



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ,
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Σ. ΔΗΜΑΚΑΣ

ΓΕΩΠΟΝΟΣ, Μ.Δ.Ε.

ΒΟΛΟΣ

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2014



ISBN

Copyright © Δημήτριος Δημάκας, 2014

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη

(Επιβλέπουσα)

Αρδεύσεις, Στραγγίσεις, Υδραυλική

Καθηγήτρια - Κοσμήτορας Σχολής
Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ανθούλα Δημήρκου

(μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Εδαφολογία με Έμφαση στη Χημεία
Εδάφους

Καθηγήτρια

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ιωάννης Αλεξίου

(μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Διαχείριση Εδαφικών και Υδατικών Πόρων

Αναπληρωτής Ερευνητής

Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης
Εδαφών Λάρισας,
Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας

Νικόλαος Δαναλάτος

Γεωργία - Οικολογία Φυτών Μεγάλης
Καλλιέργειας

Καθηγητής

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ιωάννης Καλαβρουζιώτης

Διαχείριση Υγρών Αστικών Αποβλήτων

Αναπληρωτής Καθηγητής

Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας,
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Χρήστος Νάκας

Βιομετρία

Επίκουρος Καθηγητής

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος,
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δημήτριος Καλφούντζος

Αρδεύσεις – Στραγγίσεις και Μαθηματική
Προσομοίωση της Κίνησης του Νερού στο
Έδαφος

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικής Βιοσυστημάτων,
Τεχνικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλίας

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 10/04/2014

Δημήτριος Σ. Δημάκας (2014). Εφαρμογή των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στη γεωργία. Επίδραση στην άρδευση, στην ανάπτυξη των φυτών και στο περιβάλλον.

20 Προκαταρκτικές Σελίδες, 250 Σελίδες, 12 Σελίδες Βιβλιογραφία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επίδραση της εφαρμογής των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων (βιοστερεών) στην γεωργία και συγκεκριμένα η επίδραση στην άρδευση, στην ανάπτυξη των φυτών και στο περιβάλλον, μελετήθηκε σε έρευνα που διεξήχθη κατά τα συναπτά έτη 2009-2011 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο, καθώς και στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εννέα μεταχειρίσεις σε τρεις επαναλήψεις οργανώθηκαν σε σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων: α) Εφαρμογή βιοστερεών (500kg/στρ.) στο έδαφος με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας), β) Εφαρμογή ανόργανης λίπανσης (ίδιες ποσότητες αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) με τα βιοστερεά) με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας) και γ) Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή ανόργανης λίπανσης) με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας). Παράλληλα, σε παρακείμενο τεμάχιο, οργανώθηκαν τρεις μεταχειρίσεις (βιοστερεά, λίπανση, μάρτυρας) σε τρεις επαναλήψεις οι οποίες αρδεύονταν με δόση άρδευσης η οποία κάλυπτε το 100% των αναγκών της καλλιέργειας και η οποία οριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας. Η εδαφική υγρασία προσδιοριζόταν με αισθητήρα υγρασίας εδάφους. Η μέθοδος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν η επιφανειακή στάγδην άρδευση.

Προσδιορίστηκαν εδαφικές και κλιματικές παράμετροι, καθώς και παράμετροι των βιοστερεών, μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών, ενώ υπολογίστηκε η αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας καθώς και η θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν πως η εφαρμογή βιοστερεών μπορεί να αντικαταστήσει την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης στις καλλιέργειες ενεργειακών φυτών, με αύξηση στην παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης, χωρίς η αντικατάσταση αυτή να επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον.

Παράλληλα με την εφαρμογή των βιοστερεών μπορεί να εξοικονομηθεί, σε πολλές περιπτώσεις, αρδευτικό νερό σε ποσοστό που φθάνει το 31%, χωρίς να μειωθεί η αποδοτικότητα της καλλιέργειας του γλυκού σόργου.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Άρδεύσεις

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: άρδευση, βιοστερεά, βιοαιθανόλη, γλυκό σόργο, βιομάζα, αποδοτικότητα χρήσης νερού

Dimitrios S. Dimakas (2014). Application of processed municipal solid waste in agriculture. Effects on irrigation, in plant development and on the environment.

ABSTRACT

The effects of processed municipal solid waste (biosolids) application in agriculture, were investigated in a field experiment during the years 2009-2011. The study was conducted at the experimental farm station of the University of Thessaly, in Velestino, Magnesia, Central Greece and in the Laboratory of Agricultural Hydraulics of the University of Thessaly.

Nine treatments with three replications were organized in a randomized complete block design as follows: a) Biosolids application at a rate of 5 Mg/ha with three different irrigation doses (100%, 80% and 60% of the daily crop evapotranspiration), b) Inorganic fertilizer application (containing the same amount of total nitrogen, phosphorus and potassium as the applied biosolids) with three different irrigation doses (100%, 80% and 60% of the daily crop evapotranspiration) and c) Untreated Control (no application of fertilizer or biosolids) with three different irrigation doses (100%, 80% and 60% of the daily crop evapotranspiration). Alongside, three treatments (biosolids, fertilizer, control) with three replications, were organized nearby. These treatments were irrigated with the 100% of the crop total needs, by the soil moisture level, which was determined by a soil moisture sensor. The surface drip irrigation method was used for all treatments.

Soil, climate and biosolids parameters were determined as long as with the growth and productivity characteristics of the crop. Water use efficiency and theoretical ethanol production of the sweet sorghum crop were also estimated.

The results of this research showed that biosolids application can replace inorganic fertilizer application to energy crops with an increase in biomass and ethanol production without harming the environment.

Application of biosolids can save valuable irrigation water at a percentage that reaches 31%, without reducing the productivity of the crop. Consequently, by the application of biosolids this water could be saved from irrigation, and thus energy and valuable water resources could be saved.

Biosolids application can replace the application of inorganic fertilizers and save valuable irrigation water which can result in energy saving in agriculture.

SUBJECT AREA: Irrigation

KEYWORDS: irrigation, biosolids, sweet sorghum, drip irrigation, biomass, water use efficiency, ethanol

Στην οικογένειά μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω αρχικά την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου κ. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μαρία για την επιστημονική καθοδήγησή της σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Η συμβολή της και η υποστήριξή της σε θέματα γεωργικής υδραυλικής και αρδεύσεων, υπήρξε καθοριστική. Οι εύστοχες παρατηρήσεις της και οι συμβουλές της με βοήθησαν να ολοκληρώσω με επιτυχία τη διδακτορική μου διατριβή. Η παρουσία της ήταν πάντα αισθητή και μου πρόσφερε συνεχή στήριξη.

Ευχαριστίες θα ήθελα επίσης να εκφράσω:

Στον κ. Αλεξίου Ιωάννη, Αναπληρωτή Ερευνητή του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε, για τις σημαντικές υποδείξεις του σε θέματα διαχείρισης εδαφικών και υδατικών πόρων, που συνέβαλαν καθοριστικά στη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής.

Στην κ. Δημήρκου Ανθούλα, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις σημαντικές υποδείξεις σε θέματα εδαφολογίας, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής.

Στον κ. Χρήστο Νάκα, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις σημαντικές υποδείξεις του και τη βοήθειά του σε θέματα Στατιστικής και Βιομετρίας που ήταν καθοριστικά για τη διεκπεραίωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Στον κ. Νικόλαο Δαναλάτο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για τις σημαντικές διορθώσεις και υποδείξεις του σε θέματα γεωργίας φυτών, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής..

Στον κ. Ιωάννη Καλαβρουζιώτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου, για τις σημαντικές διορθώσεις και υποδείξεις του σε θέματα διαχείρισης αστικών αποβλήτων, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Στον κ. Δημήτριο Καλφούντζο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικής Βιοσυστημάτων, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλίας, για τις σημαντικές διορθώσεις και υποδείξεις του σε θέματα αρδεύσεων, καθώς και για την εποικοδομητική κριτική που άσκησε ως μέλος της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω ευχαριστίες στον κ Ανδρέα Καραγιάννη, Βιοτεχνολόγο καθώς και στην εταιρεία EYAT για την βοήθειά του, τόσο όσον αφορά στην επίδειξη του επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας, ο οποίος αποτελεί ευρεσιτεχνία του, όσο και στον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για την επεξεργασία και παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας των βιοστερεών.

Ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στο προσωπικό του Αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα στον κ. Σπυρίδωνα Σουΐπα, ΕΕΔΠ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και στον κ. Δημήτριο Τόλια για την πολύτιμη βοήθειά που μου πρόσφεραν στο αγρόκτημα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και συγκεκριμένα: τον κ. Ηρακλή Χαλκίδη, Λέκτορα του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, την κ. Αγγελάκη Νατάσα, Διδάκτορα, Φυσικό, ΙΔΑΧ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, τον κ. Χρήστο Παπανικολάου, Διδάκτορα, Γεωπόνο, τον κ. Βασίλειο Γιουβάνη, υπ. Διδάκτορα, Γεωπόνο, όπως επίσης και τον αείμνηστο Νικόλαο Παπανίκο, ΕΕΔΠ του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για τις συμβουλές τους και το όμορφο κλίμα συνεργασίας που υπήρχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής.

Η παρούσα έρευνα συγχρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: **Ηράκλειτος II. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.**



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελ. 1
1.1 Ορισμοί	1
1.2 Ιστορική αναδρομή	2
1.3 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας	3
1.4 Σκοπός της έρευνας	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	11
2.1 Γενικά	11
2.2 Τοποθεσία πειραματικού αγρού	11
2.3 Πειραματικός σχεδιασμός	12
2.4 Έδαφος του πειραματικού αγρού	15
2.5 Επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα	20
2.6 Καλλιεργητικές εργασίες	32
2.7 Άρδευση	36
2.8 Όργανα ελέγχου και μετρήσεων	41
2.9 Στατιστική ανάλυση	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ	69
3.1 Γενικά	69
3.2 Εξατμισοδιαπνοή	69
3.3 Άρδευση βάσει της εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας	78
3.4 Άρδευση βάσει της εδαφικής υγρασίας	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	97
4.1 Γενικά	97
4.2 Κλιματικά δεδομένα	97
4.3 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας	102
4.4 Άρδευση και συνολική ποσότητα νερού	107
4.5 Εδαφική υγρασία	112
4.6 Επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα	118
4.7 Έδαφος	119
4.8 Ανάλυση κόστους	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΨΟΥΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	125
5.1 Γενικά	125
5.2 Ύψος φυτών	125
5.3 Συζήτηση	139
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	141
6.1 Γενικά	141
6.2 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	141
6.3 Συζήτηση	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΛΩΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	Σελ. 159
7.1 Γενικά	159
7.2 Παραγωγή χλωρής βιομάζας	159
7.3 Συζήτηση	175
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	177
8.1 Γενικά	177
8.2 Παραγωγή ξηρής βιομάζας	177
8.3 Συζήτηση	192
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΑΚΧΑΡΩΝ - ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	195
9.1 Γενικά	195
9.2 Περιεκτικότητα σε σάκχαρα	195
9.3 Παραγωγή βιοαιθανόλης	202
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	209
10.1 Γενικά	209
10.2 Αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα	209
10.3 Αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα	215
10.4 Αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης	220
10.5 Συζήτηση	226
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 – ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	231
11.1 Ανακεφαλαίωση	231
11.2 Συμπεράσματα	233
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	239

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό.	Σελ. 14
Σχήμα 2.2: Διάταξη του κάθε πειραματικού τεμαχίου στον αγρό.	14
Σχήμα 2.3: Χάρτης οριοθέτησης των εδαφοτομών του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.	15
Σχήμα 2.4: Διάταξη του συστήματος προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους.	18
Σχήμα 2.5: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑΜΒ.	25
Σχήμα 2.6: Εγκάρσια τομή του επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας.	28
Σχήμα 2.7: Διάταξη των αγωγών του συστήματος επιφανειακής άρδευσης σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.	40
Σχήμα 2.8: Διάταξη των αγωγών εφαρμογής σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.	40
Σχήμα 2.9: Διάταξη του συστήματος SunScan για τη μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας	42
Σχήμα 2.10: Διάταξη του συστήματος Diviner 2000 για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους.	49
Σχήμα 2.11: Διάταξη του συστήματος EnviroSCAN για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους.	53
Σχήμα 2.12: Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα των αισθητήρων.	57
Σχήμα 2.13: Το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων.	63
Σχήμα 3.1: Υδατικό ισοζύγιο του εδάφους.	76
Σχήμα 4.1: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009.	98
Σχήμα 4.2: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2010.	99
Σχήμα 4.3: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2011.	100
Σχήμα 4.4: Τιμές του φυτικού συντελεστή για κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.	103
Σχήμα 4.5: Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009.	104
Σχήμα 4.6: Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010.	105
Σχήμα 4.7: Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011.	106
Σχήμα 4.8: Αθροιστική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των τριών ετών, καθώς και των μέσων τιμών της τριετίας.	106
Σχήμα 4.9: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	112
Σχήμα 4.10: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	113
Σχήμα 4.11: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	114
Σχήμα 4.12: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	114
Σχήμα 4.13: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	115

Σχήμα 4.14: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	Σελ. 116
Σχήμα 4.15: Μέσοι όροι διετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-70 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της υγρασίας του εδάφους.	116
Σχήμα 5.1: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.	126
Σχήμα 5.2: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.	129
Σχήμα 5.3: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.	131
Σχήμα 5.4: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις BA, ΛA και MA, για κάθε έτος.	133
Σχήμα 5.5: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	135
Σχήμα 5.6: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	138
Σχήμα 6.1: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.	142
Σχήμα 6.2: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.	145
Σχήμα 6.3: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.	147
Σχήμα 6.4: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις BA, ΛA και MA, για κάθε έτος.	149
Σχήμα 6.5: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m ² /m ²) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	151
Σχήμα 6.6: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	154
Σχήμα 7.1: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.	160
Σχήμα 7.2: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.	163
Σχήμα 7.3: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.	166
Σχήμα 7.4: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις BA, ΛA και MA, για κάθε έτος.	168
Σχήμα 7.5: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	171
Σχήμα 7.6: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% .	173
Σχήμα 8.1: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.	178
Σχήμα 8.2: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.	181
Σχήμα 8.3: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.	184

Σχήμα 8.4: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις ΒΑ, ΛΑ και ΜΑ, για κάθε έτος.	Σελ. 186
Σχήμα 8.5: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	188
Σχήμα 8.6: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	190
Σχήμα 9.1: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	196
Σχήμα 9.2: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	199
Σχήμα 9.3: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	203
Σχήμα 9.4: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	205
Σχήμα 10.1: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	210
Σχήμα 10.2: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	213
Σχήμα 10.3: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	216
Σχήμα 10.4: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	218
Σχήμα 10.5: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης (L/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	221
Σχήμα 10.6: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης (L/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5%.	224

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Οριακές επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων.	Σελ. 7
Πίνακας 2.1: Φυσικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P2.	17
Πίνακας 2.2: Χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P2.	17
Πίνακας 2.3: Μείωση του βάρους της λυματολάσπης από αρχική ποσότητα 1000 kg σε διάφορα ποσοστά υγρασίας, πριν και μετά την επεξεργασία.	30
Πίνακας 4.1: Διάρκεια και φυτικός συντελεστής του κάθε σταδίου ανάπτυξης του γλυκού σόργου για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.	103
Πίνακας 4.2: Ποσότητες νερού (mm) ανά έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.	108
Πίνακας 4.3: Ποσότητες νερού (mm) ανά έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας.	109
Πίνακας 4.4: Τιμές των χημικών παραμέτρων του νερού άρδευσης.	109
Πίνακας 4.5: Τιμές των χημικών παραμέτρων των βιοστερεών για κάθε έτος της έρευνας.	118
Πίνακας 4.6: Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους.	119
Πίνακας 4.7: Τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους ανά βάθος, πριν την έναρξη της έρευνας.	120
Πίνακας 4.8: Ποσότητες χημικών στοιχείων που εισάγονταν στο έδαφος ετησίως.	121
Πίνακας 4.9: Τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους ανά βάθος και ανά μεταχείριση, μετά τη λήξη της έρευνας.	122
Πίνακας 5.1: Ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	136
Πίνακας 5.2: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών για τα τρία έτη συνολικά.	137
Πίνακας 5.3: Ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	138
Πίνακας 5.4: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών για τα δυο έτη συνολικά.	139
Πίνακας 6.1: Ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	152
Πίνακας 6.2: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας για τα τρία έτη συνολικά.	153
Πίνακας 6.3: Ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	155
Πίνακας 7.1: Ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	172
Πίνακας 7.2: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών για τα τρία έτη συνολικά.	172
Πίνακας 7.3: Ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	174
Πίνακας 7.4: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών για τα δυο έτη συνολικά.	174
Πίνακας 7.5: Συμβολή των στελεχών στη συνολική χλωρή βιομάζα των φυτών.	175
Πίνακας 8.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	189
Πίνακας 8.2: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών για τα τρία έτη συνολικά.	189
Πίνακας 8.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	191
Πίνακας 8.4: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών για τα δυο έτη συνολικά.	191

Πίνακας 9.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	Σελ. 197
Πίνακας 9.2: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα για τα τρία έτη συνολικά.	198
Πίνακας 9.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	199
Πίνακας 9.4: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα, για τα δυο έτη συνολικά.	200
Πίνακας 9.5: Ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	204
Πίνακας 9.6: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης για τα τρία έτη συνολικά.	204
Πίνακας 9.7: Ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	206
Πίνακας 9.8: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα δυο έτη συνολικά.	206
Πίνακας 10.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	211
Πίνακας 10.2: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα για τα τρία έτη συνολικά.	212
Πίνακας 10.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	214
Πίνακας 10.4: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά.	214
Πίνακας 10.5: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	217
Πίνακας 10.6: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα για τα τρία έτη συνολικά.	217
Πίνακας 10.7: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	219
Πίνακας 10.8: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά.	220
Πίνακας 10.9: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	222
Πίνακας 10.10: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης για τα τρία έτη συνολικά.	223
Πίνακας 10.11: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.	225
Πίνακας 10.12: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα δυο έτη συνολικά.	225

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.2: Δορυφορική άποψη του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.	Σελ. 11
Εικόνα 2.3: Δορυφορική άποψη του πειραματικού αγρού στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.	12
Εικόνα 2.4: Το σύστημα προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους.	19
Εικόνα 2.5: Συσκευή προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης, της εταιρείας SoilMoisture.	19
Εικόνα 2.6: Δεξαμενές μεταπάχυνσης της λυματολάσπης.	24
Εικόνα 2.7: Ταινιοφίλτροπρέσα.	24
Εικόνα 2.8: Ταινιόδρομος μεταφοράς της λυματολάσπης.	25
Εικόνα 2.9: Ο κ. Ανδρέας Καραγιάννης με τον επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας.	27
Εικόνα 2.10: Διάφορα μέρη της εισόδου του επεξεργαστή.	27
Εικόνα 2.11: Αποξήρανση της λυματολάσπης μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας.	29
Εικόνα 2.12: Ο απαγωγός θερμότητας του επεξεργαστή.	29
Εικόνα 2.13: Η έξοδος του επεξεργαστή.	29
Εικόνα 2.14: Τα βιοστερεά μετά τη διασπορά τους σε ένα από τα πειραματικά τεμάχια.	33
Εικόνα 2.15: Τα βιοστερεά μετά τη διασπορά τους στην επιφάνεια του εδάφους.	33
Εικόνα 2.16: Ενσωμάτωση των βιοστερεών στο έδαφος με τη χρήση περιστρεφόμενου σκαπτικού (φρέζας).	33
Εικόνα 2.17: Η πνευματική σπартική μηχανή.	35
Εικόνα 2.18: Ο υψηλής πίεσης περιστρεφόμενος καταιονιστήρας.	36
Εικόνα 2.19: Η γεώτρηση στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου.	36
Εικόνα 2.20: Το αντλητικό συγκρότημα.	37
Εικόνα 2.21: Ηλεκτροβαλβίδες.	38
Εικόνα 2.22: Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC.	38
Εικόνα 2.23: Το φορητό διαθλασίμετρο 53000C, της εταιρείας Turoni.	45
Εικόνα 2.24: Εισαγωγή ενός αγωγού πρόσβασης στο έδαφος με τη συλλογή εργαλείων της εταιρείας Sentek.	47
Εικόνα 2.25: Οι αγωγοί πρόσβασης στον πειραματικό αγρό.	48
Εικόνα 2.26: Το σύστημα Diviner 2000.	49
Εικόνα 2.27: Το σύστημα EnviroSCAN με τέσσερις αισθητήρες.	51
Εικόνα 2.28: Το αυτόματο σύστημα καταγραφής GP1.	60
Εικόνα 2.29: Ο αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ

Ως αστικά απόβλητα καλούνται τα απόβλητα των αστικών περιοχών που περιλαμβάνουν κυρίως τα οικιακά απόβλητα καθώς και τα απόβλητα από άλλες δραστηριότητες εντός του αστικού ιστού (κυβερνητικά κτήρια, νοσοκομειακά απόβλητα κ.α.). Επειδή όλα τα στερεά αστικά απόβλητα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία, στην παρούσα έρευνα ο όρος στερεά αστικά απόβλητα αναφέρεται στο προϊόν της επεξεργασίας των αστικών λυμάτων στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων των πόλεων (βιολογικοί καθαρισμοί), που καλείται αλλιώς και ιλύς ή λυματολάσπη.

Επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα είναι τα στερεά αστικά απόβλητα τα οποία έχουν υποστεί κάποιου είδους επεξεργασία ώστε να είναι κατάλληλα για χρήση στη γεωργία. Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει ο όρος βιοστερεά έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολα ο διαχωρισμός των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων από τα υπόλοιπα.

Με τον όρο βιοστερεά καλείται το πλούσιο οργανικό υλικό το οποίο παράγεται έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία της ιλύος (λυματολάσπης), η οποία προέρχεται από την πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια ή τριτοβάθμια επεξεργασία των αστικών λυμάτων των πόλεων (www.epa.gov). Η κατάλληλη επεξεργασία έχει ως στόχο την μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών της λυματολάσπης καθώς και τη μείωση της ελκυστικότητάς τους σε φορείς επιμόλυνσης (μύγες, κουνούπια, τρωκτικά κ.α.).

Έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία που ορίζεται από τη νομοθεσία, η λυματολάσπη μετατρέπεται σε βιοστερεά. Τα βιοστερεά μπορούν να ανακυκλωθούν με ασφάλεια και να εφαρμοστούν ως λίπασμα σε καλλιέργειες, με στόχο τη βελτίωση και διατήρηση της γονιμότητας των εδαφών αλλά και της αύξησης της αποδοτικότητας των φυτών (www.epa.gov). Τα βιοστερεά χρησιμοποιούνται κυρίως στη γεωργία, σε δάση, για αποκατάσταση εδαφών και σε διάφορα πάρκα (Kalavrouziotis et al, 2011).

Στο κείμενο της παρούσας έρευνας χρησιμοποιείται ο όρος βιοστερεά για λόγους συντομίας αλλά και για να είναι εύκολος ο διαχωρισμός από τις υπόλοιπες κατηγορίες αποβλήτων, όπως για παράδειγμα τη λυματολάσπη.

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το πρόβλημα της διάθεσης των αποβλήτων άρχισε να παρατηρείται από την δημιουργία των πρώτων κοινωνιών του ανθρώπου. Στην αρχαιότητα, για όσο χρονικό διάστημα η πυκνότητα των πληθυσμών ήταν μικρή, τα απόβλητα διατίθονταν στη γειτονική γη ή σε γειτονικούς υδάτινους αποδέκτες. Όσο αυξάνονταν οι πυκνότητες των πληθυσμών η διάθεση των αποβλήτων γινόταν κυρίως σε υδάτινους αποδέκτες έτσι ώστε το πρόβλημα να «παρασύρεται» αλλού (Sacramento Regional County Sanitation District, 2005).

Μερικοί λαοί, όπως οι Κινέζοι, είχαν την τάση να ανακυκλώνουν τα απόβλητά τους στις αγροτικές εκτάσεις. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να διατηρείται η γονιμότητα των εδαφών και τα θρεπτικά στοιχεία να κάνουν ένα κύκλο μέσω των καλλιεργειών. Αυτός ο τρόπος διαχείρισης των αποβλήτων από τους Κινέζους, ήταν πραγματικά οικολογικός και χρησιμοποιήθηκε για χιλιάδες έτη (He, 2013).

Άλλοι λαοί, ανέπτυξαν τρόπους απομάκρυνσης των αποβλήτων από τις πόλεις, όπως για παράδειγμα μέσω της δημιουργίας αποχετευτικών συστημάτων τα οποία όμως κατέληγαν σε υδάτινους αποδέκτες. Λόγω της μη επεξεργασίας των αποβλήτων, συχνά παρατηρούνταν μόλυνση των υδροφόρων οριζόντων, όπως για παράδειγμα στο Λονδίνο κατά τη δεκαετία του 1850. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία εκτάσεων γης όπου απορρίπτονταν τα απόβλητα και ταυτόχρονα καλλιεργούνταν διάφορα φυτά. Αυτή η ιδέα διαδόθηκε αρκετά σε όλη την Ευρώπη και στην Αμερική, όμως αργότερα με την αύξηση του πληθυσμού και την δημιουργία νέων τεχνολογιών επεξεργασίας αποβλήτων, εγκαταλείφθηκε σταδιακά (Sacramento Regional County Sanitation District, 2005).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής οι πρώτοι κανόνες για τη χρήση των στερεών αστικών αποβλήτων στη γεωργία ξεκίνησαν το έτος 1972, ενώ στην Ευρώπη η πρώτη νομοθεσία θεσπίστηκε το έτος 1986.

Τα τελευταία 60 χρόνια έχει γίνει μια εντατική προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας να εμβαθύνει στα αποτελέσματα της χρήσης των βιοστερεών στο έδαφος και κυρίως στις βλαβερές ουσίες που μπορούν να περιέχουν. Βάσει αυτών των ερευνητικών αποτελεσμάτων έχουν συνταχθεί κατευθυντήριες οδηγίες από πολλά κράτη. Επίσης, τα τελευταία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια αφενός μεν να μειωθούν οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων που βρίσκονται στη λυματολάσπη, αφετέρου δε να διαχωριστούν τα οικιακά απόβλητα από τα βιομηχανικά (Sacramento Regional County Sanitation District, 2005).

1.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

1.3.1 Επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα

1.3.1.1 Τύποι βιοστερεών

Τα επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα ή αλλιώς βιοστερεά, παρουσιάζονται σε πολλές μορφές, όπως σε μορφή κέικ, πελέτας ή κόκκων. Η τελική μορφή του προϊόντος καθορίζεται συνήθως από την μέθοδο της επεξεργασίας του. Ειδικότερα, τα βιοστερεά σε μορφή κέικ έχουν ποσοστό στερεών 11-40% ενώ έχει προστεθεί σε αυτά οξείδιο του ασβεστίου. Η μορφή πελέτας και κόκκων έχει ποσοστό στερεών πάνω από 90% και προκύπτει συνήθως έπειτα από τη θερμική επεξεργασία (ξήρανση) της λυματολάσπης (Lu et al., 2012).

1.3.1.2 Παραγωγή βιοστερεών

Τα λύματα των πόλεων που καταλήγουν στις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων υπόκεινται σε διάφορες επεξεργασίες έως ότου προκύψει το τελικό προϊόν. Αρχικά, τα λύματα περνούν μέσα από διάφορα φίλτρα τα οποία συγκρατούν διάφορα στερεά τα οποία μπορούν να βλάψουν τον εξοπλισμό της μονάδος επεξεργασίας και τα οποία συνήθως απορρίπτονται, ως έχουν, σε χωματερές. Στη συνέχεια, τα λύματα περνούν στη μονάδα πρωτοβάθμιας επεξεργασίας όπου συνήθως γίνεται ιζηματοποίηση ώστε να αφαιρεθούν τα αιωρούμενα στερεά. Σε αυτό το στάδιο τα απόβλητα συνήθως αποτελούνται από 3-7% στερεά (Epstein, 2003). Έπειτα από την πρωτοβάθμια επεξεργασία τα λύματα οδηγούνται στη μονάδα δευτεροβάθμιας επεξεργασίας, όπου μέσω βιολογικών διεργασιών μειώνεται το απαιτούμενο οξυγόνο για τη διάσπαση των οργανικών ουσιών και αφαιρούνται τα αιωρούμενα στερεά. Σε αυτό το στάδιο τα απόβλητα συνήθως αποτελούνται από 0,5-2% στερεά (Epstein, 2003). Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται και τριτοβάθμια επεξεργασία των λυμάτων στην οποία με βιολογικές και χημικές μεθόδους αφαιρείται ποσοστό του αζώτου και του φωσφόρου (Epstein, 2003). Η λυματολάσπη που παράγεται από την τριτοβάθμια επεξεργασία έχει συνήθως διαφορετικό ποσοστό σε νερό.

Η λυματολάσπη που παράγεται από τις μονάδες επεξεργασίας των λυμάτων πρέπει να επεξεργαστεί καταλλήλως έτσι ώστε να μπορεί να καταταχθεί στην κατηγορία των βιοστερεών. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι επεξεργασίας της λυματολάσπης οι οποίοι παράγουν διαφορετικές κλάσεις βιοστερεών. Συγκεκριμένα, η νομοθεσία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής κατατάσσει τα βιοστερεά σε δυο κλάσεις (Α και Β) ανάλογα με το βαθμό απολύμανσής τους (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Ένας τρόπος παραγωγής βιοστερεών είναι μέσω της αναερόβιας χώνεψης. Με την αναερόβια χώνεψη τα λύματα κλείνονται σε αεροστεγείς δεξαμενές έτσι ώστε να μειωθούν τα παθογόνα και οι οσμές. Μέσω αυτής της διεργασίας παράγεται μεθάνιο από το οποίο μπορεί να παραχθεί και ενέργεια μέσω της καύσης (Epstein, 2003).

Δεύτερος τρόπος παραγωγής των βιοστερεών είναι μέσω της αερόβιας χώνεψης. Με την αερόβια χώνεψη παροχετεύεται οξυγόνο στα λύματα έτσι ώστε η οργανική ύλη να μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και άζωτο, ενώ έτσι μειώνονται και οι παθογόνοι οργανισμοί (Epstein, 2003).

Τρίτος τρόπος παραγωγής των βιοστερεών, που συνήθως ακολουθείται έπειτα από τους δυο πρώτους, είναι η αλκαλική σταθεροποίηση της λυματολάσπης. Ειδικότερα, στη λυματολάσπη προστίθενται αλκαλικά υλικά, όπως ο ασβέστης, έτσι ώστε να αυξηθεί το pH και να μειωθούν τα παθογόνα (Epstein, 2003). Αυτού του είδους τα βιοστερεά είναι κυρίως κλάσης A και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία, για αποκατάσταση εδαφών, σε δασικές εκτάσεις ή τέλος να απορριφθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA) (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Τέταρτος τρόπος παραγωγής των βιοστερεών, που συνήθως ακολουθείται έπειτα από τους δυο πρώτους, είναι η κομποστοποίηση της λυματολάσπης. Με τον όρο κομποστοποίηση καλείται η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας που συνεπάγεται και τη μείωση των οσμών της λυματολάσπης (Epstein, 2003). Η κομποστοποίηση παράγει κλάσης A βιοστερεά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οπωροκηπευτικές καλλιέργειες, σε διαμόρφωση τοπίων, σε γρασίδι κ.α.. (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Τελευταίος τρόπος παραγωγής των βιοστερεών, που συνήθως ακολουθείται έπειτα από τους δυο πρώτους, είναι η θερμική επεξεργασία της λυματολάσπης. Με τη θερμική επεξεργασία αφαιρείται το νερό από τη λυματολάσπη και μειώνεται ο όγκος της, ενώ παράλληλα με την υψηλή θερμοκρασία καταστρέφονται τα διάφορα παθογόνα (Epstein, 2003). Η θερμική επεξεργασία παράγει κλάσης A βιοστερεά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία (Wang et al., 2008). Ο Bramryd αναφέρει πως η θερμική επεξεργασία των βιοστερεών έχει ως αποτέλεσμα να αλλάζει η σύστασή τους ως προς τα θρεπτικά συστατικά. Για παράδειγμα, στα βιοστερεά που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία υπερισχύει η αμμωνιακή μορφή του αζώτου (όπως αναφέρεται στους Lu et al., 2012).

1.3.1.3 Χαρακτηριστικά των βιοστερεών

Τα χαρακτηριστικά των βιοστερεών μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες: τα φυσικά, τα χημικά και τα βιολογικά χαρακτηριστικά. Στα φυσικά χαρακτηριστικά

περιλαμβάνεται το ποσοστό σε στερεά και το περιεχόμενο σε οργανική ουσία. Στα χημικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνεται το pH, τα διαλυτά άλατα, τα θρεπτικά συστατικά, διάφορα ιχνοστοιχεία και οργανικά χημικά. Τέλος, στα βιολογικά χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται διάφοροι παθογόνοι οργανισμοί που μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο την υγεία του ανθρώπου και των ζώων, αλλά και το περιβάλλον. (Erstein, 2003)

1.3.1.4 Πλεονεκτήματα της χρήσης των βιοστερεών

Οι ευεργετικές ιδιότητες των βιοστερεών σαν εδαφοβελτιωτικό είναι γενικότερα αναγνωρισμένες. Τα βιοστερεά περιέχουν υψηλά επίπεδα οργανικής ουσίας σε ποσοστό που φθάνει το 40-70% (Warman & Termeer, 2005). Λόγω της οργανικής τους ουσίας, τα βιοστερεά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσο αποκατάστασης μολυσμένων εδαφών από διάφορα τοξικά στοιχεία (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Με την προσθήκη βιοστερεών στο έδαφος, αυξάνεται η οργανική του ουσία με αποτέλεσμα παράλληλα να βελτιώνονται και πολλά φυσικά χαρακτηριστικά του (Tester, 1990· Tsadilas et al., 2005). Έτσι, μειώνεται η φαινόμενη ειδική πυκνότητα του εδάφους και αυξάνεται η δυνατότητα συγκράτησης του νερού από το έδαφος (Powers et al., 1975· Khaheel et al., 2005· Ippolito et al., 2012). Η αύξηση της ικανότητας συγκράτησης του νερού στο έδαφος σε χαμηλές τάσεις, όπως σε αυτές κοντά στην υδατοϊκανότητα του εδάφους, είναι κυρίως το αποτέλεσμα της αύξησης του αριθμού των μικρών πόρων του εδάφους (Gupta et al., 1977· Volk & Ullery, 1973). Σε υψηλότερες τάσεις, όπως σε αυτές κοντά στο σημείο μόνιμης μάρανσης, σχεδόν όλοι οι εδαφικοί πόροι είναι γεμάτοι με αέρα και η υγρασία του εδάφους προσδιορίζεται, κυρίως, από το πάχος των στρωμάτων νερού στην ειδική επιφάνεια του εδάφους. Τα αμμώδη εδάφη έχουν μικρότερη ειδική επιφάνεια από ότι τα αργιλώδη εδάφη, οπότε και συγκρατούν λιγότερο νερό σε υψηλές τάσεις. Παρόλα αυτά, με την προσθήκη οργανικής ουσίας, η ειδική επιφάνεια του εδάφους αυξάνεται, οπότε αυξάνεται και η ικανότητα συγκράτησης του νερού σε υψηλές πιέσεις (Gupta et al., 1977· Volk & Ullery, 1973).

Με την εφαρμογή των βιοστερεών, αυξάνεται το πορώδες του εδάφους, δηλαδή βελτιώνεται η δομή του, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η δημιουργία επιφανειακής κρούστας, να μειώνονται τα αποτελέσματα της συμπίεσης του εδάφους (Pagliai & Antisari, 1993) και να βελτιώνεται ο αερισμός και η διείσδυση των φυτικών ριζών στο έδαφος (United States Environmental Protection Agency, 1999). Επίσης, το νερό παραμένει στο ριζόστρωμα λόγω της μείωσης της διήθησης, της εξάτμισης και της απορροής (United States Environmental Protection Agency, 1999).

Τα βιοστερεά αποτελούν σημαντική πηγή θρεπτικών στοιχείων για τις καλλιέργειες. Τα μακροθρεπτικά στοιχεία όπως το άζωτο (N) και ο φώσφορος (P), που είναι απαραίτητα για τις καλλιέργειες, βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες, ενώ το τρίτο στοιχείο, το κάλιο (K), βρίσκεται σε χαμηλές ποσότητες (Warman & Termeer, 2005). Όπως αναφέρει ο Bramryd και οι Metcalf & Eddy, τα βιοστερεά συνήθως περιέχουν 3-5% άζωτο, 2-3% φώσφορο και 0,3% κάλιο, ενώ, αντίστοιχα, τα ανόργανα λιπάσματα περιέχουν συνήθως 5-10% άζωτο, 10% φώσφορο και 5-10% κάλιο (όπως αναφέρεται στους Lu et al., 2012· όπως αναφέρεται στο United States Environmental Protection Agency, 1999). Τα βιοστερεά μπορούν να αποτελέσουν επίσης πηγή μικροθρεπτικών στοιχείων, όπως ο σίδηρος (Fe), το βόριο (B), ο χαλκός (Cu) και το νικέλιο (Ni), καθώς και άλλων στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών (Epstein, 2003).

Παρόλο που τα βιοστερεά δεν περιέχουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων, έχει βρεθεί ότι μπορούν να αντικαταστήσουν επάξια τα ανόργανα λιπάσματα (United States Environmental Protection Agency, 1999). Αυτό συμβαίνει διότι τα βιοστερεά αποδεσμεύουν τα θρεπτικά στοιχεία με αργούς και σταθερούς ρυθμούς. Έτσι, τα θρεπτικά στοιχεία παρέχονται στα φυτά για μεγάλο χρονικό διάστημα και με σταθερό ρυθμό, σε σύγκριση με τα ανόργανα λιπάσματα, όπως για παράδειγμα η ουρία (Antille et al., 2012· United States Environmental Protection Agency, 1999).

Επιπρόσθετα, με την εφαρμογή των βιοστερεών, τα φυτά μπορούν να δεσμεύσουν από το έδαφος πιο εύκολα τα θρεπτικά στοιχεία και το νερό, ενώ σε πολλές περιπτώσεις αυξάνεται η παραγωγή και η ποιότητα των φυτών (Epstein, 2003· United States Environmental Protection Agency, 1999).

1.3.1.5 Κανονισμός διάθεσης βιοστερεών στο έδαφος

Στην Ελλάδα, η χρησιμοποίηση των βιοστερεών στη γεωργία έχει καθοριστεί από την Ευρωπαϊκή οδηγία του Συμβουλίου της 12ης Ιουνίου 1986, σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία (EE L 181 της 4.7.1986, σ. 6). Ειδικότερα, με την οδηγία αυτή, εκτός των άλλων θεσπίζονται και οι οριακές συγκεντρώσεις που θα πρέπει να έχουν τα βαρέα μέταλλα, τόσο στα βιοστερεά όσο και στο έδαφος. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι οριακές επιτρεπόμενες ποσότητες εισαγωγής βαρέων μετάλλων στο έδαφος ανά έτος (με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών), οι οριακές τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στα βιοστερεά και οι οριακές τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων στο έδαφος (ΦΕΚ 641B'/1991· EE L 181).

Πίνακας 1.1: Οριακές επιτρεπόμενες τιμές της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων.

Παράμετρος	Οριακή επιτρεπόμενη τιμή συγκέντρωσης στο έδαφος	Οριακή επιτρεπόμενη τιμή συγκέντρωσης στα βιοστερεά	Οριακή ποσότητα εισαγωγής ανά έτος
Χαλκός (kg/στρ.)	140	1750	1,2
Ψευδάργυρος (kg/στρ.)	300	4000	3
Μόλυβδος (kg/στρ.)	300	1200	1,5
Κόδμιο (kg/στρ.)	3	40	0,015
Νικέλιο (kg/στρ.)	75	400	0,3
Χρόμιο (kg/στρ.)	150	1500	0,3
Υδράργυρος (kg/στρ.)	1,5	25	0,01

1.3.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Την τελευταία δεκαετία, η επιστημονική κοινότητα έχει αρχίσει να ενδιαφέρεται για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη, σε μια προσπάθεια να αντικατασταθούν τα παραδοσιακά καύσιμα και να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ορίζει ότι το ποσοστό των βιοκαυσίμων που θα πρέπει να καταναλώνεται για τις μεταφορές, στην Ελλάδα, θα πρέπει να είναι 10% μέχρι το έτος 2020 (ΕΕ L 140 της 5.6.2009, σ. 16).

Ο όρος βιοκαύσιμα χρησιμοποιείται για τα καύσιμα που προέρχονται από βιομάζα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, κυρίως στον τομέα των μεταφορών. Τα πιο συνηθισμένα είναι το βιοντήζελ που είναι αντίστοιχο με το πετρέλαιο και η βιοαιθανόλη που είναι αντίστοιχη με την βενζίνη. Τα βιοκαύσιμα είναι πιο φιλικά στο περιβάλλον από τα κοινά καύσιμα διότι έχουν λιγότερες εκπομπές ρύπων και χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πρώτες ύλες (Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, 2006).

Οι καλλιέργειες μπορούν να παράγουν έλαιο για βιοντήζελ, ζυμώσιμους υδατάνθρακες για αιθανόλη, ή ξηρή ουσία για καύση και πυρόλυση. Ανάμεσα στις μονοετείς ενεργειακές καλλιέργειες που μπορούν να παράγουν σταθερές ποσότητες βιομάζας, το σόργο έχει σημαντικό δυναμικό παραγωγής ακόμα και σε καταστάσεις περιορισμένης διαθεσιμότητας νερού (Cosentino, 1996· Foti et al., 1996).

Το σόργο είναι ένα C₄ μονοετές φυτό με μεγάλη ικανότητα φωτοσύνθεσης και υψηλά ποσοστά σε σάκχαρα και κυτταρίνες (El Bassam, 1998). Προσαρμόζεται εύκολα σαν φυτό, ενώ δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις σε νερό και λίπανση (El Bassam, 1998· Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, 2006).

Το σόργο μπορεί να έχει δυο ενεργειακούς προορισμούς. Μέσω της θερμοχημικής μετατροπής μπορεί να παραχθεί βιοέλαιο, κάρβουνο, αέριο και θερμότητα, ενώ μέσω της βιολογικής μετατροπής μπορεί να παραχθεί βιοαιθανόλη (Venturi & Venturi, 2003). Το γλυκό σόργο είναι πιο κατάλληλο για την παραγωγή βιοαιθανόλης, καθώς έχει μεγάλη παραγωγή σε ζυμώσιμους υδατάνθρακες (Dolciotti et al., 1998· Whitfield et al., 2012). Η σουκρόζη, η φρουκτόζη και η γλυκόζη, είναι τα κύρια συστατικά των σακχάρων, στα στελέχη του γλυκού σόργου, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Παρόλα αυτά, άλλες μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί οι οποίες αξιοποιούν την κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και λιγνίνη, οπότε και αυξάνεται η παραγωγή βιοαιθανόλης (Yu, 2010).

1.3.3 Επίδραση των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στην άρδευση

Είναι γεγονός ότι τουλάχιστον το 70% των διαθέσιμων υδατικών πόρων παγκοσμίως προορίζονται για αρδεύσεις (Cosgrove & Rijsberman, 2000· FAO, 2014). Στην Ελλάδα, αυτό το ποσοστό ανέρχεται περίπου στο 87,4%, ποσοστό αρκετά σημαντικό σε σχέση με το υπόλοιπο 12,6% που διατίθεται για αστική και βιομηχανική χρήση (Eurostat, 2007). Ανάλογα με τις επικρατούσες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες σε νερό άρδευσης μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και να δημιουργείται πρόβλημα, όχι μόνο στον αγροτικό τομέα αλλά και σε άλλους χρήστες. Η μείωση των απωλειών του νερού, έστω και σε μικρό ποσοστό, θα εξοικονομήσει σημαντικές ποσότητες νερού, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στην ικανοποίηση άλλων αναγκών πρώτης προτεραιότητας ή στην βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μιας περιοχής.

Μέχρι σήμερα δεν έχει δημοσιευθεί καμία εργασία, παγκοσμίως, που να μελετά την επίδραση της εφαρμογής των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στην άρδευση καλλιεργειών ή στην αποδοτικότητα χρήσης του νερού. Οι εργασίες οι οποίες έχουν δημοσιευθεί έως τώρα αφορούν τη μελέτη των υγρών επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων (Sakellariou-Makrantonaki et al., 2006, 2012· Kalavrouziotis et al., 2005, 2006, 2011).

1.4 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Θεωρώντας το γλυκό σόργο ως πιθανή εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης στην Ελλάδα, οι στόχοι της έρευνας μπορούν να συνοψισθούν στους παρακάτω άξονες:

- Μελέτη, σε πραγματικές συνθήκες, των πλεονεκτημάτων της εφαρμογής των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στη γεωργία, προκειμένου να εξετασθεί η επίδραση τους στην βελτίωση της αποδοτικότητας του νερού άρδευσης και στην εξοικονόμηση νερού.
- Μελέτη της επίδρασης των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων και της άρδευσης, στη βελτίωση των χαρακτηριστικών ανάπτυξης και των παραγωγικών χαρακτηριστικών των φυτών.
- Μελέτη της επίδρασης των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στο περιβάλλον.
- Σύγκριση της άρδευσης βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_0 κατά Penman-Monteith) και βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους).

Τα αναμενόμενα οφέλη από την εκτέλεση του έργου αυτού αφορούν:

- Την αξιοποίηση των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στη γεωργία
- Την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας
- Τη μείωση του κόστους παραγωγής
- Τη μείωση των εισροών στη γεωργία
- Την αύξηση των γόνιμων γεωργικών εκτάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το πειραματικό μέρος της παρούσας έρευνας διεξήχθη στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, καθώς και στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κατά τα συναπτά έτη 2009, 2010 και 2011.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και στις μεθόδους που ακολουθήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων.

2.2 ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ

Στην περιοχή του Βελεστίνου και συγκεκριμένα στη συμβολή της παλαιάς Εθνικής οδού Λάρισας-Βόλου και της εισόδου στο Βελεστίνο, βρίσκεται το αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Π.Θ.), όπως φαίνεται με γαλάζιο χρώμα στην Εικόνα 2.1 και το οποίο αποτελείται από τεμάχια συνολικής έκτασης 150 στρεμμάτων.



Εικόνα 2.1: Δορυφορική άποψη του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Google, 2013).

Ο πειραματικός αγρός στον οποίο διεξήχθησαν τα πειράματα βρίσκεται στο κεντρικό και μεγαλύτερο τμήμα του αγροκτήματος, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Δορυφορική άποψη του πειραματικού αγρού στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Google, 2013).

Η συνολική έκταση του πειραματικού αγρού ήταν 2500 m². Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του πειραματικού αγρού είναι 39°23'38.00"N (γεωγραφικό πλάτος) και 22°45'23.00"E (γεωγραφικό μήκος), ενώ το υψόμετρο της περιοχής είναι 80 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.

Στην περιοχή επικρατεί τυπικό Μεσογειακό κλίμα, το οποίο χαρακτηρίζεται από ζεστά - ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς - υγρούς χειμώνες.

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η σωστή σχεδίαση ενός πειράματος αποτελεί τη βάση για την διεξαγωγή σωστών συμπερασμάτων (Montgomery, 2012).

Έτσι, το πειραματικό σχέδιο, που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα, ήταν αυτό των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (RCBD), με εννέα μεταχειρίσεις σε τρεις επαναλήψεις, όπως αυτές φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

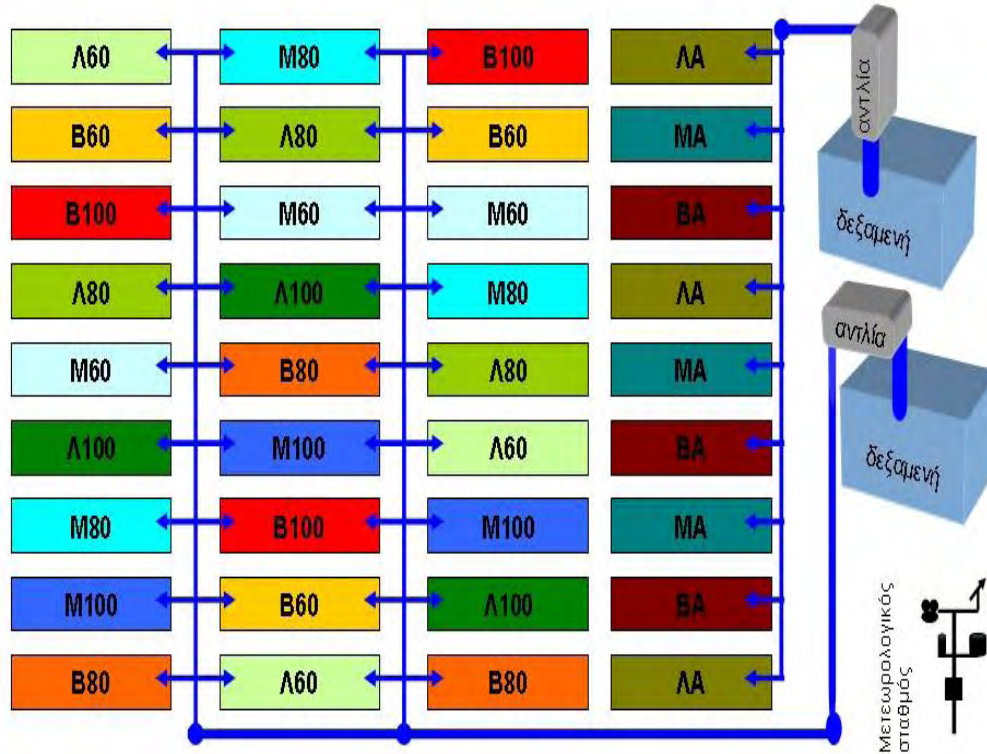
- Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (B100).
- Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (B80).
- Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (B60).
- Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Λ100).
- Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Λ80).
- Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (Λ60).
- Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης) με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (M100).
- Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης) με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (M80).
- Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης) με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (M60).

Παράλληλα, σε παρακείμενο τεμάχιο, δημιουργήθηκαν τρεις μεταχειρίσεις σε τρεις επαναλήψεις, όπως αυτές φαίνονται αναλυτικά παρακάτω:

- Εφαρμογή βιοστερεών με δόση άρδευσης ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, βάσει της υγρασίας εδάφους (BA).
- Εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος με δόση άρδευσης ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, βάσει της υγρασίας εδάφους (ΛΑ).
- Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης) με δόση άρδευσης ίση με το 100% των αναγκών της καλλιέργειας, βάσει της υγρασίας εδάφους (ΜΑ).

Η άρδευση στις τρεις αυτές μεταχειρίσεις οριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας, η οποία προσδιοριζόταν από αισθητήρα υγρασίας εδάφους. Σκοπός ήταν η σύγκριση των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και αυτών που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας).

Η τυχαιοποίηση όλων των πειραματικών τεμαχίων έγινε με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος Minitab v.16 (Minitab Inc., State College, PA). Η διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό φαίνεται στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Διάταξη των πειραματικών τεμαχίων στον αγρό.

Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε μήκος 8 m και πλάτος 3,9 m, οπότε το εμβαδόν του ήταν $31,2 \text{ m}^2$. Ανάμεσα στα τεμάχια υπήρχε διάδρομος 1,5 m. Το κάθε τεμάχιο είχε 6 σειρές φυτών με απόσταση 0,78 m, ανάμεσα στις σειρές. Η διάταξη του κάθε πειραματικού τεμαχίου στον αγρό φαίνεται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Διάταξη του κάθε πειραματικού τεμαχίου στον αγρό.

2.4 ΕΛΑΦΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ

2.4.1 Εδαφολογικά χαρακτηριστικά

Ολόκληρη η έκταση του αγροκτήματος βρίσκεται σε μια ενιαία γεωμορφή, της οποίας τα εδάφη συνίστανται κυρίως από τις αλλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης της πρώην αποξηραμένης λίμνης Βοιβήδας (Κάρλας). Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της εδαφοτομής P₂ (Μήτσιος, 2000), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Χάρτης οριοθέτησης των εδαφοτομών του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Μήτσιος, 2000).

Η εδαφοτομή P₂ αντιπροσωπεύει τη μισή περίπου έκταση του κεντρικού τμήματος του αγροκτήματος και εκτείνεται στα ανατολικά του μικρού λοφίσκου (εδαφοτομή P₁). Τα εδάφη της εδαφοτομής P₂ ταξινομούνται στην υποομάδα των Typic Xerochrept των Inceptisols, αφού παρατηρείται έναρξη διαδικασίας εδαφογένεσης με το σχηματισμό «καμβικού» ορίζοντα και την εμφάνιση «ωχρού» επιπέδου υπεράνω του διαγνωστικού ορίζοντα και στην περιοχή επικρατούν συνθήκες εδαφικής υγρασίας xeric και εδαφικής θερμοκρασίας thermic (Μήτσιος, 2000).

Τα τυπικά χαρακτηριστικά που μπορεί να έχουν τα εδάφη αυτά σύμφωνα με το Μήτσιο (2000), είναι:

- «Mesic ή θερμότερο καθεστώς εδαφικής θερμοκρασίας.
- Ένα ουμβρικό (umbric) ή μολικό (mollie) επίπεδο πάχους 25 cm ή μικρότερο.
- Xeric καθεστώς εδαφικής υγρασίας.
- Διαφορά θερμοκρασίας 5 °C ή μεγαλύτερη μεταξύ θέρους και χειμώνα σε βάθος 50 cm από την επιφάνεια.
- Φαινομενική πυκνότητα εδάφους σε υγρασία 1/3 bar μεγαλύτερη από 0,5 gr/cm.
- Σύμπλοκο ανταλλαγής κατιόντων χωρίς άμορφα και ηφαιστειογενή υλικά.
- Μεγάλη καθαρότητα χρώματος.
- Δεν έχουν plaggen επίπεδο.
- Δεν έχουν fragipan ή duripan ορίζοντα.»

Σύμφωνα με την εδαφολογική μελέτη του Μήτσιου (2000) τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εδαφοτομής P₂ είναι τα παρακάτω:

- «Τα εδάφη αυτά έχουν υφή αμμοαργιλοπηλώδη έως αργιλώδη και κοκκομετρική σύσταση μετρίως λεπτόκοκκη έως λεπτόκοκκη.
- Η κατάσταση υδρομορφίας είναι καλή και εκφράζεται με B βαθμό αποστράγγισης και βελτιώνεται με το βάθος του εδάφους εξαιτίας της πετρώδους σύστασής του.
- Τα ανθρακικά άλατα υπάρχουν στην εδαφοτομή και σε επίπεδα μετρίως χαμηλά (5%) και δείχνουν μια σαφή τάση μετακίνησης και έκπλυσης προς τα βαθύτερα στρώματα αυτής.
- Ο βαθμός οξύτητας βρίσκεται σε αλκαλικά επίπεδα.
- Το πορώδες είναι καλά αναπτυγμένο αποτελούμενο κυρίως από μικρού και μέσου μεγέθους πόρους.
- Η οργανική ουσία με τιμές μικρότερες του 1,1% βρίσκεται σε επίπεδα κάτω από το μέσο όρο των Ελληνικών εδαφών (1,5%) και μειώνεται με το βάθος (1,1%-0,3%).
- Τα ανταλλάξιμα ιόντα Na, Mg, K και η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων γενικά βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα.»

2.4.2 Φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Οι φυσικές ιδιότητες της εδαφοτομής P₂, σύμφωνα με την εδαφολογική μελέτη του Μήτσιου (2000), παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Φυσικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P₂ (Μήτσιος, 2000).

Τάξη: Inceptisol Υποομάδα: Typic xerochrept			Χαρτ. Μονάδα: $B \frac{43*4}{AO3} I_{ox}$					
Βάθος (cm)	Ορίζοντας	Χρώμα (ύφυγρο)	Κοκκομετρική Σύσταση (%)			Υφή	Δομή	Όριο Οριζόντων
			S	Si	C			
0-34	Ap	10YR 4/6	25	38	37	CL	3m sbk	A
34-62	BA	10YR 3/4	30	29	41	C	1f sbk	G
62-96	Bw	10YR 3/3	35	28	37	CL	2f sbk	G
96-114	BC	10YR 4/4	47	22	31	SCL	2f sbk	C
114-154	C	7,5YR 4/4	56	17	27	SCL	1f sbk	

Οι χημικές ιδιότητες της εδαφοτομής P₂, σύμφωνα με την εδαφολογική μελέτη του Μήτσιου (2000), παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Χημικές ιδιότητες του εδάφους στην εδαφοτομή P₂ (Μήτσιος, 2000).

Βάθος (cm)	Οργανική Ουσία (gr/100gr)	CaCO ₃ (%)	pH (1:1)	P Olsen (ppm)	Ανταλλάξιμα κατιόντα (me/100gr)				ΙΑΚ (me/100gr)
					K	Na	Ca	Mg	
0-34	1,10	5,0	7,9	20	0,27	0,07	25,5	6,16	32,0
34-62	1,07	14,5	8,1	9	0,38	0,15	23,73	8,54	32,8
62-96	0,70	10,7	8,2	12	0,26	0,32	23,64	7,78	32,0
96-114	0,50	5,0	8,2	9	0,29	0,36	19,45	6,70	26,8
114-154	0,13	4,6	8,0	12	0,29	0,25	17,17	5,49	23,2

2.4.3 Δειγματοληψία εδάφους

Για τον προσδιορισμό διαφόρων παραμέτρων του εδάφους ήταν απαραίτητο να ληφθούν διάφορα εδαφικά δείγματα. Επιλέχτηκε η δειγματοληψία με τη μέθοδο της συγκέντρωσης αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους (Klute, 1986). Η αντιπροσωπευτικότητα του τελικού δείγματος εξασφαλίστηκε με τη λήψη πολλών τυχαίων και ισοβαρών μικρών δειγμάτων, τα οποία προέρχονταν από το ίδιο βάθος.

Για τον προσδιορισμό των χημικών παραμέτρων του εδάφους, γινόταν δειγματοληψία με δειγματολήπτη εδάφους τύπου Edelman, της εταιρείας Eijkelkamp, σε βάθος 30 cm και 60 cm από την επιφάνεια του εδάφους.

Για τον προσδιορισμό των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους, γινόταν δειγματοληψία με δειγματολήπτη αδιατάρακτου δείγματος εδάφους, με κύλινδρο, της εταιρείας SoilMoisture, σε βάθος 30 cm και 60 cm από την επιφάνεια του εδάφους.

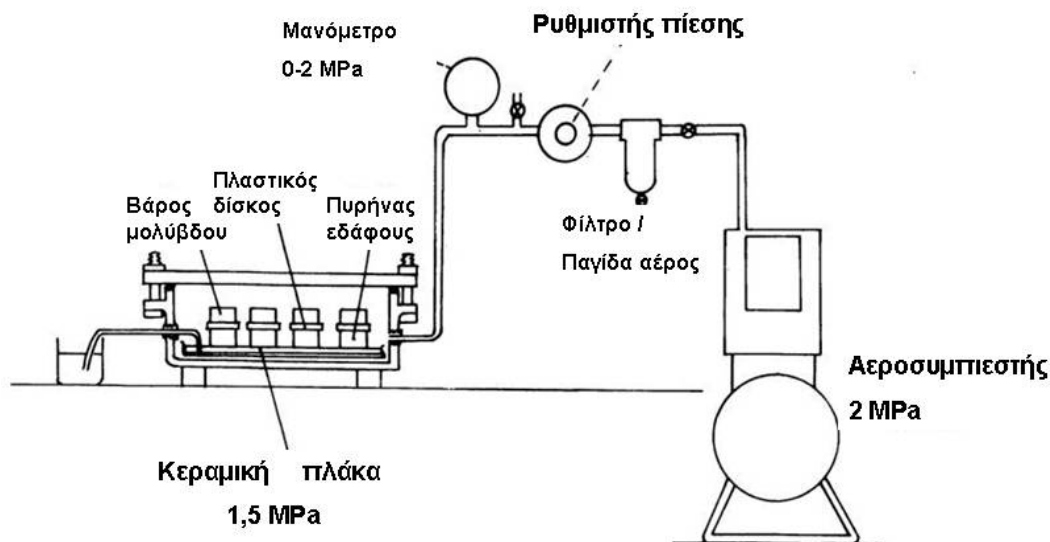
2.4.4 Προσδιορισμός της φαινόμενης πυκνότητας του εδάφους

Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους (bulk density) είναι μια χρήσιμη παράμετρος για τις διάφορες μετατροπές. Ο προσδιορισμός γινόταν ξηραίνοντας και ζυγίζοντας τα αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα (σε κύλινδρο γνωστού όγκου της εταιρείας SoilMoisture).

2.4.5 Προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους

Ο προσδιορισμός της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας (K_s) έγινε στον αγρό με τη βοήθεια υδατοπερατομέτρου, τύπου Guelph (Reynolds, 1986), της εταιρείας SoilMoisture.

Ο προσδιορισμός της υδατοϊκανότητας (field capacity) και του σημείου μόνιμης μάρανσης (permanent wilting point) του εδάφους, διεξήχθη στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, με τη συσκευή του Richards (1941), της εταιρείας SoilMoisture. Με τη συσκευή αυτή, η οποία αποτελεί μέρος ενός συστήματος, υπολογίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη του εδάφους. Η διάταξη του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 2.4 και στην Εικόνα 2.3.



Σχήμα 2.4: Διάταξη του συστήματος προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους (Klute, 1986).



Εικόνα 2.3: Το σύστημα προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης του εδάφους.

Ένα μικρό δείγμα εδάφους (κορεσμένο σε νερό) τοποθετείται, μέσα στη συσκευή Richards, πάνω σε μια πορώδη κεραμική πλάκα (κορεσμένη σε νερό) και καλύπτεται, αεροστεγώς, με μεταλλικό κάλυμμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



Εικόνα 2.4: Συσκευή προσδιορισμού της χαρακτηριστικής καμπύλης, της εταιρείας SoilMoisture.

Στο χώρο που βρίσκεται το εδαφικό δείγμα, δηλαδή στο επάνω μέρος της κεραμικής πλάκας, εφαρμόζεται αέρας, υπό πίεση. Ο χώρος κάτω από την κεραμική πλάκα, βρίσκεται σε επικοινωνία με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Η κεραμική πλάκα είναι αδιαπέραστη από τον αέρα και διαπερατή από το νερό. Έτσι, η πίεση του αέρος που ασκείται στο δείγμα προκαλεί την κίνηση του νερού από το εδαφικό δείγμα προς τον χώρο κάτω από την κεραμική πλάκα, μέσω των πόρων αυτής. Μετά την παραμονή του δείγματος στη συσκευή για ορισμένο χρόνο (μέχρι να επιτευχθεί υδραυλική ισορροπία), προσδιορίζεται η υγρασία του δείγματος.

Για τον προσδιορισμό της υδατοϊκανότητας του εδάφους, η πίεση του αέρα που εφαρμόστηκε ήταν ίση με 33 kPa, ενώ η κεραμική πλάκα (της εταιρείας SoilMoisture) που χρησιμοποιήθηκε είναι κατασκευασμένη για αυτή την πίεση (33 kPa).

Για τον προσδιορισμό του σημείου μόνιμης μάρανσης του εδάφους, η πίεση του αέρα που εφαρμόστηκε ήταν ίση με 1500 kPa, ενώ η κεραμική πλάκα (της εταιρείας SoilMoisture) που χρησιμοποιήθηκε είναι κατασκευασμένη για αυτή την πίεση (1500 kPa).

2.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Τα επεξεργασμένα στερεά αστικά απόβλητα ή αλλιώς βιοστερεά, που εφαρμόστηκαν στις αντίστοιχες μεταχειρίσεις, προήλθαν από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Βόλου.

Μετά από την αερόβια και αναερόβια επεξεργασία των αστικών αποβλήτων, την πάχυνσή τους και το πέρασμά τους από την ταινιοφιλτροπρέσα, η ιλύς αποστειρωνόταν και αποξηραινόταν, με τη μέθοδο της υπέρυθρης ακτινοθερμικής επεξεργασίας. Η υπέρυθρη ακτινοθερμική επεξεργασία είναι μια μέθοδος που επιτυγχάνει άμεση θερμική διεύθυνση και έχει την ικανότητα να μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμικής ενέργειας στο ακτινοβολούμενο προϊόν. Η ακτινοβολία αυτή αφαιρεί την υγρασία και καταστρέφει τα παθογόνα που έχει η ιλύς.

Η επεξεργασία γινόταν σε πρότυπο ειδικό επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας που βρίσκεται στη ΔΕΥΑΜΒ. Τα βιοστερεά που παράγονταν με το συγκεκριμένο τρόπο, είχαν τη μορφή μικρών κόκκων (2-4 mm), υγρασία λιγότερο από 10% και μη ανιχνεύσιμους παθογόνους μικροοργανισμούς.

