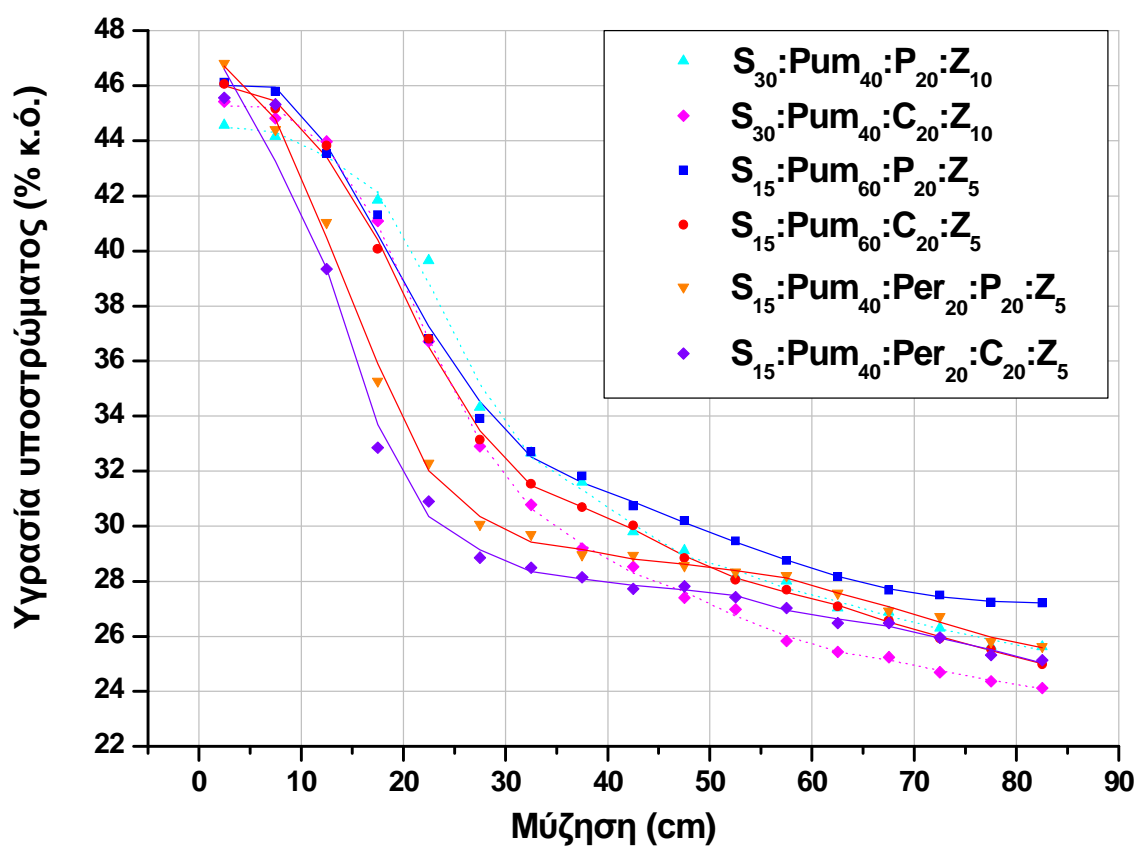
Όσον αφορά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των έξι υπό μελέτη υποστρωμάτων (κοκκομετρία, χαρακτηριστική καμπύλη υγρασίας, περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία, ολικό πορώδες, ξηρά και κεκορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα, pH και ηλεκτρική αγωγιμότητα), ο προσδιορισμός τους πραγματοποιήθηκε για τις μελέτες των Κεφαλαίων 3 και 4 και αναφέρονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 6.1 και στα Διαγράμματα 6.2 και 6.3.

Πίνακας 6.1. Φυσικές και χημικές ιδιότητες και περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία των υποστρωμάτων $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη C = κομπόστ, Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες.

	$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$	$S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$	$S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$	$S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	$S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$	$S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$	Μέθοδος ανάλυσης
Οργανική ουσία (% κ.β.)	1,29	2,78	3,95	4,12	1,44	2,88	Απώλεια στην πύρωση
Ολικό N (%)	0,034	0,180	0,070	0,230	0,040	0,196	Kjeldahl
Ανταλλάξιμος P (mg kg ⁻¹)	4,0	107,8	3,2	106,4	2,8	151,8	Χρωματογραφικά
Ανταλλάξιμο K (mg kg ⁻¹)	73	1.919	581	2.213	495	1.584	Φασματομετρία Ατομικής Απορρόφησης (GBC 932A/A)
Ανταλλάξιμο Mg (mg kg ⁻¹)	153	415	493	556	112	384	
Ανταλλάξιμο Ca (mg kg ⁻¹)	1.840	1.510	2.160	2.626	2.586	2.627	
Ανταλλάξιμο Na (mg kg ⁻¹)	111	487	329	1.090	210	475	
pH	8,23	7,86	7,96	7,87	8,42	8,13	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (μS cm ⁻¹)	116,12	908,60	107,53	833,33	76,50	704,00	1:5 (κ.β.) υδατικό διάλυμα
Κορεσμένη φαινόμενη πυκνότητα (kg L ⁻¹)	1,28	1,32	1,18	1,21	1,35	1,38	Λυσίμετρο
Φαινόμενη πυκνότητα ξηρού δείγματος (kg L ⁻¹)	0,806	0,824	0,665	0,705	0,868	0,876	Λυσίμετρο
Ολικό Πορώδες (%)	45,12	46,07	46,8	45,6	44,56	45,43	Λυσίμετρο



Διάγραμμα 6.2. Κατανομή κοκκομετρίας των έξι υποστρωμάτων ($S_{15}:P_{um_{60}}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um_{60}}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:P_{um_{40}}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:P_{um_{40}}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:P_{um_{40}}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:P_{um_{40}}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους). Η γκριζα περιοχή υποδεικνύει το συνιστώμενο εύρος κοκκομετρίας σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες (FLL, 2008) για φυτοδώματα εκτατικού τύπου.



Διάγραμμα 6.3. Χαρακτηριστικές καμπύλες υγρασίας των έξι υποστρωμάτων $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες τους).

6.2.4. Επιλογή χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'

Ο χλοοτάπητας ο οποίος επιλέχθηκε να εγκατασταθεί στα πειραματικά τεμάχια, ήταν το θερμόφιλο είδος *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'. Πρόκειται για ένα πολυετές γρασίδι, το οποίο σχηματίζει πυκνό χλοοτάπητα, λεπτής υφής και σκούρου χρωματισμού. Αναπτύσσεται αρκετά γρήγορα και εγκαθίσταται μέσω στολώνων και ριζωμάτων. Παρουσιάζει αυξημένη αντοχή σε εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας και σε συνθήκες σκίασης (Turgeon, 2005) με πολύ καλή προσαρμοστικότητα σε τροπικές και ημιτροπικές περιοχές (Trenholm and Unruh, 2002). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του γνώρισμα είναι η άριστη αντοχή στην αλατότητα γεγονός που επιτρέπει την άρδευση του με ανακυκλωμένο ή υφάλμυρο

νερό (Duncan and Carrow, 2000). Οι απαιτήσεις του *Paspalum vaginatum* σε λίπανση είναι μικρότερες σε σχέση με άλλα θερμόφιλα είδη (Duble, 1996). Τέλος, παρουσιάζει αυξημένη αντοχή σε μυκητολογικές προσβολές.

6.2.5. Εγκατάσταση και διαχείριση χλοοτάπητα

Ο χλοοτάπητας *P. vaginatum* 'Platinum TE' εγκαταστάθηκε στα πειραματικά τεμάχια την 18^η Ιουνίου 2011 με αγενή τρόπο με τη χρήση έτοιμου χλοοτάπητα (Εικ. 6.4). Ο έτοιμος χλοοτάπητας ήταν πλυμένος ώστε να απομακρυνθούν όλα τα υπολείμματα του εδαφικού υποστρώματος από τη μητρική φυτεία (Εικ. 6.5 και 6.6). Με την τεχνική αυτή εξασφαλίζεται η ταχύτερη εγκατάσταση του χλοοτάπητα, ενώ ταυτόχρονα εξαλείφεται ο κίνδυνος σχηματισμού διαστρωμάτωσης μεταξύ του εδαφικού υποστρώματος, το οποίο φέρεται στον έτοιμο χλοοτάπητα και του επιλεγμένου υποστρώματος. Πριν την τοποθέτηση του έτοιμου χλοοτάπητα εφαρμόστηκε στα πειραματικά τεμάχια βασικό υδατοδιαλυτό κοκκώδες λίπασμα αργής αποδέσμευσης (Floranid Permanent 16-7-15+2(+2Mg +9S) με περιεκτικότητα σε άζωτο 7,9% NH_4^+ και 2,1% NO_3^- , 16N-3,1P-12,5K-1,2Mg-3,6S, COMPO HELLAS SA, Αθήνα, Ελλάδα) σε δοσολογία 50 g m⁻².

Μετά τη διάστρωση του πλυμένου έτοιμου χλοοτάπητα, εφαρμόστηκε καθημερινή άρδευση με συχνότητα 12 ωρών σε επαρκείς ποσότητες προκειμένου να αποφευχθεί η υδατική καταπόνηση του χλοοτάπητα και να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη εγκατάστασή του. Η άρδευση συνεχίστηκε μέχρι την έναρξη των επεμβάσεων υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα (1 Αυγούστου 2011).

Οι συμπληρωματικές ανάγκες του χλοοτάπητα σε λίπανση καλύφθηκαν από υδατοδιαλυτό κοκκώδες λίπασμα (Complezal 12-12-17, με περιεκτικότητα σε άζωτο 6,5% NH_4^+ και 5,5% NO_3^- , 12N-5,2P-14,1K-1,2Mg-8,0S, Agrevo Hellas SA, Αθήνα, Ελλάδα), το οποίο εφαρμόστηκε σε ποσότητα 25 g m⁻² κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του χλοοτάπητα (8 Ιουλίου 2011) και κατά τις περιόδους επαναφοράς του χλοοτάπητα από το χειμερινό λήθαργο (12 Ιουνίου 2012 και 27 Ιουνίου 2013).



Εικόνα 6.4. Έτοιμος χλοοτάπητας *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'.



Εικόνες 6.5-6.6. Ο έτοιμος χλοοτάπητας ήταν πλυμένος προκειμένου να απομακρυνθεί το εδαφικό του υπόστρωμα. Διακρίνονται το πυκνό ριζικό σύστημα και τα ριζώματα του χλοοτάπητα.

Λίγες ημέρες μετά την τοποθέτηση του χλοοτάπητα στα πειραματικά τεμάχια και μέχρι την έναρξη της υδατικής καταπόνησης (1^η Αυγούστου 2011) εφαρμόστηκε κοπή σε εβδομαδιαία διαστήματα με τη χρήση χλοοκοπτικής μηχανής περιστροφικού τύπου Bosch Rotak 320 (Robert Bosch GmbH, 70049, Stuttgart, Germany). Το ύψος κοπής ήταν 60 mm και τα υπολείμματα κοπής συλλέγονταν. Κατά τα έτη 2012 και 2013, η κοπή του χλοοτάπητα εφαρμόστηκε στο ίδιο ύψος και με την ίδια συχνότητα από τις αρχές Μαΐου μέχρι και τα τέλη Ιουλίου.



Εικόνες 6.7-6.9. Διάστρωση έτοιμου χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE' στα πειραματικά τεμάχια του αγρού.

6.2.6. Άρδευση κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης και ανάκαμψης

Για τις ανάγκες της μελέτης η εφαρμογή υδατικής καταπόνησης επαναλήφθηκε στο χρόνο (έτη 2011 και 2012). Το 2011, η περίοδος ελλειμματικής

άρδευσης ξεκίνησε την 1^η Αυγούστου 2011 και έληξε στις 21 Σεπτεμβρίου 2011, ενώ κατά το έτος 2012 άρχισε στις 25 Ιουλίου 2012 και έληξε στις 8 Σεπτεμβρίου 2012. Ο τερματισμός της κάθε περιόδου υδατικής καταπόνησης συνέπιπτε με την εμφάνιση της πρώτης φθινοπωρινής βροχόπτωσης.

6.2.6.1. Άρδευση κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης

Κατά την έναρξη της κάθε περιόδου καταπόνησης, όλα τα πειραματικά τεμάχια αρδεύτηκαν έως κορεσμού προκειμένου να βρίσκονται σε παρόμοια αρχική κατάσταση από πλευράς εδαφικής υγρασίας. Στη συνέχεια, ο χλοοτάπητας αρδεύονταν κάθε δεύτερη ημέρα με ποσότητα ίση με το 60% της αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c) για την επέμβαση χαμηλής άρδευσης (L) είτε στο 100% της αθροιστικής ET_c για την επέμβαση υψηλής άρδευσης (H).

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων ποσοτήτων άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ένα Class-A-Pan εξατμισόμετρο προκειμένου να προσδιορίζεται η ημερήσια εξάτμιση (E_{pan}). Από την αθροιστική εξάτμιση για το διάστημα των δύο ημερών υπολογίζονταν η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (ET_c) βάση της σχέσης:

$$ET_c = E_{pan} \times K_c \times K_p$$

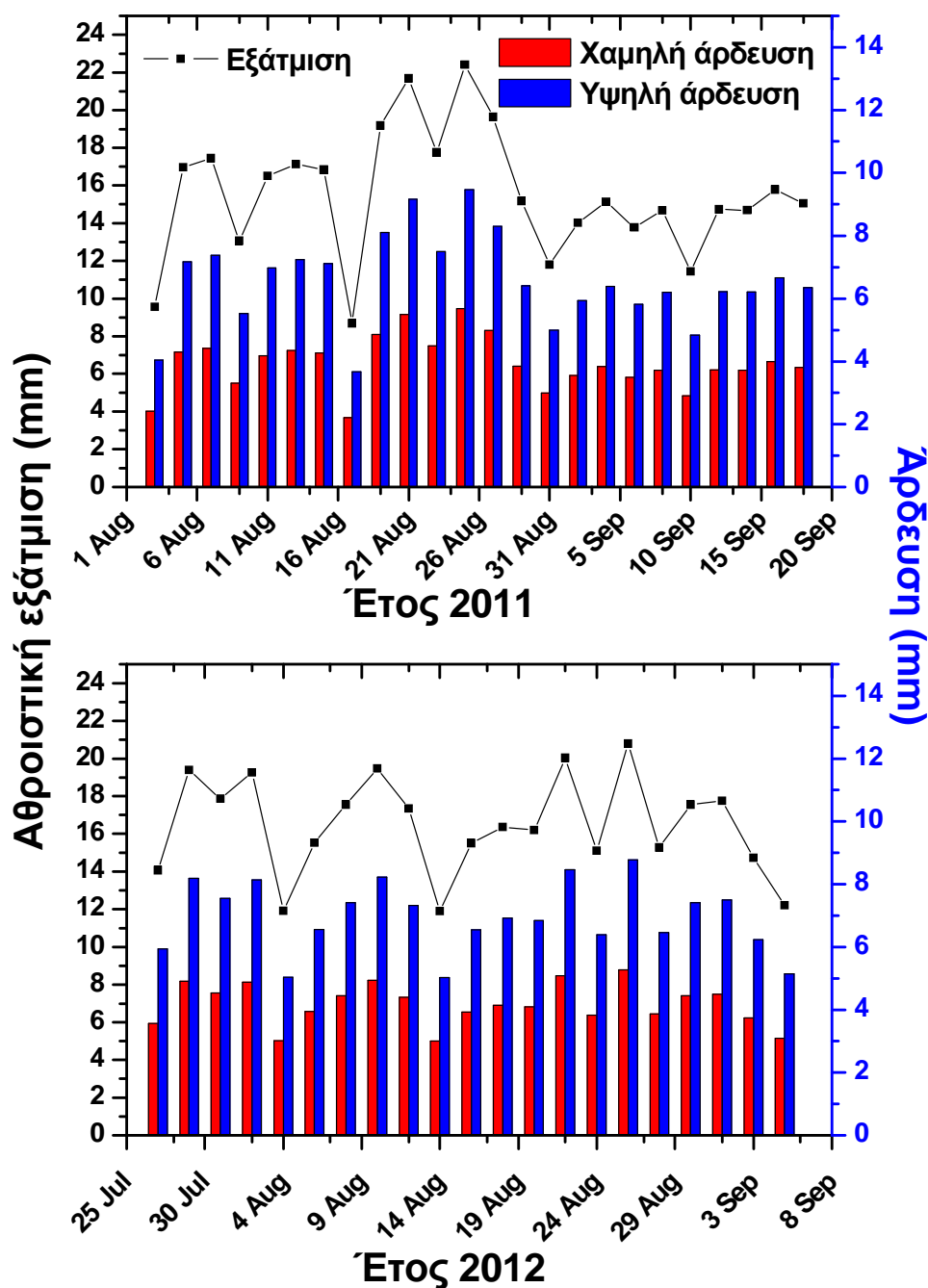
όπου E_{pan} = η εξάτμιση ελεύθερης επιφάνειας νερού (mm), K_c = ο συντελεστής καλλιέργειας, οποίος για το θερμόφιλο είδος χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* είχε τιμή ίση με 0,65 και K_p = ο συντελεστής του εξατμισόμετρου, ο οποίος είχε τιμή ίση με 0,65 για την περιοχή διεξαγωγής της μελέτης.

Επομένως οι δύο ποσότητες άρδευσης διαμορφώνονταν ως εξής (Διάγρ. 6.4):

Υψηλή άρδευση = $ET_c \times \text{Εμβαδόν πειραματικού τεμαχίου} (0,8 \text{ m}^2)$

Χαμηλή άρδευση = $0,6 \times ET_c \times \text{Εμβαδόν πειραματικού τεμαχίου} (0,8 \text{ m}^2)$

Κατά τη διάρκεια των περιόδων καταπόνησης, η άρδευση του χλοοτάπητα πραγματοποιούταν δια χειρός με λάστιχο εξοπλισμένο με ροόμετρο ακρίβειας 0,1 L (Wohnungswasserzähler Typ ETR, Rossweiner Armaturen & MEßGERÄTE GmbH & Co, Rosswein, Γερμανία).



Διάγραμμα 6.4. Αθροιστική εξάτμιση διημέρου και οι ποσότητες άρδευσης κατά την διάρκεια των δύο περιόδων υδατικής καταπόνησης του κλοστάπητα *Raspalum vaginatum* (1 Αυγούστου έως 21 Σεπτεμβρίου 2011 και 25 Ιουλίου έως 8 Σεπτεμβρίου 2012).

6.2.6.2. Άρδευση κατά τις περιόδους ανάκαμψης

Ο τερματισμός της υδατικής καταπόνησης ταυτίστηκε με την εμφάνιση της πρώτης φθινοπωρινής βροχόπτωσης και στα δύο έτη της μελέτης. Μετά την παύση

της επιβολής υδατικής καταπόνησης εφαρμόζονταν καθημερινά επαρκής άρδευση προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάκαμψης του χλοοτάπητα.

Καθημερινή άρδευση εφαρμοζόταν και κατά τις περιόδους αναβλάστησης του χλοοτάπητα μετά την παρέλευση του χειμερινού ληθάργου προκειμένου να διερευνηθεί ο ρυθμός εδαφοκάλυψης των πειραματικών τεμαχίων μεταξύ των διαφόρων επεμβάσεων. Κατά το έτος 2012, η άρδευση συνεχίστηκε μέχρι και την έναρξη της περιόδου επιβολής υδατικής καταπόνησης, ενώ κατά το έτος 2013 η άρδευση συνεχίστηκε μέχρι την επίτευξη πλήρους εδαφοκάλυψης σε όλα τα πειραματικά τεμάχια.

6.2.7. Είδη και συχνότητα μετρήσεων κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης και αναβλάστησης του χλοοτάπητα

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του τύπου και του βάθους του υποστρώματος σε συνδυασμό με τα δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης στην υδατική καταπόνηση του θερμόφιλου χλοοτάπητα *P. vaginatum* πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός του ποσοστού της εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων (φύλλα, κολεοί, στόλωνες, ανθικά στελέχη) του χλοοτάπητα (GTC, Green Turf Color) και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης, (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index). Οι μετρήσεις των παραπάνω παραμέτρων πραγματοποιούνταν κάθε 4 ημέρες πριν την εφαρμογή της άρδευσης και η μεθοδολογία προσδιορισμού ήταν όμοια με αυτή που περιγράφεται στην Παράγραφο 3.2.7.2.

Η υγρασιακή κατάσταση του υποστρώματος προσδιοριζόταν σε τετραήμερα διαστήματα πριν από την εφαρμογή της άρδευσης με τη χρήση του αισθητήρα TDR 300 (Spectrum Technologies, IL, USA), ο οποίος διαθέτει δυνατότητα αλλαγής ραβδίων μήκους από 3,8 έως 20 cm. Ο όγκος δειγματοληψίας του αισθητήρα TDR300 είναι ένας ελλειπτικός κύλινδρος, ο οποίος εκτείνεται περίπου 3 cm πέραν των άκρων των ραβδίων. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ραβδία από ανοξείδωτο ατσάλι μήκους 7,5 cm για τον προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας στα υποστρώματα βάθους 7,5 cm και ραβδία μήκους 12 cm στα υποστρώματα βάθους 15 cm. Για την ακρίβεια των μετρήσεων προσδιορισμού της υγρασίας διενεργήθηκε ειδική βαθμονόμηση και για τα έξι είδη υποστρωμάτων χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 2 και έχει δημοσιευτεί από τους Kargas et al. (2013). Κατά τις φθινοπωρινές και εαρινές περιόδους ανάκαμψης του χλοοτάπητα, η αναβλάστησή του προσδιορίστηκε μέσω

του δείκτη GTC με μεθοδολογία όμοια με αυτή που προαναφέρθηκε στην Παράγραφο 3.2.7.2.

6.2.8. Στατιστικές αναλύσεις

Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων πραγματοποιήθηκε βάση του εντελώς τυχαιοποιημένου σχεδίου με έξι επαναλήψεις ανά επέμβαση ($6_{\text{τύποι υποστρώματος}} \times 2_{\text{βάθη υποστρώματος}} \times 2_{\text{επίπεδα άρδευσης}} \times 6_{\text{επαναλήψεις}} = 144$ πειραματικά τεμάχια). Τα δεδομένα υποβλήθηκαν σε στατιστική ανάλυση χρησιμοποιώντας το στατιστικό λογισμικό JMP ver.8 (SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Building S, Cary) και την πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς MANOVA. Από τη στατιστική σύγκριση μεταξύ των δύο περιόδων καταπόνησης και των δύο περιόδων επαναφοράς του χλοοτάπητα *P. vaginatum* δε διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές για τις μετρήσεις του GTC και του NDVI μεταξύ των δύο περιόδων καταπόνησης. Αντιθέτως, οι μετρήσεις του ποσοστού υγρασίας των υποστρωμάτων μεταξύ των δύο περιόδων καταπόνησης καθώς και οι μετρήσεις του GTC κατά τις δύο περιόδους επαναφοράς του χλοοτάπητα παρουσίασαν σημαντικές διαφορές. Ως εκ τούτου επιλέχθηκε τα στοιχεία κάθε περιόδου να παρουσιαστούν ξεχωριστά.

Το κύριο ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε σχέση με την ανάπτυξη του χλοοτάπητα, των ποιοτικών δεικτών (GTC, NDVI) και της υγρασίας του υποστρώματος για κάθε διακριτή ημερομηνία δειγματοληψίας. Η ανάλυση MANOVA χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των επεμβάσεων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας ως τριπαραγοντικό πείραμα (τύπος υποστρώματος \times βάθος υποστρώματος \times επίπεδο άρδευσης). Όμως, παρατηρήθηκαν σημαντικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των επεμβάσεων στην πλειοψηφία των ημερομηνιών δειγματοληψίας, γεγονός που απέτρεψε την περαιτέρω πολυπαραγοντική ανάλυση των δεδομένων.

Η μονοπαραγοντική ανάλυση (ANOVA) των δεδομένων σε κάθε ημερομηνία δειγματοληψίας δυσχέρανε κατά πολύ την εξαγωγή ορθών συμπερασμάτων λόγω του μεγάλου αριθμού των επεμβάσεων ($6_{\text{τύποι υποστρώματος}} \times 2_{\text{βάθη υποστρώματος}} \times 2_{\text{επίπεδα άρδευσης}} = 24$ επεμβάσεις). Ως αποτέλεσμα, για τη σύγκριση των επεμβάσεων κατά την διάρκεια των περιόδων καταπόνησης και επαναφοράς του χλοοτάπητα προτιμήθηκε η δημιουργία εξισώσεων παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση και για κάθε περίοδο καταπόνησης ή ανάκαμψης και κατόπιν σύγκριση των επεμβάσεων μέσω σύγκρισης των εξισώσεων παλινδρόμησης. Κατά συνέπεια, δημιουργήθηκαν διαγράμματα

παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση ανά είδος μέτρησης και σε συνάρτηση με τις ημέρες καταπόνησης ή επαναφοράς.

Για τη μέτρηση του περιεχόμενου ποσοστού υγρασίας των υπό μελέτη υποστρωμάτων κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης διαπιστώθηκε μια ισχυρά γραμμική σχέση μεταξύ του λόγου της τετραγωνικής ρίζας της υγρασίας και της διάρκειας της υδατικής καταπόνησης (ημέρες). Η γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης είναι της μορφής:

$$1/\sqrt{\text{υγρασία_υποστρώματος}(\%)} = \alpha * \text{ημέρες} + \beta$$

όπου α = η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και β = το σημείο τομής της γραμμής παλινδρόμησης με τον άξονα του Y.

Η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης ορίζει την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται το ποσοστό υγρασίας στο υπόστρωμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όσο μικρότερη είναι κλίση της γραμμής παλινδρόμησης, τόσο μικρότερος είναι και ο ρυθμός απώλειας της υγρασίας του υποστρώματος.

Όσον αφορά τη μέτρηση της εδαφοκάλυψης πράσινου χλοοτάπητα παρατηρήθηκε ότι τα δεδομένα του δείκτη GTC (%), τόσο κατά τις περιόδους καταπόνησης όσο και κατά τις περιόδους ανάκαμψης του χλοοτάπητα, παρουσίαζαν μια ισχυρά μη γραμμική σχέση με τη διάρκεια (ημέρες) της καταπόνησης ή της επαναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα συσχετιζόνταν πολύ καλά με τη σιγμοειδή συνάρτηση μεταβλητής κλίσης:

$$GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$$

όπου α = η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης και GTC_{50} = οι μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με 50%.

Η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης ορίζει την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα με το χρόνο. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της τόσο πιο απότομη είναι και η μεταβολή του GTC. Οι τιμές της κλίσης μπορεί να είναι θετικές ή αρνητικές με τις θετικές τιμές να υποδηλώνουν αύξηση του GTC, ενώ τις αρνητικές να υποδηλώνουν μείωση του.

Τα δεδομένα του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) κατά τη διάρκεια των περιόδων καταπόνησης παρουσίασαν ισχυρή συσχέτιση με τη διάρκεια (ημέρες) της καταπόνησης σύμφωνα με τη σιγμοειδή συνάρτηση μεταβλητής κλίσης:

$$NDVI = B + (\gamma - B) / [1 + 10^{(NDVI_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$$

όπου α = η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης, B = το κατώτερο όριο της σιγμοειδούς καμπύλης, γ = το ανώτερο όριο της σιγμοειδούς καμπύλης και

NDVI₅₀= οι μέρες που απαιτούνται προκειμένου τιμή του NDVI να φθάσει στο 50% της αρχικής του τιμής.

Ομοίως με το GTC, η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης ορίζει την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται το NDVI, όπου όσο μεγαλύτερη η τιμή της τόσο μεγαλύτερη και η μεταβολή.

Η γενική δοκιμασία του F (F-test) χρησιμοποιήθηκε για κάθε είδος μέτρησης σε κάθε περίοδο καταπόνησης ή ανάκαμψης για κάθε έτος μελέτης σε επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P < 0,05$) προκειμένου να προσδιοριστεί, εάν όλα τα δεδομένα συσχετίζονται σε μία μόνο καμπύλη παλινδρόμησης και συνεπώς δεν παρατηρούνται διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων είτε απαιτείται διαφορετική καμπύλη παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση (Motulsky and Christopoulos, 2003).

Για την ανάλυση των διακυμάνσεων των δεδομένων της υγρασίας του υποστρώματος, του GTC και του NDVI χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό λογισμικό GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, San Diego, CA). Ειδικότερα για το GTC προσδιορίστηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% (confidence interval) για τις ημέρες καταπόνησης ή επαναφοράς που απαιτήθηκαν προκειμένου η τιμή του GTC να είναι ίση με 1%, 25%, 50%, 75% και 95% (Motulsky and Christopoulos, 2003). Για κάθε ποσοστό εδαφοκάλυψης (1%, 25%, 50%, 75% και 95%) οι επεμβάσεις παρουσίαζαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές, μόνο όταν δεν αλληλεπικαλύπτονταν τα διαστήματα εμπιστοσύνης.

Πίνακας 6.1α. Μονοπαραγοντική ανάλυση διασποράς της υγρασίας του υποστρώματος, της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επέμβασης για κάθε προσδιοριζόμενη παράμετρο για τις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012) καθώς και για τις δύο περιόδους εαρινής ανάκαμψης (2012 και 2013) του χλοοτάπητα.

Επέμβαση [†]	Υδατική καταπόνηση χλοοτάπητα						Εαρινή ανάκαμψη χλοοτάπητα	
	Υγρασία υποστρώματος		Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (GTC)		Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)		Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (GTC)	
	----% κ.ό.----		-----%-----				-----%-----	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2012	2013
1-D-H	27,48	29,67	53,68	53,92	0,7083	0,7239	57,28	43,68
1-D-L	22,75	24,32	42,51	39,81	0,6378	0,6430	50,96	38,55
1-S-H	26,91	26,20	41,05	36,49	0,6670	0,6715	54,17	43,47
1-S-L	23,43	21,78	31,05	28,43	0,5975	0,5840	51,45	40,29
2-D-H	24,44	26,29	50,94	51,62	0,7006	0,7212	65,39	54,89
2-D-L	20,40	20,19	40,51	37,32	0,6310	0,6453	60,56	51,87
2-S-H	19,64	21,41	40,97	37,00	0,6700	0,6729	59,13	46,06
2-S-L	16,81	17,82	32,33	28,20	0,5976	0,5969	56,41	47,05
3-D-H	27,71	31,42	52,44	57,51	0,7120	0,7253	55,64	39,80
3-D-L	21,22	25,47	43,61	43,45	0,6375	0,6492	54,51	40,50
3-S-H	24,68	26,10	41,89	42,95	0,6775	0,6805	54,43	39,79
3-S-L	20,14	21,16	34,96	30,64	0,5980	0,5916	52,91	37,60
4-D-H	22,87	25,01	51,55	54,34	0,7102	0,7234	66,06	59,11
4-D-L	19,13	20,10	43,01	41,16	0,6477	0,6538	63,16	54,14
4-S-H	17,92	22,11	42,24	43,57	0,6639	0,6904	61,12	50,77
4-S-L	15,04	16,92	33,83	29,97	0,6047	0,5952	58,77	49,44
5-D-H	25,76	27,94	49,63	53,40	0,7070	0,7134	59,55	43,06
5-D-L	20,93	22,16	41,58	37,93	0,6365	0,6285	56,15	38,86
5-S-H	25,24	23,73	43,37	39,75	0,6795	0,6650	55,01	38,79
5-S-L	20,52	19,17	35,46	28,40	0,6137	0,5780	53,48	38,64
6-D-H	22,97	24,25	49,08	53,17	0,7108	0,7330	67,16	57,57
6-D-L	19,47	19,23	41,02	35,20	0,6476	0,6380	65,51	54,08
6-S-H	19,92	20,76	43,64	38,51	0,6860	0,6597	63,23	46,64
6-S-L	16,56	16,18	34,21	28,37	0,5957	0,5834	59,46	50,70
P	0,0000	0,0000	0,0110	0,0000	0,0000	0,0000	0,8942	0,1984
H τιμή του F	6,28	8,07	1,80	4,19	5,94	10,00	0,65	1,24
LSD	3,88	3,82	13,40	12,67	0,0467	0,0444	16,53	16,82

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

Πίνακας 6.1B. Πολυπαραγοντική ανάλυση διασποράς της υγρασίας του υποστρώματος, της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$. Οι μέσοι όροι αντιστοιχούν σε συγκεντρωτικά δεδομένα της κάθε επεμβάσης για κάθε προσδιοριζόμενη παράμετρο για τις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012) καθώς και για τις δύο περιόδους εαρινής ανάκαμψης (2012 και 2013) του χλοοτάπητα.

	Υδατική καταπόνηση χλοοτάπητα						Εαρινή ανάκαμψη χλοοτάπητα	
	Υγρασία υποστρώματος		Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (GTC)		Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)		Εδαφοκάλυψη χλοοτάπητα (GTC)	
Επέμβαση	----% κ.ό.----		-----%------				-----%------	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2012	2013
Είδος Υποστρώματος (S)								
^z S ₁₅ :Pum ₆₀ :P ₂₀ :Z ₅	25,14	25,49	42,07	39,67	0,6526	0,6556	53,46	41,50
S ₁₅ :Pum ₆₀ :C ₂₀ :Z ₅	20,32	21,43	41,19	38,54	0,6498	0,6591	60,37	49,97
S ₁₅ :Pum ₄₀ :Per ₂₀ :P ₂₀ :Z ₅	23,44	26,04	43,23	43,64	0,6562	0,6617	54,37	39,42
S ₁₅ :Pum ₄₀ :Per ₂₀ :C ₂₀ :Z ₅	18,74	21,04	42,66	42,26	0,6567	0,6657	62,28	53,36
S ₃₀ :Pum ₄₀ :P ₂₀ :Z ₁₀	23,11	23,25	42,51	39,87	0,6592	0,6462	56,05	39,84
S ₃₀ :Pum ₄₀ :C ₂₀ :Z ₁₀	19,73	20,11	41,99	38,81	0,6600	0,6535	63,84	52,25
<i>p</i>	0,0000	0,0000	0,9949	0,5537	0,9562	0,6054	0,0598	0,0004
<i>F</i>	12,80	12,66	0,08	0,79	0,22	0,73	2,13	4,57
<i>LSD</i>	1,94	1,91	6,70	6,34	0,0234	0,0222	8,26	8,41
Βάθος υποστρώματος (D)								
7,5 cm	20,57	21,11	37,92	34,36	0,6376	0,6308	56,63	44,10
15 cm	22,93	24,57	46,63	46,57	0,6739	0,6832	60,16	48,01
<i>p</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1471	0,1148
<i>F</i>	17,06	39,89	19,49	42,83	27,91	64,07	2,10	2,49
<i>LSD</i>	1,12	1,10	3,87	3,66	0,0135	0,0128	4,77	4,86
Επίπεδο άρδευσης (I)								
60% ET _c	19,7	20,38	37,84	34,07	0,6205	0,6156	56,95	45,14
100% ET _c	23,80	25,41	46,71	46,85	0,6911	0,6984	59,85	46,97
<i>p</i>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2330	0,4610
<i>F</i>	51,29	79,84	20,19	46,89	105,42	159,91	1,42	0,54
<i>LSD</i>	1,12	1,10	3,87	3,66	0,0135	0,0128	4,77	4,86
Αλληλεπίδραση								
S x D	^x NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S x I	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D x I	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S x D x I	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zS= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P=τύρφη, C= κομπόστ, Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες

^xNS, Μη σημαντικό σε $P < 0,05$

6.3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

6.3.1. Αποτελέσματα των περιόδων υδατικής καταπόνησης του κλοοτάπητα

6.3.1.1. Επιτόπιος προσδιορισμός υγρασίας υποστρώματος

Από τα αποτελέσματα της δοκιμασίας του F για την επίδραση των επεμβάσεων στο ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος διαπιστώθηκε πως οι επεμβάσεις διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους (Πίν. 6.2). Κατά συνέπεια χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές εξισώσεις παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση προκειμένου να προβλεφθεί η μεταβολή του ποσοστού της υγρασίας του υποστρώματος η οποία αφορά τις δύο περιόδους καταπόνησης (2011 και 2012).

Πίνακας 6.2. Αποτελέσματα της δοκιμασίας του F για την επίδραση των επεμβάσεων στο ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος για την κάθε περίοδο υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012).

Περίοδος υδατικής καταπόνησης	2011	2012
Μηδενική υπόθεση	Μια εξίσωση παλινδρόμησης για όλες τις επεμβάσεις	
Εναλλακτική υπόθεση	Διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση	
<i>B.E. επεμβάσεων</i>	23	23
<i>B.E. υπολοίπου</i>	1392	1298
<i>F-value</i>	26,66	14,03
<i>P-value</i>	< 0,0001	< 0,0001

Η γραμμική εξίσωση παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε για το συσχετισμό του ποσοστού υγρασίας στο υπόστρωμα και των ημερών καταπόνησης ήταν:

$$1/\sqrt{\text{υγρασία_υποστρώματος}(\%)} = \alpha * \text{ημέρες} + \beta$$

όπου α = η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και β = το σημείο τομής της γραμμής παλινδρόμησης στον άξονα τον Y. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση (α) και σημείο τομής (β)] των γραμμικών εξισώσεων μεταβολής της υγρασίας του υποστρώματος στο χρόνο για κάθε επέμβαση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3. για την περίοδο καταπόνησης 2011 και στον Πίνακα 6.4 για την περίοδο καταπόνησης 2012.

Από τα δεδομένα των Πινάκων 6.3 και 6.4, συμπεραίνεται πως οι γραμμικές εξισώσεις παλινδρόμησης παρουσίασαν αρκετά καλή συσχέτιση μεταξύ της υγρασίας του υποστρώματος και της διάρκειας (ημέρες) της καταπόνησης με συντελεστές συσχέτισης (R^2) που κυμαίνονταν από 0,71 έως 0,91 για την πρώτη περίοδο καταπόνησης και από 0,70 έως 0,94 για τη δεύτερη περίοδο καταπόνησης.

Η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης ορίζει την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλεται το ποσοστό υγρασίας στο υπόστρωμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όσο μικρότερη είναι κλίση της γραμμής παλινδρόμησης, τόσο μικρότερος είναι και ο ρυθμός απώλειας της υγρασίας του υποστρώματος εξαιτίας της παρουσίας του παράγοντας «υγρασία υποστρώματος (%)» στον παρονομαστή του λόγου: $1/\sqrt{\text{υγρασία_υποστρώματος}(\%)}$. Κατά την πρώτη περίοδο καταπόνησης, οι τιμές της κλίσης των γραμμικών παλινδρομήσεων των επεμβάσεων κυμαίνονταν από 0,0021 έως 0,0076, ενώ κατά τη δεύτερη περίοδο καταπόνησης οι κλίσεις κυμαίνονταν σε παρόμοιες τιμές από 0,0026 έως 0,0072 (Πίν. 6.3 και 6.4). Από τους μέσους όρους των κλίσεων για τις δύο περιόδους καταπόνησης (0,0047 το 2011 και 0,0049 το 2012) διαπιστώθηκε πως η υγρασία των υποστρωμάτων μειώθηκε με παρόμοιο ρυθμό.

Κατά τη διάρκεια και των δύο περιόδων καταπόνησης παρουσιάστηκε ένας σαφής διαχωρισμός των επεμβάσεων βάση του διαφορετικού επιπέδου άρδευσης. Πιο συγκεκριμένα, οι επεμβάσεις που αρδεύονταν με 100% ET_c παρουσίασαν τις υψηλότερες κλίσεις και κατά συνέπεια η υγρασία του υποστρώματος στις επεμβάσεις αυτές διατηρήθηκε σε υψηλότερα ποσοστά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αντίθετα οι επεμβάσεις που αρδεύονταν με το ελλειμματικό επίπεδο άρδευσης (60% ET_c) παρουσίασαν τις χαμηλότερες κλίσεις καταδεικνύοντας τη σημαντική επίδραση του επιπέδου άρδευσης στη μεταβολή του ποσοστού υγρασίας του υποστρώματος (Πίν. 6.3 και 6.4, Διάγρ. 6.5 και 6.7). Το βάθος και ο τύπος του υποστρώματος δεν παρουσίασαν μια ξεκάθαρη επίδραση στη μεταβολή της υγρασίας του υποστρώματος, παρέχοντας μια έντονη ποικιλομορφία στην κατάταξη των επεμβάσεων βάση των τιμών των κλίσεων τους.

Τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους (S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅, S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ και S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀) όταν συνδυάστηκαν με τα μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος (15 cm) και το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης (100% ET_c) παρουσίασαν μια συνέπεια και κατά τις δύο περιόδους καταπόνησης παρέχοντας τις χαμηλότερες τιμές κλίσης (Πίν. 6.3 και 6.4, Διάγρ. 6.6 και 6.8). Αντιθέτως, την υψηλότερη τιμή κλίσης και για τις δύο χρονιές παρουσίασε το υπόστρωμα S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ όταν τοποθετήθηκε σε βάθος υποστρώματος 7,5 cm και αρδευόταν με 60% ET_c.

Πίνακας 6.3. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση (α) και σημείο τομής (β)] των γραμμικών εξισώσεων μεταβολής της υγρασίας του υποστρώματος σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Μεγαλύτερες τιμές της κλίσης υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση της υγρασίας του υποστρώματος στο χρόνο. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την κλίση (α). (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2011

Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	Σημείο τομής (β)	SE (β)	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
3-D-H	0,0021	0,0002	0,1554	0,0038	0,71
5-D-H	0,0026	0,0002	0,1546	0,0044	0,74
1-D-H	0,0026	0,0001	0,1473	0,0026	0,89
2-D-H	0,0034	0,0002	0,1480	0,0032	0,90
1-S-H	0,0034	0,0002	0,1395	0,0041	0,85
4-D-H	0,0035	0,0002	0,1520	0,0046	0,82
6-D-H	0,0035	0,0002	0,1538	0,0047	0,82
5-S-H	0,0036	0,0002	0,1453	0,0049	0,81
6-S-H	0,0037	0,0002	0,1667	0,0046	0,83
3-S-H	0,0037	0,0002	0,1443	0,0042	0,86
2-S-H	0,0043	0,0003	0,1602	0,0061	0,80
1-S-L	0,0047	0,0003	0,1411	0,0066	0,80
1-D-L	0,0050	0,0002	0,1373	0,0052	0,88
5-D-L	0,0051	0,0003	0,1448	0,0058	0,86
4-S-H	0,0051	0,0003	0,1627	0,0074	0,79
5-S-L	0,0054	0,0003	0,1466	0,0069	0,83
6-S-L	0,0056	0,0003	0,1693	0,0070	0,83
3-D-L	0,0057	0,0003	0,1350	0,0060	0,88
6-D-L	0,0057	0,0004	0,1473	0,0076	0,82
2-D-L	0,0061	0,0002	0,1346	0,0053	0,91
4-D-L	0,0064	0,0003	0,1367	0,0068	0,87
3-S-L	0,0069	0,0004	0,1312	0,0081	0,85
2-S-L	0,0069	0,0005	0,1558	0,0102	0,78
4-S-L	0,0076	0,0005	0,1615	0,0112	0,78
Μέσος όρος	0,0047		0,1488		0,83

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι αντιστοιχούν στην κλίση (α) και στο σημείο τομής του άξονα Y (β) της γραμμικής εξίσωσης παλινδρόμησης: $1/\sqrt{\text{υγρασία}_{\text{υποστρώματος}}(\%)} = \alpha * \text{ημέρες} + \beta$

Πίνακας 6.4. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση (α) και σημείο τομής (β)] των γραμμικών εξισώσεων μεταβολής της υγρασίας του υποστρώματος σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Μεγαλύτερες τιμές της κλίσης υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση της υγρασίας του υποστρώματος στο χρόνο. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την κλίση (α). (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

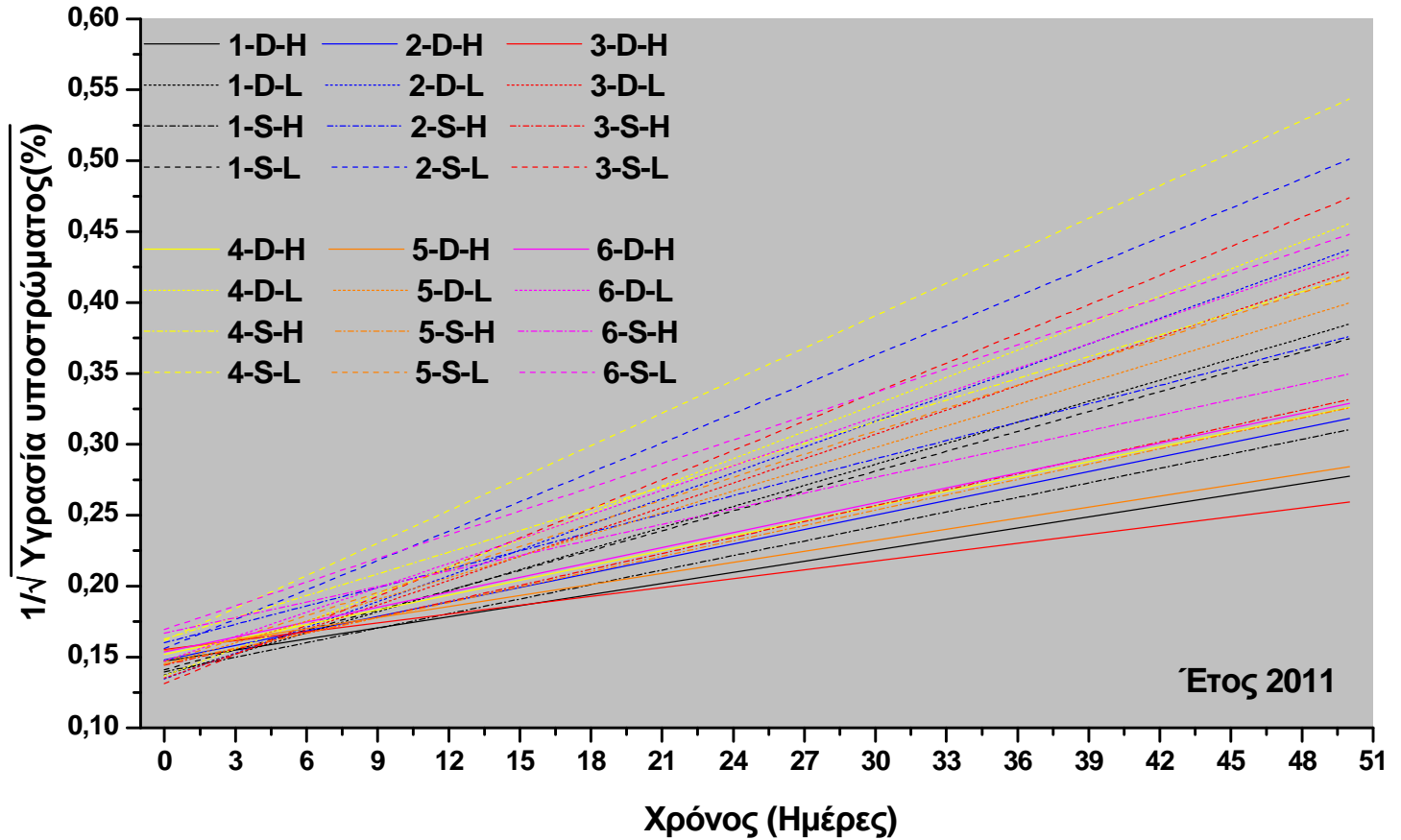
Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2012

Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	Σημείο τομής (β)	SE (β)	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
3-D-H	0,0026	0,0001	0,1331	0,0026	0,88
5-D-H	0,0027	0,0002	0,1433	0,0038	0,78
1-D-H	0,0030	0,0002	0,1336	0,0032	0,86
2-D-H	0,0035	0,0002	0,1379	0,0045	0,81
4-D-H	0,0038	0,0003	0,1388	0,0054	0,78
3-S-H	0,0040	0,0002	0,1360	0,0040	0,87
6-D-H	0,0041	0,0003	0,1409	0,0048	0,84
1-S-H	0,0042	0,0003	0,1328	0,0062	0,77
5-S-H	0,0043	0,0002	0,1451	0,0045	0,87
4-S-H	0,0044	0,0002	0,1485	0,0045	0,87
3-D-L	0,0046	0,0002	0,1289	0,0030	0,94
6-S-H	0,0046	0,0004	0,1580	0,0076	0,72
1-D-L	0,0050	0,0003	0,1291	0,0056	0,85
5-S-L	0,0050	0,0005	0,1638	0,0087	0,70
2-S-H	0,0051	0,0003	0,1465	0,0050	0,88
3-S-L	0,0056	0,0003	0,1433	0,0063	0,85
1-S-L	0,0057	0,0005	0,1432	0,0091	0,73
6-D-L	0,0057	0,0004	0,1505	0,0076	0,80
5-D-L	0,0058	0,0003	0,1300	0,0058	0,87
4-D-L	0,0059	0,0003	0,1374	0,0064	0,86
6-S-L	0,0062	0,0005	0,1706	0,0100	0,73
2-D-L	0,0066	0,0004	0,1313	0,0069	0,86
2-S-L	0,0071	0,0005	0,1497	0,0097	0,79
4-S-L	0,0072	0,0006	0,1554	0,0111	0,74
Μέσος όρος	0,0049		0,1428		0,82

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

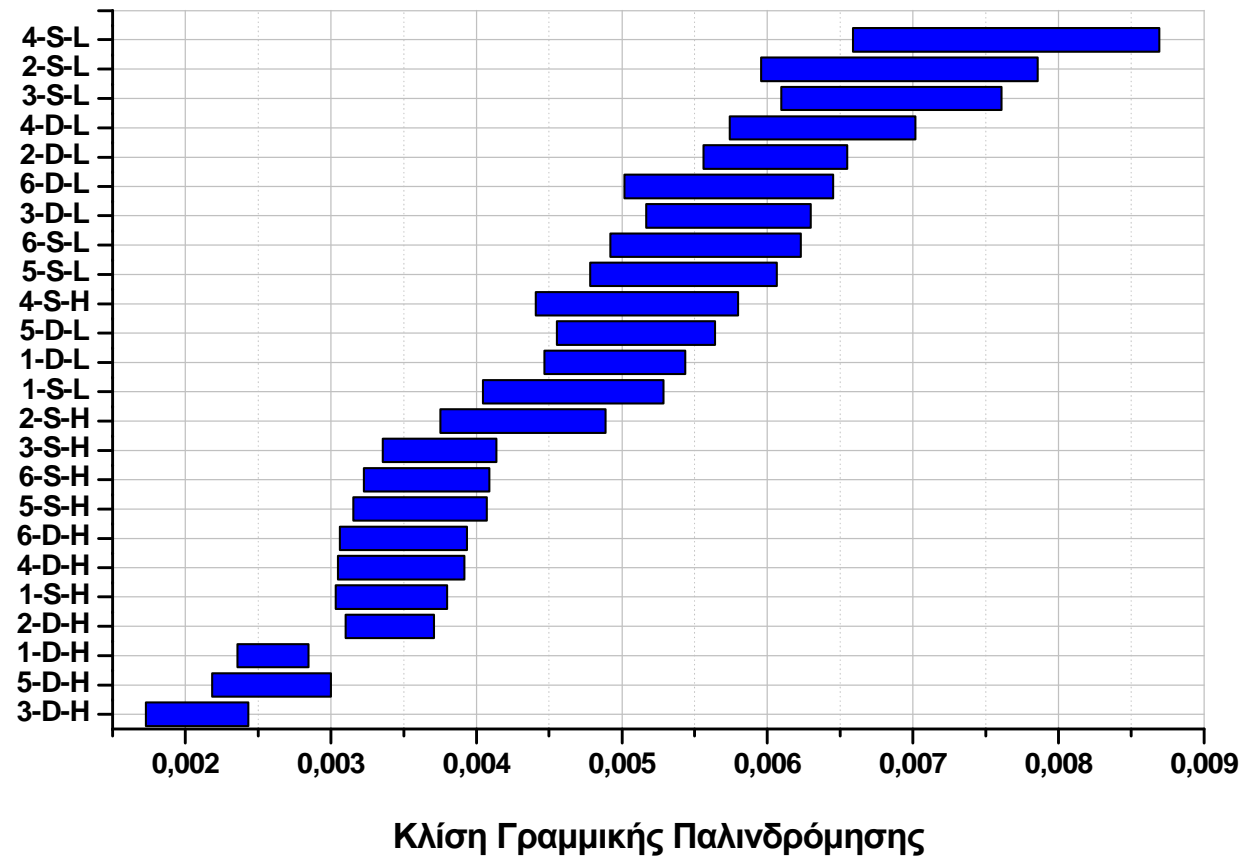
[‡] Οι παράμετροι αντιστοιχούν στην κλίση (α) και στο σημείο τομής του άξονα Y (β) της γραμμικής εξίσωσης παλινδρόμησης: $1/\sqrt{\text{υγρασία_υποστρώματος}(\%)} = \alpha * \text{ημέρες} + \beta$

Διάγραμμα 6.5. Γραμμικές εξισώσεις μεταβολής του ποσοστού υγρασίας του υποστρώματος στο χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S_{15} : P_{um60} : P_{20} : Z_5 (1), S_{15} : P_{um60} : C_{20} : Z_5 (2), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : P_{20} : Z_5 (3), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : C_{20} : Z_5 (4), S_{30} : P_{um40} : P_{20} : Z_{10} (5), S_{30} : P_{um40} : C_{20} : Z_{10} (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5cm (S) ή 15cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Οι μεγαλύτερες κλίσεις υποδεικνύουν ταχύτερη απώλεια της υγρασίας στο χρόνο.

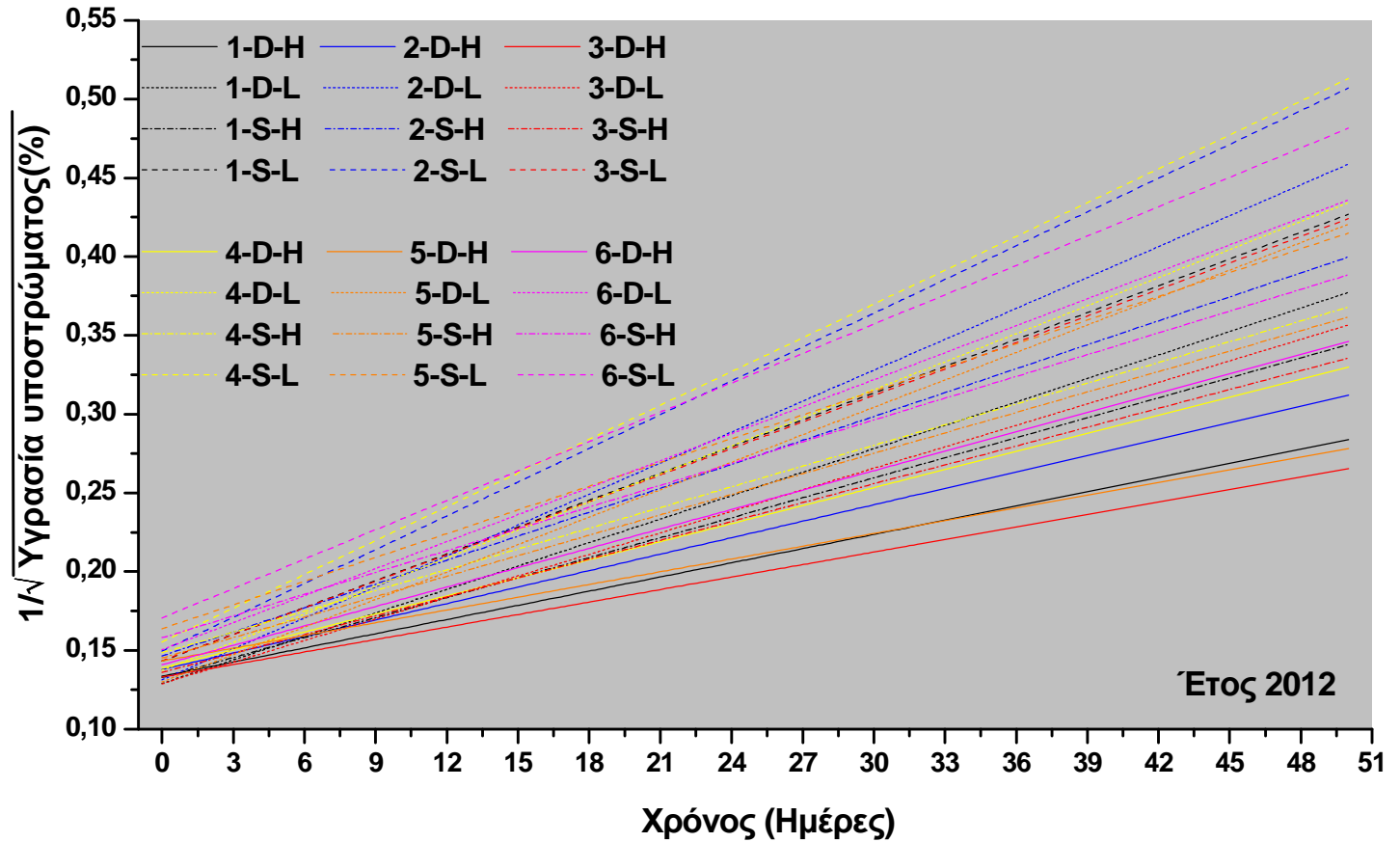


Διάγραμμα 6.6. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των κλίσεων των γραμμικών παλινδρομήσεων για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικά.

Έτος 2011

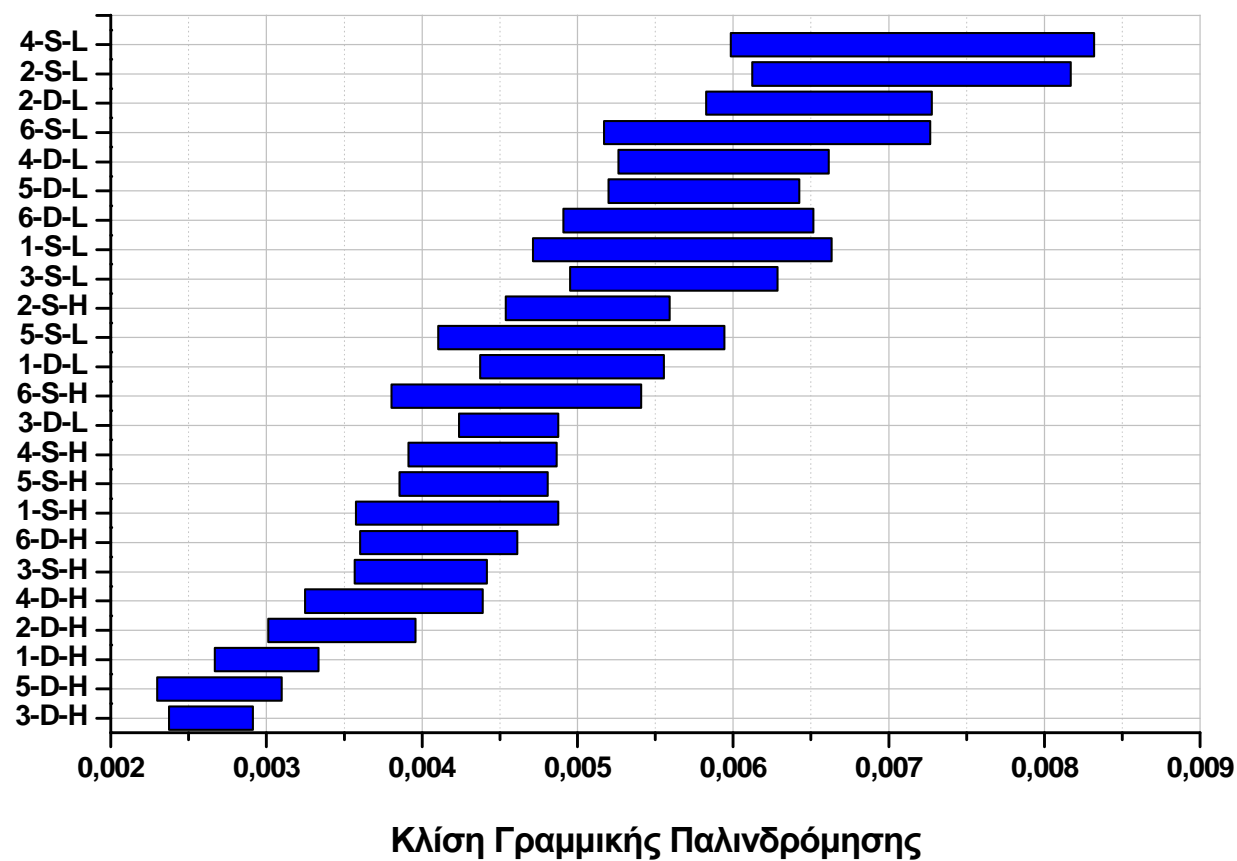


Διάγραμμα 6.7 Γραμμικές εξισώσεις μεταβολής του ποσοστού υγρασίας του υποστρώματος στο χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S_{15} : P_{um60} : P_{20} : Z_5 (1), S_{15} : P_{um60} : C_{20} : Z_5 (2), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : P_{20} : Z_5 (3), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : C_{20} : Z_5 (4), S_{30} : P_{um40} : P_{20} : Z_{10} (5), S_{30} : P_{um40} : C_{20} : Z_{10} (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Οι μεγαλύτερες κλίσεις υποδεικνύουν ταχύτερη απώλεια της υγρασίας στο χρόνο.



Διάγραμμα 6.8. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των κλίσεων των γραμμικών παλινδρομήσεων για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικά.

Έτος 2012



6.3.1.2. Ποσοστό εδαφοκάλυψης πράσινων τμημάτων του κλοστάπητα (GTC)

Σύμφωνα με τη δοκιμασία του F οι επεμβάσεις διαφέρουν σημαντικά ως προς την επίδρασή τους στη μείωση του ποσοστού εδαφοκάλυψης και κατά τις δύο περιόδους καταπόνησης (2011 και 2012). Ως εκ τούτου η μεταβολή του ποσοστού εδαφοκάλυψης για κάθε επέμβαση περιγράφεται με διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης (Πίν. 6.5).

Πίνακας 6.5. Αποτελέσματα της δοκιμασίας του F για την επίδραση των επεμβάσεων στο ποσοστό εδαφοκάλυψης πράσινου κλοστάπητα (GTC) για την κάθε περίοδο υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης	2011	2012
Μηδενική υπόθεση	Μια εξίσωση παλινδρόμησης για όλες τις επεμβάσεις	
Εναλλακτική υπόθεση	Διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση	
<i>B.E. επεμβάσεων</i>	46	46
<i>B.E. υπολοίπου</i>	1680	1680
<i>F-value</i>	90,43	142,9
<i>P-value</i>	< 0,0001	< 0,0001

Η συνάρτηση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε για το συσχετισμό του ποσοστού εδαφοκάλυψης πράσινου κλοστάπητα και των ημερών καταπόνησης ήταν:

$$GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \text{ημέρες}) \cdot a}]$$

όπου a = η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης και GTC_{50} = οι μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να φθάσει στο 50% της αρχικής του τιμής. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση (a) και GTC_{50}] των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού της εδαφοκάλυψης του κλοστάπητα στο χρόνο για κάθε επέμβαση παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6. για την περίοδο καταπόνησης 2011 και στον Πίνακα 6.7 για την περίοδο καταπόνησης 2012.

Οι σιγμοειδείς καμπύλες που δημιουργήθηκαν για την πρόβλεψη της μεταβολής της εδαφοκάλυψης των επεμβάσεων σε συνάρτηση με το χρόνο, παρουσίασαν πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ του GTC και των ημερών καταπόνησης με συντελεστές συσχέτισης (R^2) που κυμαίνονταν από 0,93 έως 0,99 για την πρώτη περίοδο καταπόνησης και από 0,88 έως 0,99 για τη δεύτερη περίοδο καταπόνησης (Πίν. 6.6 και 6.7).

Βάση των αποτελεσμάτων εδαφοκάλυψης του κλοστάπητα *P. vaginatum*, κατά την πρώτη περίοδο καταπόνησης (2011), το ποσοστό του GTC άρχισε να μειώνεται μετά από 5 έως 14 ημέρες ανάλογα με την επέμβαση, μετά την έναρξη της υδατικής

καταπόνησης. Αντίθετα, κατά τη δεύτερη περίοδο (2012), η μείωση του GTC επήλθε από 3 έως 9 ημέρες ανάλογα με την επέμβαση μετά την έναρξη της υδατικής καταπόνησης. Το έτος 2011, η περίοδος καταπόνησης διήρκεσε 50 ημέρες και τερματίστηκε με την πρώτη φθινοπωρινή βροχόπτωση (21 Σεπτεμβρίου 2011), ενώ το έτος 2012 η καταπόνηση διήρκεσε 44 ημέρες (8 Σεπτεμβρίου 2012). Κατά τη λήξη της καταπόνησης του έτους 2012, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα δεν είχε μηδενιστεί σε όλες τις επεμβάσεις καθώς οι τιμές του δείκτη GTC κυμαίνονταν από 0 έως 3%. Αντιθέτως, κατά την 44^η ημέρα καταπόνησης του έτους 2011 όλες οι επεμβάσεις παρουσίασαν μηδενική εδαφοκάλυψη (Διάγρ. 6.9 και 6.12). Παρόμοια αποτελέσματα παρατήρησαν και οι Severmutlu et al. (2011) οι οποίοι αξιολόγησαν την αντοχή διαφόρων ποικιλιών θερμόφιλων ειδών χλοοτάπητα για 90 συνεχόμενες ημέρες ξηρασίας. Πιο συγκεκριμένα, οι ερευνητές ανέφεραν την εμφάνιση των πρώτων ενδείξεων καταπόνησης μέσω κιτρινίσματος των φύλλων στο χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Sea Spray' 12 και 6 ημέρες μετά την έναρξη της καταπόνησης κατά το πρώτο και δεύτερο έτος της μελέτης τους, αντίστοιχα. Μετά το πέρας 45 ημερών ξηρασίας το ποσοστό ξήρανσης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Sea Spray' ήταν 74% και 100% για τα δύο έτη μελέτης, αντίστοιχα. Θα πρέπει να τονιστεί πως ο χλοοτάπητας στη μελέτη των Severmutlu et al. (2011) αναπτύχθηκε σε έδαφος με μη περιορισμένο βάθος. Επιπλέον, στην περίπτωση τους δεν εφαρμόστηκε καθόλου άρδευση σε σχέση με την παρούσα μελέτη, όπου εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση.

Η μείωση του ποσοστού εδαφοκάλυψης διαπιστώθηκε πως ήταν ταχύτερη στην καταπόνηση του έτους 2011 με μέσο όρο κλίσης των σιγμοειδών καμπύλων ίσο με -0,2501 σε σχέση με την καταπόνηση του έτους 2012, η οποία είχε μέσο όρο κλίσης της τάξης του -0,1619 (Πίν. 6.6 και 6.7). Επιπροσθέτως, οι τιμές του GTC₅₀ κυμαίνονταν από 12,99 έως 23,27 ημέρες το έτος 2011 (διάστημα 10,28 ημερών), ενώ για το έτος 2012 οι τιμές κυμαίνονταν από 11,73 έως 12,99 ημέρες (διάστημα 15,04 ημερών). Το στενότερο αυτό εύρος τιμών για την καταπόνηση του 2011 είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση λιγότερων διαφορών μεταξύ των επεμβάσεων σε σχέση με το 2012. Όμως, παρ' όλο το διαφορετικό ρυθμό μείωσης της εδαφοκάλυψης ανάμεσα στα δύο έτη μελέτης, ο μέσος αριθμός ημερών που απαιτήθηκαν προκειμένου να μειωθεί η εδαφοκάλυψη στο 50% ήταν παρόμοιος και για τα δύο έτη, δηλαδή 17,85 και 17,89 ημέρες για το 2011 και 2012, αντίστοιχα. Ο διαφορετικός ρυθμός μείωσης της εδαφοκάλυψης μεταξύ των δύο ετών δε θα μπορούσε εύκολα να αποδοθεί στις κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών του 2011 και του 2012 μιας και αυτές ήταν παρόμοιες

όπως διαπιστώνεται και από το Διάγραμμα 6.1. Πιθανότερη επίδραση μπορεί να είχε το γεγονός πως ο χλοοτάπητας ήταν πολύ πιο ώριμος και καλύτερα εγκατεστημένος στα πειραματικά τεμάχια κατά τη δεύτερη χρονιά καταπόνησης, αφού το έτος 2011 οι επεμβάσεις καταπόνησης ξεκίνησαν 43 μόλις ημέρες μετά την εγκατάσταση του πλυμένου έτοιμου χλοοτάπητα. Παρόμοια αποτελέσματα με τη μελέτη μας διαπίστωσαν και οι Richardson et al. (2008), οι οποίοι μελέτησαν την αντοχή 50 ποικιλιών *Poa pratensis* L. σε συνθήκες ξηρασίας για δύο συνεχόμενα έτη μέσω ανάλυσης ψηφιακών εικόνων με μεθοδολογία όμοια με της παρούσας μελέτης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν πως κατά το δεύτερο έτος μελέτης τα συμπτώματα καταπόνησης καθυστέρησαν να εμφανιστούν κατά 12 μέρες σε σχέση με το πρώτο έτος, κυρίως λόγω της μη επαρκούς εγκατάστασης και ωρίμανσης των ποικιλιών χλοοτάπητα κατά το πρώτο έτος μελέτης.

Οι επεμβάσεις που παρουσίασαν τη μικρότερη υδατική καταπόνηση απαιτώντας σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό ημερών προκειμένου το ποσοστό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 25% και 50% ήταν οι συνδυασμοί του κάθε ενός από τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα με τα βαθύτερα υποστρώματα των 15 cm σε συνδυασμό με το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης 100% ET_c. Αντιστοίχως, οι επεμβάσεις που παρουσίασαν τη μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση απαιτώντας σημαντικά λιγότερες ημέρες προκειμένου το ποσοστό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 25% και 50% ήταν ο συνδυασμός του κάθε ενός από τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα με τα αβαθή υποστρώματα των 7,5 cm σε συνδυασμό με το χαμηλότερο επίπεδο άρδευσης 60% ET_c (Διάγρ. 6.10 και 6.13). Οι υπόλοιπες επεμβάσεις παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές χωρίς σαφή διαχωρισμό. Οι διαφορές αυτές ήταν όμοιες και εμφανείς και στις δύο περιόδους καταπόνησης (2011 και 2012).

Παρόμοια συμπεριφορά παρουσίασαν οι επεμβάσεις και για τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου το ποσοστό εδαφοκάλυψης να μειωθεί στο 75% κατά την περίοδο καταπόνησης του 2011. Αντιθέτως, το 2012 εμφανής ήταν μόνο η ευεργετική επίδραση του συνδυασμού των έξι υποστρωμάτων με το υψηλό βάθος υποστρώματος και την υψηλή άρδευση (Διάγρ. 6.10 και 6.13) καθώς οι υπόλοιπες επεμβάσεις δεν εμφάνισαν σαφείς ομαδοποιήσεις μεταξύ των συνδυασμών των επεμβάσεων.

Συγκρίνοντας τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου το ποσοστό εδαφοκάλυψης να μειωθεί στο 1% (λίγο πριν την πλήρη ξήρανση του χλοοτάπητα), διαπιστώθηκε ένας σαφής διαχωρισμός των επεμβάσεων όσον αφορά το επίπεδο της άρδευσης και το βάθος του υποστρώματος κατά την καταπόνηση του 2012. Πιο

συγκεκριμένα, τα έξι υποστρώματα όταν τοποθετήθηκαν σε 7,5 cm βάθος και αρδεύονταν με 60% ET_c παρουσίασαν το μικρότερο αριθμό ημερών προκειμένου να επιτευχθεί πλήρης ξήρανση του χλοοτάπητα. Κατόπιν ακολούθησαν οι επεμβάσεις με 15 cm βάθος υποστρώματος και άρδευση 60% ET_c και στη συνέχεια οι επεμβάσεις με 7,5 βάθος υποστρώματος και άρδευση 100% ET_c. Τέλος, τις περισσότερες ημέρες για πλήρη ξήρανση του χλοοτάπητα παρουσίασαν τα έξι υποστρώματα σε βάθος 15 cm και άρδευση 100 ET_c. Η κατάταξη αυτή ήταν εμφανής και κατά το έτος 2011 χωρίς όμως να παρατηρείται απόλυτη συνέπεια όπως το έτος 2012 (Διάγρ. 6.10 και 6.13). Οι διαφορές αυτές μεταξύ των επεμβάσεων καταδεικνύουν πως κατά τη διάρκεια της υδατικής καταπόνησης, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα επηρεάστηκε κυρίως από το επίπεδο της άρδευσης και δευτερευόντως από το βάθος του υποστρώματος, ενώ ο τύπος του υποστρώματος δεν παρουσίασε μια ξεκάθαρη επίδραση.

Τη σημασία του βάθους του υποστρώματος στην επιβίωση των χλοοταπήτων κατά τη διάρκεια εκτεταμένων περιόδων ξηρασίας επισημαίνουν και οι Steinke et al. (2010) οι οποίοι αξιολόγησαν την αντίδραση επτά ποικιλιών του είδους *Stenotaphrum secundatum* (Walt.) Kuntze σε συνθήκες ξηρασίας 60 συνεχόμενων ημερών οι οποίες αναπτύσσονταν είτε σε έδαφος βάθους 10 cm είτε σε έδαφος χωρίς περιορισμούς βάθους. Χρησιμοποιώντας καμπύλες μεταβολής της εδαφοκάλυψης σε συνάρτηση με το χρόνο όμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, οι ερευνητές κατέληξαν πως καμία από τις ποικιλίες του υπό μελέτη χλοοτάπητα δεν επιβίωσαν σε βάθος εδάφους 10 cm και όλες παρουσίασαν πλήρη απώλεια του πράσινου χρωματισμού τους σε διάστημα 6 έως 12 ημερών ξηρασίας κατά το πρώτο έτος της μελέτης και 10 έως 20 ημέρες κατά το δεύτερο έτος. Αντιθέτως, όλες οι ποικιλίες επιβίωσαν και ανέκαμψαν μετά από τη ξηρασία 60 ημερών, όταν αναπτύσσονταν σε έδαφος με απεριόριστο βάθος.

Όσον αφορά την επίδραση του τύπου του υποστρώματος στη μείωση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα κατά την υδατική καταπόνηση, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις για τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα ξεχωριστά για κάθε συνδυασμό βάθους υποστρώματος με επίπεδο άρδευσης και για τις δύο χρονιές μελέτης (Διάγρ. 6.11 και 6.14). Το έτος 2011 οι διαφορές μεταξύ των υποστρωμάτων ήταν αρκετά περιορισμένες κυρίως λόγω του εντονότερου ρυθμού μείωσης της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα σε σχέση με το 2012 (Πίν. 6.6 και 6.7). Παρ' όλα αυτά όμως, το υπόστρωμα 3 (S₁₅:P_{um40}:P_{er20}:P₂₀:Z₅) εμφάνισε τη μικρότερη καταπόνηση, ενώ τα υποστρώματα S₁₅:P_{um60}:C₂₀:Z₅ και S₃₀:P_{um40}:C₂₀:Z₁₀ τη μεγαλύτερη. Το έτος 2012 οι διαφορές ήταν εμφανέστερες με το υπόστρωμα

$S_{15}:P_{um40}:P_{ef20}:P_{20}:Z_5$ να απαιτεί στατιστικώς περισσότερες ημέρες προκειμένου η εδαφοκάλυψη να μειωθεί στο 50% και συνεπώς συνεισέφερε στη μικρότερη καταπόνηση του χλοοτάπητα σε σχέση με τις υπόλοιπες επεμβάσεις, σε τρεις από τους τέσσερις συνδυασμούς βάθους υποστρώματος και επιπέδου άρδευσης (Διάγρ. 6.13 και 6.14). Το υπόστρωμα 6 ($S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) παρουσίασε τη μεγαλύτερη καταπόνηση, όταν το βάθος υποστρώματος ήταν 15 cm και για τα δύο επίπεδα άρδευσης, ενώ, όταν το βάθος υποστρώματος ήταν 7,5 cm, η μεγαλύτερη καταπόνηση παρουσιάστηκε στα υποστρώματα 1, 2 και 6 ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$, αντίστοιχα) και για τα δύο επίπεδα άρδευσης.

Παράλληλα, εξετάστηκε η επίδραση που έχουν οι τέσσερις συνδυασμοί μεταξύ των δύο διαφορετικών βαθών υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και των δύο επιπέδων άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για κάθε ένα από τα έξι υποστρώματα και για τα δύο έτη της μελέτης (Διάγρ. 6.15-6.26). Οι καμπύλες παλινδρόμησης των τεσσάρων συνδυασμών για κάθε υπόστρωμα (D-H: 15 cm βάθος υποστρώματος με 100% ET_c άρδευση, D-L: 15 cm βάθος υποστρώματος με 60% ET_c άρδευση, S-H: 7,5 cm βάθος υποστρώματος με 100% ET_c άρδευση και S-L: 7,5 cm βάθος υποστρώματος με 60% ET_c άρδευση) συγκρίθηκαν μέσω των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% ως προς τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 75%, 50%, 25% και 1%. Όπως διαπιστώθηκε από τις καμπύλες παλινδρόμησης και των έξι υποστρωμάτων, λαμβάνοντας υπόψη και τις δύο περιόδους καταπόνησης (2011 και 2012), ο παράγοντας βάθος ήταν αυτός που επηρέασε κυρίως το χρόνο κατά τον οποίο άρχισε να μειώνεται το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, ενώ ο παράγοντας άρδευση ήταν αυτός που επηρέασε την κλίση των καμπύλων, δηλαδή, την ταχύτητα με την οποία μειωνόταν το ποσοστό της εδαφοκάλυψης. Πιο συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος των 15 cm καθυστέρησε την εμφάνιση συμπτωμάτων καταπόνησης του χλοοτάπητα σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm κατά μέσο όρο 3,4 ημέρες για την περίοδο καταπόνησης του έτους 2011 και 5,3 ημέρες για την περίοδο καταπόνησης του έτους 2012 για τα έξι υποστρώματα. Επίσης, το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης 100% ET_c παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές κλίσης των καμπυλών μειώνοντας το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα με μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με το χαμηλό επίπεδο άρδευσης του 60% ET_c . Ο μέσος όρος των κλίσεων των καμπυλών παλινδρόμησης για τα έξι υποστρώματα είχε τιμή -0,1836 όταν η άρδευση ήταν 100% ET_c και -0,3165 για άρδευση 60% ET_c για την πρώτη περίοδο καταπόνησης (2011), ενώ για τη δεύτερη περίοδο καταπόνησης (2012) ο μέσος όρος των κλίσεων είχε τιμές -0,0947 και

-0,2290 για άρδευση με 100% ET_c και 60% ET_c, αντίστοιχα. Οι διαφορές ισοδυναμούν με ταχύτερη μείωση της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα κατά 41,99% και 58,65% για τις περιόδους καταπόνησης των ετών 2011 και 2012 αντίστοιχα, όταν εφαρμοζόνταν το χαμηλό επίπεδο άρδευσης (60% ET_c) σε σύγκριση με το υψηλό επίπεδο άρδευσης (100% ET_c).

Ο συνδυασμός μεταξύ των 15 cm βάθους υποστρώματος και της 100% ET_c άρδευσης (D-H) παρουσίασε τη μικρότερη καταπόνηση χλοοτάπητα για όλα τα υποστρώματα σε όλα τα επίπεδα σύγκρισης (ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 75%, 50% 25% και 1%), ενώ αντίθετα ο συνδυασμός των 7,5 cm βάθους υποστρώματος και της 60% ET_c άρδευσης (S-L) παρουσίασαν τη μεγαλύτερη καταπόνηση. Οι υπόλοιποι δύο συνδυασμοί (D-L και S-H) παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές (Διάγρ. 6.15-6.26, Εικ. 6.10-6.15). Συγκρίνοντας τις ενδιάμεσες τιμές των δύο αυτών συνδυασμών διαπιστώνεται πως δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τις ημέρες που απαιτούνται προκειμένου η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα να φτάσει στο 25% και στο 50% στα περισσότερα από τα υπό μελέτη υποστρώματα. Πιο συγκεκριμένα, το 2011 σε όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνδυασμών D-L και S-H στο επίπεδο του 25% GTC, ενώ σε τρία από τα έξι υποστρώματα δεν παρουσιάστηκαν διαφορές μεταξύ των συνδυασμών D-L και S-H και στο επίπεδο του 50% GTC. Αντιθέτως, κατά την καταπόνηση του 2012 σε όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των συνδυασμών D-L και S-H στο επίπεδο 50% GTC, ενώ σε τρία από αυτά δεν παρουσιάστηκαν διαφορές μεταξύ των συνδυασμών D-L και S-H στο επίπεδο του 25% GTC. Οι παρατηρήσεις αυτές οδηγούν στο συμπέρασμα πως σε φυτεμένα δώματα εκτατικού τύπου, η μείωση της άρδευσης του χλοοτάπητα μπορεί να αντισταθμιστεί από την αύξηση του βάθους του υποστρώματος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που είναι αισθητικά αποδεκτό το ποσοστό της εδαφοκάλυψης να κυμαίνεται περίπου στο 50%. Επίσης, συμπεραίνεται πως αν το κτίριο στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το φυτεμένο δώμα παρέχει τη στατική ικανότητα για αύξηση του βάθους του υποστρώματος, είναι προτιμότερο να αυξηθεί η αρχική δαπάνη εγκατάστασης και το ύψος του υποστρώματος να ανέλθει από 7,5 σε 15 cm, αφού οι ανάγκες άρδευσης του φυτοδώματος μπορούν να μειωθούν από 100% ET_c σε 60% ET_c, που συνεπάγεται εξοικονόμηση νερού μέχρι και 40%.