2.5.1 Περιγραφή της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Βόλου

Η Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης - Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου (ΔΕΥΑΜΒ), ιδρύθηκε το 1979, με σκοπό την κατασκευή, συντήρηση, λειτουργία, διοίκηση και εκμετάλλευση των δικτύων ύδρευσης και αποχέτευσης ακαθάρτων και ομβρίων υδάτων.

Ο Βιολογικός Καθαρισμός βρίσκεται στην περιοχή της Μπουρμπουλήθρας, λειτουργεί από το 1987, ολοκληρώθηκε το 1998 με την κατασκευή της βιολογικής βαθμίδας και έχει τη δυνατότητα εξυπηρέτησης πληθυσμού 135.000 κατοίκων, δηλαδή 32000 m³/d (deyamv.gr).

Σύμφωνα με τους Αργυρούλη (2005) και Μαμάση (2011) η γραμμή επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει:

1. «Έργα υποδοχής βοθρολυμάτων.
2. Έργα εισόδου που περιλαμβάνουν:
 - Αντλιοστάσιο εισόδου.
 - Εσχάρωση.
 - Αεριζόμενο εξαμμωτή.
 - Βοηθητικό εξοπλισμό (κτίριο φυσητήρων, συγκρότημα διαχωρισμού άμμου και μεταφορικές ταινίες).
 - Μέτρηση παροχής σε κανάλι τύπου Parshall.
3. Επίπλευση με δύο ορθογώνιες δεξαμενές.
4. Κροκίδωση: Η μονάδα κροκίδωσης αποτελείται από μια δεξαμενή έντονης ανάμιξης όγκου 26 m³ και 4 δεξαμενές κροκίδωσης, έκαστη όγκου 11 m³. Η δόση του κροκιδωτικού γίνεται μέσω τριών αντλιών, έκαστη δυναμικότητας 330 L/h, ενώ η ανάμιξη κροκιδωτικού και λύματος γίνεται με την βοήθεια ενός βυθισμένου ταχύστροφου αναμίκτη (2,2 KW). Η κάθε δεξαμενή κροκίδωσης φέρει έναν αναδευτήρα (1,1 KW).
5. Πρωτοβάθμια χημική καθίζηση και απομάκρυνση φωσφόρου σε τρεις ορθογώνιες δεξαμενές, έκαστη εμβαδού 400 m² και όγκου 1320 m³).
6. Ενδιάμεσο αντλιοστάσιο με αντλίες τύπου έλικας Αρχιμήδη.
7. Αερισμός – Νιτροποίηση – Απονιτροποίηση – Αναερόβια δεξαμενή: Η μονάδα αυτή αποτελείται από 4 ορθογώνιες δεξαμενές, έκαστη όγκου 3500 m³. Η κάθε δεξαμενή αποτελείται από 2 παράλληλα διαμερίσματα. Κάθε διαμέρισμα είναι χωρισμένο σε τρία τμήματα, όγκου 570 m³. Στο πρώτο τμήμα διενεργούνται ανοξικές ή αναερόβιες διαδικασίες ανάλογα με την θέση εισόδου της εσωτερικής ανακυκλοφορίας της ενεργού ιλύος. Στο διαμέρισμα αυτό είναι εγκατεστημένοι 6 αναμικτήρες των 7 KW. Συνήθως το πρώτο τμήμα του πρώτου διαμερίσματος λειτουργεί για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου και τα άλλα 2 για την απονιτροποίηση. Στο δεύτερο διαμέρισμα διενεργείται η νιτροποίηση. Στο διαμέρισμα αυτό γίνεται διάχυση αέρα με 252 διαχυτήρες, ελαστικής μεμβράνης –

λεπτής φυσαλίδας τύπου BIOFLEX II, ανά δεξαμενή. Η διάθεση αέρα στις δεξαμενές γίνεται αυτόματα με ελεγκτή PLC και αισθητήρες οξυγόνου, καθώς και σύστημα μέτρησης παροχής αέρα, θερμοκρασίας και πίεσης. Η επανακυκλοφορία των νιτρικών στην ανοξική δεξαμενή γίνεται με 2 υποβρύχιες αντλίες ανά δεξαμενή, συνολικής δυναμικότητας πενταπλάσιας της παροχής των λυμάτων.

8. Δευτεροβάθμια καθίζηση: Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει δύο κυκλικές δεξαμενές ακτινικής ροής με κεντρικό κώνο και μηχανικούς σαρωτές. Οι διαστάσεις κάθε δεξαμενής είναι:

Διάμετρος	36 m
Πλευρικό βάθος	2,95 m
Μέσο βάθος	3,42 m
Εμβαδό συνολικής επιφάνειας	1925 m ²

Κάθε δεξαμενή διαθέτει μια γέφυρα που φέρει λάμες σάρωσης για την συλλογή της επιπλέουσας ιλύος και των αφρών στο κανάλι της ιλύος. Η επανακυκλοφορία της ιλύος (100%) πραγματοποιείται μέσω ενδιάμεσου κοχλιωτού αντλιοστασίου.

9. Αντλιοστάσιο διάθεσης: Το αντλιοστάσιο τελικής διάθεσης όγκου 500 m³ δέχεται τα επεξεργασμένα λύματα που υπερχειλίζουν. Από το αντλιοστάσιο αυτό τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται μέσω καταθλιπτικού αγωγού στο ακρωτήριο Αγκίστρι όπου βρίσκεται ο αγωγός εκβολής.»

Σύμφωνα με τους Αργυρούλη (2005) και Μαμάση (2011) η γραμμή επεξεργασίας της ιλύος περιλαμβάνει:

1. «Προπαχυντές βαρύτητας: Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει δύο προπαχυντές βαρύτητας για την προπάχυνση πρωτοβάθμιας λυματολάσπης. Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

$$D = 10 \text{ m}$$

$$\text{Συνολική επιφάνεια} = 2 \times 78,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Συνολικός όγκος} = 2 \times 290,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Επιφανειακή φόρτιση} = 32 \text{ kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$$

$$\text{Χρόνος παραμονής} = 3,5 \text{ d}$$

2. Μηχανικός παχυντής: Η μονάδα μηχανικής πάχυνσης αποτελείται από:

- δοχείο παρασκευής και δοσομέτρησης διαλύματος πολυηλεκτρολύτη, δυναμικότητας 1000 L/h.

- δοχείο ανάμιξης λυματολάσπης – πολυηλεκτρολύτη 350 L.
 - αντλία δοσομετρητής διαλύματος πολυηλεκτρολύτη 108-2160 L/h.
 - μηχανικό παχυντή δυναμικότητας 35-55 m³/h.
3. Δεξαμενή ομογενοποίησης ιλύων: Η δεξαμενή ομογενοποίησης όγκου 40 m³ δέχεται την λυματολάσπη από την επίπλευση, από την προπάχυνση και τη λυματολάσπη από τον μηχανικό παχυντή. Τα χαρακτηριστικά της εκροής του ομογενοποιητή είναι: 333 m³/d, 11275 kg/d και συγκέντρωση στερεών 5,4%.
 4. Αναερόβια χώνευση: Από τον ομογενοποιητή μέσω δύο αντλιών θετικής εκτόπισης η ιλύς οδηγείται στους τρεις χωνευτές. Ο ένας χωνευτής έχει όγκο 2970 m³ ενώ οι άλλοι δύο 1400 m³, έκαστος. Η συγκέντρωση της λυματολάσπης στην έξοδο της χώνευσης είναι ίση με 2,3%.
 5. Μεταπάχυντής: Η λυματολάσπη που έχει υποστεί χώνευση οδηγείται στην μονάδα μεταπάχυνσης η οποία αποτελείται από τρεις κυκλικές δεξαμενές (D = 8 m και V = 200 m³) όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5.
 6. Αφυδάτωση: Η λυματολάσπη από την μεταπάχυνση οδηγείται μέσω άντλησης στην μονάδα αφυδάτωσης. Η μονάδα αυτή περιλαμβάνει κτίριο, εμβαδού 210 m², όπου είναι εγκατεστημένες:
 - Ταινιοφιλτρόπρεςσες (Εικόνα 2.6), 2 μικρές δυναμικότητας 2-10 m³/h και μια μεγαλύτερη, δυναμικότητας 10-25 m³/h.
 - Αντλίες θετικής εκτόπισης για την άντληση της λυματολάσπης από τη μεταπάχυνση, 2 μικρές (15 m³/h) και 1 μεγαλύτερη (25 m³/h).
 - Δοχείο τριθάλαμο, όγκου 3 m³ για την παραγωγή πολυηλεκτρολύτη.
 - Αντλίες δοσομετρικές για τη δοσομέτρηση του διαλύματος πολυηλεκτρολύτη.
 - Ταινιόδρομοι (Εικόνα 2.7) για τη μεταφορά λυματολάσπης στο κοντέινερ (2,25 KW, έκαστος).
 - Φυσητήρες (1,50 KW, έκαστος).»

Η λυματολάσπη μετά την πάχυνσή της, έχει συγκέντρωση στερεών 4% - 6% ενώ ο όγκος της μειώνεται από 536 m³/d σε 85 m³/d.

Η λυματολάσπη μετά την αφυδάτωσή της, έχει ποσοστό στερεών 20 – 22% και διατίθεται σε χώρο υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (XYTA).



Εικόνα 2.5: Δεξαμενές μεταπάχυνσης της λυματολάσπης.

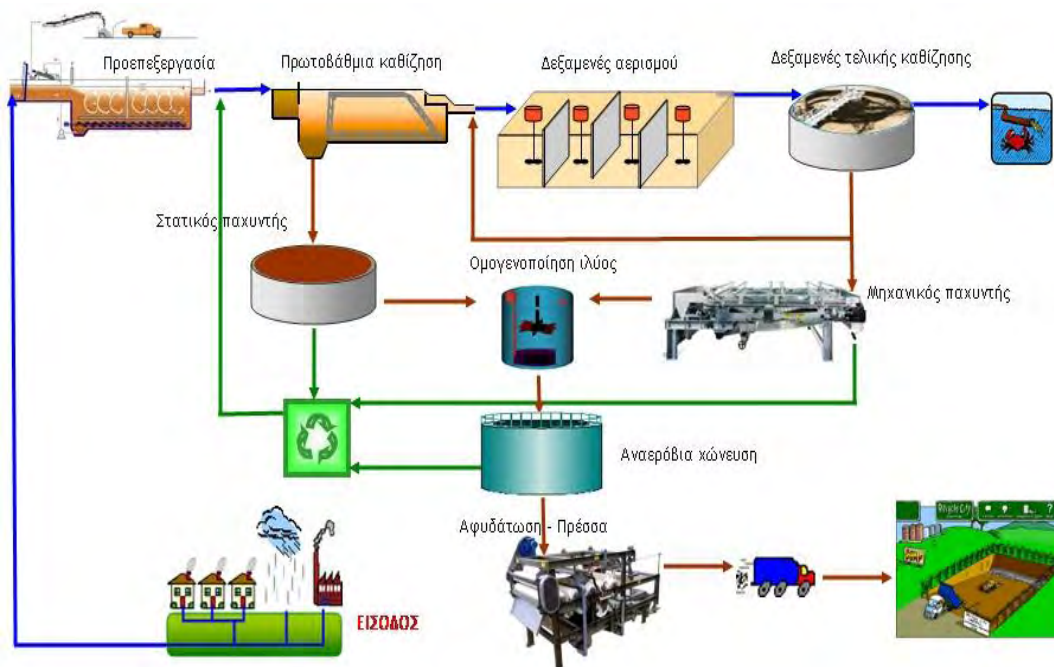


Εικόνα 2.6: Ταινιοφιλτροπρέσα.



Εικόνα 2.7: Ταινιόδρομος μεταφοράς της λυματολάσπης.

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής της συνολικής εγκατάστασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα ροής της εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑΜΒ (Μαμάσης, 2011).

2.5.2 Επεξεργασία με υπέρυθρη ακτινοβολία

Τα βασικά χαρακτηριστικά της επεξεργασίας με υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλης θερμικής ενέργειας και η άμεση θερμική διείσδυση κατευθείαν στο εσωτερικό του υπό επεξεργασία υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διαφορά θερμοκρασίας, μεταξύ εξωτερικής και εσωτερικής επιφάνειας του υλικού, να γίνεται ίση πολύ πιο γρήγορα από ότι σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους (Wang et al., 2007).

Η μεταφορά της θερμότητας πραγματοποιείται με ενέργεια ακτινοβολίας που παρέχεται από λαμπτήρες υπέρυθρου φωτός. Η ροή θερμότητας περιγράφεται από την Εξίσωση 2.1:

$$q_{rad} = \varepsilon_s A \sigma (t_r^4 - t_s^4) \quad [2.1]$$

όπου q_{rad} είναι η ροή θερμότητας (kJ/h), ε_s είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας της επιφάνειας, A είναι το εμβαδόν της επιφάνειας (m^2), σ είναι η σταθερά του Stefan-Boltzman [$4,88 \cdot 10^{-8} \text{ kcal}/(m^2 \cdot h \cdot K)$], t_r είναι η απόλυτη θερμοκρασία της πηγής (K) και t_s είναι η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας ξήρανσης (K).

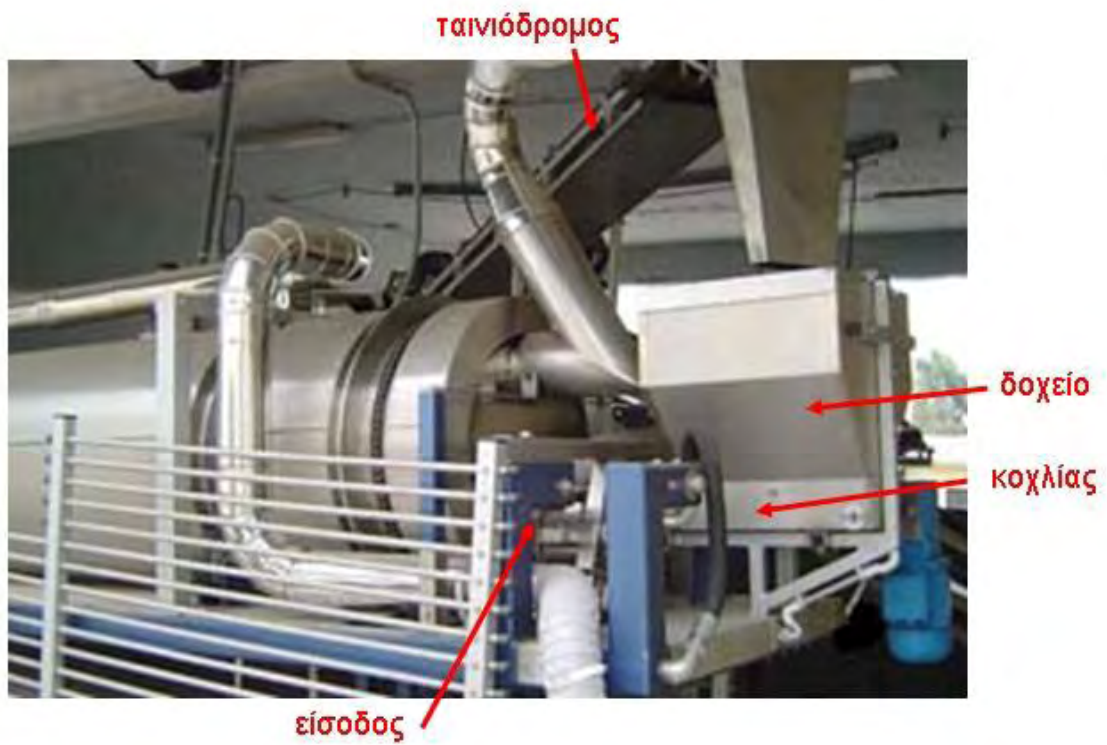
2.5.3 Περιγραφή του επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας

Στην μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑΜΒ είναι εγκατεστημένος πιλοτικά από το 2008 ένας πρότυπος επεξεργαστής υπέρυθρης ακτινοβολίας (EYA), με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία της ιλύος (αφυδάτωση). Ο επεξεργαστής αυτός αποτελεί ευρεσιτεχνία του κ. Ανδρέα Καραγιάννη και της εταιρείας EYAT (www.irtech.gr), που εδρεύει στην Ελλάδα. Ο επεξεργαστής αποτελείται, βασικά, από ένα κοίλο περιστρεφόμενο κύλινδρο (τύμπανο), ο οποίος έχει στο εσωτερικό του σειρές, κατά μήκος, από λαμπτήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας. Η λυματολάσπη εισέρχεται από το ένα άκρο του επεξεργαστή, αποξηραίνεται από την ακτινοβολία που εκπέμπουν οι λαμπτήρες και εξέρχεται από το άλλο άκρο του, όπου και συλλέγεται. Το τύμπανο έχει τη δυνατότητα να ανυψώνεται ώστε να διευκολύνεται η ροή της λυματολάσπης. Όλα τα συστήματα ελέγχονται αυτόματα μέσω μονάδας PLC. Ο επεξεργαστής φαίνεται στην Εικόνα 2.8.

Ένα μέρος της λυματολάσπης, που προερχόταν από τις ταινιοφίλτροπρέσσες, κατευθυνόταν μέσω ταινιόδρομου στον επεξεργαστή, για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ το υπόλοιπο κατευθυνόταν σε κάδο συλλογής, με προορισμό τον ΧΥΤΑ Βόλου. Η λυματολάσπη, η οποία είχε ποσοστό υγρασίας γύρω στο 80%, μεταφερόταν μέσω ταινιόδρομου σε ένα δοχείο συγκέντρωσης. Στο κάτω μέρος του δοχείου βρισκόταν περιστρεφόμενος κοχλίας ο οποίος μετέφερε και εναπόθετε ελεγχόμενα τη λυματολάσπη στο εσωτερικό του τυμπάνου. Στην Εικόνα 2.9 φαίνονται τα διάφορα μέρη στην είσοδο του επεξεργαστή.

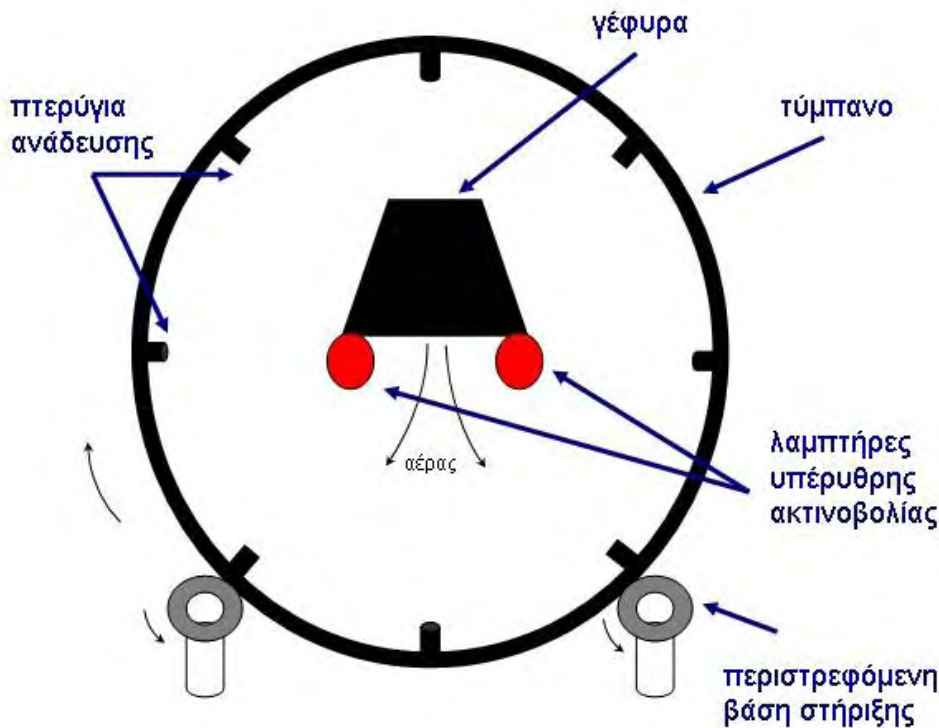


Εικόνα 2.8: Ο κ. Ανδρέας Καραγιάννης με τον επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.9: Διάφορα μέρη της εισόδου του επεξεργαστή.

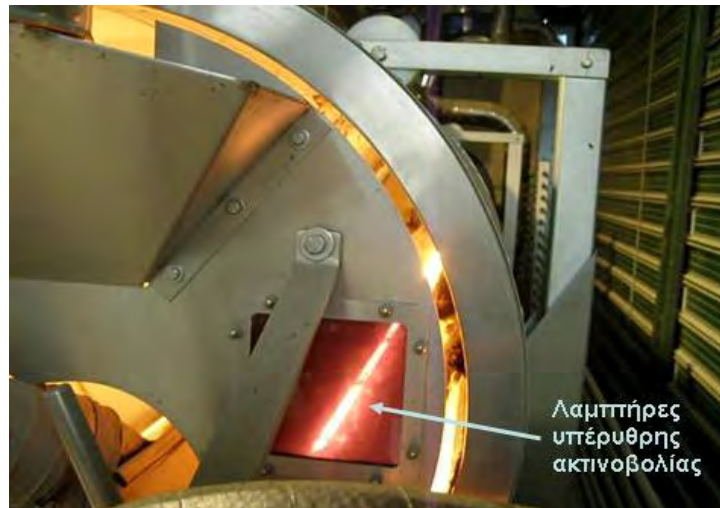
Στη συνέχεια, η λυματολάσπη κινούνταν, κατά μήκος, στο εσωτερικό του επεξεργαστή. Αυτό επιτυγχανόταν αφενός μεν λόγω της ανύψωσης του ενός άκρου (εισόδου) του τυμπάνου, αφετέρου δε λόγω των πτερυγίων ανάδευσης που βρίσκονταν τοποθετημένα κατά μήκος του τυμπάνου (Σχήμα 2.6). Λόγω της βαρύτητας και λόγω της περιστροφής της, η λυματολάσπη παρασυρόταν προς το άλλο άκρο του επεξεργαστή (έξοδο).



Σχήμα 2.6: Εγκάρσια τομή του επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Με τη βοήθεια των λαμπτήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας (Εικόνα 2.10), οι οποίοι βρίσκονταν εγκατεστημένοι διαμήκως του τυμπάνου, η λυματολάσπη αρχικά θερμαινόταν. Ο θερμός αέρας που αναπτυσσόταν, μέσα στον επεξεργαστή, απορροφούνταν από απαγωγό (Εικόνα 2.11) και στη συνέχεια, μέσω της γέφυρας, εξερχόταν στο εσωτερικό του επεξεργαστή. Με αυτό τον τρόπο, η λυματολάσπη θερμαινόταν και ξηραινόταν με δυο τρόπους: μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας και μέσω του θερμού αέρα ο οποίος ανακυκλωνόταν συνεχώς.

Η αποξηραμένη λυματολάσπη, στη συνέχεια, εξερχόταν από το άλλο άκρο του επεξεργαστή (Εικόνα 2.12) όπου και συλλεγόταν σε δοχείο, ενώ στη συνέχεια μεταφερόταν, μέσω περιστρεφόμενου κοχλίου, σε χώρο αποθήκευσης.



Λαμπτήρες
υπέρυθρης
ακτινοβολίας

Εικόνα 2.10: Αποξήρανση της λυματολάσπης μέσω υπέρυθρης ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.11: Ο απαγωγός θερμότητας του επεξεργαστή.



Εικόνα 2.12: Η έξοδος του επεξεργαστή.

2.5.4 Διεργασίες που επιτυγχάνονται κατά την υπέρυθρη επεξεργασία

Με την επεξεργασία, με την υπέρυθρη ακτινοβολία, επιτυγχάνονται οι εξής διεργασίες:

- Αποξήρανση: το τελικό προϊόν έχει υγρασία περίπου 10% (αν και μπορεί να μειωθεί ως το 0,1%) και έχει τη μορφή μικρών κόκκων διαμέτρου 2-4 mm.
- Αποστείρωση: καταστροφή του μικροβιακού φορτίου, των μυκήτων, των παρασίτων και των ιών, μέσω της μετουσίωσης των πρωτεϊνών τους.
- Απόσπηση: οι δυσάρεστες οσμές, που έχει η λυματολάσπη, αφαιρούνται λόγω της αφαίρεσης των αιτίων τους.
- Απεντόμωση: τα έντομα, τα αυγά και οι προνύμφες καταστρέφονται λόγω της ακτινοβολίας.
- Αποβλάστηση σπόρων: οι διάφοροι σπόροι καταστρέφονται οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος να βλαστήσουν στο έδαφος.
- Αδρανοποίηση των ενζύμων: η δράση των διαφόρων ενζύμων αδρανοποιείται οπότε εξασφαλίζεται η ασφάλεια από διάφορες ασθένειες.
- Μείωση όγκου και βάρους: ο όγκος μειώνεται λόγω της αφαίρεσης του νερού, ενώ το βάρος της αρχικής λυματολάσπης μπορεί να μειωθεί έως και 10 φορές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.3:

Πίνακας 2.3: Μείωση του βάρους της λυματολάσπης από αρχική ποσότητα 1000 kg σε διάφορα ποσοστά υγρασίας, πριν και μετά την επεξεργασία (irtech.gr).

Περιεχόμενο σε υγρασία (%) της λυματολάσπης μετά την επεξεργασία	Περιεχόμενο σε υγρασία (%) της λυματολάσπης πριν την επεξεργασία													
	90%	87.5%	85%	82.5%	80%	77.5%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	
90%	1000													
85%	666.67	833.33	1000											
80%	500	625	750	875	1000									
75%	400	500	600	700	800	900	1000							
70%	333.33	416.67	500	583.33	666.67	750	833.33	1000						
65%	285.71	357.14	428.57	500	571.43	642.86	714.29	857.14	1000					
60%	250	312.5	375	437.5	500	562.5	625	750	875	1000				
55%	222.22	277.78	333.33	388.89	444.44	500	555.56	666.67	777.78	888.89	1000			
50%	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000		
45%	181.82	227.27	272.73	318.18	363.64	409.1	455.55	545.45	636.36	727.27	818.18	909.1	1000	
40%	166.67	208.33	250	291.67	333.33	375	416.67	500	583.33	666.67	750	833.33	916.67	
35%	153.85	192.31	230.77	269.23	307.69	346.15	384.62	461.54	538.46	615.38	692.31	769.23	846.15	
30%	142.86	178.58	214.29	250	285.71	321.43	357.14	428.57	500	571.43	642.86	714.29	785.71	
25%	133.33	166.67	200	233.33	266.67	300	333.33	400	466.67	533.33	600	666.67	733.33	
20%	125	156.25	187.5	218.75	250	281.25	312.5	375	437.5	500	562.5	625	687.5	
15%	117.65	147.06	176.47	205.88	235.29	264.71	294.12	352.94	411.76	470.59	529.41	588.24	647.06	
10%	111.11	138.89	166.67	194.44	222.22	250	277.78	333.33	388.89	444.44	500	555.56	611.11	
5%	105.26	131.58	157.9	184.21	210.53	236.84	263.15	315.78	368.42	421.05	473.68	526.32	578.95	
0%	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	550	

2.5.5 Πλεονεκτήματα του επεξεργαστή υπέρυθρης ακτινοβολίας

Τα πλεονεκτήματα του επεξεργαστή με υπέρυθρη ακτινοβολία της EYAT, είναι τα εξής:

- Απαιτείται μία μόνο πηγή ενέργειας, η ηλεκτρική.
- Επιτυγχάνεται ομοιόμορφη διαδικασία αποξήρανσης.
- Υψηλή ικανότητα μεταφοράς ενέργειας και ικανότητα γρήγορης απόκρισης.
- Η ενέργεια επικεντρώνεται μόνο στο υπό επεξεργασία υλικό οπότε δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας.
- Δεν απαιτείται προθέρμανση του χώρου επεξεργασίας όπως γίνεται με τις συμβατικές μεθόδους ξήρανσης.
- Απαιτείται μικρός χώρος για την τοποθέτηση και λειτουργία του.
- Ο επεξεργαστής είναι αυτοκαθαριζόμενος, οπότε δεν απαιτείται καθαρισμός.
- Απαιτείται μικρός χρόνος για τη συντήρησή του, ενώ τα αναλώσιμά του έχουν μικρό κόστος.
- Χαμηλό επίπεδο θορύβου.
- Ευκολία χειρισμού μέσω οθόνης αφής.
- Δεν προκαλούνται παρενέργειες στο χρήστη.
- Δεν μολύνει το περιβάλλον.
- Η λειτουργία του είναι ασφαλής και καθαρή.

2.5.6 Ενέργεια και κόστος λειτουργίας του επεξεργαστή

Η αφυδάτωση της λυματολάσπης, με τον συγκεκριμένο επεξεργαστή, απαιτεί ενέργεια και συγκεκριμένα ηλεκτρική ενέργεια.

Ο συγκεκριμένος επεξεργαστής έχει την ικανότητα να αφυδατώνει, σύμφωνα με τον κατασκευαστή του, περίπου 1,5 kg νερού ανά ώρα.

Η ενέργεια που απαιτείται, για να αφυδατωθεί 1,5 kg νερού, έχει υπολογιστεί γύρω στο 1 kW ανά ώρα. Ειδικότερα, για την αφυδάτωση 1 kg νερού απαιτούνται 667 W, ενώ αντίστοιχα για 1000 kg νερού απαιτούνται 667 kW.

Το κόστος λειτουργίας του συγκεκριμένου επεξεργαστή, όπως υπολογίστηκε από τον κατασκευαστή του για την περίοδο του πειράματος, για την παραγωγή 1000 kg αποξηραμένων και αποστειρωμένων βιοστερεών, ανέρχεται περίπου στα 90 ευρώ.

2.6 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

2.6.1 Προετοιμασία του εδάφους

Η σωστή προετοιμασία του εδάφους είναι απαραίτητη για την καταπολέμηση των ζιζανίων, την διατήρηση της υγρασίας του εδάφους και την διασφάλιση της καλής βλάστησης των σπόρων στα βαριά εδάφη. Σύμφωνα με τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής (Κ.Ο.Γ.Π.), που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 142Β'/2004, η κατεργασία του εδάφους πρέπει να περιορίζεται, όσο είναι δυνατόν, στις απαραίτητες επεμβάσεις.

Αρχικά, το φθινόπωρο του 2008, πραγματοποιήθηκε αναμόχλευση του εδάφους με βαρύ καλλιεργητή ώστε να μειωθεί η συνεκτικότητά του και να βελτιωθεί η διείσδυση των ριζών σε αυτό.

Το φθινόπωρο κάθε χρονιάς, έπειτα από τη συγκομιδή της καλλιέργειας της προηγούμενης καλλιεργητικής περιόδου, τα στελέχη της καλλιέργειας καταστρέφονταν με στελεχοκοπτικό μηχάνημα και τα υπολείμματα απομακρύνονταν από το έδαφος. Ακολουθούσε αναμόχλευση του εδάφους με ελαφρύ καλλιεργητή. Στη συνέχεια, στις αρχές της άνοιξης κάθε έτους, πραγματοποιούνταν σκαφή του εδάφους με περιστρεφόμενο σκαπτικό (φρέζα) για τον θρυμματισμό της επιφάνειας του εδάφους και την καταστροφή των ανοιξιάτικων ζιζανίων. Τέλος, για την διαμόρφωση της σποροκλίνης γινόταν κατεργασία με σβολοκοπτικό μηχάνημα..

2.6.2 Εφαρμογή των βιοστερεών στο έδαφος

Τα βιοστερεά μεταφέρονταν από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων του Δήμου Βόλου στο Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, συσκευασμένα σε αεριζόμενους σάκους από πλεγμένες ίνες πολυπροπυλενίου και αποθηκεύονταν προσωρινά σε θερμοκήπιο, ώστε να διατηρούνται ξηρά. Κατόπιν συλλέγονταν δείγματα, τα οποία αποστέλλονταν προς ανάλυση σε διαπιστευμένο εργαστήριο του εσωτερικού.

Μία εβδομάδα πριν τη σπορά, ζυγίζονταν οι απαιτούμενες ποσότητες των βιοστερεών και η ποσότητα που αντιστοιχούσε σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, διασπειρόταν ομοιόμορφα με το χέρι στην επιφάνειά του (Εικόνες 2.13 και 2.14). Έπειτα από την εφαρμογή των βιοστερεών στο έδαφος, γινόταν ενσωμάτωσή τους με σκαφή του εδάφους, με περιστρεφόμενο σκαπτικό (φρέζα), σε βάθος 20 cm (Εικόνα 2.15).

Η ποσότητα των βιοστερεών που εφαρμοζόταν στον έδαφος αναλογούσε σε 500 kg ξηρού βάρους ανά στρέμμα. Τα βιοστερεά εφαρμόζονταν στο έδαφος άπαξ ανά έτος, μια εβδομάδα πριν την σπορά, για τρία συναπτά έτη (2009-2011).



Εικόνα 2.13: Τα βιοστερεά μετά τη διασπορά τους σε ένα από τα πειραματικά τεμάχια.



Εικόνα 2.14: Τα βιοστερεά μετά τη διασπορά τους στην επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 2.15: Ενσωμάτωση των βιοστερεών στο έδαφος με τη χρήση περιστρεφόμενου σκαπτικού (φρέζας).

2.6.3 Εφαρμογή της λίπανσης στο έδαφος

Παράλληλα με την εφαρμογή των βιοστερεών στο έδαφος, γινόταν και η εφαρμογή του ανόργανου λιπάσματος στα αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια.

Το ανόργανο λίπασμα που εφαρμοζόταν κάθε έτος, περιείχε την ίδια ποσότητα αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) με τα βιοστερεά (βάσει των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των βιοστερεών). Έτσι, η ποσότητα του ανόργανου λιπάσματος που εφαρμόστηκε στο έδαφος ήταν κατά μέσο όρο 21,9 kg αζώτου ανά στρέμμα, 8,97 kg φωσφόρου ανά στρέμμα και 0,84 kg καλίου ανά στρέμμα.

Ολόκληρη η ποσότητα του φωσφόρου (P_2O_5) και του καλίου (KNO_3) εφαρμοζόταν σαν βασική, μαζί με το 25% της ποσότητας του αζώτου (NH_4NO_3). Αφού ζυγίζονταν οι απαιτούμενες ποσότητες, το λίπασμα διασπειρόταν ομοιόμορφα με το χέρι στην επιφάνεια κάθε τεμαχίου. Στη συνέχεια, γινόταν ενσωμάτωση του λιπάσματος στο έδαφος, με σκαφή του εδάφους με περιστρεφόμενο σκαπτικό (φρέζα), σε βάθος 20 cm.

Η υπόλοιπη ποσότητα του αζώτου (75%) εφαρμοζόταν σε τρεις ισόποσες δόσεις μέσω υδρολίπανσης (CH_4N_2O), περίπου 30 με 40 ημέρες από την σπορά της καλλιέργειας.

Ο συγκεκριμένος τρόπος εφαρμογής της λίπανσης επιλέχθηκε αφενός μεν διότι αποτελεί κοινή καλλιεργητική πρακτική των γεωργών στην Ελλάδα και σε όλο τον κόσμο, αφετέρου δε διότι έτσι ορίζει ο νόμος (ΦΕΚ 142B'/2004). Αυτή η πρακτική έχει ως στόχο τον περιορισμό της έκπλυσης του αζώτου στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους, αλλά και τον εφοδιασμό των φυτών με άζωτο όταν αυτά το χρειάζονται περισσότερο (Vanderlip, 1993). Επιπρόσθετα, όταν εφαρμόζονται μεγάλες ποσότητες αζώτου ως βασική λίπανση σε καλλιέργειες οι οποίες έχουν μικρούς σπόρους (π.χ. σόργο), προκαλείται ζημιά στους σπόρους λόγω του υψηλού δείκτη αλατότητας που δημιουργείται από το λίπασμα (Whitney, 1998).

Τέλος, δεδομένου ότι τα βιοστερεά απελευθερώνουν σταδιακά τις θρεπτικές τους ουσίες (όπως το άζωτο), η σύγκριση μεταξύ των μεταχειρίσεων των βιοστερεών με αυτές του λιπάσματος, είναι πιο σωστή.

2.6.4 Σπορά της καλλιέργειας

Η σπορά του γλυκού σόργου πραγματοποιούνταν κατά το πρώτο δεκαήμερο του Ιουνίου κάθε χρονιάς, με πνευματική σπαρτική μηχανή τεσσάρων μονάδων, η οποία φαίνεται στην Εικόνα 2.16.



Εικόνα 2.16: Η πνευματική σπαρτική μηχανή.

Οι σπόροι τοποθετούνταν σε βάθος 5-7 cm και σε απόσταση 7,8 cm επί της γραμμής, ενώ η απόσταση ανάμεσα στις γραμμές σποράς ήταν 78 cm. Η πυκνότητα της σποράς ήταν περίπου 12000 φυτά ανά στρέμμα.

Η ποικιλία του γλυκού σόργου, που επιλέχθηκε, έχει την εμπορική ονομασία Sugargraze και έχει αναπτυχθεί από την εταιρεία Pacific Seeds, που εδρεύει στην Αυστραλία. Το συγκεκριμένο σόργο είναι ένα υβρίδιο γλυκού σόργου (*Sorghum bicolor* (L.) Moench x *Sorghum bicolor* (L.) Moench 'Sugargraze'), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για ζωοτροφή όσο και για παραγωγή βιοαιθανόλης.

2.6.5 Έλεγχος ζιζανίων

Μετά τη σπορά και μέχρι τα φυτά να φτάσουν περίπου στο ύψος των 50 cm, πραγματοποιούνταν ένα με δυο σκαλίσματα (με το χέρι) για την απομάκρυνση των ζιζανίων.

2.6.6 Έλεγχος ασθeneιών

Την πρώτη καλλιεργητική περίοδο (2009) εφαρμόστηκε στα νεαρά φυτά, με ψεκασμό, το μυκητοκτόνο carbendazim, ώστε να προστατευθεί η καλλιέργεια από την μυκητολογική ασθένεια ελμινθοσπορίαση.

Τις επόμενες δυο καλλιεργητικές περιόδους δεν χρειάστηκε να γίνει εφαρμογή του μυκητοκτόνου.

2.7 ΑΡΔΕΥΣΗ

2.7.1 Επιφανειακή άρδευση με καταιονισμό

Μετά τη σπορά, πραγματοποιούνται άρδευση με καταιονισμό, για τη διευκόλυνση του φυτρώματος. Η άρδευση γινόταν με υψηλής πίεσης περιστρεφόμενο καταιονιστήρα ενός ακροφυσίου ή αλλιώς κανόνι βροχής, ο οποίος έχει ακτίνα δράσης περίπου 10 - 15 m, ενώ το δίκτυο μεταφοράς αποτελούνταν από σωλήνες αλουμινίου διαμέτρου 76 mm (3 ιντσών), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.17.

Το αντλητικό συγκρότημα αποτελούνταν από γεώτρηση (Εικόνα 2.18) με υποβρύχια αντλία και αγωγό 101 mm (4 ιντσών) παροχής 35 m³/h.

Η άρδευση με καταιονισμό συνεχιζόταν για ακόμη 4 φορές (συνολικά 5 φορές) μέχρι τα φυτά να αναπτύξουν επαρκές ριζικό σύστημα και να μπορεί να αξιοποιηθεί η επιφανειακή στάγδην άρδευση, δηλαδή περίπου 30-40 ημέρες μετά τη σπορά.



Εικόνα 2.17: Ο υψηλής πίεσης περιστρεφόμενος καταιονιστήρας.



Εικόνα 2.18: Η γεώτρηση στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου.

2.7.2 Επιφανειακή στάγδην άρδευση

Η εγκατάσταση του συστήματος επιφανειακής στάγδην άρδευσης γινόταν περίπου 30-40 ημέρες μετά τη σπορά, όταν δηλαδή τα φυτά βρίσκονταν περίπου στο τρίτο στάδιο ανάπτυξης (Vanderlip, 1993). Το σύστημα άρδευσης αποτελούνταν από το δίκτυο μεταφοράς, το δίκτυο εφαρμογής, τη μονάδα ελέγχου και το αντλητικό συγκρότημα.

2.7.2.1 Αντλητικό συγκρότημα

Το αντλητικό συγκρότημα που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, αποτελούνταν από επιφανειακή φυγόκεντρη αντλία νερού, με δυνατότητα άντλησης από βάθος 3 m και διατήρησης της πίεσης στο σύστημα στις 3 atm. Η αντλία ήταν εγκατεστημένη στην κορυφή δεξαμενής, συνολικής χωρητικότητας 50 m³, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.19.

Το αντλητικό συγκρότημα που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, αποτελούνταν από υποβρύχια αντλία, η οποία ήταν συνδεδεμένη με δοχείο πίεσεως 200 L, ώστε να διατηρείται σταθερή η πίεση στους αγωγούς, στις 3 atm.



Εικόνα 2.19: Το αντλητικό συγκρότημα.

2.7.2.2 Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, αποτελούνταν από μετρητή ροής για τον έλεγχο της συνολικής ποσότητας του νερού, φίλτρο σίτας για τη συγκράτηση σωματιδίων, υδρολιπαντήρα για την εφαρμογή του λιπάσματος και τέλος από τον προγραμματιστή άρδευσης και από τις ηλεκτροβαλβίδες ή αλλιώς ηλεκτροβάνες (valves).

Οι ηλεκτροβαλβίδες (Εικόνα 2.20) ήταν της εταιρείας Netafim που εδρεύει στο Ισραήλ και είχαν ονομαστική τάση λειτουργίας τα 9 V συνεχούς ρεύματος. Κάθε μία από τις ηλεκτροβαλβίδες ελεγχόταν από προγραμματιστή άρδευσης και συνδεόταν με τον κύριο αγωγό μεταφοράς κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχει την έναρξη και τη λήξη της άρδευσης, στα πειραματικά τεμάχια των μεταχειρίσεων που δέχονταν την ίδια δόση άρδευσης.

Ο προγραμματιστής άρδευσης έθετε σε λειτουργία το αντλητικό συγκρότημα και ρύθμιζε τη λειτουργία της κάθε ηλεκτροβαλβίδας. Ο προγραμματιστής άρδευσης ήταν επίσης της εταιρείας Netafim, με το εμπορικό όνομα Miracle DC (Εικόνα 2.21).



Εικόνα 2.20: Ηλεκτροβαλβίδες.



Εικόνα 2.21: Ο προγραμματιστής άρδευσης Miracle DC.

Ο προγραμματιστής είχε ονομαστική τάση λειτουργίας τα 9 V συνεχούς ρεύματος. Είχε τη δυνατότητα ελέγχου τεσσάρων ηλεκτροβαλβίδων ταυτοχρόνως, σε τρία διαφορετικά προγράμματα. Η ρύθμιση γινόταν εύκολα με περιστροφικό διακόπτη και πλήκτρα επιλογών, με άμεση ένδειξη των επιλογών σε οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD). Παρείχε τη δυνατότητα καθορισμού της ημερομηνίας και ώρας έναρξης της άρδευσης για κάθε ηλεκτροβαλβίδα, καθώς και τη διάρκεια της άρδευσης. Παρείχε επίσης τη δυνατότητα επί τις εκατό αύξησης ή μείωσης της άρδευσης και πολλές άλλες λειτουργίες όπως υποστήριξη αισθητήρα βροχής και αυτόματο έλεγχο της σωστής λειτουργίας προγράμματος.

Η μονάδα ελέγχου που χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, αποτελούνταν από μετρητή ροής για τον έλεγχο της συνολικής ποσότητας του νερού, φίλτρο σίτας για τη συγκράτηση σωματιδίων, υδρολιπαντήρα για την εφαρμογή του λιπάσματος και τέλος από ψηφιακό καταγραφικό (data logger) και από τις ηλεκτροβαλβίδες ή αλλιώς ηλεκτροβάνες (valves).

Οι ηλεκτροβαλβίδες ήταν της εταιρείας Netafim που εδρεύει στο Ισραήλ και είχαν ονομαστική τάση λειτουργίας τα 24 V εναλλασσόμενου ρεύματος. Κάθε μία από τις τρεις ηλεκτροβαλβίδες ελεγχόταν από ψηφιακό καταγραφικό (ο τρόπος λειτουργίας του περιγράφεται παρακάτω) και συνδεόταν με τον κύριο αγωγό μεταφοράς κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχει την έναρξη και τη λήξη της άρδευσης, στα πειραματικά τεμάχια κάθε μεταχείρισης..

2.7.2.3 Δίκτυο μεταφοράς

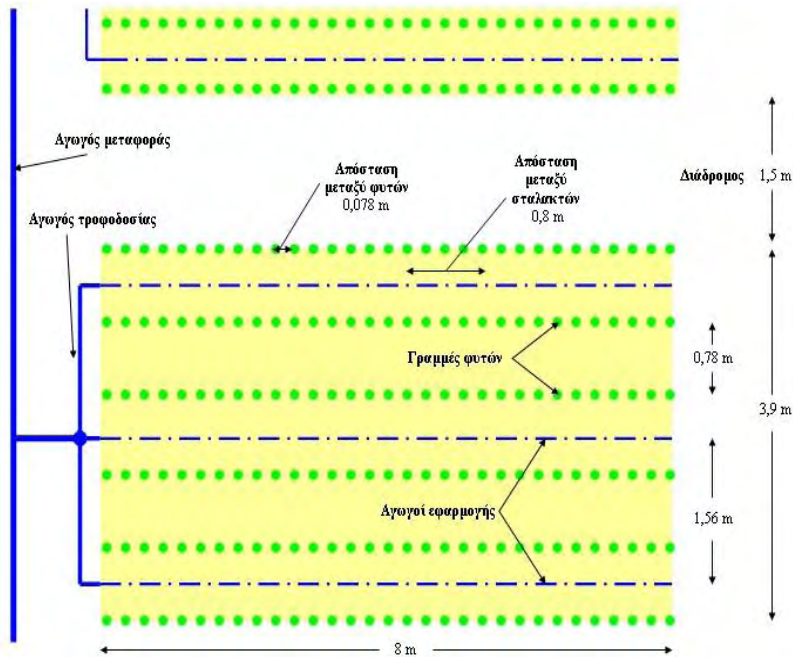
Το δίκτυο μεταφοράς αποτελούνταν από τους κύριους αγωγούς μεταφοράς και τους αγωγούς τροφοδοσίας, ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 32 mm και 25 mm, αντίστοιχα. Οι αγωγοί ήταν της εταιρείας Palaplast που εδρεύει στην Ελλάδα, ήταν κατασκευασμένοι από χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) και η ανώτατη πίεση λειτουργίας τους ήταν 6 atm.

2.7.2.4 Δίκτυο εφαρμογής

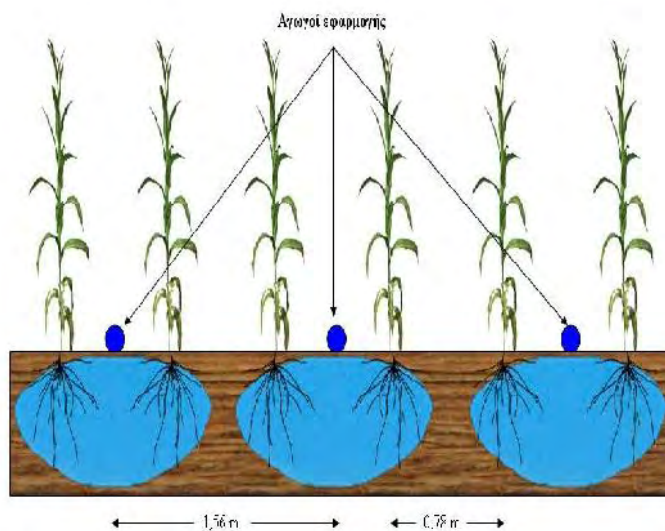
Το δίκτυο εφαρμογής αποτελούνταν από σταλακτηφόρους αγωγούς, ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 20 mm, οι οποίοι ήταν κατασκευασμένοι από εύκαμπτο πολυαιθυλένιο (PE). Οι αγωγοί ήταν της εταιρείας Netafim με το εμπορικό όνομα Uniram RC. Οι σταλάκτες είχαν παροχή 2,3 L/h και η απόσταση μεταξύ τους, επί του αγωγού, ήταν 0,8 m. Το εύρος πίεσης σωστής λειτουργίας των σταλακτών ήταν 0,5 - 4 atm. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7 σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν τρεις αγωγοί μεταφοράς με απόσταση 1,56 m μεταξύ τους.

Κάθε αγωγός εφαρμογής άρδευε δυο γραμμές φυτών, ένθεν κακείθεν. Ο αριθμός των σταλακτών σε κάθε αγωγό εφαρμογής ήταν δέκα. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 108 αγωγοί

εφαρμογής, από τους οποίους οι 27 χρησιμοποιήθηκαν για τις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας. Στο Σχήμα 2.8 φαίνεται η διάταξη των φυτών σε σχέση με τους αγωγούς εφαρμογής, το ριζικό σύστημα (Pages et al., 2004) και η περιοχή ύγρανσης του εδάφους από κάθε σταλάκτη, σε αργιλώδες έδαφος, έπειτα από 4 ώρες άρδευσης (Freeman et al., 2003).



Σχήμα 2.7: Διάταξη των αγωγών του συστήματος επιφανειακής άρδευσης σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.



Σχήμα 2.8: Διάταξη των αγωγών εφαρμογής σε κάθε πειραματικό τεμάχιο.

2.7.3 Συντήρηση συστημάτων άρδευσης

Κατά την εγκατάσταση των συστημάτων στον αγρό και πριν την έναρξη των αρδεύσεων με στάγδην άρδευση, διενεργούνταν έλεγχος της σωστής λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα οι εργασίες που γίνονταν κάθε φορά, περιλάμβαναν τα εξής:

- Έλεγχο και καθαρισμό των φίλτρων σίτας.
- Έλεγχο της σωστής λειτουργίας των ηλεκτροβαλβίδων.
- Έλεγχο της σωστής λειτουργίας του προγραμματιστή άρδευσης και αντικατάσταση της μπαταρίας του.
- Έλεγχο της σωστής λειτουργίας του ψηφιακού καταγραφικού και του αισθητήρα υγρασίας.

Κατά την περίοδο λειτουργίας των συστημάτων άρδευσης και κατά τη διάρκεια των αρδεύσεων με στάγδην άρδευση, διενεργούνταν οι εξής έλεγχοι:

- Οπτικός έλεγχος της σωστής λειτουργίας των σταλακτών (βάσει της έκτασης της ζώνης διαβροχής του εδάφους).
- Έλεγχος των ενδείξεων των υδρομετρητών.
- Έλεγχος του κριτηρίου Christiansen (1942) σε κάθε επιφανειακό αγωγό εφαρμογής, σύμφωνα με το οποίο η διαφορά πίεσης μεταξύ του πρώτου και τελευταίου σταλάκτη, δεν πρέπει να ξεπερνά το 20%.

2.8 ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

2.8.1 Μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας

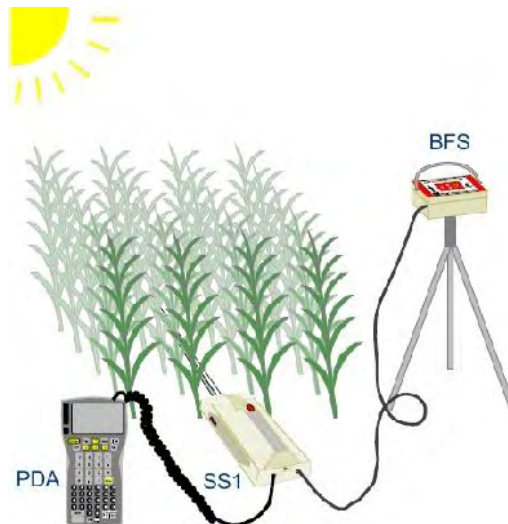
Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας προσδιορίζονταν σε εβδομαδιαία βάση με το σύστημα SunScan Canopy Analysis System, της εταιρείας Delta-T Devices Ltd, που εδρεύει στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε σταθερή περιοχή σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, στις μεσαίες σειρές φυτών, διαγώνια, έτσι ώστε να σχηματίζεται γωνία 39 μοιρών προς τις γραμμές σποράς.

Σε κάθε σημείο λαμβάνονταν 3 μετρήσεις και υπολογιζόταν ο μέσος όρος τους. Οι μετρήσεις γίνονταν κατά τις μεσημβρινές ώρες και όταν ο ήλιος βρισκόταν σε μικρή γωνία κλίσης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή (Webb et al., 2008).

2.8.1.1 Το σύστημα Sunscan Canopy Analysis

Το σύστημα SunScan, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9, αποτελείται από τον αισθητήρα (SS1), από έναν υπολογιστή παλάμης (PDA) στον οποίο απεικονίζονται και καταγράφονται οι μετρήσεις και από ένα αισθητήρα ο οποίος μετρά την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία (BFS).



Σχήμα 2.9: Διάταξη του συστήματος SunScan για τη μέτρηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Potter et al., 1996).

Ο αισθητήρας (SS1) αποτελείται από μία ράβδο μήκους 1 m και πάχους 13 mm, η οποία περιέχει 64 φωτοδιόδους σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (15,6 mm). Στην άκρη της ράβδου βρίσκεται η λαβή της, στην οποία εσωκλείεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα μετατροπής του σήματος των αισθητήρων σε ψηφιακές μετρήσεις καθώς και οι μπαταρίες και τα καλώδια σύνδεσης. Ο αισθητήρας αποκρίνεται στο ορατό φως, στο φάσμα 400 – 700 nm.

Ο υπολογιστής παλάμης (PDA) ήταν της εταιρείας Psion με την εμπορική ονομασία Workabout mx. Ο υπολογιστής διαθέτει επεξεργαστή 16 ψηφίων της εταιρείας NEC, εσωτερική μνήμη 2 Mbytes, οθόνη 240 επί 100 pixels καθώς και πληκτρολόγιο 57 πλήκτρων. Διαθέτει το λειτουργικό σύστημα SIBO στο οποίο είναι εγκατεστημένο το λογισμικό SunScan.

Ο αισθητήρας (BFS) μετρά, εκτός από την άμεση και έμμεση ηλιακή ακτινοβολία, την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation - PAR). Ο αισθητήρας αποτελείται από πολλές φωτοδιόδους από τις οποίες μια είναι πάντα σκιασμένη, έτσι ώστε να διαχωρίζεται η άμεση και έμμεση ακτινοβολία.

Παρόλο που η χρήση του αισθητήρα αυτού είναι προαιρετική, η χρησιμοποίησή του βελτιώνει το αποτέλεσμα των μετρήσεων (Webb et al., 2008).

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν διεξαχθεί σε καλλιέργεια αραβόσιτου, το σύστημα SunScan είναι πολύ αξιόπιστο στις μετρήσεις εφόσον τηρούνται οι διαδικασίες που περιγράφονται από τον κατασκευαστή (Oguntunde et al., 2012), ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών ουρανού (Wilhelm et al., 2000).

2.8.1.2 Η μέθοδος μέτρησης του LAI με το σύστημα SunScan Canopy Analysis

Ο αισθητήρας Sunscan υπολογίζει το LAI έμμεσα από μετρήσεις της ακτινοβολίας. Ο τρόπος υπολογισμού βασίζεται σε ένα μοντέλο, σύμφωνα με τους Potter et al. (1996) και Webb et al. (2008), με ορισμένες αρχικές υποθέσεις, όπως φαίνονται παρακάτω:

- Η φυτική κάλυψη είναι μια άπειρη, ομοιόμορφη, οριζόντια πλάκα, με στοιχεία φύλλων τυχαία κατανεμημένα, σε αναλογία προς την έκταση ενός ελλειψοειδούς, όπως περιγράφηκε από τον Campbell (1986).
- Το προσπίπτον φως αποτελείται από ένα συστατικό, προερχόμενο από μια σημειακή πηγή σε μια δεδομένη γωνία και μια συνιστώσα διάχυσης από κάθε σημείο στον ουρανό (αίθριος ουρανός).
- Η φυτική κάλυψη είτε έχει επαρκές υψηλό LAI έτσι ώστε το φως που αντανακλάται πίσω, από το έδαφος, να είναι αμελητέο, είτε η αντανάκλαση του εδάφους είναι παρόμοια με εκείνη της φυτικής κάλυψης.
- Ένα μέρος από το φως που παρεμποδίζεται από το στοιχείο του φύλλου απορροφάται πλήρως. Το υπόλοιπο επανεκπέμπεται ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις.

Σύμφωνα με τους Potter et al. (1996) και τους Webb et al. (2008), οι υποθέσεις του μοντέλου καθορίζονται ως εξής:

- Η φυτική κάλυψη χωρίζεται σε οριζόντια στρώματα των 0,1 LAI.
- Η απορρόφηση της άμεσης δέσμης από κάθε στρώμα υπολογίζεται με την εξίσωση του Campbell (1986). Στον υπολογισμό της ποσότητας του απορροφημένου φωτός, το οποίο επανεκπέμπεται, η συνολική ισχύς της άμεσης δέσμης πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Το ποσό που παρεμποδίζεται από το στρώμα είναι η διαφορά μεταξύ απόλυτης έντασης, πάνω και κάτω από το στρώμα.
- Το διαχεόμενο φως που παρεμποδίζεται από το στρώμα, υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο, λαμβάνοντας υπόψη το προσπίπτον διαχεόμενο φως και το άθροισμα του επανεκπεμπόμενου φωτός, από όλα τα στρώματα, εξασθενημένο

από τα ενδιάμεσα στρώματα. Και σε αυτή την περίπτωση, οι απόλυτες και όχι οι διορθωμένες, με το συνημίτονο, μετρήσεις πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

- Και οι δυο μετρήσεις (απόλυτες και διορθωμένες) του φωτός υπολογίζονται για το κάθε στρώμα και το μοντέλο επαναλαμβάνεται συνεχώς, μέχρι να συγκλίνει. Αυτό έχει εφαρμοστεί για ένα εύρος διαφορετικών τιμών των μεταβλητών.

Αυτοί οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη τόσο τις οριζόντιες όσο και τις κάθετες συνιστώσες του φωτός, οπότε και απαιτείται μεγάλη υπολογιστική ισχύς. Έτσι, για τις διάφορες μεταβλητές υπολογίστηκαν τα αποτελέσματα του μοντέλου. Έπειτα, βρέθηκαν συναρτήσεις οι οποίες ταίριαζαν στα αποτελέσματα που συγκεντρώθηκαν από την προηγούμενη διαδικασία. Αυτές οι προσεγγιστικές συναρτήσεις χρησιμοποιούνται στο λογισμικό του αισθητήρα Sunscan για τον υπολογισμό του LAI. Οι τιμές του LAI που υπολογίζονται με αυτό τον τρόπο έχουν ένα εύρος λάθους μέχρι 10%, από αυτές που θα υπολογίζονταν με το πλήρες μοντέλο (Potter et al., 1996· Webb et al., 2008).

2.8.2 Μέτρηση του ύψους των φυτών

Παράλληλα με τις μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, λαμβάνονταν και μετρήσεις του ύψους των φυτών. Οι μετρήσεις γίνονταν στην ίδια περιοχή που γίνονταν και οι μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, στο σύνολο των φυτών και υπολογιζόταν ο μέσος όρος σε κάθε πειραματικό τεμάχιο. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν ανά εβδομάδα. Συγκεκριμένα, το ύψος μετριόταν με άκαμπτο μεταλλικό γνώμονα μήκους 5 m, από την επιφάνεια του εδάφους έως το σημείο έκπτυξης του φύλλου σημαίας (flag leaf), του κάθε φυτού.

2.8.3 Μέτρηση της βιομάζας των φυτών

Οι μετρήσεις χλωρής και ξηρής βιομάζας πραγματοποιούνταν ανά εβδομάδα παράλληλα με τις μετρήσεις του ύψους και του LAI. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν σε μεμονωμένα φυτά με τη μέθοδο της καταστροφικής δειγματοληψίας. Συγκεκριμένα, επιλέγονταν τυχαία φυτά από τις μεσαίες σειρές κάθε πειραματικού τεμαχίου, έτσι ώστε αφενός μεν να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις του ύψους και του LAI, αφετέρου δε τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά. Για αυτό το λόγο κάθε φορά που με την τυχαιοποίηση επιλεγόταν κάποιο φυτό που βρίσκονταν στην περιοχή όπου λαμβάνονταν οι μετρήσεις του ύψους και του LAI, η διαδικασία επαναλαμβανόταν. Επίσης αποφευγόταν η δειγματοληψία φυτών στα οποία είχαν αφαιρεθεί τα γειτονικά τους, έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί η πυκνότητα των φυτών και κατά συνέπεια οι μετρήσεις.

Κατά τη δειγματοληψία, τα φυτά αποκόπτονταν με ειδικό κοπτικό εργαλείο στο στέλεχος τους, στο ύψος της επιφάνειας του εδάφους έτσι ώστε να λαμβάνεται μόνο το υπέργειο μέρος των φυτών. Στη συνέχεια, τα μέρη του φυτού χωρίζονταν και ζυγίζονταν ξεχωριστά σε ζυγό ακριβείας. Συγκεκριμένα, ζυγίζονταν το στέλεχος, τα φύλλα και η ταξιανθία κάθε φυτού. Το άθροισμα των επιμέρους μερών (συνολικό βάρος) αναγόταν σε παραγωγή χλωρής βιομάζας (υπέργεια) ανά στρέμμα. Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετούνταν σε χάρτινες σακούλες και ξηραίνονταν σε ειδικό πυριαντήριο στους 105 °C, μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους (Samuelson et al., 2006). Έπειτα, ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας έτσι ώστε να προσδιοριστεί το ξηρό βάρος και στη συνέχεια να αναχθεί σε ξηρή βιομάζα (υπέργεια) ανά στρέμμα.

Κατά τη συγκομιδή της καλλιέργειας, η οποία γινόταν όταν τα φυτά βρίσκονταν στο έβδομο στάδιο ανάπτυξης (Vanderlip, 1993), όλα τα φυτά των μεσαίων σειρών αποκόπτονταν και ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας, ενώ στη συνέχεια ξηραίνονταν, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η παραγωγή χλωρής και ξηρής βιομάζας (υπέργειας) ανά στρέμμα.

2.8.4 Μέτρηση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα

Ο χυμός από τα στελέχη των φυτών εξαγόταν με χειροκίνητη κυλινδρική πρέσα και κατόπιν προσδιορίζονταν οι βαθμοί Brix του διαλύματος με τη χρήση φορητού οπτικού διαθλασίμετρου χειρός.

Οι βαθμοί Brix (°Bx) αντιπροσωπεύουν το περιεχόμενο ενός διαλύματος σε σάκχαρα. Συγκεκριμένα, ένας βαθμός Brix αντιστοιχεί σε 1 g σακχαρόζης (σουκρόζης) ανά 100 g διαλύματος και εκφράζει το επί τις εκατό ποσοστό (%) κατά βάρος (w/w).

Το διαθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 2.22) έχει το εμπορικό όνομα ART 53000C και είναι της εταιρείας TR Turoni S.r.l. που εδρεύει στην Ιταλία. Έχει τη δυνατότητα να μετρά από 0 έως 32 βαθμούς Brix και να αντισταθμίζει αυτόματα τη θερμοκρασία.



Εικόνα 2.22: Το φορητό διαθλασίμετρο 53000C, της εταιρείας Turoni.

2.8.5 Υπολογισμός της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης

Από το χυμό των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας, μπορεί να παραχθεί βιοαιθανόλη. Στην παρούσα έρευνα η παραγωγή σε βιοαιθανόλη υπολογίστηκε βάσει θεωρητικών εξισώσεων, από τη βιβλιογραφία.

Για τον υπολογισμό της θεωρητικής παραγωγής σε βιοαιθανόλη χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις που αναφέρονται από τους Liu et al. (2008), Lipinsky et al., (1978) και Zhao et al., (2009) και περιγράφονται, συνολικά, με την Εξίσωση 2.2 :

$$Eth = \frac{\left[\frac{(0,8111 \cdot Bx) - 0,3728}{100} \right] \cdot FSB \cdot 0,51 \cdot 0,85}{0,79} \quad [2.2]$$

όπου:

Eth είναι η θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης (L/στρ.),

Bx είναι οι βαθμοί Brix του χυμού των στελεχών των φυτών ($^{\circ}Bx$),

FSB είναι η χλωρή βιομάζα των στελεχών των φυτών (kg/στρ.),

0,51 είναι ο παράγοντας μετατροπής των σακχάρων σε αιθανόλη,

0,85 είναι ο συντελεστής αποδοτικότητας της όλης διαδικασίας,

0,79 είναι το ειδικό βάρος της αιθανόλης (g/cm^3).

2.8.6 Ποσότητα του νερού άρδευσης

Η ποσότητα του νερού άρδευσης που εφαρμοζόταν σε κάθε πειραματικό τεμάχιο, σε κάθε μεταχείριση, αλλά και συνολικά, ελεγχόταν μέσω υδρογνώμων (υδρομετρητών). Οι υδρογνώμονες ήταν εγκαταστημένοι στο σημείο υδροληψίας του κάθε πειραματικού τεμαχίου δηλαδή στο σημείο όπου συνδεόταν ο αγωγός τροφοδοσίας με τους αγωγούς εφαρμογής. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 36 υδρομετρητές νερού.

2.8.7 Μέτρηση της υγρασίας του εδάφους

Για την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν 2 συστήματα. Το ένα σύστημα αποτελούνταν από το φορητό αισθητήρα Diviner 2000 και χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ενώ το άλλο σύστημα αποτελούνταν από μόνιμα εγκατεστημένους αισθητήρες EnviroSCAN και χρησιμοποιήθηκε στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της υγρασίας του εδάφους. Και τα δυο συστήματα απαιτούσαν την τοποθέτηση αγωγών πρόσβασης.

2.8.7.1 Οι αγωγοί πρόσβασης των αισθητήρων

Για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους μέσω των αισθητήρων υγρασίας είναι απαραίτητο να υπάρχουν στο έδαφος εγκατεστημένοι αγωγοί πρόσβασης. Έτσι, ο αισθητήρας μετακινούμενος ή εγκατεστημένος μέσα στον αγωγό πρόσβασης, μπορεί να μετρήσει την υγρασία σε διαφορετικά βάθη.

Η εγκατάσταση των αγωγών πρόσβασης γινόταν στην αρχή κάθε καλλιεργητικής περιόδου και έπειτα από τη σπορά. Οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι από σκληρό πολυβινιλοχλωρίδιο (PVC) λευκού χρώματος, είχαν εξωτερική διάμετρο ίση με 56,5 mm, εσωτερική διάμετρο ίση με 51 mm και μήκος 1,3 m. Οι αγωγοί ήταν κατασκευασμένοι από τον οίκο Sentek Pty Ltd, που εδρεύει στην Αυστραλία, ενώ για την εισαγωγή τους στο έδαφος απαιτούνταν ειδική συλλογή εργαλείων της ίδιας εταιρείας. Τα εργαλεία αυτά ελαχιστοποιούσαν τη διατάραξη του εδάφους έτσι ώστε να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις της υγρασίας. Τυχόν διατάραξη στο έδαφος γύρω από τον αγωγό θα δημιουργούσε περιοχές με αέρα, οπότε και θα δημιουργούνταν ανισοκατανομή της υγρασίας κατά την ύγρανση του εδάφους. Ένα μέρος της συλλογής των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκε, φαίνεται στην Εικόνα 2.23.



Εικόνα 2.23: Εισαγωγή ενός αγωγού πρόσβασης στο έδαφος με τη συλλογή εργαλείων της εταιρείας Sentek.

Συνολικά εγκαταστάθηκαν 15 αγωγοί στον πειραματικό αγρό. Ειδικότερα, εγκαταστάθηκε 1 αγωγός για κάθε μεταχείριση, εκτός από τις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, όπου εγκαταστάθηκαν 2 αγωγοί. Οι αγωγοί τοποθετούνταν επί της γραμμής, στη μέση μιας εκ των μεσαίων σειρών φυτών, του πειραματικού τεμαχίου. Οι αγωγοί τοποθετούνταν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξέχουν κατά 5 cm από την επιφάνεια του εδάφους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.24.



Εικόνα 2.24: Οι αγωγοί πρόσβασης στον πειραματικό αγρό.

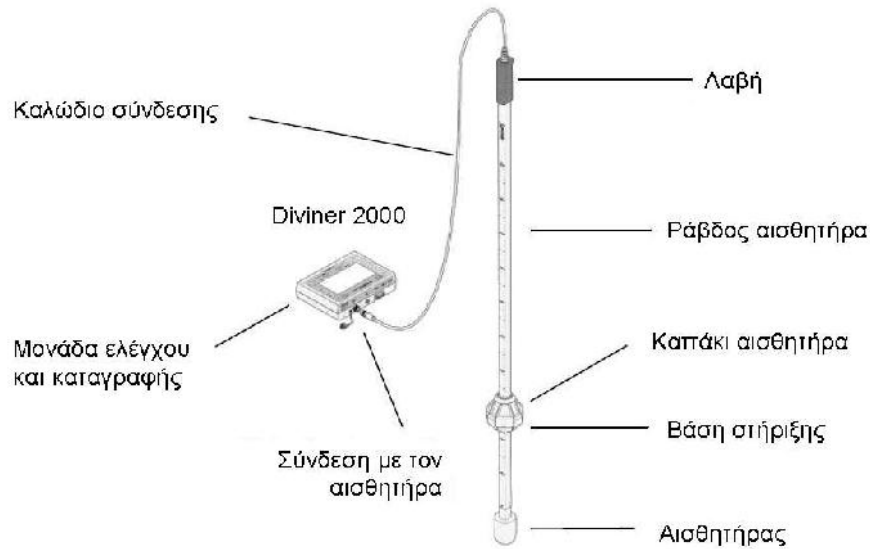
Στο τέλος κάθε καλλιεργητικής περιόδου οι αγωγοί εξάγονταν, με τη βοήθεια της ειδικής συλλογής εργαλείων, έτσι ώστε να διευκολύνονται οι καλλιεργητικές εργασίες. Στη συνέχεια επανατοποθετούνταν μετά τη σπορά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

2.8.7.2 Το σύστημα αισθητήρα Diviner 2000

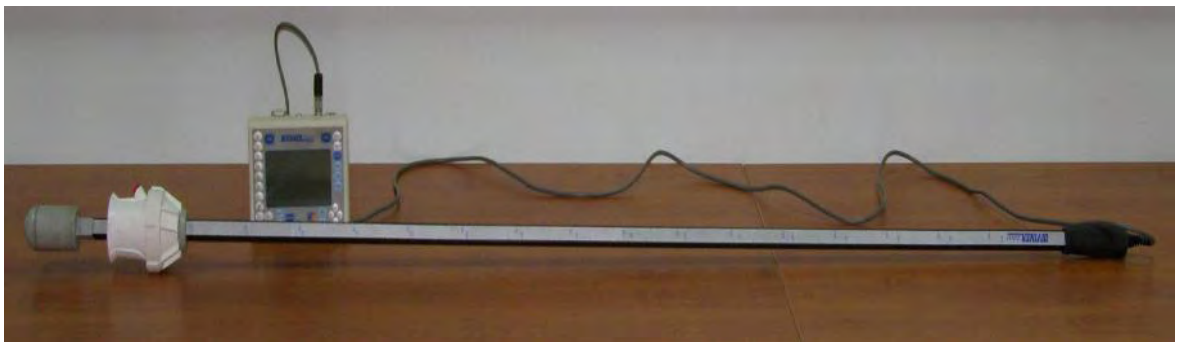
Για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, χρησιμοποιήθηκε το φορητό σύστημα Diviner 2000, της εταιρείας Sentek Pty Ltd, που εδρεύει στην Αυστραλία. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν πριν από κάθε άρδευση και 24 ώρες μετά από το τέλος της κάθε άρδευσης. Μετρήσεις λαμβάνονταν σε βάθος από 0,1 έως 1,3 m, ανά διαστήματα του 0,1 m. Οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν τρεις φορές, σε κάθε αγωγό πρόσβασης, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η εγκυρότητα των μετρήσεων. Η εξίσωση βαθμονόμησης του αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή.

Το φορητό σύστημα Diviner 2000 αποτελείται, κυρίως, από ένα αισθητήρα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και από μια μονάδα ελέγχου και καταγραφής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.10 και στην Εικόνα 2.25. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τον αισθητήρα για τη μέτρηση της υγρασίας, είναι η μέθοδος της χωρητικότητας ή Capacitance.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος στην άκρη μιας βαθμονομημένης ράβδου, μήκους 1,6 m. Ο αισθητήρας μετρά την υγρασία του εδάφους ανά διαστήματα βάθους 0,1 m, με τον συγκεκριμένο να μπορεί να μετρήσει σε 16 επίπεδα βάθους. Η ράβδος με τον αισθητήρα συνδέεται μέσω καλωδίου με τη μονάδα ελέγχου και καταγραφής των μετρήσεων (Sentek Pty Ltd, 2009).



Σχήμα 2.10: Διάταξη του συστήματος Diviner 2000 για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους (Sentek Pty Ltd, 2009).



Εικόνα 2.25: Το σύστημα Diviner 2000.

Η διαδικασία μέτρησης της εδαφικής υγρασίας είναι απλή και περιλαμβάνει τα εξής βήματα, σύμφωνα με την εταιρεία Sentek Pty Ltd (2009):

- Τοποθέτηση του αισθητήρα και κατόπιν της βάσης στήριξης της ράβδου στο υπέργειο μέρος του αγωγού πρόσβασης.
- Παραμετροποίηση της μονάδας ελέγχου και έναρξη της διαδικασίας της μέτρησης.
- Σάρωση του εδάφους, η οποία πραγματοποιείται εισάγοντας (με σχετικά σταθερή ταχύτητα) τον αισθητήρα μέχρι το επιθυμητό βάθος μέτρησης και κατόπιν εξάγοντάς τον (επίσης με σχετικά σταθερή ταχύτητα). Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, δεν χρειάζεται οποιαδήποτε μορφής παύση κατά τη διάρκεια της μέτρησης, πράγμα που κάνει ιδιαίτερα εύκολο το χειρισμό.

Το σύστημα Diviner 2000 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και αναλυτικότερα στις εξής, σύμφωνα με την εταιρεία Sentek Pty Ltd (2009):

- Υπολογισμός της ημερήσιας κατανάλωσης νερού από την καλλιέργεια.
- Βάθος και κατανομή του ριζοστρώματος.
- Βάθος και κατανομή του μετώπου διαβροχής μετά από άρδευση ή βροχόπτωση.
- Αλλαγές στην υφή και δομή του εδάφους.
- Υπολογισμός της επόμενης άρδευσης.

2.8.7.3 Η αρχή λειτουργίας του αισθητήρα του συστήματος Diviner 2000

Ο αισθητήρας του συστήματος Diviner 2000 λειτουργεί σε υψηλή συχνότητα, μεγαλύτερη των 100 MHz (Sentek Pty Ltd, 2009). Η κεφαλή του αισθητήρα, διαμέτρου 51 mm, αποτελείται κυρίως από ένα κύκλωμα ταλαντωτή, πηνίου – πυκνωτή, ενώ η συχνότητα συντονισμού προσδιορίζεται από ένα κυκλικό ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από τον ταλαντωτή, περνά μέσα από τον αγωγό πρόσβασης στο έδαφος και στη συνέχεια ξαναγυρίζει στο σώμα του αισθητήρα, μέσω μιας τεχνικής που χρησιμοποιεί το φαινόμενο των περιθωριακών πεδίων (fringing effect) των πυκνωτών. Οι αλλαγές στη χωρητικότητα του εδάφους, λόγω των αλλαγών της διηλεκτρικής σταθεράς του, συσχετίζονται εύκολα με το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους, αφού ο ταλαντωτής, ο αγωγός πρόσβασης, ο αέρας ανάμεσα στον αισθητήρα και στον αγωγό και το έδαφος, συνδέονται άμεσα .

Ο αισθητήρας έχει την ικανότητα να μετρά το ποσοστό της υγρασίας σε μια περιοχή ακτίνας 5-10 cm, γύρω από το εξωτερικό τοίχωμα του αγωγού πρόσβασης, και ύψους 10 cm (Sentek Pty Ltd, 2009).

Για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα, απαιτούνται μετρήσεις της συχνότητας στον αέρα και στο νερό. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις συχνότητας του αισθητήρα μέσα στο έδαφος συγκρίνονται με τις μετρήσεις στον αέρα και στο νερό και ομαλοποιούνται μέσω της Εξίσωσης 2.3 (Sentek Pty Ltd, 2009):

$$SF = \frac{F_A - F_s}{F_A - F_w} \quad [2.3]$$

όπου:

SF είναι η ομαλοποιημένη μέτρηση της συχνότητας,

F_A είναι η μέτρηση της συχνότητας στον αέρα,

F_S είναι η μέτρηση της συχνότητας στο έδαφος,

F_W είναι η μέτρηση της συχνότητας στο νερό.

Η προκαθορισμένη εξίσωση (Εξίσωση 2.4) βαθμονόμησης του αισθητήρα, για συνδυασμό εδαφών, είναι η παρακάτω:

$$SF = 0,2746(VWC^{0,3314}) + 0 \quad [2.4]$$

όπου SF είναι η ομαλοποιημένη μέτρηση της συχνότητας όπως προκύπτει από την προηγούμενη εξίσωση και VWC είναι η κατά όγκο υγρασία του εδάφους (Sentek Pty Ltd, 2011).

Βάσει πολλών πειραματικών αποτελεσμάτων, κυρίως στην περιοχή της Αυστραλίας, έχει βρεθεί ότι η προκαθορισμένη εξίσωση παρέχει τιμή R^2 ίση με 0,9985 για συνδυασμό εδαφικών τύπων (Sentek Pty Ltd, 2011).

2.8.7.4 Το σύστημα αισθητήρων EnviroSCAN

Για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα EnviroSCAN (πρώην EnviroSMART), της εταιρείας Sentek Pty Ltd, που εδρεύει στην Αυστραλία. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν τρία συστήματα αισθητήρων EnviroSCAN. Τα συστήματα εγκαταστάθηκαν σε ένα πειραματικό τεμάχιο από κάθε μεταχείριση, εκ των BA, ΛΑ και MA. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν ανά 30 min από ψηφιακό καταγραφικό σύστημα, που ήταν μόνιμα συνδεδεμένο με κάθε σύστημα αισθητήρων. Η εξίσωση βαθμονόμησης των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκε ήταν η προκαθορισμένη από τον κατασκευαστή.

Το σύστημα EnviroSCAN αποτελείται, κυρίως, από μια ράβδο πάνω στην οποία εγκαθίστανται τέσσερις αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας, καθώς και το σύστημα διασύνδεσης, μέσω του οποίου λαμβάνονται οι μετρήσεις, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.26.



Εικόνα 2.26: Το σύστημα EnviroSCAN με τέσσερις αισθητήρες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τον αισθητήρα, για τη μέτρηση της υγρασίας, είναι η μέθοδος της χωρητικότητας ή Capacitance. Κάθε αισθητήρας μπορεί και μετακινείται πάνω στη ράβδο έτσι ώστε να τοποθετείται μόνιμα στο επιθυμητό βάθος μέτρησης. Το σύστημα αισθητήρων μπορεί να μετρήσει την υγρασία του εδάφους ανά διαστήματα βάθους 10 cm, με το

συγκεκριμένο να μπορεί να μετρήσει σε τέσσερα επίπεδα βάθους. Το σύστημα διασύνδεσης έχει τη δυνατότητα να μετατρέπει τις μετρήσεις σε διαφορά δυναμικού στην έξοδό του, καθώς και να παράγει το μέσο όρο των μετρήσεων από επιλεγμένους αισθητήρες (Sentek Pty Ltd, 2006).

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν, τοποθετήθηκαν σε κάθε ράβδο με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχούν στα βάθη 0,3 m, 0,5 m, 0,7 m και 0,9 m. Τα συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν παράγαν το μέσο όρο των μετρήσεων από τα βάθη 0,3 m, 0,5 m και 0,7 m, στις εξόδους τους. Το κάθε σύστημα διασύνδεσης συνδέθηκε με εξωτερικό ψηφιακό καταγραφικό σύστημα, μέσω καλωδίου.

Το σύστημα EnviroSCAN μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές και αναλυτικότερα στις εξής, σύμφωνα με την εταιρεία Sentek Pty Ltd (2006):

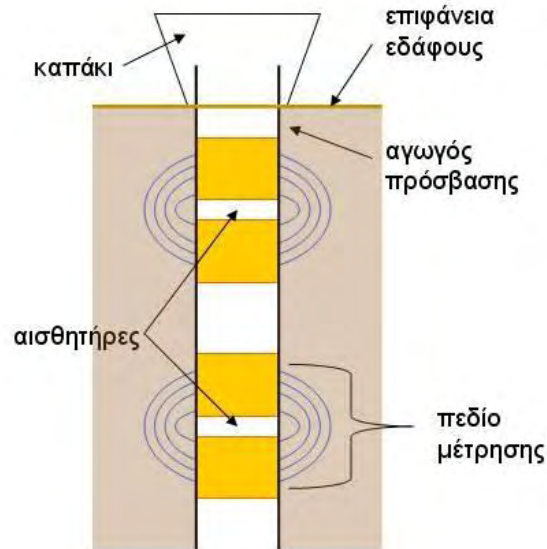
- Συνεχής καταγραφή της υγρασίας σε ορισμένο βάθος, μέχρι 40 m.
- Υπολογισμός της κατανάλωσης του νερού από την καλλιέργεια.
- Βάθος και κατανομή του μετώπου διαβροχής μετά από άρδευση ή βροχόπτωση.
- Υπολογισμός της επόμενης άρδευσης.
- Αυτόματη άρδευση με βάση την εδαφική υγρασία.
- Αυτονομία στη χρήση του συστήματος για 2 εβδομάδες.

2.8.7.5 Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων του συστήματος EnviroSCAN

Κάθε αισθητήρας του συστήματος EnviroSCAN λειτουργεί σε υψηλή συχνότητα, μεγαλύτερη των 100 MHz (Sentek Pty Ltd, 2006).

Ο κάθε αισθητήρας αποτελείται κυρίως από ένα κύκλωμα ταλαντωτή, πηνίου – πυκνωτή, ενώ η συχνότητα συντονισμού προσδιορίζεται από ένα κυκλικό ηλεκτρόδιο. Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται, από τον ταλαντωτή, ανάμεσα στους δυο δακτυλίους του αισθητήρα, περνά μέσα από τον αγωγό πρόσβασης στο έδαφος, μέσω μιας τεχνικής που χρησιμοποιεί το φαινόμενο των περιθωριακών πεδίων (fringing effect) των πυκνωτών. Οι αλλαγές στη χωρητικότητα του εδάφους, λόγω των αλλαγών της διηλεκτρικής σταθεράς του, συσχετίζονται εύκολα με το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους, αφού ο ταλαντωτής, ο αγωγός πρόσβασης, ο αέρας ανάμεσα στον αισθητήρα και στον αγωγό και το έδαφος, συνδέονται άμεσα.

Ο αισθητήρας έχει την ικανότητα να μετρά το ποσοστό της υγρασίας σε μια περιοχή ακτίνας 5-10 cm, γύρω από το εξωτερικό τοίχωμα του αγωγού πρόσβασης, και ύψους 10 cm (Sentek Pty Ltd, 2006), όσο δηλαδή η απόσταση ανάμεσα σε δυο δακτυλίους κάθε αισθητήρα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11: Διάταξη του συστήματος EnviroSCAN για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους.

Για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα, απαιτούνται μετρήσεις της συχνότητας στον αέρα και στο νερό. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις συχνότητας του αισθητήρα μέσα στο έδαφος συγκρίνονται με τις μετρήσεις στον αέρα και στο νερό και ομαλοποιούνται μέσω της Εξίσωσης 2.5 (Sentek Pty Ltd, 2006):

$$y = \frac{F_A - F_s}{F_A - F_w} \quad [2.5]$$

όπου:

y είναι η ομαλοποιημένη μέτρηση της συχνότητας,

F_A είναι η μέτρηση της συχνότητας στον αέρα,

F_s είναι η μέτρηση της συχνότητας στο έδαφος,

F_w είναι η μέτρηση της συχνότητας στο νερό.

Η προκαθορισμένη εξίσωση (Εξίσωση 2.6) βαθμονόμησης του αισθητήρα, για συνδυασμό εδαφών, είναι η παρακάτω:

$$y = 0,1957(VWC^{0,404}) + 0,02852 \quad [2.6]$$

όπου y είναι η ομαλοποιημένη μέτρηση της συχνότητας όπως προκύπτει από την προηγούμενη εξίσωση και VWC είναι η κατά όγκο υγρασία του εδάφους (Sentek Pty Ltd, 2011).

Βάσει πολλών πειραματικών αποτελεσμάτων, κυρίως στην περιοχή της Αυστραλίας, έχει βρεθεί ότι η προκαθορισμένη εξίσωση παρέχει τιμή R^2 ίση με 0,9737 για συνδυασμό εδαφικών τύπων (Sentek Pty Ltd, 2011).

2.8.7.6 Διηλεκτρικές μέθοδοι μέτρησης της υγρασίας του εδάφους - Μέθοδος της χωρητικότητας

Οι διηλεκτρικές μέθοδοι μέτρησης της υγρασίας του εδάφους, βασίζονται στην μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους, η οποία εξαρτάται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Οι μέθοδοι που μετρούν την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους περιλαμβάνουν την ανακλασιμετρία χρόνου ή Time Domain Reflectometry (TDR), την ανακλασιμετρία πλάτους ή Amplitude Domain Reflectometry (ADR), την ανακλασιμετρία συχνότητας ή Frequency Domain Reflectometry (FDR) και την μέθοδο της χωρητικότητας ή Capacitance. Η μέθοδος TDR χρησιμοποιεί υψηλές συχνότητες μεγάλου εύρους, ενώ οι ADR, FDR και Capacitance χρησιμοποιούν μια συχνότητα χαμηλού εύρους (Tarantino et al., 2009).

Διηλεκτρική σταθερά του εδάφους

Η διηλεκτρική σταθερά του αέρα είναι ίση με 1, του νερού είναι περίπου ίση με 80 (στους 20 °C), ενώ στους περισσότερους τύπους εδαφών κυμαίνεται από 3 έως 5. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται σημαντικά η διηλεκτρική σταθερά ενός ακόρεστου εδάφους από την διηλεκτρική σταθερά του νερού. Η μεγάλη διηλεκτρική σταθερά του νερού οφείλεται στην ασυμμετρία του φορτίου στο μόριό του, το οποίο δημιουργεί ένα μόνιμο δίπολο.

Για τον υπολογισμό της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους πρέπει αρχικά να υπολογιστούν οι επιμέρους σταθερές των συστατικών του, όπως περιγράφονται παρακάτω σύμφωνα με τον Tarantino et al. (2009):

α. διηλεκτρική σταθερά του μη δεσμευμένου νερού

Σε έναν πυκνωτή, όταν υπάρχουν φορτία στους οπλισμούς του, δημιουργείται στατικό ηλεκτρικό πεδίο. Λόγω του πεδίου, τα μόρια του νερού (μόνιμα δίπολα) ευθυγραμμίζονται. Έτσι, στους οπλισμούς του πυκνωτή δημιουργούνται πρόσθετα φορτία τα οποία εξουδετερώνουν ένα μέρος του αρχικού φορτίου. Το ηλεκτρικό πεδίο E , που είναι το αποτέλεσμα αυτής της πόλωσης, είναι μικρότερο από το στατικό ηλεκτρικό πεδίο στο κενό E_0 κατά έναν παράγοντα ϵ_r , ο οποίος αναφέρεται ως σχετική διηλεκτρική σταθερά ($E=E_0/\epsilon_r$). Όσο μεγαλύτερη η πόλωση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διηλεκτρική σταθερά.

Όταν ένα αρμονικό πεδίο στο χρόνο διαδίδεται σαν κύμα μέσα από κάποιο υλικό, τα δίπολα του υλικού ευθυγραμμίζονται με το πεδίο, κάνοντας ταλάντωση. Στη συνέχεια, το κύμα πόλωσης που δημιουργείται, διαδίδεται μέσα από το υλικό υπερέχοντας του αρχικού πεδίου. Αυτή η ευθυγράμμιση είναι το πραγματικό μέρος της σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_r'). Καθώς η συχνότητα αυξάνεται, τα μόρια που έχουν ευθυγραμμιστεί από το εναλλασσόμενο πεδίο, δεν μπορούν πλέον να συντονιστούν με την ταχύτητα εναλλαγής του πεδίου (διπολική

αποκατάσταση). Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η ένταση της πόλωσης και αυξάνεται η καθυστέρηση ανάμεσα στο εφαρμοζόμενο πεδίο και στο πολωμένο πεδίο. Αυτή η αλλαγή φάσης αποτελεί το μιγαδικό μέρος της σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς (ϵ_r'').

β. διηλεκτρική σταθερά υδατικού διαλύματος

Το νερό στο έδαφος είναι σπάνια καθαρό και συνήθως περιέχει φορείς φορτίων, όπως τα ιόντα. Η ιοντική αγωγιμότητα προκαλεί απώλεια της ενέργειας σε συνδυασμό με την απώλεια ενέργειας από τη διπολική αποκατάσταση. Αυτό περιγράφεται επαρκώς από την ισοδύναμη διηλεκτρική σταθερά η οποία δίνεται από την Εξίσωση 2.7:

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r'(N, T) - j\epsilon_r''(N, T) - j\frac{\sigma_{dc}(N, T)}{2\pi f\epsilon_0} \quad [2.7]$$

όπου ϵ_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά σε ελεύθερο χώρο, σ_{dc} η άμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα του ρεύματος, ϵ_r' και ϵ_r'' το πραγματικό και μιγαδικό μέρος της σχετικής αγωγιμότητας, ενώ f είναι η συχνότητα, T η θερμοκρασία και N η κανονικότητα του διαλύματος. Το μιγαδικό μέρος της διηλεκτρικής σταθεράς τείνει στο μηδέν όσο αυξάνεται η συχνότητα.

γ. διηλεκτρική σταθερά του δεσμευμένου νερού

Τα μόρια του νερού που είναι δεσμευμένα σε στερεές επιφάνειες υπόκεινται σε επιφανειακές τάσεις που εμποδίζουν τον αναπροσανατολισμό, όταν εφαρμοστεί σε αυτά ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Έτσι, η διηλεκτρική σταθερά του δεσμευμένου νερού, σε υψηλές συχνότητες, θεωρείται πως είναι ίση με τη διηλεκτρική σταθερά του ελεύθερου νερού (Friedman, 1998).

δ. διηλεκτρική σταθερά των στερεών και του αέρα

Η διηλεκτρική σταθερά του αέρα είναι ίση με την διηλεκτρική σταθερά σε ελεύθερο χώρο (αέρα), δηλαδή ίση με 1. Η διηλεκτρική σταθερά των στερεών είναι πραγματική και ανεξάρτητη της συχνότητας και κυμαίνεται από 4,5 έως 10 (Robinson & Friedman, 2003).

ε. διηλεκτρική σταθερά του εδάφους

Η σύνθετη διηλεκτρική σταθερά ενός ετερογενούς μέσου εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά, καθώς και τον όγκο, το σχήμα και τη διάταξη, των επιμέρους συστατικών του. Μια κοινή προσέγγιση της εκτίμησης της διηλεκτρικής σταθεράς ενός μίγματος, ϵ_m^* , βασίζεται στην εξίσωση του Lichteneker (1926), η οποία μπορεί να εκφραστεί για ένα έδαφος τεσσάρων φάσεων με την Εξίσωση 2.8 (Heimovaara et al., 1994):

$$[\varepsilon_m^*(f)]^a = V_s \varepsilon_s^{*a} + V_{fw} [\varepsilon_{fw}^*(f)]^a + V_{bw} [\varepsilon_{bw}^*(f)]^a + V_a \varepsilon_a^{*a} \quad [2.8]$$

όπου f είναι η συχνότητα, V και ε_m^* είναι τα κλάσματα όγκου και η ισοδύναμη διηλεκτρική σταθερά για κάθε συστατικό αντίστοιχα, ενώ οι δείκτες s , fw , bw και a αναφέρονται στα στερεά του εδάφους, το ελεύθερο νερό, το δεσμευμένο νερό και τον αέρα αντίστοιχα. Ο εκθέτης a είναι μια παράμετρος που σχετίζεται με την δομή του εδάφους.

Μέθοδος της χωρητικότητας ή Capacitance method

Η μέθοδος της χωρητικότητας μπορεί να εξηγηθεί με μη εμπειρικές εξισώσεις, με βάση την θεωρία ηλεκτρικών κυκλωμάτων (Dean et al., 1994; Robinson et al., 1998), που περιγράφεται παρακάτω:

Η χωρητικότητα ενός ζεύγους ηλεκτροδίων, ισούται με το γινόμενο της διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού που περιβάλλει τα ηλεκτρόδια και της γεωμετρικής τους διαμόρφωσης (Εξίσωση 2.9):

$$C = g \varepsilon_r \varepsilon_0 \quad [2.9]$$

όπου:

- C είναι η χωρητικότητα σε Farad (F),
- ε_r είναι η σχετική διηλεκτρική σταθερά του υλικού,
- g είναι η γεωμετρική σταθερά του ηλεκτρικού πεδίου,
- ε_0 είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού (8,854 pF/m).

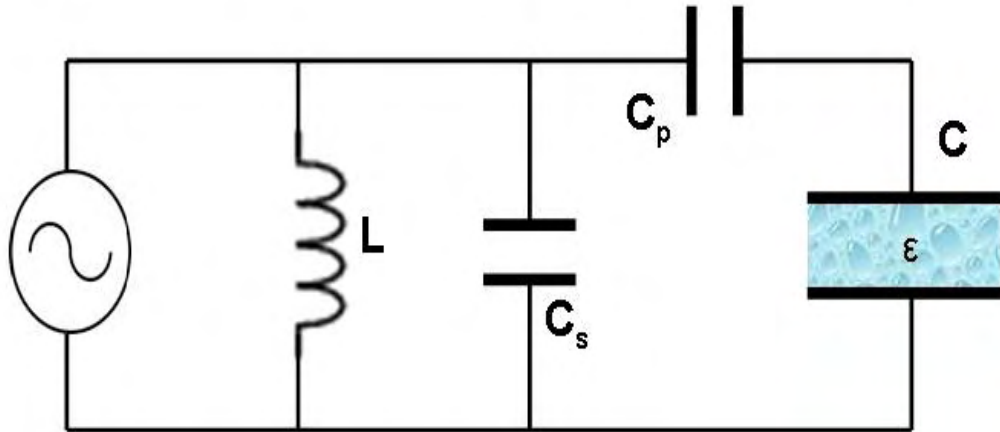
Η χωρητικότητα μπορεί να καθοριστεί από τη μέτρηση της συχνότητας συντονισμού σε ένα κύκλωμα ταλάντωσης με τη βοήθεια της Εξίσωσης 2.10:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_i}} \quad [2.10]$$

όπου:

- F είναι η συχνότητα συντονισμού σε Hertz (Hz),
- L είναι η ολική αυτεπαγωγή του κυκλώματος σε Henry (H),
- C_i είναι η ολική χωρητικότητα του κυκλώματος (F).

Θεωρείται ότι το κύκλωμα του ταλαντωτή LC, που χρησιμοποιείται στους αισθητήρες, μπορεί να αντιπροσωπευθεί με το ηλεκτρικό κύκλωμα που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.12.



Σχήμα 2.12: Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα των αισθητήρων.

Στο σχήμα φαίνεται ότι η ολική χωρητικότητα του κυκλώματος αποτελείται από τρία συστατικά, τα οποία λειτουργούν παράλληλα και σε σειρά, όπως περιγράφεται από την Εξίσωση 2.11:

$$C_t = C_s + \frac{C_p C}{C_p + C} \quad [2.11]$$

όπου C_t είναι η ολική χωρητικότητα του κυκλώματος, C είναι η χωρητικότητα του μέσου, C_p είναι η χωρητικότητα του πλαστικού αγωγού γύρω από τον αισθητήρα (αγωγός πρόσβασης) και C_s είναι η χωρητικότητα των διαχεόμενων ηλεκτρικών πεδίων.

Αντικαθιστώντας την ολική χωρητικότητα του κυκλώματος στην εξίσωση της συχνότητας, προκύπτει η Εξίσωση 2.12:

$$F = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \left(C_s + \frac{C_p C}{C_p + C} \right)}} \quad [2.12]$$

όπου:

F είναι η συχνότητα συντονισμού σε Hertz (Hz),

L είναι η ολική αυτεπαγωγή του κυκλώματος σε Henry (H),

C_s είναι η χωρητικότητα των διαχεόμενων ηλεκτρικών πεδίων (F),

C είναι η χωρητικότητα του μέσου (F),

C_p είναι η χωρητικότητα του πλαστικού αγωγού γύρω από τον αισθητήρα (F).

Η παραπάνω εξίσωση είναι έγκυρη όταν το μέσο συμπεριφέρεται σαν διηλεκτρικό χωρίς απώλειες. Στην πραγματικότητα, όμως, δημιουργούνται απώλειες από την χαλάρωση και την ιοντική αγωγιμότητα, οπότε το μέσο συμπεριφέρεται σαν διηλεκτρικό με απώλειες. Τότε, η

σχετική διηλεκτρική σταθερά του μέσου αντιπροσωπεύεται από μια ισοδύναμη διηλεκτρική σταθερά (ϵ_r^*), η οποία αποτελείται από ένα πραγματικό (ϵ_r') και ένα μιγαδικό (ϵ_r'') μέρος (Εξίσωση 2.13):

$$\epsilon_r^* = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad [2.13]$$

όπου το j^2 ισούται με -1.

Ο όρος ϵ_r'' ισούται με το άθροισμα ενός όρου αγωγιμότητας και ενός όρου χαλάρωσης (Εξίσωση 2.14):

$$\epsilon_r'' = \frac{\sigma}{\omega\epsilon_0} + \epsilon_{r,rel}'' \quad [2.14]$$

όπου σ είναι η ιοντική αγωγιμότητα (S/m), ω είναι η γωνιακή συχνότητα ($2\pi F$) και $\epsilon_{r,rel}''$ είναι οι απώλειες λόγω χαλάρωσης.

Η χωρητικότητα του μέσου C είναι επίσης μια πολύπλοκη ποσότητα (Εξίσωση 2.15):

$$C^* = C' - j\left(\frac{g_m\sigma}{\omega} + g_m\epsilon_{r,rel}''\epsilon_0\right) \quad [2.15]$$

όπου C^* είναι η σύνθετη χωρητικότητα του μέσου και C' είναι το πραγματικό μέρος της χωρητικότητας του μέσου (C).

Για λόγους ευκολίας, η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να εκφραστεί με την Εξίσωση 2.16:

$$j\omega C^* = j\omega C + G \quad [2.16]$$

όπου $G = g_m\sigma + g_m\omega\epsilon_{r,rel}''\epsilon_0$.

Για να περιγραφεί η συμπεριφορά του ταλαντωτή σε διηλεκτρικά με απώλειες, πρέπει να υπολογιστεί η εισδοχή (Y) του κυκλώματος (Ohm^{-1}), όπως φαίνεται στην Εξίσωση 2.17 που περιγράφει το κύκλωμα:

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{j\omega L} + j\omega C_s + \frac{j\omega C_p(j\omega C + G)}{j\omega C_p + j\omega C + G} \quad [2.17]$$

όπου Z είναι η εμπέδηση του κυκλώματος (Ohm).

Διαχωρίζοντας το πραγματικό με το μιγαδικό μέρος, δημιουργείται η Εξίσωση 2.18:

$$Y = \frac{\left[-\omega^3 LC_p^2 G + j(\omega^2 C_A^2 + G^2 - \omega^4 C_s LC_A^2 - \omega^2 C_s LG^2 - \omega^4 LC_p CC_A - \omega^2 LC_p G^2)\right]}{\omega L(-\omega^2 C_A^2 - G^2)} \quad [2.18]$$

όπου $C_A = (C_p + C)$.

Στη συχνότητα συντονισμού, το ρεύμα βρίσκεται σε φάση με την τάση. Τότε, η εισδοχή του κυκλώματος είναι μια πραγματική ποσότητα, δηλαδή το μιγαδικό μέρος ισούται με μηδέν (Εξίσωση 2.19):

$$\omega^2 C_A^2 + G^2 - \omega^4 C_s L C_A^2 - \omega^2 C_s L G^2 - \omega^4 L C_p C C_A - \omega^2 L C_p G^2 = 0 \quad [2.19]$$

Η παραπάνω εξίσωση, μπορεί να επιλυθεί ως προς τη γωνιακή ταχύτητα είτε ως προς την χωρητικότητα του μέσου, χρησιμοποιώντας τον τύπο εύρεσης των ριζών δευτεροβάθμιας εξίσωσης. Για να επιλυθεί η εξίσωση ως προς την γωνιακή ταχύτητα (ω) θα πρέπει να υπολογιστεί η απώλεια ενέργειας (G) απευθείας και όχι να υπολογιστεί μέσω του όρου $G = g_m \sigma + g_m \omega \varepsilon''_{r,rel} \varepsilon_0$, διότι η γωνιακή ταχύτητα δεν είναι γνωστή. Αντίθετα, για να επιλυθεί η εξίσωση ως προς την χωρητικότητα του μέσου (C) θα πρέπει να μην αμελήσουμε ότι ο όρος C περιέχεται στο C_A ($C_A = C_p + C$).

Η επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ως προς τη γωνιακή ταχύτητα δίνεται με την Εξίσωση 2.20:

$$\omega = \sqrt{\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}} \quad [2.20]$$

όπου:

$$a = -C_s L C_p^2 - 2C_s L C_p C - C_s L C^2 - L C_p^2 C - L C_p C^2$$

$$b = C_p^2 + 2C_p C + C^2 - C_s L G^2 - L C_p G^2$$

$$c = G^2$$

Το σωστό πρόσημο μπροστά από την ρίζα της διακρίνουσας είναι πάντα το μείον.

Η επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ως προς τη συχνότητα του μέσου, δίνεται με την Εξίσωση 2.21:

$$C = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad [2.21]$$

όπου:

$$a = \omega^2 - \omega^4 C_s L - \omega^4 L C_p$$

$$b = 2\omega^2 C_p - 2\omega^4 C_s L C_p - \omega^4 L C_p^2$$

$$c = \omega^2 C_p^2 + G^2 - \omega^4 C_s L C_p^2 - \omega^2 C_s L G^2 - \omega^2 L C_p G^2$$

Το σωστό πρόσημο μπροστά από την ρίζα της διακρίνουσας είναι το μείον, αν οι διηλεκτρικές απώλειες G είναι χαμηλές. Παρόλα αυτά, μπορεί το πρόσημο να είναι θετικό σε περίπτωση που το C είναι θετικό (Kelleners et al., 2004).

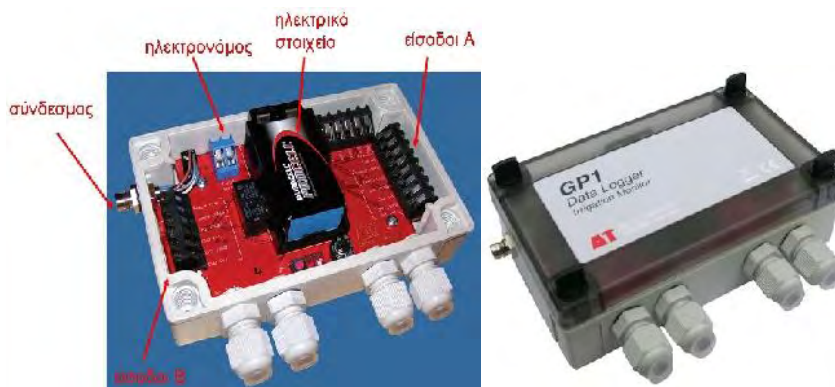
2.8.7.7 Το σύστημα ψηφιακής καταγραφής και ελέγχου

Για την καταγραφή των δεδομένων από τους αισθητήρες EnviroSCAN, στις μεταχειρίσεις BA, ΛΑ και MA, χρησιμοποιήθηκαν αυτόματα συστήματα καταγραφής ή data loggers. Κάθε

αισθητήρας EnviroSCAN ήταν συνδεδεμένος, μέσω καλωδίου, με ένα καταγραφικό σύστημα GP1 (Εικόνα 2.27), της εταιρείας Delta-T Devices Ltd, που εδρεύει στο Ηνωμένο Βασίλειο. Οι μετρήσεις υγρασίας από τους αισθητήρες, λαμβάνονταν ανά 30 min και αποθηκεύονταν στην μνήμη του καταγραφικού συστήματος.

Το καταγραφικό σύστημα ενεργοποιούσε και απενεργοποιούσε αυτόματα την άρδευση στα πειραματικά τεμάχια βασιζόμενο στην επί τις εκατό κατά όγκο (% κ.ο.) υγρασία του εδάφους. Ειδικότερα, ανά 30 min γινόταν προσδιορισμός της % κ.ο. υγρασίας του εδάφους μέσω των αισθητήρων EnviroSCAN και η μέτρηση καταγραφόταν στο καταγραφικό GP1. Το καταγραφικό, έλεγχε αν ικανοποιούνταν οι συνθήκες που είχαν οριστεί και στη συνέχεια ενεργοποιούσε ή απενεργοποιούσε τις ηλεκτροβαλβίδες, έτσι ώστε να ξεκινήσει ή να διακοπεί η άρδευση στα αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια.

Οι συνθήκες ελέγχου που ορίστηκαν στο καταγραφικό, περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 2.27: Το ψηφιακό σύστημα καταγραφής GP1.

Το καταγραφικό αποτελείται εξωτερικά από ένα αδιάβροχο πλαστικό κάλυμμα, βαθμού προστασίας IP67, ενώ εσωτερικά, αποτελείται από το τυπωμένο κύκλωμα που περιλαμβάνει το ολοκληρωμένο, έναν ηλεκτρονόμο, ένα ηλεκτρικό στοιχείο 9V, δυο αναλογικές εισόδους και το σύνδεσμο, για συνδεσμολογία με άλλα καταγραφικά ή με συνεχή παροχή ηλεκτρικής τάσης.

Οι αναλογικές εισόδους του καταγραφικού δέχονται σήματα από 0 έως 2,5 V ενώ έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τάση στους αισθητήρες με τους οποίους είναι συνδεδεμένες. Επιπρόσθετα, το καταγραφικό έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει μέχρι 600000 μετρήσεις, με διάστημα μετρήσεων από 1 sec έως και 24 ώρες, καθώς και τη δυνατότητα σύνδεσης με σύστημα τηλεμετρίας. Η εξαγωγή των δεδομένων από το καταγραφικό καθώς και η ρύθμιση των λειτουργιών του, γίνονται μέσω του συνοδευτικού λογισμικού DeltaLINK-PC, που παρέχεται από τον κατασκευαστή.

Το καταγραφικό GP1 μπορεί να εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες:

- Έλεγχο μιας ηλεκτροβαλβίδας (άνοιγμα-κλείσιμο).
- Άρδευση συνεχή ή διακοπτόμενη ανά επιθυμητό χρονικό διάστημα.
- Έλεγχο άρδευσης με ικανοποίηση πολλαπλών συνθηκών ελέγχου.
- Αυτόματη άρδευση με βάση την εδαφική υγρασία.
- Αυτονομία στη χρήση του συστήματος
- Τηλεμετρικός έλεγχος του καταγραφικού και των δεδομένων.

2.8.8 Κλιματικά δεδομένα

Κατά την διάρκεια των τριών καλλιεργητικών περιόδων των ετών 2009-2011, τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονταν και καταγράφονταν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής (Εικόνα 2.28).

Ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο Βελεστίνο, σε απόσταση περίπου 50 m από το μέσο του πειραματικού αγρού. Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονταν και καταγράφονταν ανά 12 min. Ειδικότερα, καταγράφονταν η θερμοκρασία αέρος ($^{\circ}\text{C}$), η σχετική υγρασία αέρος (%), η βροχόπτωση (mm), η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους (m/s) και τέλος η ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2).



Εικόνα 2.28: Ο αυτόματος μετεωρολογικός σταθμός του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής.

Ο μετεωρολογικός σταθμός ήταν ο MetosCompact, της εταιρείας Pessl Instruments GmbH, που εδρεύει στην Αυστρία. Ο μετεωρολογικός σταθμός αποτελείται από το κεντρικό

τμήμα, στο οποίο βρίσκεται το καταγραφικό σύστημα και η κεντρική πλακέτα ελέγχου, από τους αισθητήρες, από το φωτοβολταϊκό σύστημα και από το σύστημα τηλεμετρίας.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο το οποίο παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργήσει ο μετεωρολογικός σταθμός και από ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο το οποίο παράγει την απαιτούμενη ενέργεια για να λειτουργήσει το σύστημα τηλεμετρίας.

Το σύστημα τηλεμετρίας αποτελείται από ένα διαμορφωτή-αποδιαμορφωτή ή modem (modulator-demodulator), το οποίο λειτουργεί ως εξυπηρετητής GSM. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα οποιοσδήποτε ηλεκτρονικός υπολογιστής που είναι εξοπλισμένος με modem (ψηφιακό ή αναλογικό) και έχει πρόσβαση σε γραμμή τηλεφωνίας (επίγεια ή κυβελωτή) να συνδεθεί στο σταθμό και να εκτελέσει διάφορες εργασίες, όπως να λάβει (download) τα δεδομένα και να ελέγξει την κατάσταση λειτουργίας του σταθμού.

Προϋπόθεση για τη διασύνδεση του μετεωρολογικού σταθμού με οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω τηλεμετρίας, είναι η ύπαρξη του κατάλληλου λογισμικού. Το λογισμικό αυτό ονομάζεται MetLink και το παρέχει η κατασκευάστρια εταιρεία του σταθμού. Το MetLink έχει τη δυνατότητα να συνδέεται μέσω τηλεμετρίας στον μετεωρολογικό σταθμό, να λαμβάνει τα δεδομένα και να τα αποθηκεύει στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του χρήστη, σε αρχείο τύπου βάσης δεδομένων. Έτσι, κάθε φορά που το MetLink συνδέεται με τον μετεωρολογικό σταθμό δεν χρειάζεται να αντλεί όλα τα δεδομένα από την αρχή, αλλά μόνο όσα λείπουν από τη βάση δεδομένων, δηλαδή τα μεταγενέστερα του σημείου όπου είχε σταματήσει η προηγούμενη λήψη.

Το λογισμικό MetLink, εκτός από τις παραπάνω λειτουργίες, παρέχει και τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής καλλιέργειας αναφοράς. Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της τροποποιημένης συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith, όπως αυτή περιγράφεται στο Irrigation and drainage paper 56 του Food and Agricultural Organization (Allen et al., 1998).

2.8.9 Αποδοτικότητα χρήσης νερού

Το πόσο αποδοτική είναι μια άρδευση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως από την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε από την καλλιέργεια, την ποσότητα του αρδευτικού νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια και την ομοιομορφία της άρδευσης. Αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το κόστος της άρδευσης, το σχεδιασμό της και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού ή αλλιώς WUE (water use efficiency)

αποτελεί την πιο διαδεδομένη παράμετρο βάσει της οποίας μπορεί να αποδοθεί η αποτελεσματικότητα της άρδευσης συναρτήσει της παραγωγής της καλλιέργειας.

Ο Viets (1962) όρισε την αποδοτικότητα χρήσης νερού σύμφωνα με την Εξίσωση 2.22:

$$WUE = \frac{Y_g}{ET} \quad [2.22]$$

όπου:

WUE είναι η αποδοτικότητα χρήσης νερού (kg/m^3),

Y_g είναι η οικονομική παραγωγή (g/m^2),

ET είναι το συνολικό νερό που χρησιμοποιήθηκε από την καλλιέργεια (mm).

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού εκφράζεται κυρίως από την οικονομική παραγωγή αλλά ιστορικά έχει επικρατήσει να εκφράζεται ως η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα (Bos, 1979; Howell (2001).

Στην παρούσα έρευνα, για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας χρήσης νερού χρησιμοποιήθηκε η παραπάνω εξίσωση.

2.9 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα δεδομένα των μετρήσεων αναλύθηκαν στατιστικά ως προς τη διακύμανσή τους, με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος Minitab[®] Statistical Software v.16 (Minitab Inc., 2010). Η στατιστική ανάλυση έγινε με τη χρήση Γενικού Γραμμικού μοντέλου – ANOVA RCBD. Για τις συγκρίσεις των μεταχειρίσεων κατά ζεύγη, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Tukey (1994). Το επίπεδο σημαντικότητας σε όλες τις αναλύσεις επιλέχθηκε ίσο με 5% ($\alpha=0,05$).

2.9.1 Στατιστική ανάλυση στο σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων

Έστω ότι έχουμε a μεταχειρίσεις προς σύγκριση και b ομάδες (Σχήμα 2.13).

Ομάδα 1	Ομάδα 2	...	Ομάδα b
Y_{11}	Y_{12}	\dots	Y_{1b}
Y_{21}	Y_{22}		Y_{2b}
Y_{31}	Y_{32}		Y_{3b}
•	•		•
•	•		•
•	•		•
Y_{a1}	Y_{a2}		Y_{ab}

Σχήμα 2.13: Το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων.

Το στατιστικό μοντέλο για το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (RCBD) μπορεί να γραφτεί με πολλούς τρόπους. Ο παραδοσιακός τρόπος είναι με το μοντέλο των επιδράσεων, σύμφωνα με το γραμμικό μοντέλο της Εξίσωσης 2.23 (Montgomery, 2012):

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \end{cases} \quad [2.23]$$

όπου:

μ είναι ένας συνολικός μέσος,

τ_i είναι η επίδραση της μεταχείρισης i ,

β_j είναι η επίδραση της ομάδας j ,

e_{ij} είναι ο όρος των συνηθών τυχαίων σφαλμάτων, $NID(0, \sigma^2)$.

Αρχικά, θα θεωρήσουμε τις μεταχειρίσεις και τις ομάδες, σαν σταθερούς παράγοντες. Θεωρούμε τις επιδράσεις των μεταχειρίσεων και των ομάδων ως αποκλίσεις από τον συνολικό μέσο, έτσι ώστε:

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad \text{και} \quad \sum_{j=1}^b \beta_j = 0$$

Σε ένα πείραμα, θέλουμε να ελέγξουμε την ισότητα των μέσων των μεταχειρίσεων. Έτσι, οι υποθέσεις που μας ενδιαφέρουν είναι:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \text{τουλάχιστον ένα } \mu_i \neq \mu_j$$

Επειδή ο μέσος της μεταχείρισης i ισούται με

$$\mu_i = (1/b) \sum_{j=1}^b (\mu + \tau_i + \beta_j) = \mu + \tau_i$$

ένας ισοδύναμος τρόπος για να γραφεί η παραπάνω υπόθεση, είναι με όρους των επιδράσεων της μεταχείρισης:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ τουλάχιστον ένα } i$$

Η ανάλυση της διακύμανσης μπορεί εύκολα να επεκταθεί στο σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων σύμφωνα με τον Montgomery (2012).

Έστω ότι y_i είναι το σύνολο των παρατηρήσεων στη μεταχείριση i , y_j είναι το σύνολο των παρατηρήσεων στην ομάδα j , $y_{..}$ είναι το γενικό σύνολο όλων των παρατηρήσεων και $N=ab$ είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων, τότε έχουμε τις μαθηματικές εξισώσεις 2.24, 2.25 και 2.26 (Montgomery, 2012):

$$y_i = \sum_{j=1}^b y_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad [2.24]$$

$$y_j = \sum_{i=1}^a y_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, b \quad [2.25]$$

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij} = \sum_{i=1}^a y_i = \sum_{j=1}^b y_j \quad [2.26]$$

Ομοίως, εάν \bar{y}_i είναι ο μέσος όρος των παρατηρήσεων στη μεταχείριση i , \bar{y}_j είναι ο μέσος όρος των παρατηρήσεων στην ομάδα j , $\bar{y}_{..}$ είναι ο γενικός μέσος όρος όλων των παρατηρήσεων και $N=ab$ είναι ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων, τότε προκύπτει (Εξίσωση 2.27):

$$\bar{y}_i = y_i / b \quad \bar{y}_j = y_j / a \quad \bar{y}_{..} = y_{..} / N \quad [2.27]$$

Μπορούμε να εκφράσουμε το διορθωμένο συνολικό άθροισμα των τετραγώνων, με την Εξίσωση 2.28 (Montgomery, 2012):

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b [(\bar{y}_i - \bar{y}_{..}) + (\bar{y}_j - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}_{..})]^2 \quad [2.28]$$

Επεκτείνοντας το δεξιό σκέλος της παραπάνω εξίσωσης, προκύπτει:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 &= b \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 + a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y}_{..})^2 \\ &+ \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}_{..})^2 \\ &+ 2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})(\bar{y}_j - \bar{y}_{..}) \\ &+ 2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_j - \bar{y}_{..})(y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}_{..}) \\ &+ 2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})(y_{ij} - \bar{y}_i - \bar{y}_j + \bar{y}_{..}) \end{aligned}$$

Μέσω της άλγεβρας αποδεικνύεται πως τα τελευταία τρία προϊόντα, παραπάνω, είναι μηδέν. Έτσι, προκύπτει η θεμελιώδης εξίσωση της ANOVA (Εξίσωση 2.29) για το σχέδιο των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων (Montgomery, 2012):

$$\sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = b \sum_{i=1}^{\alpha} (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \alpha \sum_{j=1}^b (\bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^b (y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..})^2 \quad 2.29]$$

Εκφράζοντας συμβολικά το άθροισμα των τετραγώνων της παραπάνω εξίσωσης, έχουμε:

$$SS_T = SS_{\text{Μεταχειρίσεων}} + SS_{\text{Ομάδων}} + SS_E$$

Επειδή υπάρχουν N παρατηρήσεις, το SS_T έχει N-1 βαθμούς ελευθερίας. Υπάρχουν α μεταχειρίσεις και b ομάδες, οπότε τα $SS_{\text{Μεταχειρίσεων}}$ και $SS_{\text{Ομάδων}}$ έχουν α-1 και b-1 βαθμούς ελευθερίας, αντίστοιχα. Το SS_E έχει [αb-1-(α-1)-(b-1)], δηλαδή (α-1)(b-1) βαθμούς ελευθερίας. Κάθε άθροισμα των τετραγώνων διαιρούμενο με τους βαθμούς ελευθερίας του, είναι ένα μέσο άθροισμα τετραγώνων. Η αναμενόμενη τιμή των μέσων αθροισμάτων των τετραγώνων, εάν οι μεταχειρίσεις και οι ομάδες είναι σταθερές, φαίνεται παρακάτω (Montgomery, 2012):

$$E(MS_{\text{Μεταχειρίσεων}}) = \sigma^2 + \frac{b \sum_{i=1}^{\alpha} \tau_i^2}{\alpha - 1}$$

$$E(MS_{\text{Ομάδων}}) = \sigma^2 + \frac{\alpha \sum_{j=1}^b \beta_j^2}{b - 1}$$

$$E(MS_E) = \sigma^2$$

Επομένως, για να ελέγξουμε την ισότητα των μέσων των μεταχειρίσεων, θα χρησιμοποιούσαμε το κριτήριο ελέγχου

$$F_o = \frac{MS_{\text{Μεταχειρίσεων}}}{MS_E}$$

το οποίο κατανέμεται ως $F_{\alpha-1, (\alpha-1)(b-1)}$ εάν η μηδενική υπόθεση είναι αληθής (Montgomery, 2012).

Έτσι, για επίπεδο σημαντικότητας α%, η απορριπτική περιοχή ελέγχου είναι η ανώτερη ουρά της κατανομής F, ενώ απορρίπτεται η H_o εάν $F_o > F_{\alpha, \alpha-1, (\alpha-1)(b-1)}$ (Montgomery, 2012).

Επίσης, μπορεί να θέλουμε να συγκρίνουμε τους μέσους των ομάδων έτσι ώστε εάν αυτοί δεν διαφέρουν σημαντικά, να μη χρειάζεται να γίνει ομαδοποίηση σε μελλοντικά πειράματα.

Αυτό επιτυγχάνεται εξετάζοντας το λόγο $MS_{\text{Ομάδων}}/MS_E$. Εάν αυτός ο λόγος είναι μεγάλος τότε αυτό σημαίνει πως η ομαδοποίηση έχει μεγάλη επίδραση και η μείωση του θορύβου ήταν σημαντική (Montgomery, 2012).

Η διαδικασία συνήθως συνοψίζεται σε έναν πίνακα ANOVA, όπως σαν σε αυτόν που φαίνεται στον Πίνακα 5.4 (Montgomery, 2012).

Πίνακας 5.4: Ανάλυση της διακύμανσης για ένα σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων.

Πηγή Διακύμανσης	Βαθμοί Ελευθερίας	Άθροισμα Τετραγώνων	Μέσο Άθροισμα Τετραγώνων	F_0
Μεταχειρίσεις	$\alpha - 1$	$SS_{\text{Μεταχειρίσεων}}$	$\frac{SS_{\text{Μεταχειρίσεων}}}{\alpha - 1}$	$\frac{MS_{\text{Μεταχειρίσεων}}}{MS_E}$
Ομάδες	$b - 1$	$SS_{\text{Ομάδων}}$	$\frac{SS_{\text{Ομάδων}}}{b - 1}$	
Σφάλμα	$(\alpha - 1)(b - 1)$	SS_E	$\frac{SS_E}{(\alpha - 1)(b - 1)}$	
Σύνολο	$N - 1$	SS_T		

Οι υπολογισμοί συνήθως γίνονται με κάποιο λογισμικό στατιστικής. Παρόλα αυτά, οι υπολογιστικοί τύποι για τα αθροίσματα των τετραγώνων των στοιχείων της Εξίσωσης 2.29, μπορούν να ληφθούν απευθείας από την ταυτότητα (Montgomery, 2012):

$$y_{ij} - \bar{y}_{..} = (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (\bar{y}_{.j} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.} - \bar{y}_{.j} + \bar{y}_{..})$$

Αυτές οι ποσότητες μπορούν να υπολογιστούν σε ένα λογιστικό πρόγραμμα και κάθε στήλη μπορεί να τετραγωνιστεί και αθροιστεί ώστε να προκύψει το άθροισμα των τετραγώνων. Εναλλακτικά, υπολογιστικοί τύποι μπορούν να εκφραστούν με όρους συνόλων μεταχειρίσεων και ομάδων (Montgomery, 2012), όπως φαίνεται παρακάτω (Εξισώσεις 2.30, 2.31, 2.32, 2.33):

$$SS_T = \sum_{i=1}^{\alpha} \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad [2.30]$$

$$SS_{\text{Μεταχειρίσεων}} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^{\alpha} y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad [2.31]$$

$$SS_{\text{Ομάδων}} = \frac{1}{\alpha} \sum_{j=1}^b y_{.j}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad [2.32]$$

$$SS_E = SS_T - SS_{\text{Μεταχειρίσεων}} - SS_{\text{Ομάδων}} \quad [2.33]$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΡΔΕΥΣΗΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για να αναπτυχθεί σωστά μια καλλιέργεια πρέπει η διαπνοή του νερού από τα στόματα των φύλλων να είναι επαρκής. Το νερό προσλαμβάνεται από τα φυτά μέσω του ριζικού συστήματος, για αυτό και είναι απαραίτητο να υπάρχει πάντα η απαραίτητη ποσότητα του νερού στο ριζόστρωμα. Για να υπάρχει η σωστή ποσότητα του νερού στο ριζόστρωμα είναι απαραίτητο η άρδευση να υπόκειται σε σωστό σχεδιασμό.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η άρδευση γινόταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας σε εννέα από τις μεταχειρίσεις, ενώ στις υπόλοιπες τρεις βάσει της υγρασίας του εδάφους που προσδιοριζόταν από αισθητήρες υγρασίας.

Παρακάτω αναπτύσσεται η μεθοδολογία του προγραμματισμού των αρδεύσεων στη συγκεκριμένη έρευνα, για το κάθε σύστημα ξεχωριστά.

3.2 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ

3.2.1 Ορισμοί και έννοιες της εξατμισοδιαπνοής

Ως εξατμισοδιαπνοή (ET) ορίζεται ο συνδυασμός δυο διαφορετικών διεργασιών που με τη μια το νερό χάνεται από το έδαφος μέσω της εξάτμισης και με την άλλη το νερό χάνεται από την καλλιέργεια μέσω της διαπνοής (Allen et al., 1998).

3.2.1.1 Εξάτμιση

Εξάτμιση είναι η διεργασία με την οποία το νερό μετατρέπεται σε υδρατμούς (ατμοποίηση) και αφαιρείται από την επιφάνεια εξάτμισης. Το νερό εξατμίζεται από πολλές επιφάνειες όπως είναι οι λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος.

Για να αλλάξουν τα μόρια του νερού κατάσταση και να μεταπηδήσουν από την υγρή στην αέρια, χρειάζεται ενέργεια. Η ενέργεια αυτή παρέχεται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και σε λιγότερο βαθμό από την θερμοκρασία του αέρα. Η κινητήρια δύναμη που αφαιρεί τους υδρατμούς από την επιφάνεια εξάτμισης είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης των υδρατμών στην επιφάνεια εξάτμισης και της τάσης της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας. Όσο η εξάτμιση προχωρά, ο περιβάλλον αέρας κορένεται σταδιακά και η διαδικασία επιβραδύνεται. Εάν ο κορεσμένος

αέρας δεν αντικατασταθεί με ξηρότερο αέρα, τότε η διαδικασία θα σταματήσει. Η αντικατάσταση του κορεσμένου αέρα εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του αέρα (Allen et al., 1998).

Έτσι, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του αέρα, αποτελούν κλιματολογικές παραμέτρους οι οποίες είναι απαραίτητες για την περιγραφή της διεργασίας της εξάτμισης.

Εφόσον η επιφάνεια εξάτμισης είναι η επιφάνεια του εδάφους, ο βαθμός σκίασης που δημιουργείται από την καλλιέργεια καθώς και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού στην επιφάνεια του εδάφους, είναι δυο άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση. Η επιφάνεια του εδάφους εμπλουτίζεται με νερό που προέρχεται από τις συχνές βροχοπτώσεις, την άρδευση και σε ορισμένες περιπτώσεις, από ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες. Όταν το έδαφος μπορεί και αναπληρώνει γρήγορα το νερό, ώστε να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της εξάτμισης, τότε η εξάτμιση του εδάφους προσδιορίζεται μόνο από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Αντίθετα, η μειωμένη διαθεσιμότητα του νερού, στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζει την εξάτμιση του εδάφους αρνητικά. Σε περίπτωση πλήρους απουσίας του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, η εξάτμιση μειώνεται δραστικά έως ότου σταματήσει τελείως σε διάστημα λίγων ημερών (Allen et al., 1998).

3.2.1.2 Διαπνοή

Η διαπνοή συντελείται από την ατμοποίηση του νερού το οποίο περιέχεται στους φυτικούς ιστούς και από την απομάκρυνση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Οι καλλιέργειες χάνουν νερό κυρίως από τα στόματα των φύλλων. Σχεδόν όλο το νερό που λαμβάνει το φυτό από το ριζικό του σύστημα χάνεται μέσω της διαπνοής και μόνο ένα μικρό μέρος μένει εσωτερικά στο φυτό.

Η διαπνοή, όπως και η εξάτμιση, εξαρτάται από την μεταβολή της τάσης των ατμών, από τον άνεμο και από την διαθέσιμη ενέργεια. Έτσι, η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα και η ταχύτητα του αέρα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την περιγραφή της διεργασίας της διαπνοής. Η υγρασία, οι υδραυλικές παράμετροι και η αλατότητα του εδάφους είναι επίσης παράγοντες που επηρεάζουν την διαπνοή. Ο ρυθμός διαπνοής επηρεάζεται επίσης από διάφορα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, περιβαλλοντικούς παράγοντες και καλλιεργητικές πρακτικές. Διαφορετικά είδη φυτών μπορεί να έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής. Για αυτό το λόγο, όλοι οι παραπάνω παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν αναφερόμαστε στη διεργασία της διαπνοής (Allen et al., 1998).

3.2.1.3 Εξατμισοδιαπνοή (ET)

Η εξάτμιση και η διαπνοή είναι διεργασίες που συμβαίνουν ταυτόχρονα και δεν υπάρχει εύκολος τρόπος διαχωρισμού τους. Εκτός από τη διαθεσιμότητα του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, η εξάτμιση από ένα καλλιεργημένο έδαφος προσδιορίζεται κυρίως από το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Το ποσοστό αυτό μειώνεται όσο η καλλιέργεια αναπτύσσεται και η σκίαση του εδάφους από τα φυτά μεγαλώνει. Όταν η καλλιέργεια βρίσκεται σε αρχικό στάδιο ανάπτυξης, το νερό χάνεται κυρίως μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους. Όταν τα φυτά έχουν αναπτυχθεί πλήρως, το νερό χάνεται κυρίως μέσω της διαπνοής. Μετά τη σπορά το 100% της εξατμισοδιαπνοής προέρχεται από την εξάτμιση, ενώ όταν η καλλιέργεια έχει αναπτυχθεί πλήρως παραπάνω από το 90% της εξατμισοδιαπνοής προέρχεται από τη διαπνοή (Allen et al., 1998).

Οι κύριες κλιματολογικές παράμετροι που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή είναι η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου. Διάφορες διαδικασίες έχουν αναπτυχθεί για να καθορίσουν τη μεταβολή της εξάτμισης από αυτές τις παραμέτρους. Η ισχύς εξάτμισης της ατμόσφαιρας εκφράζεται από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_0) η οποία εκφράζει την εξατμισοδιαπνοή από μια καθορισμένη φυτική επιφάνεια (Allen et al., 1998).