Πίνακας 6.6. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση και GTC_{50}) των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Μικρότερες τιμές της κλίσης (περισσότερο αρνητικές) υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση της εδαφοκάλυψης πράσινου χλοοτάπητα στο χρόνο. Το GTC_{50} αντιστοιχεί στις μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να φθάσει στο 50% της αρχικής τιμής. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του GTC_{50} . (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2011

Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	GTC_{50}	SE (GTC_{50})	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
1-D-H	-0,1149	0,0089	23,27	0,33	0,95
3-D-H	-0,1281	0,0095	22,86	0,29	0,96
4-D-H	-0,1404	0,0110	21,94	0,28	0,96
2-D-H	-0,1601	0,0156	21,25	0,30	0,95
5-D-H	-0,1659	0,0158	21,02	0,28	0,95
6-D-H	-0,1875	0,0190	20,02	0,26	0,96
3-D-L	-0,2911	0,0239	19,05	0,14	0,98
4-D-L	-0,2949	0,0263	19,02	0,15	0,98
1-D-L	-0,3899	0,0361	18,64	0,15	0,98
3-S-H	-0,1585	0,0152	18,18	0,30	0,95
5-D-L	-0,3822	0,0230	18,14	0,12	0,99
5-S-H	-0,2611	0,0237	17,70	0,19	0,97
4-S-H	-0,2588	0,0247	17,62	0,20	0,97
2-D-L	-0,3445	0,0186	17,59	0,10	0,99
6-D-L	-0,3146	0,0213	17,51	0,13	0,99
6-S-H	-0,2260	0,0272	17,04	0,26	0,95
1-S-H	-0,2047	0,0244	16,90	0,29	0,93
2-S-H	-0,1974	0,0214	16,30	0,26	0,95
3-S-L	-0,3637	0,0377	14,96	0,15	0,98
5-S-L	-0,3114	0,0227	14,80	0,13	0,99
4-S-L	-0,2950	0,0276	14,35	0,19	0,97
6-S-L	-0,3837	0,0282	14,16	0,15	0,98
1-S-L	-0,1953	0,0151	13,09	0,20	0,97
2-S-L	-0,2320	0,0170	12,99	0,16	0,98
Μέσος όρος	-0,2501		17,85		0,97

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α και GTC_{50} αντιστοιχούν στην κλίση και στο χρόνο (ημέρες) που απαιτείται προκειμένου το GTC να φθάσει στο 50% της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης:
 $GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \eta \mu \epsilon \rho \epsilon \varsigma) \alpha}]$

Πίνακας 6.7. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση και GTC_{50}) των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Μικρότερες τιμές της κλίσης (περισσότερο αρνητικές) υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση της εδαφοκάλυψης πράσινου χλοοτάπητα στο χρόνο. Το GTC_{50} αντιστοιχεί στις μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να φθάσει στο 50% της αρχικής τιμής. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του GTC_{50} . (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

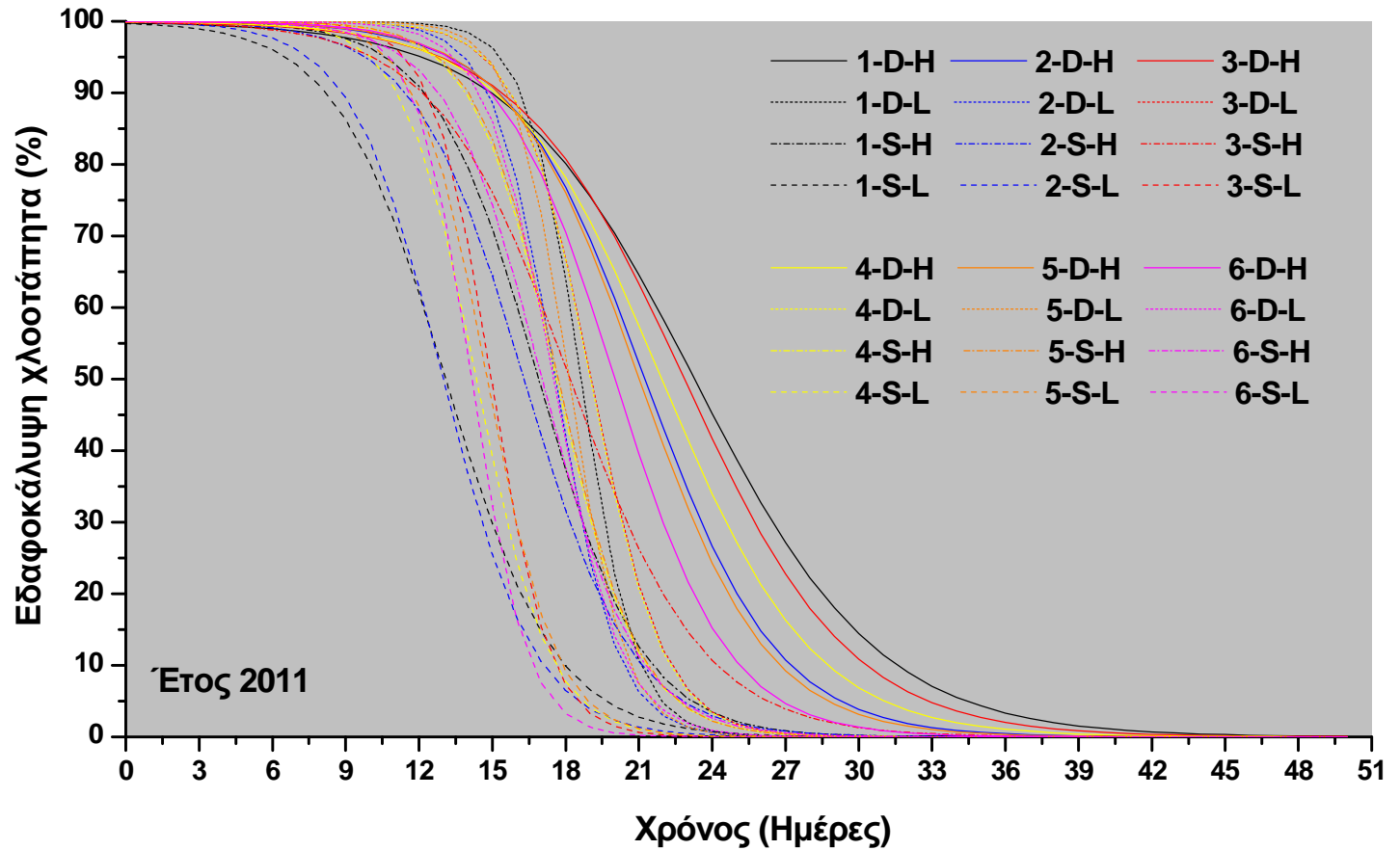
Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2012

Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	GTC_{50}	SE (GTC_{50})	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
3-D-H	-0,1018	0,0065	26,77	0,31	0,96
1-D-H	-0,0837	0,0059	24,76	0,41	0,94
4-D-H	-0,1015	0,0079	24,71	0,38	0,94
5-D-H	-0,0864	0,0071	24,67	0,47	0,92
2-D-H	-0,1076	0,0083	24,13	0,35	0,95
6-D-H	-0,0930	0,0056	23,68	0,32	0,96
3-D-L	-0,1783	0,0105	19,86	0,16	0,99
3-S-H	-0,1022	0,0050	19,11	0,23	0,98
4-S-H	-0,0891	0,0061	18,74	0,38	0,95
4-D-L	-0,1668	0,0102	18,56	0,18	0,98
1-D-L	-0,1376	0,0105	18,02	0,27	0,96
5-S-H	-0,0932	0,0063	17,45	0,35	0,95
5-D-L	-0,1682	0,0086	16,98	0,15	0,99
2-D-L	-0,1548	0,0104	16,33	0,21	0,98
6-S-H	-0,0844	0,0085	15,92	0,58	0,88
1-S-H	-0,0956	0,0056	15,63	0,30	0,96
2-S-H	-0,0979	0,0075	15,48	0,39	0,94
6-D-L	-0,2647	0,0237	14,92	0,17	0,98
3-S-L	-0,3382	0,0300	13,28	0,15	0,98
4-S-L	-0,3041	0,0305	12,73	0,14	0,98
5-S-L	-0,2688	0,0296	12,32	0,17	0,97
6-S-L	-0,2821	0,0179	11,82	0,09	0,99
1-S-L	-0,2312	0,0171	11,75	0,15	0,98
2-S-L	-0,2533	0,0188	11,73	0,13	0,98
Μέσος όρος	-0,1619		17,89		0,96

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α και GTC_{50} αντιστοιχούν στην κλίση και στο χρόνο (ημέρες) που απαιτείται προκειμένου το GTC να φθάσει στο 50% της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης:
 $GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \eta \mu \epsilon \rho \epsilon \varsigma) \alpha}]$

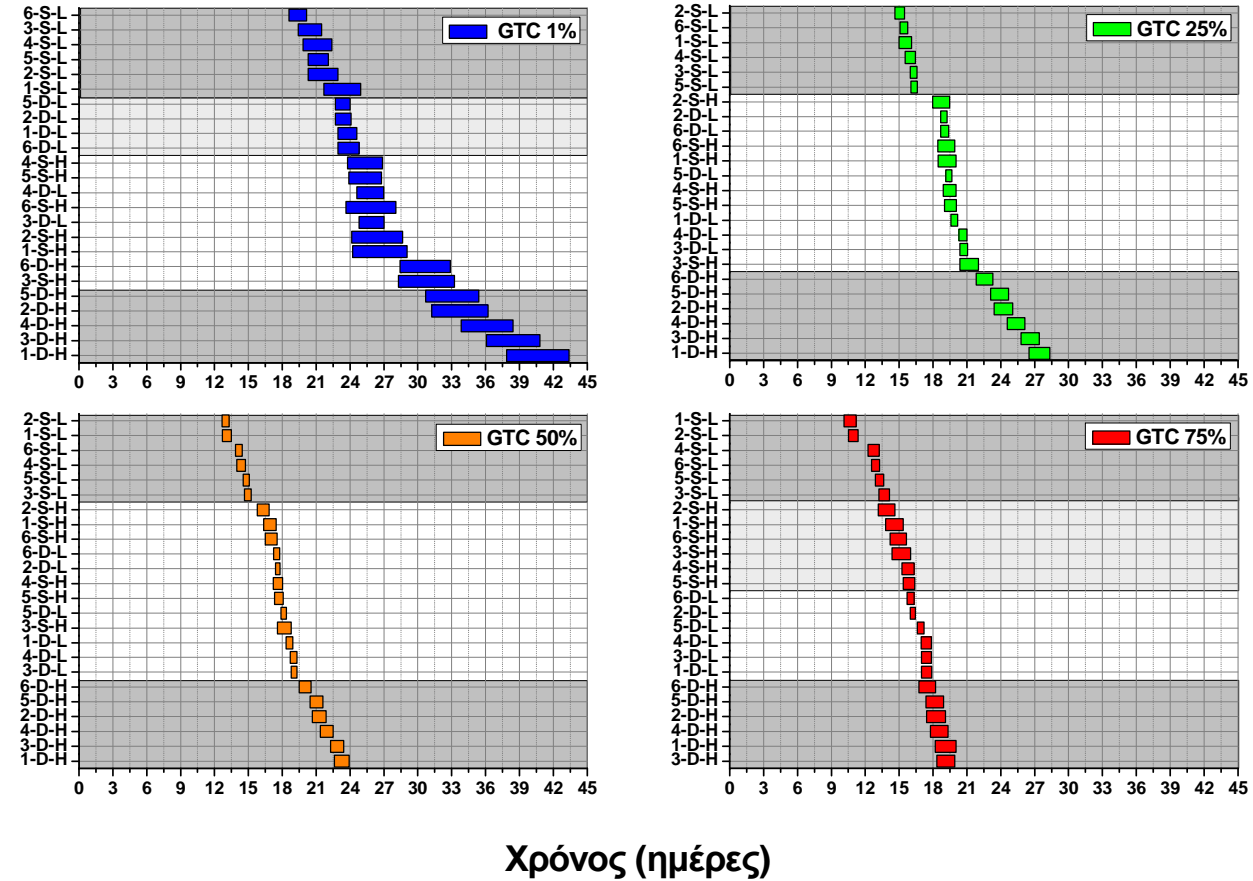
Διάγραμμα 6.9. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S_{15} : P_{um60} : P_{20} : Z_5 (1), S_{15} : P_{um60} : C_{20} : Z_5 (2), S_{15} : P_{um40} : Per_{20} : P_{20} : Z_5 (3), S_{15} : P_{um40} : Per_{20} : C_{20} : Z_5 (4), S_{30} : P_{um40} : P_{20} : Z_{10} (5), S_{30} : P_{um40} : C_{20} : Z_{10} (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5cm (S) ή 15cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].



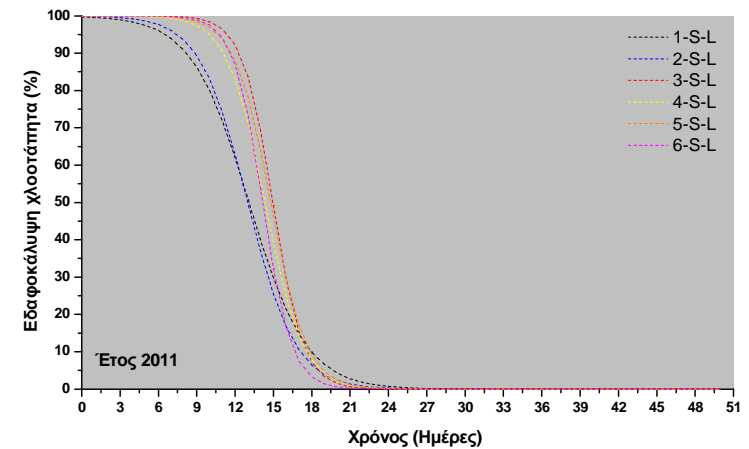
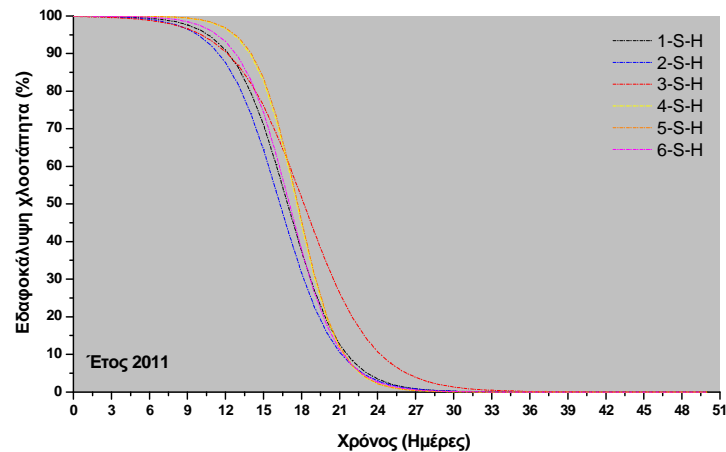
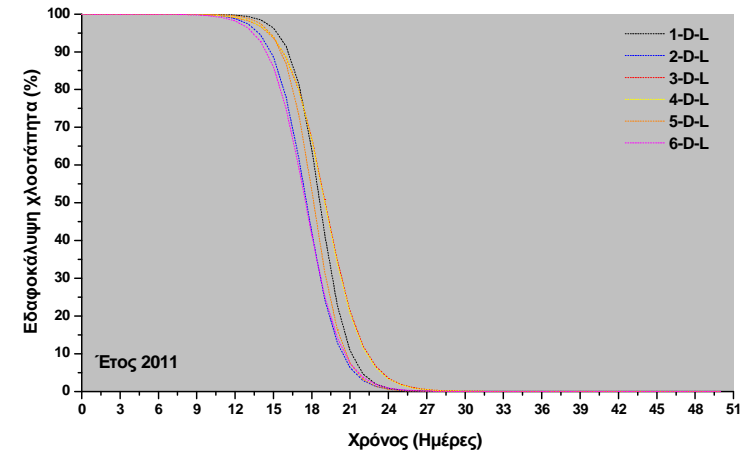
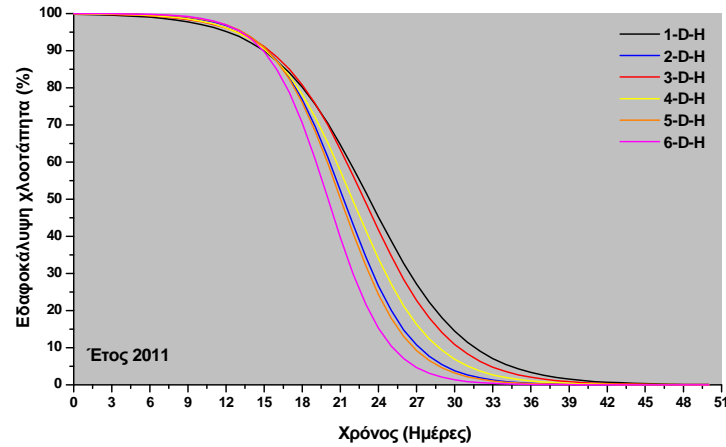
Διάγραμμα 6.10. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των ημερών καταπόνησης που απαιτήθηκαν προκειμένου η τιμή του GTC να είναι ίση με 1%, 25%, 50% και 75% κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων $[S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5 (1), S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5 (2), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5 (3), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5 (4), S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10} (5), S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10} (6)]$, όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5cm (S) ή 15cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

Επεμβάσεις

Έτος 2011

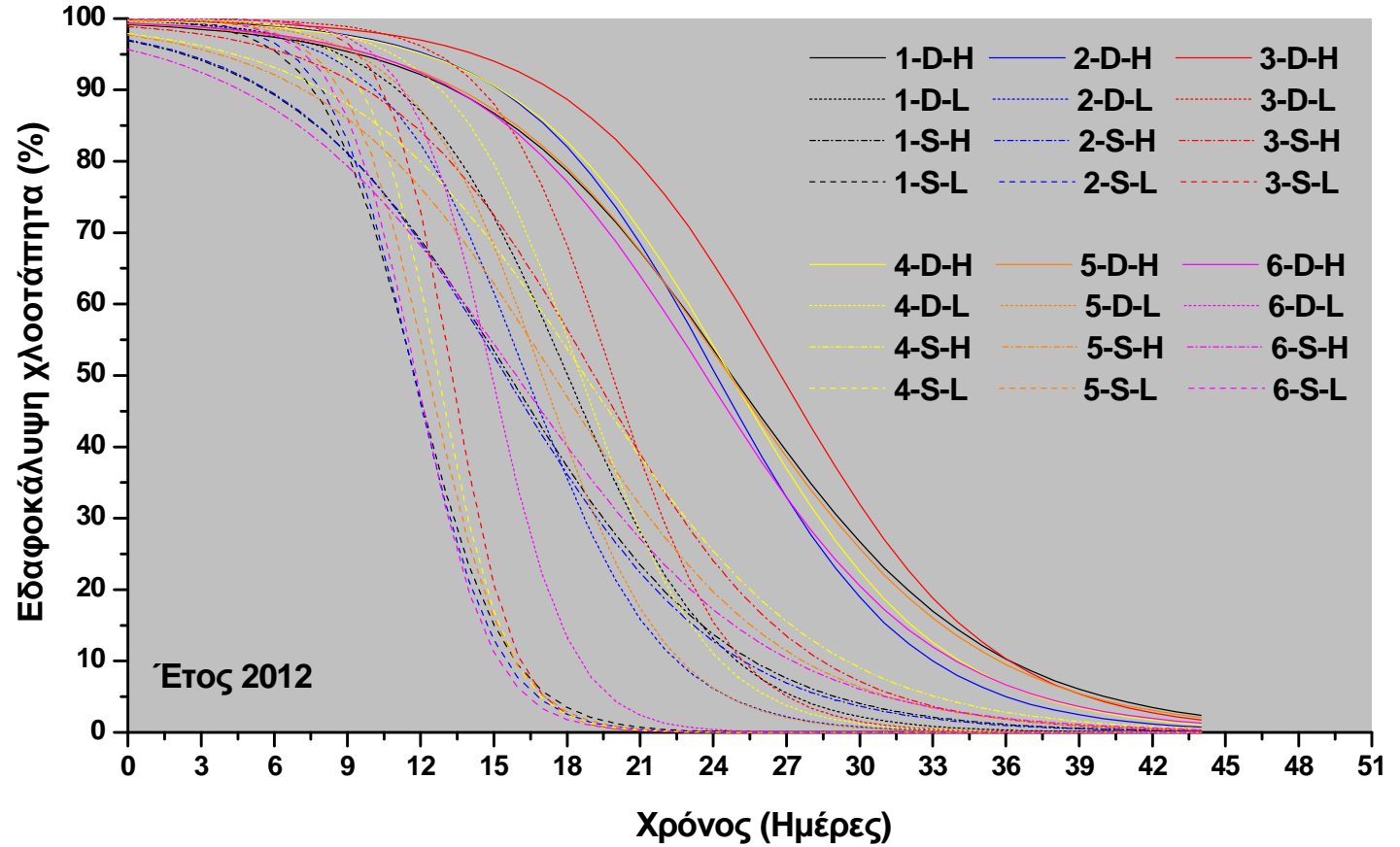


Διάγραμμα 6.11.
 Σύγκριση των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) σε συνάρτηση με το χρόνο κατά την περίοδο καταπόνησης 2011 των έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] για κάθε συνδυασμό βάθους υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και επιπέδου άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].



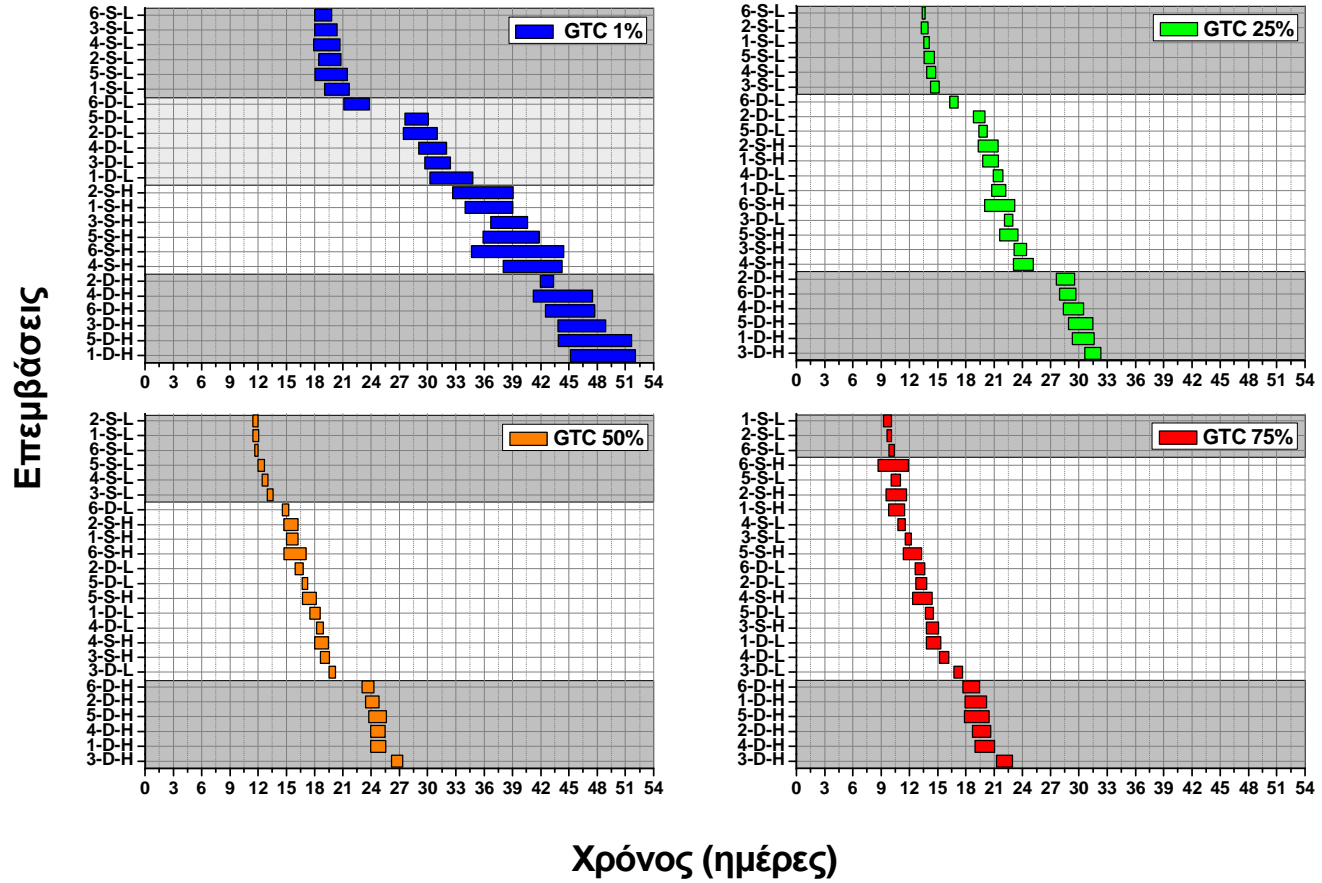
Διάγραμμα 6.12.

Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].



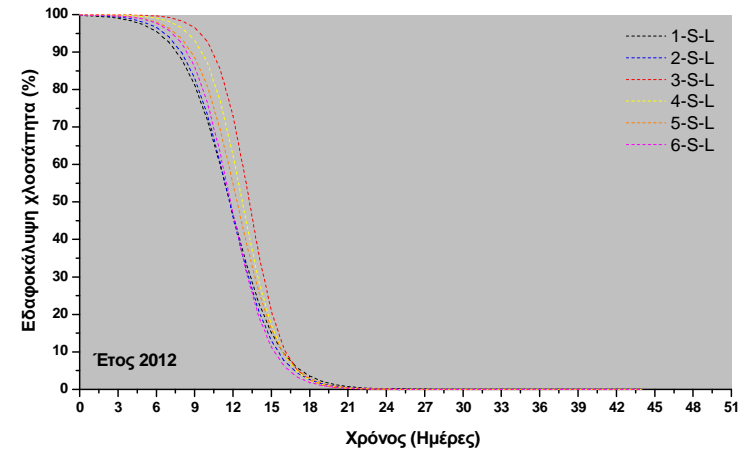
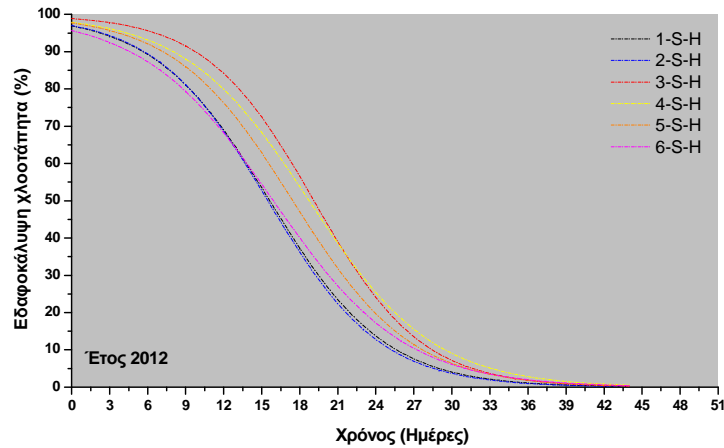
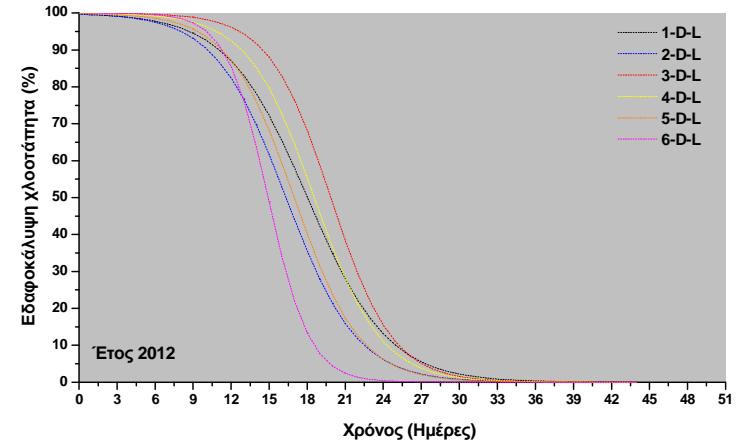
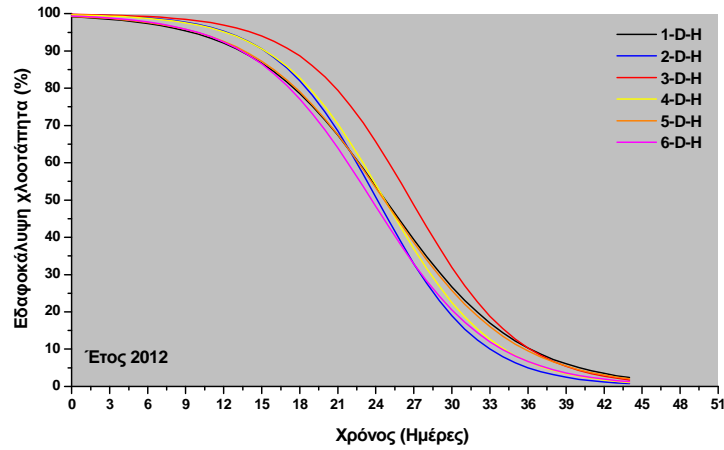
Διάγραμμα 6.13. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των ημερών καταπόνησης που απαιτήθηκαν προκειμένου η τιμή του GTC να είναι ίση με 1%, 25%, 50% και 75% κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων $[S_{15}:P_{um_{60}}:P_{20}:Z_5 (1), S_{15}:P_{um_{60}}:C_{20}:Z_5 (2), S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:P_{20}:Z_5 (3), S_{15}:P_{um_{40}}:P_{er_{20}}:C_{20}:Z_5 (4), S_{30}:P_{um_{40}}:P_{20}:Z_{10} (5), S_{30}:P_{um_{40}}:C_{20}:Z_{10} (6)]$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

Έτος 2012

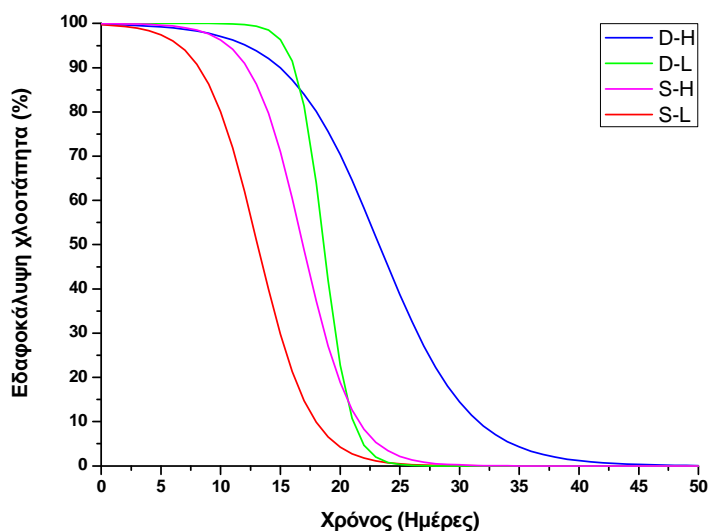


Διάγραμμα 6.14.
 Σύγκριση των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) στο χρόνο κατά την περίοδο καταπόνησης 2012 των έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] για κάθε συνδυασμό βάθους υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και επιπέδου άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