Οι κύριοι παράγοντες της καλλιέργειας που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή είναι ο τύπος της καλλιέργειας, η ποικιλία και το στάδιο ανάπτυξής της. Διαφορές στη διαπνοή και στο ύψος των φυτών, στην αντανάκλαση, στο ποσοστό κάλυψης της επιφάνειας του εδάφους καθώς και στο ριζικό σύστημα ανάμεσα σε καλλιέργειες που βρίσκονται κάτω από τις ίδιες περιβαλλοντικές συνθήκες, έχουν σαν αποτέλεσμα διαφορετικά επίπεδα εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c) κάτω από καθορισμένες συνθήκες, αναφέρεται στην εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας που είναι απαλλαγμένη από ασθένειες και φύεται σε μεγάλες εκτάσεις γης κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες διαχείρισης, περιβάλλοντος και εδαφικής υγρασίας και η οποία, κάτω από αυτές τις συνθήκες, αποδίδει τη βέλτιστη παραγωγή (Allen et al., 1998).

Παράγοντες όπως η διαχείριση και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, μπορούν επίσης να επηρεάσουν την εξατμισοδιαπνοή. Η αλατότητα, η κακή γονιμότητα των εδαφών, η ύπαρξη αδιαπέρατων εδαφικών οριζόντων, οι διάφορες ασθένειες και η κακή διαχείριση του εδάφους, είναι παράγοντες που μειώνουν την εξατμισοδιαπνοή. Η πυκνότητα των φυτών, η κάλυψη του εδάφους και η υγρασία του εδάφους, επίσης επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή (Allen et al., 1998).

Επιπρόσθετα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι πρακτικές διαχείρισης οι οποίες επηρεάζουν τους παράγοντες του κλίματος και της καλλιέργειας. Οι καλλιεργητικές πρακτικές και η μέθοδος άρδευσης, οι οποίες μπορούν να μεταβάλλουν το μικροκλίμα, μπορούν να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ή να επηρεάσουν την υγρασία του εδάφους και την επιφάνεια της καλλιέργειας. Ένας ανεμοφράκτης, για παράδειγμα, μπορεί να μειώσει την ταχύτητα του ανέμου και να μειώσει το ρυθμό της εξατμισοδιαπνοής, όπως επίσης και ένα μελετημένο σύστημα στάγδην άρδευσης (Allen et al., 1998).

Όταν οι συνθήκες του αγρού διαφέρουν από τις καθορισμένες, τότε χρειάζονται διορθωτικοί παράγοντες για να ρυθμίσουν την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και η εξατμισοδιαπνοή αυτή εκφράζεται ως πραγματική εξατμισοδιαπνοή (ET_a) (Allen et al., 1998).

Ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εκφράζεται κυρίως σε mm ανά μονάδα χρόνου και εκφράζει την ποσότητα του νερού που χάθηκε από μια καλλιεργημένη επιφάνεια, στη μονάδα του χρόνου. Ο χρόνος μπορεί να αντιστοιχεί σε ώρα, ημέρα, δεκαήμερο, μήνα ή ακόμα και καλλιεργητική περίοδο. Έτσι, ρυθμός εξατμισοδιαπνοής ίσος με 1 mm ανά ημέρα, αντιστοιχεί σε όγκο νερού ίσο με 1 m^3 ο οποίος χάνεται από μια επιφάνεια έκτασης 1 στρέμματος σε μια ημέρα ($0,001 \text{ m} \cdot 1000 \text{ m}^2 = 1 \text{ m}^3$). Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής μπορεί επίσης να εκφραστεί και σε μονάδες ενέργειας που απαιτούνται για να εξατμιστεί το νερό. Έτσι, για παράδειγμα, για να εξατμιστεί ποσότητα ίση με 1 kg ή $0,001 \text{ m}^3$ νερού, στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$, απαιτούνται $2,45 \text{ MJ}$ ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι ρυθμός εξατμισοδιαπνοής ίσος με 1 mm/d ισούται με ενέργεια ίση με $2,45 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (Allen et al., 1998).

3.2.1.4 Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (ET_o)

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής από μια επιφάνεια αναφοράς, η οποία δεν έχει έλλειψη νερού, ορίζεται ως εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και συμβολίζεται ως ET_o . Η επιφάνεια αναφοράς είναι μια υποθετική επιφάνεια χορτοτάπητα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, το ύψος του χλοοτάπητα θα πρέπει να είναι ίσο με $0,12 \text{ m}$, η σταθερή επιφανειακή αντίσταση ίση με 70 s/m και η λευκαύγεια ίση με $0,23$. Η επιφάνεια αναφοράς συγκρίνεται με μια εκτεταμένη επιφάνεια καλά αρδευόμενου πράσινου χλοοτάπητα, ομοίομορφου ύψους και ολοκληρωμένης σκίασης του εδάφους. Σταθερή επιφανειακή αντίσταση ίση με 70 s/m χαρακτηρίζει μια μετριώς ξηρή επιφάνεια εδάφους λόγω εβδομαδιαίας, περίπου, συχνότητας άρδευσης (Allen et al., 1998).

Η εισαγωγή του όρου της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς έγινε για να μελετηθεί η εξάτμιση στην ατμόσφαιρα ανεξάρτητα από τον τύπο της καλλιέργειας, την ανάπτυξή της, καθώς και τις καλλιεργητικές πρακτικές. Στην επιφάνεια αναφοράς το νερό είναι άφθονο, οπότε οι εδαφικοί παράγοντες δεν επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή. Σχετίζοντας την εξατμισοδιαπνοή με μια

συγκεκριμένη επιφάνεια, δημιουργείται ένα σημείο αναφοράς με το οποίο μπορούν να συγκριθούν άλλες τιμές τις εξατμισοδιαπνοής από άλλες επιφάνειες. Έτσι, αποφεύγεται η ανάγκη να δημιουργηθούν διαφορετικά σημεία αναφοράς για κάθε καλλιέργεια και κάθε στάδιο ανάπτυξής της. Οι τιμές της ET_0 από διαφορετικές περιοχές και εποχές μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους, καθώς συγκρίνονται με την εξατμισοδιαπνοή από την ίδια επιφάνεια αναφοράς (Allen et al., 1998).

Οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν την ET_0 είναι οι κλιματικές παράμετροι. Συμπερασματικά, η ET_0 είναι μια κλιματική παράμετρος και μπορεί να υπολογιστεί από μετεωρολογικά δεδομένα. Η ET_0 εκφράζει την ισχύ εξάτμισης της ατμόσφαιρας σε μια συγκεκριμένη περιοχή και χρονική στιγμή και δεν σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και της καλλιέργειας (Allen et al., 1998).

3.2.1.5 Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c)

Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_c) κάτω από καθορισμένες συνθήκες, αναφέρεται στην εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας που είναι απαλλαγμένη από ασθένειες, φύεται σε μεγάλες εκτάσεις γης κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες διαχείρισης, περιβάλλοντος και εδαφικής υγρασίας και η οποία, κάτω από αυτές τις συνθήκες, αποδίδει τη βέλτιστη παραγωγή (Allen et al., 1998).

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για να εξισορροπηθεί η απώλεια λόγω της εξατμισοδιαπνοής ορίζεται ως ανάγκη της καλλιέργειας σε νερό. Παρόλο που οι τιμές της ανάγκης της καλλιέργειας σε νερό και της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας είναι ίδιες, η πρώτη εκφράζει την ποσότητα του νερού που χρειάζεται να προμηθευτεί η καλλιέργεια ενώ η δεύτερη την ποσότητα του νερού που χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής. Η ανάγκη σε αρδευτικό νερό είναι η διαφορά μεταξύ της ανάγκης της καλλιέργειας σε νερό και της ωφέλιμης βροχόπτωσης, στην οποία υπολογίζεται και επιπλέον ποσότητα νερού η οποία αφορά στην έκπλυση των αλάτων και στις απώλειες λόγω εφαρμογής της μεθόδου άρδευσης (Allen et al., 1998).

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μέσω του φυτικού συντελεστή K_c όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3.1:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad [3.1]$$

όπου K_c είναι ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας, ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας και ET_0 είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Allen et al., 1998).

Διαφορές στην ανατομία των φύλλων, στα χαρακτηριστικά των στομάτων, στις αεροδυναμικές παραμέτρους και στη λευκαύγεια (albedo), συντελούν στην ύπαρξη διαφοράς ανάμεσα στις ET_c και ET_o κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες. Λόγω των διακυμάνσεων στα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, ο φυτικός συντελεστής K_c παίρνει διάφορες τιμές από την σπορά μέχρι τη συγκομιδή.

Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας που διαφέρουν από την καλλιέργεια αναφοράς (χλοοτάπητας) και περιλαμβάνονται στον φυτικό συντελεστή, σύμφωνα με τους Allen et al. (1998), είναι τα εξής :

- «Ύψος της καλλιέργειας. Το ύψος της καλλιέργειας επηρεάζει την αεροδυναμική αντίσταση r_a και την τυρβώδη μεταφορά των υδρατμών από την καλλιέργεια στην ατμόσφαιρα.
- Λευκαύγεια (albedo) της επιφάνειας του εδάφους. Η λευκαύγεια επηρεάζεται από το ποσοστό της φυτοκάλυψης του εδάφους και από την υγρασία του. Η λευκαύγεια επηρεάζει την ακτινοβολία από την επιφάνεια του εδάφους η οποία είναι η κύρια πηγή μεταφοράς ενέργειας κατά την εξάτμιση.
- Αντίσταση της φυτοκάλυψης. Η αντίσταση της καλλιέργειας στην μεταφορά των υδρατμών επηρεάζεται από την φυλλική επιφάνεια (αριθμός στομάτων), την ηλικία των φύλλων και την κατάστασή τους και το βαθμό του ελέγχου των στομάτων. Η αντίσταση της φυτοκάλυψης επηρεάζει την επιφανειακή αντίσταση r_s .
- Εξάτμιση εδάφους.»

Ο φυτικός συντελεστής προβλέπει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Έτσι, αντιπροσωπεύονται συνθήκες όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί στην ανάπτυξη της καλλιέργειας ή στην εξατμισοδιαπνοή λόγω έλλειψης νερού, λόγω της πυκνότητας των φυτών ή λόγω ασθeneιών και προσβολών. Η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας η οποία προβλέπεται μέσω του φυτικού συντελεστή, μπορεί να ρυθμιστεί αν υπάρχουν περιορισμοί, ρυθμίζοντας το συντελεστή K_c για όλους τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και όλα τα είδη περιορισμών που επιδρούν στην ET_c (Allen et al., 1998).

3.2.1.6 Προσαρμοσμένη εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_{adj})

Η προσαρμοσμένη εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας (ET_{adj}) κάτω από μη καθορισμένες συνθήκες, είναι η εξατμισοδιαπνοή μιας καλλιέργειας η οποία αναπτύσσεται υπό συνθήκες περιβάλλοντος και διαχείρισης οι οποίες διαφέρουν από τις καθορισμένες. Η ET_{adj} μπορεί να διαφέρει από την ET_c λόγω της ύπαρξης μη ευνοϊκών συνθηκών όπως η παρουσία ασθeneιών,

ζιζανίων ή εντόμων, αλατότητας και κακής γονιμότητας του εδάφους, έλλειψη νερού ή ύπαρξη λιμνάζοντος νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κακή ανάπτυξη των φυτών και τη χαμηλή πυκνότητά τους και μπορεί να μειώσει το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής χαμηλότερα από την ET_c (Allen et al., 1998).

Η ET_{adj} υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ένα συντελεστή υδατικού περιορισμού K_s ή ρυθμίζοντας το συντελεστή K_c για όλους τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς και όλα τα είδη περιορισμών που επιδρούν στην ET_c .

3.2.2 Μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή δεν είναι εύκολο να μετρηθεί. Για να προσδιοριστεί η εξατμισοδιαπνοή είναι απαραίτητες συγκεκριμένες συσκευές μέτρησης και μετρήσεις ακριβείας διαφόρων φυσικών παραμέτρων. Οι μέθοδοι είναι συχνά δαπανηρές και απαιτούν καλά εκπαιδευμένο προσωπικό. Παρόλο που οι μέθοδοι αυτές δεν είναι κατάλληλες για επαναλαμβανόμενες μετρήσεις, παραμένουν ωστόσο σημαντικές για την αποτίμηση των έμμεσων μεθόδων προσδιορισμού της εξατμισοδιαπνοής (Allen et al., 1998).

3.2.2.1 Ενεργειακό ισοζύγιο και μικροκλιματικές μέθοδοι

Η εξάτμιση του νερού απαιτεί σχετικά μεγάλα ποσά ενέργειας, με τη μορφή ακτινοβολίας. Επομένως, η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής σχετίζεται με ανταλλαγή ενέργειας στην επιφάνεια της καλλιέργειας και περιορίζεται από την διαθέσιμη ποσότητα αυτής της ενέργειας. Λόγω αυτού του περιορισμού, είναι δυνατό να προβλέψουμε το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής εφαρμόζοντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Έτσι, η ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια πρέπει να είναι ίση με την ενέργεια που αντανακλάται από την επιφάνεια για το ίδιο χρονικό διάστημα. Όλες οι ροές της ενέργειας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για να παραχθεί η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου (Allen et al., 1998). Σε μια επιφάνεια εξάτμισης, ισχύει η Εξίσωση 3.2:

$$R_n - G - \lambda ET - H = 0 \quad [3.2]$$

όπου R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία, G είναι η ροή θερμότητας του εδάφους, H είναι η αισθητή θερμότητα και λ , ET είναι η λανθάνουσα ροή θερμότητας. Οι όροι αυτοί μπορούν να έχουν θετικό ή αρνητικό πρόσημο. Θετική R_n σημαίνει ότι η επιφάνεια τροφοδοτείται με ενέργεια, ενώ θετικό G , λET και H , σημαίνει ότι αφαιρείται ενέργεια από την επιφάνεια. Στην παραπάνω εξίσωση μόνο οι κάθετες ροές λαμβάνονται υπόψη, ενώ οι οριζόντιες αγνοούνται. Επομένως, η εξίσωση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε μεγάλες επιφάνειες με ομοιογενή βλάστηση. Επίσης, η εξίσωση αυτή περιορίζεται μόνο σε τέσσερις παράγοντες, οπότε άλλες μορφές ενέργειας δεν

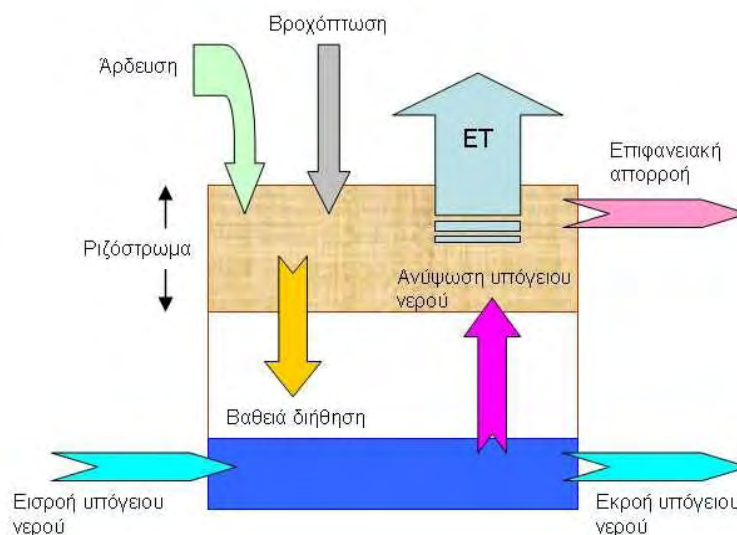
λαμβάνονται υπόψη και θεωρούνται αμελητέες. Η λανθάνουσα ροή θερμότητας που αντιπροσωπεύει το ποσοστό της εξατμισοδιαπνοής, μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου αν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι γνωστοί. Οι παράγοντες R_n και G μπορούν να υπολογιστούν μέσω των κλιματικών παραμέτρων, ενώ ο παράγοντας H απαιτεί πιο πολύπλοκη διαδικασία (Allen et al., 1998).

Μια άλλη μέθοδος υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής είναι η μέθοδος μεταφοράς μάζας. Αυτή η προσέγγιση λαμβάνει υπόψη την κάθετη κίνηση μικρών μαζών αέρα (δίνες) πάνω από μια μεγάλη ομοιογενή επιφάνεια. Οι δίνες αυτές μεταφέρουν ύλη (υδρατμούς) και ενέργεια (θερμότητα και ορμή) από και προς την επιφάνεια εξάτμισης. Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής μπορεί να υπολογιστεί από το λόγο του Bowen (1926) εάν θεωρηθούν οι συνθήκες κατάστασης σταθερές και ότι οι συντελεστές εξάτμισης των δινών είναι ανάλογοι με αυτούς της θερμότητας και της ορμής.

Άλλες άμεσες μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής, όπως η μέθοδος διακύμανσης των δινών (eddy covariance) χρησιμοποιούν την ακριβή μέτρηση της τάσης των ατμών, της θερμοκρασίας αέρα και της ταχύτητας του ανέμου σε διαφορετικά επίπεδα ύψους. Για αυτό το λόγο, η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε ερευνητικά κέντρα (Allen et al., 1998).

3.2.2.2 Υδατικό ισοζύγιο εδάφους

Η εξατμισοδιαπνοή μπορεί επίσης να υπολογιστεί από τη μέτρηση διαφόρων συστατικών του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Υδατικό ισοζύγιο του εδάφους.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την αποτίμηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ροής του νερού στο ριζόστρωμα. Η άρδευση και η βροχόπτωση προσθέτουν νερό στο ριζόστρωμα, ενώ μέρος αυτού χάνεται λόγω της επιφανειακής απορροής και της βαθιάς διήθησης, οι οποίες θα εμπλουτίσουν τον υδροφόρο ορίζοντα (Allen et al., 1998). Το νερό που προέρχεται από ρηχούς υδροφόρους ορίζοντες μπορεί να κινηθεί ανοδικά προς το ριζόστρωμα μέσω της τριχοειδούς ανύψωσης του νερού ή ακόμα και να κινηθεί οριζόντια μέσω της υπόγειας ροής προς ή από το ριζόστρωμα. Μόνο στις περιπτώσεις που το έδαφος έχει μεγάλη κλίση χρησιμοποιούνται οι παράμετροι της υπόγειας ροής, ενώ σε όλες τις άλλες θεωρούνται αμελητέες. Έτσι, εάν είναι γνωστές όλες οι άλλες παράμετροι, μπορεί να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή (ET) από την μεταβολή της υγρασίας του εδάφους (ΔSW) σύμφωνα με την Εξίσωση 3.3:

$$ET = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW \quad [3.3]$$

όπου I είναι η εισροή λόγω άρδευσης, P είναι η εισροή λόγω βροχόπτωσης, RO είναι η εκροή λόγω επιφανειακής απορροής, DP είναι η εκροή λόγω βαθιάς διήθησης, CR είναι η εισροή λόγω τριχοειδούς ανύψωσης του νερού, ΔSF είναι η μεταβολή του νερού μέσω της υπόγειας ροής, ενώ ΔSW είναι η μεταβολή της υγρασίας του εδάφους. Αυτή η μέθοδος συνιστάται μόνο για υπολογισμούς της εξατμισοδιαπνοής σε μεγάλες χρονικές περιόδους (εβδομάδες, δεκαήμερα), καθώς πολλές παράμετροί της είναι δύσκολο να υπολογισθούν με ακρίβεια για μικρά χρονικά διαστήματα (Allen et al., 1998).

3.2.2.3 Λυσίμετρα

Οι διάφοροι όροι, στην παραπάνω εξίσωση του υδατικού ισοζυγίου, μπορούν να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια αν απομονωθεί το ριζόστρωμα μιας καλλιέργειας από το περιβάλλον του και ελεγχθούν οι διεργασίες που είναι δύσκολο να μετρηθούν. Αυτό γίνεται στα λυσίμετρα, όπου η καλλιέργεια αναπτύσσεται μέσα σε απομονωμένες δεξαμενές διαταραγμένου ή αδιατάρακτου εδάφους. Στα λυσίμετρα που είναι εξοπλισμένα με ζυγό ακριβείας, η απώλεια του νερού μετράται απευθείας από την αλλαγή στη μάζα οπότε η εξατμισοδιαπνοή μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια εκατοστών του χιλιοστού και σε περιόδους μικρές (ανά ώρα). Στα λυσίμετρα που δεν διαθέτουν ζυγό ακριβείας, το νερό απορροής στον πυθμένα του λυσιμέτρου αφαιρείται από τις συνολικές εισροές του νερού (Allen et al., 1998). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία των λυσιμέτρων είναι η απόλυτη συμφωνία των χαρακτηριστικών (ύψος και δείκτης φυλλικής επιφάνειας) των φυτών που βρίσκονται εντός του λυσιμέτρου με αυτά που βρίσκονται εκτός. Η χρήση των λυσιμέτρων περιορίζεται μόνο σε ερευνητικά κέντρα, λόγω του κόστους τους και της δυσκολίας του χειρισμού τους (Allen et al., 1998).

3.2.3 Προσδιορισμός της εξατμισοδιαπνοής με εξατμισόμετρο

Η εξάτμιση από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού παρέχει έναν δείκτη της ολοκληρωμένης επίδρασης της ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα, καθώς και του ανέμου, στην εξατμισοδιαπνοή. Όμως, υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στην απώλεια νερού από μια ελεύθερη επιφάνεια και στην απώλεια νερού από την καλλιέργεια. Το εξατμισόμετρο αποτελεί έναν πρακτικό τρόπο εκτίμησης της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και χρησιμοποιείται επιτυχώς μέχρι σήμερα. Παρατηρώντας τις απώλειες λόγω εξάτμισης σε μια ελεύθερη επιφάνεια νερού και εφαρμόζοντας εμπειρικούς συντελεστές μπορεί να εκτιμηθεί η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (Allen et al., 1998).

3.2.4 Υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής από κλιματικά δεδομένα

Εξ αιτίας της δυσκολίας της λήψης επιτόπιων μετρήσεων ακριβείας στον αγρό, η εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται κυρίως από μετεωρολογικά δεδομένα. Ένας μεγάλος αριθμός εμπειρικών και ημι-εμπειρικών εξισώσεων έχει δημιουργηθεί για να καθοριστεί η εξατμισοδιαπνοή των καλλιεργειών ή η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς από μετεωρολογικά δεδομένα. Μερικές μέθοδοι ισχύουν μόνο για ορισμένες περιοχές ή μόνο υπό ορισμένες κλιματικές και αγρονομικές συνθήκες και δεν μπορούν να εφαρμοστούν για άλλες (Allen et al., 1998). Για να διευθετηθεί αυτό το πρόβλημα, δημιουργήθηκαν κατευθυντήριες οδηγίες οι οποίες δημοσιεύθηκαν στο Irrigation and drainage paper 24 του Food and Agricultural Organization (Doorenbos & Pruitt, 1975). Έτσι, μεταξύ των μεθόδων που προτάθηκαν ήταν η μέθοδος των Blaney-Criddle (Blaney & Criddle, 1950), η μέθοδος της ακτινοβολίας και η τροποποιημένη μέθοδος του Penman. Αυτές οι μέθοδοι ήταν βαθμονομημένες για υπολογισμούς δεκαημέρων ή μηνιαίους.

3.3 ΑΡΔΕΥΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ (ET_c)

Στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, γινόταν υπολογισμός της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς αυτόματα από τον μετεωρολογικό σταθμό, βάσει της τροποποιημένης συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith (Allen et al., 1998). Παρακάτω περιγράφεται η μεθοδολογία αυτής της μεθόδου και οι διάφοροι υπολογισμοί που αφορούν την άρδευση.

3.3.1 Υπολογισμός της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας (ET_c)

Η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς μέσω του φυτικού συντελεστή K_c , όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3.4:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad [3.4]$$

όπου:

ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm/d)

K_c είναι ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας,

ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς (mm/d).

Ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας προβλέπει την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κάτω από καθορισμένες συνθήκες. Με την παραπάνω εξίσωση, αντιπροσωπεύονται συνθήκες όπου δεν υπάρχουν περιορισμοί στην ανάπτυξη της καλλιέργειας ή στην εξατμισοδιαπνοή. Τέτοιες συνθήκες μπορεί να είναι η έλλειψη νερού, η πυκνότητα των φυτών και οι προσβολές ή ασθένειες των φυτών.

Για να είναι δυνατός ο υπολογισμός με βάση την παραπάνω εξίσωση, η παρούσα μελέτη διεξήχθη κάτω από τις συνθήκες που αναφέρονται παραπάνω (Allen et al., 1998).

3.3.2 Υπολογισμός της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o)

Ο υπολογισμός της ET_o με την τροποποιημένη συνδυαστική μέθοδο των Penman-Monteith για 24-ωρη περίοδο δίνει, γενικά, ακριβή αποτελέσματα. Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά δεδομένα είναι (Allen et al., 1998):

- Θερμοκρασία αέρα: μέγιστη (T_{max}) και ελάχιστη (T_{min}) ημερήσια θερμοκρασία αέρα.
- Υγρασία αέρα: μέση ημερήσια πραγματική τάση των υδρατμών (e_a) η οποία προέρχεται από ψυχομετρικά δεδομένα όπως το σημείο δρόσου ή μέση σχετική υγρασία.
- Ταχύτητα ανέμου: μέση ημερήσια ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2 m (u_2).
- Ακτινοβολία: καθαρή ακτινοβολία (R_n) μετρημένη ή υπολογισμένη από την ηλιακή ακτινοβολία ή από την πραγματική διάρκεια της ηλιοφάνειας (n). Η πυκνότητα της ροής της θερμότητας του εδάφους (G) κάτω από την επιφάνεια αναφοράς του χλοοτάπητα είναι σχετικά μικρή και μπορεί να αγνοηθεί για 24-ωρους υπολογισμούς.

3.3.2.1 Η τροποποιημένη συνδυαστική μέθοδος των Penman-Monteith (FAO)

Το Μάιο του 1990, σε μια συνάντηση ειδικών, προτάθηκε ο υπολογισμός της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς (ET_o) να γίνεται βάσει της τροποποιημένης συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith, όπως αυτή περιγράφεται στο Irrigation and drainage paper 56 του Food and Agricultural Organization (Allen et al., 1998). Αυτή η μέθοδος διορθώνει τα ελαττώματα της προηγούμενης μεθόδου και παρέχει πιο σωστές τιμές για χρήση σε παγκόσμια κλίμακα.

Η τροποποιημένη συνδυαστική μέθοδος των Penman-Monteith δίδεται από την Εξίσωση 3.5 (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad [3.5]$$

όπου:

ET_o είναι η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/d),

R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία στην επιφάνεια της καλλιέργειας ($MJ/(m^2 \cdot d)$),

G είναι η πυκνότητα θερμικής ροής του εδάφους ($MJ/(m^2 \cdot d)$),

T είναι η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m ($^{\circ}C$),

u_2 είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 2 m (m/s),

e_s είναι η μέση τάση κορεσμένων υδρατμών (kPa),

e_a είναι η πραγματική τάση των υδρατμών (kPa),

$e_s - e_a$ είναι το έλλειμμα τάσης κορεσμένων υδρατμών (kPa),

Δ είναι η κλίση της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων υδρατμών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ($kPa/^{\circ}C$),

γ είναι η ψυχομετρική σταθερά ($kPa/^{\circ}C$).

3.3.2.2 Μέση θερμοκρασία αέρα (T_{mean})

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία του αέρα (T_{mean}) υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.6 (Allen et al., 1998):

$$T_{mean} = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} \quad [3.6]$$

όπου:

T_{mean} είναι η μέση θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}C$),

T_{max} είναι η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}C$),

T_{min} είναι η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}C$).

3.3.2.3 Ατμοσφαιρική πίεση (P)

Η ατμοσφαιρική πίεση (P), είναι η πίεση που ασκείται από το βάρος της ατμόσφαιρας της γης. Η εξάτμιση σε μεγάλα υψόμετρα προωθείται λόγω της χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως εκφράζεται στην ψυχομετρική σταθερά. Η ατμοσφαιρική πίεση υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.7 (Allen et al., 1998):

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad [3.7]$$

όπου:

P είναι η ατμοσφαιρική πίεση (kPa),

z είναι το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (m).

3.3.2.4 Κλίση της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων υδρατμών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία (Δ)

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής απαιτείται η κλίση (Δ) της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων υδρατμών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Η κλίση της καμπύλης για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.8 (Allen et al., 1998):

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3} \right)} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad [3.8]$$

όπου: Δ είναι η της καμπύλης της τάσης των κορεσμένων υδρατμών σε θερμοκρασία αέρα T (kPa/°C) και T είναι η θερμοκρασία του αέρα (°C).

3.3.2.5 Ψυχομετρική σταθερά (γ)

Η ψυχομετρική σταθερά (γ), υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.9 (Allen et al., 1998):

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0,000665 \cdot P \quad [3.9]$$

όπου:

γ είναι η ψυχομετρική σταθερά (kPa/°C),

P είναι η ατμοσφαιρική πίεση (kPa),

λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, η οποία ισούται με 2,45 (MJ/kg),

c_p είναι ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση, η οποία ισούται με 1,013 10⁻³ (MJ/(kg·°C)),

ε είναι ο λόγος του μοριακού βάρους των υδρατμών προς τον ξηρό αέρα, ο οποίος ισούται με 0,622.

3.3.2.6 Μέση τάση κορεσμένων υδρατμών (e_s)

Εφόσον η τάση των κορεσμένων υδρατμών σχετίζεται με την θερμοκρασία του αέρα, μπορεί να υπολογιστεί από αυτή σύμφωνα με την Εξίσωση 3.10 (Allen et al., 1998):

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27T}{T+237,3}\right)} \quad [3.10]$$

όπου:

$e^{\circ}(T)$ είναι η τάση των κορεσμένων υδρατμών (kPa),

T είναι η θερμοκρασία του αέρα ($^{\circ}\text{C}$).

Λόγω της μη γραμμικότητας της παραπάνω εξίσωσης, η μέση τάση των κορεσμένων υδρατμών, για μια ημέρα, πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος όρος μεταξύ της τάσης των κορεσμένων υδρατμών στη μέγιστη και στην ελάχιστη θερμοκρασία και όχι με τη μέση θερμοκρασία της ημέρας. Αυτό το σφάλμα οδηγεί σε υποτίμηση της τιμής της τάσης και άρα και της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς.

Η μέση τάση των κορεσμένων υδρατμών υπολογίζεται με την Εξίσωση 3.11 (Allen et al., 1998):

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2} \quad [3.11]$$

όπου:

e_s είναι η μέση τάση των κορεσμένων υδρατμών (kPa),

$e^{\circ}(T_{\max})$ είναι η τάση κορεσμένων υδρατμών στη μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας (kPa),

$e^{\circ}(T_{\min})$ η τάση κορεσμένων υδρατμών στην ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας (kPa).

3.3.2.7 Πραγματική τάση υδρατμών (e_a)

Η πραγματική τάση των υδρατμών (e_a) υπολογίζεται από τα δεδομένα της σχετικής υγρασίας του αέρα, σύμφωνα με την Εξίσωση 3.12 (Allen et al., 1998):

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\min}) \frac{RH_{\max}}{100} + e^{\circ}(T_{\max}) \frac{RH_{\min}}{100}}{2} \quad [3.12]$$

όπου:

e_a είναι η πραγματική τάση των υδρατμών (kPa),

$e^{\circ}(T_{\max})$ είναι η τάση κορεσμένων υδρατμών στη μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας (kPa),

$e^{\circ}(T_{\min})$ η τάση κορεσμένων υδρατμών στην ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας (kPa).

RH_{\max} είναι η μέγιστη σχετική υγρασία (%),

RH_{\min} είναι η ελάχιστη σχετική υγρασία (%).

3.3.2.8 Έλλειμμα τάσης κορεσμένων υδρατμών ($e_s - e_a$)

Το έλλειμμα τάσης κορεσμένων υδρατμών είναι η διαφορά ανάμεσα στην μέση τάση των κορεσμένων υδρατμών και στην πραγματική τάση των υδρατμών σε μια συγκεκριμένη περίοδο (24 ώρες).

3.3.2.9 Αντίστροφη σχετική απόσταση γης-ήλιου (d_r)

Η αντίστροφη σχετική απόσταση γης-ήλιου (d_r) για μια συγκεκριμένη ημέρα, δίδεται από την Εξίσωση 3.13 (Allen et al., 1998):

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \sigma \nu \left(\frac{2\pi}{365} J \right) \quad [3.13]$$

όπου: d_r είναι η αντίστροφη σχετική απόσταση γης-ήλιου (rad),

J είναι ο αριθμός της ημέρας από την αρχή του έτους (1-365).

Ο αριθμός (J) μιας ημέρας (D) του μήνα (M), για $M > 3$, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την Εξίσωση 3.14 (Allen et al., 1998):

$$J = \text{INTEGER} \left(275 \left(\frac{M}{9} \right) - 30 + D \right) - 2 \quad [3.14]$$

όπου:

J είναι ο αριθμός της ημέρας από την αρχή του έτους (1-365),

M είναι ο αριθμός του μήνα (1-12),

D είναι ο αριθμός της ημέρας (1-31),

INTEGER είναι μια υπολογιστική συνάρτηση που αποδίδει τον ακέραιο ενός αριθμού.

Ο αριθμός μιας ημέρας (D) του μήνα (M), για $M < 3$, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση αν στο J προσθέσουμε 2 ($J=J+2$). Για δίσεκτα έτη, ο αριθμός μιας ημέρας (D) του μήνα (M), για $M > 2$, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση αν στο J προσθέσουμε 1 ($J=J+1$).

3.3.2.10 Ηλιακή απόκλιση (δ)

Η ηλιακή απόκλιση (δ), δίδεται από την Εξίσωση 3.15 (Allen et al., 1998):

$$\delta = 0,409 \cdot \eta \mu \left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39 \right) \quad [3.15]$$

όπου: δ είναι η ηλιακή απόκλιση (rad),

J είναι ο αριθμός της ημέρας από την αρχή του έτους (1-365).

3.3.2.11 Ωριαία γωνία του ήλιου (ω_s)

Η ωριαία γωνία του ηλίου (ω_s), δίδεται από την Εξίσωση 3.16 (Allen et al., 1998):

$$\omega_s = \text{ARCCOS}[-\varepsilon\phi(\phi) \cdot \varepsilon\phi(\delta)] \quad [3.16]$$

όπου: ω_s είναι η ωριαία γωνία του ηλίου (rad),

ARCCOS είναι μια συνάρτηση που αποδίδει το τόξο συνημίτονου ενός αριθμού (rad),

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εκφρασμένο σε ακτίνια (rad). Για το βόρειο ημισφαίριο το ϕ λαμβάνεται ως θετικό, ενώ για το νότιο ως αρνητικό.

Η μετατροπή από δεκαδική μορφή σε ακτίνια, γίνεται με την Εξίσωση 3.17 (Allen et al., 1998):

$$\phi = \frac{\pi}{180} L \quad [3.17]$$

όπου: ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εκφρασμένο σε ακτίνια (rad),

L είναι το γεωγραφικό πλάτος εκφρασμένο σε δεκαδική μορφή.

3.3.2.12 Εξωγήινη ακτινοβολία (R_a)

Εξωατμοσφαιρική ή εξωγήινη ακτινοβολία (R_a) ορίζεται η μικρού μήκους ακτινοβολία απουσία ατμόσφαιρας. Για 24-ωρες περιόδους και για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την Εξίσωση 3.18 (Allen et al., 1998):

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} \cdot d_r [\omega_s \cdot \eta\mu(\phi) \cdot \eta\mu(\delta) + \sigma\upsilon\nu(\phi) \cdot \sigma\upsilon\nu(\delta) \cdot \eta\mu(\omega_s)] \quad [3.18]$$

όπου: R_a είναι η εξωγήινη ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά η οποία ισούται με $0,0820 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$,

d_r είναι η αντίστροφη σχετική απόσταση γης-ήλιου (rad),

ω_s είναι η ωριαία γωνία του ηλίου (rad),

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εκφρασμένο σε ακτίνια (rad),

δ είναι η ηλιακή απόκλιση (rad).

3.3.2.13 Ώρες ηλιοφάνειας (N)

Οι ώρες ηλιοφάνειας (N) υπολογίζονται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.19 (Allen et al., 1998):

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad [3.19]$$

όπου:

N είναι οι ώρες ηλιοφάνειας και ω_s είναι η ωριαία γωνία του ηλίου (rad),

3.3.2.14 Ηλιακή ακτινοβολία (R_s)

Εάν η ηλιακή ακτινοβολία (R_s) δεν μετράται, μπορεί να υπολογιστεί με την Εξίσωση 3.20 (Allen et al., 1998):

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N} \right) R_a \quad [3.20]$$

όπου:

R_s είναι η ηλιακή ή μικρού μήκους ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

n είναι η πραγματική διάρκεια της ηλιοφάνειας (h),

N είναι η μέγιστη δυνατή διάρκεια της ηλιοφάνειας ή ώρες ηλιοφάνειας (h),

a_s είναι μια σταθερά παλινδρόμησης, η οποία εκφράζει το κλάσμα της εξωγήινης ακτινοβολίας που φθάνει στη γη τις συνεφιασμένες ημέρες ($n=0$),

$a_s + b_s$ είναι το κλάσμα της εξωγήινης ακτινοβολίας που φθάνει στη γη τις μη συνεφιασμένες ημέρες ($n=N$),

R_a είναι η εξωγήινη ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$).

Εάν οι τιμές του Angstrom a_s και b_s δεν έχουν υπολογιστεί για πραγματικά δεδομένα της περιοχής, τότε προτείνεται να χρησιμοποιηθούν οι τιμές $a_s=0,25$ και $b_s=0,50$.

3.3.2.15 Ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού (R_{so})

Ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού (R_{so}) ορίζεται ως η ακτινοβολία μικρού μήκους που καταφτάνει στην επιφάνεια της γης όταν δεν υπάρχει καθόλου νέφωση στον ουρανό. Εάν έχει γίνει βαθμονόμηση για τις τιμές του Angstrom a_s και b_s , η ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού μπορεί να υπολογιστεί με την Εξίσωση 3.21, ενώ αν δεν έχει γίνει βαθμονόμηση υπολογίζεται με την Εξίσωση 3.22 (Allen et al., 1998):

$$R_{so} = (a_s + b_s) R_a \quad [3.21]$$

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad [3.22]$$

όπου:

R_{so} είναι η ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

$a_s + b_s$ είναι το κλάσμα της εξωγήινης ακτινοβολίας που φθάνει στη γη τις μη συνεφιασμένες ημέρες ($n=N$),

R_a είναι η εξωγήινη ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

z είναι το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (m).

3.3.2.16 Καθαρή ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους (R_{ns})

Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία (R_{ns}) υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.23 (Allen et al., 1998):

$$R_{ns} = (1 - a)R_s \quad [3.23]$$

όπου:

R_{ns} είναι η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

a είναι η λευκαύγεια (albedo) της καλλιέργειας, η οποία ισούται με 0,23 για την υποθετική καλλιέργεια αναφοράς χλοοτάπητα,

R_s είναι η εισερχόμενη ηλιακή ή μικρού μήκους ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$).

3.3.2.17 Καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους (R_{nl})

Η ροή της ενέργειας που εγκαταλείπει την επιφάνεια της γης μπορεί να εκφραστεί με το νόμο των Stefan-Boltzmann (Stefan, 1890· Boltzmann, 1888), ο οποίος όμως την υπερεκτιμά. Εφόσον η υγρασία και η συννεφιά παίζουν σημαντικό ρόλο, ο νόμος των Stefan-Boltzmann διορθώνεται βάσει αυτών των δυο παραμέτρων.

Έτσι, η καθαρή ακτινοβολία μεγάλου μήκους υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.24 (Allen et al., 1998):

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,K}^4 + T_{\min,K}^4}{2} \right] \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad [3.24]$$

όπου:

R_{nl} είναι η καθαρή εξερχόμενη μεγάλου μήκους ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

σ είναι η σταθερά των Stefan-Boltzmann ($4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ}/(\text{K}^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d})$),

$T_{\max,K}$ είναι η μέγιστη απόλυτη θερμοκρασία σε περίοδο 24 ωρών (K),

$T_{\min,K}$ είναι η ελάχιστη απόλυτη θερμοκρασία σε περίοδο 24 ωρών (K),

e_a είναι η πραγματική τάση των υδρατμών (kPa),

R_s είναι η εισερχόμενη ηλιακή μικρού μήκους ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

R_{so} είναι η ηλιακή ακτινοβολία καθαρού ουρανού ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$).

Ο λόγος R_s/R_{so} πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με 1.

3.3.2.18 Καθαρή ακτινοβολία (R_n)

Η καθαρή ακτινοβολία (R_n) είναι η διαφορά μεταξύ της εισερχόμενης καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας μικρού μήκους (R_{ns}) και της εξερχόμενης καθαρής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους (R_{nl}), όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3.25 (Allen et al., 1998):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad [3.25]$$

όπου:

R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

R_{ns} είναι η καθαρή εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$),

R_{nl} είναι η καθαρή εξερχόμενη ακτινοβολία μεγάλου μήκους ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$).

3.3.2.19 Θερμική ροή του εδάφους (G)

Η θερμική ροή του εδάφους (G) κάτω από την επιφάνεια αναφοράς του χλοοτάπητα, είναι σχετικά μικρή και μπορεί να αγνοηθεί για ημερήσιους υπολογισμούς ($G \approx 0$) (Allen et al., 1998).

3.3.3 Ο φυτικός συντελεστής της καλλιέργειας (K_c)

Ο φυτικός συντελεστής ενσωματώνει τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και τις κύριες επιδράσεις την εξάτμιση του εδάφους. Καθώς η καλλιέργεια αναπτύσσεται, η κάλυψη του εδάφους, το ύψος των φυτών και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας μεταβάλλονται. Οι διαφορές στην εξατμισοδιαπνοή, κατά τη διάρκεια των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας, μεταβάλλουν το φυτικό συντελεστή. Η κάθε καλλιεργητική περίοδος μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια: το αρχικό, της ανάπτυξης, το μεσαίο και το τελικό. Έτσι, θα πρέπει ο φυτικός συντελεστής να υπολογιστεί για κάθε στάδιο ξεχωριστά (Allen et al., 1998).

3.3.3.1 Φυτικός συντελεστής αρχικού σταδίου της καλλιέργειας ($K_{c_{ini}}$)

Το πρώτο στάδιο ανάπτυξης ξεκινά από την εγκατάσταση των φυτών και διαρκεί μέχρι την κάλυψη του 10% της επιφάνειας του εδάφους. Το εύρος του σταδίου αυτού είναι άμεσα εξαρτώμενο από το είδος της καλλιέργειας, από την ποικιλία, από την ημερομηνία εγκατάστασης και από το κλίμα. Το τέλος του σταδίου προσδιορίζεται όταν το 10% της επιφάνειας του εδάφους έχει καλυφθεί από πράσινη βλάστηση. Επειδή στο πρώτο στάδιο υπερσχύει η εξάτμιση, ο φυτικός συντελεστής είναι μεγάλος όταν το έδαφος έχει υγρασία και μικρός όταν το έδαφος είναι ξερό. Έτσι, ο φυτικός συντελεστής εξαρτάται κυρίως από τη διάρκεια και ποσότητα των αρδεύσεων και των βροχοπτώσεων, καθώς και από την εξάτμιση. Ο φυτικός συντελεστής του αρχικού σταδίου θεωρείται σταθερός (Allen et al., 1998).

3.3.3.2 Φυτικός συντελεστής σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας ($K_{c\ dev}$)

Το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας ξεκινά όταν το έδαφος έχει καλυφθεί κατά 10% από πράσινη βλάστηση και διαρκεί μέχρι την πλήρη φυτοκάλυψη. Η πλήρης φυτοκάλυψη για πολλές καλλιέργειες (π.χ. σιτηρά) συμπίπτει με την άνθηση. Για τις γραμμικές καλλιέργειες η πλήρης φυτοκάλυψη επιτυγχάνεται όταν τα φύλλα από τα φυτά γειτονικών σειρών αρχίζουν να αναμιγνύονται, έτσι ώστε να δημιουργείται σχεδόν πλήρης σκίαση του εδάφους. Σε αντίθετη περίπτωση, το τέλος του σταδίου θεωρείται όταν τα φυτά κοντεύουν να φτάσουν σε πλήρη ανάπτυξη. Όσο η καλλιέργεια αναπτύσσεται αυξάνει η σκίαση του εδάφους, οπότε η εξάτμιση μειώνεται και η διαπνοή γίνεται η κύρια διεργασία (Allen et al., 1998).

3.3.3.3 Φυτικός συντελεστής μεσαίου σταδίου της καλλιέργειας ($K_{c\ mid}$)

Το μεσαίο στάδιο της καλλιέργειας ξεκινά από την πλήρη φυτοκάλυψη και διαρκεί μέχρι την έναρξη της ωρίμανσης. Η ωρίμανση ξεκινά συνήθως όταν τα φύλλα αρχίζουν να ωριμάζουν, δηλαδή αρχίζουν να κιτρινίζουν ή να πέφτουν, ή όταν ο καρπός αρχίζει να ωριμάζει. Ο φυτικός συντελεστής φτάνει στη μέγιστη τιμή του σε αυτό το στάδιο, ενώ η τιμή θεωρείται σταθερή (Allen et al., 1998).

3.3.3.4 Φυτικός συντελεστής τελικού σταδίου της καλλιέργειας ($K_{c\ late}$)

Το τελικό στάδιο της καλλιέργειας ξεκινά από την έναρξη της ωρίμανσης και διαρκεί μέχρι την πλήρη γήρανση ή την συγκομιδή της καλλιέργειας. Η ωρίμανση ξεκινά συνήθως όταν τα φύλλα αρχίζουν να ωριμάζουν, δηλαδή αρχίζουν να κιτρινίζουν ή να πέφτουν, ή όταν ο καρπός τους αρχίζει να ωριμάζει. Ο φυτικός συντελεστής υπολογίζεται μέχρι τη συγκομιδή της καλλιέργειας ή μέχρι την φυσική της αποξήρανση στον αγρό (Allen et al., 1998).

3.3.3.5 Αριθμητικός προσδιορισμός του φυτικού συντελεστή K_c

Ο φυτικός συντελεστής K_c για κάθε στάδιο της καλλιέργειας μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα αν θεωρηθεί ότι κατά τη διάρκεια του αρχικού και μεσαίου σταδίου, ο φυτικός συντελεστής είναι σταθερός.

Έτσι οι φυτικοί συντελεστές $K_{c\ dev}$ και $K_{c\ late}$ μπορούν να υπολογιστούν για κάθε ημέρα, σύμφωνα με την Εξίσωση 3.26 (Allen et al., 1998):

$$K_{ci} = K_{cprev} + \left[\frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{stage}} \right] (K_{cnext} - K_{cprev}) \quad [3.26]$$

όπου:

i είναι μια ημέρα της καλλιεργητικής περιόδου,

K_{ci} είναι ο φυτικός συντελεστής της ημέρας i ,

K_{next} είναι ο φυτικός συντελεστής στην αρχή του επόμενου σταδίου,

K_{cprev} είναι ο φυτικός συντελεστής στο τέλος του προηγούμενου σταδίου,

L_{stage} είναι η διάρκεια του σταδίου σε ημέρες που βρίσκεται η καλλιέργεια,

$\Sigma(L_{prev})$ είναι το άθροισμα όλων των προηγούμενων σταδίων της καλλιέργειας.

3.3.4 Υπολογισμός της δόσης άρδευσης

3.3.4.1 Καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό ή καθαρό βάθος άρδευσης (I_n)

Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για να αντισταθμίσει τις απώλειες της καλλιέργειας μέσω της εξατμισοδιαπνοής, ορίζεται ως καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό ή καθαρό βάθος άρδευσης (I_n). Οι καθαρές ανάγκες σε αρδευτικό νερό αντιπροσωπεύουν τη διαφορά μεταξύ των αναγκών της καλλιέργειας σε νερό και της ωφέλιμης ή ενεργούς βροχόπτωσης, όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3.27 (Allen et al., 1998):

$$I_n = ET_c - P_e \quad [3.27]$$

όπου:

I_n είναι οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό (mm),

ET_c είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας (mm),

P_e είναι η ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση (mm).

Οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό (I_n) περιλαμβάνουν επίσης και επιπρόσθετο νερό που ίσως χρειάζεται για την έκπλυση των αλάτων ή την αντιστάθμιση των απωλειών που προέρχονται από τη μέθοδο άρδευσης.

3.3.4.2 Ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση (P_e)

Ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση (P_e) είναι το ποσοστό της συνολικής βροχόπτωσης, σε μια καλλιέργεια και σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, το οποίο είναι διαθέσιμο για να καλύψει τις ανάγκες της διαπνοής της καλλιεργημένης έκτασης (Bos & Nugteren, 1990).

Όταν η βροχόπτωση είναι μικρότερη από το 20% της εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, θεωρείται αμελητέα, διότι εξατμίζεται πλήρως. Το ποσοστό της βροχόπτωσης που χάνεται μέσω της επιφανειακής απορροής εξαρτάται από την σφοδρότητα της βροχής, την κλίση του αγρού και τον τύπο, τις υδραυλικές παραμέτρους και το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους.

Γενικά, η επιφανειακή απορροή θεωρείται αμελητέα για υπολογισμούς ημέρας, διότι το πλεονάζον νερό θεωρείται ότι αναπληρώνει το έδαφος μέχρι το σημείο την υδατοϊκανότητά του (Allen et al., 1998). Τέλος, σε βροχοπτώσεις με μεγάλο όγκο νερού σε μικρές περιόδους θεωρείται ότι το επιπλέον νερό χάνεται ως βαθιά διήθηση.

Στην παρούσα έρευνα δεν υπήρχαν απώλειες του νερού λόγω βαθείας διήθησης, ούτε ανύψωση υπογείου νερού. Η βροχόπτωση που ήταν μεγαλύτερη από το 20% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς, πολλαπλασιάστηκε με έναν συντελεστή ωφελιμότητας ίσο με 0,8 ώστε να καλυφθούν απώλειες λόγω εξάτμισης από την επιφάνεια του εδάφους.

3.3.4.3 Αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες (EFF)

Κάθε μέθοδος άρδευσης έχει σχεδιαστεί ώστε να παρέχει όσο δυνατόν πιο ομοιόμορφα το νερό σε όλα τα φυτά. Παρόλα αυτά όμως, κάθε μέθοδος παρέχει περισσότερο νερό σε ορισμένα φυτά και λιγότερο σε κάποια άλλα. Λόγω της διαφορετικότητας των μεθόδων άρδευσης, η αποδοτικότητα εκφράζεται σε κάθε μέθοδο με διαφορετικό τρόπο.

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επιφανειακής στάγδην άρδευσης, της οποίας η αποδοτικότητα υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.28 :

$$EFF = TR \cdot EU \quad [3.28]$$

όπου:

EFF είναι η αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες ή βαθμός εφαρμογής του νερού, TR είναι το μέρος του νερού που διηθήθηκε στο έδαφος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα από την καλλιέργεια και EU είναι η ομοιομορφία ενστάλαξης.

Οι τιμές του TR κυμαίνονται από 0,9 σε ξηρά κλίματα με μικρό ποσοστό ύγρανσης και αυξημένη συγκέντρωση αλάτων στο νερό, έως 1 σε υγρά κλίματα χωρίς προβλήματα αλάτων. Γενικά, σε ένα σύστημα που λειτουργεί σωστά σε Ελληνικές συνθήκες, η τιμή του TR είναι περίπου 0,95 (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997).

Η ομοιομορφία ενστάλαξης (EU) σχετίζεται με την καλή λειτουργία των σταλακτών και την σταθερότητα της παροχής τους. Σε δίκτυο άρδευσης που λειτουργεί ικανοποιητικά, η ομοιομορφία ενστάλαξης μπορεί να φτάσει από 0,9 έως 0,95. Αν οι σταλάκτες είναι αυτορυθμιζόμενοι, τότε η ομοιομορφία ενστάλαξης είναι ίση με 1 (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997).

Στην παρούσα έρευνα η αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης υπολογίστηκε ίση με 0,95 (TR=0,95 και EU=1).

3.3.4.4 Ολικό βάθος άρδευσης (I_t)

Για να καλυφθούν οι καθαρές ανάγκες της καλλιέργειας σε αρδευτικό νερό, πρέπει να αντισταθμιστούν οι απώλειες από την εφαρμογή της μεθόδου άρδευσης. Για να γίνει αυτό, πρέπει στο καθαρό βάθος άρδευσης (I_n) να προσθέσουμε το ποσοστό του νερού που χάνεται λόγω των απωλειών από την μέθοδο άρδευσης, οπότε προκύπτει το ολικό βάθος άρδευσης (I_t), το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.29:

$$I_t = \frac{I_n}{EFF} \quad [3.29]$$

όπου:

I_t είναι το ολικό βάθος άρδευσης (mm)

I_n είναι το καθαρό βάθος άρδευσης (mm),

EFF είναι η αποδοτικότητα εφαρμογής της άρδευσης με σταγόνες.

3.3.4.5 Διάρκεια άρδευσης (t)

Η διάρκεια της άρδευσης (t) σε ώρες, με τη μέθοδο της σταγόνας, υπολογίζεται σύμφωνα με την Εξίσωση 3.30:

$$t = \frac{I_t \cdot S_p \cdot S_r}{q \cdot n} \quad [3.30]$$

όπου:

t είναι η διάρκεια άρδευσης (h),

I_t είναι το ολικό βάθος άρδευσης ($m^3/στρ.$),

S_p είναι η απόσταση μεταξύ των φυτών, επί της γραμμής (m),

S_r είναι η απόσταση μεταξύ των σειρών των φυτών (m),

q είναι η παροχή του κάθε σταλάκτη (L/h),

n είναι ο αριθμός των σταλακτών ανά φυτό.

3.3.4.6 Εύρος άρδευσης (f)

Το εύρος άρδευσης (f) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα ήταν ίσο με 4. Η επιλογή αυτή του εύρους άρδευσης έγινε αφενός μεν βάσει των δυνατοτήτων του αντλητικού συστήματος, αφενός δε λόγω του ότι, σύμφωνα με πολλούς ερευνητές, το βέλτιστο εύρος άρδευσης για την καλλιέργεια του σόργου έχει βρεθεί πως είναι 4-7 ημέρες (Bordovsky & Lyle, 1996· Saeed & El-Nadi, 1998· Almodares et al., 2013).

3.3.5 Πρόγραμμα άρδευσης

Μετά τη σπορά, πραγματοποιούταν άρδευση με καταιονισμό, για τη διευκόλυνση του φυτρώματος. Η άρδευση με καταιονισμό συνεχιζόταν για ακόμη 4 φορές (συνολικά 5 φορές) μέχρι τα φυτά να αναπτύξουν επαρκές ριζικό σύστημα.

Η άρδευση με σταγόνες ξεκινούσε μόλις τα φυτά είχαν αναπτύξει επαρκές ριζικό σύστημα (30-40 ημέρες μετά τη σπορά). Τα δεδομένα που συλλέγονταν από τον μετεωρολογικό σταθμό επεξεργάζονταν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια υπολογιστικού φύλλου και υπολογιζόταν η δόση και η διάρκεια άρδευσης για κάθε μεταχείριση, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Στη συνέχεια και κάθε 4 ημέρες (εύρος άρδευσης) πραγματοποιούνταν ο προγραμματισμός του προγραμματιστή άρδευσης Miracle DC και ξεκινούσε η άρδευση.

3.4 ΑΡΔΕΥΣΗ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η εδαφική υγρασία προσδιοριζόταν από αισθητήρες υγρασίας εδάφους και στη συνέχεια το σύστημα του ψηφιακού καταγραφικού, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιούσε την άρδευση. Παρακάτω περιγράφεται η μεθοδολογία αυτής της μεθόδου και οι διάφοροι υπολογισμοί που αφορούν την άρδευση.

3.4.1 Υπολογισμός της δόσης άρδευσης

3.4.1.1 Διαθέσιμη υγρασία του εδάφους (TAW)

Έπειτα από έντονη βροχόπτωση ή άρδευση, το έδαφος αρχίζει να στραγγίζει, έως ότου να φτάσει στην υδατοϊκανότητά του. Η υδατοϊκανότητα είναι η ποσότητα του νερού που ένα βαθύ, ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος, συγκρατεί μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού από αυτό. Απουσία προσθήκης νερού στο έδαφος, το νερό που περιέχεται στο ριζόστρωμα αρχίζει να φθίνει λόγω της πρόσληψής του από την καλλιέργεια. Όσο το νερό που βρίσκεται σε αυτό λιγοστεύει, οι δυνάμεις που συγκρατούν το νερό στο έδαφος αυξάνονται. Σε κάποιο σημείο, το σημείο μόνιμης μάρανσης, τα φυτά αδυνατούν να προσλάβουν πλέον νερό από το έδαφος και ξεκινά η μη αναστρέψιμη μάρανσή τους. Έτσι, σημείο μόνιμης μάρανσης καλείται το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό στο οποίο τα φυτά μαραίνονται μόνιμα (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997).

Εφόσον το νερό πάνω από την υδατοϊκανότητα του εδάφους στραγγίζει και εφόσον το νερό κάτω από σημείο μόνιμης μάρανσης δεν μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά, η διαθέσιμη υγρασία ή συνολικά διαθέσιμο νερό (TAW), είναι η διαφορά μεταξύ της υδατοϊκανότητας και του σημείου μόνιμης μάρανσης (Εξίσωση 3.31) (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997):

$$TAW = \frac{FC - PWP}{100} Z_r \quad [3.31]$$

όπου:

TAW η διαθέσιμη υγρασία (mm),

FC είναι η κ.ο. υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητά του (%),

PWP είναι η κ.ο. υγρασία του εδάφους στο σημείο μόνιμης μάρανσης (%),

Z_r είναι το βάθος του ριζοστρώματος (mm).

3.4.1.2 Ωφέλιμη υγρασία του εδάφους (RAW)

Θεωρητικά όλο το νερό που υπάρχει στο έδαφος από την υδατοϊκανότητα μέχρι το σημείο μόνιμης μάρανσης είναι διαθέσιμο στα φυτά. Παρόλα αυτά όμως, η πρόσληψη του νερού από το έδαφος περιορίζεται αρκετά πριν το σημείο μόνιμης μάρανσης. Όταν το έδαφος έχει ικανοποιητική υγρασία, τότε η πρόσληψη του νερού από το έδαφος ισούται με την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας. Όσο το περιεχόμενο του εδάφους σε νερό μειώνεται, το νερό συγκρατείται με μεγαλύτερες δυνάμεις από το έδαφος και είναι δυσκολότερο να αποδεσμευθεί. Σε κάποιο σημείο εδαφικής υγρασίας, το νερό δεν μπορεί πλέον να μεταφερθεί γρήγορα προς τις ρίζες έτσι ώστε να αντιδράσει στις απαιτήσεις της διαπνοής, οπότε και επέρχεται υδατικό στρες στα φυτά.

Το ποσοστό της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους που μια καλλιέργεια μπορεί να προσλάβει χωρίς να υποπέσει σε υδατικό στρες, ονομάζεται ωφέλιμη υγρασία του εδάφους ή άμεσα διαθέσιμο νερό και υπολογίζεται με την Εξίσωση 3.32 (Τερζίδης & Παπαζαφειρίου, 1997):

$$RAW = p \cdot TAW \quad [3.32]$$

όπου:

RAW η ωφέλιμη υγρασία (mm),

TAW η διαθέσιμη υγρασία (mm),

p είναι ο συντελεστής ωφελιμότητας (0-1) και εκφράζει το ποσοστό της διαθέσιμης υγρασίας το οποίο μπορεί να εξαντληθεί από το ριζόστρωμα χωρίς να επέλθει υδατικό στρες στα φυτά.

Οι τιμές για το p διαφέρουν για κάθε καλλιέργεια και κυμαίνονται από 0,30-0,70. Ο συντελεστής ωφελιμότητας για το γλυκό σόργο έχει βρεθεί ότι είναι ίσος με 0,50 (Allen et al., 1998).

Η ωφέλιμη υγρασία του εδάφους αντιπροσωπεύει το νερό που πρέπει να αποθηκεύεται στο έδαφος με κάθε άρδευση.

3.4.1.3 Διάρκεια και εύρος άρδευσης

Το ψηφιακό καταγραφικό σύστημα (data logger) ενεργοποιούσε και απενεργοποιούσε αυτόματα την άρδευση στα πειραματικά τεμάχια, βασιζόμενο στην κ.ο. υγρασία του εδάφους (%). Ειδικότερα, ανά 30 min γινόταν προσδιορισμός της % κ.ο. υγρασίας του εδάφους μέσω των αισθητήρων EnviroSCAN και η μέτρηση καταγραφόταν στο καταγραφικό GP1. Το καταγραφικό έλεγχε αν ικανοποιούνταν οι συνθήκες που είχαν οριστεί και στη συνέχεια ενεργοποιούσε ή απενεργοποιούσε τις ηλεκτροβαλβίδες, έτσι ώστε να ξεκινήσει ή να διακοπεί η άρδευση στα αντίστοιχα πειραματικά τεμάχια.

Οι συνθήκες ελέγχου που ορίστηκαν στο καταγραφικό αφορούσαν το ανώτατο και κατώτατο όριο της εδαφικής υγρασίας, στην οποία θα διακόπτεται ή θα ξεκινά η άρδευση αντίστοιχα, έτσι ώστε στο ριζόστρωμα να περιέχεται πάντα η ωφέλιμη υγρασία. Έτσι, ως ανώτατο όριο υγρασίας, στο οποίο θα διακόπτεται η άρδευση, ορίστηκε η μέση τιμή της υδατοϊκανότητας του εδάφους (FC) σε βάθος 0,7 m (βάθος ριζοστρώματος), ενώ ως κατώτατο όριο ορίστηκε η κ.ο. υγρασία του εδάφους (%) στο κατώτερο όριο της ωφέλιμης υγρασίας του ριζοστρώματος.

Η υγρασία κ.ο. (%) του εδάφους στο κατώτερο όριο της ωφέλιμης υγρασίας στο ριζόστρωμα, μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με την Εξίσωση 3.33:

$$SM_{RAW} = (1 - p) \cdot FC + p \cdot PWP \quad [3.33]$$

όπου:

SM_{RAW} είναι η κ.ο. υγρασία του εδάφους στο κατώτερο όριο της ωφέλιμης υγρασίας του (%),

FC είναι η κ.ο. υγρασία του εδάφους στην υδατοϊκανότητά του (%),

PWP είναι η κ.ο. υγρασία του εδάφους στο σημείο μόνιμης μάρανσης (%),

p είναι ο συντελεστής ωφελιμότητας και εκφράζει το ποσοστό της διαθέσιμης υγρασίας το οποίο μπορεί να εξαντληθεί από το ριζόστρωμα χωρίς να επέλθει υδατικό στρες στα φυτά (0-1).

Η παραπάνω εξίσωση προκύπτει εύκολα επιλύοντας ως προς το SM_{raw} , ως εξής:

$$p \frac{FC - PWP}{100} Z_r = \frac{FC - SM_{RAW}}{100} Z_r$$

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του πειραματικού αγρού, που αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο, το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης ρυθμίστηκε ώστε να ξεκινά την άρδευση όταν η εδαφική υγρασία ήταν ίση με 28% κ.ο. και να διακόπτει την άρδευση όταν η εδαφική υγρασία γινόταν ίση με 35% κ.ο.

Επειδή η άρδευση καθοριζόταν από το ρυθμό μεταβολής της εδαφικής υγρασίας, η διάρκεια και το εύρος άρδευσης μεταβάλλονταν αναλόγως.

3.4.2 Πρόγραμμα άρδευσης

Μετά τη σπορά, πραγματοποιούταν άρδευση με καταιονισμό, για τη διευκόλυνση του φυτρώματος. Η άρδευση με καταιονισμό συνεχιζόταν για ακόμη 4 φορές (συνολικά 5 φορές) μέχρι τα φυτά να αναπτύξουν επαρκές ριζικό σύστημα. Η άρδευση με σταγόνες με το ψηφιακό καταγραφικό σύστημα και τους αισθητήρες υγρασίας, ξεκινούσε μόλις τα φυτά είχαν αναπτύξει επαρκές ριζικό σύστημα (30-40 ημέρες μετά τη σπορά) και ήταν πλήρως αυτοματοποιημένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας και αφορούν στο κλίμα της περιοχής, στην εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, στις ποσότητες νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, στην εδαφική υγρασία, καθώς και στις παραμέτρους των επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων και του εδάφους.

4.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

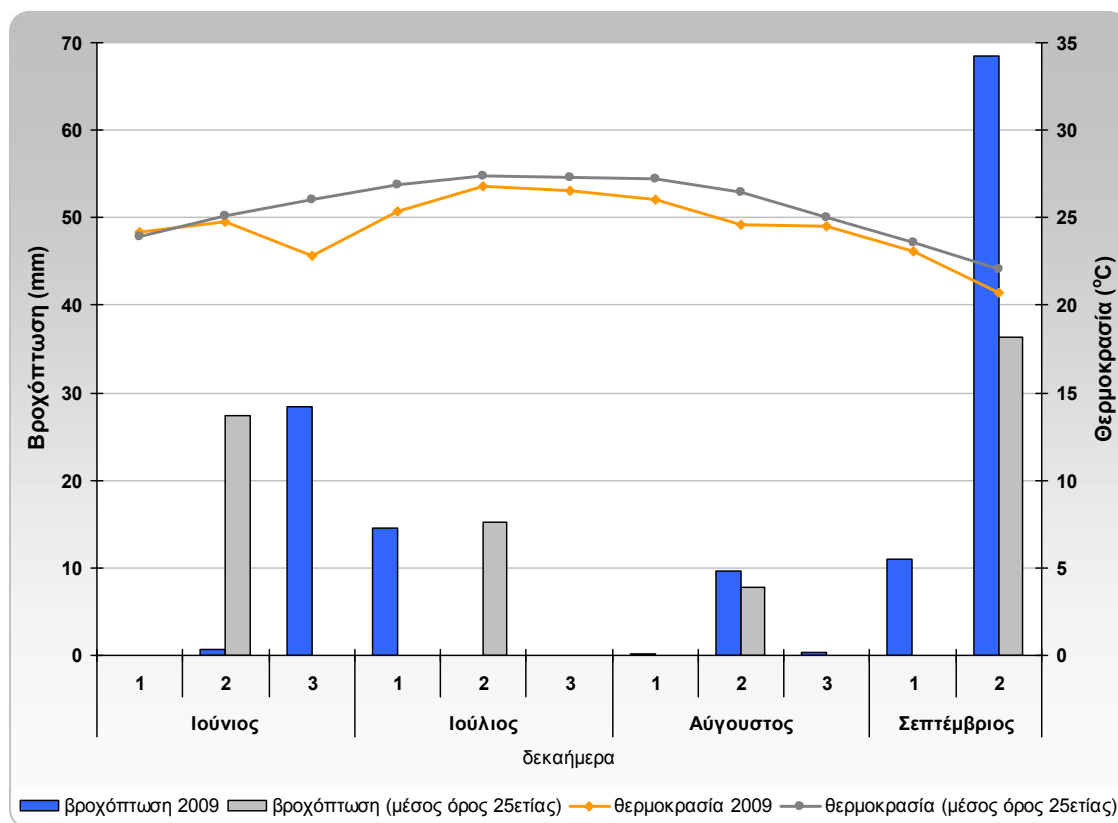
Παρακάτω, παρουσιάζονται τα ομβροθερμικά διαγράμματα κατά Bagnouls-Gaussen (Bagnouls & Gaussen, 1953), της καλλιεργητικής περιόδου κάθε έτους (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), βάσει των κλιματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Στα διαγράμματα απεικονίζεται επίσης, ως μέτρο σύγκρισης, ο μέσος όρος των τιμών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης ανά δεκαήμερο για τα τελευταία 25 έτη.

4.2.1 Κλιματικά δεδομένα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα για την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η καλλιεργητική περίοδος του έτους 2009 χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες μέσες θερμοκρασίες αέρος και υψηλότερη βροχόπτωση σε σχέση με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρος και βροχόπτωσης των τελευταίων 25 ετών.

Όσον αφορά στη θερμοκρασία αέρος, κατά το πρώτο και δεύτερο δεκαήμερο του Ιουνίου η μέση θερμοκρασία αέρος κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα σε σχέση με το μέσο όρο της 25ετίας, περίπου στους 24-25 °C, ενώ κατά το τρίτο δεκαήμερο επήλθε μια πτώση της κατά 3 °C. Στη συνέχεια και μέχρι το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου η μέση θερμοκρασία αέρος είχε ανοδική πορεία μέχρι τους 26 °C. Έπειτα, από το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου μέχρι και το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, υπήρξε μια σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας μέχρι τους 21 °C, με τιμές που βρίσκονταν κοντά στις μέσες τιμές της 25ετίας.



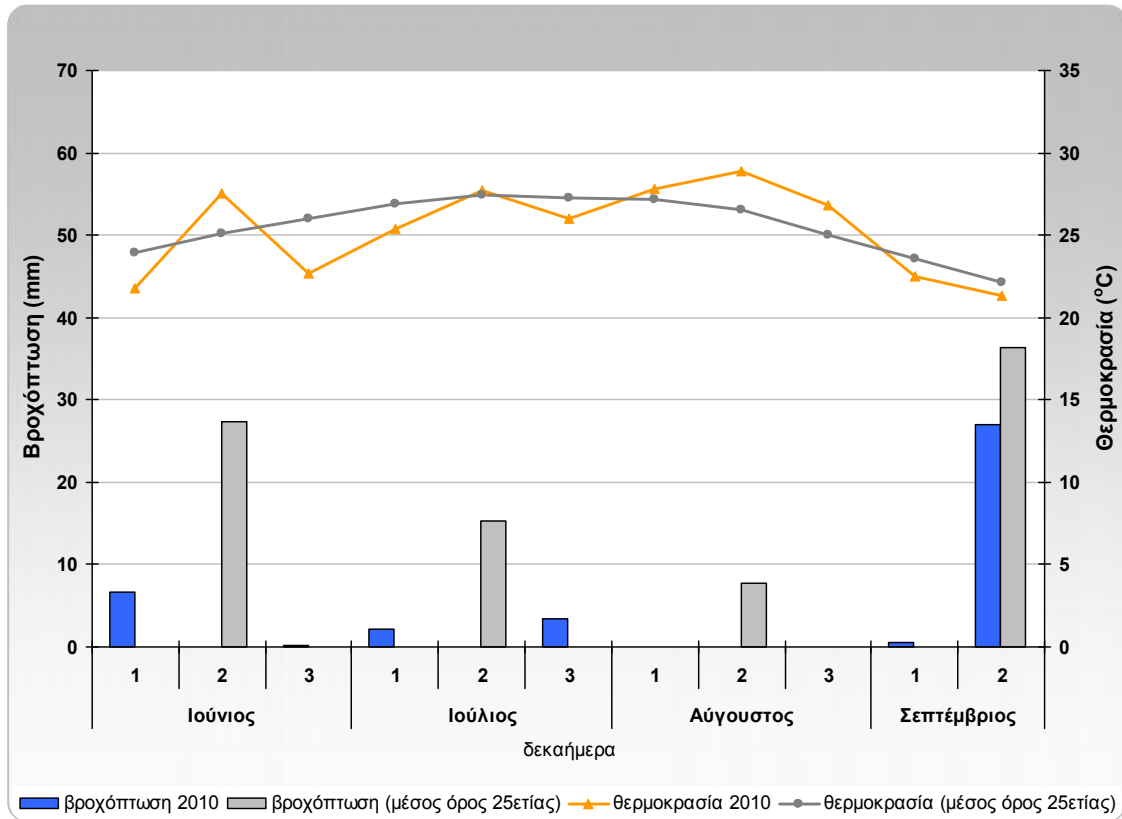
Σχήμα 4.1: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009.

Όσον αφορά στη βροχόπτωση, κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου αυτή κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα σε σχέση με το μέσο όρο της 25ετίας, με τιμές βροχόπτωσης 29 mm, 14,6 mm και 10,2 mm, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, κατά τα δυο πρώτα δεκαήμερα του Ιουνίου, τα δυο τελευταία δεκαήμερα του Ιουλίου, καθώς και το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου, η συνολική βροχόπτωση ήταν αμελητέα. Το τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου η βροχόπτωση καταγράφηκε ίση με 28,4 mm, το πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου ίση με 14,6 mm και το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου ίση με 9,6 mm. Κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου η βροχόπτωση καταγράφηκε ίση με 11 mm, σε αντίθεση με το μέσο όρο όπου ήταν μηδέν, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο η βροχόπτωση άγγιξε τα 68,4 mm, σε αντίθεση με το μέσο όρο της 25ετίας που ήταν μόλις 36,3 mm. Η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009, ήταν ίση με 133,2 mm, δηλαδή 46,4 mm περισσότερα από τη μέση συνολική βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, η οποία ήταν ίση με 86,8 mm.

Τέλος, η μέση σχετική υγρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2009 ήταν ίση με 57,44%.

4.2.2 Κλιματικά δεδομένα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2010

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα για την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010.



Σχήμα 4.2: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2010.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η καλλιεργητική περίοδος του έτους 2010 χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες μέσες θερμοκρασίες αέρος και λιγότερη βροχόπτωση σε σχέση με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρος και βροχόπτωσης των τελευταίων 25 ετών.

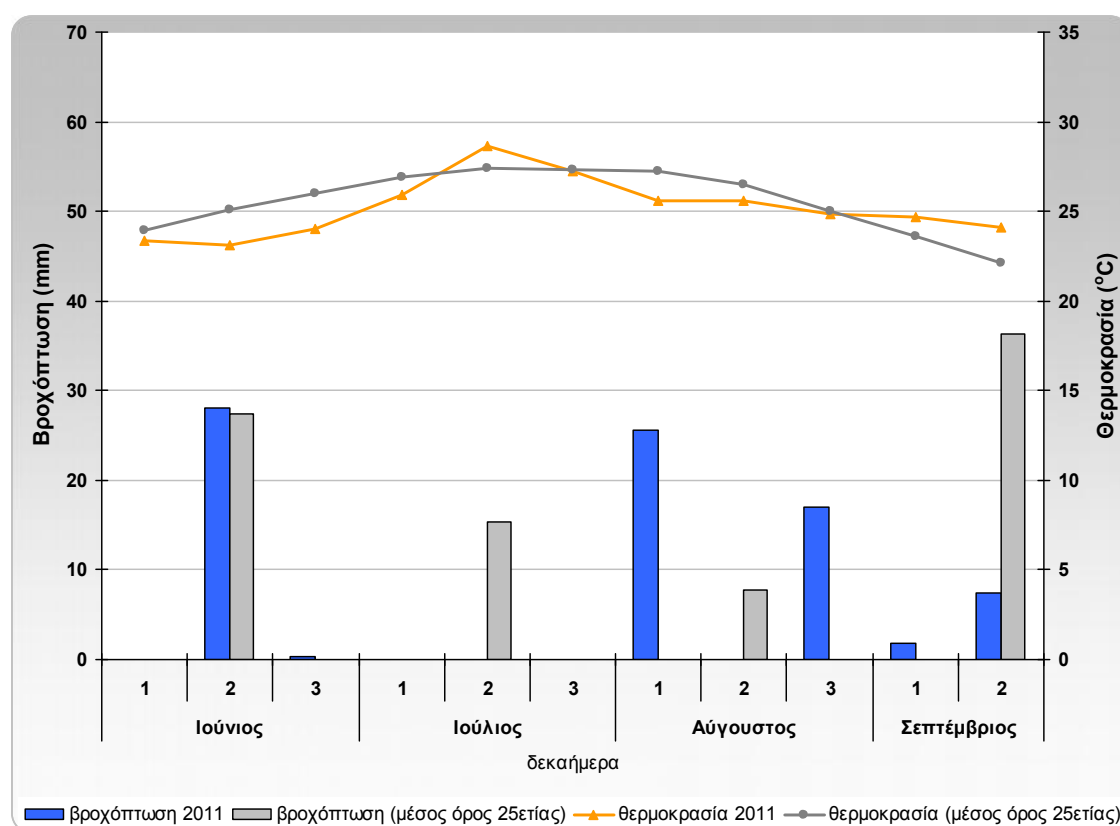
Όσον αφορά στη θερμοκρασία αέρος, κατά το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου η μέση θερμοκρασία αέρος κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα, γύρω στους 22-23 °C, σε σχέση με το μέσο όρο της 25ετίας, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο επήλθε μια άνοδος της κατά 5 °C. Κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου, η μέση θερμοκρασία αέρος είχε παρόμοιες τιμές με αυτές της μέσης θερμοκρασίας αέρος της 25ετίας, ενώ κατά το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο, οι μέσες θερμοκρασίες αέρος ήταν χαμηλότερες κατά 1 °C από το μέσο όρο της 25ετίας και κυμάνθηκαν στους 25-26 °C. Το μήνα Αύγουστο, η μέση θερμοκρασία αέρος κυμάνθηκε υψηλότερα κατά 1-2 °C περίπου, στους 27-29 °C. Κατά τη διάρκεια του Σεπτεμβρίου, οι μέσες θερμοκρασίες αέρος κυμάνθηκαν γύρω στους 21-22 °C.

Όσον αφορά στη βροχόπτωση, κατά τα δυο τελευταία δεκαήμερα του Ιουνίου, το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου καθώς και το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, η συνολική βροχόπτωση ήταν αμελητέα. Κατά το μήνα Αύγουστο η βροχόπτωση ήταν μηδενική, σε αντίθεση με το μέσο όρο της 25ετίας που ήταν 7,8 mm. Επιπρόσθετα, η βροχόπτωση κατά το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου ήταν μικρή και ίση με 2,20 mm και 3,40 mm, αντίστοιχα. Κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουνίου η βροχόπτωση καταγράφηκε ίση με 6,6 mm, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου ίση με 27,6 mm. Η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2010 ήταν ίση με 40 mm, δηλαδή 46,8 mm λιγότερα από τη μέση συνολική βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, η οποία ήταν ίση με 86,8 mm.

Τέλος, η μέση σχετική υγρασία του αέρος κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2010 ήταν ίση με 56,25%.

4.2.3 Κλιματικά δεδομένα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2011

Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται το ομβροθερμικό διάγραμμα για την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011.



Σχήμα 4.3: Ομβροθερμικό διάγραμμα της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η καλλιεργητική περίοδος του έτους 2011 χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες μέσες θερμοκρασίες αέρος και περίπου ίση βροχόπτωση σε σχέση με τις μέσες τιμές θερμοκρασίας αέρος και βροχόπτωσης των τελευταίων 25 ετών.

Όσον αφορά στη θερμοκρασία αέρος, κατά το μήνα Ιούνιο καθώς και κατά το πρώτο δεκαήμερο του Ιουλίου η μέση θερμοκρασία αέρος κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το μέσο όρο της 25ετίας, γύρω στους 23-24 °C, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου επήλθε μια άνοδος της κατά 4 °C. Κατά το τρίτο δεκαήμερο του Ιουλίου και του Αυγούστου, η θερμοκρασία αέρος ήταν στα ίδια επίπεδα με τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας της τελευταίας 25ετίας, με τιμές 27 °C και 25 °C, αντίστοιχα. Κατά το πρώτο και δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου, οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας αέρος, που κυμάνθηκαν γύρω στους 25 °C, ήταν ηπιότερες σε σχέση με τις μέσες τιμές της 25ετίας. Αντίθετα, κατά το πρώτο και δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας αέρος, που κυμάνθηκαν γύρω στους 24 °C, ήταν μεγαλύτερες σε σχέση με τις μέσες τιμές της 25ετίας.

Όσον αφορά στη βροχόπτωση, κατά το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο του Ιουνίου, όλο το μήνα Ιούλιο, το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου και το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου, αυτή ήταν αμελητέα. Κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουνίου η βροχόπτωση που καταγράφηκε ήταν ίση με 28 mm, τιμή περίπου ίση με τη μέση τιμή της 25ετίας. Κατά το πρώτο και τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου η βροχόπτωση καταγράφηκε ίση με 25,6 mm και 17 mm, αντίστοιχα. Το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου η βροχόπτωση έφθασε τα 7,2 mm. Η συνολική βροχόπτωση που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2011 ήταν ίση με 80,2 mm, δηλαδή 6,6 mm λιγότερα από τη μέση συνολική βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, η οποία ήταν ίση με 86,8 mm.

Τέλος, η μέση σχετική υγρασία του αέρος κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του έτους 2011 ήταν ίση με 55,79%.

4.2.4 Συζήτηση

Η μέση θερμοκρασία κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 ήταν ελαφρώς χαμηλότερη από ότι στις άλλες δυο καλλιεργητικές περιόδους και καμία φορά δεν υπερέβη το μέσο όρο της 25ετίας. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων του 2010 και 2011 υπήρξαν φορές που η μέση θερμοκρασία υπερέβη τον μέσο όρο της 25ετίας έως και 5 °C. Η μέση θερμοκρασία του αέρος κατά την ημέρα της σποράς, για τα τρία έτη, ήταν ικανοποιητική και μεγαλύτερη από τους 21 °C. Συμπερασματικά, η μέση θερμοκρασία του αέρος για τα τρία έτη της έρευνας, κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με τη μέση θερμοκρασία των τελευταίων 25 ετών.

Η βροχόπτωση, αντίθετα με τη θερμοκρασία, παρουσίασε διακύμανση κατά τα τρία έτη της έρευνας. Συγκεκριμένα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η βροχόπτωση ήταν κατά 46,4 mm μεγαλύτερη από τη μέση βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, δηλαδή υπήρξε μια αύξηση κατά περίπου 54%. Παρόλα αυτά, δεν μπορούμε να ισχυριστούμε πως η αυτή η αύξηση της βροχόπτωσης είχε σημαντική επίπτωση στην παραγωγικότητα των φυτών καθώς περίπου τα 60 mm αυτής καταγράφηκαν τις τελευταίες 5 ημέρες πριν τη συγκομιδή. Αντίθετα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010 υπήρξε μια μείωση της βροχόπτωσης κατά 46,8 mm, δηλαδή κατά 54% από τη μέση βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών. Επιπρόσθετα, τα 27 mm της βροχόπτωσης καταγράφηκαν τις τελευταίες 5 ημέρες πριν τη συγκομιδή, ενώ μόλις 13 mm καταγράφηκαν για την υπόλοιπη καλλιεργητική περίοδο. Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 υπήρξε μια μείωση της βροχόπτωσης κατά 6,6 mm από τη μέση βροχόπτωση των τελευταίων 25 ετών, που αντιστοιχεί σε ποσοστό 8%. Ο μέσος όρος της βροχόπτωσης για τα τρία έτη της έρευνας ήταν ίσος με 84,5 mm, δηλαδή 2,3 mm μικρότερος από το μέσο όρο της 25ετίας. Τέλος, η μέση σχετική υγρασία του αέρος κατά τη διάρκεια των καλλιεργητικών περιόδων των ετών 2009, 2010 και 2011 κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με μέση τιμή τριετίας 56,49%.

4.3 ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο κάθε έτους (Ιούνιος-Σεπτέμβριος), βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

4.3.1 Φυτικοί συντελεστές

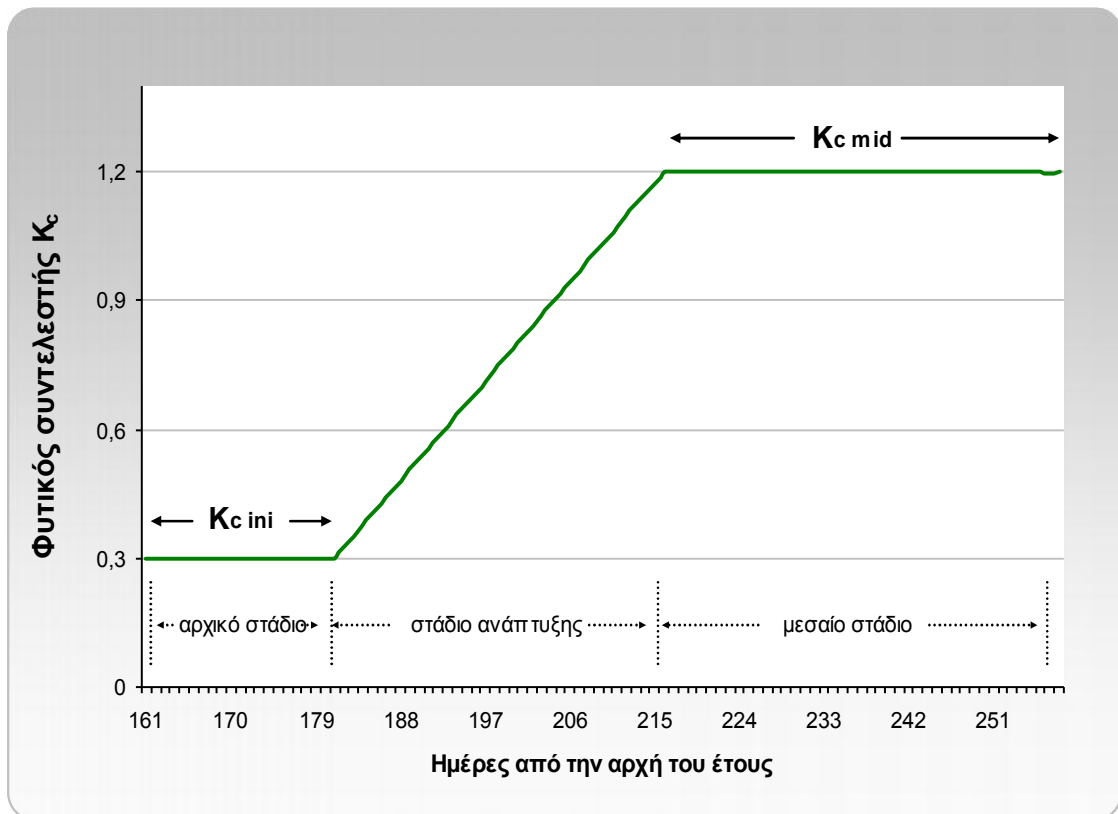
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας εξαρτάται από την εξατμισοδιαπνοή αναφοράς και από το φυτικό συντελεστή της καλλιέργειας. Η εξατμισοδιαπνοή αναφοράς υπολογιζόταν βάσει της τροποποιημένης συνδυαστικής μεθόδου των Penman-Monteith (Allen et al., 1998), από τα δεδομένα που προέρχονταν από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Η διάρκεια των σταδίων και ο φυτικός συντελεστής για το κάθε στάδιο της ανάπτυξης του γλυκού σόργου πάρθηκαν από τη βιβλιογραφία και δίδονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Διάρκεια και φυτικός συντελεστής του κάθε σταδίου ανάπτυξης του γλυκού σόργου για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Doorenbos & Pruitt, 1975; Allen et al., 1998).

	Στάδιο ανάπτυξης				
	Αρχικό (ini)	Ανάπτυξης (dev)	Μεσαίο (mid)	Τελικό (late)	Σύνολο
Διάρκεια σε ημέρες	20	35	40	30	130
Φυτικός συντελεστής K_c	0,3	→	1,20	1,05	

Οι τιμές του φυτικού συντελεστή που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ημέρα της καλλιεργητικής περιόδου, από το φύτευμα της καλλιέργειας του γλυκού σόργου έως και τη συγκομιδή της, φαίνονται στο Σχήμα 4.4.



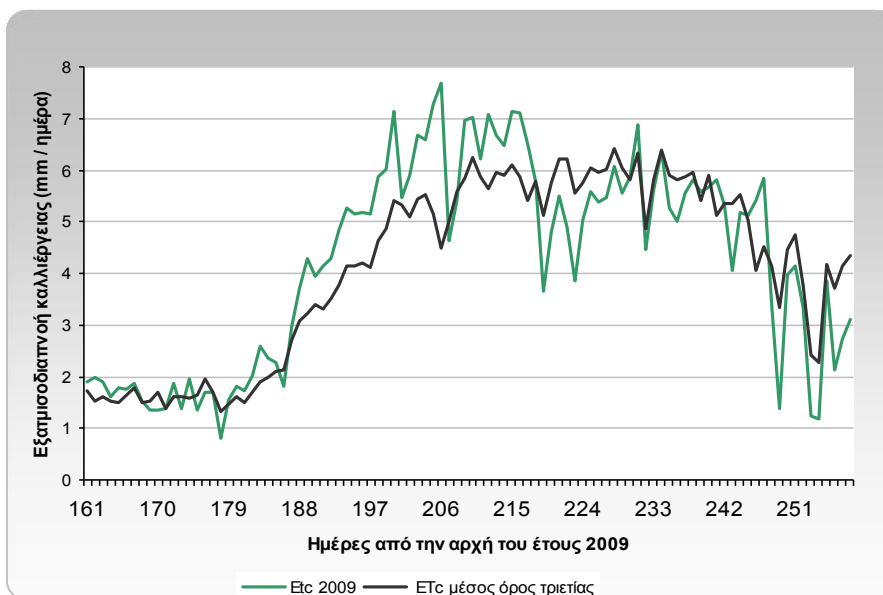
Σχήμα 4.4: Τιμές του φυτικού συντελεστή για κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Ο ακριβής προσδιορισμός του κάθε σταδίου ανάπτυξης της καλλιέργειας στον αγρό, έγινε σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Vanderlip, 1993).

4.3.2 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009

Στο Σχήμα 4.5, παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 και ο μέσος όρος της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας των καλλιεργητικών περιόδων των ετών 2009-2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια του σταδίου ανάπτυξης, σε σχέση με το μέσο όρο της εξατμισοδιαπνοής της τριετίας. Η υψηλότερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε κατά την 206^η ημέρα από την αρχή του έτους και είχε την τιμή 7,67 mm. Κατά το μεσαίο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής ήταν ελαφρώς μικρότερες από το μέσο όρο της τριετίας, ενώ κατά το αρχικό περίπου ίσες. Η συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, υπολογίστηκε ίση με 415 mm, τιμή ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με τη μέση τιμή της τριετίας, η οποία ήταν ίση με 404 mm.



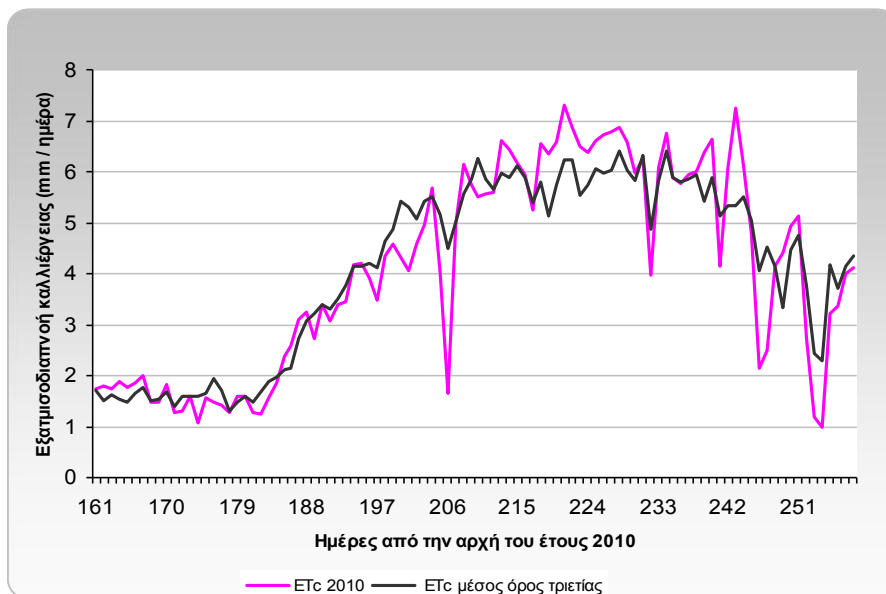
Σχήμα 4.5: Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009.

4.3.3 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010

Στο Σχήμα 4.6, παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010 και ο μέσος όρος της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας των καλλιεργητικών περιόδων των ετών 2009-2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010 χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια

του μεσαίου σταδίου ανάπτυξης, σε σχέση με το μέσο όρο της εξατμισοδιαπνοής της τριετίας. Η υψηλότερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε κατά την 221^η ημέρα από την αρχή του έτους και είχε την τιμή 7,3 mm. Κατά το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής ήταν ελαφρώς μικρότερες από το μέσο όρο της τριετίας, ενώ κατά το αρχικό περίπου ίσες. Η συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, υπολογίστηκε ίση με 400 mm, τιμή περίπου ίση με τη μέση τιμή της τριετίας, η οποία ήταν ίση με 404 mm.

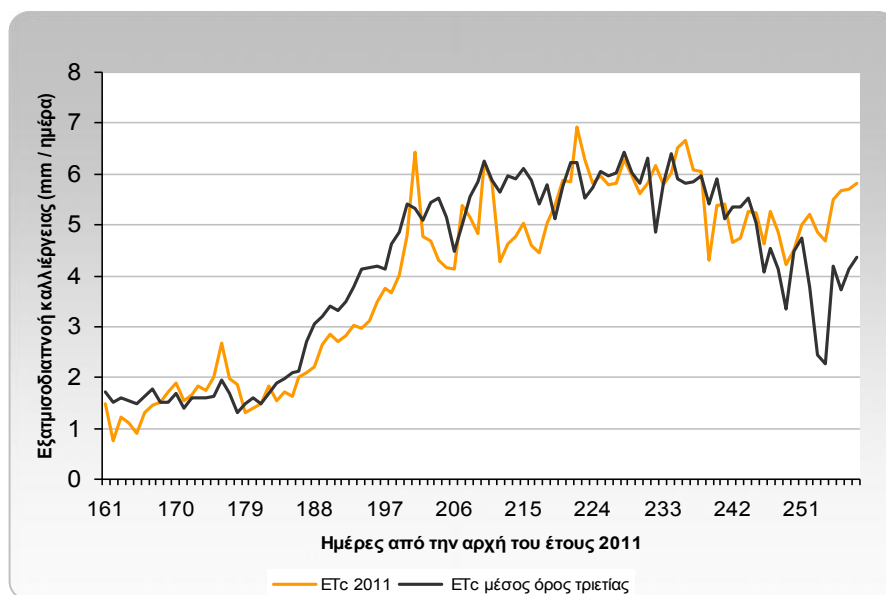


Σχήμα 4.6: Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010.

4.3.4 Εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011

Στο Σχήμα 4.7, παρουσιάζεται η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 και ο μέσος όρος της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας των καλλιεργητικών περιόδων των ετών 2009-2011.

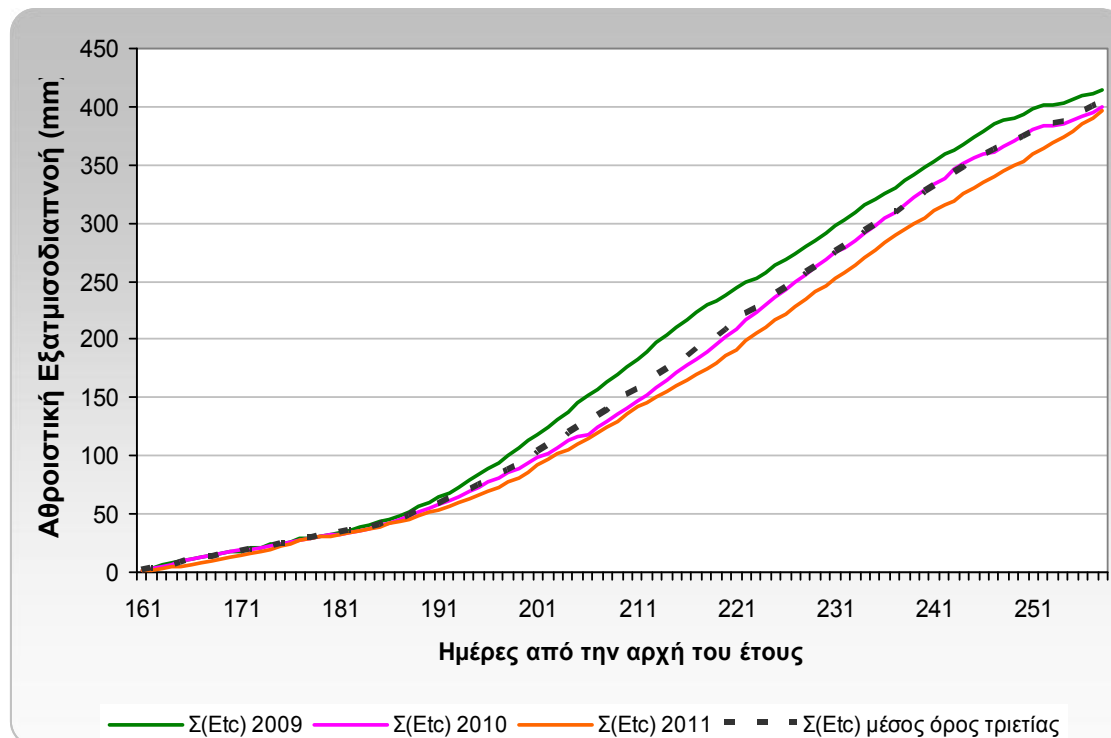
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια του μεσαίου σταδίου ανάπτυξης, σε σχέση με το μέσο όρο της εξατμισοδιαπνοής της τριετίας. Η υψηλότερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε κατά την 222^η ημέρα από την αρχή του έτους και είχε την τιμή 6,91 mm. Κατά το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής ήταν μικρότερες από το μέσο όρο της τριετίας, ενώ κατά το αρχικό περίπου ίσες. Η συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, υπολογίστηκε ίση με 396 mm, τιμή περίπου ελαφρώς μικρότερη σε σχέση με τη μέση τιμή της τριετίας, η οποία ήταν ίση με 404 mm.



Σχήμα 4.7: Εξαιμσοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011.

4.3.5 Αθροιστική εξαμσοδιαπνοή της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 4.8, παρουσιάζεται η αθροιστική εξαμσοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009-2011 και ο μέσος όρος των τιμών της τριετίας.



Σχήμα 4.8: Αθροιστική εξαμσοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των τριών ετών, καθώς και των μέσων τιμών της τριετίας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 χαρακτηρίζεται από υψηλότερες τιμές σε σχέση με το μέσο όρο της αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής της τριετίας, ενώ αντίθετα κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, από χαμηλότερες. Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η αθροιστική εξατμισοδιαπνοή χαρακτηρίζεται από περίπου ίσες τιμές σε σχέση με το μέσο όρο της αθροιστικής εξατμισοδιαπνοής της τριετίας.

4.3.6 Συζήτηση

Η συνολική εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011, ήταν ίση με 415 mm, 400 mm και 396 mm, αντίστοιχα. Η υψηλότερη τιμή της εξατμισοδιαπνοής παρατηρήθηκε την 26^η Ιουλίου 2009 και ήταν ίση με 7,67 mm. Ακολουθούσε η 10^η Αυγούστου 2010 με τιμή εξατμισοδιαπνοής ίση με 7,3 mm και η 11^η Αυγούστου 2011 με τιμή εξατμισοδιαπνοής ίση με 6,91 mm.

Κατά το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, των ετών 2010 και 2011, οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής ήταν μικρότερες από το μέσο όρο της τριετίας, ενώ κατά το μεσαίο στάδιο ήταν μεγαλύτερες. Αντίθετα, κατά το έτος 2009 οι τιμές της εξατμισοδιαπνοής, κατά το μεσαίο στάδιο ανάπτυξης, ήταν μικρότερες από το μέσο όρο της τριετίας, ενώ κατά το στάδιο ανάπτυξης ήταν μεγαλύτερες.

Συμπερασματικά, η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας κυμάνθηκε περίπου στα ίδια επίπεδα και για τα τρία έτη, με μέση τιμή τριετίας τα 404 mm.

4.4 ΑΡΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι ποσότητες του αρδευτικού νερού ανά μεταχείριση και ανά καλλιεργητική περίοδο, για τα τρία έτη της έρευνας, καθώς και η συνολική ποσότητα του νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, η οποία εκφράζεται ως άθροισμα της ποσότητας του νερού άρδευσης και της ωφέλιμης βροχόπτωσης.

4.4.1 Ποσότητες νερού στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης και οι ποσότητες του νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια συνολικά, για τις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ανά μεταχείριση και ανά καλλιεργητική περίοδο.

Πίνακας 4.2: Ποσότητες νερού (mm) ανά έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

	Έτος	Μεταχείριση								
		B100	B80	B60	Λ100	Λ80	Λ60	M100	M80	M60
Ποσότητα νερού άρδευσης	2009	383	323	264	383	323	264	383	323	264
	2010	447	376	306	447	376	306	447	376	306
	2011	412	348	283	412	348	283	412	348	283
Συνολική ποσότητα νερού	2009	491	431	372	491	431	372	491	431	372
	2010	473	402	332	473	402	332	473	402	332
	2011	470	406	341	470	406	341	470	406	341

Οι ποσότητες του νερού άρδευσης που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα, προέκυψαν από το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο του καταιονισμού και της ποσότητας που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο της επιφανειακής στάγδην άρδευσης. Η συνολική ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε με τη μέθοδο του καταιονισμού σε όλες τις μεταχειρίσεις, για τα έτη 2009, 2010 και 2011 ήταν ίση με 84 mm, 92 mm και 90 mm, αντίστοιχα.

Η συνολική ποσότητα νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, ισούται με το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης και της ποσότητας νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια μέσω της ωφέλιμης ή ενεργούς βροχόπτωσης. Η ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση για τα έτη 2009, 2010 και 2011 ήταν ίση με 108 mm, 26 mm και 58 mm, αντίστοιχα.

4.4.2 Ποσότητες νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι ποσότητες του νερού που εφαρμόστηκαν στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης και οι ποσότητες του νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια συνολικά, για τις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει εδαφικής υγρασίας, ανά μεταχείριση και ανά καλλιεργητική περίοδο.

Οι ποσότητες του νερού άρδευσης που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα, προέκυψαν από το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με τη μέθοδο του καταιονισμού και της ποσότητας που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια με επιφανειακή στάγδην άρδευση, μέσω του συστήματος άρδευσης με βάση το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας. Η συνολική ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε με τη μέθοδο του καταιονισμού σε όλες τις

μεταχειρίσεις, για τα έτη 2009, 2010 και 2011 ήταν ίση με 84 mm, 92 mm και 90 mm, αντίστοιχα.

Η συνολική ποσότητα νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια, ισούται με το άθροισμα της ποσότητας του νερού που εφαρμόστηκε στην καλλιέργεια μέσω της άρδευσης και της ποσότητας νερού που δέχτηκε η καλλιέργεια μέσω της ωφέλιμης ή ενεργούς βροχόπτωσης. Η ωφέλιμη ή ενεργός βροχόπτωση για τα έτη 2009, 2010 και 2011 ήταν ίση με 108 mm, 26 mm και 58 mm, αντίστοιχα.

Πίνακας 4.3: Ποσότητες νερού (mm) ανά έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας.

	Έτος	Μεταχείριση		
		BA	ΛΑ	ΜΑ
Ποσότητα νερού άρδευσης	2010	463	461	459
	2011	395	393	391
Συνολική ποσότητα νερού	2010	489	487	485
	2011	453	451	449

4.4.3 Ποιότητα του νερού άρδευσης

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, το νερό άρδευσης προερχόταν από τη γεώτρηση που βρίσκεται στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οι μέσες τιμές των χημικών παραμέτρων του νερού άρδευσης για τα τρία χρόνια της έρευνας φαίνονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Τιμές των χημικών παραμέτρων του νερού άρδευσης.

Παράμετρος	Μέσος όρος τιμών
pH	7,6
Αγωγιμότητα (mS/cm)	0,65
Νιτρικά ιόντα (N-NO ₃) [§] (mg/L)	17,9
Αμμωνιακά ιόντα (N-NH ₄) [§] (mg/L)	<1
Φωσφορικά ιόντα [§] (mg/L)	0,5

[§] Χρωματογραφία υψηλής πίεσης

Από τον πίνακα φαίνεται πως η συγκέντρωση των νιτρικών ιόντων στο νερό άρδευσης ήταν αυξημένη, οπότε η τυχόν επίδραση της συγκέντρωσης αυτής στα αποτελέσματα της έρευνας μελετήθηκε στατιστικά. Από τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης βρέθηκε ότι η ποσότητα των νιτρικών ιόντων του νερού άρδευσης δεν είχε καμία στατιστικώς σημαντική επίδραση στις μετρήσεις και τα αποτελέσματα της έρευνας, οπότε και δεν αξιολογήθηκε περαιτέρω.

4.4.4 Συζήτηση

Η μέση ποσότητα νερού άρδευσης, για τα τρία έτη της έρευνας, που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 414 mm. Οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής δέχτηκαν μέση ποσότητα νερού άρδευσης, για τα τρία έτη της έρευνας, ίση με 349 mm και 284 mm, αντίστοιχα.

Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 15,7%. Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 18,5%. Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης ποσότητας του νερού άρδευσης που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 31,3%.

Η μέση συνολική ποσότητα νερού, για τα τρία έτη της έρευνας, που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 478 mm. Οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, δέχτηκαν μέση συνολική ποσότητα νερού, για τα τρία έτη της έρευνας, ίση με 413 mm και 348 mm, αντίστοιχα.

Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 13,6%. Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 15,7%. Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 27,2%.

Η μέση ποσότητα του νερού άρδευσης, για τα έτη 2010-2011, που δέχτηκαν όλες οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, ήταν ίση με 429 mm. Η μέση ποσότητα του νερού άρδευσης, για τα έτη 2010-2011, που δέχτηκαν όλες οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ήταν ίση με 429,5 mm. Πρακτικά, η μέση ποσότητα του νερού άρδευσης και στις δυο περιπτώσεις ήταν η ίδια.

Η μέση συνολική ποσότητα του νερού, για τα έτη 2010-2011, που δέχτηκε η μεταχείριση ΒΑ ήταν ίση με 471 mm. Οι μεταχειρίσεις ΛΑ και ΜΑ, δέχτηκαν μέση συνολική ποσότητα νερού, για τα έτη 2010-2011, ίση με 469 mm και 467 mm, αντίστοιχα. Η μέση συνολική ποσότητα νερού, για τα έτη 2010-2011, που δέχτηκαν όλες οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, ήταν ίση με 469 mm. Αντίστοιχα, οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, τα έτη 2010-2011, δέχθηκαν μέση συνολική ποσότητα νερού ίση με 471,5 mm. Η ποσοστιαία διαφορά της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και της μέσης συνολικής ποσότητας του νερού που δέχτηκαν οι μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, ήταν ίση με 0,53%. Πρακτικά, η μέση συνολική ποσότητα νερού και στις δυο περιπτώσεις ήταν η ίδια.

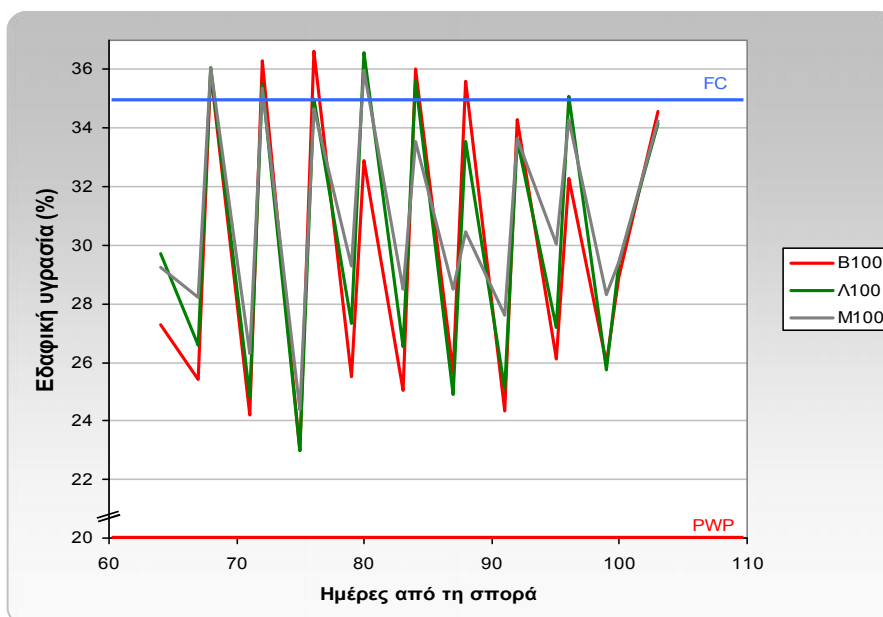
4.5 ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκε το φορητό σύστημα Diviner 2000, ενώ για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας χρησιμοποιήθηκε το σύστημα EnviroSCAN. Παρακάτω, παρουσιάζονται τα διαγράμματα της εδαφικής υγρασίας των δυο συστημάτων.

4.5.1 Διακύμανση της εδαφικής υγρασίας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 4.9, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 23-36 % κ.ο. και έβαινε ελαφρώς μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις B100 και Λ100 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε από 24-36% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση M100 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος, αλλά σε λίγο υψηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 4.9: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Στο Σχήμα 4.10, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

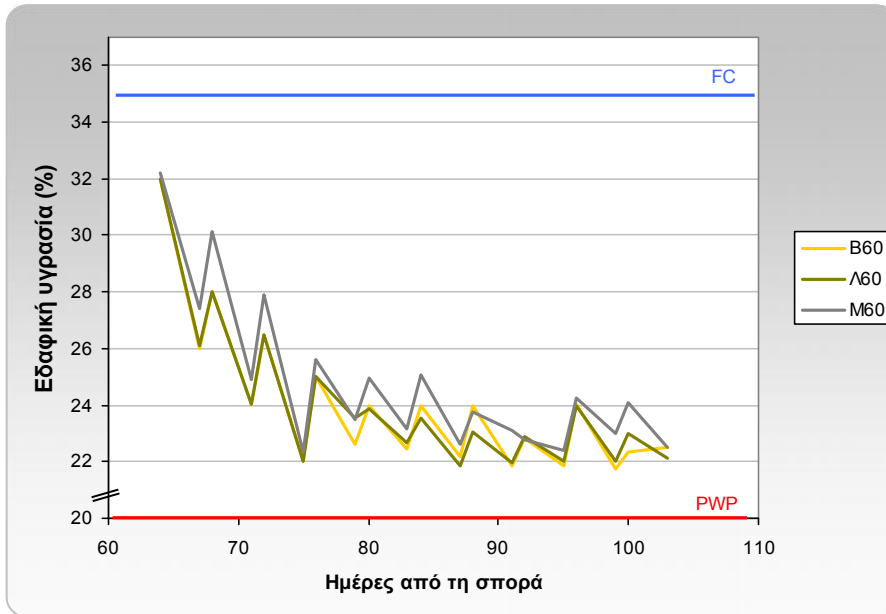


Σχήμα 4.10: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 24-32 % κ.ο. και έβαινε σταδιακά μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε από 24-28% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση M80 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος αλλά σε λίγο υψηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.

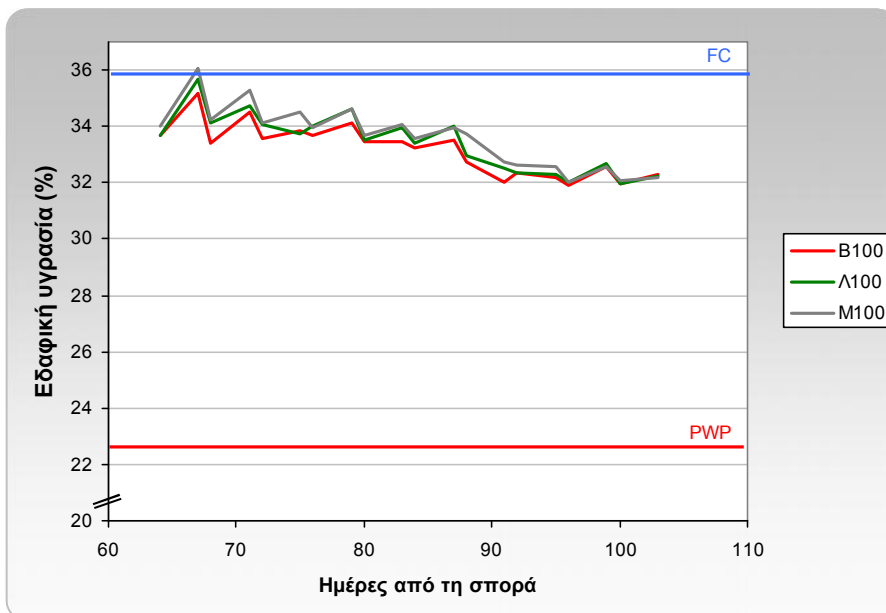
Στο Σχήμα 4.11, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 22-32 % κ.ο. και έβαινε σταδιακά μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε από 22-25% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση M60 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος αλλά σε λίγο υψηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.



Σχήμα 4.11: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

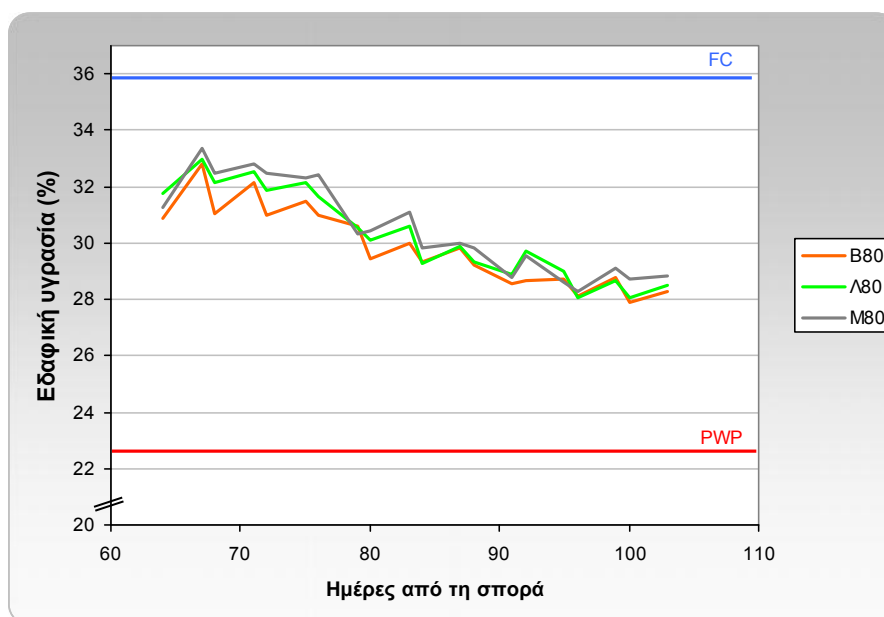
Στο Σχήμα 4.12, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.



Σχήμα 4.12: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 32-36 % κ.ο. και έβαινε ελαφρώς μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις Λ100 και Μ100 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε κυρίως από 32-35% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση Β100 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος αλλά σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις

Στο Σχήμα 4.13, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

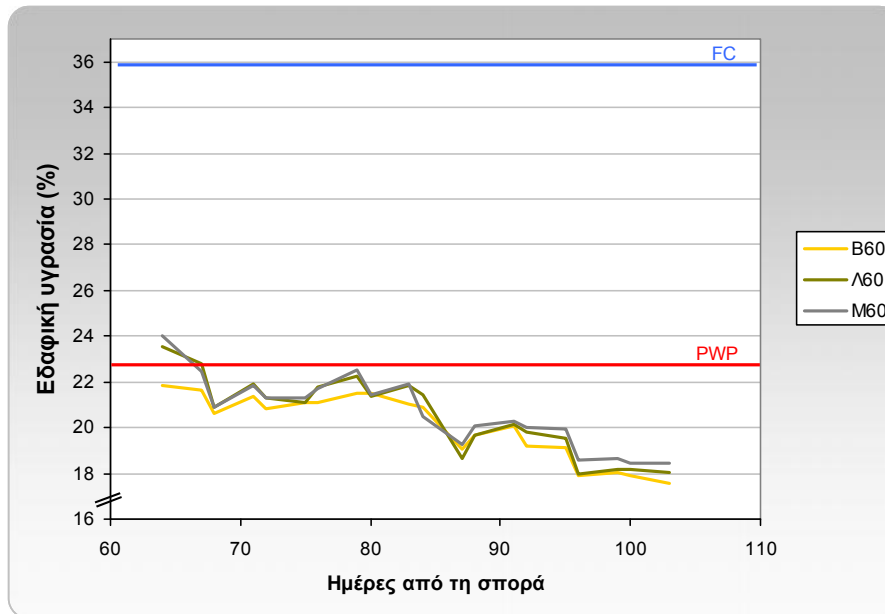


Σχήμα 4.13: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 28-33 % κ.ο. και έβαινε σταδιακά μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις Λ80 και Μ80 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε κυρίως από 28-32% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση Β80 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος αλλά σε λίγο χαμηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.

Στο Σχήμα 4.14, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm για τα έτη 2009-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 18-24 % κ.ο. και έβαινε σταδιακά μειούμενη κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ειδικότερα, στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 η μέση υγρασία του εδάφους ακολούθησε το ίδιο μοτίβο και κυμάνθηκε κυρίως από 18-23% κ.ο. Η μέση εδαφική υγρασία για τη μεταχείριση M60 φαίνεται να κυμάνθηκε στο ίδιο εύρος αλλά σε λίγο υψηλότερα επίπεδα από τις άλλες δυο μεταχειρίσεις.



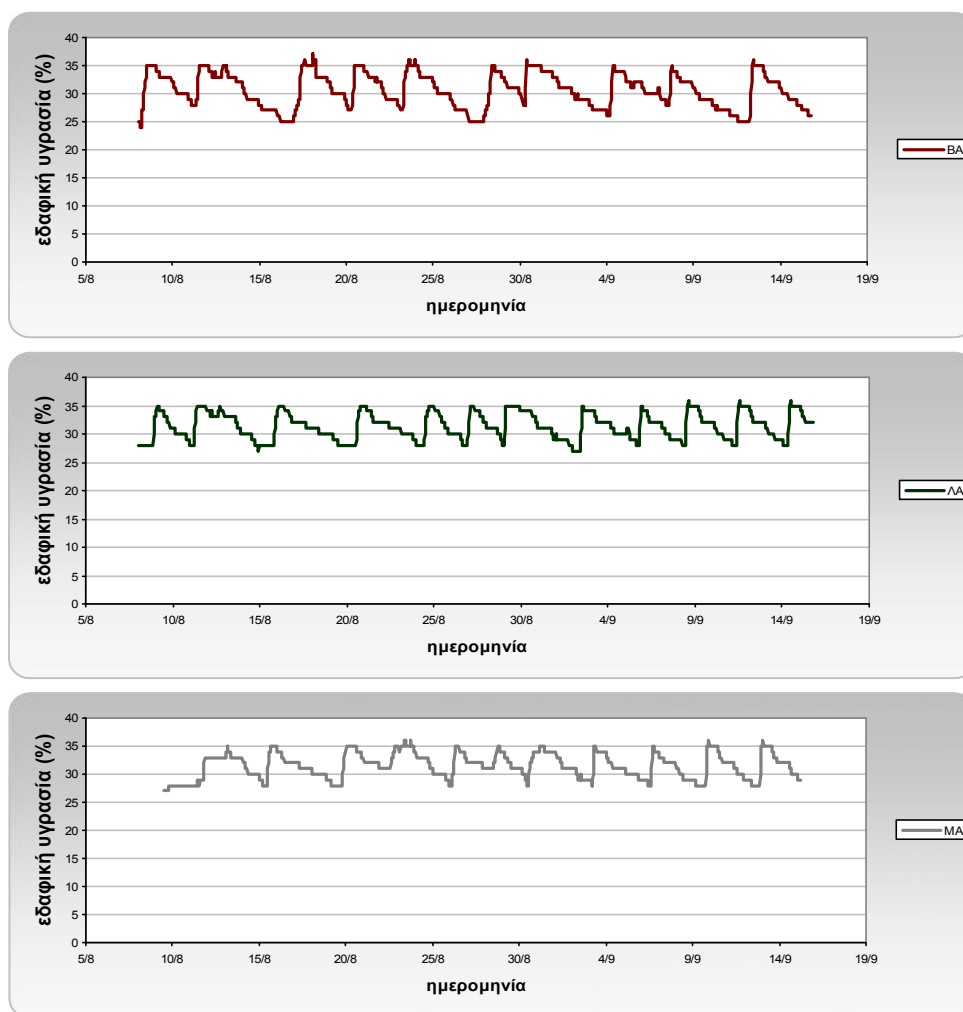
Σχήμα 4.14: Μέσοι όροι τριετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 30-60 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Αξίζει να σημειωθεί πως η μέση εδαφική υγρασία κυμάνθηκε κάτω από το σημείο μόνιμης μάρανσης (22,6% κ.ο.) μετά την 67^η ημέρα από τη σπορά και 38 ημέρες πριν τη συγκομιδή. Παρόλα αυτά, το σόργο θεωρείται ανθεκτικό φυτό σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας και μάλιστα χαρακτηρίζεται ως η καμήλα των καλλιεργειών. (Sanderson et al., 1992).

4.5.2 Διακύμανση εδαφικής υγρασίας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της υγρασίας του εδάφους

Στο Σχήμα 4.15, παρουσιάζεται η διακύμανση των τιμών της μέσης εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-70 cm για τα έτη 2010-2011, των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει της υγρασίας του εδάφους.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, η μέση υγρασία του εδάφους σε όλες τις μεταχειρίσεις κυμάνθηκε από 28-35 % κ.ο., όπως άλλωστε είχε οριστεί στο αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης.



Σχήμα 4.15: Μέσοι όροι διετίας της εδαφικής υγρασίας στο βάθος 0-70 cm, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της υγρασίας του εδάφους.

4.5.3 Συζήτηση

Η μέση εδαφική υγρασία κυμάνθηκε σε ικανοποιητικά επίπεδα και διατηρήθηκε πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης σε όλες τις μεταχειρίσεις που αρδεύονται με δόση άρδευσης ίση με το 100% και 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, τόσο στο βάθος 0-30 cm όσο και στο βάθος 30-60 cm. Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις που αρδεύονται με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, η μέση εδαφική υγρασία στο βάθος 0-30 cm διατηρήθηκε σε ικανοποιητικά αλλά οριακά επίπεδα. Στο βάθος 30-60 cm, η μέση εδαφική υγρασία διατηρήθηκε πάνω από το σημείο μόνιμης μάρανσης μέχρι και την 67^η ημέρα από τη σπορά. Παρόλα αυτά, το σόργο είναι ανθεκτικό φυτό σε συνθήκες έλλειψης υγρασίας.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει εδαφικής υγρασίας, η μέση υγρασία του εδάφους κυμάνθηκε ικανοποιητικά στα επίπεδα που είχαν οριστεί εξ αρχής.

4.6 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΣΤΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

4.6.1 Χημικές παράμετροι των βιοστερεών

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι τιμές των χημικών παραμέτρων των βιοστερεών, όπως προσδιορίστηκαν για κάθε έτος της έρευνας, πριν την εφαρμογή τους στον αγρό, καθώς και οι οριακές επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B/1991).

Πίνακας 4.5: Τιμές των χημικών παραμέτρων των βιοστερεών για κάθε έτος της έρευνας.

Παράμετρος	Έτος			Οριακές τιμές
	2009	2010	2011	
pH [†]	8,1	8,0	7,4	-
Αγωγιμότητα [*] (mS/cm)	5,61	4,66	7,22	-
Οργανική ουσία [‡] (% ξηρής ουσίας)	68,8	78,2	66,1	-
Ολικό Άζωτο [°] (mg/kg ξηρής ουσίας)	36665	42558	52172	-
Ολικός Φώσφορος [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	18255	16804	18795	-
Κάλιο [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	1553	1632	1846	-
Χαλκός [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	161	200	238	1750
Ψευδάργυρος [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	705	622	643	4000
Μόλυβδος [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	58,6	57,3	91,1	1200
Κάδμιο [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	1,8	1,7	2,4	40
Νικέλιο [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	41,2	31,5	52,4	400
Χρόμιο [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	180	59,2	106	1500
Αρσενικό [§] (mg/kg ξηρής ουσίας)	16,8	13,6	19,7	-
Υδράργυρος [°] (mg/kg ξηρής ουσίας)	3,2	2,6	2,5	25

[†] Αναλογία βιοστερεών – νερού 1:10

^{*} Νερό κορεσμού

[‡] Βαρυμετρική μέθοδος (αποτέφρωση)

[°] Μέθοδος Kjeldahl

[§] Φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος (ICP-AES)

[°] Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα βιοστερέα, για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία και μάλιστα πολύ χαμηλότερες από τις οριακές επιτρεπόμενες τιμές.

4.7 ΕΛΑΦΟΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσικών και χημικών αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα εδάφους που συγκεντρώθηκαν κατά τα τρία έτη της έρευνας.

4.7.1 Φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους

Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους δεν άλλαξε κατά τη διάρκεια της έρευνας σε όλες τις μεταχειρίσεις. Συγκεκριμένα, η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους για το βάθος 0-30 cm είχε μέση τιμή ίση με 1,31 ενώ για το βάθος 30-60 cm είχε μέση τιμή ίση με 1,29.

4.7.2 Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, στον αγρό προσδιοριζόταν η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα με υδατοπερατόμετρο τύπου Guelph (Reynolds, 1986), ενώ η υδατοϊκανότητα (field capacity) και το σημείο μόνιμης μάρανσης (permanent wilting point), σε δείγματα εδάφους, με τη συσκευή του Richards (1941). Ο προσδιορισμός γινόταν πριν και μετά το τέλος της κάθε καλλιεργητικής περιόδου. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι υδραυλικές παράμετροι του εδάφους παρέμειναν σταθερές κατά τη διάρκεια της έρευνας σε όλες τις μεταχειρίσεις. Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους.

Πίνακας 4.6: Υδραυλικές παράμετροι του εδάφους.

	Βάθος		Μ.Ο.
	0-30 cm	30-60 cm	
Υδατοϊκανότητα (%)	34,8	35,9	35
Σημείο μόνιμης μάρανσης (%)	19,9	22,6	21
Υγρασία κορεσμού (%)	51,3	51,6	51
Κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα (cm/h)	0,28	0,21	0,24
Διαθέσιμη υγρασία (%)	14,9	13,3	14

Οι παραπάνω τιμές των υδραυλικών παραμέτρων του εδάφους συνάδουν με τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν βάσει της υφής του εδάφους (Saxton et al., 1986).

4.7.3 Χημικές παράμετροι του εδάφους πριν την έναρξη της έρευνας

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους όπως προσδιορίστηκαν κατά το έτος 2009, πριν την έναρξη της έρευνας και την εφαρμογή των βιοστερεών, καθώς και οι οριακές επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων, όπως ορίζονται από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B'/1991). Όπως φαίνεται στον πίνακα, οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος πριν την έναρξη της έρευνας, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία.

Πίνακας 4.7: Τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους ανά βάθος, πριν την έναρξη της έρευνας.

Παράμετρος	Βάθος		Οριακές τιμές (ΦΕΚ 641B'/1991)
	0-30 cm	30-60 cm	
pH †	8,2	8,3	-
Αγωγιμότητα * (mS/cm)	0,36	0,35	-
Οργανική ουσία ‡ (% ξηρού εδάφους)	1,36	1,32	-
Ολικό Άζωτο ∂ (mg/kg ξηρού εδάφους)	1336	1526	-
Ολικός Φώσφορος § (mg/kg ξηρού εδάφους)	257	233	-
Κάλιο § (mg/kg ξηρού εδάφους)	215	200	-
Χαλκός § (mg/kg ξηρού εδάφους)	67,7	65,6	140
Ψευδάργυρος § (mg/kg ξηρού εδάφους)	57,5	56,9	300
Μόλυβδος § (mg/kg ξηρού εδάφους)	2,5	2,3	300
Κάδμιο § (mg/kg ξηρού εδάφους)	1,8	1,8	3
Νικέλιο § (mg/kg ξηρού εδάφους)	65	64	75
Χρόμιο § (mg/kg ξηρού εδάφους)	127	124	150
Αρσενικό § (mg/kg ξηρού εδάφους)	5,1	5,7	-
Υδράργυρος ° (mg/kg ξηρού εδάφους)	<0,1	<0,1	1,5

† Αναλογία εδάφους – νερού 1:2
* Νερό κορεσμού
‡ Υγρά οξείδωση
∂ Μέθοδος Kjeldahl
§ Φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος (ICP-AES)
° Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS)

4.7.4 Ποσότητες χημικών στοιχείων που εισήχθησαν στο έδαφος

Στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζονται οι ποσότητες των χημικών στοιχείων που εισήχθησαν με την εφαρμογή των βιοστερεών στο έδαφος για κάθε έτος και συνολικά, καθώς και οι οριακές επιτρεπόμενες ποσότητες εισαγωγής βαρέων μετάλλων ανά έτος (με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών), όπως αυτές ορίζονται από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B'/1991).

Πίνακας 4.8: Ποσότητες χημικών στοιχείων που εισάγονταν στο έδαφος ετησίως.

Παράμετρος	Έτος			Συνολική ποσότητα τριετίας	Οριακή ποσότητα εισαγωγής ανά έτος
	2009	2010	2011		
Άζωτο (kg/στρ.)	18,33	21,28	26,09	65,7	-
Φόσφορος (kg/στρ.)	9,13	8,40	9,39	26,92	-
Κάλιο (kg/στρ.)	0,78	0,82	0,92	2,52	-
Χαλκός (kg/στρ.)	0,08	0,10	0,12	0,30	1,2
Ψευδάργυρος (kg/στρ.)	0,35	0,31	0,32	0,98	3
Μόλυβδος (kg/στρ.)	0,029	0,029	0,046	0,104	1,5
Κάδμιο (kg/στρ.)	0,0009	0,0009	0,0012	0,0030	0,015
Νικέλιο (kg/στρ.)	0,021	0,016	0,026	0,063	0,3
Χρόμιο (kg/στρ.)	0,09	0,03	0,05	0,17	0,3
Αρσενικό (kg/στρ.)	0,008	0,007	0,009	0,024	-
Υδράργυρος (kg/στρ.)	0,0016	0,0013	0,0013	0,0042	0,01

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που εισάγονταν στο έδαφος ετησίως και οι ποσότητες που εισήχθησαν συνολικά, για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν κατά πολύ χαμηλότερες από τις οριακές ποσότητες που επιτρέπονται να εισάγονται ετησίως (με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών) από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B'/1991).