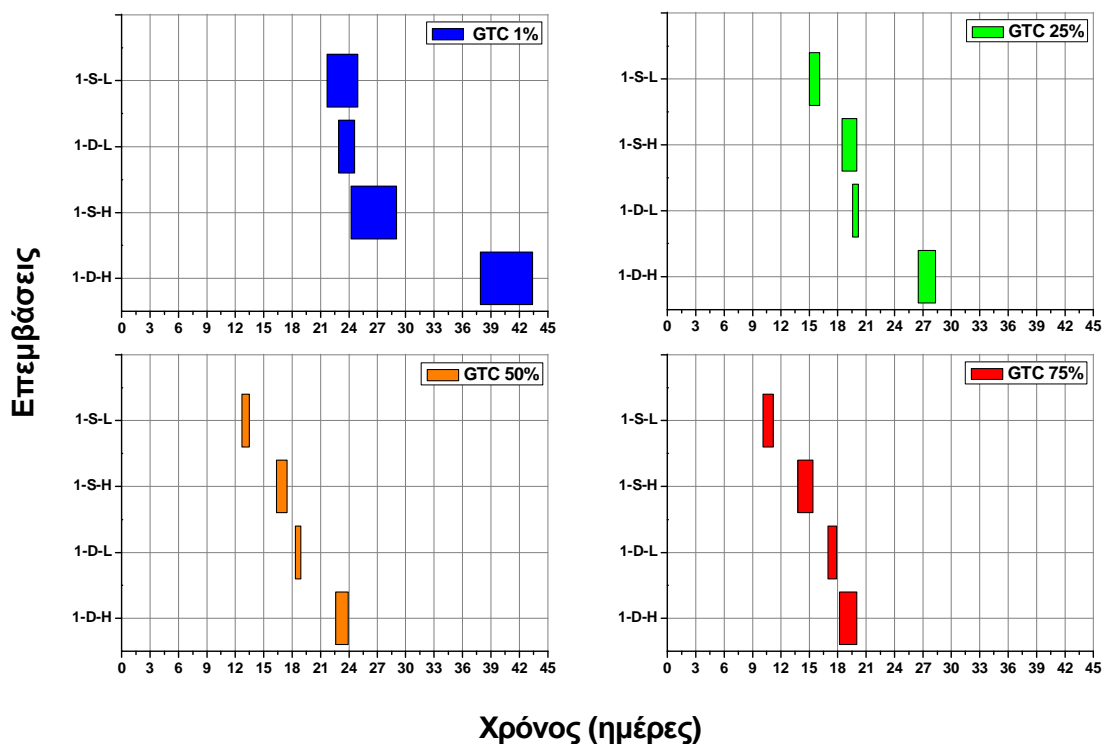
243



$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$

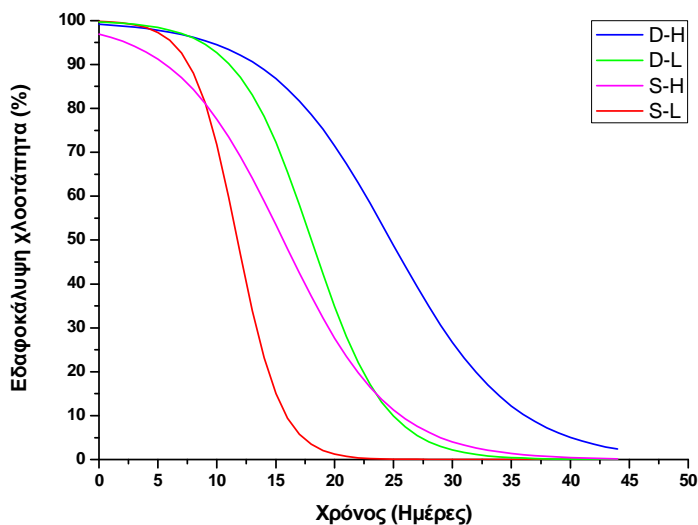


Έτος 2011

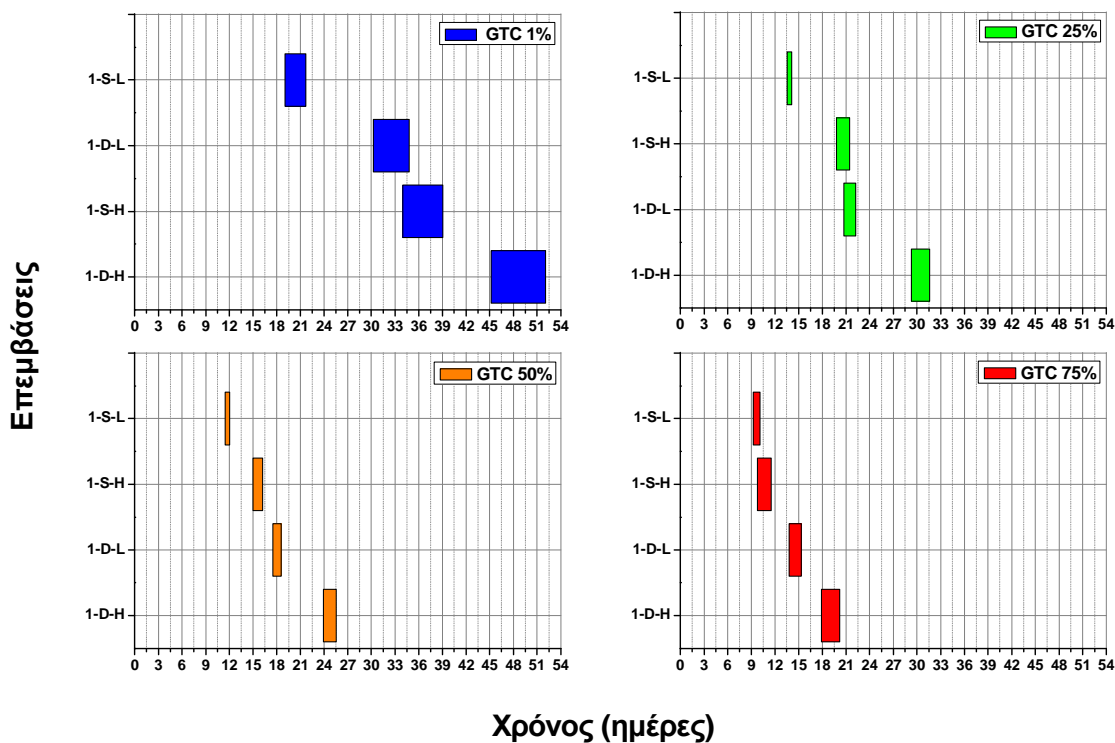


Διάγραμμα 6.15. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$

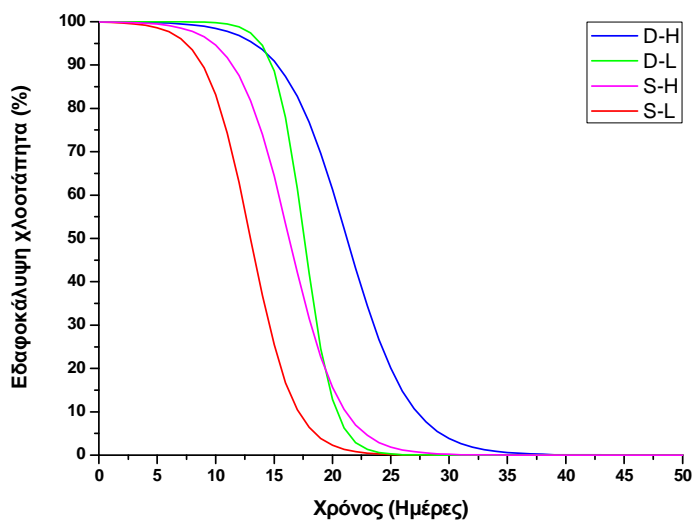


Έτος 2012

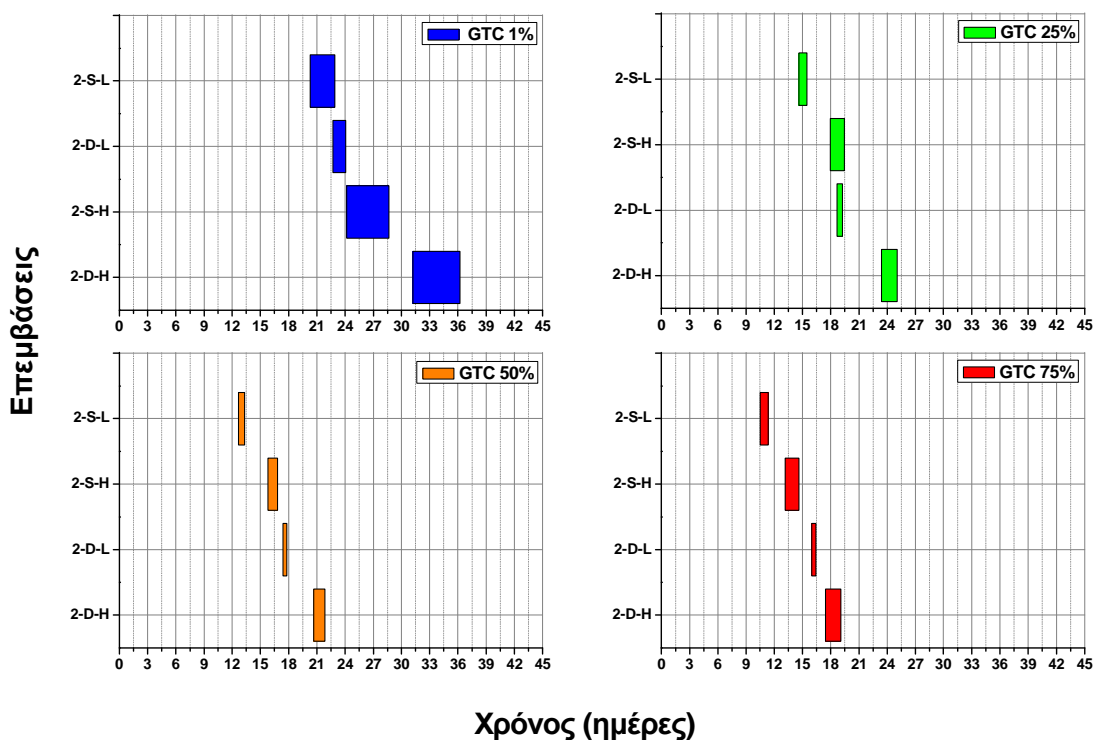


Διάγραμμα 6.16. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$

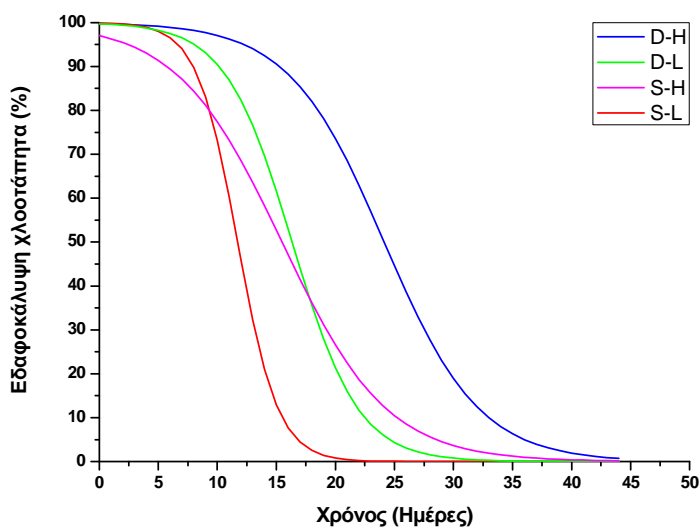


Έτος 2011

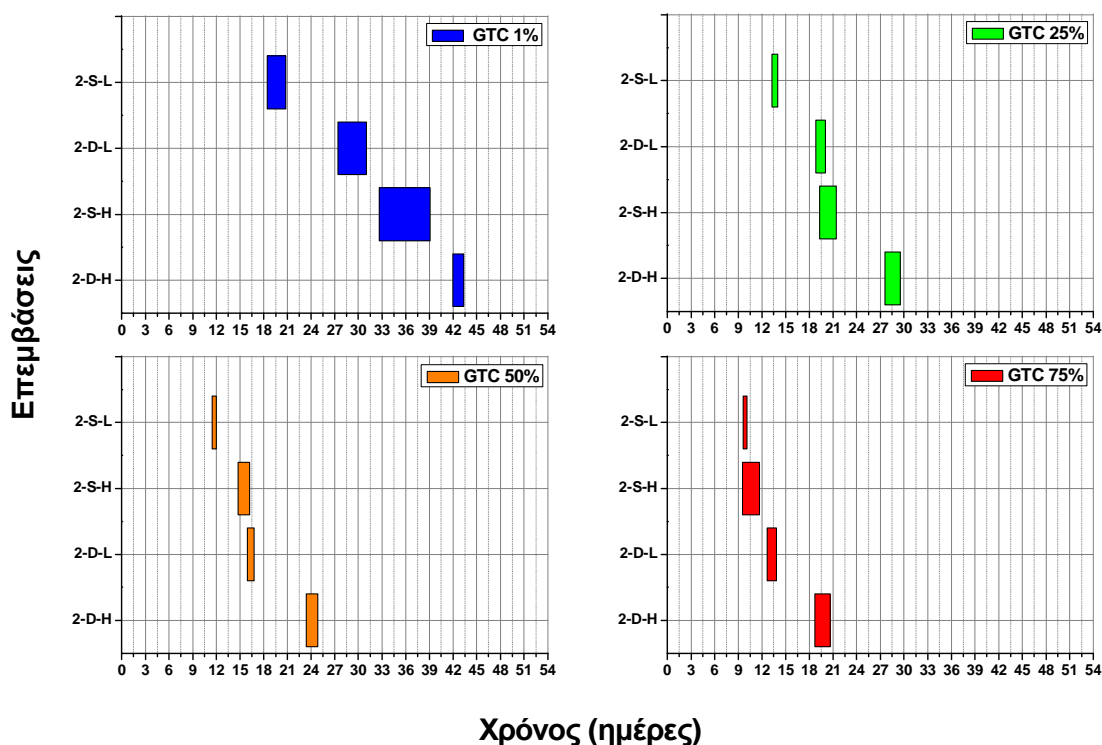


Διάγραμμα 6.17. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο Βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, C= κομποστό και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$

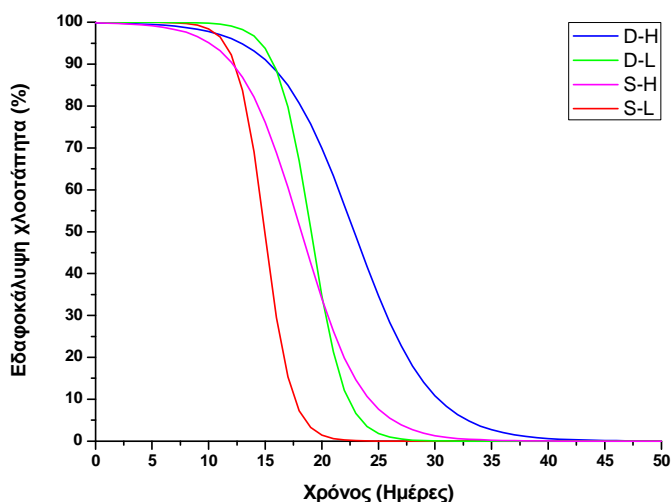


Έτος 2012

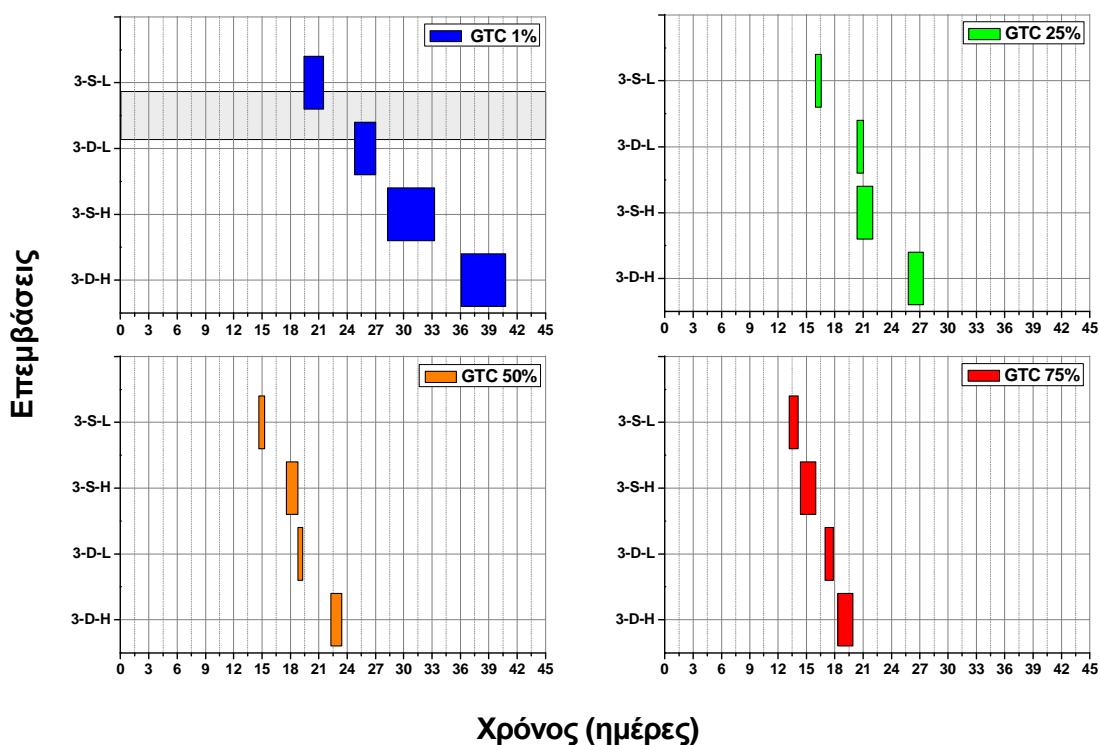


Διάγραμμα 6.18. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ όπου (S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

S₁₅:P_{um40}:Per₂₀:P₂₀:Z₅

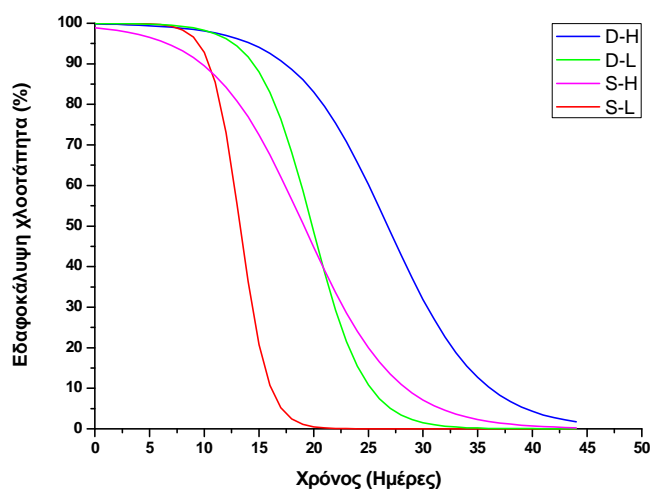


Έτος 2011

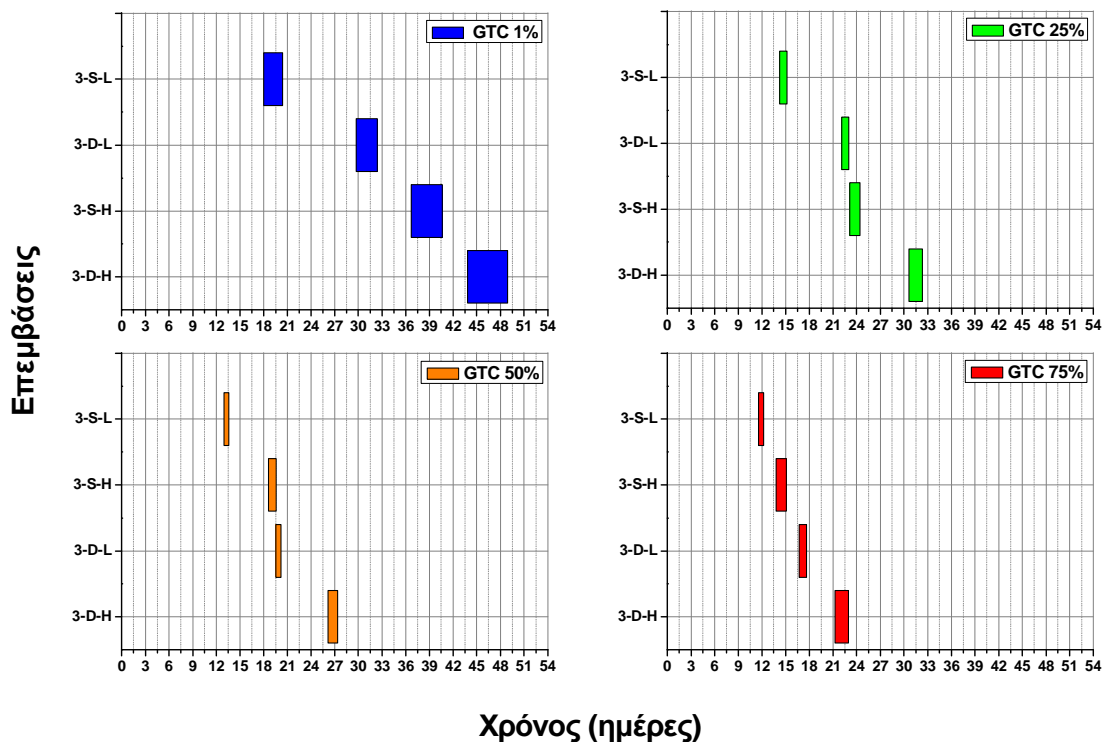


Διάγραμμα 6.19. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅: P_{um40}: Per₂₀: P₂₀: Z₅ όπου (S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

S₁₅:P_{um}₄₀:P_{er}₂₀:P₂₀:Z₅

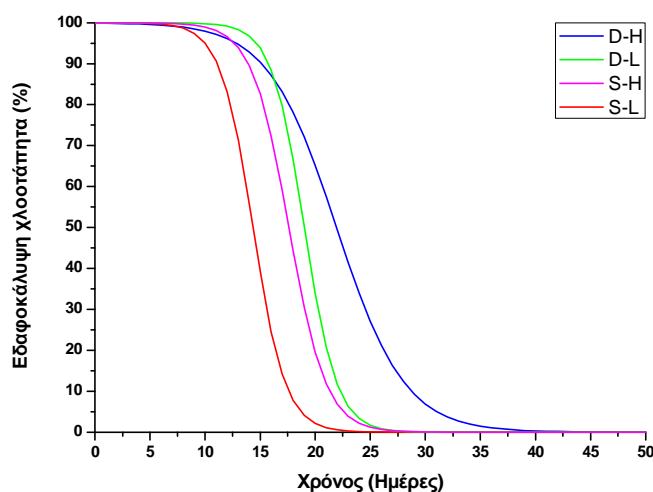


Έτος 2012

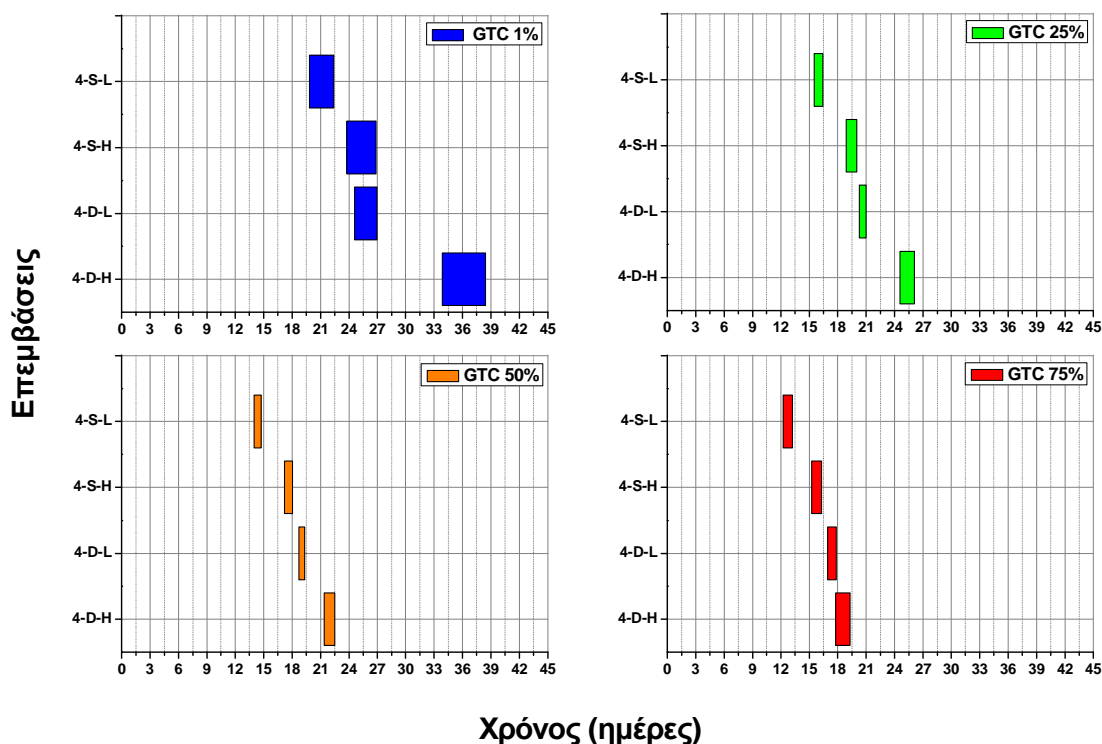


Διάγραμμα 6.20. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅: P_{um}₄₀: P_{er}₂₀: P₂₀: Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅

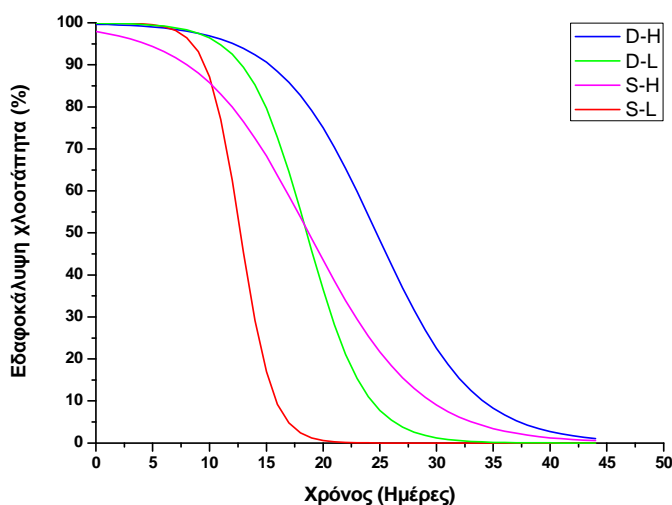


Έτος 2011

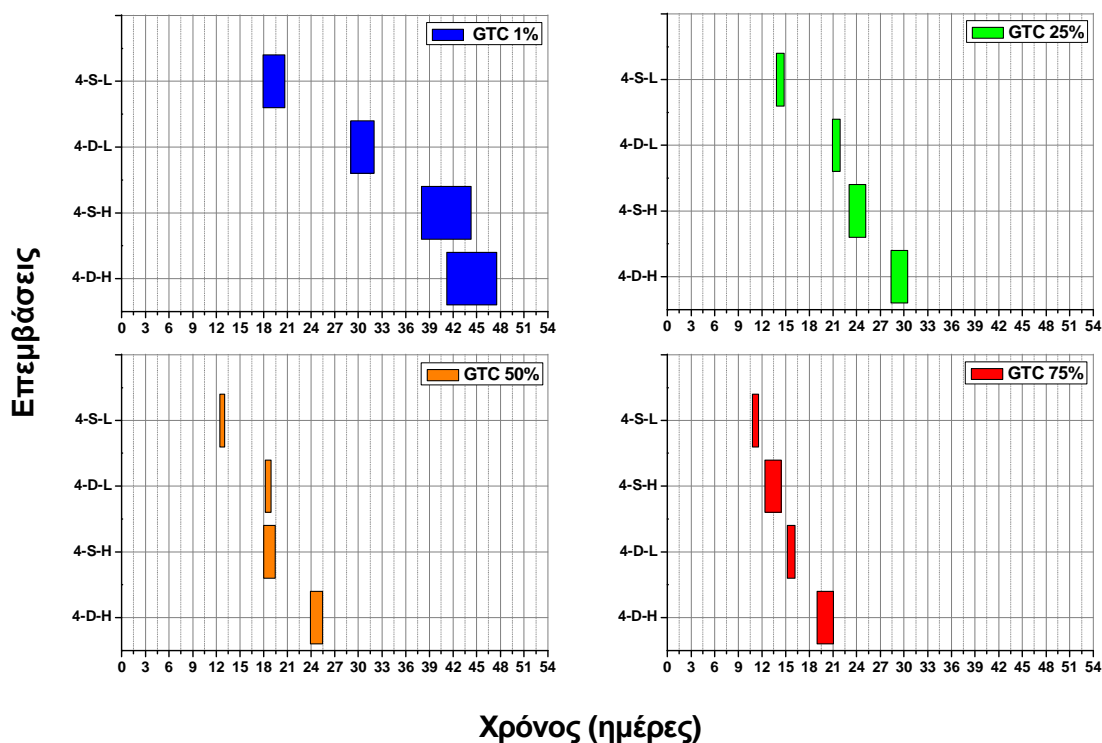


Διάγραμμα 6.21. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅: Pum₄₀: Per₂₀: C₂₀: Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅

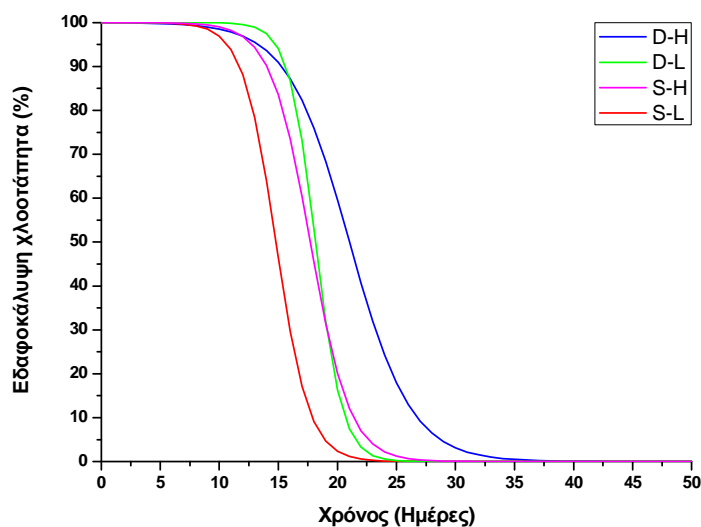


Έτος 2012

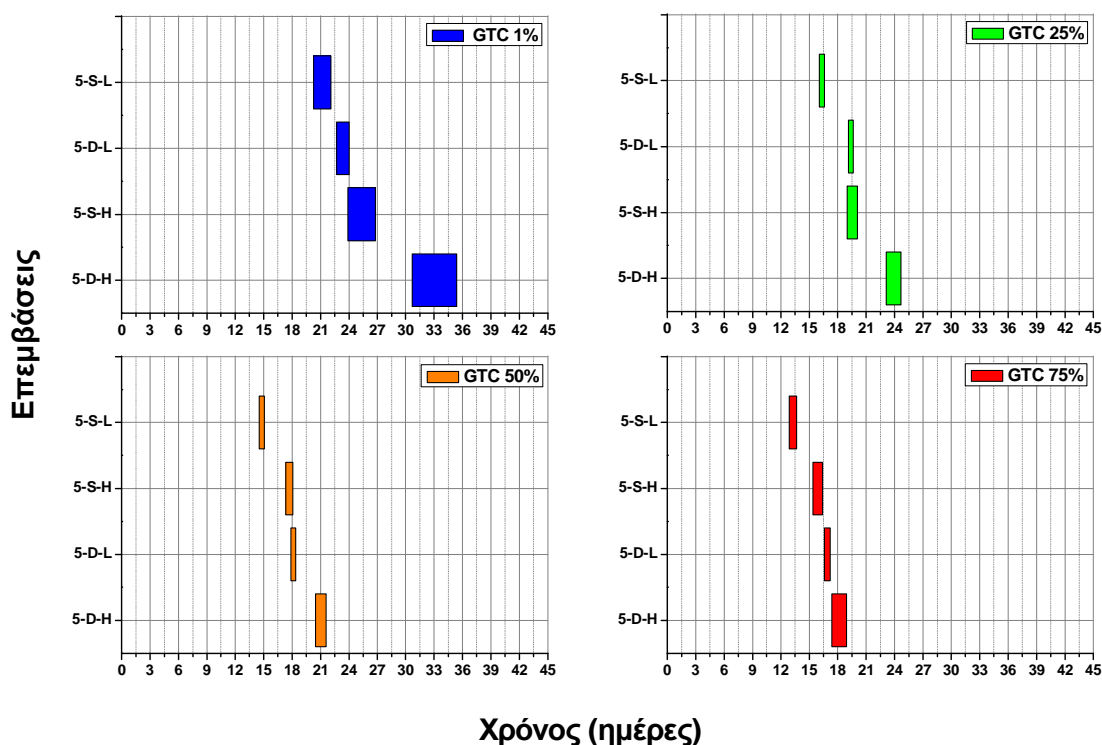


Διάγραμμα 6.22. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅: Pum₄₀: Per₂₀: C₂₀: Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$

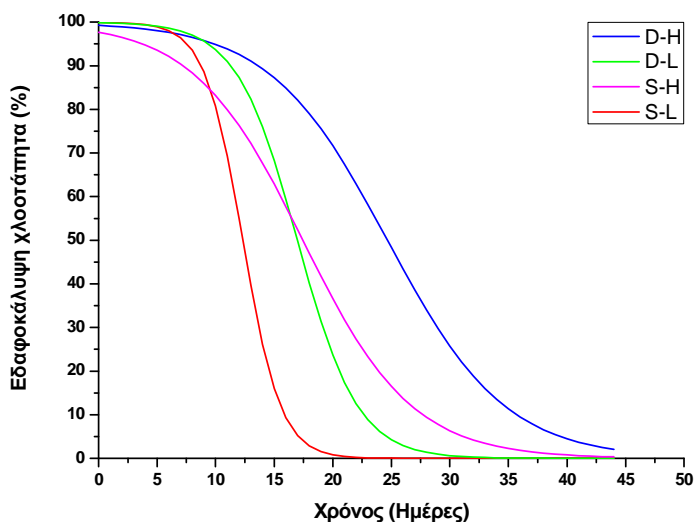


Έτος 2011

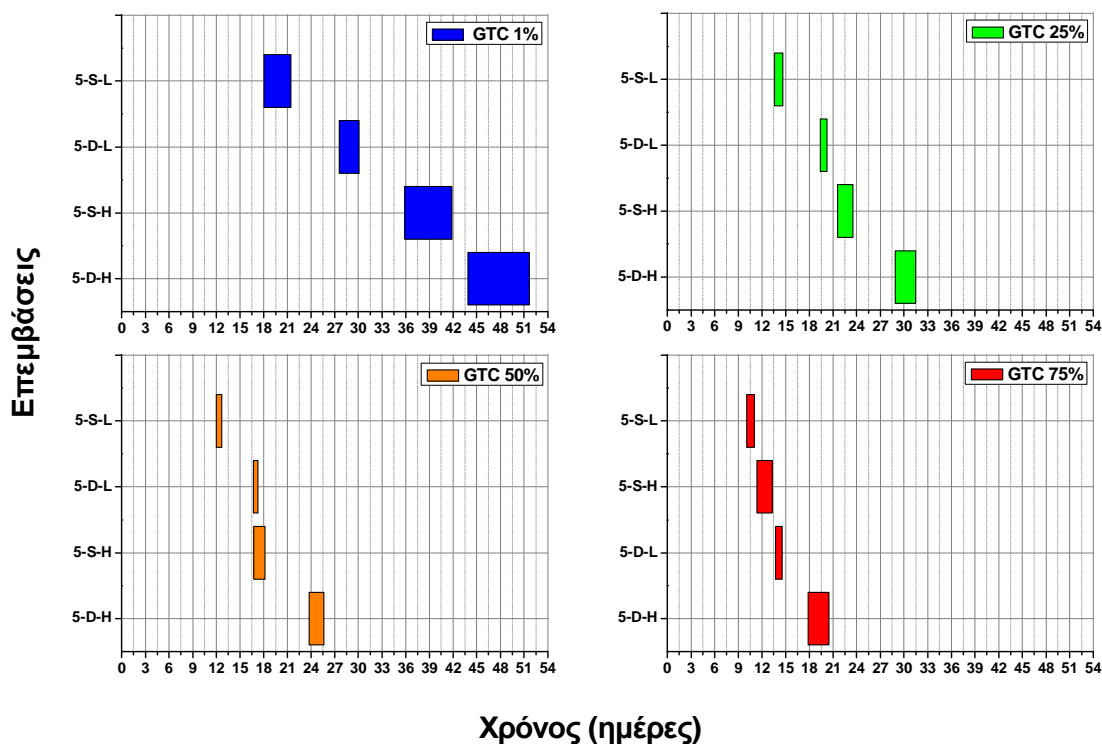


Διάγραμμα 6.23. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{30}:P_{100}:Z_{10}$

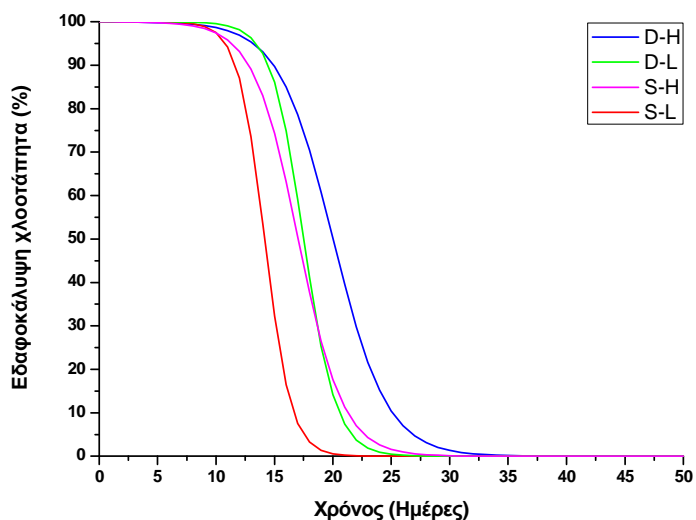


Έτος 2012

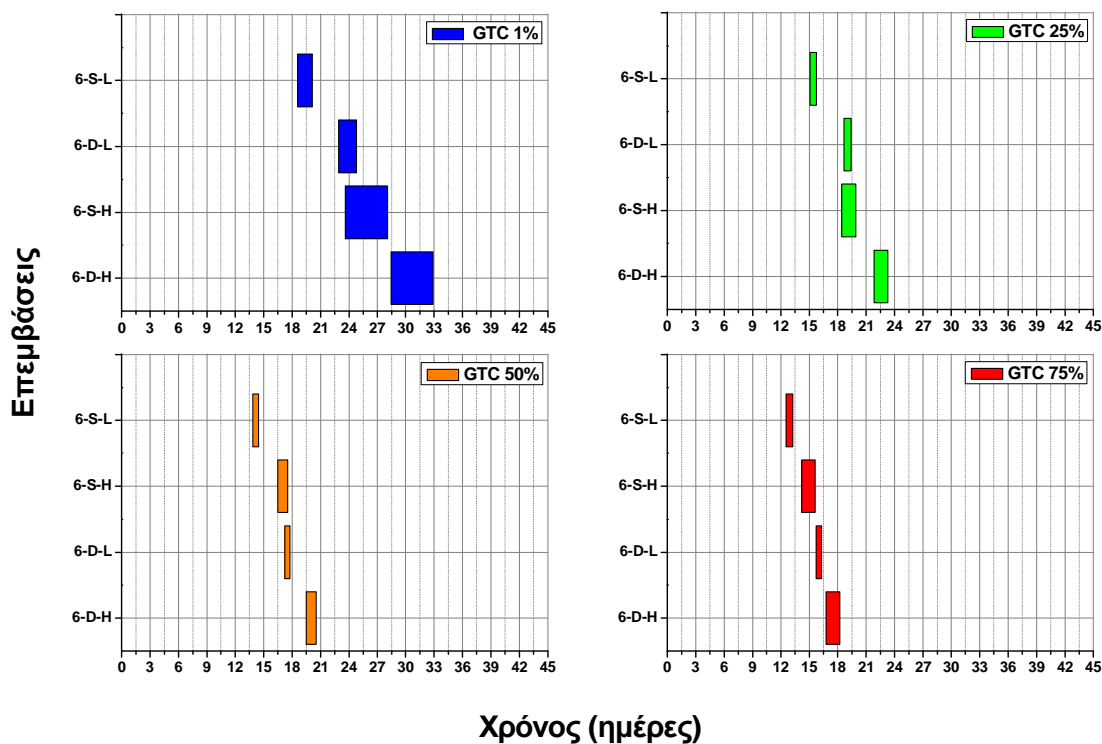


Διάγραμμα 6.24. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{30}:P_{100}:Z_{10}$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P= ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$

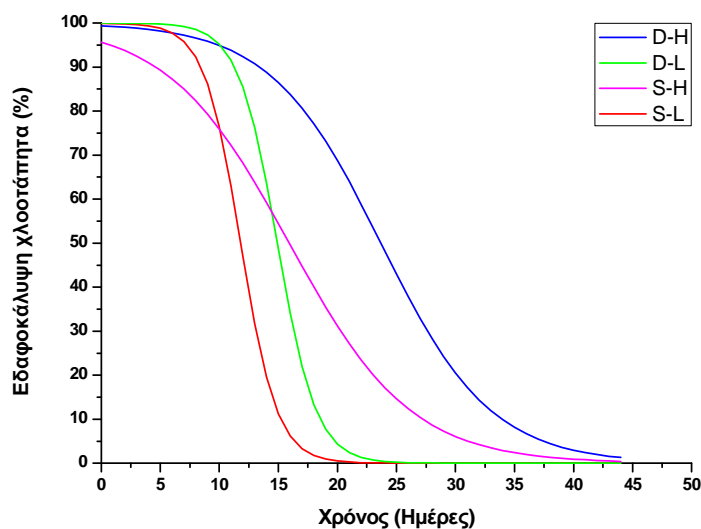


Έτος 2011

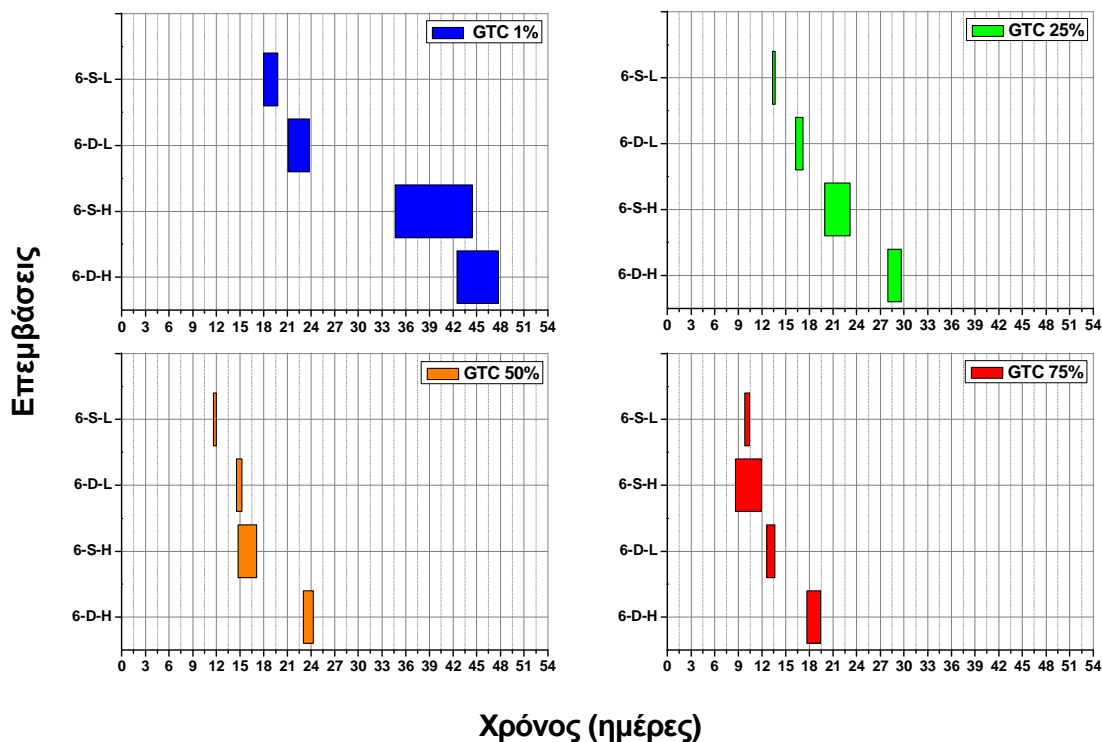


Διάγραμμα 6.25. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

$S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$



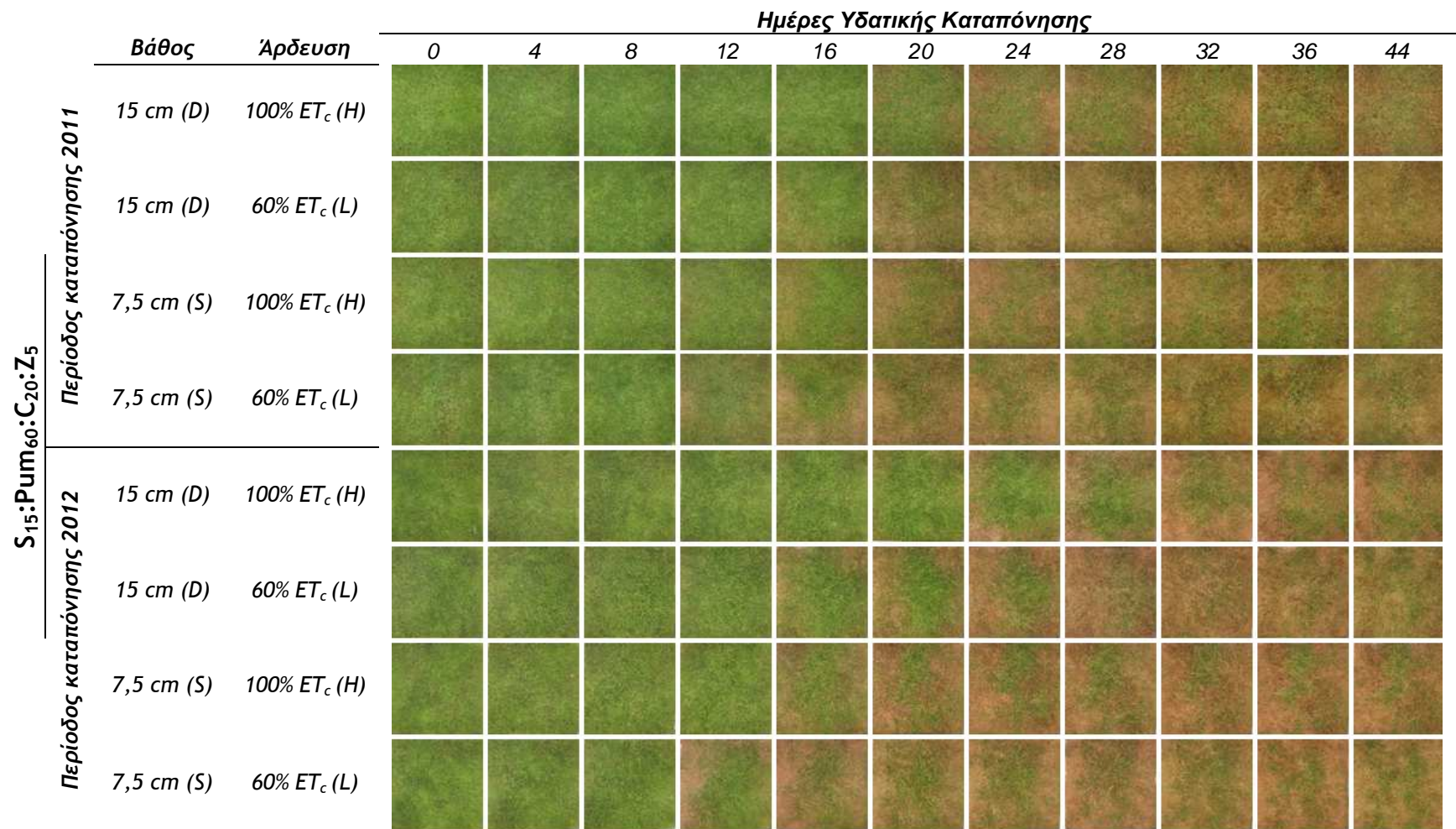
Έτος 2012



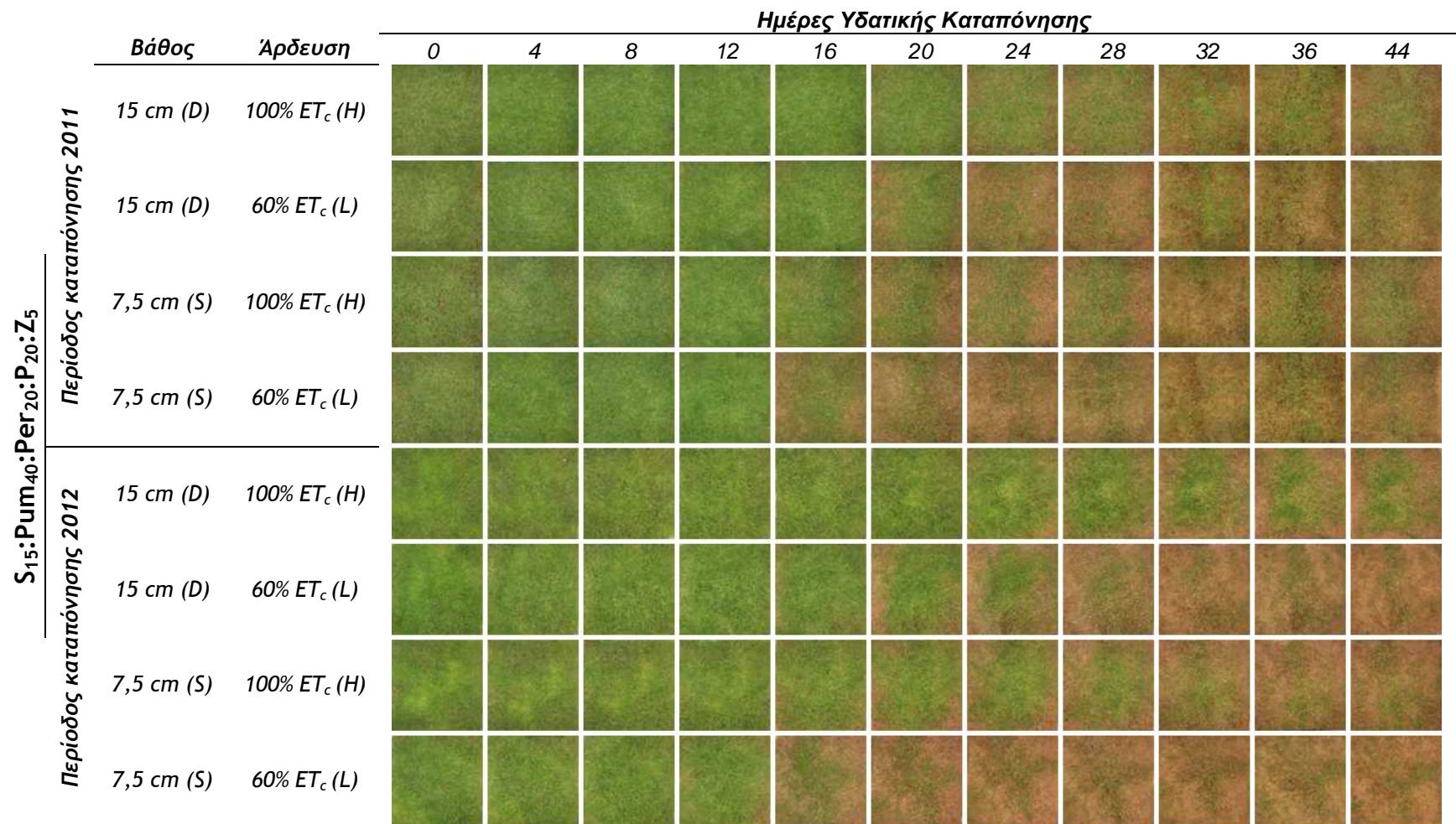
Διάγραμμα 6.26. Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) όπως αυτό επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, C= κομποστό και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι οριζόντιες ράβδοι υποδηλώνουν τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των επεμβάσεων. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