4.7.5 Χημικές παράμετροι του εδάφους μετά την λήξη της έρευνας

Στον Πίνακα 4.9 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους όπως προσδιορίστηκαν κατά το έτος 2011, μετά τη λήξη της έρευνας, καθώς και οι οριακές επιτρεπόμενες τιμές συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων (ΦΕΚ 641B'/1991).

Πίνακας 4.9: Τιμές των χημικών παραμέτρων του εδάφους ανά βάθος και ανά μεταχείριση, μετά τη λήξη της έρευνας.

Παράμετρος	Μεταχείριση						Οριακές τιμές
	Βιοστερεά		Λίπασμα		Μάρτυρας		
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm	
Βάθος							
pH[†]	8,0	8,1	8,2	8,3	8,2	8,3	-
Αγωγιμότητα[*] (mS/cm)	0,71	0,52	0,47	0,36	0,36	0,35	-
Οργανική ουσία[‡] (% ξηρού εδάφους)	1,56	1,37	1,5	1,36	1,36	1,32	-
Ολικό Άζωτο^ο (mg/kg ξηρού εδάφους)	893	1115	980	1150	1204	1174	-
Ολικός Φόσφορος[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	272	234	254	214	243	183	-
Κάλιο[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	156	208	149	164	134	136	-
Χαλκός[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	60,0	58,0	57,2	58,1	60,7	57,1	140
Ψευδάργυρος[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	55,6	50,3	55,5	54	57,6	56,3	300
Μόλυβδος[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	3	2,4	2,4	2,2	2,8	2,3	300
Κάδμιο[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	3
Νικέλιο[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	62	64	63	68	67	64	75
Χρόμιο[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	121	128	124	126	127	125	150
Αρσενικό[§] (mg/kg ξηρού εδάφους)	5,6	5,7	5,1	5,9	5,1	5,7	-
Υδράργυρος^ο (mg/kg ξηρού εδάφους)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,5

† Αναλογία εδάφους – νερού 1:2

* Νερό κορεσμού

‡ Υγρά οξείδωση

ο Μέθοδος Kjeldahl

§ Φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος (ICP-AES)

ο Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης (AAS)

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος μετά τη λήξη της έρευνας, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία, σε όλες τις μεταχειρίσεις (ΦΕΚ 641B/1991).

4.7.6 Συζήτηση

Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στα βιοστερεά, για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία και μάλιστα κατά πολύ χαμηλότερες από τις οριακές επιτρεπόμενες τιμές. Η περιεκτικότητα των βιοστερεών σε άζωτο και φώσφορο κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας του γλυκού σόργου, ενώ η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν σχετικά μικρή. Οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στο έδαφος πριν την έναρξη της έρευνας και μετά το πέρας αυτής, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B'/1991).

Οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που εισάγονταν στο έδαφος ετησίως αλλά και που εισήχθησαν συνολικά, για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν κατά πολύ χαμηλότερες από τις οριακές ποσότητες που επιτρέπεται να εισάγονται ετησίως (με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών) από τη νομοθεσία (ΦΕΚ 641B'/1991). Ειδικότερα, η μεγαλύτερη ποσότητα βαρέων μετάλλων που εισήχθη, συνολικά, στο έδαφος αφορούσε τον ψευδάργυρο (0,98kg/στρ.) ενώ ακολουθούσε ο χαλκός (0,30 kg/στρ.) και το χρώμιο (0,17 kg/στρ.).

Η εφαρμογή των βιοστερεών στο έδαφος δεν επηρέασε τις υδραυλικές παραμέτρους του, οι οποίες παρέμειναν σταθερές κατά τη διάρκεια της έρευνας. Σύμφωνα με μελέτες, απαιτούνται μεγάλες ποσότητες βιοστερεών (π.χ. 30000kg/στρ.) ώστε να παρατηρηθεί διαφορά στις υδραυλικές παραμέτρους του εδάφους (Pagliai & Antisari, 1993).

Στις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν βιοστερεά, παρατηρήθηκαν μερικές μικρές διαφορές μεταξύ των χημικών παραμέτρων του εδάφους πριν την εφαρμογή βιοστερεών και μετά το τέλος της έρευνας. Συγκεκριμένα, το pH του εδάφους, στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν τα βιοστερεά, φαίνεται να μειώθηκε κατά 0,2 μονάδες τόσο στο βάθος 0-30 cm όσο και στο βάθος 30-60 cm. Η αγωγιμότητα του εδάφους, στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν τα βιοστερεά, φαίνεται να αυξήθηκε κατά 0,35 mS/cm και 0,17 mS/cm στα βάρη 0-30 cm και 30-60 cm, αντίστοιχα. Αύξηση κατά 0,11 mS/cm φαίνεται να υπάρχει επίσης και στο βάθος 0-30 cm, στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκε ανόργανη λίπανση. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε ολικό φώσφορο φαίνεται να αυξήθηκε, στις μεταχειρίσεις των βιοστερεών, στο βάθος 0-30 cm. Όσον αφορά τα βάρη μέταλλα η περιεκτικότητα του εδάφους σε μόλυβδο και αρσενικό φαίνεται να αυξήθηκε περίπου κατά μισή μονάδα.

Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί σε σχετικές έρευνες. Για παράδειγμα οι Shaheen & Tsadilas (2013) σε έρευνά τους στη Λάρισα βρήκαν πως η εφαρμογή βιοστερεών αύξησε την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και μείωσε το pH, ενώ στην ίδια έρευνα αναφέρεται πως ο Tsadilas έχει βρει σε έρευνά του πως αυξάνεται παράλληλα και η οργανική ουσία του εδάφους.

4.8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

4.8.1 Κόστος ανόργανης λίπανσης

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, το ανόργανο λίπασμα που εφαρμοζόταν κάθε χρόνο περιείχε την ίδια ποσότητα αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) με τα βιοστερεά (βάσει των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων των βιοστερεών). Η ποσότητα του ανόργανου λιπάσματος που εφαρμόστηκε στο έδαφος κατά μέσο όρο, για τα τρία έτη, ήταν ίση με 21,9 kg αζώτου ανά στρέμμα, 8,97 kg φωσφόρου ανά στρέμμα και 0,84 kg καλίου ανά στρέμμα.

Το μέσο κόστος του ανόργανου λιπάσματος για τα έτη 2009-2011, βάσει των ανωτέρω απαιτούμενων ποσοτήτων, διαμορφώθηκε στα 46 ευρώ ανά στρέμμα.

4.8.2 Κόστος παραγωγής βιοστερεών

Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, η αφυδάτωση της λυματολάσπης με τον συγκεκριμένο επεξεργαστή απαιτεί ενέργεια και συγκεκριμένα ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του επεξεργαστή έχει υπολογιστεί γύρω στο 1 kW ανά ώρα. Ειδικότερα, για την απομάκρυνση 1 kg νερού απαιτούνται 667 W και για ένα 1 τόνο νερού απαιτούνται 667 kW ενέργειας.

Το μέσο κόστος λειτουργίας του συγκεκριμένου επεξεργαστή, για τα έτη 2009-2011, βάσει της απαιτούμενης ποσότητας των 500kg βιοστερεών ανά στρέμμα, διαμορφώθηκε στα 45,75 ευρώ ανά στρέμμα.

4.8.3 Συζήτηση

Δεδομένων των ποσοτήτων των βιοστερεών και των ανόργανων λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα καθώς και των τιμών κοστολόγησής τους για την τριετία που διήρκεσε η έρευνα, συμπεραίνουμε πως το κόστος εφαρμογής των βιοστερεών ήταν ίδιο με αυτό της ανόργανης λίπανσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΎΨΟΥΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν το ύψος των φυτών και τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

5.2 ΎΨΟΣ ΦΥΤΩΝ

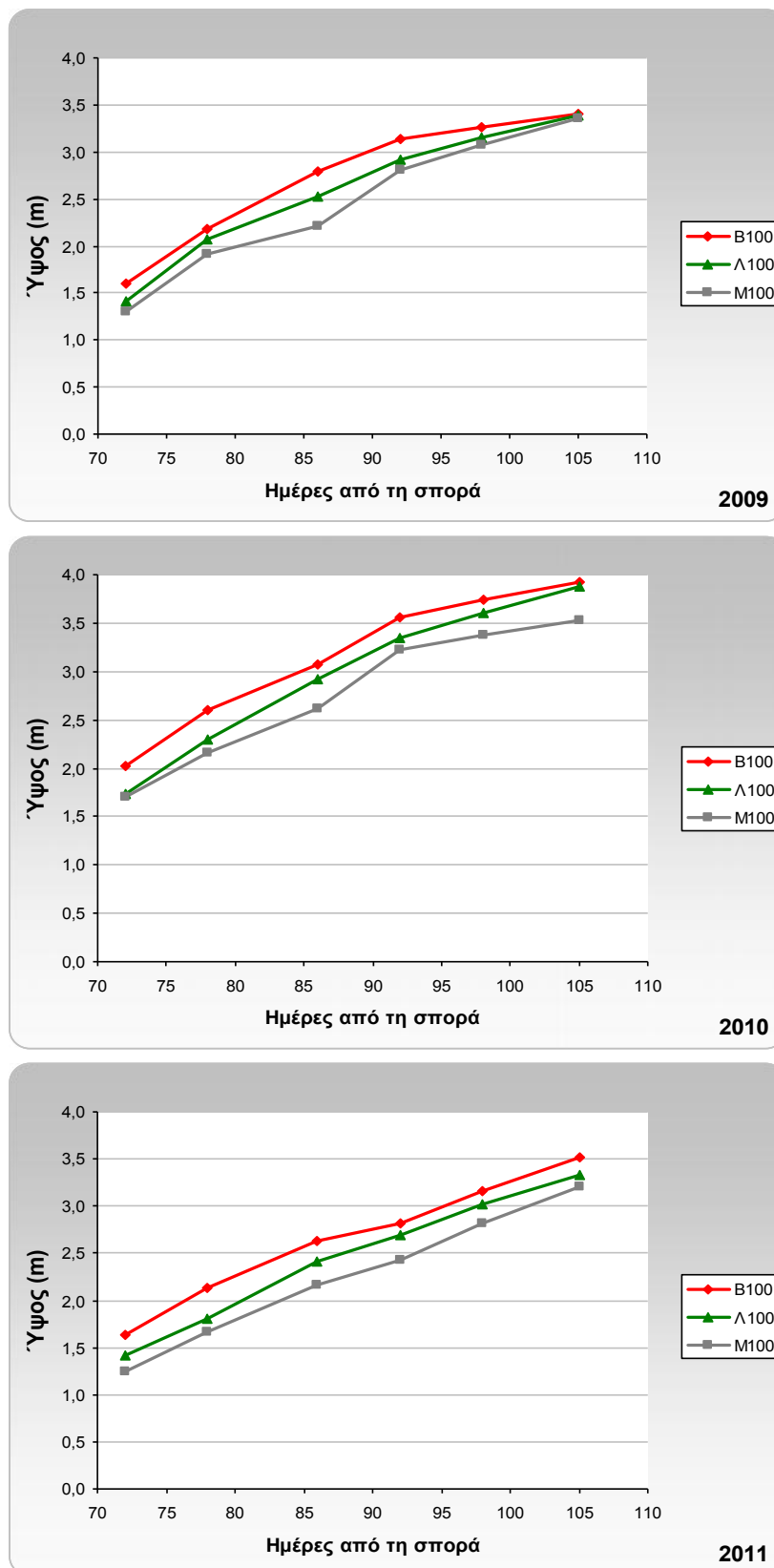
5.2.1 Γενικά

Παρακάτω, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών του γλυκού σόργου στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ανά καλλιεργητική περίοδο κάθε έτους. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών τις τελευταίες εβδομάδες έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας, για κάθε ομάδα μεταχειρίσεων, βάσει της δόσης άρδευσης. Από την σπορά της καλλιέργειας έως και την 60^η περίπου ημέρα από τη σπορά δεν παρουσιάστηκε κάποια διαφοροποίηση του ύψους των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις και αυτό διότι δεν είχε διαφοροποιηθεί η άρδευσή τους. Η διαφοροποίηση άρχισε να είναι εμφανής από τη δέκατη εβδομάδα από τη σπορά. Τέλος, η συγκομιδή γινόταν όταν τα φυτά του γλυκού σόργου βρίσκονταν στο έβδομο στάδιο ανάπτυξης (soft-dough) κατά τον Vanderlip (1993).

5.2.2 Ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 5.1, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.



Σχήμα 5.1: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση Λ100 και να ισούται με 0,11 m/d. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B100 και M100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,10 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση B100 και να ισούται με 0,02 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,03 m/d και η μεταχείριση M100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε για τις μεταχειρίσεις B100 και Λ100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου, ενώ στη μεταχείριση M100 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις B100 και M100 και ήταν ίσος με 0,1 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,09 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση M100 και να ισούται με 0,02 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,03 m/d και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B100 και M100, ενώ στη μεταχείριση Λ100 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στη μεταχείριση B100 με ήταν ίσος με 0,09 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,08 m/d και η μεταχείριση M100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,07 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης να καταγράφεται στη μεταχείριση B100 και ήταν ίσος με 0,03 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,05 m/d.

5.2.3 Ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 5.2, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

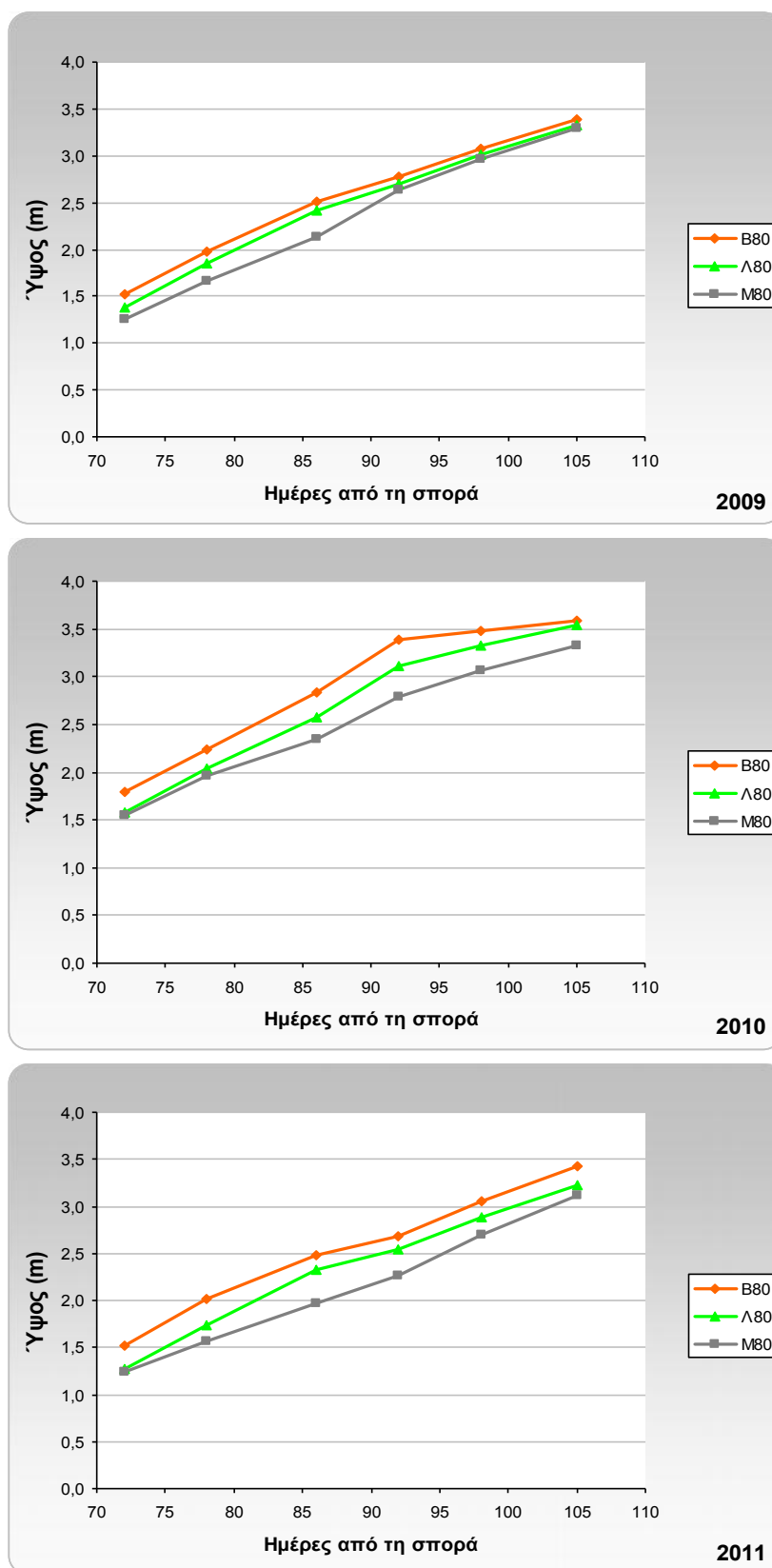
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση M80 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις Λ80 και M80 και ήταν ίσος με 0,08 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση B80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,07 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80 και να ισούται με 0,04 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση M80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,05 m/d.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80 και να ισούται με 0,09 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση M80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,08 m/d.



Σχήμα 5.2: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση B80 και να ισούται με 0,01 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,03 m/d και η μεταχείριση M80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου για τις μεταχειρίσεις B80 και Λ80 ενώ για τη μεταχείριση M80 κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80 και ήταν ίσος με 0,08 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση M80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,07 m/d.

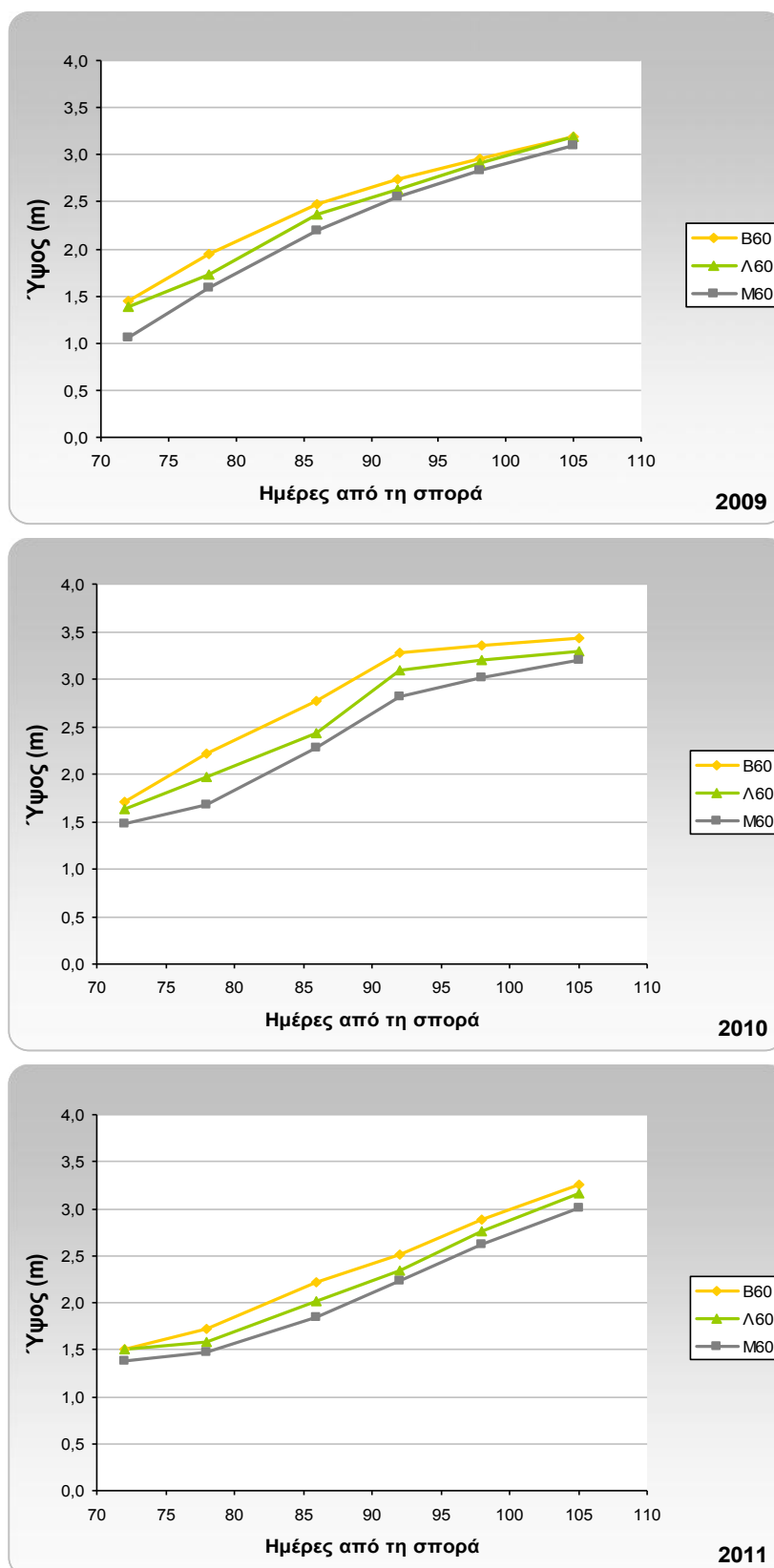
Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση B80 και να ισούται με 0,03 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d και η μεταχείριση M80 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,05 m/d.

5.2.4 Ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 5.3, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B60 και M60, ενώ στη μεταχείριση Λ60 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις B60 και M60 και ήταν ίσος με 0,09 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,08 m/d.



Σχήμα 5.3: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις Β60, Λ60 και Μ60, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 0,03 m/d. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις M60 και Λ60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου για τη μεταχείριση B60 ενώ για τις μεταχειρίσεις Λ60 και M60 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης καταγράφηκε στη μεταχείριση Λ60 και ήταν ίσος με 0,11 m/d. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις Λ60 και M60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,09 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 και να ισούται με 0,01 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,03 m/d.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις Λ60 και M60 και να ισούται με 0,07 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση B60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,06 m/d.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις Λ60 και M60 και να ισούται με 0,01 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση B60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d.

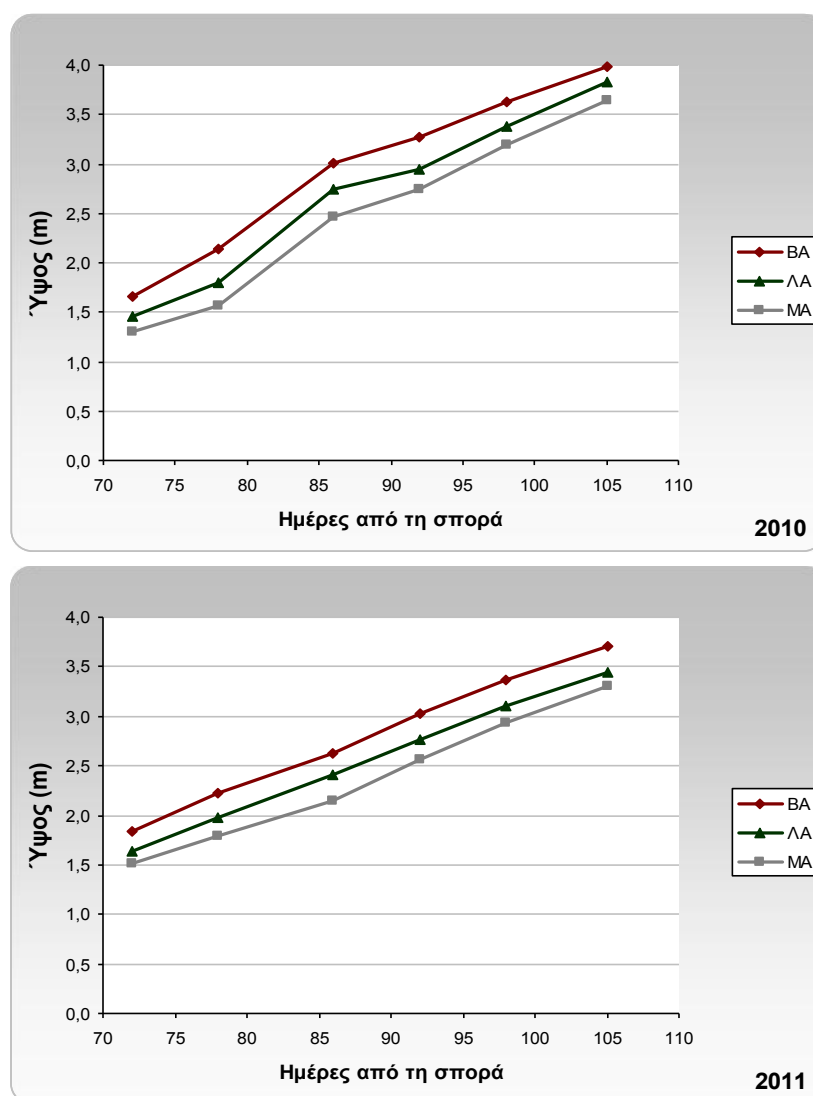
5.2.5 Ύψος των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 5.4, παρουσιάζεται η εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης που κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας και

καθοριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας όπως αυτή προσδιοριζόταν από αισθητήρα υγρασίας εδάφους, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ. Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση ΛΑ και να ισούται με 0,12 m/d. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις ΒΑ και ΜΑ με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,11 m/d.



Σχήμα 5.4: Εξέλιξη του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις ΒΑ, ΛΑ και ΜΑ, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση ΛΑ και να ισούται με 0,03 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση ΒΑ με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,04 m/d και η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,05 m/d.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, το υψηλότερο μέσο ύψος των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ. Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις ΒΑ και ΜΑ και να ισούται με 0,07 m/d. Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,06 m/d.

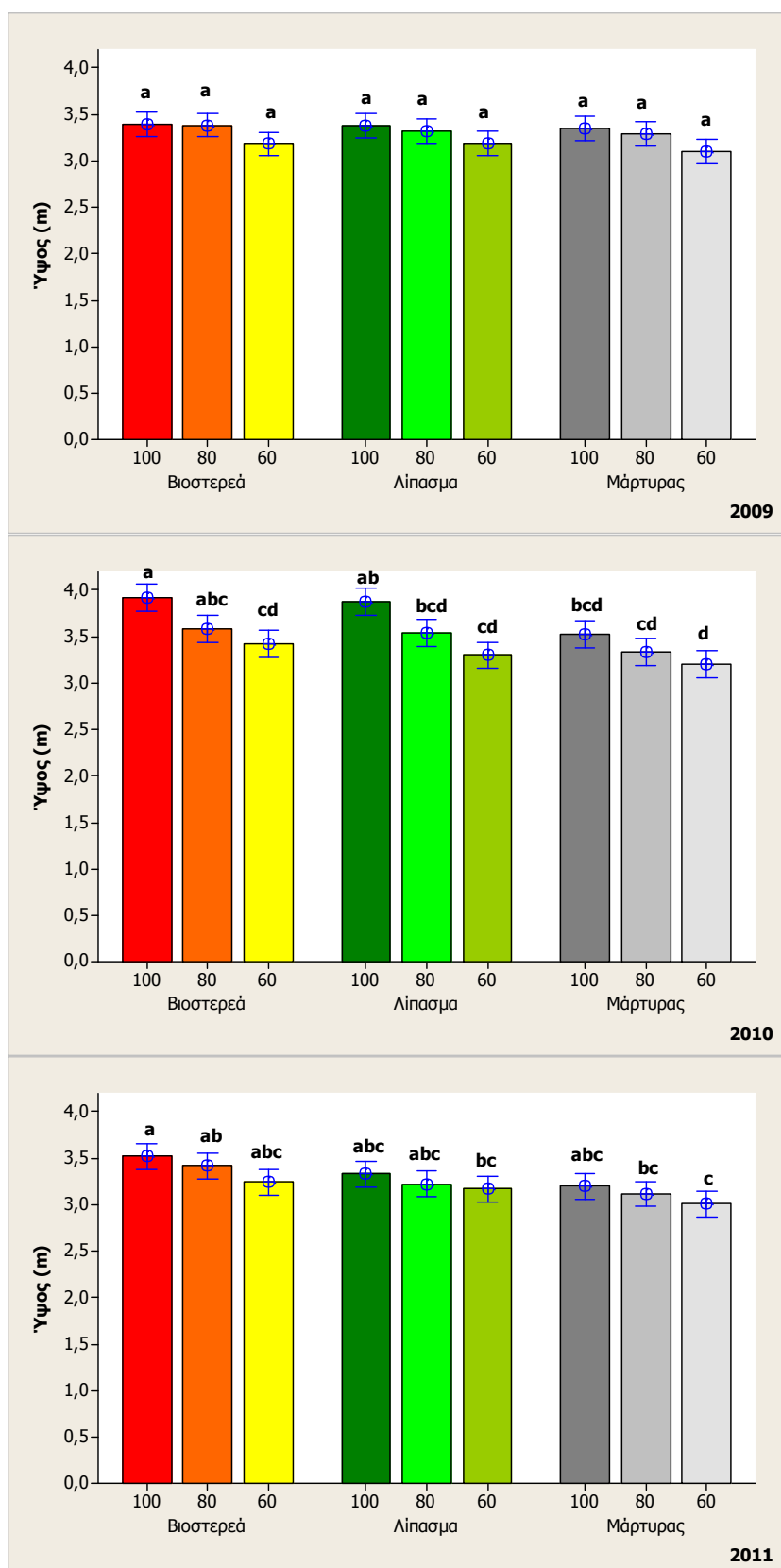
Ο χαμηλότερος ρυθμός ανάπτυξης του ύψους των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό ανάπτυξης να καταγράφεται στη μεταχείριση ΜΑ και να ισούται με 0,04 m/d. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις ΒΑ και ΛΑ με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με 0,05 m/d.

5.2.6 Διακύμανση του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 5.5, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, για κάθε έτος, κατά τη συγκομιδή.

Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 5.5: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%) ως προς το ύψος των φυτών ανάμεσα σε όλες τις μεταχειρίσεις.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100, Λ100 και B80.
- β) Λ100, B80, Λ80 και M100.
- γ) B80, Λ80, M100, B60, M80 και Λ60.
- δ) Λ80, M100, B60, M80, Λ60 και M60.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100, B80, Λ100, B60, Λ80 και M100.
- β) B80, Λ100, B60, Λ80, M100, Λ60 και M80.
- γ) Λ100, B60, Λ80, M100, Λ60, M80 και M60.

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 5.1: Ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	2,68	0,045
	Ομάδες	2	0,01	0,986
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	12,49	0,000
	Ομάδες	2	0,95	0,407
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	5,27	0,002
	Ομάδες	2	0,50	0,614
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ύψους των φυτών, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 5.2: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Ύψος φυτών (m)	
B100	3,61 ±0,25	A
Λ100	3,53 ±0,28	AB
B80	3,46 ±0,14	ABC
Λ80	3,36 ±0,18	BCD
M100	3,36 ±0,18	BCD
B60	3,28 ±0,14	CDE
M80	3,25 ±0,15	DE
Λ60	3,22 ±0,10	DE
M60	3,10 ±0,12	E

5.2.7 Διακύμανση του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

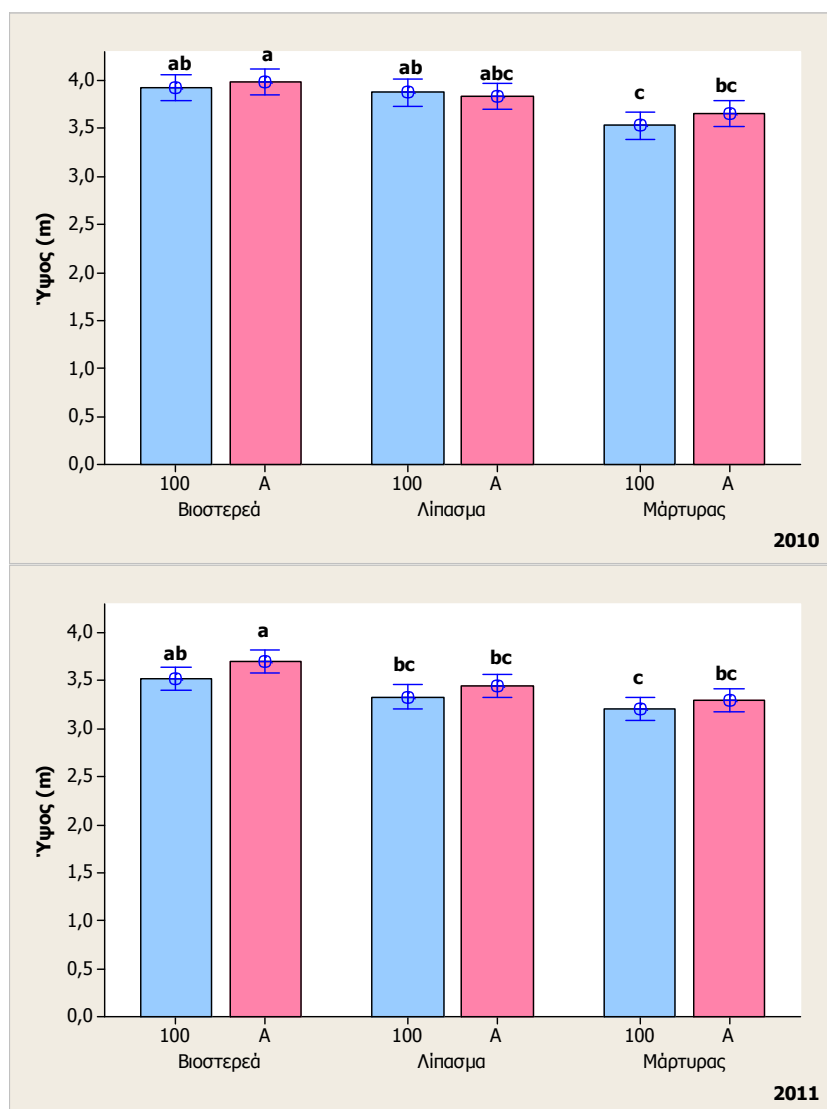
Στο Σχήμα 5.6, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών του ύψους των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, για κάθε έτος, κατά τη συγκομιδή. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου του ύψους των φυτών της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100 και BA.
- β) BA, ΛA και Λ100.
- γ) M100 και MA.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) BA και B100.
- β) B100, ΛA, Λ100 και MA.
- γ) ΛA, Λ100, MA και M100.



Σχήμα 5.6: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 5.3: Ανάλυση της διακύμανσης για το ύψος των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	7,09	0,004
	Ομάδες	2	0,53	0,603
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	11,85	0,001
	Ομάδες	2	1,93	0,195
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του ύψους των φυτών, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 5.4: Μέσοι όροι του ύψους των φυτών για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διετίας		
Μεταχείριση	Ύψος φυτών (m)	
BA	3,85 ±0,18	A
B100	3,72 ±0,23	AB
ΛA	3,64 ±0,23	BC
Λ100	3,60 ±0,30	BC
MA	3,48 ±0,22	CD
M100	3,37 ±0,21	D

5.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέση τιμή του ύψους των φυτών του γλυκού σόργου, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από 3,10 ±0,12 m έως 3,61 ±0,25 m, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του ύψους των φυτών (3,61 ±0,25 m) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Το αποτέλεσμα ως προς το ύψος των φυτών ήταν το ίδιο, είτε η καλλιέργεια αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, είτε με το 100%. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Αντίστοιχα, το αποτέλεσμα ως προς το ύψος των φυτών ήταν το ίδιο, είτε η καλλιέργεια αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, είτε με το 80%. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο ύψος των φυτών με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο ύψος των φυτών με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο ύψος των φυτών με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο ύψος των φυτών με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή του ύψους των φυτών του γλυκού σόργου κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $3,48 \pm 0,22$ m έως $3,85 \pm 0,18$ m, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του ύψους των φυτών ($3,85 \pm 0,18$ m) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς το ύψος των φυτών.

Παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά στο ύψος των φυτών του γλυκού σόργου έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Βορειοδυτική Κίνα, το ύψος των φυτών του γλυκού σόργου της ποικιλίας Rio έφτασε τα 3,28 m (Fan et al., 2013). Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην Αίγυπτο και αφορούσε την ποικιλία γλυκού σόργου Honey, το ύψος των φυτών έφτασε τα 3,08 m (Abd El-Lattief, 2011). Στο Piedmond των ΗΠΑ, σε καλλιέργεια ποικιλίας σόργου, το ύψος των φυτών έφτασε τα 3-4 m (Rains & Cundiff, 1993). Οι ερευνητές Calviño & Messing (2012) αναφέρουν πως το ύψος στα διάφορα υβρίδια του σόργου καθορίζεται από το γενετικό τους υλικό και πως οι ποικιλίες σόργου φθάνουν σε ύψος που κυμαίνεται από 0,6 m έως και πάνω από 3 m. Οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν πως η ποικιλία του γλυκού σόργου Keller, ξεπερνά το ύψος των 3,5 m ενώ στην ίδια έρευνα αναφέρονται παρόμοια αποτελέσματα άλλων ερευνητών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΚΤΗ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

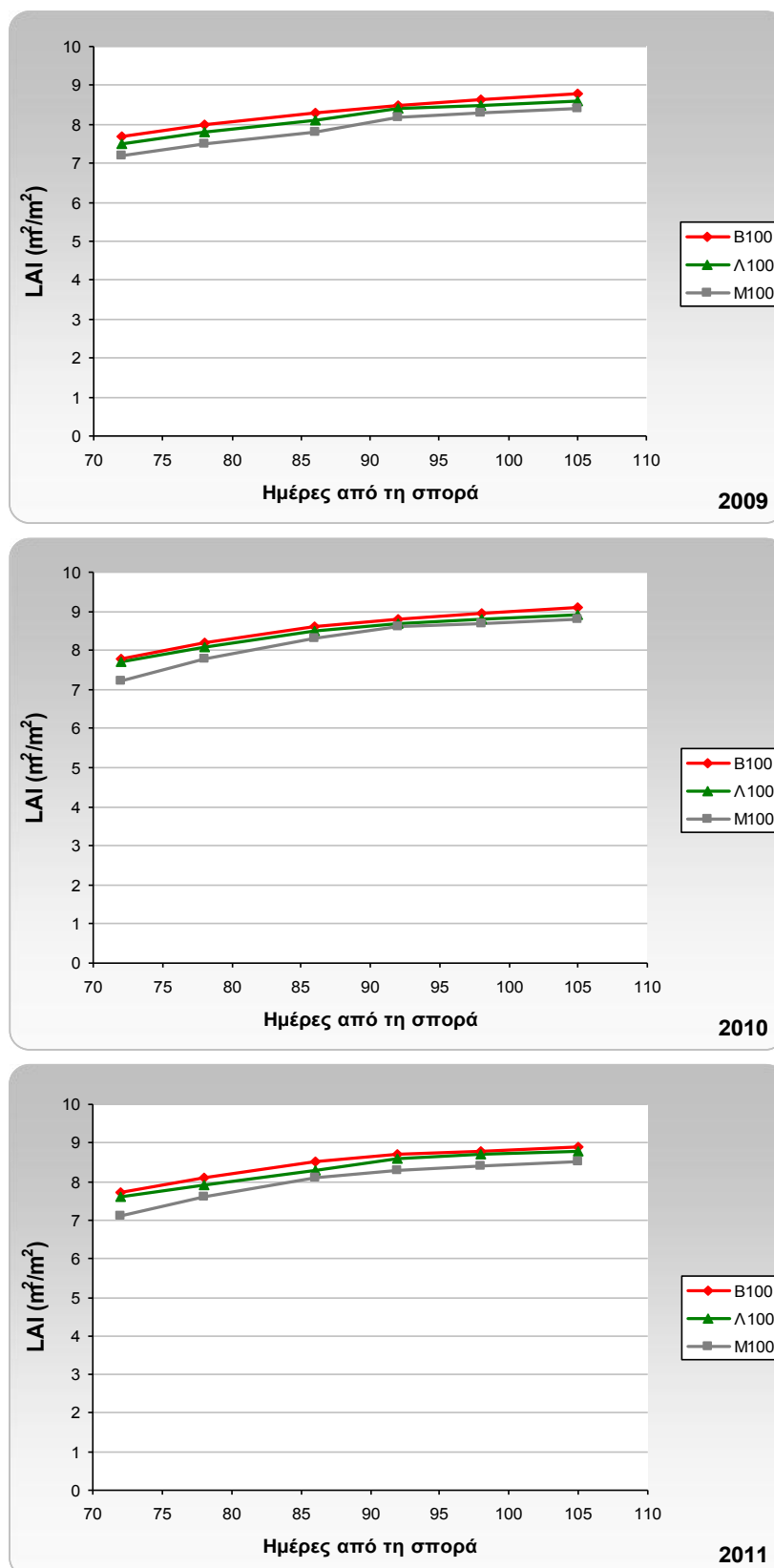
6.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΦΥΛΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Παρακάτω, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ανά καλλιεργητική περίοδο κάθε έτους. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας τις τελευταίες εβδομάδες έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας, για κάθε ομάδα μεταχειρίσεων, βάσει της δόσης άρδευσης. Από την σπορά της καλλιέργειας έως και την 60^η περίπου ημέρα από τη σπορά δεν παρουσιάστηκε κάποια διαφοροποίηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ανάμεσα στις μεταχειρίσεις και αυτό διότι δεν είχε διαφοροποιηθεί η άρδυσή τους. Η διαφοροποίηση άρχισε να είναι εμφανής από τη δέκατη εβδομάδα από τη σπορά. Τέλος, η συγκομιδή γινόταν όταν τα φυτά του γλυκού σόργου βρίσκονταν στο έβδομο στάδιο ανάπτυξης (soft-dough) κατά τον Vanderlip (1993).

6.2.1 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 6.1, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση Μ100.



Σχήμα 6.1: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B100 και Λ100, ενώ στη μεταχείριση M100 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI καταγράφηκε στη μεταχείριση M100 και ήταν ίσος με $0,07 \text{ m}^2/\text{m}^2\cdot\text{d}$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B100 και Λ100 με ρυθμό αύξησης του LAI ίσο με $0,05 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις Λ100 και M100 και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση M100 και να ισούται με $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B100 και Λ100 με ρυθμό αύξησης του LAI ίσο με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις Λ100 και M100 και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση M100 και να ισούται με $0,08 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,05 \text{ m}^2/(\text{m}^2\cdot\text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται σε όλες τις μεταχειρίσεις και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

6.2.2 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 6.2, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

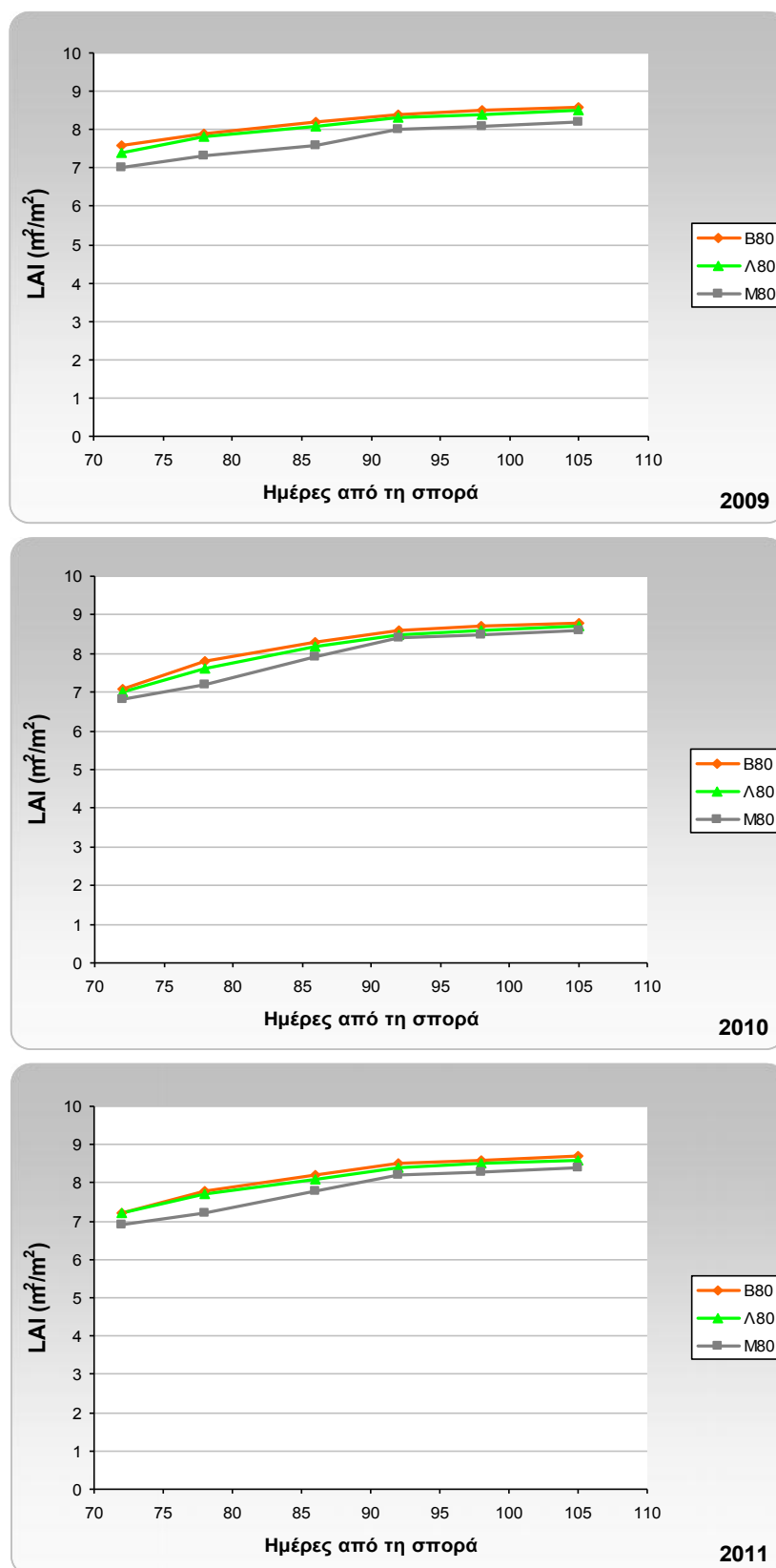
Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση Μ80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση Λ80 και να ισούται με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B80 και Μ80 με ρυθμό αύξησης του LAI ίσο με $0,05 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται σε όλες τις μεταχειρίσεις και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση Μ80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση Μ80 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI καταγράφηκε στη μεταχείριση B80 και ήταν ίσος με $0,12 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ και η μεταχείριση Μ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,09 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.



Σχήμα 6.2: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται σε όλες τις μεταχειρίσεις και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση Μ80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση Μ80 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI καταγράφηκε στη μεταχείριση B80 και ήταν ίσος με $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις Λ80 και Μ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,08 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται σε όλες τις μεταχειρίσεις και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

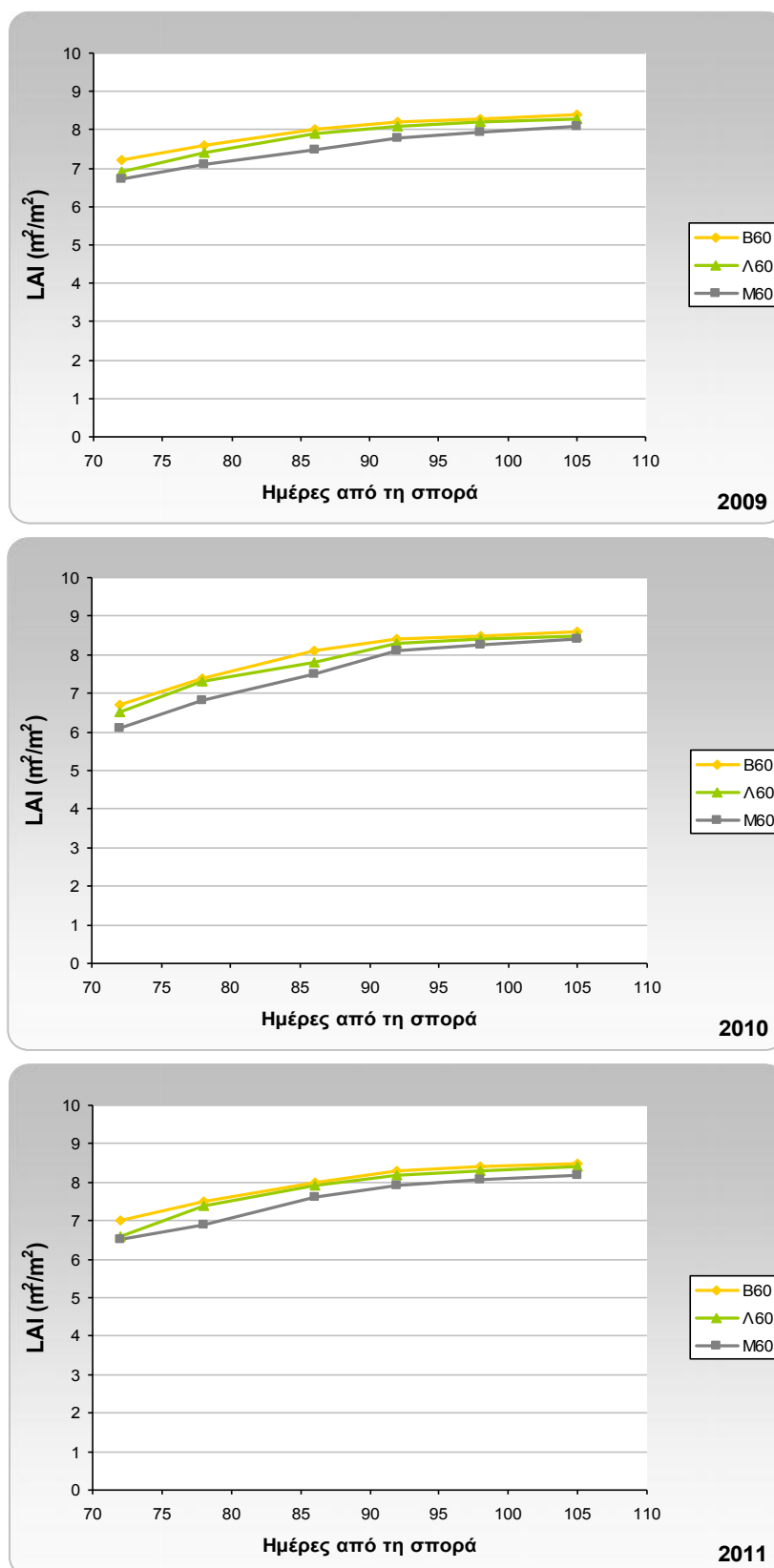
6.2.3 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 6.3, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009-2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση Μ60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση Λ60 και να ισούται με $0,08 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B60 και Μ60 με ρυθμό αύξησης του LAI ίσο με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε οι η μεταχείριση Μ60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.



Σχήμα 6.3: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση Λ60 και να ισούται με $0,13 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις B60 και M60 με ρυθμό αύξησης του LAI ίσο με $0,12 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό ανάπτυξης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60, ενώ στη μεταχείριση M60 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI καταγράφηκε στη μεταχείριση Λ60 και ήταν ίσος με $0,13 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,09 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ και η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,08 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

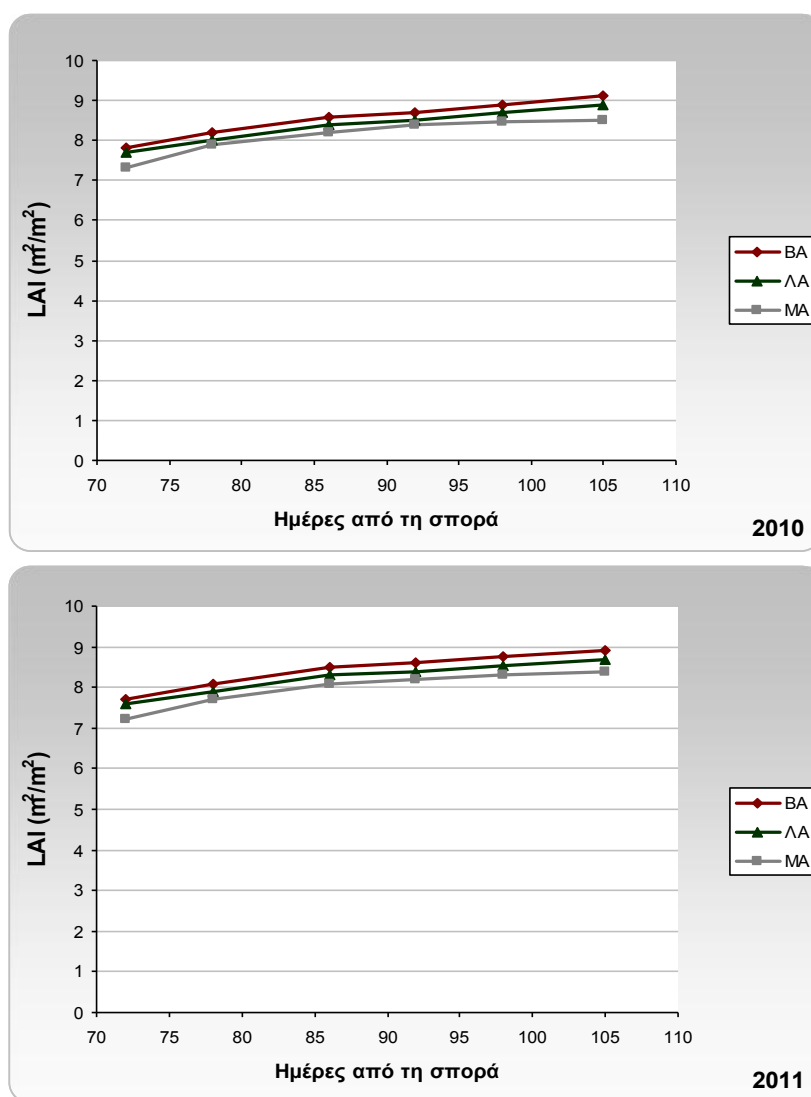
Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60 και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

6.2.4 Δείκτης φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 6.4, παρουσιάζεται η εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης που κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας και καθοριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας, όπως αυτή προσδιοριζόταν από αισθητήρα υγρασίας εδάφους, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2010 και 2011.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση BA παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση BA, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση ΜΑ και να ισούται με $0,1 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση BA με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,05 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.



Σχήμα 6.4: Εξέλιξη του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις BA, ΛΑ και ΜΑ, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις ΒΑ και ΛΑ, ενώ στη μεταχείριση ΜΑ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI καταγράφηκε στη μεταχείριση ΜΑ και ήταν ίσος με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις ΒΑ και ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή του LAI παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση ΜΑ και να ισούται με $0,08 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσε η μεταχείριση ΒΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,07 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,05 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

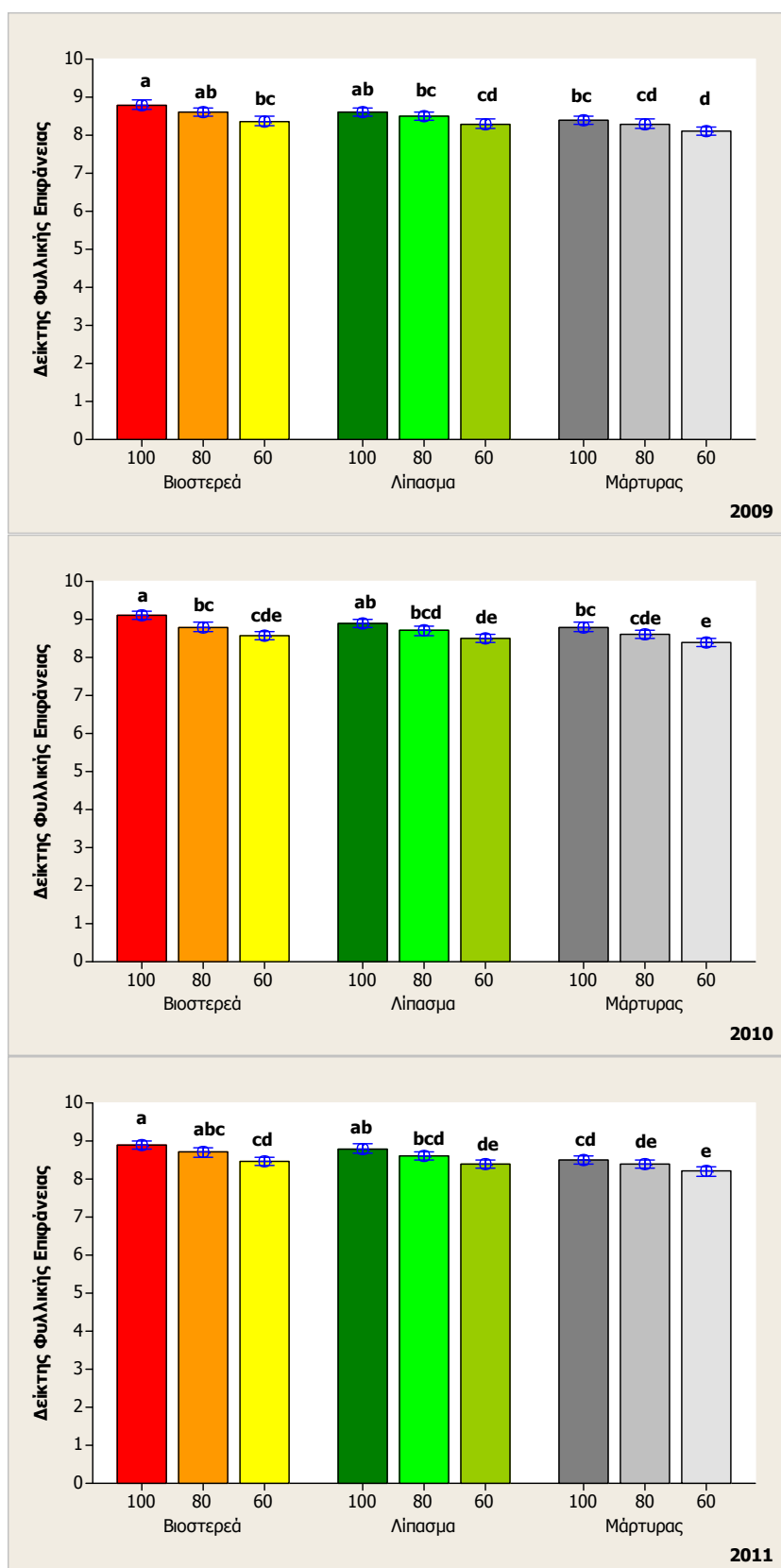
Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης του LAI, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό να καταγράφεται στη μεταχείριση ΜΑ και να ισούται με $0,01 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$. Ακολουθούσαν οι μεταχειρίσεις ΒΑ και ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με $0,02 \text{ m}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

6.2.5 Διακύμανση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 6.5, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 6.5: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100, Λ100 και Β80.
- β) Λ100, Β80, Λ80, Μ100 και Β60.
- γ) Λ80, Μ100, Β60, Μ80 και Λ60.
- δ) Μ80, Λ60 και Μ60.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100 και Λ100.
- β) Λ100, Μ100, Β80 και Λ80.
- γ) Μ100, Β80, Λ80, Μ80 και Β60.
- δ) Λ80, Μ80, Β60 και Λ60.
- ε) Μ80, Β60, Λ60 και Μ60.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100, Λ100 και Β80.
- β) Λ100, Β80 και Λ80.
- γ) Β80, Λ80, Μ100 και Β60.
- δ) Λ80, Μ100, Β60, Μ80, και Λ60.
- ε) Μ80, Λ60 και Μ60.

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 6.1: Ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	15,93	0,000
	Ομάδες	2	2,23	0,140
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	18,63	0,000
	Ομάδες	2	2,98	0,080
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	19,11	0,000
	Ομάδες	2	2,98	0,080
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 6.2: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	
B100	8,93 ±0,16	A
Λ100	8,77 ±0,16	B
B80	8,70 ±0,12	BC
Λ80	8,60 ±0,12	CD
M100	8,57 ±0,20	CDE
B60	8,47 ±0,10	DEF
M80	8,43 ±0,16	EF
Λ60	8,40 ±0,12	F
M60	8,23 ±0,16	G

6.2.6 Διακύμανση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 6.6, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου του δείκτη φυλλικής επιφάνειας της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

α) BA, B100, ΛA και Λ100.

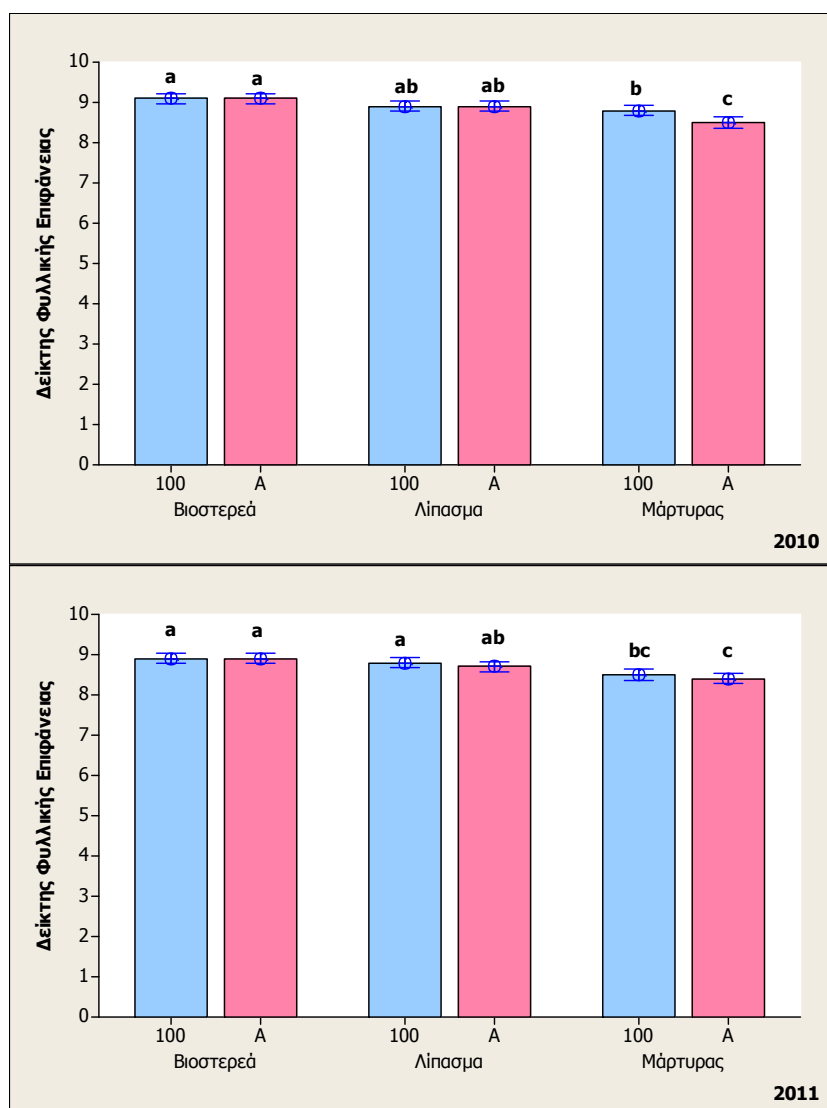
β) ΛA, Λ100 και M100.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

α) ΒΑ, Β100, Λ100 και ΛΑ.

β) ΛΑ και Μ100.

γ) Μ100 και ΜΑ.