		Ημέρες Υδατικής Καταπόνησης												
Βάθος	Άρδευση	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	44		
S ₁₅ :Pum ₆₀ :P ₂₀ :Z ₅	Περίοδος καταπόνησης 2011	15 cm (D)	100% ET _c (H)											
		15 cm (D)	60% ET _c (L)											
		7,5 cm (S)	100% ET _c (H)											
		7,5 cm (S)	60% ET _c (L)											
S ₁₅ :Pum ₆₀ :P ₂₀ :Z ₅	Περίοδος καταπόνησης 2012	15 cm (D)	100% ET _c (H)											
		15 cm (D)	60% ET _c (L)											
		7,5 cm (S)	100% ET _c (H)											
		7,5 cm (S)	60% ET _c (L)											

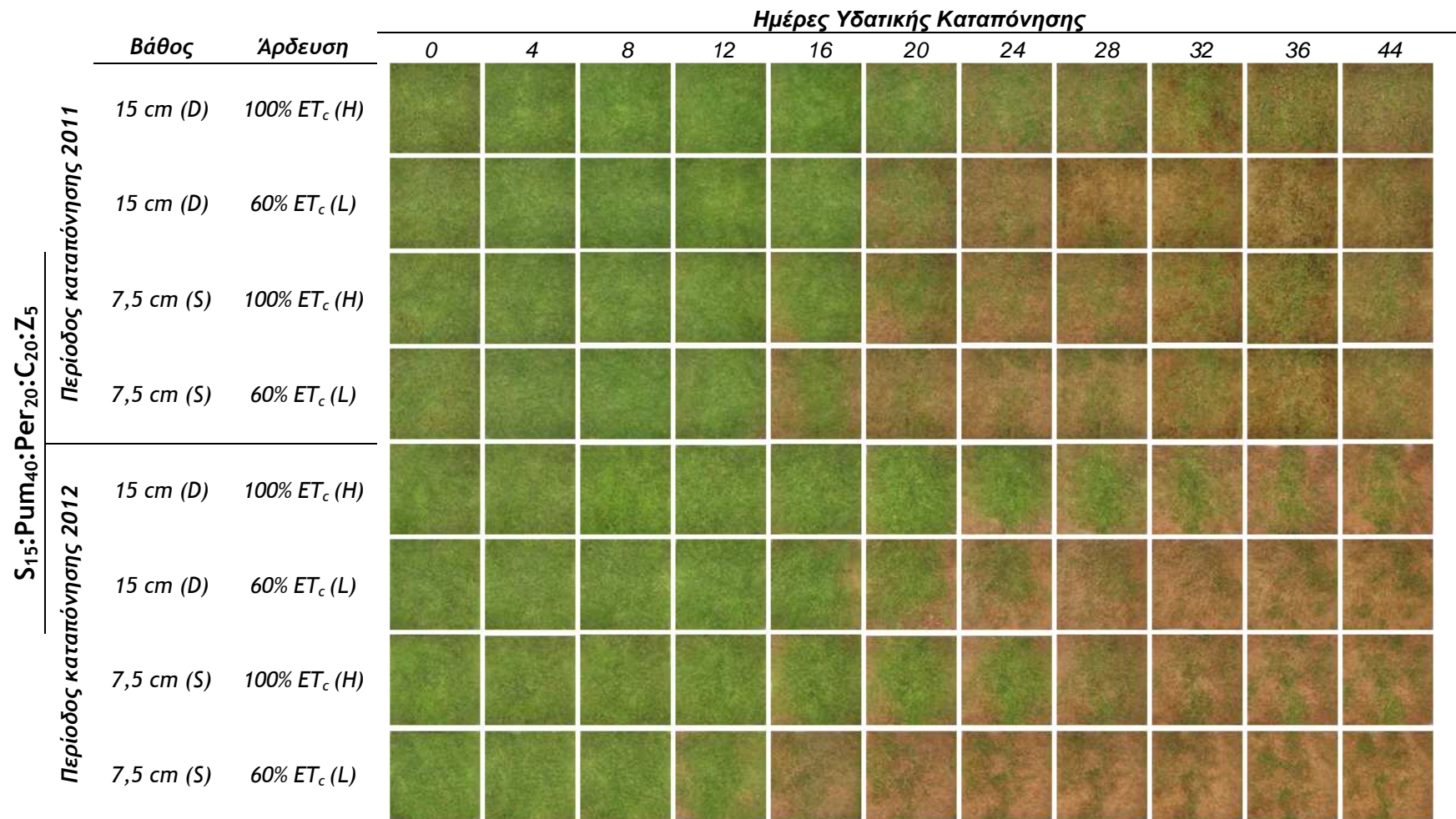
Εικόνα 6.10. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοστάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.



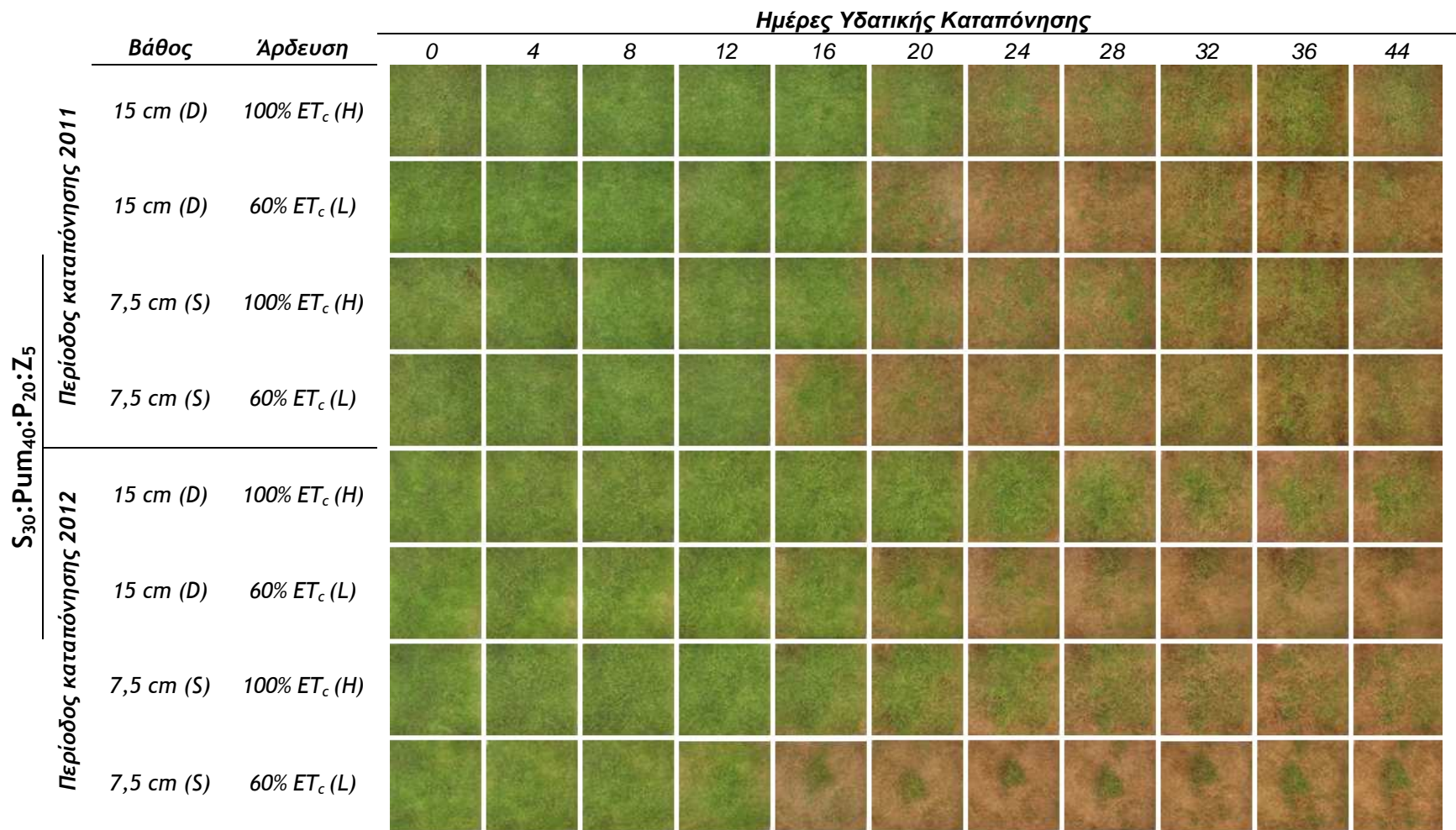
Εικόνα 6.11. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοοτάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅:Ρυμ₆₀:C₂₀:Z₅ όπου (S= αμμοπηλώδες έδαφος, Ρυμ= ελαφρόπετρα, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.



Εικόνα 6.12. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοοτάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅:P_{um}₄₀:P_{er}₂₀:P₂₀:Z₅ όπου (S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.



Εικόνα 6.13. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοσάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.



Εικόνα 6.14. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοοτάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα $S_{30}:P_{10m_{40}}:P_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, $P_{10m_{40}}$ = ελαφρόπετρα, P= τύρφη και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.

		Ημέρες Υδατικής Καταπόνησης												
Βάθος	Άρδευση	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	44		
S ₃₀ :Pum ₄₀ :C ₂₀ :Z ₅	Περίοδος καταπόνησης 2011	15 cm (D)	100% ET _c (H)											
		15 cm (D)	60% ET _c (L)											
		7,5 cm (S)	100% ET _c (H)											
		7,5 cm (S)	60% ET _c (L)											
S ₃₀ :Pum ₄₀ :C ₂₀ :Z ₅	Περίοδος καταπόνησης 2012	15 cm (D)	100% ET _c (H)											
		15 cm (D)	60% ET _c (L)											
		7,5 cm (S)	100% ET _c (H)											
		7,5 cm (S)	60% ET _c (L)											

Εικόνα 6.15. Φωτογραφική απεικόνιση της υδατικής καταπόνησης του κλοοτάπητα όπως επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος-επιπέδου άρδευσης [δύο βάθη υποστρώματος 7,5 cm (S) ή 15 cm (D), σε συνδυασμό με δύο επίπεδα άρδευσης 60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για το υπόστρωμα S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους καταπόνησης 2011 και 2012.

6.3.1.3. Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

Από τη δοκιμασία του F διαπιστώνεται πως οι επεμβάσεις διαφέρουν σημαντικά ως προς την επίδρασή τους στη μεταβολή του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και κατά τις δύο περιόδους καταπόνησης (2011 και 2012). Ως εκ τούτου η μεταβολή του NDVI για κάθε επέμβαση περιγράφεται με διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης (Πίν. 6.8).

Πίνακας 6.8. Αποτελέσματα της δοκιμασίας του F για την επίδραση των επεμβάσεων στον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI) για την κάθε περίοδο υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012).

Περίοδος υδατικής καταπόνησης	2011	2012
Μηδενική υπόθεση	Μια εξίσωση παλινδρόμησης για όλες τις επεμβάσεις	
Εναλλακτική υπόθεση	Διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση	
<i>B.E. επεμβάσεων</i>	92	92
<i>B.E. υπολοίπου</i>	1632	1632
<i>F-value</i>	93,37	100,3
<i>P-value</i>	< 0,0001	< 0,0001

Η συνάρτηση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε για το συσχετισμό του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης και των ημερών καταπόνησης ήταν:

$$NDVI = \beta + (\gamma - \beta) / [1 + 10^{(NDVI_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$$

όπου α = η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης, β = το κατώτερο όριο της σιγμοειδούς καμπύλης, γ = το ανώτερο όριο της σιγμοειδούς καμπύλης και $NDVI_{50}$ = οι μέρες που απαιτούνται προκειμένου η τιμή του NDVI να φθάσει στο 50% της αρχικής του τιμής. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση (α), ανώτερο όριο (β), κατώτερο όριο (γ) και $NDVI_{50}$] των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης στο χρόνο για κάθε επέμβαση παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9. για την περίοδο καταπόνησης 2011 και στον Πίνακα 6.10 για την περίοδο καταπόνησης 2012.

Οι συντελεστές συσχέτισης (R^2) των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του NDVI σε συνάρτηση με το χρόνο είχαν πολύ υψηλές τιμές καταδεικνύοντας ένα υψηλό βαθμό συσχέτισης του NDVI και των ημερών καταπόνησης και κατά τις δύο περιόδους μελέτης. Το 2011 οι τιμές του R^2 κυμαίνονταν από 0,95 έως 0,98, ενώ το 2012 οι τιμές κυμαίνονταν από 0,79 έως 0,99 (Πίν. 6.9 και 6.10).

Το NDVI μειώθηκε 9 με 15 ημέρες μετά την έναρξη επιβολής της υδατικής καταπόνησης στο χλοοτάπητα ανάλογα με την επέμβαση κατά την περίοδο μελέτης

του 2011 (Διάγρ. 6.27), ενώ το 2012 ενδείξεις καταπόνησης μέσω μείωσης των τιμών του NDVI ξεκίνησαν να εμφανίζονται 9 με 21 μέρες μετά την έναρξη της επιβολής υδατικής καταπόνησης στο χλοοτάπητα ανάλογα με την επέμβαση (Διάγρ. 6.28). Από τη σύγκριση των καμπυλών μεταβολής του NDVI και της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) διαπιστώθηκε καθυστέρηση στη μείωση των τιμών του NDVI σε σχέση με αυτές του GTC. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και σε άλλες μελέτες που αφορούσαν την υδατική καταπόνηση θερμόφιλων ειδών χλοοτάπητα (Johnson et al., 2009; Cathey et al., 2011) όπου οι τιμές του NDVI δεν παρουσίασαν μείωση παρά μόνο όταν η καταπόνηση του χλοοτάπητα ήταν ήδη οπτικά εμφανής. Η ταχύτερη μείωση του NDVI το 2011 διαπιστώθηκε και από το μέσο όρο κλίσης των καμπυλών παλινδρόμησης, ο οποίος ισούταν με $-0,2035$ σε σχέση με το μέσο όρο κλίσης των καμπυλών παλινδρόμησης του 2012 ο οποίος είχε τιμή $-0,1461$ (Πίν. 6.9 και 6.10).

Από τη σύγκριση των κατώτερων ορίων των καμπύλων παλινδρόμησης διαπιστώθηκε ότι κατά την περίοδο 2011, οι επεμβάσεις ομαδοποιήθηκαν σε δύο ξεκάθαρες ζώνες τιμών με παράγοντα διαφοροποίησης το επίπεδο της άρδευσης (Διάγρ. 6.27). Πιο συγκεκριμένα, για το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης του 100% ET_c οι τιμές του κατώτερου ορίου των καμπυλών ήταν υψηλότερες και κυμαίνονταν από 0,5995 έως 0,542 σε σχέση με το επίπεδο άρδευσης του 60% ET_c όπου οι τιμές κυμαίνονταν από 0,4963 έως 0,4371 (Πίν. 6.9). Κατά την περίοδο καταπόνησης του 2012 παρατηρήθηκε ομαδοποίηση των επεμβάσεων σε τρεις διακριτές ζώνες (Διάγρ. 6.28): α) τις υψηλότερες τιμές που κυμαίνονταν από 0,6162 έως 0,5153 παρουσίασαν και τα έξι υποστρώματα, όταν συνδυάστηκαν με το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος και το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης, β) στην αμέσως επόμενη ζώνη τιμών η οποία κυμαίνονταν από 0,5609 έως 0,5289 ανήκαν οι επεμβάσεις των έξι υποστρωμάτων σε συνδυασμό με το μικρό βάθος υποστρώματος και το υψηλό επίπεδο άρδευσης, γ) στην τρίτη και τελευταία ζώνη τιμών (0,4792-0,4391) ανήκαν οι υπόλοιπες επεμβάσεις οι οποίες αρδεύονταν με το χαμηλό επίπεδο άρδευσης 60% ET_c ανεξαρτήτως του βάθους του υποστρώματος (Πίν. 6.10). Οι διαφοροποιήσεις αυτές καταδεικνύουν την κυρίαρχη επίδραση του επιπέδου άρδευσης στο κατώτερο όριο των σιγμοειδών καμπυλών καταπόνησης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* καθώς και τη μικρότερη επίδραση του βάθους του υποστρώματος. Τα αποτελέσματα της μελέτης μας είναι σύμφωνα με αυτά των Bañuelos et al. (2011), οι οποίοι διερεύνησαν την επίδραση της ελλειμματικής άρδευσης στην οπτική ποιότητα των ποικιλιών 'Sea Spray', 'Sea Dwarf' και 'Sea Isle 1' του θερμόφιλου χλοοτάπητα *P. vaginatum*. Κατά τη μελέτη τους παρατήρησαν σημαντική μείωση στην οπτική

ποιότητα και των τριών ποικιλιών, όταν η άρδευση μειώθηκε από 100% σε 60% και 40% της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Επίσης, συμπεράναν, πως για τη διατήρηση των χλοοταπήςτων σε αποδεκτά επίπεδα οπτικής ποιότητας η άρδευση θα πρέπει να ισούται με 70%-80% της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς. Στην παρούσα μελέτη τα επίπεδα άρδευσης που εφαρμόστηκαν (100% ET_c και 60% ET_c) ισοδυναμούν με 65% και 39% της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, δεδομένου ότι ο συντελεστής καλλιέργειας (K_c), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας (ET_c), είχε τιμή ίση με 0,65 για το θερμόφιλο είδος χλοοτάπητα *P. vaginatum*, με αποτέλεσμα να παρατηρηθεί ανάλογη μείωση στην οπτική ποιότητα του χλοοτάπητα και για τα δύο επίπεδα άρδευσης.

Ο μέσος όρος του $NDVI_{50}$ για το 2011 ισούταν με 19,95 ημέρες και ήταν ελαφρώς μικρότερος σε σχέση με την τιμή των 21,44 ημερών του 2012. Οι τιμές του $NDVI_{50}$ κυμαίνονταν από 15,22 έως 25,88 ημέρες (διάστημα 10,66 ημερών) για την περίοδο καταπόνησης του 2011 και από 14,24 έως 28,55 ημέρες (διάστημα 14,31 ημερών) για το 2012 (Πίν. 6.9 και 6.10). Το μικρότερο αυτό εύρος τιμών για το 2011 περιόρισε την εμφάνιση διακριτών διαφορών μεταξύ των επεμβάσεων σε σχέση με το 2012. Κατά την περίοδο μελέτης του 2012, οι σημαντικά υψηλότερες τιμές $NDVI_{50}$ και κατ' επέκταση η μικρότερη καταπόνηση παρουσιάστηκε στα έξι υποστρώματα σε βάθος υποστρώματος 15 cm και επίπεδο άρδευσης 100% ET_c . Αντίθετα, οι σημαντικά μικρότερες τιμές $NDVI_{50}$ παρουσιάστηκαν στα έξι υποστρώματα στα αβαθή υποστρώματα 7,5 cm και με επίπεδο άρδευσης 60% ET_c . Οι υπόλοιπες επεμβάσεις παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές. Κατά την υδατική καταπόνηση του 2011 παρουσιάστηκε μια παρόμοια τάση, όσον αφορά την διαβάθμιση των επεμβάσεων, χωρίς όμως η ομαδοποίηση τους να είναι σημαντικά διακριτή όπως το 2012.

Και κατά τις δύο περιόδους μελέτης οι επεμβάσεις με τη μεγαλύτερη αντοχή στην υδατική καταπόνηση, όπως αυτή προσδιορίστηκε από τις μέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου το $NDVI$ να μειωθεί στο 50% της αρχικής του τιμής ήταν τα υποστρώματα που περιείχαν 15% αμμοπηλώδες έδαφος στην σύνθεσή τους [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3) και $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4)] σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 15 cm (D) και επίπεδο άρδευσης 100% ET_c (H). Αντίθετα, τη μικρότερη αντοχή στην υδατική καταπόνηση παρουσίασε το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6) σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 7.5 cm (S) και επίπεδο άρδευσης 60% ET_c (L). Το 2011 οι επεμβάσεις, οι οποίες επέφεραν τη μικρότερη υδατική καταπόνηση στο χλοοτάπητα ήταν οι συνδυασμοί 1-D-H [δηλαδή το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1) σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 15 cm (D) και υψηλή άρδευση 100% ET_c (H)] και 3-D-H

[δηλαδή το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3) με βάθος υποστρώματος 15 cm (D) και υψηλή άρδευση 100% ET_c (H)], για τις οποίες απαιτήθηκαν 10,66 και 10,01 ημέρες παραπάνω προκειμένου το NDVI να μειωθεί κατά 50% σε σύγκριση με την επέμβαση 6-S-L [δηλαδή το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6) σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 7,5 cm (S) και χαμηλή άρδευση 60% ET_c (L)] η οποία επέφερε τη μέγιστη υδατική καταπόνηση στο χλοοτάπητα (Πίν. 6.9). Το έτος 2012, ο συνδυασμός 3-D-H επέφερε και πάλι τη μικρότερη υδατική καταπόνηση στο χλοοτάπητα παρουσιάζοντας μείωση κατά 50% του NDVI 14.31 ημέρες αργότερα από τον συνδυασμό 6-S-L, ο οποίος και πάλι επέφερε τη μέγιστη υδατική καταπόνηση στο χλοοτάπητα.

Πίνακας 6.9. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση, κατώτερο όριο, ανώτερο όριο και NDVI₅₀) των σιγμοειδών καμπύλων μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Μικρότερες τιμές της κλίσης (πιο αρνητικές) υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση του NDVI στο χρόνο. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του NDVI₅₀. (SE: ± τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2011									
Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	Κατώτερο όριο (β)	SE (β)	Ανώτερο όριο (γ)	SE (γ)	NDVI ₅₀	SE (NDVI ₅₀)	Συντελεστής συσχέτισης (R ²)
1-D-H	-0,0963	0,0068	0,5420	0,0051	0,8302	0,0040	25,88	0,35	0,98
3-D-H	-0,0902	0,0082	0,5684	0,0058	0,8234	0,0049	25,23	0,48	0,97
4-D-H	-0,1023	0,0111	0,5654	0,0066	0,8316	0,0059	24,22	0,51	0,96
2-D-H	-0,1108	0,0109	0,5472	0,0061	0,8342	0,0056	23,71	0,43	0,97
3-D-L	-0,1390	0,0112	0,4403	0,0057	0,8232	0,0055	22,73	0,29	0,98
4-D-L	-0,1216	0,0097	0,4495	0,0061	0,8365	0,0060	22,61	0,32	0,98
5-D-H	-0,1391	0,0155	0,5806	0,0051	0,8320	0,0051	22,15	0,40	0,96
1-D-L	-0,1281	0,0118	0,4427	0,0068	0,8350	0,0070	21,89	0,35	0,97
5-D-L	-0,1721	0,0153	0,4579	0,0051	0,8348	0,0056	20,74	0,26	0,98
2-D-L	-0,1291	0,0117	0,4371	0,0066	0,8481	0,0075	20,66	0,34	0,97
3-S-H	-0,1202	0,0144	0,5541	0,0058	0,8197	0,0068	20,32	0,49	0,95
6-D-H	-0,1878	0,0245	0,5995	0,0045	0,8413	0,0051	20,09	0,34	0,96
6-D-L	-0,2541	0,0298	0,4963	0,0045	0,8383	0,0054	19,24	0,22	0,98
4-S-H	-0,2862	0,0346	0,5460	0,0039	0,8201	0,0048	18,66	0,24	0,97
5-S-H	-0,3355	0,0355	0,5769	0,0031	0,8195	0,0038	18,32	0,21	0,98
1-S-H	-0,3197	0,0404	0,5599	0,0040	0,8149	0,0050	18,17	0,27	0,96
6-S-H	-0,3715	0,0490	0,5867	0,0037	0,8287	0,0046	17,67	0,26	0,97
2-S-H	-0,3527	0,0432	0,5636	0,0037	0,8238	0,0046	17,60	0,24	0,97
3-S-L	-0,2672	0,0264	0,4495	0,0044	0,8145	0,0056	17,52	0,21	0,98
4-S-L	-0,2398	0,0248	0,4628	0,0044	0,8179	0,0058	17,18	0,22	0,98
5-S-L	-0,2198	0,0272	0,4801	0,0051	0,8205	0,0069	16,84	0,28	0,97
1-S-L	-0,2463	0,0292	0,4647	0,0043	0,8151	0,0060	16,19	0,21	0,98
2-S-L	-0,2568	0,0404	0,4607	0,0056	0,8254	0,0079	16,01	0,26	0,96
6-S-L	-0,1980	0,0230	0,4643	0,0051	0,8308	0,0080	15,22	0,29	0,97
Μέσος όρος	-0,2035		0,5123		0,8275		19,95		0,97

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ (1), S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ (2), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅ (3), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ (4), S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀ (5), S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀ (6)], όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α, β, γ και NDVI₅₀ αντιστοιχούν στην κλίση, στο κατώτερο όριο, στο ανώτερο όριο και στις ημέρες που απαιτούνται προκειμένου το NDVI να ισούται με το 50% της αρχικής του τιμής στη σιγμοειδή καμπύλη παλινδρόμησης: $NDVI = B + (\gamma - B) / [1 + 10^{(NDVI_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$.

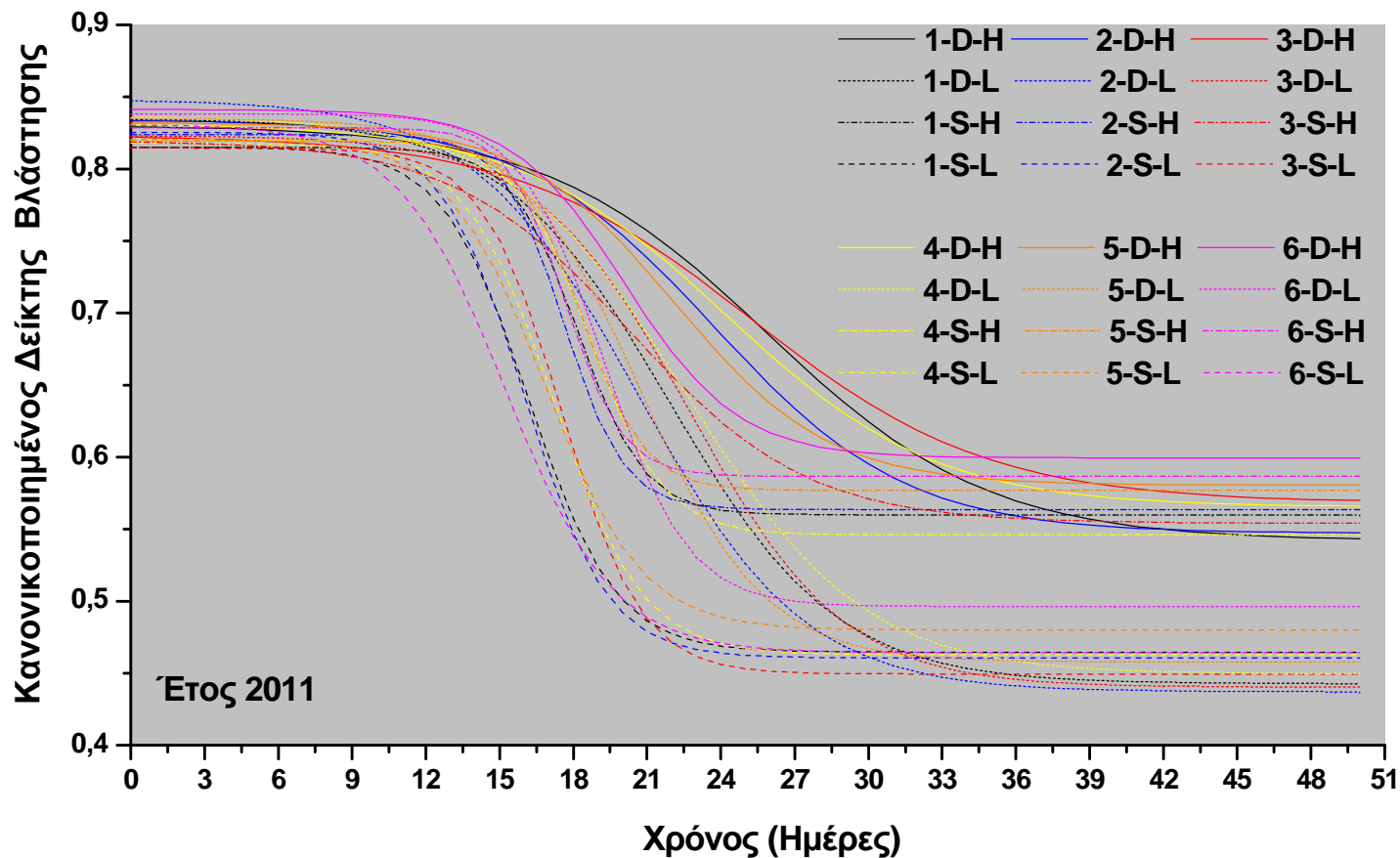
Πίνακας 6.10. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση, κατώτερο όριο, ανώτερο όριο και NDVI₅₀) των σιγμοειδών καμπύλων μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Μικρότερες τιμές της κλίσης (πιο αρνητικές) υποδηλώνουν ταχύτερη μείωση του NDVI στο χρόνο. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του NDVI₅₀. (SE: ± τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2012									
Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	Κατώτερο όριο (β)	SE (β)	Ανώτερο όριο (γ)	SE (γ)	NDVI ₅₀	SE (NDVI ₅₀)	Συντελεστής συσχέτισης (R ²)
3-D-H	-0,1334	0,0176	0,5848	0,0073	0,8057	0,0041	28,55	0,49	0,95
1-D-H	-0,1305	0,0154	0,5946	0,0059	0,8080	0,0038	27,10	0,44	0,96
2-D-H	-0,1587	0,0165	0,5753	0,0051	0,8164	0,0035	27,04	0,32	0,97
4-D-H	-0,1662	0,0303	0,5885	0,0080	0,8114	0,0056	27,04	0,54	0,91
5-D-H	-0,1307	0,0276	0,5844	0,0105	0,8005	0,0071	26,66	0,79	0,88
6-D-H	-0,1622	0,0211	0,6162	0,0050	0,8175	0,0038	25,84	0,40	0,95
3-D-L	-0,1672	0,0078	0,4417	0,0031	0,8166	0,0026	24,57	0,14	0,99
3-S-H	-0,1458	0,0169	0,5382	0,0058	0,8024	0,0050	23,86	0,39	0,96
1-D-L	-0,1472	0,0092	0,4499	0,0042	0,8103	0,0037	23,72	0,21	0,99
4-D-L	-0,1437	0,0131	0,4704	0,0059	0,8203	0,0054	23,16	0,31	0,98
4-S-H	-0,1237	0,0204	0,5609	0,0082	0,8147	0,0079	22,50	0,64	0,92
5-D-L	-0,1206	0,0081	0,4391	0,0050	0,8143	0,0049	22,23	0,27	0,99
2-D-L	-0,1223	0,0105	0,4678	0,0059	0,8369	0,0064	21,08	0,34	0,98
5-S-H	-0,0946	0,0113	0,5289	0,0072	0,8125	0,0080	21,02	0,57	0,96
1-S-H	-0,1016	0,0094	0,5386	0,0053	0,8174	0,0059	20,88	0,42	0,97
2-S-H	-0,1045	0,0184	0,5438	0,0095	0,8265	0,0117	19,90	0,79	0,91
6-D-L	-0,1167	0,0079	0,4792	0,0043	0,8292	0,0052	19,77	0,28	0,99
6-S-H	-0,0970	0,0271	0,5411	0,0143	0,8203	0,0210	18,35	1,34	0,79
3-S-L	-0,1913	0,0272	0,4512	0,0065	0,8204	0,0096	16,26	0,36	0,95
4-S-L	-0,1925	0,0209	0,4556	0,0050	0,8296	0,0075	15,91	0,27	0,97
1-S-L	-0,1703	0,0187	0,4463	0,0054	0,8267	0,0087	15,38	0,32	0,97
5-S-L	-0,2183	0,0310	0,4525	0,0059	0,8107	0,0094	14,81	0,33	0,95
2-S-L	-0,1806	0,0206	0,4696	0,0052	0,8356	0,0087	14,70	0,32	0,97
6-S-L	-0,1862	0,0205	0,4546	0,0051	0,8354	0,0089	14,24	0,30	0,97
Μέσος όρος	-0,1461		0,5114		0,8183		21,44		0,95

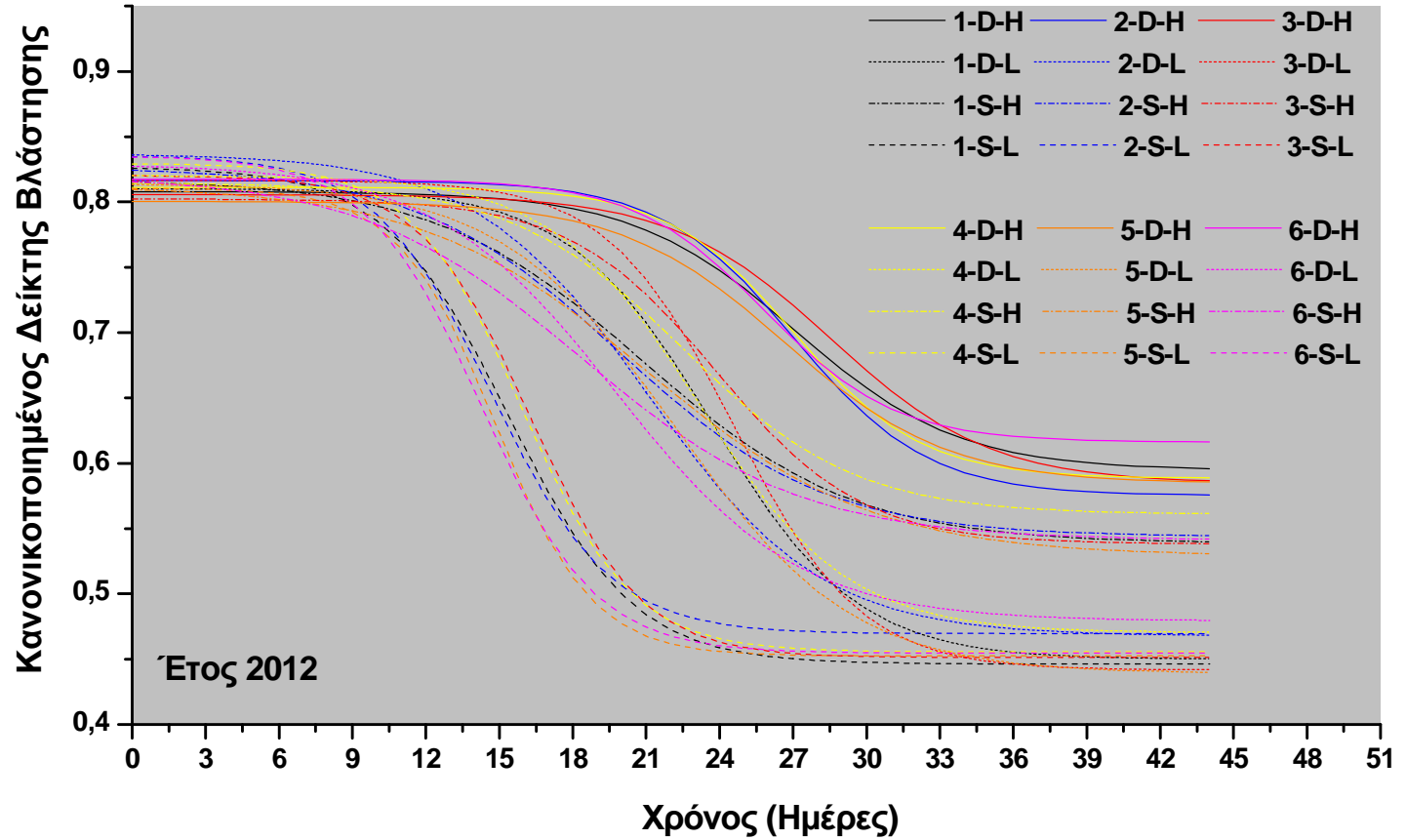
[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ (1), S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ (2), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅ (3), S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:C₂₀:Z₅ (4), S₃₀:Pum₄₀:P₂₀:Z₁₀ (5), S₃₀:Pum₄₀:C₂₀:Z₁₀ (6)], όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α, β, γ και NDVI₅₀ αντιστοιχούν στην κλίση, στο κατώτερο όριο, στο ανώτερο όριο και στις ημέρες που απαιτούνται προκειμένου το NDVI να ισούται με το 50% της αρχικής του τιμής στη σιγμοειδή καμπύλη παλινδρόμησης: $NDVI = B + (\gamma - B) / [1 + 10^{(NDVI_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$.