Σχήμα 6.6: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 6.3: Ανάλυση της διακύμανσης για το δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	13,97	0,000
	Ομάδες	2	0,63	0,555
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	12,38	0,001
	Ομάδες	2	0,62	0,555
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 6.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 6.4: Μέσοι όροι του δείκτη φυλλικής επιφάνειας για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διετίας		
Μεταχείριση	Δείκτης φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2)	
BA	9,00 ±0,14	A
B100	9,00 ±0,14	A
Λ100	8,85 ±0,11	AB
ΛA	8,80 ±0,14	AB
M100	8,65 ±0,19	BC
MA	8,45 ±0,11	C

6.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από $8,23 \pm 0,16 m^2/m^2$ έως $8,93 \pm 0,16 m^2/m^2$, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($8,93 \pm 0,16 m^2/m^2$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις, αλλαγή στην ποσότητα του νερού άρδευσης επέφερε και στατιστικά σημαντικές αλλαγές στην τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $8,45 \pm 0,11 \text{ m}^2/\text{m}^2$ έως $9,00 \pm 0,14 \text{ m}^2/\text{m}^2$, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ($9,00 \pm 0,14 \text{ m}^2/\text{m}^2$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς το δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

Παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας των φυτών του γλυκού σόργου έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, σε μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Βόρεια Ιταλία κατά τα έτη 2009-2011 και με την ίδια πυκνότητα φυτών

γλυκού σόργου με την παρούσα έρευνα (12-14 φυτά ανά m^2) και στην οποία εφαρμόστηκε λίπανση, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας των φυτών κυμάνθηκε από $7 m^2/m^2$ έως $8,5 m^2/m^2$ (Ceotto et al., 2013). Σε άλλη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Μπολόνια της Ιταλίας και αφορούσε την ποικιλία γλυκού σόργου Wray, με την ίδια πυκνότητα φυτών γλυκού σόργου, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας κυμάνθηκε κοντά στα $10 m^2/m^2$ (Dolciotti et al, 1998). Οι ερευνητές Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν πως όταν η ποικιλία του γλυκού σόργου Keller αρδεύτηκε με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ήταν ίσος με $9,20 m^2/m^2$ κατά το έτος 2005. Στην ίδια έρευνα αναφέρεται επίσης πως, για το ίδιο έτος, όταν η ποικιλία του γλυκού σόργου Keller αρδεύτηκε με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ήταν ίσος με $8,6 m^2/m^2$. Όλα τα παραπάνω αποτελέσματα είναι παραπλήσια με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΧΛΩΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την παραγωγή των φυτών σε χλωρή βιομάζα (υπέργεια) και τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

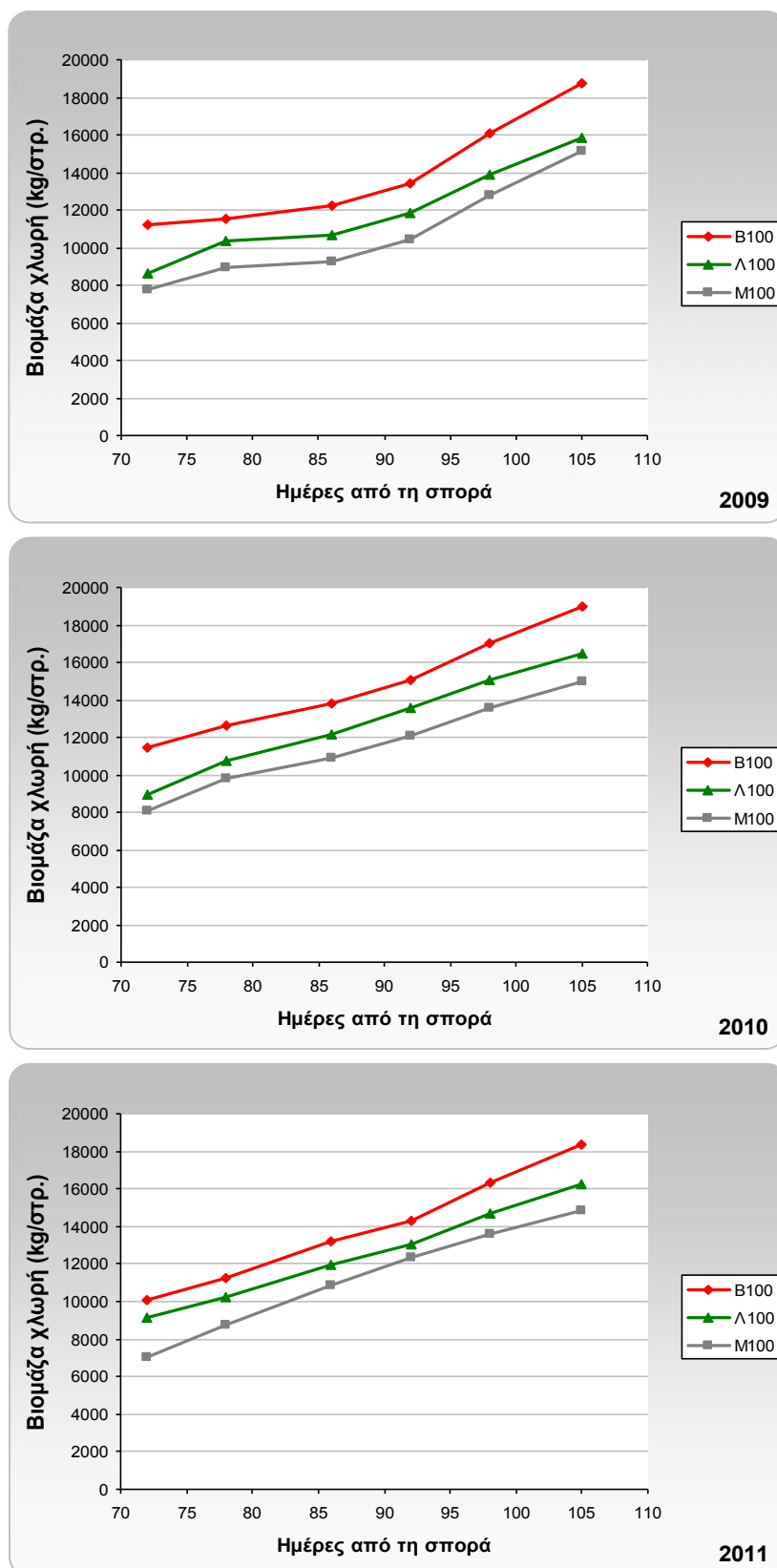
7.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΛΩΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Παρακάτω, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας (υπέργεια) των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ανά καλλιεργητική περίοδο κάθε έτους. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών τις τελευταίες εβδομάδες έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας, για κάθε ομάδα μεταχειρίσεων, βάσει της δόσης άρδευσης. Από την σπορά της καλλιέργειας έως και την 60^η περίπου ημέρα από τη σπορά δεν παρουσιάστηκε κάποια διαφοροποίηση της χλωρής βιομάζας των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις και αυτό διότι δεν είχε διαφοροποιηθεί η άρδυσή τους. Η διαφοροποίηση άρχισε να είναι εμφανής από τη δέκατη εβδομάδα από τη σπορά. Τέλος, η συγκομιδή γινόταν όταν τα φυτά του γλυκού σόργου βρίσκονταν στο έβδομο στάδιο ανάπτυξης (soft-dough) κατά τον Vanderlip (1993).

7.2.1 Χλωρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 7.1, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση Μ100.



Σχήμα 7.1: Εξέλιξη της γλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση B100 και να ισούται με 440 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 390,25 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 330 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις Λ100 και M100, ενώ στη μεταχείριση B100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών καταγράφηκε στις μεταχειρίσεις M100 και Λ100 και ήταν ίσος με 40 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 47,223 kg/(στρ.·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στις μεταχειρίσεις B100 και Λ100, ενώ στη μεταχείριση M100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B100 και ήταν ίσος με 323,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 290 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 240 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση M100 και να ισούται με 137,5 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 147,5 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 175 kg/(στρ.·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στις μεταχειρίσεις B100 και Λ100, ενώ στη μεταχείριση M100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B100 και ήταν ίσος με 336,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 290 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 263,33 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στη μεταχείριση B100, κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στη μεταχείριση Λ100, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στη μεταχείριση M100. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B100 και ήταν ίσος με 180 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 182,86 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 183,33 kg/(στρ.·d).

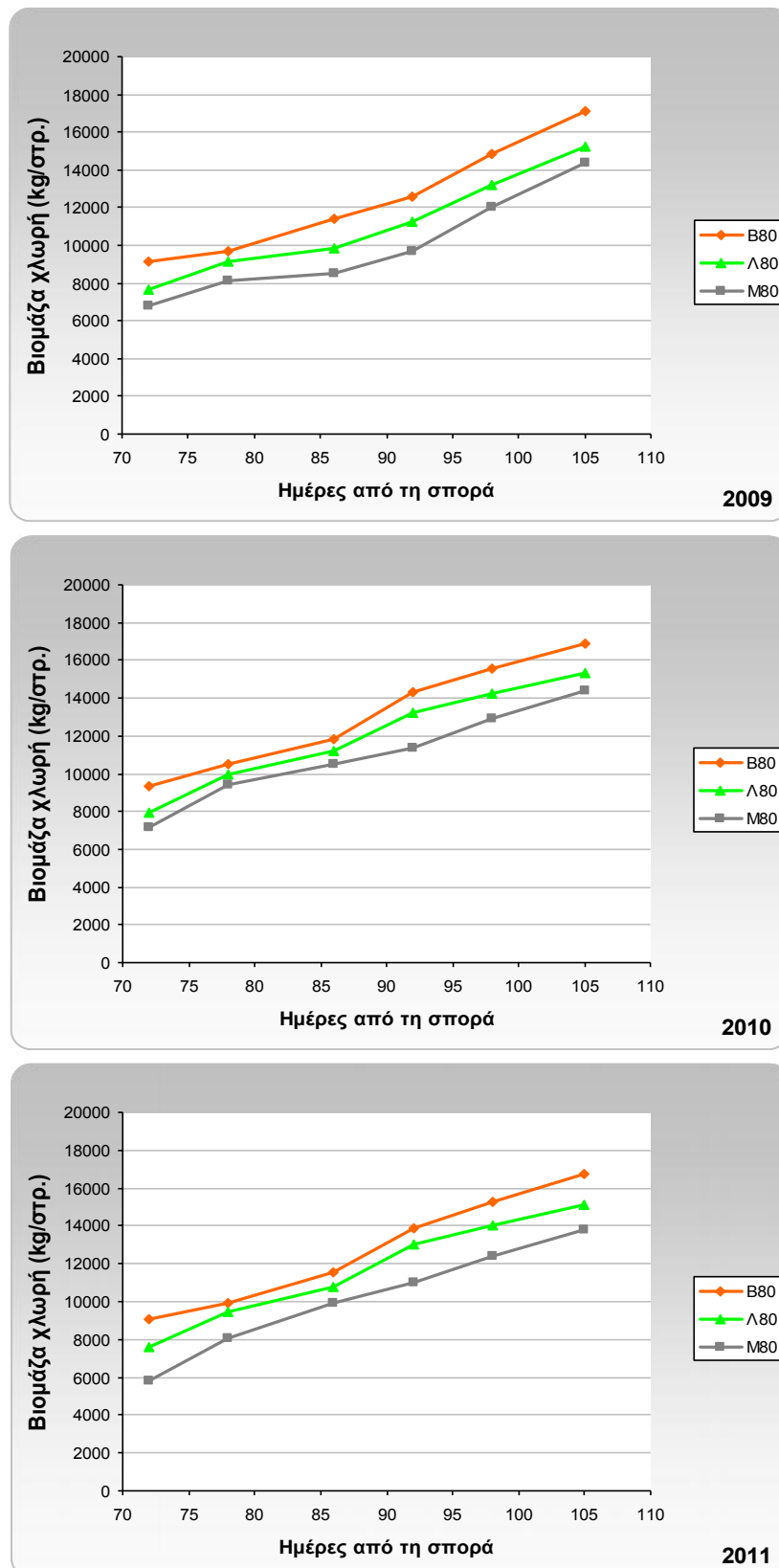
7.2.2 Χλωρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 7.2, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών να καταγράφεται στη μεταχείριση M80 και να ισούται με 387,25 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 376,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 330 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά το έτος 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις Λ80 και M80, ενώ στη μεταχείριση B80 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου.



Σχήμα 7.2: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών καταγράφηκε στη μεταχείριση M80 και ήταν ίσος με 47,5 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 92,5 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 102,78 kg/(στρ.·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις Λ80 και M80, ενώ στη μεταχείριση B80 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B80 και ήταν ίσος με 411,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 373,33 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 336,67 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και M80, ενώ στη μεταχείριση Λ80 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M80 και ήταν ίσος με 135 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 148,57 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 171,25 kg/(στρ.·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση M80 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B80 και ήταν ίσος με 388,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 376,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 373,33 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στη μεταχείριση M80, κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στη μεταχείριση B80, ενώ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στη μεταχείριση Λ80. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B80 και ήταν ίσος με 146,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 151,43 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 186,67 kg/(στρ.·d).

7.2.3 Χλωρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

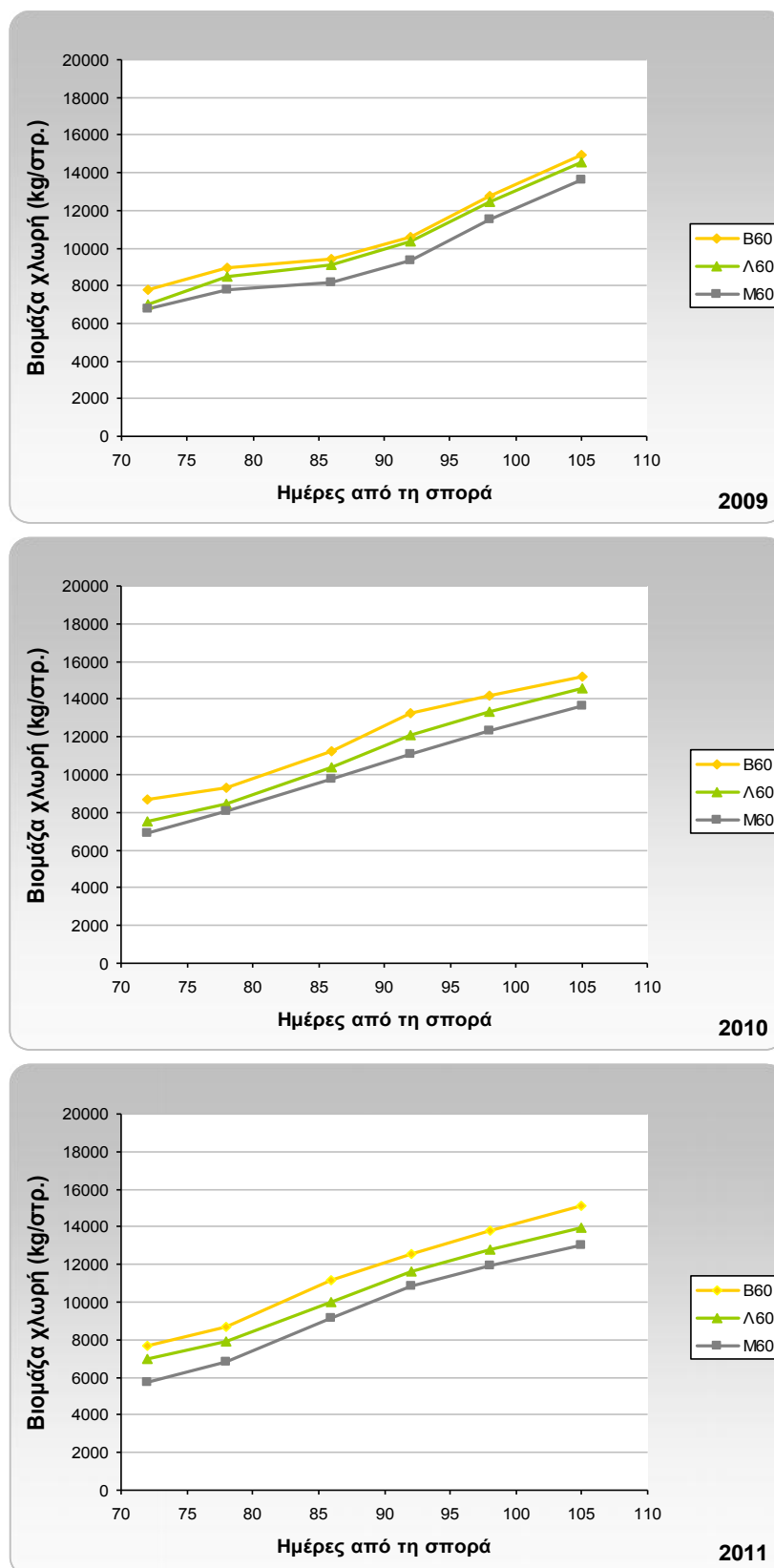
Στο Σχήμα 7.3, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 368,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 357,25 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 350 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά το έτος 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση M60 και να ισούται με 45 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 61,25 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 82,5 kg/(στρ.·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.



Σχήμα 7.3: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 331,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 286,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 220 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60, ενώ στη μεταχείριση M60 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B60 και ήταν ίσος με 103,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 160 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 182,86 kg/(στρ.·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

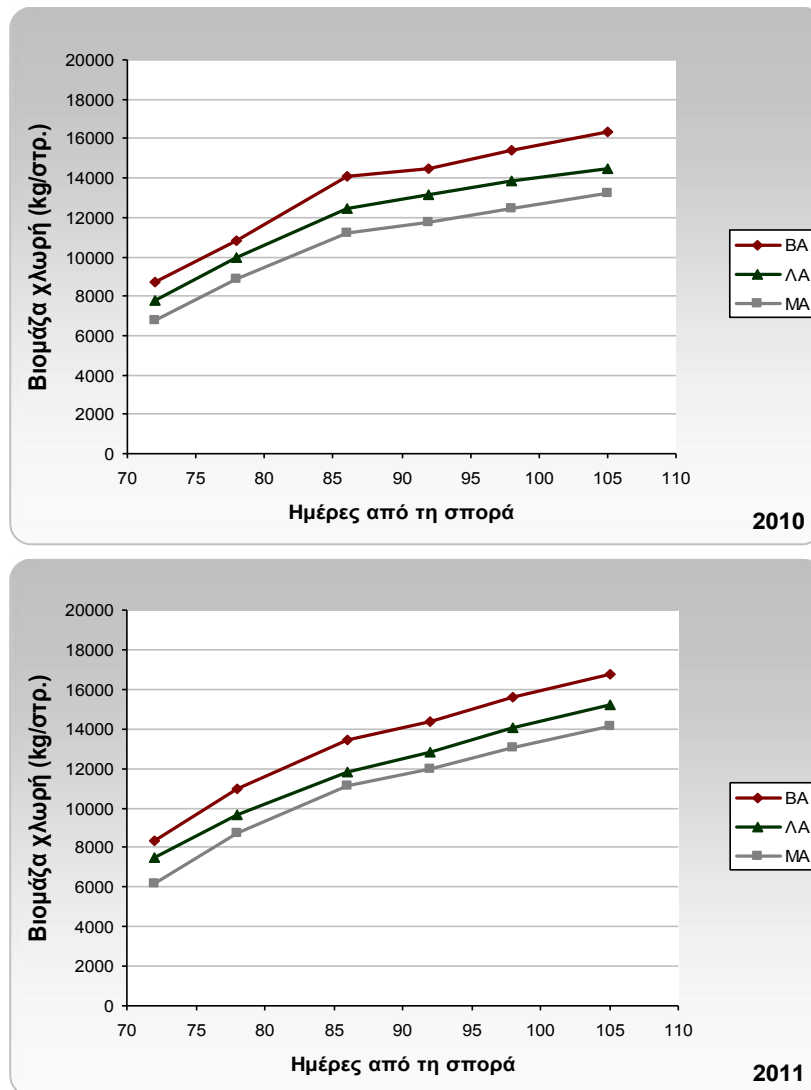
Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 308,75 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 290 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 276,67,33 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B60 και Λ60, ενώ στη μεταχείριση M60 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M60 και ήταν ίσος με 157,14 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 160 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 170 kg/(στρ.·d).

7.2.4 Χλωρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 7.4, παρουσιάζεται η εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2010 και 2011, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης που κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας και καθοριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας, όπως αυτή προσδιοριζόταν από αισθητήρα υγρασίας εδάφους.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.



Σχήμα 7.4: Εξέλιξη της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις ΒΑ, ΛΑ και ΜΑ, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις ΛΑ και ΜΑ, ενώ στη μεταχείριση ΒΑ κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση ΒΑ και ήταν ίσος με 405 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 360 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 351,67 kg/(στρ·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις ΒΑ και ΜΑ, ενώ στη μεταχείριση ΛΑ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση ΒΑ και ήταν ίσος με 70 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 90 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 94,29 kg/(στρ·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της χλωρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της χλωρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση ΒΑ και να ισούται με 445 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 423,33 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 361,67 kg/(στρ·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις ΒΑ και ΜΑ, ενώ στη μεταχείριση ΛΑ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της χλωρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση ΜΑ και ήταν ίσος με 135 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΒΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 158,33 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 172,14 kg/(στρ·d).

7.2.5 Διακύμανση της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εξαμυσοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 7.5, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εξαμυσοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ80, M100 και B60.
- β) B60 και Λ60.
- γ) Λ60 και M80.

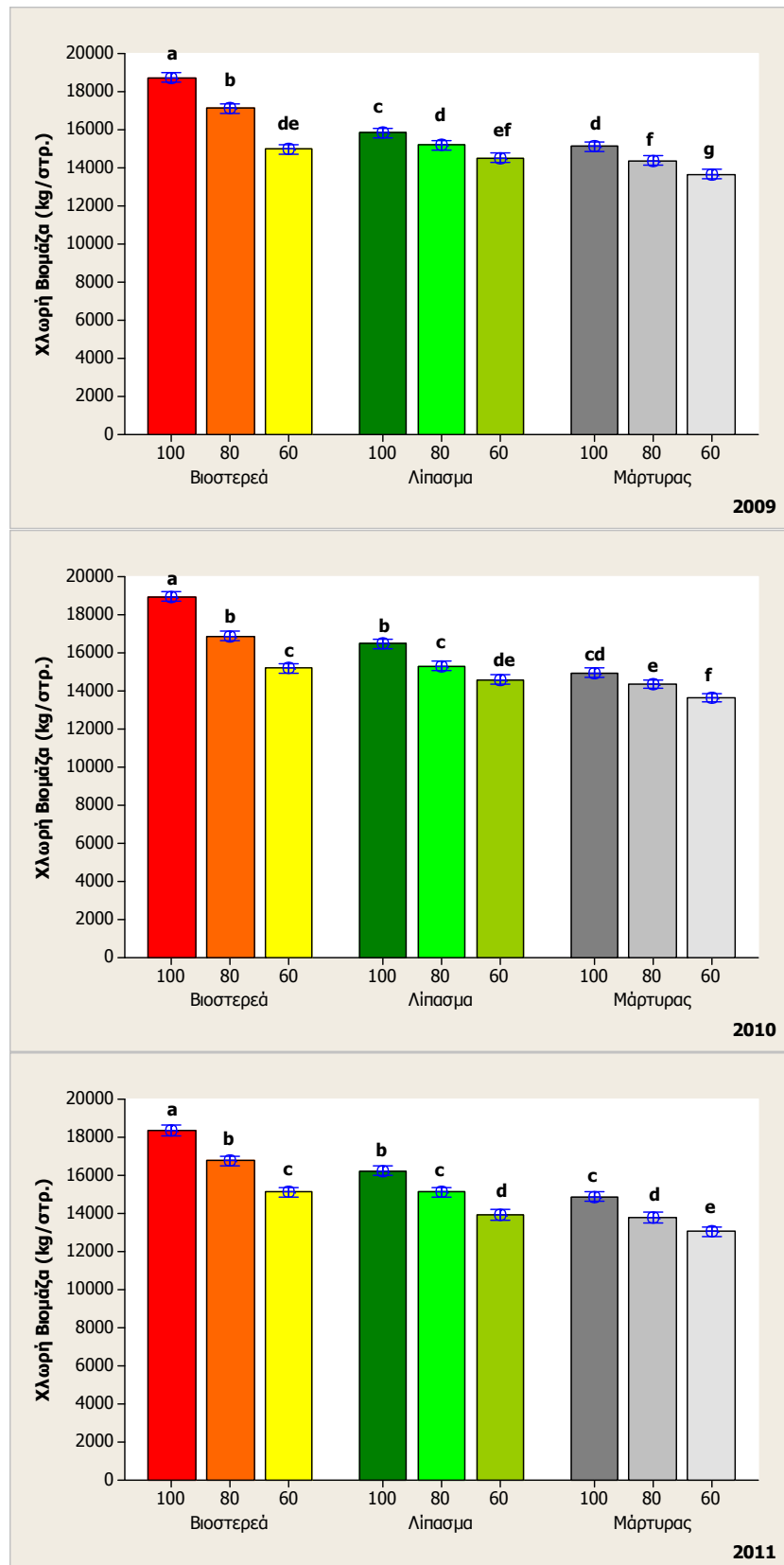
Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B80 και Λ80.
- β) Λ80, B60 και M100.
- γ) M100 και Λ60.
- δ) Λ60 και M80.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B80 και Λ100.
- β) B60, Λ80 και M100.
- γ) Λ60 και M80.

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.



Σχήμα 7.5: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Πίνακας 7.1: Ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	217,17	0,000
	Ομάδες	2	3,59	0,051
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	185,16	0,000
	Ομάδες	2	0,10	0,905
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	233,23	0,000
	Ομάδες	2	4,83	0,023
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

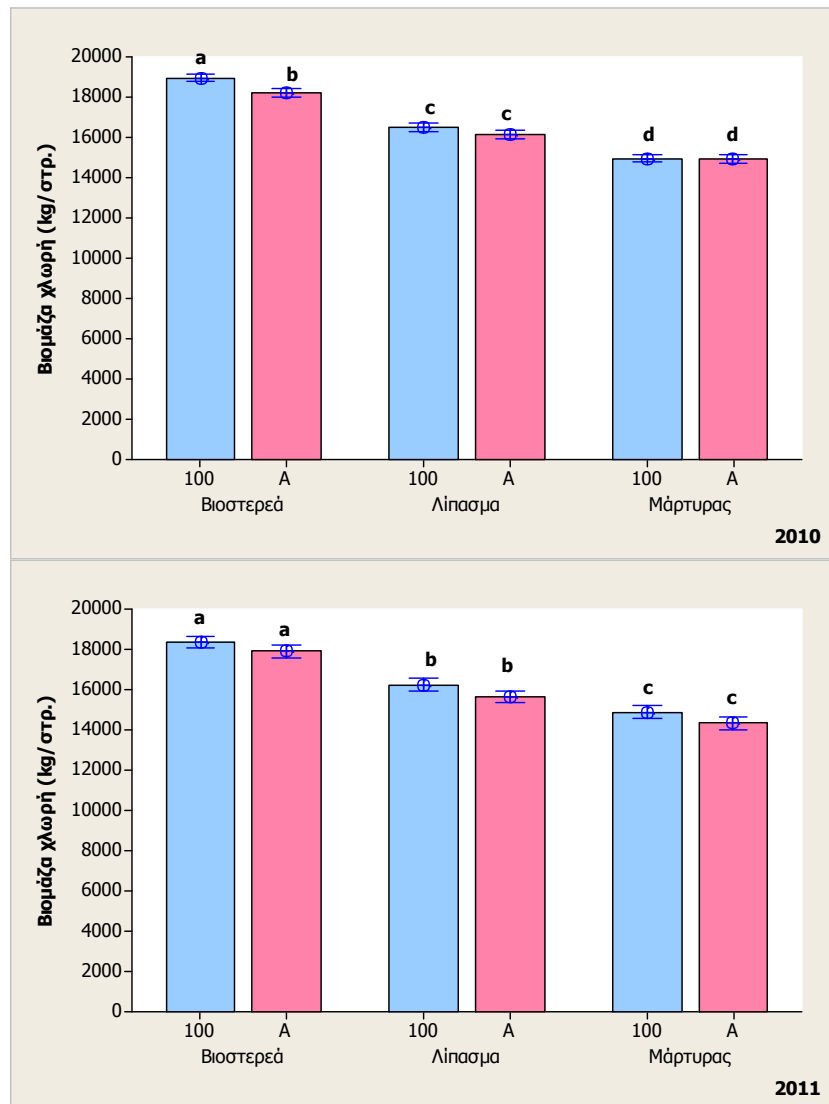
Πίνακας 7.2: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Χλωρή βιομάζα (kg/στρ.)	
B100	18680 ±322	A
B80	16920 ±273	B
A100	16187 ±350	C
A80	15217 ±192	D
B60	15100 ±184	D
M100	14988 ±204	D
A60	14347 ±357	E
M80	14176 ±307	E
M60	13442 ±365	F

7.2.6 Διακύμανση της χλωρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 7.6, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της χλωρής βιομάζας των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της χλωρής βιομάζας των φυτών της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 7.6: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100 και ΛΑ.
- β) Μ100 και ΜΑ.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100 και ΒΑ.
- β) Λ100 και ΛΑ.
- γ) Μ100 και ΜΑ.

Στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 7.3: Ανάλυση της διακύμανσης για τη χλωρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	254,76	0,000
	Ομάδες	2	0,02	0,978
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	166,18	0,000
	Ομάδες	2	2,37	0,144
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 7.4: Μέσοι όροι της χλωρής βιομάζας των φυτών για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διατίας		
Μεταχείριση	Χλωρή βιομάζα (kg/στρ.)	
B100	18660 ±370	A
BA	18047 ±239	B
Λ100	16360 ±281	C
ΛΑ	15880 ±312	C
M100	14920 ±181	D
MA	14635 ±365	D

7.2.7 Χλωρή βιομάζα των στελεχών των φυτών

Στον Πίνακα 7.5 παρουσιάζεται το επί τις εκατό ποσοστό της συμβολής της βιομάζας των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου στη συνολική χλωρή βιομάζα (%), στις διάφορες μεταχειρίσεις, για τα τρία έτη συνολικά.

Πίνακας 7.5: Συμβολή των στελεχών στη συνολική χλωρή βιομάζα των φυτών.

Μεταχείριση	%	Μεταχείριση	%	Μεταχείριση	%	Μεταχείριση	%
B100	84,6	Λ100	83,4	M100	83,4	BA	84,0
B80	83,5	Λ80	83,6	M80	82,4	ΛA	80,3
B60	83,4	Λ60	82,2	M60	81,8	MA	79,9

7.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέση τιμή της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα των φυτών του γλυκού σόργου, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από 13442 ± 365 kg/στρ. έως 18680 ± 322 kg/στρ., για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της παραγωγής χλωρής βιομάζας των φυτών (18680 ± 322 kg/στρ.) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις, αλλαγή στην ποσότητα του νερού άρδευσης επέφερε και στατιστικά σημαντικές αλλαγές στην παραγωγή σε χλωρή βιομάζα των φυτών.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης χλωρής βιομάζας (5,3%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης χλωρής βιομάζας (11,2%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης χλωρής βιομάζας (15,4%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή χλωρής βιομάζας με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή χλωρής βιομάζας με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λίπανσης σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης χλωρής βιομάζας (4,5%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της παραγωγής χλωρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από 14635 ±365 kg/στρ. έως 18660 ±370 kg/στρ., για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της παραγωγής χλωρής βιομάζας (18660 ±370 kg/στρ.) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης χλωρής βιομάζας (3,4%) από ότι η εφαρμογή βιοστερεών σε συνδυασμό με άρδευση βάσει της εδαφικής υγρασίας.

Ανάμεσα στις υπόλοιπες μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την παραγωγή χλωρής βιομάζας των φυτών.

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την παραγωγή χλωρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου, με τις μεταχειρίσεις του μάρτυρα, έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν πως η ποικιλία του γλυκού σόργου Keller σε πείραμα που έγινε στην Κεντρική Θεσσαλία έφθασε σε παραγωγή χλωρής βιομάζας τα 13820 kg/στρ., ενώ οι ερευνητές Alexoroulou et al. (2000) σε έρευνα που διεξήχθη στη Βόρεια Ελλάδα με διαφορετικές δόσεις άρδευσης, πυκνότητα φυτών και επίπεδα λίπανσης, αναφέρουν πως η παραγωγή σε χλωρή βιομάζα κυμάνθηκε από 9030 kg/στρ. έως 12170 kg/στρ. Επίσης, το Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2006) αναφέρει πως η παραγωγή σε χλωρή βιομάζα για το γλυκό σόργο μπορεί να φτάσει τα 14000 kg/στρ. στην Ελλάδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

8.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την παραγωγή των φυτών σε ξηρή βιομάζα (υπέργεια) και τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

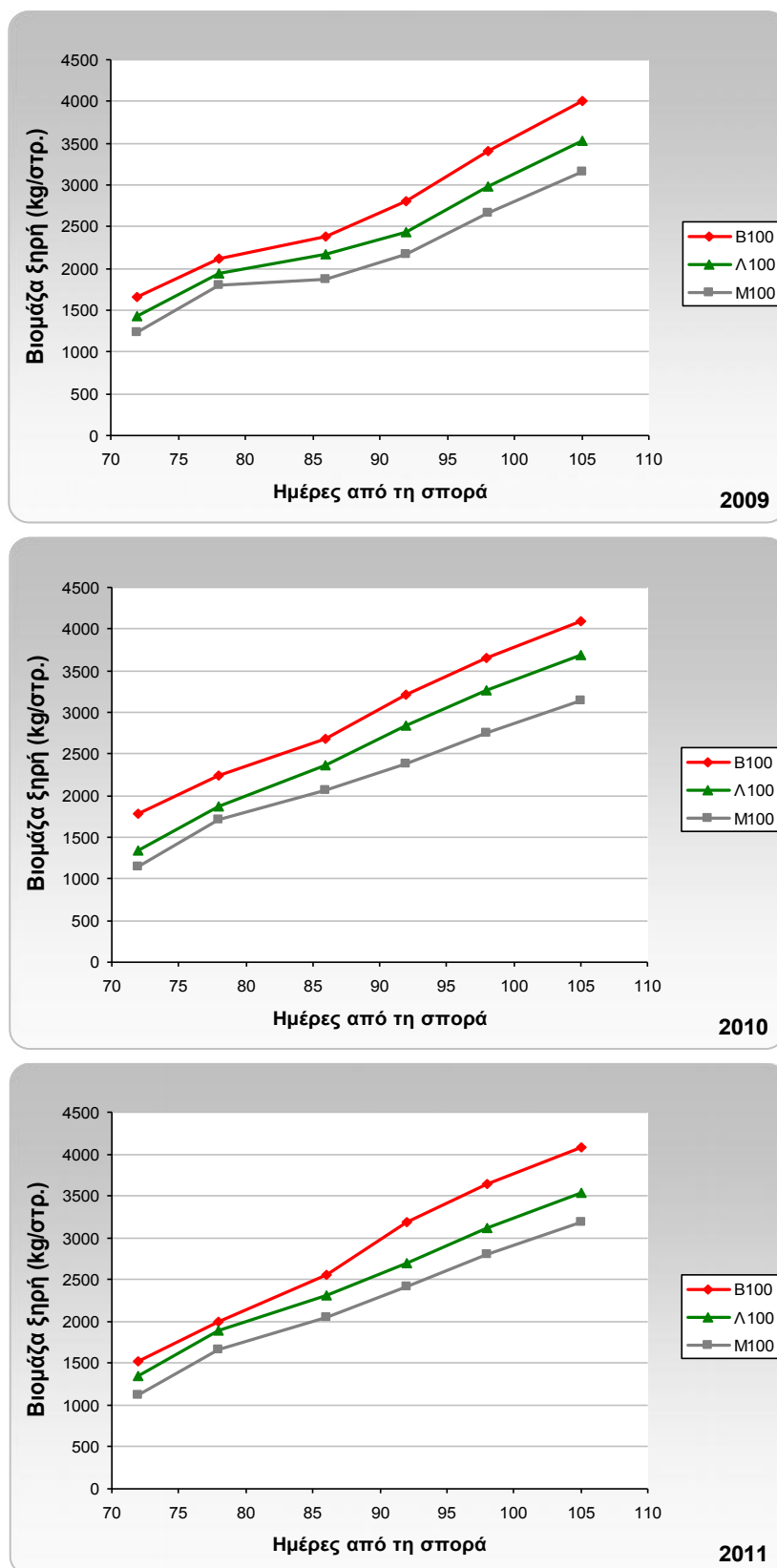
8.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΞΗΡΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Παρακάτω, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας (υπέργεια) των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, ανά καλλιεργητική περίοδο κάθε έτους. Ειδικότερα, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών τις τελευταίες εβδομάδες έως τη συγκομιδή της καλλιέργειας, για κάθε ομάδα μεταχειρίσεων, βάσει της δόσης άρδευσης. Από την σπορά της καλλιέργειας έως και την 60^η περίπου ημέρα από τη σπορά δεν παρουσιάστηκε κάποια διαφοροποίηση της ξηρής βιομάζας των φυτών ανάμεσα στις μεταχειρίσεις και αυτό διότι δεν είχε διαφοροποιηθεί η άρδυσή τους. Η διαφοροποίηση άρχισε να είναι εμφανής από τη δέκατη εβδομάδα από τη σπορά. Τέλος, η συγκομιδή γινόταν όταν τα φυτά του γλυκού σόργου βρίσκονταν στο έβδομο στάδιο ανάπτυξης (soft-dough) κατά τον Vanderlip (1993).

8.2.1 Ξηρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 8.1, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.



Σχήμα 8.1: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B100, Λ100 και M100, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στη μεταχείριση M100, ενώ στις μεταχειρίσεις B100 και Λ100 κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση B100 και ήταν ίσος με 100 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 93,33 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 91,11 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης της ξηρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση M100 και να ισούται με 9,38 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 28,13 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 31,25 kg/(στρ.·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις Λ100 και M100, ενώ στη μεταχείριση B100 κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M100 και ήταν ίσος με 93,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 88,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 87,33 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B100 και M100, ενώ στη μεταχείριση Λ100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M100 και ήταν ίσος με 45 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 54,5 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 59,95 kg/(στρ.·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B100 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της

συγκομιδής στη μεταχείριση B100, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 και η μεταχείριση M100.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση B100 και να ισούται με 106 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσαν η μεταχειρίσεις Λ100 και M100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 91,67 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις Λ100 και M100, ενώ στη μεταχείριση B100 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M100 και ήταν ίσος με 48,17 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 51,38 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B100 με ρυθμό αύξησης ίσο με 63,21 kg/(στρ.·d).

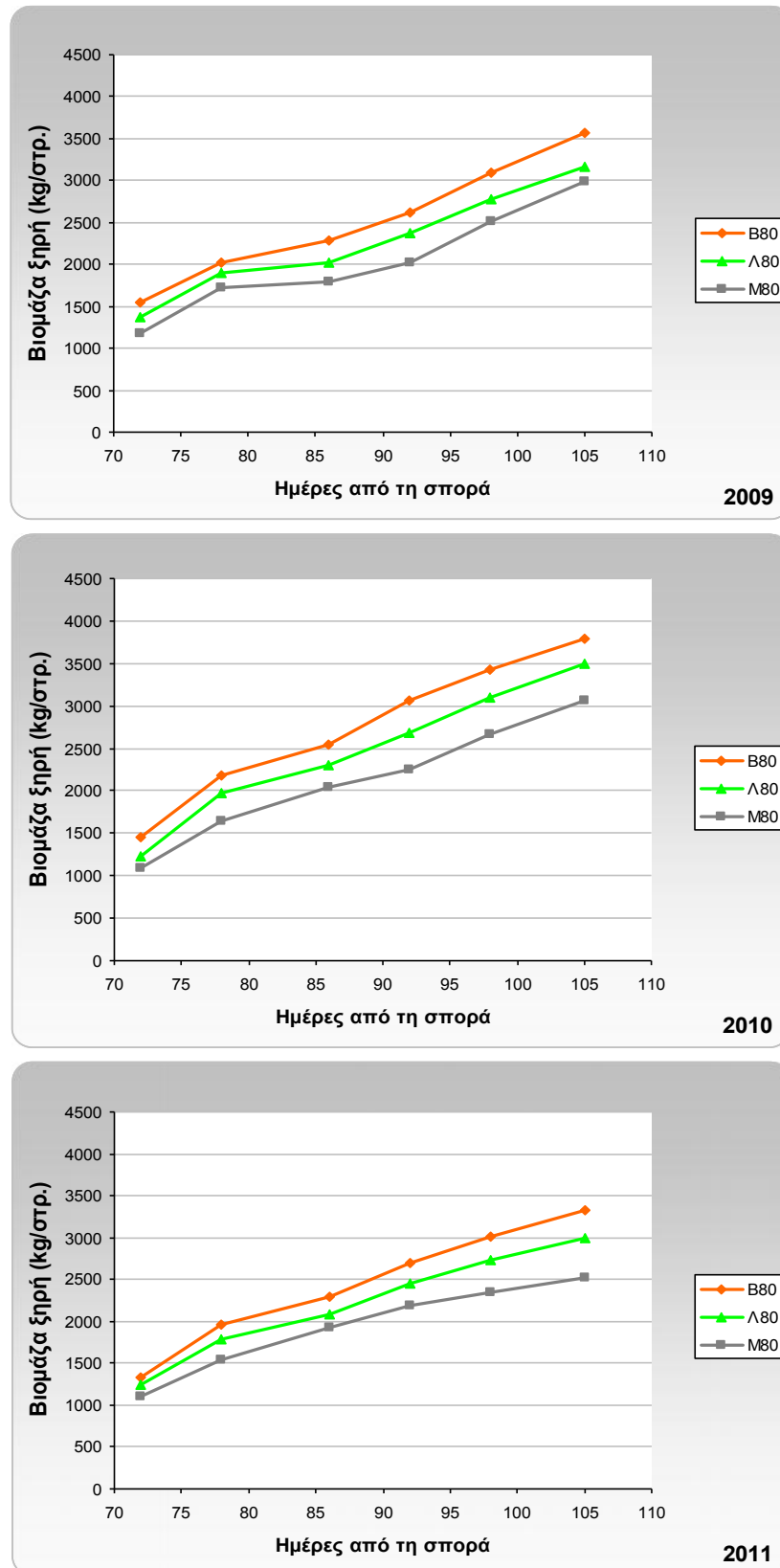
8.2.2 Ξηρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 8.2, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση M80 και να ισούται με 90,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 89,33 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 78,83 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά το έτος 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση M80 και να ισούται με 9,38 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 14,38 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 33,38 kg/(στρ.·d).



Σχήμα 8.2: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B80, Λ80 και M80, για κάθε έτος.

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση Λ80 και να ισούται με 122,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 121,17 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 90,67 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση M80 κατά το πρώτο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M80 και ήταν ίσος με 35,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 40,5 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 45,88 kg/(στρ.·d).

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B80 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B80, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 και η μεταχείριση M80.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση B80 και να ισούται με 104,54 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 91 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση M80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 74 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις μεταχειρίσεις B80 και Λ80, ενώ στη μεταχείριση M80 κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση M80 και ήταν ίσος με 24,29 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 37,73 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B80 με ρυθμό αύξησης ίσο με 42,75 kg/(στρ.·d).

8.2.3 Ξηρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 8.3, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2009, 2010 και 2011.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση Μ60.

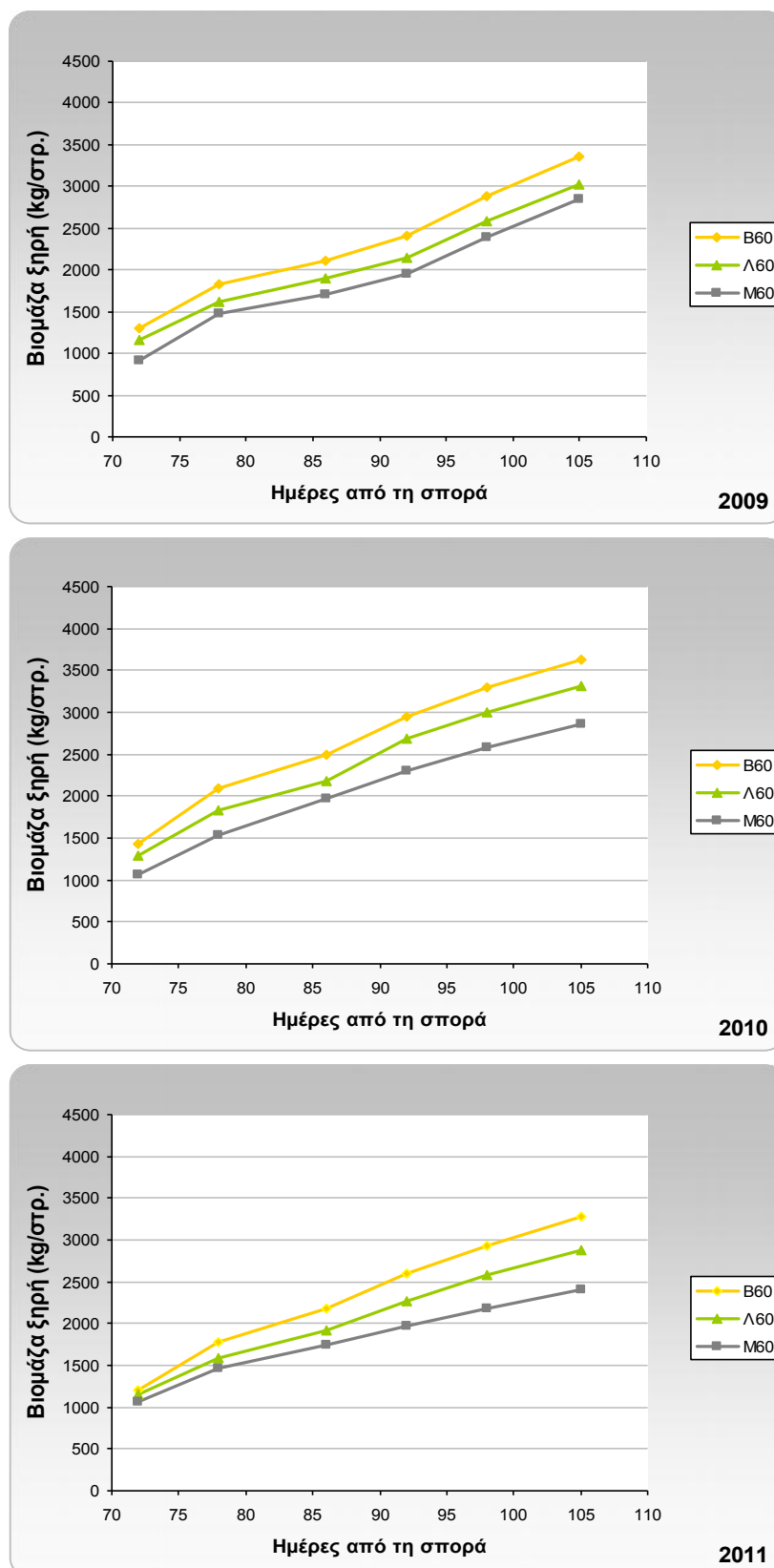
Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2009, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση Μ60 και να ισούται με 94,67 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 88,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 77,5 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά το έτος 2009, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση Μ60 και να ισούται με 28,13 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 34,38 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 35 kg/(στρ.·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση Μ60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 111,33 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 88,67 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση Μ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 77,33 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση Μ60 και να ισούται με 39,71 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 45,14 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 48,86 kg/(στρ.·d).



Σχήμα 8.3: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις B60, Λ60 και M60, για κάθε έτος.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση B60 παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση B60, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 και η μεταχείριση M60.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης να καταγράφεται στη μεταχείριση B60 και να ισούται με 94,67 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 72 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση M60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 67,33 kg/(στρ·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου στις μεταχειρίσεις B60 και M60, ενώ στη μεταχείριση Λ60 κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης καταγράφηκε στη μεταχείριση M60 και ήταν ίσος με 30,43 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση Λ60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 42,5 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση B60 με ρυθμό αύξησης ίσο με 48,86 kg/(στρ·d).

8.2.4 Ξηρή βιομάζα των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 8.4, παρουσιάζεται η εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών κατά τις καλλιεργητικές περιόδους των ετών 2010 και 2011, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης που κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας και καθοριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας, όπως αυτή προσδιοριζόταν από αισθητήρα υγρασίας εδάφους.

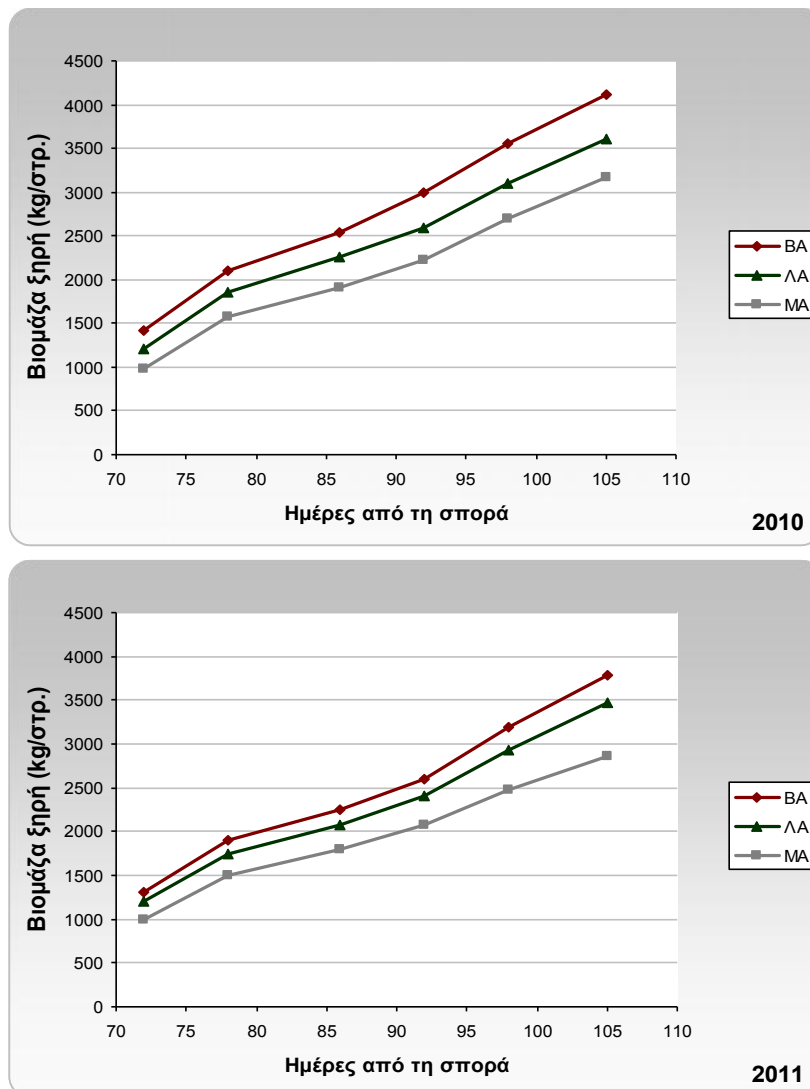
Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, η μεταχείριση BA παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση BA, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της ξηρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση BA και να ισούται με 111,83 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 108,67 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 97,67 kg/(στρ·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2010, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου στις

μεταχειρίσεις ΛΑ και ΜΑ, ενώ στη μεταχείριση ΒΑ κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου. Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας καταγράφηκε στη μεταχείριση ΜΑ και ήταν ίσος με 41,25 kg/(στρ·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΒΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 47,43 kg/(στρ·d) και η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 49,88 kg/(στρ·d).

Κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011 η μεταχείριση ΒΑ παρουσίασε μια τάση υπεροχής έναντι των υπόλοιπων μεταχειρίσεων. Ειδικότερα, η υψηλότερη τιμή της ξηρής βιομάζας των φυτών παρατηρήθηκε την ημέρα της συγκομιδής στη μεταχείριση ΒΑ, ενώ ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ και η μεταχείριση ΜΑ.



Σχήμα 8.4: Εξέλιξη της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις ΒΑ, ΛΑ και ΜΑ, για κάθε έτος.

Ο υψηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το δεύτερο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης της ξηρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση ΒΑ και να ισούται με 97,5 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 91 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση ΜΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 85,67 kg/(στρ.·d).

Ο χαμηλότερος ρυθμός αύξησης της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2011, παρατηρήθηκε κατά το τρίτο δεκαήμερο του Αυγούστου σε όλες τις μεταχειρίσεις, με το χαμηλότερο ρυθμό αύξησης της ξηρής βιομάζας να καταγράφεται στη μεταχείριση ΜΑ και να ισούται με 36,25 kg/(στρ.·d). Ακολουθούσε η μεταχείριση ΛΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 40,69 kg/(στρ.·d) και η μεταχείριση ΒΑ με ρυθμό αύξησης ίσο με 43,75 kg/(στρ.·d).

8.2.5 Διακύμανση της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

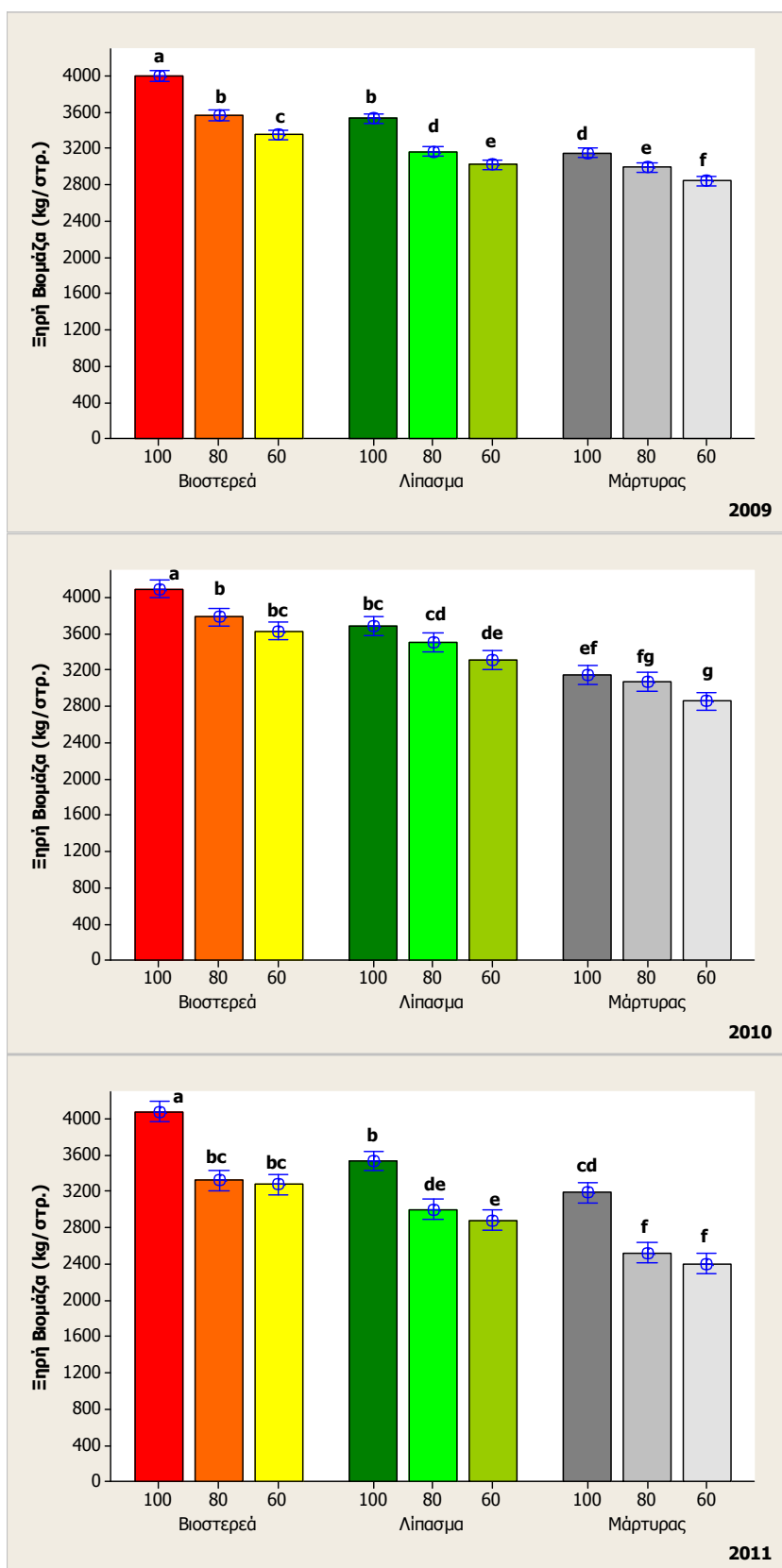
Στο Σχήμα 8.5, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β80 και Λ100.
- β) Λ80 και Μ100.
- γ) Λ60 και Μ80.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β80, Λ100 και Β60.
- β) Λ100, Β60 και Λ80.
- γ) Λ80 και Λ60.
- δ) Λ60 και Μ100.
- ε) Μ100 και Μ80.
- στ) Μ80 και Μ60.



Σχήμα 8.5: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100, Β80 και Β60.
- β) Β80, Β60 και Μ100.
- γ) Μ100 και Λ80.
- δ) Λ80 και Λ680.
- ε) Μ80 και Μ60.

Στον Πίνακα 8.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 8.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	266,98	0,000
	Ομάδες	2	4,14	0,036
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	72,54	0,000
	Ομάδες	2	2,09	0,156
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	100,04	0,000
	Ομάδες	2	1,57	0,239
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

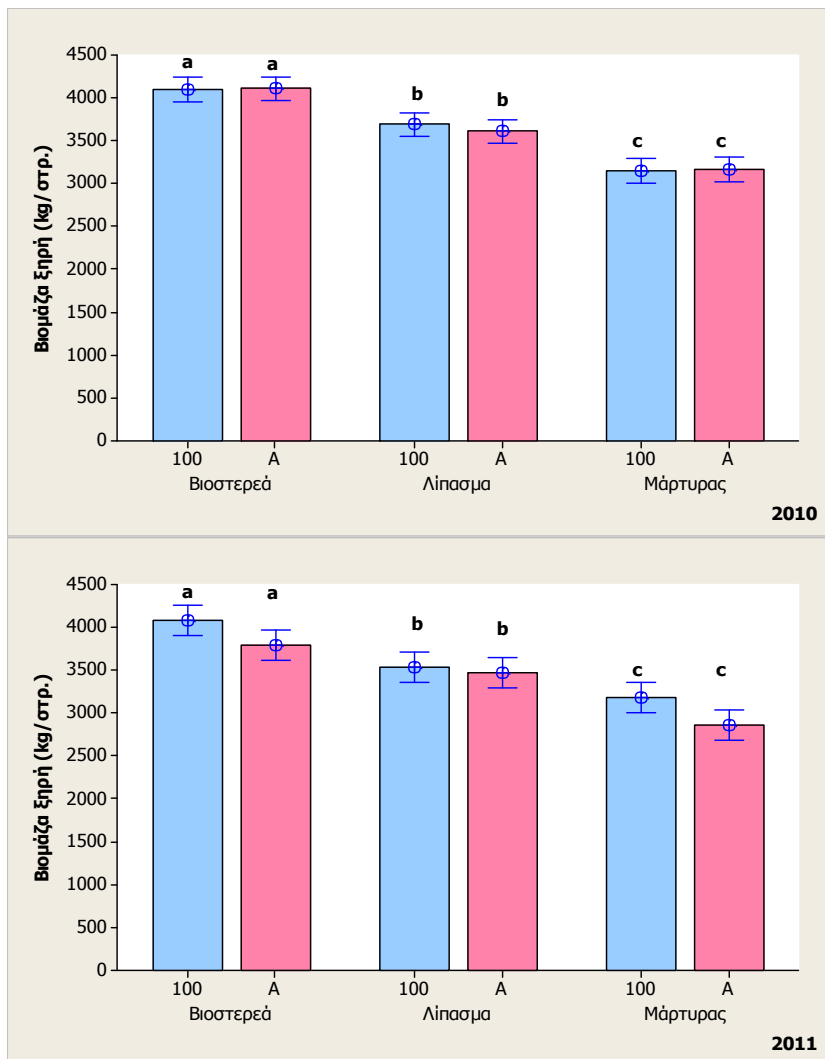
Στον Πίνακα 8.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 8.2: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Ξηρή βιομάζα (kg/στρ.)	
B100	4059 ±116	A
Λ100	3586 ±126	B
B80	3557 ±211	B
B60	3421 ±167	B
Λ80	3224 ±227	C
M100	3161 ±76	C
Λ60	3074 ±195	C
M80	2861 ±262	D
M60	2700 ±229	D

8.2.6 Διακύμανση της ξηρής βιομάζας των φυτών στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 8.6, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της ξηρής βιομάζας των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονται βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της ξηρής βιομάζας των φυτών της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 8.6: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) ΒΑ και Β100.
- β) Λ100 και ΛΑ.
- γ) ΜΑ και Μ100.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100 και ΒΑ.
- β) ΒΑ, Λ100 και ΛΑ.
- γ) ΛΑ και Μ100.
- δ) Μ100 και ΜΑ.

Στον Πίνακα 8.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 8.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την ξηρή βιομάζα των φυτών κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	59,48	0,000
	Ομάδες	2	3,39	0,078
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	38,41	0,000
	Ομάδες	2	3,25	0,082
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 8.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 8.4: Μέσοι όροι της ξηρής βιομάζας των φυτών για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διαιτίας		
Μεταχείριση	Ξηρή βιομάζα (kg/στρ.)	
B100	4088 ±131	A
BA	3948 ±234	A
Λ100	3613 ±148	B
ΛΑ	3540 ±112	B
M100	3167 ±91	C
MA	3015 ±189	C

8.3 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέση τιμή της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα των φυτών του γλυκού σόργου, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από 2700 ± 229 kg/στρ. έως 4059 ± 116 kg/στρ., για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της παραγωγής ξηρής βιομάζας των φυτών (4059 ± 116 kg/στρ.) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή ξηρής βιομάζας με την εφαρμογή βιοστερεών σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή λιπάσματος στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή ξηρής βιομάζας με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Μη εφαρμογή βιοστερεών ή λιπάσματος στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή ξηρής βιομάζας με τη μη εφαρμογή βιοστερεών ή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ξηρής βιομάζας (11,3%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ξηρής βιομάζας (10,3%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή

περισσότερης ξηρής βιομάζας (13,2%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην παραγωγή ξηρής βιομάζας με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή περισσότερης ξηρής βιομάζας (6,1%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της παραγωγής ξηρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από 3015 ± 189 kg/στρ. έως 4088 ± 131 kg/στρ., για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της παραγωγής ξηρής βιομάζας (4088 ± 131 kg/στρ.) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την παραγωγή ξηρής βιομάζας των φυτών.

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την παραγωγή ξηρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου, με τις μεταχειρίσεις του μάρτυρα, έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, οι Ceclan et al. (2012) αναφέρουν πως το γλυκό σόργο μπορεί να παράγει περίπου 3000 kg/στρ. ξηρής βιομάζας ανά έτος, σε φτωχά εδάφη. Σε έρευνα που διεξήχθη στο Μπάρι της Νότιας Ιταλίας κατά τα έτη 1990-1993 από τους Mastrorilli et al. (1999) και αφορούσε την ποικιλία γλυκού σόργου Keller, αναφέρεται ότι σε καλά αρδευόμενες συνθήκες η παραγωγή της καλλιέργειας κυμάνθηκε από 3080 kg/στρ. έως 3250 kg/στρ. ξηρής βιομάζας. Οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν πως η ποικιλία του γλυκού σόργου Keller σε πείραμα που έγινε στην Κεντρική Θεσσαλία έφθασε σε παραγωγή ξηρής βιομάζας τα 3240 kg/στρ., ενώ στην ίδια έρευνα αναφέρονται σε παρόμοια αποτελέσματα από άλλους ερευνητές. Οι ερευνητές Derkas & Liakatas (2007) αναφέρουν πως η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα της

ποικιλίας γλυκού σόργου Keller σε αργιλοπηλώδες έδαφος, κυμάνθηκε από 2811 kg/στρ. έως 3147 kg/στρ., κατά τα έτη 1994-1995, στην περιοχή της κεντρικής Θεσσαλίας. Οι ερευνητές Sakellariou-Makrantonaki et al. (2009) σε πείραμα που έγινε επίσης στην Κεντρική Θεσσαλία, αναφέρουν ότι η ποικιλία ινώδους σόργου H132 έφθασε σε παραγωγή ξηρής βιομάζας τα 3550 kg/στρ., ενώ σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αμμώδες έδαφος στη Βορειοδυτική Κίνα κατά τα έτη 2009-2010, η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα έφθασε τα 2680 kg/στρ. (Xie et al., 2012). Τέλος, σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε στη Θεσσαλονίκη και αφορούσε την παραγωγικότητα της ποικιλίας γλυκού σόργου Sugargraze σε εδάφη με αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ξηρή βιομάζα των φυτών κάτω από άρδευση 210 mm και αγωγιμότητα εδάφους 3,2 dS/m έφτασε τα 2760 kg/στρ., ενώ άλλες ποικιλίες έφθασαν έως τα 3350 kg/στρ. (Vasilakoglou et al., 2011).

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την παραγωγή ξηρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου, με τις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκε λίπανση, έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, οι Curt et al. (1995) σε έρευνά τους που διεξήχθη στην Ισπανία και αφορούσε την ποικιλία Keller, αναφέρουν πως η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα έπειτα από λίπανση της καλλιέργειας κυμάνθηκε από 2200 kg/στρ. έως 4000 kg/στρ., με τη μεγαλύτερη παραγωγή να πραγματοποιείται με λίπανση και υπό συχνή άρδευση. Οι ερευνητές Alexoroulou et al. (2000) σε έρευνα που διεξήχθη στη Βόρεια Ελλάδα με διαφορετικές δόσεις άρδευσης, πυκνότητα φυτών και επίπεδα λίπανσης, αναφέρουν πως η παραγωγή σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκε από 2610 kg/στρ. έως 3530 kg/στρ., ενώ οι Cosentino et al. (2012) αναφέρουν πως σε αποτελέσματα παλαιότερης έρευνας που διεξήχθη από τους ίδιους στην Σικελία η παραγωγή της καλλιέργειας σε ξηρή βιομάζα κυμάνθηκε από 3000-4500 kg/στρ., για την ποικιλία Keller.