Διάγραμμα 6.27.
 Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6)], όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].



Διάγραμμα 6.28.
 Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο καταπόνησης 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6)], όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].



6.3.2. Ανάκαμψη μετά την υδατική καταπόνηση κατά τη φθινοπωρινή περίοδο

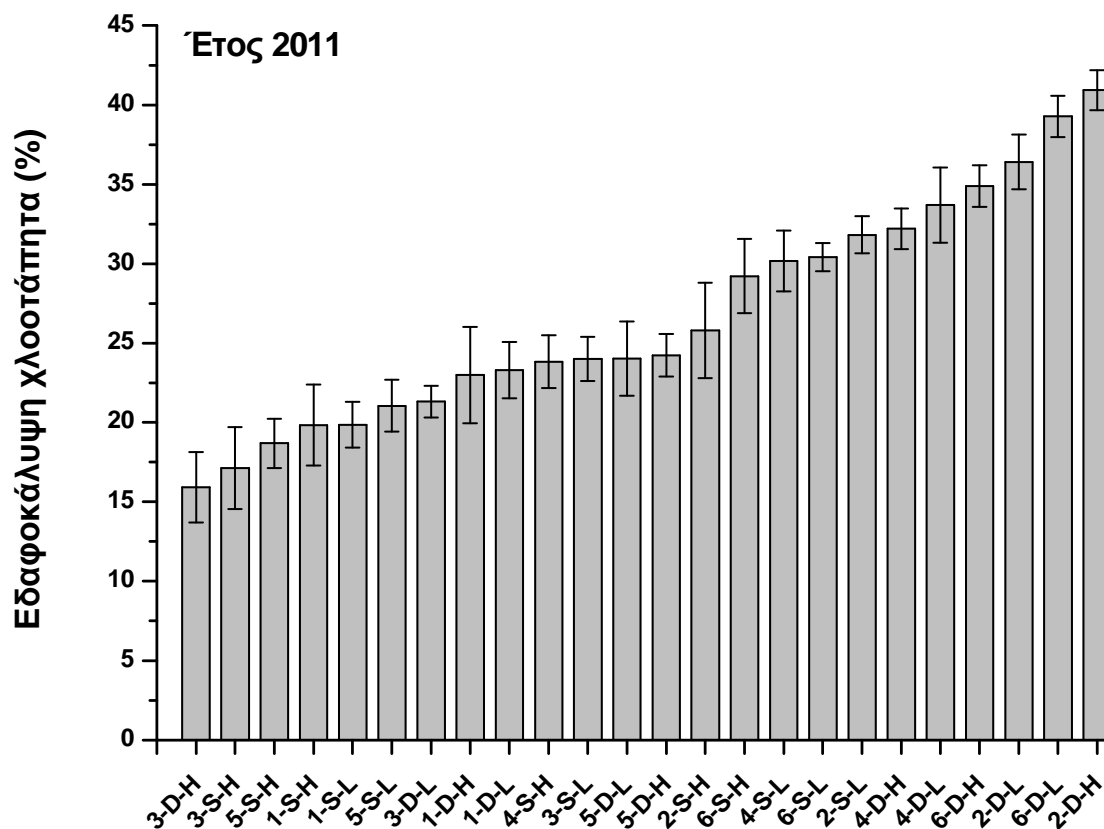
Το τέλος και των δύο περιόδων καταπόνησης συνέπεσε με την εμφάνιση της πρώτης φθινοπωρινής βροχόπτωσης. Το έτος 2011 η υδατική καταπόνηση ολοκληρώθηκε την 21^η Σεπτεμβρίου, ενώ το έτος 2012 την 8^η Σεπτεμβρίου. Από τη λήξη της καταπόνησης και μετά, εφαρμοζόταν καθημερινή άρδευση στο χλοοτάπητα σε επαρκής ποσότητες. Προκειμένου να διερευνηθεί η δυνατότητα ανάκαμψης του χλοοτάπητα *P. vaginatum* στις διάφορες επεμβάσεις πραγματοποιήθηκε μια μέτρηση του ποσοστού εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC) σε κάθε έτος, τον Οκτώβριο λίγο πριν ο χλοοτάπητας αρχίσει να εισέρχεται σε χειμερινό λήθαργο.

Κατά την περίοδο επαναφοράς του χλοοτάπητα το έτος 2011, προσδιορίστηκε το ποσοστό εδαφοκάλυψης 23 ημέρες μετά τη λήξη της υδατικής καταπόνησης (14 Οκτωβρίου 2011), ενώ το 2012 το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα προσδιορίστηκε στις 9 Οκτωβρίου, 31 ημέρες μετά τη λήξη της υδατικής καταπόνησης. Και στα δύο έτη της μελέτης, ο χλοοτάπητας ανέκαμψε μόνο μερικώς σε όλες τις επεμβάσεις, όπως υποδεικνύεται από τις μετρήσεις του GTC, το οποίο κυμάνθηκε από 15,93% έως 40,93% το έτος 2011 και από 14,33% έως 36,67% το έτος 2012 (Διάγρ. 6.29 και 6.30). Τα ποσοστά αυτά είναι σχετικά μικρότερα με τα αναφερόμενα από τους Severmutlu et al. (2011) οι οποίοι παρατήρησαν ποσοστό εδαφοκάλυψης στο χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Sea Spray' κατά την επαναφορά του μετά από υδατική καταπόνηση ίσο με 50% σε μόλις 21 ημέρες, ενώ το ποσοστό εδαφοκάλυψης ανήλθε στο 63% στις 30 ημέρες επαναφοράς. Οι διαφορές αυτές σε σχέση με την παρούσα μελέτη οφείλονται στο γεγονός πως η μελέτη των Severmutlu et al. (2011) πραγματοποιήθηκε σε έδαφος χωρίς κάποιο περιορισμό στο βάθος, ενώ εφαρμόστηκε και λίπανση πριν την έναρξη της επαναφοράς. Αντίθετα στην παρούσα μελέτη το βάθος του υποστρώματος αποτελούσε περιοριστικό παράγοντα και δεν εφαρμόστηκε καμία λίπανση.

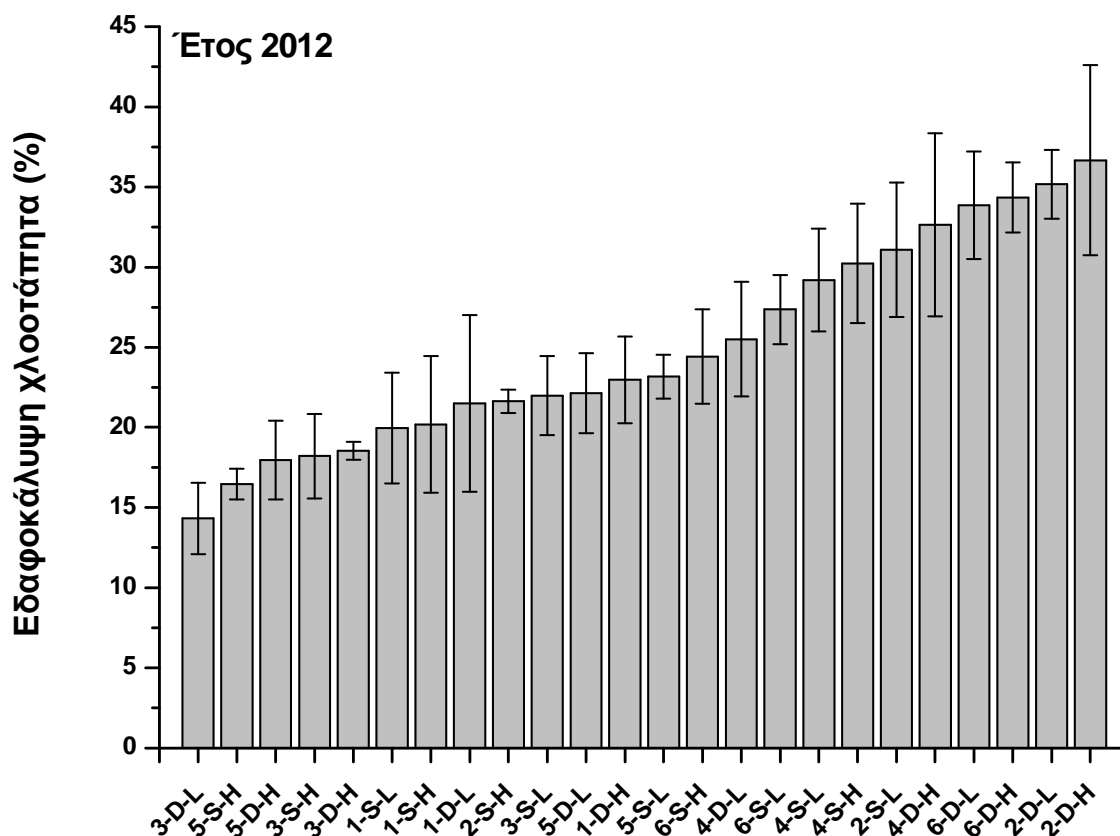
Από την ανάλυση των δεδομένων προκύπτει ένας σαφής διαχωρισμός των επεμβάσεων βάση του τύπου του υποστρώματος και για τις δύο φθινοπωρινές περιόδους επαναφοράς του χλοοτάπητα. Τα μεγαλύτερα ποσοστά εδαφοκάλυψης επετεύχθησαν από τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους [$S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4) και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6)], ενώ τα μικρότερα ποσοστά εδαφοκάλυψης παρατηρήθηκαν στα υποστρώματα, τα οποία είχαν τύρφη ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό στη σύνθεσή τους [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3) και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5)].

Διάφοροι ερευνητές αναφέρουν ότι σε μελέτες επαναφοράς μετά από υδατική καταπόνηση διαφόρων ποικιλιών θερμόφιλων και ψυχρόφιλων χλοοταπήτων, παρατήρησαν πως οι ποικιλίες οι οποίες παρουσίασαν υψηλότερη αντοχή σε συνθήκες ξηρασίας ήταν και αυτές που παρουσίασαν και την ταχύτερη επαναφορά όταν η άρδευση επανήλθε σε επαρκή επίπεδα (Karcher et al., 2008; Richardson et al., 2008; Steinke et al., 2010). Στην παρούσα μελέτη, τα αποτελέσματα από την επαναφορά του χλοοτάπητα, όσον αφορά τον τύπο του υποστρώματος έρχονται σε αντίθεση με αυτά που παρατηρήθηκαν κατά τις περιόδους υδατικής καταπόνησης όπου τα υψηλότερα ποσοστά εδαφοκάλυψης παρουσίασαν κατά κύριο λόγο τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους. (Διάγρ. 6.11 και 6.13). Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων επαναφοράς τα πειραματικά τεμάχια αρδεύονταν κανονικά και ο μόνος περιοριστικός παράγοντας ήταν η περιεκτικότητα των υποστρωμάτων σε θρεπτικά στοιχεία. Ως αποτέλεσμα, τα υποστρώματα τα οποία περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους και κατ' επέκταση αυξημένη περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία όπως φαίνεται και από την ανάλυσή τους στον Πίνακα 6.1 βελτίωσαν σημαντικά την εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των περιόδων ελλειμματικής άρδευσης η διαθεσιμότητα υγρασίας στο υπόστρωμα, η οποία ήταν μεγαλύτερη στα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη, αποτέλεσε τον πιο περιοριστικό παράγοντα (Διάγρ. 6.5 και 6.7). Η ευεργετική επίδραση της υψηλής συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων του υποστρώματος στην ταχύτητα και το ποσοστό της εδαφοκάλυψης καθώς και στην ανάπτυξη του χλοοτάπητα *P. vaginatum* έχει αναφερθεί από διάφορους μελετητές. Οι Rowland et al. (2010) σε μελέτη που αφορούσε την αξιολόγηση της επίδρασης διαφόρων επιπέδων αζωτούχου και καλιούχου λίπανσης στην εγκατάσταση και ανάπτυξη θερμόφιλων ειδών χλοοταπήτων, διαπίστωσαν πως η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Sea Dwarf' καθυστέρησε να φτάσει σε επίπεδα άνω του 90% κατά επτά ημέρες, όταν η αζωτούχος λίπανση μειώθηκε από 2,4 g N m⁻² σε 1,2 g N m⁻². Επίσης οι Trenholm et al. (2001) παρατήρησαν βελτίωση στην ανάπτυξη, την πυκνότητα, την οπτική ποιότητα και το χρώμα σε δύο οικότυπους του *P. vaginatum*, όταν η αζωτούχος λίπανση αυξήθηκε από 196 kg·ha⁻¹ σε 392 kg·ha⁻¹.

Όσον αφορά την επίδραση του βάθους του υποστρώματος, αν και διαπιστώθηκε μια τάση όπου τα μεγαλύτερα ποσοστά της εδαφοκάλυψης να παρατηρούνται στα βαθύτερα υποστρώματα, οι διαφορές μεταξύ των 7,5 cm και 15 cm βάθους υποστρώματος δεν ήταν συνεπείς μεταξύ των επεμβάσεων και ως εκ τούτου δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή και σημαντικά συμπεράσματα.



Διάγραμμα 6.29. Ανάκαμψη μετά τη λήξη της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα, όπως αυτή υποδεικνύεται από τις μετρήσεις εδαφοκάλυψης (%) κατά τη 14^η Οκτωβρίου 2011. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων ανά επέμβαση και οι ράβδοι το τυπικό σφάλμα σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.



Διάγραμμα 6.30. Ανάκαμψη μετά τη λήξη της υδατικής καταπόνησης του χλοοτάπητα, όπως αυτή υποδεικνύεται από τις μετρήσεις εδαφοκάλυψης (%) κατά την 9^η Οκτωβρίου 2012. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο 6 επαναλήψεων ανά επέμβαση και οι ράβδοι το τυπικό σφάλμα σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

6.3.3. Ανάκαμψη μετά τον χειμερινό λήθαργο

Από τα αποτελέσματα της δοκιμασίας του F όσον αφορά την επίδραση των επεμβάσεων στην μεταβολή του ποσοστού εδαφοκάλυψης διαπιστώθηκε πως διαφέρουν σημαντικά και στις δύο περιόδους ανάκαμψης (2011 και 2012) μετά την παρέλευση του χειμερινού λήθαργου. Ως εκ τούτου χρησιμοποιήθηκε διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση προκειμένου να συσχετιστούν τα δεδομένα εδαφοκάλυψης με τις ημέρες επαναφοράς (Πίν. 5.11).

Πίνακας 6.11. Αποτελέσματα της δοκιμασίας του F για την επίδραση των επεμβάσεων στο ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC) κατά την αναβλάστησή του μετά το χειμερινό λήθαργο τις εαρινές περιόδους 2012 και 2013.

Περίοδος υδατικής καταπόνησης	2012	2013
Μηδενική υπόθεση	Μια εξίσωση παλινδρόμησης για όλες τις επεμβάσεις	
Εναλλακτική υπόθεση	Διαφορετική εξίσωση παλινδρόμησης για κάθε επέμβαση	
<i>B. E. επεμβάσεων</i>	46	46
<i>B. E. υπολοίπου</i>	960	960
<i>F-value</i>	23,64	26,06
<i>P-value</i>	< 0,0001	< 0,0001

Η συνάρτηση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης που χρησιμοποιήθηκε για το συσχετισμό του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα και των ημερών επαναφοράς, ήταν όμοια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε κατά τη μελέτη καταπόνησης του χλοοτάπητα:

$$GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \text{ημέρες}) \cdot a}]$$

όπου a = η κλίση της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης και GTC_{50} = οι μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με 50%. Οι τιμές των παραμέτρων [κλίση(a) και GTC_{50}] των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.12 για την περίοδο επαναφοράς μετά το χειμερινό λήθαργο του 2012 και στον Πίνακα 6.13 για την περίοδο επαναφοράς μετά το χειμερινό λήθαργο του 2013. Σε αντίθεση με τις περιόδους καταπόνησης, όπου οι κλίσεις των καμπυλών είχαν αρνητικές τιμές, στην περίπτωση της επαναφοράς και ανάπτυξης του χλοοτάπητα οι κλίσεις είχαν θετικές τιμές, όπου οι κλίσεις με μεγαλύτερες τιμές αντιστοιχούν σε ταχύτερη αύξηση του ποσοστού της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα.

Οι σιγμοειδείς καμπύλες που δημιουργήθηκαν για την πρόβλεψη της μεταβολής της εδαφοκάλυψης των επεμβάσεων σε συνάρτηση με τον χρόνο παρουσίασαν πολύ υψηλή συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού εδαφοκάλυψης και των

ημερών επαναφοράς του χλοοτάπητα και κατά τις δύο περιόδους μελέτης με συντελεστές συσχέτισης (R^2) που κυμαίνονταν από 0,92 έως 0,99 για την πρώτη περίοδο επαναφοράς (2012) και από 0,90 έως 0,99 για την δεύτερη περίοδο επαναφοράς (2013) (Πίν. 6.12 και 6.13).

Από τη σύγκριση των σιγμοειδών καμπυλών των επεμβάσεων μεταξύ των δυο περιόδων επαναφοράς διαπιστώθηκε πως ο ρυθμός επαναφοράς του χλοοτάπητα ήταν παρόμοιος, γεγονός που άλλωστε επιβεβαιώνεται και από τους μέσους όρους των κλίσεων, οι οποίοι είχαν τιμές 0,0351 και 0,0337 για το 2012 και 2013 αντίστοιχα (Διάγρ. 6.31 και 6.33, Πίν. 6.12 και 6.13). Παρ' όλο τον παρόμοιο ρυθμό μεταβολής της εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα μεταξύ των δύο ετών, ο μέσος όρος του GTC_{50} διέφερε σημαντικά έχοντας τιμή 45,21 ημέρες το 2012 και 64,70 ημέρες το 2013, μία διαφορά δηλαδή σχεδόν 20 ημερών. Οι τιμές του GTC_{50} κυμάνθηκαν από 32,12 έως 57,06 ημέρες (διάστημα 24,94 ημερών) κατά την περίοδο επαναφοράς το 2012, ενώ το 2013 οι τιμές κυμάνθηκαν από 44,44 έως 81,33 ημέρες (διάστημα 36,89 ημερών).

Από τη σύγκριση των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95% για τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου η εδαφοκάλυψη να φτάσει στο 50% διαπιστώθηκε και στα δύο έτη μελέτης μία διαφοροποίηση των επεμβάσεων σε δύο διακριτές ομάδες η οποία βασίζονταν στο είδος του οργανικού εδαφοβελτιωτικού που περιείχαν τα υποστρώματα στη σύνθεσή τους και ήταν ανεξάρτητη από το βάθος του υποστρώματος και του επιπέδου άρδευσης κατά την περίοδο υδατικής καταπόνησης. Πιο συγκεκριμένα, ταχύτερη εδαφοκάλυψη παρατηρήθηκε στις επεμβάσεις εκείνες στις οποίες το υπόστρωμα περιείχε κομπόστ [$S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4) και $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6)] στη σύνθεσή του, ενώ στις επεμβάσεις που το υπόστρωμα περιείχε τύρφη ως οργανικό εδαφοβελτιωτικό [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3) και $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5)] απαιτήθηκαν περισσότερες ημέρες προκειμένου η εδαφοκάλυψη να φτάσει στο 50% (Διάγρ. 6.32 και 6.34, Εικ. 6.16-6.18). Παρόμοια συμπεριφορά παρουσίασαν οι επεμβάσεις και για τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου το ποσοστό εδαφοκάλυψης να φτάσει στο 25% και 75% και για τις δύο περιόδους επαναφοράς. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με αυτά που παρατηρήθηκαν κατά τις επαναφορές του χλοοτάπητα μετά τη λήξη των δύο καταπονήσεων, το φθινόπωρο του 2011 και 2012. Όπως γίνεται κατανοητό, στις περιόδους επαναφοράς όπου ο χλοοτάπητας αρδευόταν κανονικά το μόνο περιοριστικό παράγοντα αποτέλεσε η περιεκτικότητα των υποστρωμάτων σε θρεπτικά στοιχεία (Πίν. 6.1). Ως εκ τούτου, τα υποστρώματα που

περιείχαν κομπόστ και κατ' επέκταση περισσότερα θρεπτικά στοιχεία ευνόησαν την ταχύτερη εδαφοκάλυψη σε σχέση με αυτά που περιείχαν τύρφη.

Η επέμβαση που παρουσίασε την ταχύτερη κάλυψη με χλοοτάπητα των πειραματικών τεμαχίων όπως αυτή προσδιορίστηκε από τις ημέρες που απαιτήθηκαν προκειμένου το ποσοστό εδαφοκάλυψης να φτάσει στο 95% ήταν ο συνδυασμός 6-S-H [δηλαδή το υπόστρωμα $S_{30}:P_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6) σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 7,5 cm (S) και υψηλή άρδευση 100% ET_c (H)] με 50,13 ημέρες επαναφοράς το 2012 και 72,17 ημέρες επαναφοράς το 2013. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με την μελέτη των Voltterrani et al. (2008), οι οποίοι αναφέρουν πως ο χλοοτάπητας *P. vaginatum* 'Sea Spray' παρουσίασε πλήρη κάλυψη μετά από περίπου 65 ημέρες. Οι Geren et al. (2009) αναφέρουν σε μελέτη τους που πραγματοποιήθηκε στη Σμύρνη (Τουρκία) υπό μεσογειακές κλιματικές συνθήκες, ότι ο χλοοτάπητας *P. vaginatum* 'Sea Spray' κατά την ανάκαμψή του μετά από χειμερινό λήθαργο παρουσίασε κατά το πέρας της άνοιξης εδαφοκάλυψη ίση με 78% και 82% αντίστοιχα για τα δύο έτη μελέτης. Στη μελέτη μας σε ανάλογο χρονικό σημείο η εδαφοκάλυψη κυμαίνονταν από 55% έως 95% ανάλογα με την επέμβαση για την περίοδο επαναφοράς του 2012 και από 15% έως 85% κατά την περίοδο επαναφοράς του 2013. Τέλος, οι Rimi et al. (2013) σε μελέτη τους που αφορούσε την επίδραση του επιπέδου της αζωτούχου λίπανσης καθώς και του χρόνου εφαρμογής της στην επαναφορά θερμοφίλων ειδών χλοοταπήτων μετά από το χειμερινό λήθαργο, αναφέρουν μία περίοδο πλήρους επαναφοράς του *P. vaginatum* 'Sea Spray' ίση με 90 ημέρες, κατά την οποία όμως ο χλοοτάπητας δεν αρδεύονταν.

Το 2012 η επέμβαση 1-D-L [δηλαδή το υπόστρωμα $S_{15}:P_{60}:P_{20}:Z_5$ (1) σε συνδυασμό με βάθος υποστρώματος 15 cm (D) και χαμηλή άρδευση 60% ET_c (L)] παρουσίασε τον πιο αργό ρυθμό εδαφοκάλυψης απαιτώντας 112,75 ημέρες για κάλυψη των πειραματικών τεμαχίων σε ποσοστό 95%, ενώ κατά το 2013 ήταν μεταξύ των χειρότερων επεμβάσεων απαιτώντας 113,65 ημέρες προκειμένου να επιτύχει εδαφοκάλυψη σε ποσοστό 95%.

Πίνακας 6.12. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση και GTC_{50}) των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο επαναφοράς του 2012, μετά το χειμερινό λήθαργο. Μεγαλύτερες τιμές της κλίσης υποδηλώνουν ταχύτερη αύξηση του ποσοστού της εδαφοκάλυψης πράσινου χλοοτάπητα στο χρόνο. Το GTC_{50} αντιστοιχεί στις μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με 50%. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του GTC_{50} . (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2012

Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	GTC_{50}	SE (GTC_{50})	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
6-D-H	0,0710	0,0043	32,12	0,43	0,99
4-D-H	0,0668	0,0047	33,02	0,49	0,99
2-D-H	0,0393	0,0027	33,50	0,79	0,98
6-D-L	0,0663	0,0053	33,67	0,53	0,98
6-S-H	0,0514	0,0047	35,74	0,79	0,97
4-D-L	0,0384	0,0028	37,28	0,88	0,98
4-S-H	0,0341	0,0032	40,22	1,34	0,95
2-D-L	0,0295	0,0018	42,05	1,03	0,97
6-S-L	0,0350	0,0027	42,75	1,10	0,97
5-D-H	0,0272	0,0018	43,06	1,21	0,97
2-S-H	0,0292	0,0026	43,23	1,48	0,95
4-S-L	0,0312	0,0027	44,42	1,37	0,96
1-D-H	0,0242	0,0023	46,45	1,90	0,92
2-S-L	0,0290	0,0020	47,69	1,22	0,97
5-D-L	0,0258	0,0020	49,24	1,49	0,95
5-S-H	0,0298	0,0016	50,21	0,95	0,98
3-D-H	0,0263	0,0021	50,63	1,57	0,95
1-S-H	0,0251	0,0019	52,30	1,52	0,95
3-S-H	0,0268	0,0022	52,49	1,60	0,95
5-S-L	0,0291	0,0020	53,07	1,25	0,97
3-D-L	0,0253	0,0022	53,15	1,77	0,94
3-S-L	0,0275	0,0023	54,87	1,59	0,95
1-S-L	0,0301	0,0021	56,79	1,21	0,97
1-D-L	0,0230	0,0019	57,06	1,83	0,93
Μέσος όρος	0,0351		45,21		0,96

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α και GTC_{50} αντιστοιχούν στην κλίση και στις ημέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με το 50% της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης:
 $GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{-(GTC_{50} - \text{ημέρες})\alpha}]$

Πίνακας 6.13. Οι τιμές των παραμέτρων (κλίση και GTC_{50}) των σιγμοειδών καμπυλών μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης των πράσινων τμημάτων του χλοοτάπητα (GTC) σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο επαναφοράς του 2013, μετά το χειμερινό λήθαργο. Μεγαλύτερες τιμές της κλίσης υποδηλώνουν ταχύτερη αύξηση του ποσοστού της εδαφοκάλυψης πράσινου χλοοτάπητα στο χρόνο. Το GTC_{50} αντιστοιχεί στις μέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με 50%. Οι επεμβάσεις έχουν διαβαθμιστεί από τη βέλτιστη προς τη χειρίστη με βάση την τιμή του GTC_{50} . (SE: \pm τυπικό σφάλμα)

Περίοδος υδατικής καταπόνησης 2013

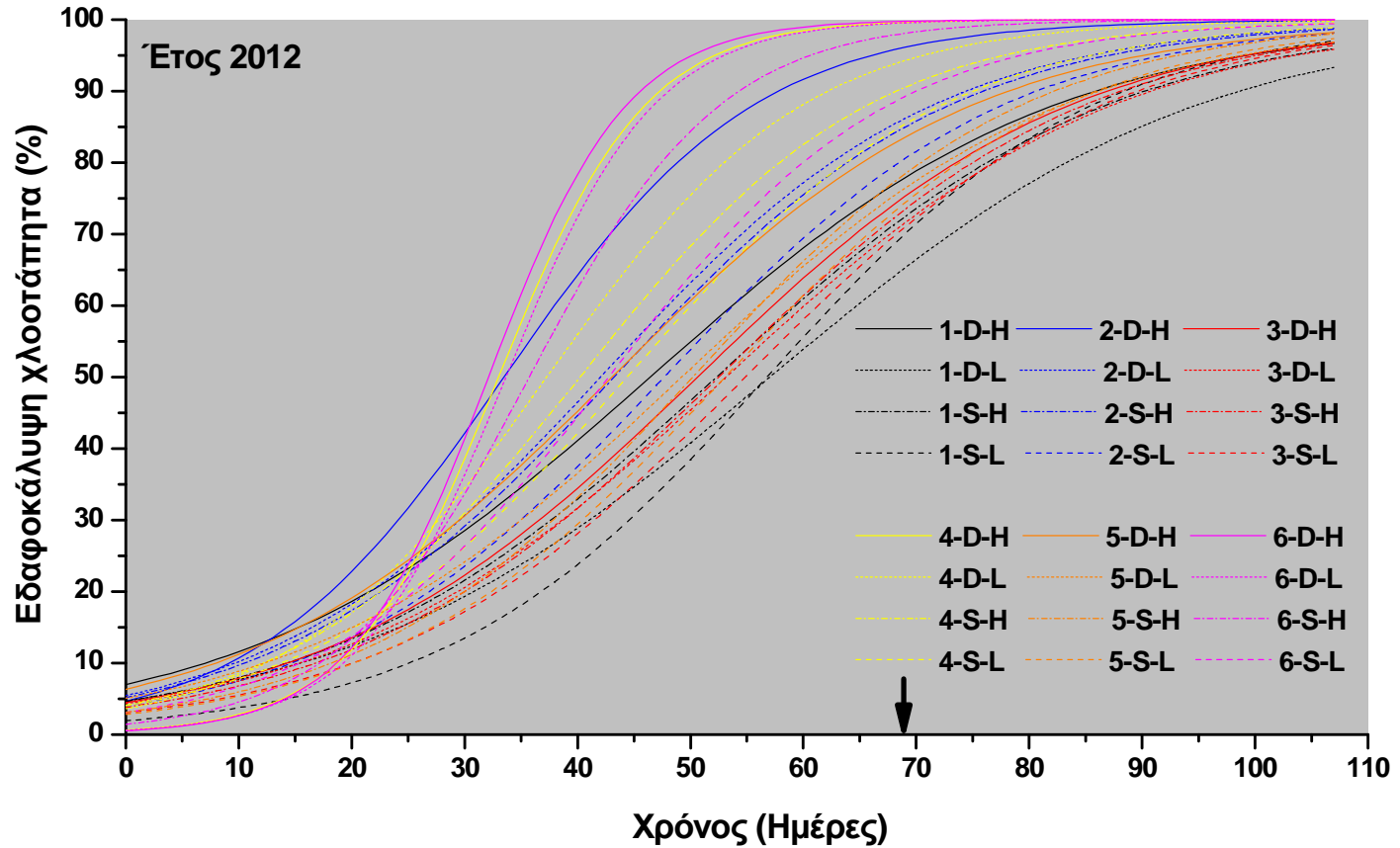
Επέμβαση [†]	Κλίση (α) [‡]	SE (α)	GTC_{50}	SE (GTC_{50})	Συντελεστής συσχέτισης (R^2)
4-D-H	0,0410	0,0031	44,44	0,81	0,98
6-D-H	0,0507	0,0029	46,94	0,48	0,99
2-D-H	0,0302	0,0024	50,42	1,18	0,96
6-D-L	0,0340	0,0026	51,45	0,98	0,97
4-D-L	0,0303	0,0025	51,75	1,21	0,96
2-D-L	0,0283	0,0019	54,82	1,10	0,97
6-S-L	0,0272	0,0022	56,22	1,37	0,96
4-S-H	0,0268	0,0023	56,65	1,48	0,95
4-S-L	0,0257	0,0021	58,93	1,52	0,95
2-S-L	0,0250	0,0021	62,59	1,64	0,94
6-S-H	0,0284	0,0024	62,87	1,48	0,95
2-S-H	0,0260	0,0023	64,24	1,70	0,94
1-D-H	0,0258	0,0023	68,02	1,71	0,94
1-S-H	0,0265	0,0030	68,40	2,13	0,90
5-D-H	0,0294	0,0023	68,70	1,37	0,96
3-D-L	0,0334	0,0035	73,92	1,62	0,94
1-S-L	0,0296	0,0034	74,25	1,97	0,91
3-D-H	0,0356	0,0034	74,67	1,38	0,95
3-S-H	0,0344	0,0037	75,28	1,62	0,93
5-D-L	0,0375	0,0042	75,73	1,54	0,94
5-S-H	0,0371	0,0036	76,29	1,33	0,95
5-S-L	0,0370	0,0040	76,65	1,49	0,94
1-D-L	0,0361	0,0046	78,23	1,78	0,91
3-S-L	0,0725	0,0133	81,33	1,18	0,93
Μέσος όρος	0,0337		64,70		0,95

[†] Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [$S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ (1), $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ (2), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5$ (3), $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ (4), $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ (5), $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$ (6), όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)].

[‡] Οι παράμετροι α και GTC_{50} αντιστοιχούν στην κλίση και στις ημέρες που απαιτούνται προκειμένου το GTC να ισούται με το 50% της σιγμοειδούς καμπύλης παλινδρόμησης:
 $GTC (\%) = 100 / [1 + 10^{(GTC_{50} - \eta_{\mu\epsilon\rho\epsilon\varsigma})\alpha}]$

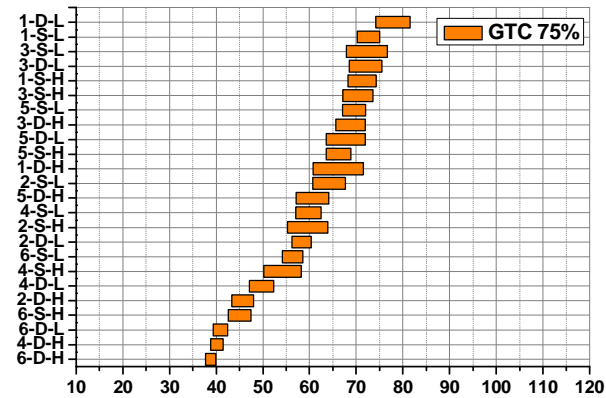
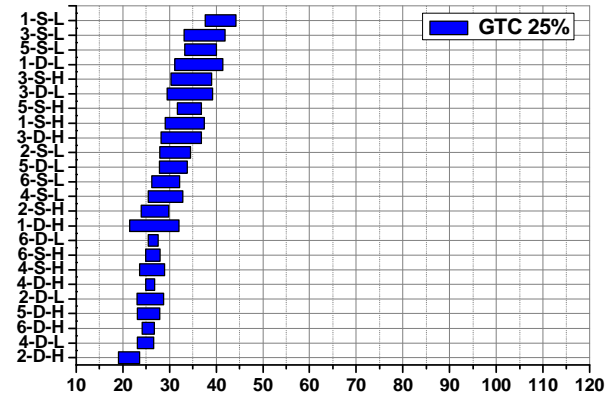
Διάγραμμα 6.31.

Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) στο χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο επαναφοράς του 2012 μετά το χειμερινό λήθαργο. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S_{15} : P_{um60} : P_{20} : Z_5 (1), S_{15} : P_{um60} : C_{20} : Z_5 (2), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : P_{20} : Z_5 (3), S_{15} : P_{um40} : P_{er20} : C_{20} : Z_5 (4), S_{30} : P_{um40} : P_{20} : Z_{10} (5), S_{30} : P_{um40} : C_{20} : Z_{10} (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um} = ελαφρόπετρα, P_{er} = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Με βέλος υποδεικνύεται η ημερομηνία εφαρμογής της λίπανσης.

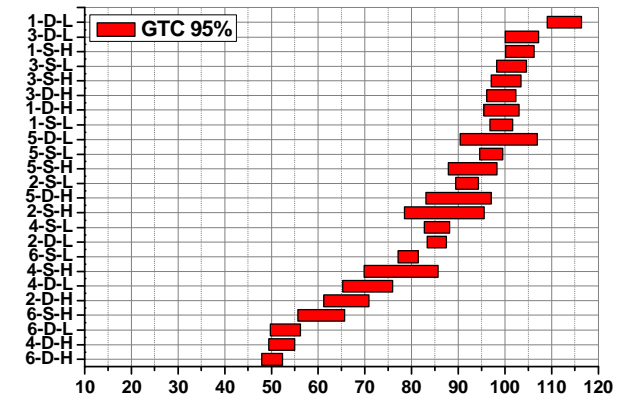
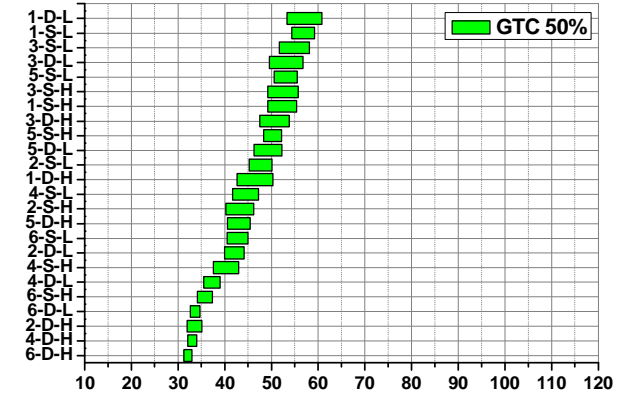


Διάγραμμα 6.32. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των ημερών επαναφοράς που απαιτήθηκαν προκειμένου η τιμή του GTC να είναι ίση με 25%, 50%, 75% και 95% κατά την περίοδο επαναφοράς του 2012 μετά το χειμερινό λήθαργο. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων $[S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5 (1), S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5 (2), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5 (3), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5 (4), S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10} (5), S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10} (6)]$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη, C= κομποστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

Επεμβάσεις



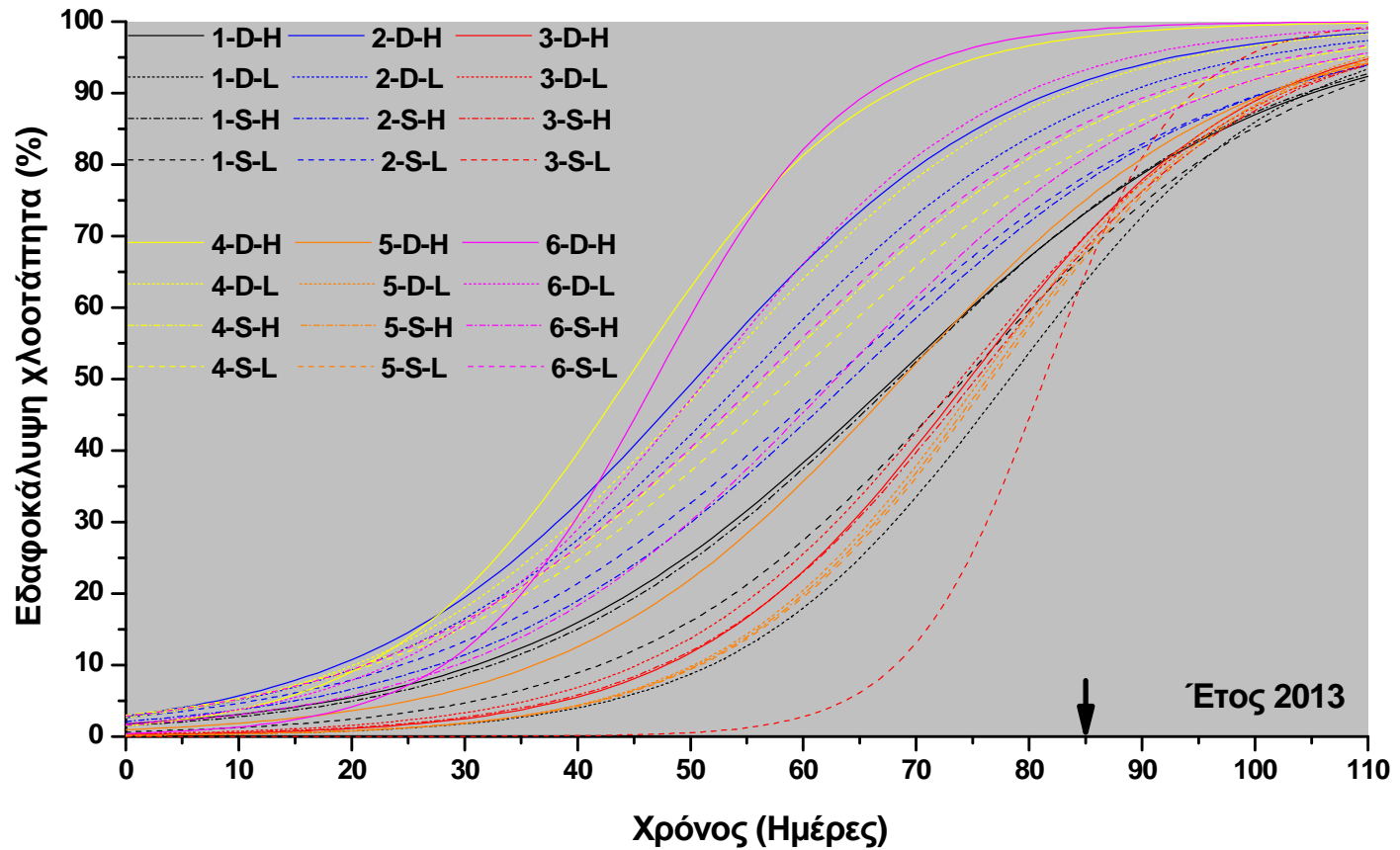
Έτος 2012



Χρόνος (ημέρες)

Διάγραμμα 6.33.

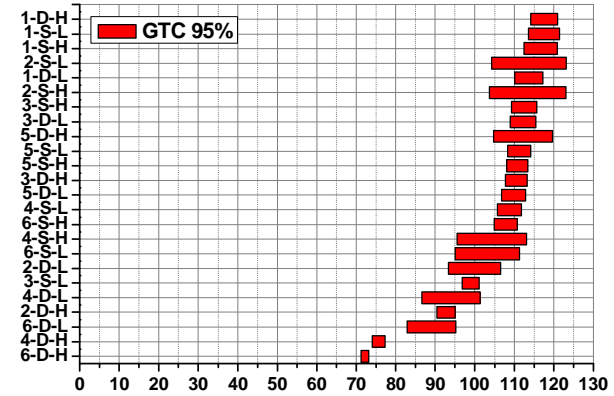
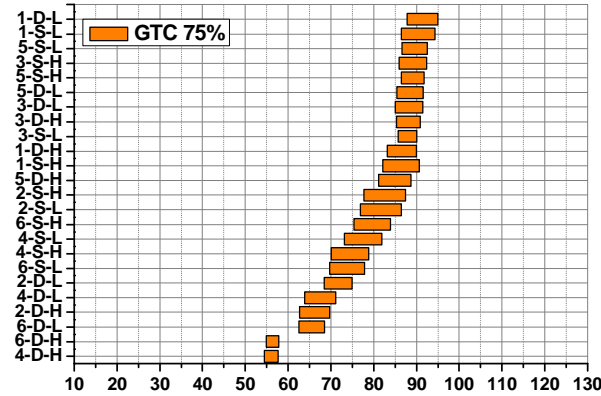
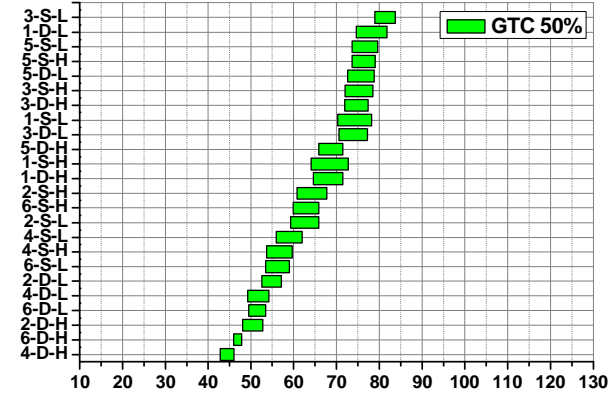
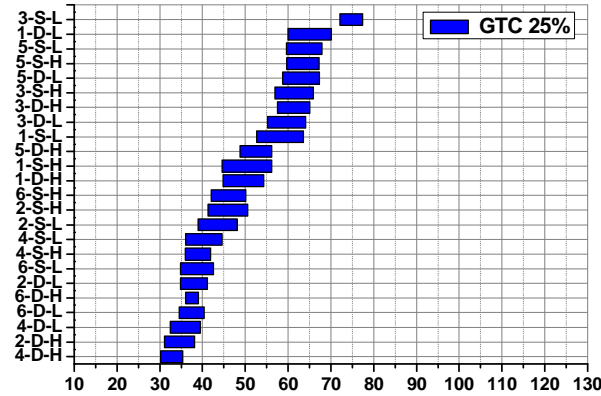
Σιγμοειδείς καμπύλες μεταβολής του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (%) στο χρόνο για κάθε επέμβαση κατά την περίοδο επαναφοράς του 2013 μετά το χειμερινό λήθαργο. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων [S_{15} : Pum_{60} : P_{20} : Z_5 (1), S_{15} : Pum_{60} : C_{20} : Z_5 (2), S_{15} : Pum_{40} : Per_{20} : P_{20} : Z_5 (3), S_{15} : Pum_{40} : Per_{20} : C_{20} : Z_5 (4), S_{30} : Pum_{40} : P_{20} : Z_{10} (5), S_{30} : Pum_{40} : C_{20} : Z_{10} (6), όπου S = αμμοπηλώδες έδαφος, Pum = ελαφρόπετρα, Per = περλίτης, P = τύρφη, C = κομπόστ και Z = ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Με βέλος υποδεικνύεται η ημερομηνία εφαρμογής της λίπανσης.



Διάγραμμα 6.34. Τα διαστήματα εμπιστοσύνης 95% των ημερών επαναφοράς που απαιτήθηκαν προκειμένου η τιμή του GTC να είναι ίση με 25%, 50%, 75% και 95% κατά την περίοδο επαναφοράς του 2013 μετά το χειμερινό λήθαργο. Οι επεμβάσεις προκύπτουν από το συνδυασμό έξι υποστρωμάτων $[S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5 (1), S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5 (2), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:P_{20}:Z_5 (3), S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5 (4), S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10} (5), S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10} (6)]$, όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, P_{um}= ελαφρόπετρα, P_{er}= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες] με δύο βάθη υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και δύο επίπεδα άρδευσης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)]. Επεμβάσεις με αλληλεπικαλυπτόμενα διαστήματα εμπιστοσύνης δεν διαφέρουν στατιστικώς.

Έτος 2013

Επεμβάσεις



Χρόνος (ημέρες)

Βάθος	Άρδευση	Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2012)						Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2013)						
		21	37	57	79	93	107	21	42	56	77	96	110	
S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅	15 cm (D)	100% ET _c (H)												
	15 cm (D)	60% ET _c (L)												
	7,5 cm (S)	100% ET _c (H)												
	7,5 cm (S)	60% ET _c (L)												
S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅	15 cm (D)	100% ET _c (H)												
	15 cm (D)	60% ET _c (L)												
	7,5 cm (S)	100% ET _c (H)												
	7,5 cm (S)	60% ET _c (L)												

Εικόνα 6.16. Φωτογραφική απεικόνιση της επαναφοράς του χλοοτάπητα *Z. matrella* μετά από το χειμερινό λήθαργο όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και επιπέδου άρδευσης κατά την περίοδο καταπόνησης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για τα υποστρώματα S₁₅:Pum₆₀:P₂₀:Z₅ και S₁₅:Pum₆₀:C₂₀:Z₅ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους επαναφοράς 2012 και 2013.

Βάθος	Άρδευση	Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2012)						Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2013)					
		21	37	57	79	93	107	21	42	56	77	96	110
$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$	15 cm (D) 100% ET_c (H)												
	15 cm (D) 60% ET_c (L)												
	7,5 cm (S) 100% ET_c (H)												
	7,5 cm (S) 60% ET_c (L)												
$S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$	15 cm (D) 100% ET_c (H)												
	15 cm (D) 60% ET_c (L)												
	7,5 cm (S) 100% ET_c (H)												
	7,5 cm (S) 60% ET_c (L)												

Εικόνα 6.17. Φωτογραφική απεικόνιση της επαναφοράς του κλοσάπητα *Z. matrella* μετά από το χειμερινό λήθαργο όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και επιπέδου άρδευσης κατά την περίοδο καταπόνησης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για τα υποστρώματα $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, Per= περλίτης, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους επαναφοράς 2012 και 2013.

Βάθος	Άρδευση	Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2012)						Ημέρες επαναφοράς (περίοδος 2013)					
		21	37	57	79	93	107	21	42	56	77	96	110
$S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$	15 cm (D) 100% ET_c (H)												
	15 cm (D) 60% ET_c (L)												
	7,5 cm (S) 100% ET_c (H)												
	7,5 cm (S) 60% ET_c (L)												
$S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$	15 cm (D) 100% ET_c (H)												
	15 cm (D) 60% ET_c (L)												
	7,5 cm (S) 100% ET_c (H)												
	7,5 cm (S) 60% ET_c (L)												

Εικόνα 6.18. Φωτογραφική απεικόνιση της επαναφοράς του χλοοτάπητα *Z. matrella* μετά από το χειμερινό λήθαργο όπως αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες επεμβάσεις βάθους υποστρώματος [7,5 cm (S) ή 15 cm (D)] και επιπέδου άρδευσης κατά την περίοδο καταπόνησης [60% ET_c (L) ή 100% ET_c (H)] για τα υποστρώματα $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$ και $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$ (όπου S= αμμοπηλώδες έδαφος, Pum= ελαφρόπετρα, P= τύρφη, C= κομπόστ και Z= ζεόλιθος σε κατ' όγκο αναλογίες που υποδεικνύονται από τους δείκτες) κατά τις περιόδους επαναφοράς 2012 και 2013.

6.3.4. Πρόβλεψη της καταπόνησης του χλοοτάπητα βάση της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία

Σε μια προσπάθεια να προσδιοριστεί η υδατική καταπόνηση που προκαλείται στο θερμόφιλο χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Platinum TE' από την προοδευτική μείωση της υγρασίας του υποστρώματος πραγματοποιήθηκε στατιστική σύγκριση μεταξύ των δύο περιόδων καταπόνησης του χλοοτάπητα (2011 και 2012). Από την ανάλυση της συνδιασποράς τόσο της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα όσο και του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης προκύπτει πως δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές των επεμβάσεων μεταξύ των δύο ετών μελέτης (Πίν. 6.14 και 6.15). Αν και μεταξύ των επεμβάσεων παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, το κύριο ενδιαφέρον εστιάστηκε στη συσχέτιση των δεδομένων εδαφοκάλυψης χλοοτάπητα και NDVI σε σχέση με την υγρασία υποστρώματος ανεξαρτήτως επέμβασης. Ως εκ τούτου, όλα τα δεδομένα και των δύο περιόδων καταπόνησης ενοποιήθηκαν προκειμένου να προσδιοριστούν οι εξισώσεις παλινδρόμησης μεταξύ του ποσοστού εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα ή του δείκτη NDVI και της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία (Διάγρ. 6.35 και 6.36).

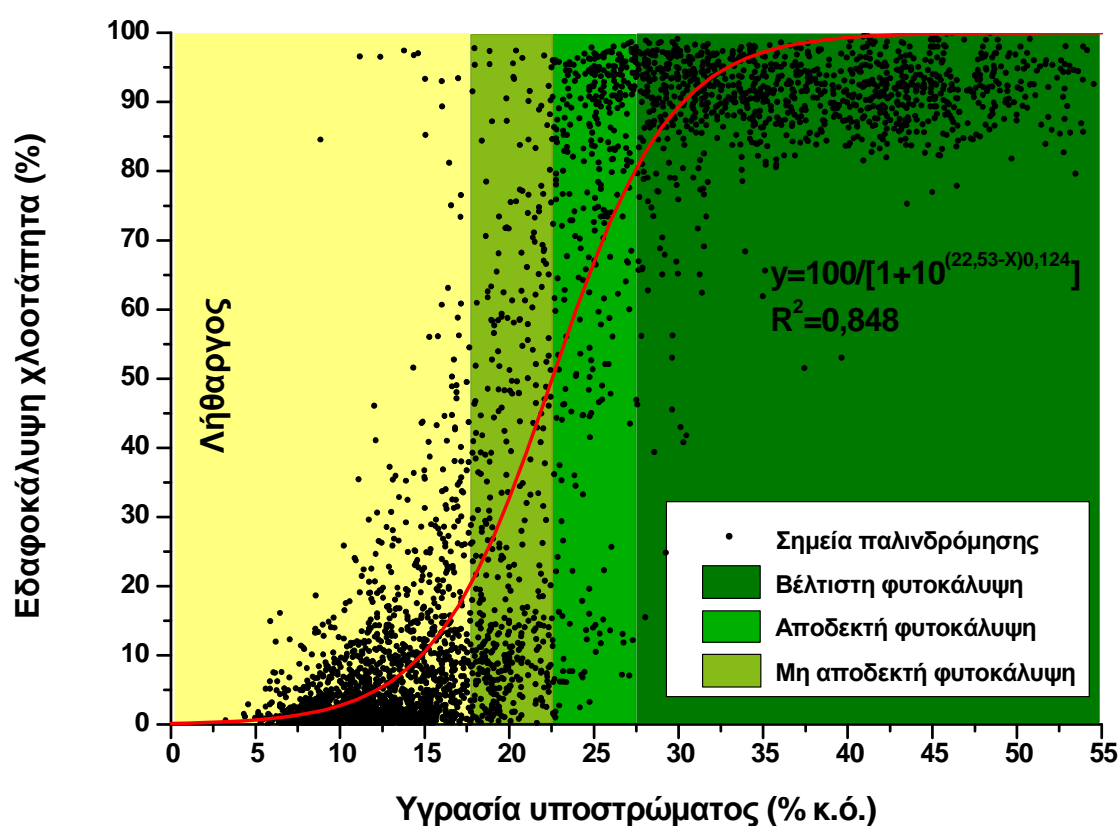
Πίνακας 6.14. Ανάλυση συνδιασποράς του ποσοστού εδαφοκάλυψης (GTC) του χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* για τις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο Τετράγωνο	Τιμή του F	P
A: Επεμβάσεις	204868	23	8907,31	5,59	0,0000
B: Έτος μελέτης	2829,03	1	2829,03	1,78	0,1827
A x B	9889,06	23	429,959	0,27	0,9998
Υπόλοιπο	5430200	3408	1593,37		
Σύνολο	5647780	3455			

Πίνακας 6.15 Ανάλυση συνδιασποράς του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) του χλοοτάπητα *Paspalum vaginatum* για τις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης (2011 και 2012) σε επίπεδο σημαντικότητας $P < 0,05$.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα Τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας	Μέσο Τετράγωνο	Τιμή του F	P
A: Επεμβάσεις	6,84935	23	0,297798	15,29	0,0000
B: Έτος μελέτης	0,00126	1	0,00126	0,06	0,7992
A x B	0,196677	23	0,008551	0,44	0,9905
Υπόλοιπο	66,3606	3408	0,019472		
Σύνολο	73,4079	3455			

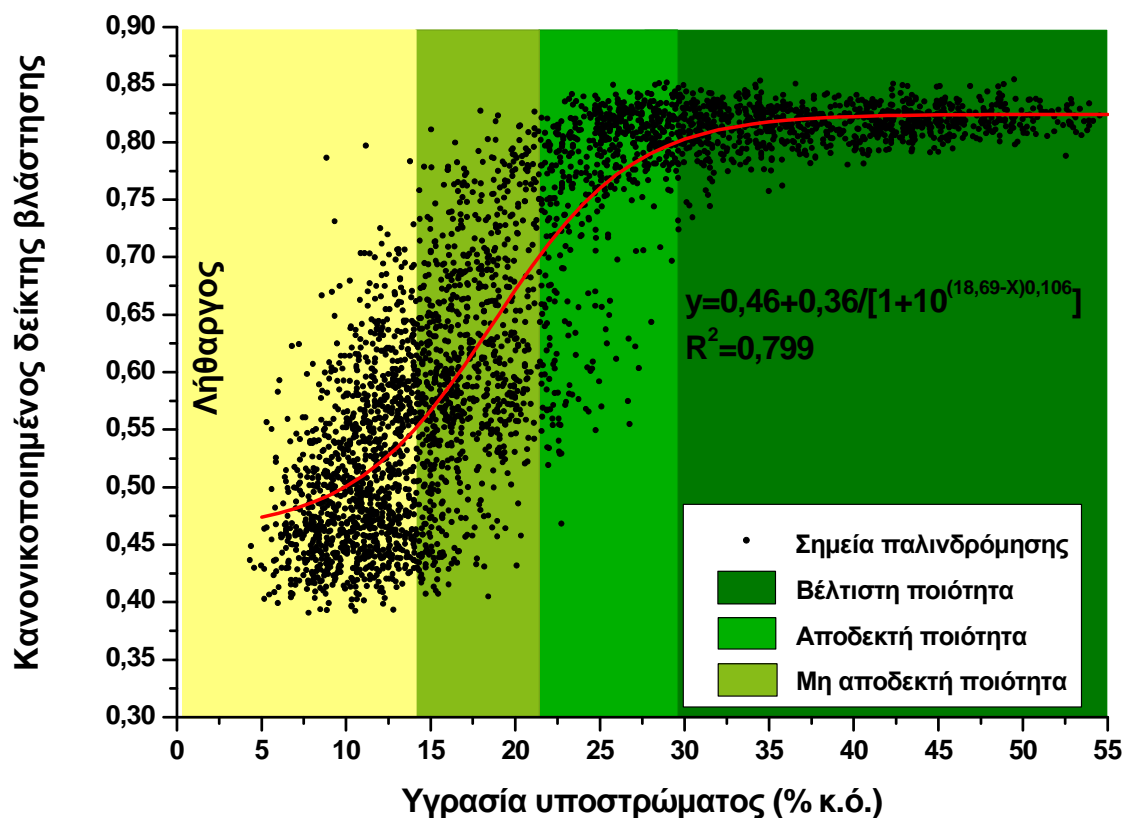
Σύμφωνα με το Διάγραμμα 6.35 η εδαφοκάλυψη του *P. vaginatum* 'Platinum TE' όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες φυτοδώματος εκτατικού τύπου είναι η βέλτιστη (τιμές GTC άνω του 80%), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 28% και 55% κ.ό. Επιπλέον, η εδαφοκάλυψη του χλοοτάπητα είναι εντός αποδεκτών ορίων (τιμές GTC από 50% έως 80%), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται από 23% έως 28% κ.ό. και μειώνεται σε μη αποδεκτά επίπεδα (τιμές GTC μικρότερες του 50%), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος πέφτει κάτω από 23% κ.ό., οπότε ο χλοοτάπητας εισέρχεται σε λήθαργο λόγω της υδατικής καταπόνησης.



Διάγραμμα 6.35. Συσχέτιση μεταξύ της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα (GTC, %) και της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία (% κ.ό.), η οποία προκύπτει από την ενοποίηση των δεδομένων όλων των επεμβάσεων και για τις δύο περιόδους υδατικής καταπόνησης.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και από τη συσχέτιση του δείκτη NDVI με την υγρασία του υποστρώματος (Διάγρ. 6.36). Πιο συγκεκριμένα η φυσιολογική κατάσταση του *P. vaginatum* 'Platinum TE' όταν αναπτύσσεται σε συνθήκες φυτοδώματος εκτατικού τύπου είναι η βέλτιστη (τιμές NDVI άνω του 0,8), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 29% και 55% κ.ό.

Επιπλέον, η ποιότητα του χλοοτάπητα είναι εντός αποδεκτών ορίων (τιμές NDVI από 0,8 έως 0,7, Xiong et al., 2007), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος κυμαίνεται από 22% έως 29% κ.ό. και μειώνεται σε μη αποδεκτά επίπεδα (τιμές NDVI μικρότερες από 0,7), όταν το ποσοστό υγρασίας του υποστρώματος είναι μικρότερο από 22% κ.ό., οπότε ο χλοοτάπητας εισέρχεται σε λήθαργο λόγω της υδατικής καταπόνησης.



Διάγραμμα 6.36. Συσχέτιση μεταξύ κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (NDVI) και της περιεκτικότητας του υποστρώματος σε υγρασία (% κ.ό.), η οποία προκύπτει από την ενοποίηση των δεδομένων όλων των επεμβάσεων και για τις δυο περιόδους υδατικής καταπόνησης.

Κατά συνέπεια σύμφωνα με την προσαρμοστική προσέγγιση διαχείρισης ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος, προκειμένου το *P. vaginatum* 'Platinum TE' να διατηρηθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα τόσο από πλευράς εδαφοκάλυψης όσο και από πλευράς φυσιολογικής κατάστασης με την ελάχιστη δυνατή χρήση πόρων η περιεκτικότητα του υποστρώματος σε υγρασία θα πρέπει να διατηρηθεί περίπου στο 25% και όχι λιγότερο από 22% κ.ό.

6.4. Συμπεράσματα

1. Βάσει των αποτελεσμάτων της μελέτης διαπιστώνεται πως οι επεμβάσεις του είδους και του βάθους του υποστρώματος καθώς και του επιπέδου άρδευσης είχαν σημαντική επίδραση στην αντοχή του χλοοτάπητα *P. vaginatum* 'Platinum TE' στην υδατική καταπόνηση. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι επεμβάσεις διέφεραν ως και 9 ημέρες στην εμφάνιση των πρώτων ενδείξεων καταπόνησης. Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να έχει πολύ σημαντική επίδραση στις ανάγκες άρδευσης του χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια του έτους, ιδιαίτερα σε περιοχές που εμφανίζονται συχνές βροχοπτώσεις. Στις περιοχές αυτές η καθυστέρηση εκδήλωσης συμπτωμάτων καταπόνησης του χλοοτάπητα έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή εφαρμογής άρδευσης λόγω πιθανής βροχόπτωσης με αποτέλεσμα τη μείωση των απαιτούμενων συνολικών ετήσιων ποσοτήτων άρδευσης.
2. Ο παράγοντας που επηρέασε κυρίως την καθυστέρηση της εμφάνισης ενδείξεων υδατικής καταπόνησης στο χλοοτάπητα, ήταν το βάθος του υποστρώματος, όπου το βάθος των 15 cm, βρέθηκε να διατηρεί την ποιότητα του χλοοτάπητα σε υψηλά επίπεδα για μεγαλύτερο διάστημα σε σχέση με το 7,5 cm του βάθους του υποστρώματος. Οι παρατηρήσεις αυτές καταδεικνύουν για ακόμη μία φορά τη σημαντικότητα του βάθους του υποστρώματος στην επιβίωση και βιώσιμη ανάπτυξη των φυτών σε εκτατικού τύπου φυτεμένα δώματα.
3. Το επίπεδο της άρδευσης ήταν αυτό που επηρέασε το ρυθμό μείωσης της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα κατά την υδατική καταπόνηση, όπου η αύξηση του επιπέδου άρδευσης συνέβαλλε στη μείωση της καταπόνησης.
4. Διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων παρατηρήθηκαν και στις ημέρες που παρήλθαν προκειμένου το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 50%, οι οποίες ήταν της τάξης των 10 έως 15 ημερών. Οι διαφορές αυτές μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο σε περιόδους κατά τις οποίες για διάφορους λόγους καθίστανται περιορισμένες οι δυνατότητες άρδευσης. Οι επεμβάσεις που παρουσίασαν τη μικρότερη υδατική καταπόνηση απαιτώντας σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό ημερών προκειμένου το ποσοστό της εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα να μειωθεί στο 25%, 50% ή 75%, ήταν ο συνδυασμός του κάθε ενός από τα έξι υπό μελέτη υποστρώματα με το υψηλότερο βάθος υποστρώματος των 15 cm και το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης (100% ET_c).
5. Όσον αφορά την επιλογή του βέλτιστου υποστρώματος, διαπιστώθηκε πως το υπόστρωμα S₁₅:Pum₄₀:Per₂₀:P₂₀:Z₅ εμφάνισε μια τάση να παρουσιάζει τη

μικρότερη υδατική καταπόνηση λόγω της αυξημένης ικανότητας του να συγκρατεί νερό, ενώ αντίθετα τα υποστρώματα που περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um60}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:C_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τη μεγαλύτερη υδατική καταπόνηση. Σε αντίθεση με τις περιόδους καταπόνησης, η ευεργετική επίδραση της συμμετοχής του κομπόστ στη σύνθεση των υποστρωμάτων ήταν εμφανής κατά τις περιόδους επαναφοράς του χλοοτάπητα παρουσιάζοντας υψηλότερο ρυθμό εδαφοκάλυψης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη εφαρμογής συμπληρωματικής λίπανσης σε περιπτώσεις όπου επιλέγονται υποστρώματα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία όπως αυτά που περιέχουν τύρφη ως οργανικό συστατικό, αφού παρέλθει η περίοδος της υδατικής καταπόνησης.

6. Από τη σύγκριση του βάθους του υποστρώματος με το επίπεδο άρδευσης διαπιστώθηκε πως, εάν δεν υπάρχουν περιορισμοί στην στατικότητα του κτιρίου είναι προτιμότερο κατά την εγκατάσταση φυτεμένου δώματος εκτατικού τύπου να επιλεγεί βάθος υποστρώματος 15 cm, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αναγκών άρδευσης του *P. vaginatum* 'Platinum TE' κατά 40% σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν υπάρχουν περιορισμοί στο κτίριο, στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το φυτεμένο δώμα και επιβάλλεται η χρήση υποστρώματος 7,5 cm, τότε απαιτείται σύμφωνα με την προσαρμοστική προσέγγιση διαχείρισης ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος η εφαρμογή άρδευσης σε ποσότητα και συχνότητα η οποία θα διατηρεί το ποσοστό υγρασία του υποστρώματος άνω του 22% κ.ό. προκειμένου ο χλοοτάπητας του *P. vaginatum* να διατηρηθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα, τόσο από πλευράς εδαφοκάλυψης όσο και από πλευράς φυσιολογικής κατάστασης.

Γενικά Συμπεράσματα

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή διερευνήθηκε για πρώτη φορά η δυνατότητα χρήσης θερμόφιλων ειδών χλοοτάπητα σε εκτατικά φυτοδώματα στα οποία εφαρμόζονται περιορισμένες εισροές άρδευσης. Ο στόχος ήταν η διερεύνηση της χρήσης των χλοοταπήτων ως πιθανών υπαίθριων αστικών χρηστικών επιφανειών επί των υφιστάμενων κτιρίων. Η προσέγγιση αυτή εμπίπτει στο σκεπτικό και τη λογική των προσαρμόσιμων φυτοδωμάτων, όπου αν και ακολουθούνται οι γενικές οδηγίες οι οποίες αφορούν τα εκτατικά φυτοδώματα, υπάρχει παρέκκλιση από αυτές, σχετικά με τις εισροές σε πόρους και ιδιαίτερα αυτόν της άρδευσης.

Στην παραπάνω προσέγγιση τέσσερις παράγοντες επιδρούν σημαντικά στη βιώσιμη ανάπτυξη των φυτοδωμάτων και πιο συγκεκριμένα: α) ο τύπος του υποστρώματος ανάπτυξης, β) το βάθος του υποστρώματος ανάπτυξης, γ) τα επιλεγμένα φυτικά είδη και δ) η ποσότητα της άρδευσης. Ως εκ τούτου, και οι τέσσερις προαναφερθέντες παράγοντες διερευνήθηκαν ενδεδειχώς κατά τη διάρκεια τεσσάρων ετών σε δύο θερμόφιλα είδη γρασιδιών, το *Zoysia matrella* [L.] Merr. 'Zeon' και *Paspalum vaginatum* 'Platinum TE'.

Κατ' αρχήν, σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν συνολικά έξι υποστρώματα εκτατικών φυτοδωμάτων προερχόμενα από την ανάμιξη υλικών διαθέσιμων στην τοπική αγορά και πιο συγκεκριμένα από αμμοπηλώδες έδαφος (S), ελαφρόπετρα (Pum), περλίτη (Per), ζεόλιθο (Z), τύρφη (P), κομπόστ (C) σε κατ' όγκο αναλογίες οι οποίες υποδεικνύονται από τους αντίστοιχους δείκτες: $S_{15}:Pum_{60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{30}:Pum_{40}:P_{20}:Z_{10}$, $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$, ενώ αξιολογήθηκε και ένα εμπορικό υπόστρωμα, του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι.

Με δεδομένο το γεγονός ότι η υγρασία του υποστρώματος αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες της προσαρμόσιμης προσέγγισης των φυτοκαλυμμένων δωμάτων με χλοοτάπητες, απαιτείται όσο το δυνατόν ακριβέστερος προσδιορισμός αυτής. Έτσι, προκειμένου να υπάρξει ακριβής προσδιορισμός της υγρασίας των υποστρωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες μελέτες της διατριβής, αναπτύχθηκαν κατάλληλες εξισώσεις βαθμονόμησης για δύο διαφορετικούς διηλεκτρικούς αισθητήρες, τον WET-2 (Delta-T devices, Cambridge, UK) και τον TDR300 (Spectrum Technologies, Plainfield, IL). Από την αξιολόγηση των διηλεκτρικών αισθητήρων WET-2 και TDR 300 διαπιστώθηκε ότι τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά τον προσδιορισμό

της υγρασίας σε χονδρόκοκκα υποστρώματα φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου, ελήφθησαν και για τους δύο αισθητήρες με τη χρήση ειδικών εξισώσεων βαθμονόμησης για κάθε υπόστρωμα ξεχωριστά.

Συγκεκριμένα για τον αισθητήρα WET-2, ο οποίος υπολογίζει την υγρασία του υποστρώματος μέσω προσδιορισμού της διηλεκτρικής σταθεράς, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια ισχυρή γραμμική σχέση μεταξύ της τετραγωνικής ρίζας της διηλεκτρικής σταθεράς και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα. Το γεγονός αυτό επέτρεψε τον προσδιορισμό της πραγματικής υγρασίας των υποστρωμάτων εκτατικών φυτοδωματίων από τις τιμές της διηλεκτρικής σταθεράς με τη χρήση μιας απλής γραμμικής εξίσωσης βαθμονόμησης. Επιπλέον, η συσχέτιση αυτή παρέμεινε γραμμική για αλατότητες μέχρι τα $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ διευκολύνοντας περαιτέρω τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Παρ' όλα αυτά, ο αισθητήρας WET-2 διαθέτει μόνο ένα μήκος ραβδίων (6,5 cm) περιορίζοντας έτσι την ακρίβεια της μέτρησης στο ανώτερο τμήμα των βαθύτερων υποστρωμάτων (15 cm). Έτσι, ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε η αξιολόγηση ενός αισθητήρα ο οποίος θα είχε τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί διαφορετικά ραβδία μεταξύ των 2 υπό μελέτη βαθών του υποστρώματος. Ως εκ τούτου, δοκιμάστηκε ο αισθητήρας TDR300 ο οποίος έχει τη δυνατότητα εναλλαγής ραβδίων και υπολογίζει την πραγματική υγρασία του υποστρώματος μέσω καταγραφής της περιόδου του ηλεκτρονικού παλμού. Για όλα τα υπό μελέτη υποστρώματα και για τα δύο μήκη ραβδίων (7,5 και 12 cm) του αισθητήρα, διαπιστώθηκε πως η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της περιόδου και της πραγματικής υγρασίας του υποστρώματος ήταν πολυωνυμική δευτέρου βαθμού. Επιπροσθέτως, οι μετρήσεις του αισθητήρα TDR300 παρουσίασαν μια πολυωνυμική μορφή δευτέρου βαθμού καθώς αυξάνονταν τα επίπεδα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η σχέση αυτή βρέθηκε να επηρεάζεται επιπλέον και από την υγρασία του υποστρώματος. Παρ' όλη όμως την ευαισθησία του αισθητήρα TDR300 στην αλατότητα, η χρήση του επιλέχθηκε για πρακτικούς λόγους καθώς διαθέτει πολλαπλά μήκη ραβδίων τα οποία ταιριάζουν με τα επιλεγμένα βάθη υποστρώματος και ο χρόνος απόκρισής του στο πεδίο είναι ταχύτατος. Η ύπαρξη συγκεκριμένης εξίσωσης βαθμονόμησης για το κάθε υπόστρωμα είχε ως αποτέλεσμα η ακρίβεια του αισθητήρα να είναι δεδομένη και οι μετρήσεις του να θεωρούνται αξιόπιστες.

Όσον αφορά τη σύγκριση των υποστρωμάτων τα οποία διαμορφώθηκαν από την ανάμιξη υλικών διαθέσιμων στην τοπική αγορά, διαπιστώθηκε πως αυτά τα οποία περιείχαν κομπόστ στη σύνθεσή τους ($S_{15}:Pum_{60}:C_{20}:Z_5$, $S_{15}:Pum_{40}:Per_{20}:C_{20}:Z_5$ και $S_{30}:Pum_{40}:C_{20}:Z_{10}$) βελτίωσαν σημαντικά την εγκατάσταση και την ανάπτυξη του

χλοοτάπητα *Z. matrella* 'Zeon' καθώς και του *P. vaginatum* 'Platinum TE' οποτεδήποτε εφαρμοζόταν επαρκής άρδευση όπως συνέβη κατά την εγκατάσταση, την επαναφορά μετά από υδατική καταπόνηση καθώς και μετά την παύση του χειμερινού ληθάργου. Οι διαφορές αυτές αποδίδονται στην αυξημένη περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία των υποστρωμάτων με κομπόστ. Αντιθέτως, κατά τη διάρκεια των περιόδων υδατικής καταπόνησης, τα υποστρώματα που περιείχαν τύρφη στη σύνθεσή τους ($S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$, $S_{15}:P_{um40}:Per_{20}:P_{20}:Z_5$ και $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$) παρουσίασαν τη μικρότερη καταπόνηση και για τα δύο είδη χλοοτάπητα, λόγω της μεγαλύτερης ικανότητας συγκράτησης υγρασίας και της περιορισμένης ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας στα υποστρώματα αυτά.

Έτσι, συμπεραίνεται πως το τοπικά παραγόμενο κομπόστ θα μπορούσε να αντικαταστήσει την τύρφη ως οργανικό συστατικό των υποστρωμάτων φυτεμένων δωματίων εκτατικού τύπου, μόνο όταν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση. Περαιτέρω έρευνα απαιτείται προκειμένου να προσδιοριστεί, εάν η χρήση άλλων κομπόστ με μικρότερη περιεκτικότητα σε άζωτο και μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας θα μπορούσαν να βελτιώσουν την αντοχή των χλοοταπήτων στην υδατική καταπόνηση σε σύγκριση με το κομπόστ φυτικών υπολειμμάτων το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Μείωση του ποσοστού του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων και κατά συνέπεια αύξηση του ποσοστού της ελαφρόπετρας είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της συγκράτησης της υγρασίας και κατ' επέκταση τη μικρότερη καταπόνηση των χλοοταπήτων κατά τις περιόδους ελλειμματικής άρδευσης. Αντίθετα, κατά την περίοδο εγκατάστασης και ανάπτυξης ή κατά τις περιόδους επαναφοράς του χλοοτάπητα, δεν παρατηρήθηκε μια σαφής διάκριση, υποδεικνύοντας ότι η επίδραση του ποσοστού συμμετοχής του αμμοπηλώδους εδάφους δεν είναι σημαντική, όταν εφαρμόζεται επαρκής άρδευση. Επίσης, η μείωση του ποσοστού του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεση των υποστρωμάτων είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση του βάρους τους, ιδιαίτερα όταν στη σύνθεση τους περιελάμβαναν τύρφη αντί για κομπόστ. Περαιτέρω μείωση στο βάρος των υποστρωμάτων παρατηρήθηκε, όταν τα υποστρώματα περιελάμβαναν στη σύνθεσή τους περλίτη με αποτέλεσμα να είναι ελαφρύτερα από 7,81% έως 14,49% στο ξηρό και από 12,53% έως 24,09% στον κορεσμό σε σχέση με αυτά που δεν περιελάμβαναν περλίτη και ανάλογα με την περιεκτικότητα του αμμοπηλώδους εδάφους στη σύνθεσή τους.

Στη μελέτη του Κεφαλαίου 3 όπου διεξήχθη μονοπαραγοντική ανάλυση λόγω της ύπαρξης σημαντικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των επεμβάσεων, διαπιστώθηκε

ότι υπάρχει η πιθανότητα τα υποστρώματα να εμφανίζουν διαφορετική αντίδραση ανάλογα με το βάθος του υποστρώματος. Έτσι, παρατηρήθηκε ότι σε βάθος υποστρώματος 15 cm το υπόστρωμα $S_{15}:P_{um60}:P_{20}:Z_5$ εμφάνισε τη βέλτιστη αντοχή στην υδατική καταπόνηση, ενώ αντίθετα σε βάθος υποστρώματος 7,5 cm ήταν το υπόστρωμα $S_{30}:P_{um40}:P_{20}:Z_{10}$ αυτό το οποίο παρουσίασε τη μικρότερη καταπόνηση στο χλοοτάπητα κατά τη διάρκεια των περιόδων ελλειμματικής άρδευσης σε σχέση με τα υπόλοιπα υποστρώματα.

Από τη σύγκριση του υποστρώματος $S_{15}:P_{um40}:P_{er20}:C_{20}:Z_5$ με το εμπορικό υπόστρωμα, του οποίου η σύνθεση βασιζόταν στο θραυστό κεραμίδι, διαπιστώθηκε πως το υπόστρωμα από τοπικά υλικά παρουσίασε μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και μικρότερο βάρος, τόσο στο ξηρό όσο και στον κορεσμό. Παρόλα αυτά, οι διαφορές των δεικτών ανάπτυξης και φυσιολογικής λειτουργίας των φυτών του χλοοτάπητα ήταν ελάχιστες. Ως αποτέλεσμα, η επιλογή μεταξύ των δύο υποστρωμάτων μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε υποστρώματος, όπως είναι για παράδειγμα το μικρότερο ξηρό και κεκορεσμένο βάρος.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις πολλαπλές μελέτες της διατριβής θεωρείται βέβαιο ότι κατά τη διάρκεια των περιόδων κατά τις οποίες εφαρμόζεται επαρκής άρδευση ο τύπος του υποστρώματος του φυτοδώματος αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα, και ιδιαίτερα όταν διαφοροποιείται σημαντικά το είδος της οργανικής ουσίας. Αντίθετα, σε περιόδους υδατικής καταπόνησης, το βάθος του υποστρώματος αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα καθώς η αύξηση του βάθους βρέθηκε να συσχετίζεται άμεσα με τη βελτίωση των φυσιολογικών δεικτών και των δεικτών ανάπτυξης. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση του βάθους από 7,5 cm σε 15 cm βελτίωσε σημαντικά, την εγκατάσταση, την ανάπτυξη, την αντοχή στην υδατική καταπόνηση και την επαναφορά μετά από υδατική καταπόνηση ή λήθαργο και στα δύο είδη χλοοτάπητα επιβεβαιώνοντας το γεγονός ότι το βάθος υποστρώματος είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επιδρούν στην επιτυχία και βιωσιμότητα ενός εκτατικού φυτεμένου δώματος.

Από συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ του βάθους υποστρώματος και του επιπέδου άρδευσης στο *P. vaginatum* διαπιστώθηκε πως η μείωση της άρδευσης του χλοοτάπητα μπορεί να αντισταθμιστεί από την αύξηση του βάθους του υποστρώματος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου είναι αισθητικά αποδεκτό το ποσοστό της εδαφικάλυψης να κυμαίνεται περίπου στο 50%. Έτσι, αν στο κτίριο στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το φυτεμένο δώμα δεν υπάρχουν περιορισμοί στην στατική αντοχή του είναι προτιμότερο να επιλεγεί βάθος υποστρώματος 15

cm, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αναγκών άρδευσης του *P. vaginatum* κατά 40% σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm. Αντίθετα, εάν η μείωση των φορτίων είναι απολύτως απαραίτητη, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί το βάθος των 7,5 cm λαμβάνοντας υπόψη ότι θα απαιτηθεί αύξηση των εισροών σε άρδευση.

Από τις καμπύλες παλινδρόμησης των έξι υποστρωμάτων που διερευνήθηκαν στην μελέτη του *P. vaginatum*, διαπιστώθηκε πως το βάθος του υποστρώματος επηρέασε κυρίως το χρόνο κατά τον οποίο άρχισε να μειώνεται το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα, ενώ η άρδευση επηρέασε την κλίση των καμπύλων, δηλαδή την ταχύτητα με την οποία μειωνόταν το ποσοστό της εδαφοκάλυψης. Έτσι παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο βάθος υποστρώματος των 15 cm καθυστέρησε την εμφάνιση συμπτωμάτων καταπόνησης του χλοοτάπητα σε σχέση με το βάθος υποστρώματος των 7,5 cm. Επίσης, το υψηλότερο επίπεδο άρδευσης 100% ET_c παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές κλίσης των καμπυλών, μειώνοντας το ποσοστό εδαφοκάλυψης του χλοοτάπητα με μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με το χαμηλό επίπεδο άρδευσης του 60% ET_c.

Συγκρίνοντας τα επιθυμητά επίπεδα υγρασίας στο υπόστρωμα ανάπτυξης, προκειμένου τα δύο υπό μελέτη είδη χλοοτάπητα να εμφανίζουν την ελάχιστη αποδεκτή οπτική ποιότητα διαπιστώθηκε πως, το είδος *Z. matrella* είναι ανθεκτικότερο στην ξηρασία σε συνθήκες εκτατικού φυτοδώματος σε σχέση με το *P. vaginatum*. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να διατηρείται η οπτική ποιότητα του *Z. matrella* στα ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα (50% GTC) θα πρέπει η υγρασία του υποστρώματος να κυμαίνεται από 13% έως 19%. Στην περίπτωση του *P. vaginatum*, προκειμένου να διατηρηθεί μία αποδεκτή οπτική ποιότητα, θα πρέπει η υγρασία του υποστρώματος να κυμαίνεται από 23% έως 28%.

Παρ' όλη την ισχυρή υδατική καταπόνηση που εφαρμόστηκε σε όλες τις πειραματικές μελέτες της παρούσας διατριβής και τα δύο είδη χλοοτάπητα επέδειξαν επαρκή ικανότητα ανάκαμψης μετά από την παύση της καταπόνησης. Εν κατακλείδι, η χρήση των θερμόφιλων χλοοταπήτων σε φυτοδώματα εκτατικού τύπου είναι εφικτή, λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι απαιτείται ορθολογική επιλογή υποστρώματος καθώς και επαρκής άρδευση, η οποία οφείλει να αυξηθεί καθώς το βάθος του υποστρώματος μειώνεται.

Βιβλιογραφία

- Akbari, H., Pomerantz, M., and Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3): 295-310.
- Akbari, H., Shea Rose, L., and Taha, H. (2003). Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape and urban planning*, 63(1): 1-14.
- Alexandri, E., and Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4): 480-493.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300, 6541.
- Anderson, W. F., Snook, M. E., and Johnson, A. W. (2007). Flavonoids of zoysiagrass (*Zoysia* spp.) cultivars varying in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) resistance. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(5): 1853-1861.
- Anisko, T., NeSmith, D. S., and Lindstrom, O. M. (1994). Time-domain reflectometry for measuring water content of organic growing media in containers. *HortScience*, 29(12): 1511-1513.
- ASTM D 422-63. (2007). *Standard test method for particle-size analysis of soils*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E2396. (2011). *Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Vegetative (Green) Roof Systems*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E2397. (2011). *Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads Associated with Vegetative (Green) Roof Systems*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E2398. (2011). *Standard Test Method for Water Capture and Media Retention of Geocomposite Drain Layers for Vegetative (Green) Roof Systems*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E2399. (2011). *Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Vegetative (Green) Roof Systems*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- ASTM E2400. (2006). *Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems*. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, PA.
- Augustin, B. J., and Snyder, G. H. (1984). Moisture sensor-controlled irrigation for maintaining bermudagrass turf. *Agronomy Journal*, 76(5): 848-850.
- Baghzouz, M., Devitt, D. A., and Morris, R. L. (2006). Evaluating temporal variability in the spectral reflectance response of annual ryegrass to changes in nitrogen

- applications and leaching fractions. *International journal of remote sensing*, 27(19): 4137-4157.
- Baird, J. H., Green, R. L., Mitra, S., Plumb, R. V., Klein, G. J., and Frelich, J. R. (2009). Response of hybrid bluegrass, Kentucky bluegrass and tall fescue to short-term drought recovery in a Mediterranean climate. *Int. Turfgrass Soc. Res. J*, 11: 1-8.
- Bañuelos, J. B., Walworth, J. L., Brown, P. W., and Kopec, D. M. (2011). Deficit Irrigation of Seashore Paspalum and Bermudagrass. *Agronomy Journal*, 103(6): 1567-1577.
- Barton, L., Wan, G. G. Y., Buck, R. P., and Colmer, T. D. (2009). Nitrogen increases evapotranspiration and growth of a warm-season turfgrass. *Agronomy Journal*, 101(1): 17-24.
- Bass, B., Stull, R., Krayenjoff, S., and Martilli, A. (2002). Modelling the impact of green roof infrastructure on the urban heat island in Toronto. *Green Roofs Infrastruct. Monit.*, 4(1): 2-3.
- Beard, J. B. (1973). *Turfgrass: science and culture*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Beard, J. B. (1989). Turfgrass water stress: Drought resistance components, physiological mechanisms, and species-genotype diversity. P: 23-28. In H. Takatoh (ed.) *Proc. 6th Int. Turfgrass Res. Conf., Tokyo. July 1989. Japanese Soc. Turfgrass Sci., Tokyo*.
- Beard, J. B., and Green, R. L. (1994). The role of turfgrasses in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*, 23(3): 452-460.
- Beattie, D. J. and Berghage, R. D. (2004). Green roof media characteristics: The basic. pp: 411-416. In *Proc. of 2nd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference*, Portland, OR. 2-4 June 2004. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Bell, G. E. (2011). *Turfgrass physiology and ecology: Advanced management principles*. CABI.
- Bell, G. E., Martin, D. L., Kuzmic, R. M., Stone, M. L., and Solie, J. B. (2000). Herbicide tolerance of two cold-resistant bermudagrass (*Cynodon* spp.) cultivars determined by visual assessment and vehicle-mounted optical sensing. *Weed Technology*, 14(3): 635-641.
- Bell, G. E., Martin, D. L., Stone, M. L., Solie, J. B., and Johnson, G. V. (2002). Turf area mapping using vehicle-mounted optical sensors. *Crop science*, 42(2): 648-651.
- Benvenuti, S., and Bacci, D. (2010). Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems*, 13(3): 349-363.
- Bittelli, M. (2011). Measuring soil water content: a review. *HortTechnology*, 21(3): 293-300.
- Bliss, D. J., Neufeld, R. D., and Ries, R. J. (2009). Storm water runoff mitigation using a green roof. *Environmental Engineering Science*, 26(2): 407-418.

- Boivin, M. A., Lamy, M. P., Gosselin, A., and Dansereau, B. (2001). Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system. *HortTechnology*, 11(3): 409-412.
- Boniak, R., Clark, J., Chong, S.-K. and Indorante, S.J. (2004). Bentgrass response and rootzone mixes properties as affected by the amendment of various treated organic wastes. *Acta Horticulturae*, 661: 65-69.
- Bousselot, J. M., Klett, J. E., and Koski, R. D. (2010). Extensive green roof species evaluations using digital image analysis. *HortScience*, 45(8): 1288-1292.
- Bousselot, J. M., Klett, J. E., and Koski, R. D. (2011). Moisture content of extensive green roof substrate and growth response of 15 temperate plant species during dry down. *HortScience*, 46(3): 518-522.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., and Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3): 147-155.
- Brenneisen, S. (2003) The Benefits of Biodiversity from Green Roofs- Key Design 4 Consequences. In *Proc. of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for sustainable Communities*, Chicago, May 2003. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Carmo-Silva, A. E., Francisco, A., Powers, S. J., Keys, A. J., Ascensão, L., Parry, M. A., and Arrabaca, M. C. (2009). Grasses of different C4 subtypes reveal leaf traits related to drought tolerance in their natural habitats: changes in structure, water potential, and amino acid content. *American Journal of Botany*, 96(7): 1222-1235.
- Carmo-Silva, A. E., Powers, S. J., Keys, A. J., Arrabaca, M. C., and Parry, M. A. (2008). Photorespiration in C4 grasses remains slow under drought conditions. *Plant, cell and environment*, 31(7): 925-940.
- Carrow, R. N. (1996). Drought avoidance characteristics of diverse tall fescue cultivars. *Crop Science*, 36(2): 371-377.
- Carrow, R. N., and Duncan, R. R. (2003). Improving drought resistance and persistence in turf-type tall fescue. *Crop science*, 43(3): 978-984.
- Carrow, R. N., Shearman, R. C., and Watson, J. R. (1990) Turfgrass. In: Stewart BA, Nielsen DR (eds) *Irrigation of agricultural crops*. Madison, Wis., USA, pp 889-919.
- Cathey, S. E., Kruse, J. K., Sinclair, T. R., and Dukes, M. D. (2011). Tolerance of three warm-season turfgrasses to increasing and prolonged soil water deficit. *HortScience*, 46(11): 1550-1555.
- Chong, S. K., Boniak, R., Zhang, A., Yanhe, H., and Ok, C. H. (2004). Physical properties of green sand mixes amended with sphagnum peat moss. *Acta Horticulturae*, 661: 59-64.
- Claus, K., and Rousseau, S. (2012). Public versus private incentives to invest in green roofs: A cost benefit analysis for Flanders. *Urban Forestry and Urban Greening*, 11(4): 417-425.

- Cockerham, S. T., and Leinauer, B. (2011). *Turfgrass water conservation* (Vol. 3523). UCANR Publications.
- Connors, J. P., Galletti, C. S., and Chow, W. T. (2013). Landscape configuration and urban heat island effects: assessing the relationship between landscape characteristics and land surface temperature in Phoenix, Arizona. *Landscape Ecology*, 28(2): 271-283.
- Currie, B. A., and Bass, B. (2008). Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems*, 11(4): 409-422.
- Dasberg, S., and Hopmans, J. W. (1992). Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soils. *Soil Science Society of America Journal*, 56(5): 1341-1345.
- De Luca, A., Volterrani, M., Gaetani, M., Grossi, N., Croce, P., Mocioni, M., Lulli, F., and Magni, S. (2008a). Warm-season turfgrass adaptation in northern Italy. p: 75-76. *Proc. of the 1st ETS Conference*. 19-20 May 2008, Pisa, Italy.
- De Luca, A., Volterrani, M., Gaetani, M., Grossi, N., Croce, P., Mocioni, M., and Lulli, F. (2008b). Warm season turfgrass adaptation in Europe north of the 45° parallel. In: D. Crews and R. Lutz (eds.), *Science and Golf V*. Mesa, AZ: Energy in Motion, Inc. p: 496-501.
- Dean, T. J., Bell, J. P., and Baty, A. J. B. (1987). Soil moisture measurement by an improved capacitance technique, Part I. Sensor design and performance. *Journal of Hydrology*, 93(1): 67-78.
- Delta-T Devices Ltd. (2005). *User manual for the WET sensor type WET-2*, version 1.3. 128 Low Road, Burwell, Cambridge, CB5 0EJ, England.
- Devitt, D. A., Morris, R. L., and Bowman, D. C. (1992). Evapotranspiration, crop coefficients, and leaching fractions of irrigated desert turfgrass systems. *Agronomy Journal*, 84(4): 717-723.
- Dhakal, S., and Hanaki, K. (2002). Improvement of urban thermal environment by managing heat discharge sources and surface modification in Tokyo. *Energy and buildings*, 34(1): 13-23.
- Doorendos, J., and Pruitt, W. O. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 24*, FAO, Rome.
- Duble, R. L. (1996) *Turfgrasses: Their management and use in the southern zone*. Texas A and M University. Press, College Station, TX.
- Duncan, R. R., and Carrow, R. N. (2000). *Seashore paspalum: The environmental turfgrass*. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
- Dunnett, N. (2002). Up on the roof. The potential of elevated planting. *GARDEN-ROYAL HORTICULTURAL SOCIETY*, 127(5): 380-383.
- Dunnett, N., and Nolan, A. (2002). The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semi-extensive green roof. *Acta Horticulturae*, 643: 305-309.

- Dunnett, N., and Kingsbury, N. (2010). *Planting Green Roofs and Living Walls*. Second Edition, Timber Press, Cambridge, U.K.
- Dunnett, N., Nagase, A., and Hallam, A. (2008). The dynamics of planted and colonizing species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: influence of substrate depth. *Urban Ecosystems*, 11(4): 373-384.
- Dunnett, N., Nagase, A., Booth, R., and Grime, P. (2008). Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. *Urban Ecosystems*, 11(4): 385-398.
- Durhman, A. K., Rowe, D. B., and Rugh, C. L. (2006). Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. *HortScience*, 41(7): 1623-1628.
- Durhman, A. K., Rowe, D. B., and Rugh, C. L. (2007). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42(3): 588-595.
- Ebdon, J. S., Petrovic, A. M., and Dawson, T. E. (1998). Relationship between carbon isotope discrimination, water use efficiency, and evapotranspiration in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 38(1): 157-162.
- Ebdon, J. S., Petrovic, A. M., and White, R. A. (1999). Interaction of nitrogen, phosphorus, and potassium on evapotranspiration rate and growth of Kentucky bluegrass. *Crop science*, 39(1): 209-218.
- Environmental Impacts Team (2003). English Nature Research Reports Number 498: Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. *EcoSchemes Ltd in association with Studio-Engleback*.
- Feldhake, C. M., Danielson, R. E., and Butler, J. D. (1983). Turfgrass evapotranspiration. I. Factors influencing rate in urban environments. *Agronomy journal*, 75(5): 824-830.
- Feng, C., Meng, Q., and Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and buildings*, 42(6): 959-965.
- Fenstermaker-Shaulis, L. K., Leskys, A., and Devitt, D. A. (1997). Utilization of remotely sensed data to map and evaluate turfgrass stress associated with drought. *Journal of Turfgrass Management*, 2(1): 65-81.
- Fernandez, G. C., and Love, B. (1993). Comparing turfgrass cumulative evapotranspiration curves. *HortScience*, 28(7): 732-734.
- Fernandez-Cañero, R., Emilsson, T., Fernandez-Barba, C., and Herrera Machuca, M. Á. (2013). Green roof systems: A study of public attitudes and preferences in southern Spain. *Journal of environmental management*, 128: 106-115.
- Ferre, P. A., and Topp, G. C. (2000). *Time-domain reflectometry sensor techniques for soil water content measurements and electrical conductivity measurements*. pp: 277-300. In: H. Baltes, W. Gopel, and J. Hesse (eds.). Sensors update. vol. 7. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.

- Ferre, P. A., and Topp, G. C. (2002). *Time-domain reflectometry*. pp:434-446. In: G.H. Dane and G.C. Topp. *Methods of soil analysis*, Part 4 - Physical methods. Soil Sci. Soc. Amer., Madison, Wisconsin, USA.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L. G., and Principi, P. (2010). Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45(8): 1890-1904.
- Fitz-Rodriguez, E., and Choi, C. Y. (2002). Monitoring turfgrass quality using multispectral radiometry. *Transactions of the ASAE*, 45(3): 865-871.
- FLL-Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (2008). Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Richtlinien für Dachbegrünungen (Guideline for the planning, execution and upkeep of green-roof sites), Bonn, Germany.
- Friedrich, C. R. (2005). Principles for selecting the proper components for a green roof growing media. In *Proc. 3rd Intl. Green Roof Conf.: Greening rooftops for sustainable communities*, May, 2005, Vol. 3, 262-274.
- Fry, J., and Huang, B. (2004). *Applied turfgrass science and physiology*. John Wiley and Sons, Hoboken, NJ.
- Fu, J., Fry, J., and Huang, B. (2004). Minimum water requirements of four turfgrasses in the transition zone. *HortScience*, 39(7): 1740-1744.
- Geren, H., Avcioglu, R., and Curaoglu, M. (2009). Performances of some warm-season turfgrasses under Mediterranean conditions. *African Journal of Biotechnology*, 8(18): 4469-4474.
- Getter, K. L., and Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5): 1276-1285.
- Getter, K. L., and Rowe, D. B. (2007). Effect of substrate depth and planting season on *Sedum* plug survival on green roofs. *Journal of Environmental Horticulture*, 25(2): 95.
- Getter, K. L., and Rowe, D. B. (2008). Media depth influences *Sedum* green roof establishment. *Urban Ecosystems*, 11(4): 361-372.
- Getter, K. L., Rowe, D. B., and Andresen, J. A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4): 225-231.
- Gibeault, V. A., Cockerham, S., Henry, J. M., and Meyer, J. (1989). California turfgrass: It's use, water requirement and irrigation. *California turfgrass culture California University, Berkeley, Cooperative Extension Service*, 39: 1-9.
- Green, D. E., Burpee, L. L., and Stevenson, K. L. (1998). Canopy reflectance as a measure of disease in tall fescue. *Crop science*, 38(6): 1603-1613.
- Harivandi, A. (1990). *Managing Turfgrasses During Drought*. UCANR Publications.
- Hassid, S., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Linardi, A., Klitsikas, N., Georgakis, C., and Assimakopoulos, D. N. (2000). The effect of the Athens heat island on air conditioning load. *Energy and Buildings*, 32(2): 131-141.

- Herman, R. (2003). Green Roofs in Germany: Yesterday, Today and Tomorrow. Uncommon Plants. In *Proc. of the 1st North American Green Roof Conf.: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago, IL. 29-30 May 2003. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Hilhorst, M. A. (2000). A pore water conductivity sensor. *Soil Science Society of America Journal*, 64(6): 1922-1925.
- Hitchmough, J. D. (1994). *Urban landscape management*. Inkata Press Pty Ltd, Sidney, Australia.
- Huang, B. (1999). Water relations and root activities of *Buchloe dactyloides* and *Zoysia japonica* in response to localized soil drying. *Plant and Soil*, 208(2): 179-186.
- Huang, B. (2008). Turfgrass water requirements and factors affecting water usage. *Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes. CAST Special Publication*, 27: 193-203.
- Huang, B., Duncan, R. R., and Carrow, R. N. (1997). Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspects. *Crop Science*, 37(6): 1863-1869.
- Huang, B., Fry, J., and Wang, B. (1998). Water relations and canopy characteristics of tall fescue cultivars during and after drought stress. *HortScience*, 33(5): 837-840.
- IGRA, 2008. Types of Green Roofs. International Green Roof Association. (IGRA). Available at: <http://www.igra-world.com/green-roof-types/index.html> (accessed September, 2013)
- Jenrick, K. (2005) *Green roofs: a horticultural perspective*. Ritak Vitabuc Gardens, Kew, United Kingdom.
- Jiang, Y., and Carrow, R. N. (2005). Assessment of narrow-band canopy spectral reflectance and turfgrass performance under drought stress. *HortScience*, 40(1): 242-245.
- Johnson, G. L., Sinclair, T. R., and Kenworthy, K. (2009). Transpiration and normalized difference vegetation index response of seashore paspalum to soil drying. *HortScience*, 44(7): 2046-2048.
- Karcher, D. E., and Richardson, M. D. (2005). Batch analysis of digital images to evaluate turfgrass characteristics. *Crop science*, 45(4): 1536-1539.
- Karcher, D. E., Richardson, M. D., Hignight, K., and Rush, D. (2008). Drought tolerance of tall fescue populations selected for high root/shoot ratios and summer survival. *Crop Science*, 48(2): 771-777.
- Kardinal Jusuf, S., Wong, N. H., Hagen, E., Anggoro, R., and Hong, Y. (2007). The influence of land use on the urban heat island in Singapore. *Habitat International*, 31(2): 232-242.
- Kargas, G., and Kerkides, P. (2008). Water content determination in mineral and organic porous media by ML2 theta probe. *Irrigation and Drainage*, 57(4): 435-449.

- Kargas, G., and Soulis, K. X. (2011). Performance analysis and calibration of a new low-cost capacitance soil moisture sensor. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(7): 632-641.
- Kargas, G., Kerkides, P., Seyfried, M., and Sgoumbopoulou, A. (2011). WET sensor performance in organic and inorganic media with heterogeneous moisture distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 75(4): 1244-1252.
- Kargas, G., Ntoulas, N., and Nektarios, P. A. (2013). Moisture Content Measurements of Green Roof Substrates Using Two Dielectric Sensors. *HortTechnology*, 23(2): 177-186.
- Kjelgren, R., Rupp, L., and Kilgren, D. (2000). Water Conservation in Urban Landscapes. *HortScience*, 35(6): 1037-1040.
- Kneebone, W. R., and Pepper, I. L. (1982). Consumptive water use by sub-irrigated turfgrasses under desert conditions. *Agronomy Journal*, 74(3): 419-423.
- Knipling, E. B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1(3): 155-159.
- Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., and Watkins, R. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 80(4): 383-392.
- Kotsiris, G., Androutsopoulos, A., Polychroni, E., and Nektarios, P. A. (2012a). Dynamic U-value estimation and energy simulation for green roofs. *Energy and Buildings*, 45: 240-249.
- Kotsiris, G., Nektarios, P. A., and Paraskevopoulou, A. T. (2012b). *Lavandula angustifolia* growth and physiology is affected by substrate type and depth when grown under Mediterranean semi-intensive green roof conditions. *HortScience*, 47(2): 311-317.
- Lamanna, D., Castelnuovo, M., and D'Angelo, G. (1991). Compost-based media as alternative to peat on ten pot ornamentals. *Acta Horticulturae*, 294:125-130.
- Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate* (Vol. 28). Academic press, New York.
- Latocha, P., and Batorska, A. (2007). The influence of irrigation system on growth rate and frost resistance of chosen ground cover plants on extensive green roofs. *Ann. Warsaw Univ. of Life Sc.-SGGW. Horticulture and Landscape Architect*, 28: 131-137.
- Ledieu, J., De Ridder, P., De Clerck, P., and Dautrebande, S. (1986). A method of measuring soil moisture by time-domain reflectometry. *Journal of Hydrology*, 88(3): 319-328.
- Leinauer, B., Serena, M., Schiavon, M., and Sevostianova, E. (2012). Water Demands and Water Conservation Strategies in Turfgrass Management. *Acta Horticulture*, 938:113-120.
- Li, F., Wang, R., Paulussen, J., and Liu, X. (2005). Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, 72(4): 325-336.

- Liu, H., McCarty, L. B., Wells, C. E., Baldwin, C. M., and Brown, P. J. (2005). A greenhouse establishment study comparing peanut shell bio-solid with peat moss as an organic source for root zone mix. *International Turfgrass Society Research Journal*, 10: 1108-1114.
- Liu, K. and B. Baskaran. (2003). Thermal performance of green roofs through field evaluation. pp: 273-282. In *Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Chicago. May 29-30, 2003. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Livada, I., Santamouris, M., Niachou, K., Papanikolaou, N., and Mihalakakou, G. (2002). Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3-4): 219-230.
- MacIvor, J. S., and Lundholm, J. (2011). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*, 37(3): 407-417.
- Marcum, K. B., Engelke, M. C., Morton, S. J., and White, R. H. (1995). Rooting characteristics and associated drought resistance of zoysiagrasses. *Agronomy journal*, 87(3): 534-538.
- Mentens, J., Raes, D., and Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and urban planning*, 77(3): 217-226.
- Μητούλα Ρ. (2001), *Συνθήκες διαμόρφωσης της Σύγχρονης Ελληνικής Πόλης*. Ινστιτούτο Δημοκρατίας Κ. Καραμανλής, Εκδόσεις Σιδέρης, Αθήνα.
- Miller, C. (2003). Moisture management in green roofs. In *Proceedings of the First Annual International Green Roofs Conference: Greening Rooftops for sustainable Communities*, Chicago, May 2003. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Miller, J. P. (2007). *Sensor based irrigation and wetting agent application effects on a sand based putting green*. Master thesis, University of Arkansas, Department of Horticulture.
- Mirzaei, P. A., and Haghghat, F. (2010). Approaches to study urban heat island-abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10): 2192-2201.
- Monterusso, M. A., Rowe, D. B., and Rugh, C. L. (2005). Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience*, 40(2): 391-396.
- Moran, A., B. Hunt, and J. Smith. (2005). Hydrologic and water quality performance from green roofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. pp: 512-525. In *Proc. of the 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Washington, DC. May 4-6, 2005. The Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Morel, P., and Michel, J. C. (2004). Control of the moisture content of growing media by time domain reflectometry (TDR). *Agronomie*, 24(5): 275-279.

- Morris, K. (2001). *National zoysiagrass test 1996*. National Turfgrass Evaluation Program. Final Report 1997-2000, NTEP No. 01-15.
- Motulsky, H.J., and A. Christopoulos. (2003). *Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: A practical guide to curve fitting*. GraphPad Software, Inc. San Diego, CA.
- Muñoz-Carpena, R., Shukla, S., and Morgan, K. (2004). *Field devices for monitoring soil water content*. University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.
- Nagase, A. and Thuring, C. (2006). Plant responses to drought on extensive green roofs: the effects of temperature, substrate type and substrate depth. In *Proceeding of the forth North American Green Roofs Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Boston, MA. May 2006. Cardinal Group, Toronto, Canada.
- Nagase, A., and Dunnett, N. (2010). Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and Urban Planning*, 97(4): 318-327.
- Nagase, A., and Dunnett, N. (2011). The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning*, 103(2): 230-236.
- Nektarios, P. A., Amountzias, I., Kokkinou, I., and Ntoulas, N. (2011a). Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species *Dianthus fruticosus* under reduced irrigation regimens. *HortScience*, 46(8): 1208-1216.
- Nektarios, P. A., Kastritsis, S., Ntoulas, N., and Tsiotsiopolou, P. (2011b). Substrate amendment effects on potted plant production and dry weight partition of *Lantana camara*. *HortScience*, 46(6): 864-869.
- Nektarios, P. A., Ntoulas, N., McElroy, S., Volterrani, M., and Arbis, G. (2011c). Effect of olive mill compost on native soil characteristics and tall fescue turfgrass development. *Agronomy Journal*, 103(5): 1524-1531.
- Nektarios, P. A., Tsiotsiopolou, P., Chronopoulos, I. (2003). Soil amendments reduce roof garden weight and influence the growth rate of *Lantana*. *HortScience*, 38(4): 618-622.
- Nektarios, P. A., Ntoulas, N., Paraskevopoulou, A. T., Zacharopoulou, A., and Chronopoulos, I. (2013). Substrate and drainage system selection and slope stabilization in an intensive-type roof garden park: case study of Athens Concert Hall. *Landscape and Ecological Engineering*, DOI 10.1007/s11355-013-0213-z.
- Nemali, K. S., Montesano, F., Dove, S. K., and Van Iersel, M. W. (2007). Calibration and performance of moisture sensors in soilless substrates: ECH₂O and Theta probes. *Scientia horticultrae*, 112(2): 227-234.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., and Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and buildings*, 33(7): 719-729.
- Noborio, K., McInnes, K. J., and Heilman, J. L. (1994). Field measurements of soil electrical conductivity and water content by time-domain reflectometry. *Computers and electronics in agriculture*, 11(2): 131-142.

- Ntoulas, N., Nektarios, P. A., and Gogoula, G. (2011). Evaluation of olive mill waste compost as a soil amendment for *Cynodon dactylon* turf establishment, growth, and anchorage. *HortScience*, 46(6): 937-945.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Kohler, M., Liu, K., K., Y., and Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10): 823-833.
- Olmstead, M. A., Wample, R., Greene, S., and Tarara, J. (2004). Nondestructive measurement of vegetative cover using digital image analysis. *HortScience*, 39(1): 55-59.
- Olszewski, M. W., and Young, C. A. (2011). Physical and Chemical Properties of Green Roof Media and Their Effect on Plant Establishment. *Journal of Environmental Horticulture*, 29(2): 81-86.
- Olszewski, M. W., Holmes, M. H., and Young, C. A. (2010). Assessment of physical properties and stonecrop growth in green roof substrates amended with compost and hydrogel. *HortTechnology*, 20(2): 438-444.
- Onishi, A., Cao, X., Ito, T., Shi, F., and Imura, H. (2010). Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. *Urban forestry and Urban greening*, 9(4): 323-332.
- Osmundson, T. (1999). *Roof gardens: history, design, and construction*. WW Norton and Company, New York.
- Papadakis, G., Tsamis, P., and Kyritsis, S. (2001). An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*, 33(8): 831-836.
- Papafotiou, M., Pergialioti, N., Tassoula, L., Massas, I., and Kargas, G. (2013). Growth of native aromatic xerophytes in an extensive Mediterranean green roof as affected by substrate type and depth and irrigation frequency. *HortScience*, 48(10): 1327-1333.
- Papafotiou, M., Phsyhalou, M., Kargas, G., Chatzipavlidis, I., and Chronopoulos, J. (2004). Olive-mill wastes compost as growing medium component for the production of poinsettia. *Scientia Horticulturae*, 102(2), 167-175.
- Patton, A. J., and Reicher, Z. J. (2007). Zoysiagrass species and genotypes differ in their winter injury and freeze tolerance. *Crop science*, 47(4): 1619-1627.
- Patton, A.J. (2010). Selecting zoysiagrasses: Pest tolerance and other criteria. *Golf Course Mgt.* 78: 80-85.
- Peck, S. W., and Kuhn, M. (2003). *Design guidelines for green roofs*. Ontario Association of Architects.
- Peck, S. W., Callaghan, C., Kuhn, M., and Bass, B. (1999). Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion. *Prepared for: Canada Mortgage and Housing Corporation*.

- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032): 120-145.
- Peuportier, B. L. P. (2001). Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and buildings*, 33(5): 443-450.
- Qian, Y. L., and Engelke, M. C. (1997). Evaluation of zoysiagrass genotypes for shade tolerance. *Texas Turfgrass Research J. TURF-97*: 1-11.
- Qian, Y. L., Fry, J. D., and Upham, W. S. (1997). Rooting and drought avoidance of warm-season turfgrasses and tall fescue in Kansas. *Crop Science*, 37(3): 905-910.
- Qian, Y., and Fry, J. D. (1997). Water relations and drought tolerance of four turfgrasses. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 122(1): 129-133.
- Regalado, C. M., Ritter, A., and Rodríguez-González, R. M. (2007). Performance of the commercial WET capacitance sensor as compared with time domain reflectometry in volcanic soils. *Vadose Zone Journal*, 6(2): 244-254.
- Richardson, M. D., Karcher, D. E., and Purcell, L. C. (2001). Quantifying turfgrass cover using digital image analysis. *Crop Science*, 41(6): 1884-1888.
- Richardson, M. D., Karcher, D. E., Hignight, K., and Rush, D. (2008). Drought tolerance and rooting capacity of Kentucky bluegrass cultivars. *Crop Science*, 48(6): 2429-2436.
- Rimi, F., Macolino, S., Richardson, M. D., Karcher, D. E., and Leinauer, B. (2013). Influence of three nitrogen fertilization schedules on bermudagrass and seashore paspalum: I. Spring green-up and fall color retention. *Crop Science*, 53(3): 1161-1167.
- Robinson, D. A., Gardner, C. M. K., and Cooper, J. D. (1999). Measurement of relative permittivity in sandy soils using TDR, capacitance and theta probes: comparison, including the effects of bulk soil electrical conductivity. *Journal of Hydrology*, 223(3): 198-211.
- Robinson, D. A., Jones, S. B., Wraith, J. M., Or, D., and Friedman, S. P. (2003). A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. *Vadose Zone Journal*, 2(4): 444-475.
- Roth, K., Schulin, R., Flühler, H., and Attinger, W. (1990). Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. *Water Resources Research*, 26(10): 2267-2273.
- Rowe, D. B., Monterusso, M. A., and Rugh, C. L. (2006). Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology*, 16(3): 471-477.
- Rowe, D. B., Rugh, C. L., VanWoert, N., Monterusso, M. A., and Russell, D. K. (2003). Green roof slope, substrate depth, and vegetation influence runoff. pp: 354-362. In *Proceedings of the 1st North American Green Roof Conference: greening rooftops for sustainable communities*. May 2003. The Cardinal Group, Chicago, USA.

- Rowland, J. H., Cisar, J. L., Snyder, G. H., Sartain, J. B., Wright, A. L., and Erickson, J. E. (2010). Optimal Nitrogen and Potassium Fertilization Rates for Establishment of Warm-Season Putting Greens. *Agronomy Journal*, 102(6): 1601-1605.
- Ruemmele, B. A., Engelke, M. C., White, R. H., and Lehman, V. (2001). Alternative sod production method for zoysiagrass. *Int. Turfgrass Soc. Res. J*, 9: 910-916.
- Salaiz, T. A., Horst, G. L., and Shearman, R. C. (1995). Mowing height and vertical mowing frequency effects on putting green quality. *Crop science*, 35(5): 1422-1425.
- Santamouris, M. (2001). *Energy and climate in the urban built environment*. (eds.) James and James, London, UK.
- Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A., and Patargias, P. (2007). Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*, 32(9): 1781-1788.
- Scholz-Barth, K. (2001). Green roofs: Stormwater management from the top down. *Environmental Design and Construction*, 4(1): 63-70.
- Schrader, S., and Böning, M. (2006). Soil formation on green roofs and its contribution to urban biodiversity with emphasis on Collembolans. *Pedobiologia*, 50(4): 347-356.
- Schuerger, A. C., Capelle, G. A., Di Benedetto, J. A., Mao, C., Thai, C. N., Evans, M. D., Richards, J. T., Blank, T. A., and Stryjewski, E. C. (2003). Comparison of two hyperspectral imaging and two laser-induced fluorescence instruments for the detection of zinc stress and chlorophyll concentration in bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge.). *Remote sensing of environment*, 84(4): 572-588.
- Scoggins, H. L., and van Iersel, M. W. (2006). In situ probes for measurement of electrical conductivity of soilless substrates: Effects of temperature and substrate moisture content. *HortScience*, 41(1): 210-214.
- Scrivens, S. (2004). Roof gardens. In: Hitchmough, J.D. and Fieldhouse, K. (eds) *Plant user handbook-A guide to effective specifying*. Oxford, Blackwell Science, UK.
- Severmutlu, S., Mutlu, N., Gurbuz, E., Gulsen, O., Hocagil, M., Karaguzel, O., Heng moss, Shearman R. C. and Gaussoin, R. E. (2011). Drought Resistance of Warm-season Turfgrasses Grown in Mediterranean Region of Turkey. *HortTechnology*, 21(6): 726-736.
- Seyfried, M. S., and Murdock, M. D. (2001). Response of a new soil water sensor to variable soil, water content, and temperature. *Soil Science Society of America Journal*, 65(1): 28-34.
- Seyfried, M. S., and Murdock, M. D. (2004). Measurement of soil water content with a 50-MHz soil dielectric sensor. *Soil Science Society of America Journal*, 68(2): 394-403.
- Seyfried, M. S., Grant, L. E., Du, E., and Humes, K. (2005). Dielectric loss and calibration of the Hydra Probe soil water sensor. *Vadose Zone Journal*, 4(4): 1070-1079.

- Shearman, R.C. (2008). Turfgrass cultural practices for water conservation. pp: 205-222. In James B. Beard and Michael P. Kenna (eds.) *Water Quality and Quantity Issues for Turfgrasses in Urban Landscapes*. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, IA.
- Spaans, E. J., and Baker, J. M. (1996). The soil freezing characteristic: Its measurement and similarity to the soil moisture characteristic. *Soil Science Society of America Journal*, 60(1): 13-19.
- Spectrum Technologies, Inc. (2009). *Field Scout TDR300, product manual*. 12360 S. Industrial Dr. East, Plainfield, IL 60585 USA.
- Spronken-Smith, R. A., and Oke, T. R. (1998). The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International journal of remote sensing*, 19(11): 2085-2104.
- Steinke, K., Chalmers, D., Thomas, J., and White, R. (2011). Bermudagrass and buffalograss drought response and recovery at two soil depths. *Crop Science*, 51(3): 1215-1223.
- Steinke, K., Chalmers, D., Thomas, J., White, R., and Fipps, G. (2010). Drought response and recovery characteristics of St. Augustinegrass cultivars. *Crop Science*, 50(5): 2076-2083.
- Stone, M. L., Solie, J. B., Raun, W. R., Whitney, R. W., Taylor, S. L., and Ringer, J. D. (1996). Use of spectral radiance for correcting in-season fertilizer nitrogen deficiencies in winter wheat. *Transactions of the ASAE*, 39(5): 1623-1631.
- Susca, T., Gaffin, S. R., and Dell'Osso, G. R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8): 2119-2126.
- Takebayashi, H., and Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8): 2971-2979.
- Takebayashi, H., and Moriyama, M. (2009). Study on the urban heat island mitigation effect achieved by converting to grass-covered parking. *Solar Energy*, 83(8): 1211-1223.
- The GRO Green Roof Code: Green Roof Code for Best Practice for the UK (2011). *Groundwork, Sheffield, UK*.
- Theodosiou, T. G. (2003). Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy and Buildings*, 35(9): 909-917.
- Thuring, C. E., Berghage, R. D., and Beattie, D. J. (2010). Green roof plant responses to different substrate types and depths under various drought conditions. *HortTechnology*, 20(2): 395-401.
- Topp, G. C., Davis, J. L., and Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16(3): 574-582.
- Topp, G. C., Zegelin, S., and White, I. (2000). Impacts of the real and imaginary components of relative permittivity on time domain reflectometry measurements in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 64(4): 1244-1252.

- Topp, G.C., and P.A. Ferre. (2002). Methods for measurement of soil water content: Thermogravimetric using convective oven-drying. pp: 422-424. In J.H. Dane and G.C. Top (eds) Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.
- Trenholm, L. E., and Unruh, J. B. (2002). *Seashore paspalum for Florida lawns*. EDIS Publication CIR-1244. Environmental Horticulture Department, University of Florida, Gainesville, FL.
- Trenholm, L. E., Carrow, R. N., and Duncan, R. R. (1999). Relationship of multispectral radiometry data to qualitative data in turfgrass research. *Crop Science*, 39(3): 763-769.
- Trenholm, L. E., Carrow, R. N., and Duncan, R. R. (2001). Wear tolerance, growth, and quality of seashore paspalum in response to nitrogen and potassium. *HortScience*, 36(4): 780-783.
- Turgeon, A. (2005) *Turfgrass Management* 7th Ed, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Turner, N. C. (1981). Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58(1-3): 339-366.
- United Nations, 2007. *State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth*. New York: UN.: http://www.unfpa.org/swp/2007/presskit/pdf/sowp2007_eng.pdf (accessed August 2013)
- van Iersel, M., Dove, S., and Burnet, S. (2011). The use of soil moisture probes for improved uniformity and irrigation control in greenhouses. *Acta Horticulturae*, 893:1049-1056.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., and Xiao, L. (2005). Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth. *HortScience*, 40(3): 659-664.
- VanWoert, N. D., Rowe, D. B., Andresen, J. A., Rugh, C. L., Fernandez, R. T., and Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention. *Journal of environmental quality*, 34(3): 1036-1044.
- Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., and Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 94: 128-144.
- Volterrani, M., Grossi, N., Gaetani, M., and Pompeiano, A. (2010). Zoysiagrass cultivar establishment rate and turf quality in central Italy. *Acta Horticulturae* 881: 313-316.
- Volterrani, M., Grossi, N., Lulli, F., and Gaetani, M. (2008.) Warm-season turfgrass establishment by transplant of single potted plants. *Acta Horticulturae* 783: 77-84.
- Weng, Q., Lu, D., and Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4): 467-483.
- White, I., Knight, J. H., Zegelin, S. J., and Topp, G. C. (1994). Comments on 'Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring

- soil water content' by WR Whalley. *European journal of soil science*, 45(4): 503-508.
- White, R. H., Engelke, M. C., Anderson, S. J., Ruemmele, B. A., Marcum, K. B., and Taylor, G. R. (2001). Zoysiagrass water relations. *Crop Science*, 41(1): 133-138.
- White, R. H., Engelke, M. C., Morton, S. J., and Ruemmele, B. A. (1992). Competitive turgor maintenance in tall fescue. *Crop science*, 32(1): 251-256.
- Williams, N. S., Rayner, J. P., and Raynor, K. J. (2010). Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban forestry and urban greening*, 9(3): 245-251.
- Wolf, D., and Lundholm, J. T. (2008). Water uptake in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33(2): 179-186.
- Xiong, X., Bell, G. E., Solie, J. B., Smith, M. W., and Martin, B. (2007). Bermudagrass seasonal responses to nitrogen fertilization and irrigation detected using optical sensing. *Crop science*, 47(4): 1603-1610.
- Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., και Χρονόπουλος, Ι. (2011). Βιομετεωρολογία-Βιοκλιματολογία. Εφαρμογές στη διαμόρφωση υπαίθριων χώρων. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Xu, L. Y., Xie, X. D., and Li, S. (2013). Correlation analysis of the urban heat island effect and the spatial and temporal distribution of atmospheric particulates using TM images in Beijing. *Environmental Pollution*, 178: 102-114.
- Yang, J., Yu, Q., and Gong, P. (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), 7266-7273.
- Yoshikawa, K., Overduin, P. P., and Harden, J. W. (2004). Moisture content measurements of moss (*Sphagnum* spp.) using commercial sensors. *Permafrost and Periglacial Processes*, 15(4): 309-318.
- Young, M. H., Fleming, J. B., Wierenga, P. J., and Warrick, A. W. (1997). Rapid laboratory calibration of time domain reflectometry using upward infiltration. *Soil Science Society of America Journal*, 61(3): 707-712.