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την παραγωγή ξηρής βιομάζας των φυτών του γλυκού σόργου, με τις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν βιοστερεά, έχουν βρεθεί και σε μια έρευνα που διεξήχθη στην Αυστραλία σε αργιλοπηλώδες έδαφος. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως οι μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν βιοστερεά παρήγαγαν 16,6% περισσότερη ξηρή βιομάζα από αυτές όπου εφαρμόστηκε λίπασμα, ενώ οι μεταχειρίσεις με το λίπασμα παρήγαγαν 12,5% περισσότερη βιομάζα από ότι ο μάρτυρας (Pu et al., 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΑΚΧΑΡΩΝ – ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

9.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα και τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

9.2 ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΣΑΚΧΑΡΑ

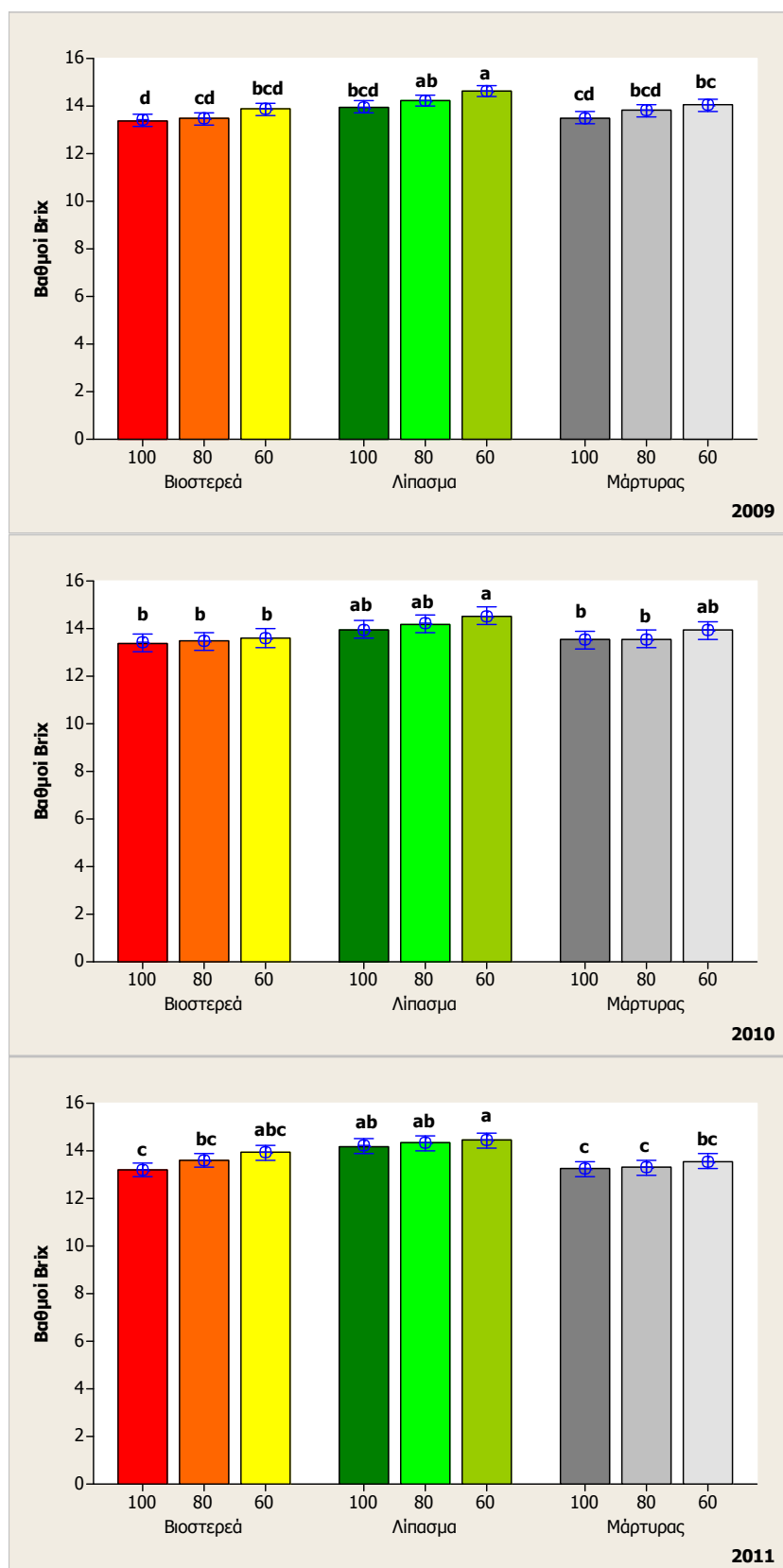
Όπως αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, ο χυμός από τα στελέχη των φυτών εξαγόταν με χειροκίνητη κυλινδρική πρέσα και κατόπιν προσδιορίζονταν οι βαθμοί Brix του διαλύματος, με τη χρήση διαθλασιμέτρου. Παρακάτω παρουσιάζεται η διακύμανση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή της καλλιέργειας.

9.2.1 Διακύμανση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 9.1, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξαμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ60 και Λ80.
- β) Λ80, Μ60, Λ100, Β60 και Μ80.
- γ) Μ60, Λ100, Β60, Μ80, Μ100 και Β80.
- δ) Λ100, Β60, Μ80, Μ100, Β80 και Β100.



Σχήμα 9.1: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρο σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ60, Λ80, Λ100 και Μ60.
- β) Λ80, Λ100, Μ60, Β60, Μ80, Μ100, Β80 και Β100.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ60, Λ80, Λ100 και Β60.
- β) Λ80, Λ100, Β60, Β80 και Μ60.
- γ) Β60, Β80, Μ60, Μ80, Μ100 και Β100.

Στον Πίνακα 9.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 9.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	12,34	0,000
	Ομάδες	2	1,81	0,196
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	4,90	0,003
	Ομάδες	2	1,64	0,223
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	9,64	0,000
	Ομάδες	2	0,06	0,941
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

Στον Πίνακα 9.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 9.2: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας	
Μεταχείριση	Περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα (°Bx)
Λ60	14,5 ±0,3 A
Λ80	14,3 ±0,3 AB
Λ100	14,0 ±0,2 BC
M60	13,8 ±0,3 CD
B60	13,8 ±0,3 CDE
M80	13,6 ±0,4 DEF
B80	13,5 ±0,2 DEF
M100	13,4 ±0,3 EF
B100	13,3 ±0,2 F

9.2.2 Διακύμανση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

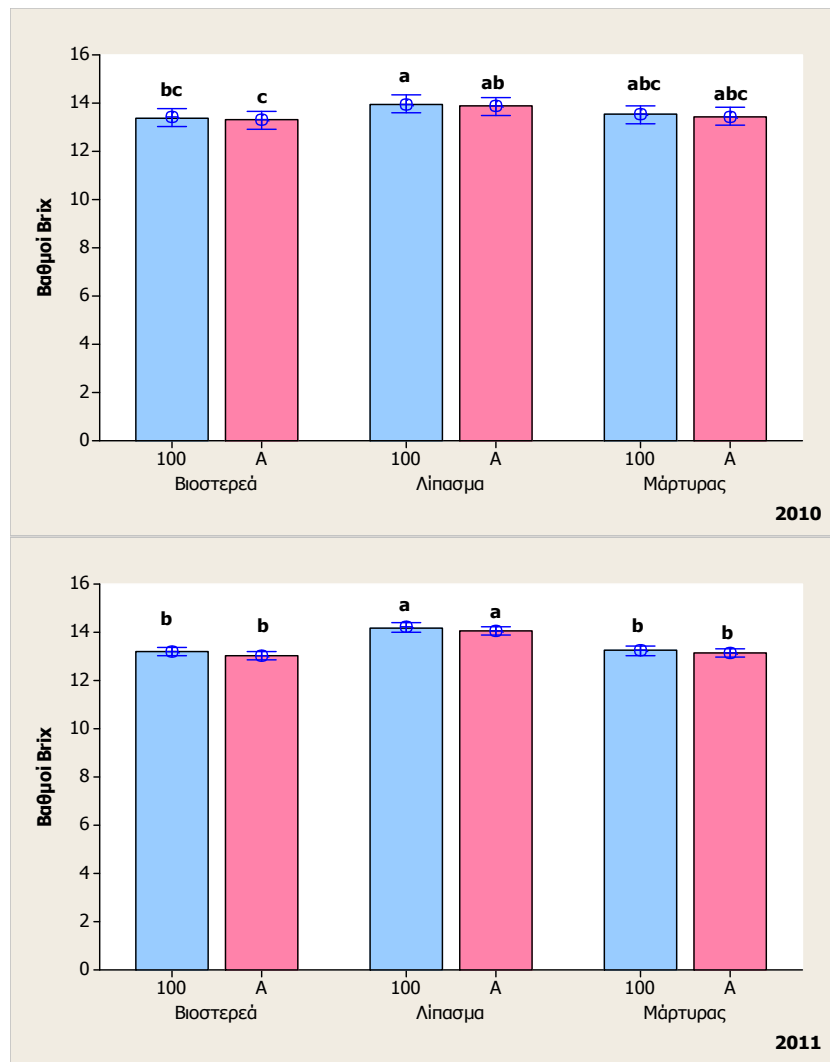
Στο Σχήμα 9.2, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100, ΛΑ, M100 και ΜΑ.
- β) ΛΑ, M100, ΜΑ και Β100.
- γ) M100, ΜΑ, Β100 και ΒΑ.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100 και ΛΑ.
- β) M100, Β100, ΜΑ και ΒΑ.



Σχήμα 9.2: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 9.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 9.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	5,88	0,009
	Ομάδες	2	8,75	0,006
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	61,52	0,000
	Ομάδες	2	5,34	0,026
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 9.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 9.4: Μέσοι όροι της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών σε σάκχαρα, για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διατίας	
Μεταχείριση	Περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα (°Bx)
Λ100	14,1 ±0,3 A
ΛΑ	14,0 ±0,2 A
Μ100	13,4 ±0,3 B
Β100	13,3 ±0,2 B
ΜΑ	13,3 ±0,3 B
ΒΑ	13,2 ±0,2 B

9.2.3 Συζήτηση

Η μέση τιμή της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου σε σάκχαρα, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από 13,3 ±0,2 °Bx έως 14,5 ±0,3 °Bx, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα (14,5 ±0,3 °Bx) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του λιπάσματος που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Το αποτέλεσμα ως προς την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα ήταν το ίδιο, είτε η καλλιέργεια αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, είτε με το 100%. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Αντίστοιχα, το αποτέλεσμα ως προς την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα ήταν το ίδιο, είτε η καλλιέργεια αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, είτε με το 80%. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην περιεκτικότητα

του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου σε σάκχαρα κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $13,2 \pm 0,2$ °Bx έως $14,1 \pm 0,3$ °Bx, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα ($14,1 \pm 0,3$ °Bx) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση του λιπάσματος που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα.

Όσον αφορά τη μείωση στην περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου στις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκαν βιοστερεά σε σχέση με τις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκε λίπασμα, αυτή δεν μπορεί να αποδοθεί κάπου συγκεκριμένα. Σχετικές έρευνες έχουν δείξει πως σε αργιλώδη εδάφη, όπως αυτό της παρούσας έρευνας, εφαρμογή αζώτου είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής σακχάρων της καλλιέργειας (Holou & Stevens, 2012). Επίσης στην έρευνα αυτή βρέθηκε πως η παραγωγή της καλλιέργειας σε σάκχαρα μεταβαλλόταν κάθε έτος και αυτό αποδόθηκε σε περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το κλίμα, ο τύπος του εδάφους και οι αλληλεπιδράσεις των φυτών, των μικροοργανισμών και του εδάφους. Αντίθετα σε άλλη έρευνα βρέθηκε πως με την αύξηση της λίπανσης αζώτου η περιεκτικότητα των φυτών σε σάκχαρα μειώθηκε (Almodares et al., 2009).

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά στην αύξηση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών του γλυκού σόργου στις μεταχειρίσεις που εφαρμόστηκε ελλειμματική άρδευση, έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Συγκεκριμένα, οι Geng et al. (1989) αναφέρουν πως κάτω από συνθήκες έλλειψης υγρασίας το γλυκό σόργο παρουσίασε αύξηση κατά 29% στην συγκέντρωση των σακχάρων, ενώ παρόμοια με αυτούς δεδομένα βρέθηκαν από τους Maiti & Ross (1990) και Alhajturki et al. (2012). Επίσης οι Smith & Buxton (1993) βρήκαν αύξηση στην συγκέντρωση σακχάρων ανάμεσα σε μη αρδευόμενη και αρδευόμενη καλλιέργεια. Τέλος, η αύξηση της περιεκτικότητας των σακχάρων αποδίδεται σε οσμωτικό ρυθμιστικό μηχανισμό που έχει ως στόχο την αποφυγή της αφυδάτωσης του φυτού (Wang et al., 1991).

9.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Παρακάτω παρουσιάζεται η διακύμανση της θεωρητικής παραγωγής της καλλιέργειας σε βιοαιθανόλη, κατά τη συγκομιδή. Ο τρόπος υπολογισμού της θεωρητικής παραγωγής της καλλιέργειας σε βιοαιθανόλη, αναφέρθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο.

9.3.1 Διακύμανση της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 9.3, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

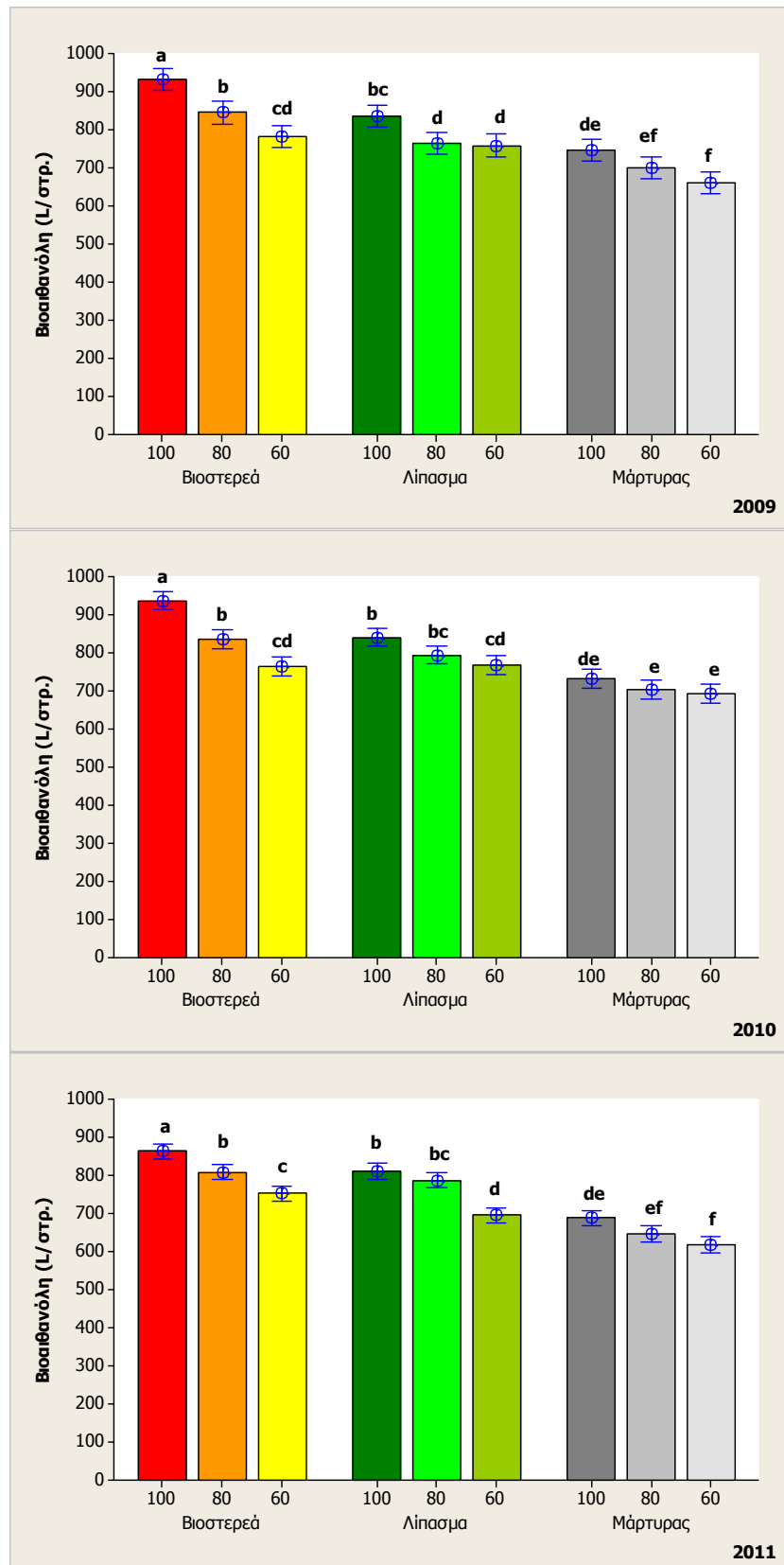
- α) B80 και Λ100.
- β) Λ100 και B60.
- γ) B60, Λ80, Λ60 και M100.
- δ) M100 και M80.
- ε) M80 και M60.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100, B80 και Λ80.
- β) Λ80, Λ60 και B60.
- γ) Λ60, B60 και M100.
- δ) M100, M80 και M60.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ100, B80 και Λ80.
- β) Λ80 και B60.
- γ) Λ60 και M100.
- δ) M100 και M80.
- ε) M80 και M60.



Σχήμα 9.3: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 9.5 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 9.5: Ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	49,33	0,000
	Ομάδες	2	5,34	0,017
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	49,02	0,000
	Ομάδες	2	1,74	0,208
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	77,52	0,000
	Ομάδες	2	1,42	0,271
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

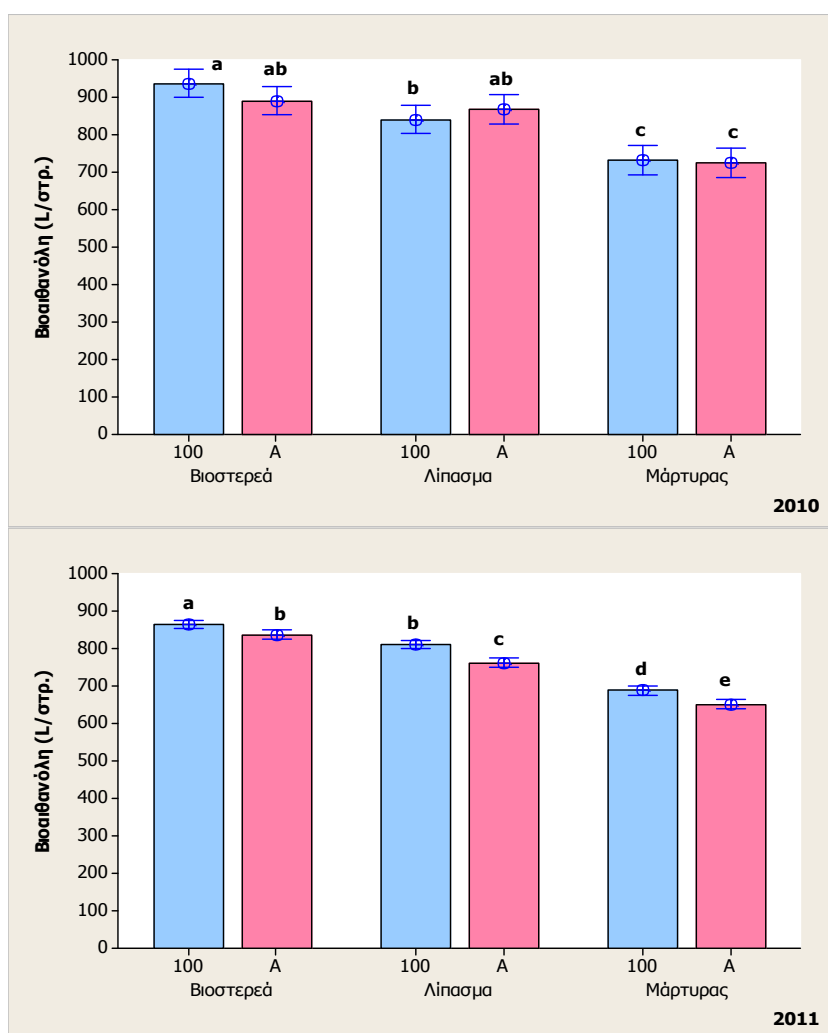
Στον Πίνακα 9.6 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 9.6: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης (L/στρ.)	
B100	911 ±38	A
B80	830 ±22	B
A100	829 ±24	B
A80	782 ±17	C
B60	766 ±22	CD
A60	741 ±43	DE
M100	722 ±32	E
M80	683 ±34	F
M60	657 ±37	F

9.3.2 Διακύμανση της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 9.4, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου, της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 9.4: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β100, ΒΑ και ΛΑ.
- β) ΒΑ, ΛΑ και Λ100.
- γ) Μ100 και ΜΑ.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις ΒΑ και Λ100.

Στον Πίνακα 9.7 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 9.7: Ανάλυση της διακύμανσης για τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	22,75	0,000
	Ομάδες	2	0,54	0,597
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	263,82	0,000
	Ομάδες	2	1,31	0,312
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 9.8 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 9.8: Μέσοι όροι της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διατίας		
Μεταχείριση	Θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης (L/στρ.)	
B100	900 ±43	A
BA	864 ±31	AB
Λ100	826 ±21	AB
ΛΑ	815 ±67	B
M100	710 ±28	C
MA	688 ±46	C

9.3.3 Συζήτηση

Η μέση τιμή της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας του γλυκού σόργου, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από 657 ± 37 L/στρ. έως 911 ± 38 L/στρ., για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας (911 ± 38 L/στρ.) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 18,5%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την θεωρητική παραγωγή περισσότερης βιοαιθανόλης (9,9%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την θεωρητική παραγωγή περισσότερης βιοαιθανόλης (6,1%) από ότι η εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από $13,2 \pm 0,2$ °Bx έως $14,1 \pm 0,3$ °Bx, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης της καλλιέργειας ($14,1 \pm 0,3$ °Bx) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα.

Παρόμοια αποτελέσματα, όσον αφορά την παραγωγή βιοαιθανόλης, έχουν βρεθεί και σε άλλες έρευνες. Ειδικότερα, οι Sakellariou-Makrantonaki et al. (2007) αναφέρουν πως για την ποικιλία γλυκού σόργου Keller, σε πείραμα που έγινε στην Κεντρική Θεσσαλία, η παραγωγή βιοαιθανόλης κυμάνθηκε από 670 L/στρ. έως 839 L/στρ., ενώ στην ίδια εργασία αναφέρονται και σε άλλες έρευνες με παρόμοια αποτελέσματα. Τέλος, το Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2006) αναφέρει πως η παραγωγή του γλυκού σόργου κυμαίνεται από 700-900 L/στρ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

10.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα και της θεωρητικής παραγωγής της καλλιέργειας σε βιοαιθανόλη, τα οποία προέκυψαν έπειτα από την επεξεργασία και στατιστική ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

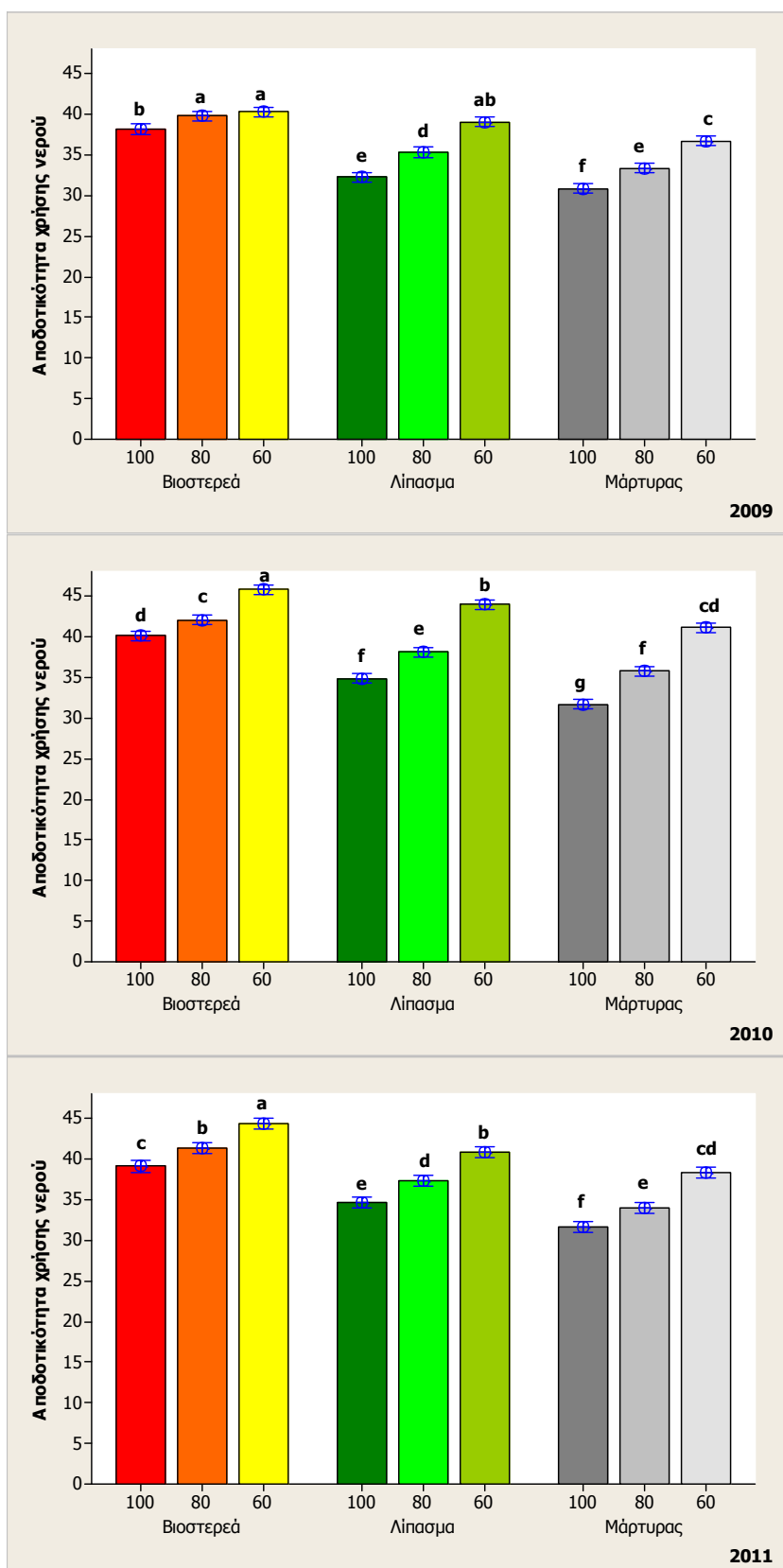
10.2 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΧΛΩΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, στις διάφορες μεταχειρίσεις.

10.2.1 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 10.1, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή την παραγωγή χλωρής βιομάζας (υπέργεια) της κάθε μεταχείρισης κατά τη συγκομιδή και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.2).



Σχήμα 10.1: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε γλωρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β60, Β80 και Λ60.
- β) Λ60 και Β100.
- γ) Μ80 και Λ100.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β80 και Μ60.
- β) Μ60 και Β100.
- γ) Μ80 και Λ100.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Β80 και Λ60.
- β) Β100 και Μ60.
- γ) Μ60 και Λ80.
- δ) Λ100 και Μ80.

Στον Πίνακα 10.1 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.1: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	194,93	0,000
	Ομάδες	2	3,97	0,040
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	247,89	0,000
	Ομάδες	2	0,12	0,885
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	228,58	0,000
	Ομάδες	2	5,52	0,015
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

Στον Πίνακα 10.2 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.2: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα (kg/m ³)	
B60	43,46 ±2,52	A
Λ60	41,28 ±2,21	B
B80	41,00 ±1,14	B
B100	39,09 ±0,94	C
M60	38,67 ±2,02	C
Λ80	36,88 ±1,32	D
M80	34,35 ±1,11	E
Λ100	33,89 ±1,30	E
M100	31,36 ±0,56	F

10.2.2 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 10.2, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%). Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή την παραγωγή χλωρής βιομάζας (υπέργεια) της κάθε μεταχείρισης κατά τη συγκομιδή και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.3).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

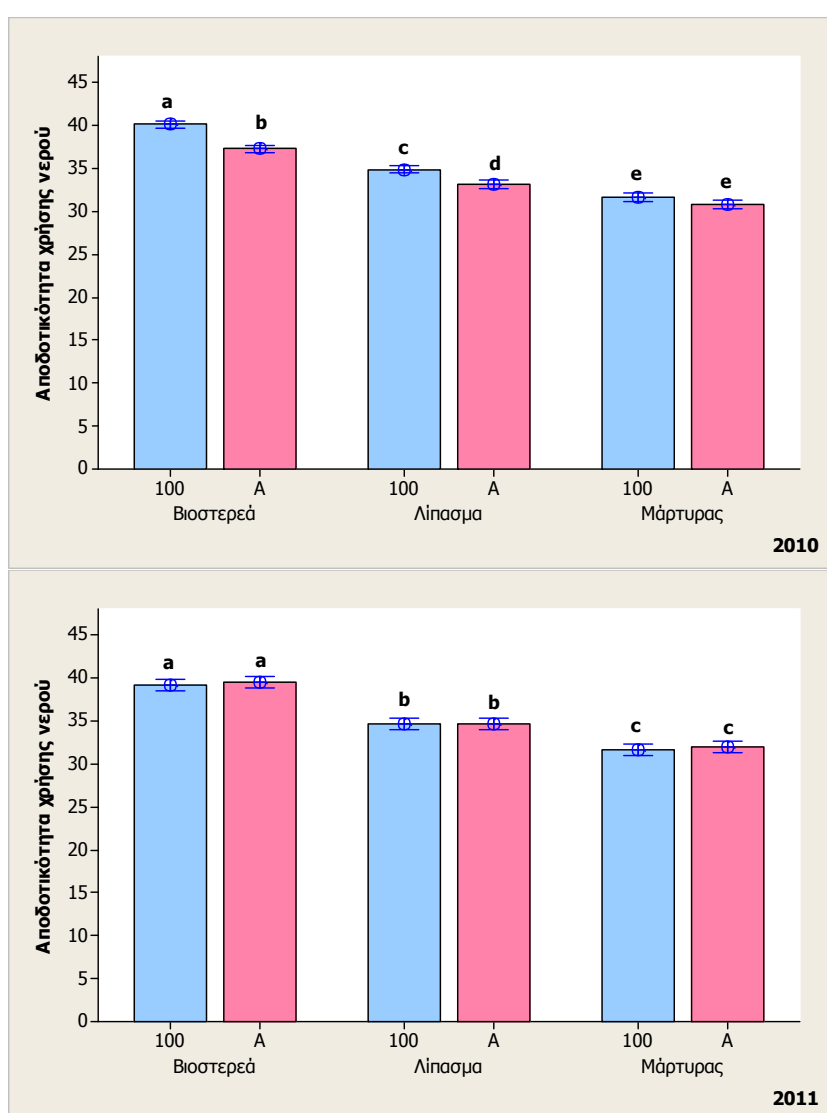
α) M100 και MA.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

α) BA και B100.

β) ΛΑ και Λ100.

γ) MA και M100.



Σχήμα 10.2: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε γλωρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 10.3 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.3: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	259,83	0,000
	Ομάδες	2	0,02	0,979
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	115,93	0,000
	Ομάδες	2	2,45	0,136
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 10.4 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.4: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διετίας	
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα (kg/m ³)
B100	39,57 ±0,67 A
BA	38,36 ±1,30 A
Λ100	34,70 ±0,55 B
ΛA	33,89 ±0,94 B
M100	31,64 ±0,37 C
MA	31,36 ±0,72 C

10.3 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΞΗΡΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, στις διάφορες μεταχειρίσεις.

10.3.1 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 10.3, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή την παραγωγή ξηρής βιομάζας (υπέργεια) της κάθε μεταχείρισης κατά τη συγκομιδή και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.2).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

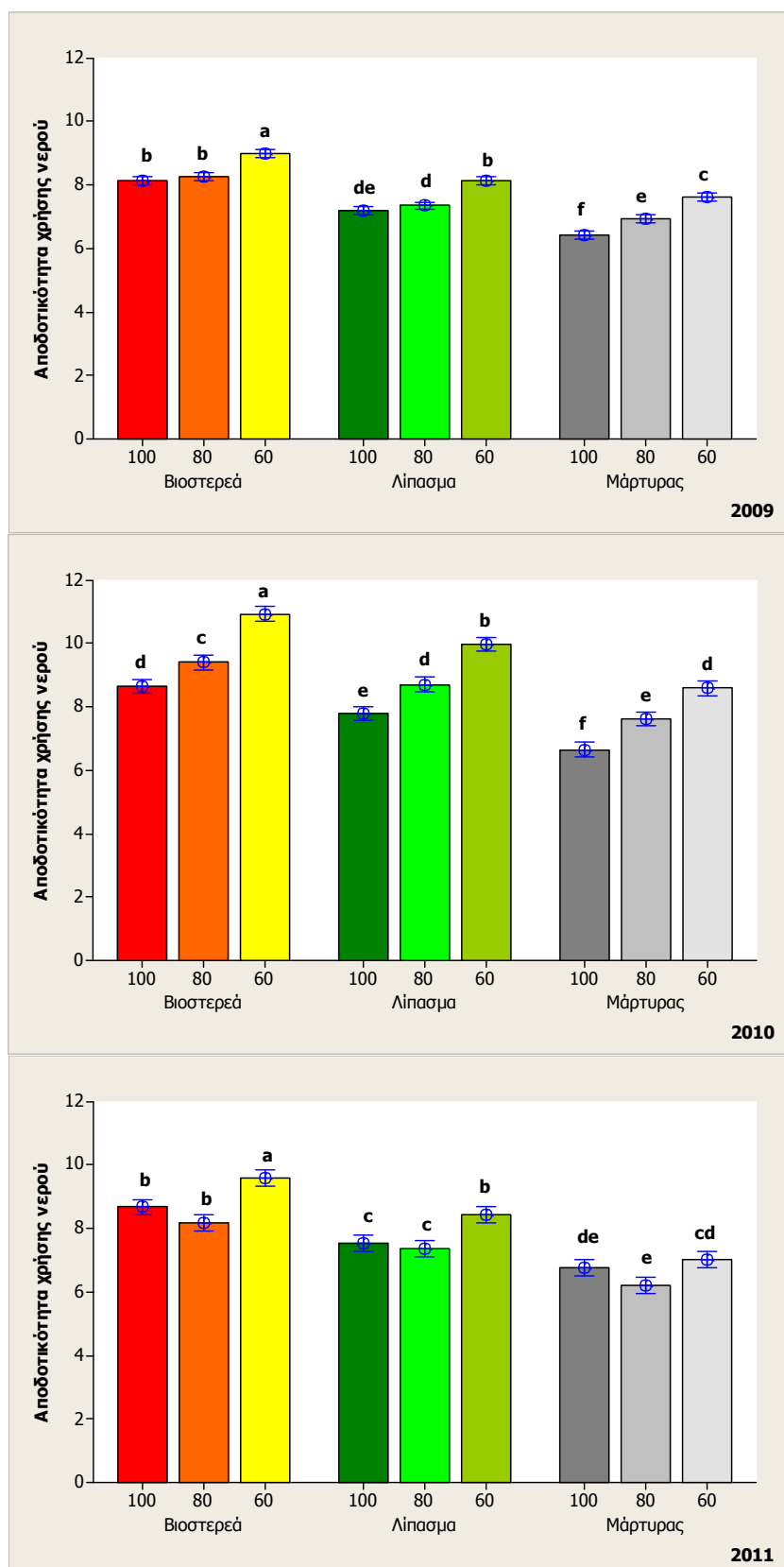
- α) B80, B100 και Λ60.
- β) Λ80 και Λ100.
- γ) Λ100 και M80.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ80, B100 και M60.
- β) Λ100 και M80.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100, Λ60 και B80.
- β) Λ100, Λ80 και M60.
- γ) M60 και M100.
- δ) M100 και M80.



Σχήμα 10.3: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Στον Πίνακα 10.5 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.5: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	243,58	0,000
	Ομάδες	2	4,61	0,026
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	155,95	0,000
	Ομάδες	2	2,28	0,134
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	80,06	0,000
	Ομάδες	2	1,38	0,281
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

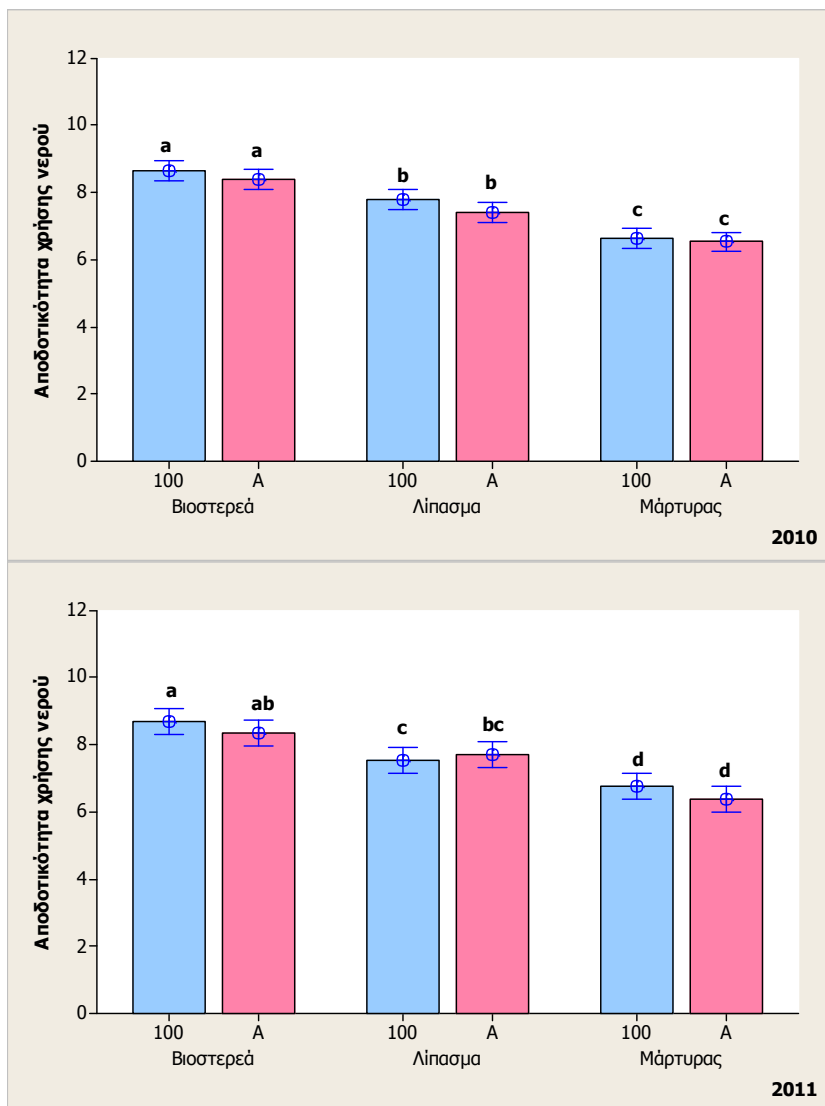
Στον Πίνακα 10.6 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.6: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας	
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m ³)
B60	9,86 ±0,35 A
Λ60	8,86 ±0,29 B
B80	8,62 ±0,62 B
B100	8,50 ±0,35 B
Λ80	7,82 ±0,68 C
M60	7,76 ±0,69 C
Λ100	7,50 ±0,34 CD
M80	6,93 ±0,63 DE
M100	6,62 ±0,22 E

10.3.2 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 10.4, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονται βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονται βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.



Σχήμα 10.4: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%). Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή την παραγωγή ξηρής βιομάζας της κάθε μεταχείρισης κατά τη συγκομιδή και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.3).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100 και BA.
- β) Λ100 και ΛΑ.
- γ) M100 και MA.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100 και BA.
- β) BA και ΛΑ.
- γ) ΛΑ και Λ100.
- δ) M100 και MA.

Στον Πίνακα 10.7 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.7: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	58,67	0,000
	Ομάδες	2	3,33	0,078
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	34,45	0,000
	Ομάδες	2	3,22	0,083
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 10.8 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.8: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

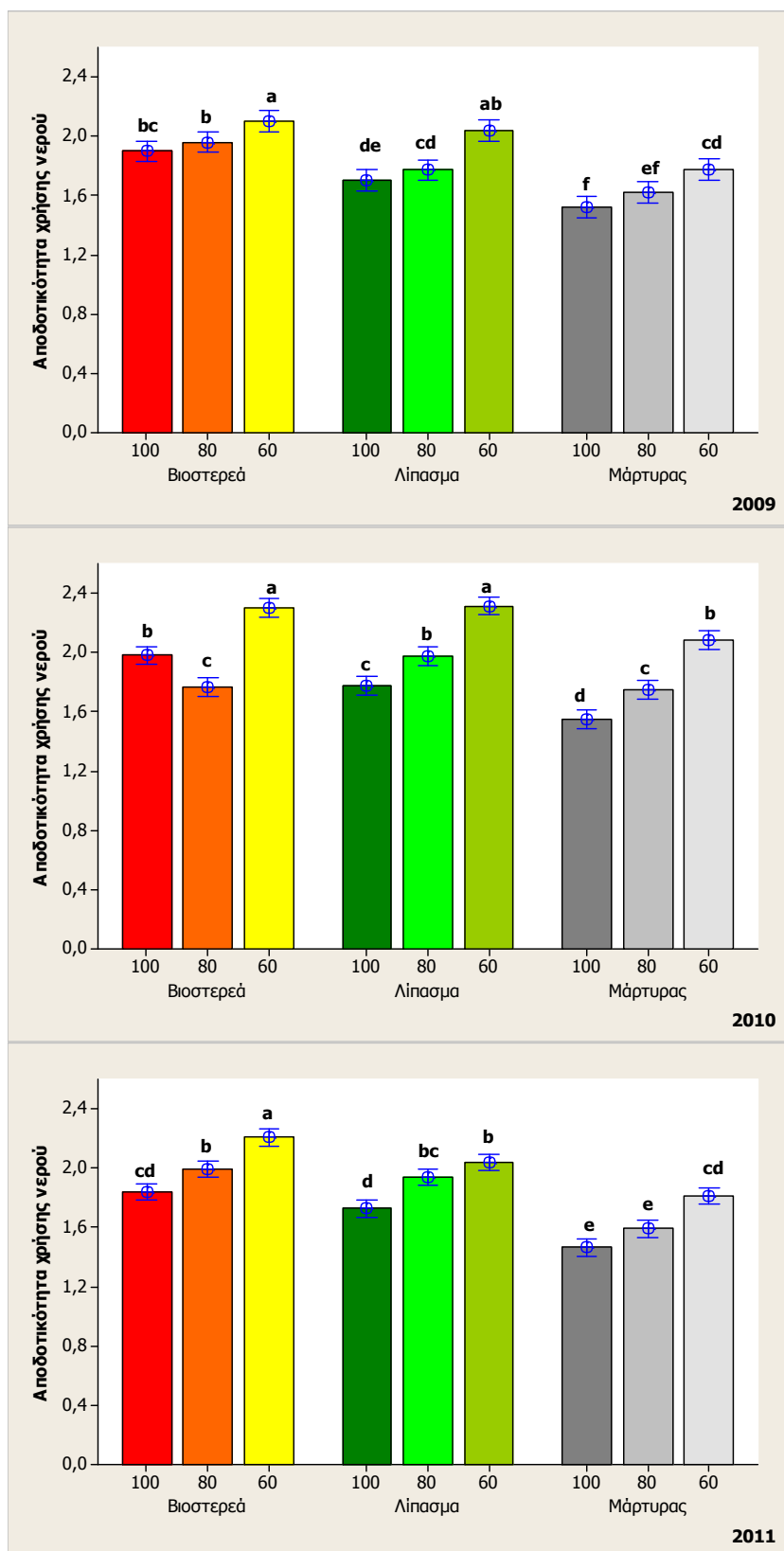
Μέσος όρος διατίας		
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα (kg/m ³)	
B100	8,67 ±0,28	A
BA	8,38 ±0,34	A
Λ100	7,66 ±0,30	B
ΛA	7,55 ±0,24	B
M100	6,72 ±0,20	C
MA	6,45 ±0,20	C

10.4 ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΒΑΣΕΙ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Παρακάτω, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που αφορούν την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, στις διάφορες μεταχειρίσεις.

10.4.1 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας

Στο Σχήμα 10.5, παρουσιάζονται τα ραβδογράμματα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).



Σχήμα 10.5: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοιθανόλης (L/m³) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της κάθε μεταχείρισης και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.2).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2009, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (σε επίπεδο σημαντικότητας 5%), ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B60 και Λ60.
- β) Λ60, B80 και B100.
- γ) B100, M60 και Λ80.
- δ) M60, Λ80 και Λ100.
- ε) Λ100 και M80.
- στ) M80 και M100.

Αντίστοιχα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ60 και B60.
- β) M60, B100 και Λ80.
- γ) Λ100, B80 και M80.

Επιπρόσθετα, από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) Λ60, B80 και Λ80.
- β) Λ80, B100 και M60.
- γ) B100, M60 και Λ100.
- δ) M80 και M100.

Στον Πίνακα 10.9 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.9: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2009	Μεταχειρίσεις	8	46,91	0,000
	Ομάδες	2	4,78	0,024
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2010	Μεταχειρίσεις	8	85,85	0,000
	Ομάδες	2	1,76	0,204
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		
2011	Μεταχειρίσεις	8	77,91	0,000
	Ομάδες	2	1,49	0,254
	Σφάλμα	16		
	Σύνολο	26		

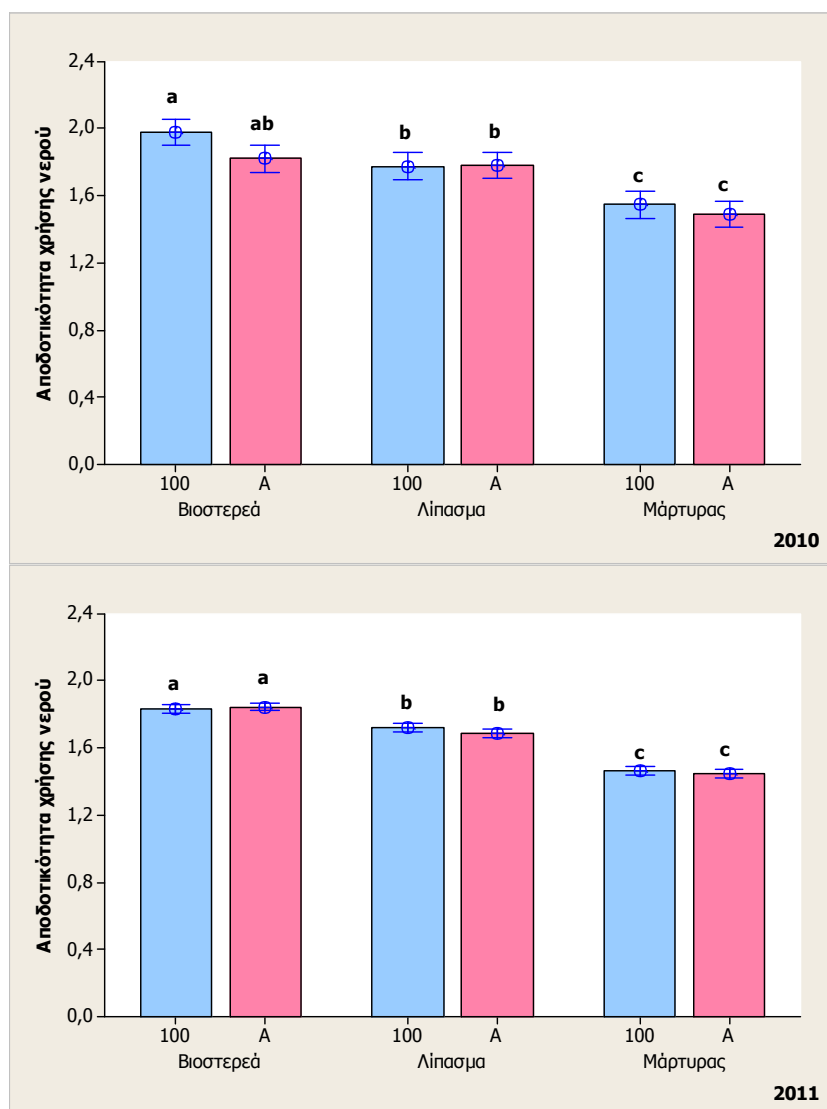
Στον Πίνακα 10.10 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα τρία έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.10: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης για τα τρία έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος τριετίας		
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης (L/m ³)	
B60	2,204 ±0,101	A
Λ60	2,131 ±0,155	A
B80	1,906 ±0,113	B
B100	1,906 ±0,067	B
Λ80	1,895 ±0,097	B
M60	1,890 ±0,155	B
Λ100	1,736 ±0,052	C
M80	1,655 ±0,087	C
M100	1,511 ±0,052	D

10.4.2 Διακύμανση της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

Στο Σχήμα 10.6, παρουσιάζεται το ραβδόγραμμα των μέσων όρων των τιμών της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) καθώς και των μεταχειρίσεων που αρδεύονταν βάσει του 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Επιπρόσθετα, σε κάθε ράβδο του μέσου όρου της κάθε μεταχείρισης, απεικονίζονται τα διαστήματα εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Στο διάγραμμα παρουσιάζεται επίσης η κατάταξη των μεταχειρίσεων για κάθε έτος, όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%). Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Bos (όπως περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο), με αριθμητή τη θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης της κάθε μεταχείρισης και παρονομαστή την ποσότητα του νερού που εφαρμόστηκε συνολικά στην μεταχείριση (Πίνακας 4.3).



Σχήμα 10.6: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης (L/m^3) σε κάθε μεταχείριση, ανά έτος, κατά τη συγκομιδή, καθώς και των διαστημάτων εμπιστοσύνης αυτών για επίπεδο σημαντικότητας 5% (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Όπως προέκυψε από τη στατιστική ανάλυση για το έτος 2010, δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) B100 και BA.
- β) BA, ΛA και Λ100.
- γ) M100 και MA.

Επιπρόσθετα, από την ανάλυση για το έτος 2011 προέκυψε πως δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (επίπεδο σημαντικότητας 5%) ανάμεσα στις μεταχειρίσεις:

- α) BA και B100.
- β) Λ100 και ΛA.
- γ) M100 και MA.

Στον Πίνακα 10.11 παρουσιάζεται η ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, για κάθε έτος.

Πίνακας 10.11: Ανάλυση της διακύμανσης για την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης κατά τη συγκομιδή, ανά έτος.

Έτος	Πηγή	Βαθμοί Ελευθερίας	F	P
2010	Μεταχειρίσεις	5	23,52	0,000
	Ομάδες	2	0,55	0,594
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		
2011	Μεταχειρίσεις	5	238,35	0,000
	Ομάδες	2	1,30	0,315
	Σφάλμα	10		
	Σύνολο	17		

Στον Πίνακα 10.12 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα δυο έτη συνολικά, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, λαμβάνοντας το έτος ως τυχαία επίδραση. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται η κατάταξη των μεταχειρίσεων όπως προέκυψε έπειτα από τη στατιστική ανάλυση, με τους μέσους όρους που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα να έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (επίπεδο σημαντικότητας 5%).

Πίνακας 10.12: Μέσοι όροι της αποδοτικότητας χρήσης νερού της καλλιέργειας βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, για τα δυο έτη συνολικά (οι μέσοι όροι που δεν μοιράζονται το ίδιο γράμμα έχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους).

Μέσος όρος διείσδυσης		
Μεταχείριση	Αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης (L/m ³)	
B100	1,909 ±0,085	A
BA	1,835 ±0,024	AB
Λ100	1,752 ±0,040	B
ΛA	1,736 ±0,087	B
M100	1,506 ±0,055	C
MA	1,472 ±0,053	C

10.5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από $31,36 \pm 0,56 \text{ kg/m}^3$ έως $43,46 \pm 2,52 \text{ kg/m}^3$, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα ($43,46 \pm 2,52 \text{ kg/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (5,3%) βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (11,2%) βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (15,3%) βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (28,2%) βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $31,36 \pm 0,72 \text{ kg/m}^3$ έως $39,57 \pm 0,67 \text{ kg/m}^3$, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή

βιομάζα ($39,57 \pm 0,67 \text{ kg/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε χλωρή βιομάζα.

Η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από $6,62 \pm 0,22 \text{ kg/m}^3$ έως $9,86 \pm 0,35 \text{ kg/m}^3$, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα ($9,86 \pm 0,35 \text{ kg/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Το αποτέλεσμα ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα ήταν το ίδιο, είτε η καλλιέργεια αρδεύεται με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής, είτε με το 100%. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 15,7%.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (11,3%) βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (10,2%) βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (13,3%) βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (31,5%) βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα, κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $6,45 \pm 0,20 \text{ kg/m}^3$ έως $8,67 \pm 0,28 \text{ kg/m}^3$, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα ($8,67 \pm 0,28 \text{ kg/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της παραγωγής σε ξηρή βιομάζα.

Η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, κυμάνθηκε από $1,511 \pm 0,052 \text{ L/m}^3$ έως $2,204 \pm 0,101 \text{ L/m}^3$, για τα τρία έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης ($2,204 \pm 0,101 \text{ L/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε το ίδιο αποτέλεσμα ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, με την εφαρμογή

λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 80% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της αποδοτικότητας χρήσης νερού (27%) βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, σε σχέση με την εφαρμογή λιπάσματος σε συνδυασμό με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας. Η διαφορά στην ποσότητα του νερού άρδευσης αντιστοιχεί σε ποσοστό που φθάνει το 31,3%.

Όσον αφορά στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας, η μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης, κατά τη συγκομιδή, κυμάνθηκε από $1,472 \pm 0,053 \text{ L/m}^3$ έως $1,909 \pm 0,085 \text{ L/m}^3$, για τα δυο έτη της έρευνας. Η μεγαλύτερη μέση τιμή της αποδοτικότητας χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης ($1,909 \pm 0,085 \text{ L/m}^3$) παρατηρήθηκε στη μεταχείριση των βιοστερεών που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας.

Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους), δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού βάσει της θεωρητικής παραγωγής βιοαιθανόλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

11.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Είναι γεγονός ότι τουλάχιστον το 70% των διαθέσιμων υδατικών πόρων παγκοσμίως προορίζονται για αρδεύσεις (Cosgrove & Rijsberman, 2000· FAO, 2014). Στην Ελλάδα αυτό το ποσοστό ανέρχεται περίπου στο 87,4%, ποσοστό αρκετά σημαντικό σε σχέση με το υπόλοιπο 12,6% που διατίθεται για αστική και βιομηχανική χρήση (Eurostat, 2007). Ανάλογα με τις επικρατούσες εδαφικές και κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες σε νερό άρδευσης μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τους διαθέσιμους υδατικούς πόρους και να δημιουργείται πρόβλημα, όχι μόνο στον αγροτικό τομέα αλλά και σε άλλους χρήστες. Η μείωση των απωλειών του νερού, έστω και σε μικρό ποσοστό, θα εξοικονομήσει σημαντικές ποσότητες νερού, οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν στην ικανοποίηση άλλων αναγκών πρώτης προτεραιότητας ή στην βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μιας περιοχής.

Οι ευεργετικές ιδιότητες των βιοστερεών σαν εδαφοβελτιωτικό είναι γενικότερα αναγνωρισμένες. Με την προσθήκη βιοστερεών στο έδαφος βελτιώνεται η δομή του καθώς και πολλά φυσικά χαρακτηριστικά του. Επίσης, τα φυτά μπορούν να δεσμεύσουν από το έδαφος πιο εύκολα τα θρεπτικά στοιχεία και το νερό, ενώ σε πολλές περιπτώσεις αυξάνεται η παραγωγή και η ποιότητα των φυτών. Τα βιοστερεά αποτελούν σημαντική πηγή θρεπτικών στοιχείων για τις καλλιέργειες (Epstein, 2003· United States Environmental Protection Agency, 1999).

Τα τελευταία 60 χρόνια γίνεται μια εντατική προσπάθεια της επιστημονικής κοινότητας να εμβαθύνει στα αποτελέσματα της χρήσης των βιοστερεών στο έδαφος και κυρίως στις βλαβερές ουσίες που μπορούν να περιέχουν. Παράλληλα, την τελευταία δεκαετία η επιστημονική κοινότητα άρχισε να ενδιαφέρεται για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως το βιοντήζελ και η βιοαιθανόλη, σε μια προσπάθεια να αντικατασταθούν τα παραδοσιακά καύσιμα και να μειωθούν οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα.

Θεωρώντας το γλυκό σόργο ως πιθανή μελλοντική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης στην Ελλάδα, στόχος της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη σε πραγματικές συνθήκες των πλεονεκτημάτων της εφαρμογής επεξεργασμένων στερεών αστικών αποβλήτων στη γεωργία και ειδικότερα η μελέτη της επίδρασής τους στη βελτίωση της αποδοτικότητας του νερού άρδευσης, στη βελτίωση των χαρακτηριστικών ανάπτυξης και παραγωγικότητας των φυτών και στην επίδραση της εφαρμογής τους στο περιβάλλον.

Η έρευνα διεξήχθη κατά τα συναπτά έτη 2009-2011 στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και στο Εργαστήριο Γεωργικής Υδραυλικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Εννέα μεταχειρίσεις σε τρεις επαναλήψεις οργανώθηκαν σε σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων: α) Εφαρμογή βιοστερεών (500kg/στρ.) στο έδαφος με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας), β) Εφαρμογή ανόργανης λίπανσης (ίδιες ποσότητες αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου (K) με τα βιοστερεά) με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας) και γ) Μάρτυρας (χωρίς εφαρμογή βιοστερεών ή ανόργανης λίπανσης) με τρεις διαφορετικές δόσεις άρδευσης (100%, 80% και 60% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας). Παράλληλα, σε παρακείμενο τεμάχιο, οργανώθηκαν τρεις μεταχειρίσεις (βιοστερεά, λίπανση, μάρτυρας) σε τρεις επαναλήψεις οι οποίες αρδεύονταν με δόση άρδευσης η οποία κάλυπτε το 100% των αναγκών της καλλιέργειας και η οποία οριζόταν από το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας. Η εδαφική υγρασία προσδιοριζόταν με αισθητήρα υγρασίας εδάφους. Η μέθοδος άρδευσης σε όλες τις μεταχειρίσεις ήταν η επιφανειακή στάγδην άρδευση.

Προσδιορίστηκαν οι εδαφικές, κλιματικές παράμετροι και παράμετροι των βιοστερεών, μετρήθηκαν τα χαρακτηριστικά ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών, ενώ υπολογίστηκε η αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας καθώς και η θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης.

Παράλληλα έγινε σύγκριση της άρδευσης βάσει της εδαφικής υγρασίας (100% των αναγκών της καλλιέργειας) και της άρδευσης με δόση ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής (ET_c) της καλλιέργειας.

11.2 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις μετρήσεις και παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τα τρία έτη της έρευνας, εξάγεται το συμπέρασμα πως η εδαφική υγρασία δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις περιπτώσεις εφαρμογής βιοστερεών και ανόργανης λίπανσης. Τα βιοστερεά που εφαρμόστηκαν ήταν σε μικρή ποσότητα η οποία δεν ήταν επαρκής ώστε να επηρεάσει τις υδραυλικές παραμέτρους του εδάφους.

Ως προς το ύψος των φυτών, η εφαρμογή βιοστερεών και η εφαρμογή ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης, είχαν το ίδιο αποτέλεσμα. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών με μειωμένη δόση άρδευσης, είχε το ίδιο αποτέλεσμα, ως προς το ύψος των φυτών, με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης με αυξημένη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις

που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς το ύψος των φυτών.

Η εφαρμογή βιοστερεών με μειωμένη δόση άρδευσης, είχε το ίδιο αποτέλεσμα, ως προς το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης με αυξημένη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς το δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

Η παραγωγή χλωρής βιομάζας της καλλιέργειας του γλυκού σόργου, αυξήθηκε σημαντικά με την εφαρμογή βιοστερεών έναντι της εφαρμογής ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών με μειωμένη δόση άρδευσης, είχε το ίδιο αποτέλεσμα, ως προς την παραγωγή χλωρής βιομάζας, με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης με αυξημένη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς την παραγωγή χλωρής βιομάζας.

Η παραγωγή ξηρής βιομάζας της καλλιέργειας του γλυκού σόργου, αυξήθηκε σημαντικά με την εφαρμογή βιοστερεών έναντι της εφαρμογής ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών υπό ελλειμματική δόση άρδευσης, είχε το ίδιο αποτέλεσμα, ως προς την παραγωγή ξηρής βιομάζας, με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης υπό πλήρη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς την παραγωγή ξηρής βιομάζας.

Η εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητας του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα σε σχέση με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών στο έδαφος υπό ελλειμματική άρδευση (60%), είχε το ίδιο αποτέλεσμα στην περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα, με την εφαρμογή ανόργανου λιπάσματος υπό πλήρη άρδευση. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας

(αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα του χυμού των στελεχών των φυτών σε σάκχαρα.

Η θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης φαίνεται να αυξήθηκε σημαντικά με την εφαρμογή βιοστερεών έναντι της εφαρμογής ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών με μειωμένη δόση άρδευσης, είχε το ίδιο αποτέλεσμα, ως προς την θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης, με την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης με αυξημένη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς την θεωρητική παραγωγή βιοαιθανόλης.

Η αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας φαίνεται να αυξήθηκε σημαντικά με την εφαρμογή βιοστερεών έναντι της εφαρμογής ανόργανης λίπανσης, υπό την ίδια δόση άρδευσης. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοστερεών με μειωμένη δόση άρδευσης, αύξησε σημαντικά την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας, έναντι της εφαρμογής ανόργανης λίπανσης με αυξημένη δόση άρδευσης. Ανάμεσα στις μεταχειρίσεις που αρδεύονταν με δόση άρδευσης ίση με το 100% της ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας και σε αυτές που αρδεύονταν βάσει της εδαφικής υγρασίας (αισθητήρας υγρασίας εδάφους) δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ως προς την αποδοτικότητα χρήσης νερού της καλλιέργειας.

Η ποσότητα των βιοστερεών που εφαρμοζόταν στο έδαφος, ετησίως, κάλυπτε πλήρως τις ανάγκες της καλλιέργειας του γλυκού σόργου όσον αφορά σε άζωτο και φώσφορο, ενώ η περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν σχετικά μικρή.

Οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων στα βιοστερεά, για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν εντός των ορίων που ορίζονται από τη νομοθεσία και μάλιστα πολύ χαμηλότερες από τις οριακές επιτρεπόμενες τιμές. Αυτό σημαίνει πως τα βιοστερεά που παράγονται στη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων της ΔΕΥΑΜΒ είναι ασφαλή για χρήση στη γεωργία και μάλιστα κατατάσσονται στην κλάση Α των βιοστερεών.

Οι ποσότητες των βαρέων μετάλλων που εισάγονταν στο έδαφος ετησίως αλλά και που εισήχθησαν συνολικά για τα τρία χρόνια της έρευνας, ήταν κατά πολύ χαμηλότερες από τις οριακές ποσότητες που επιτρέπονται να εισάγονται ετησίως (με βάση ένα μέσο όρο 10 ετών) από τη νομοθεσία.

Στο έδαφος παρατηρήθηκαν μερικές μικρές διαφορές μεταξύ των χημικών παραμέτρων του πριν την εφαρμογή βιοστερεών και μετά το τέλος της έρευνας. Συγκεκριμένα, φαίνεται να υπάρχει μια μικρή μείωση του pH του εδάφους στις μεταχειρίσεις όπου εφαρμόστηκαν τα

βιοστερεά, ενώ η αγωγιμότητα του εδάφους φαίνεται να είχε και αυτή μικρή αύξηση. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε ολικό φώσφορο φαίνεται να αυξήθηκε στις μεταχειρίσεις των βιοστερεών, ενώ όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, η περιεκτικότητα του εδάφους σε μόλυβδο και αρσενικό φαίνεται να αυξήθηκε επίσης.

Δεδομένων των ποσοτήτων των βιοστερεών και των ανόργανων λιπασμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα καθώς και των τιμών κοστολόγησής τους για την τριετία που διήρκησε η έρευνα, συμπεραίνουμε πως το κόστος εφαρμογής των βιοστερεών ήταν ίδιο με αυτό της ανόργανης λίπανσης.

Βάσει των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας μπορούμε να καταλήξουμε στο ευρύτερο συμπέρασμα πως η εφαρμογή βιοστερεών μπορεί να αντικαταστήσει την εφαρμογή ανόργανης λίπανσης στις καλλιέργειες ενεργειακών φυτών, με αύξηση στην παραγωγή βιομάζας και βιοαιθανόλης, χωρίς η αντικατάσταση αυτή να επιβαρύνει σημαντικά το περιβάλλον.

Η παραγωγή των ανόργανων λιπασμάτων, ως γνωστόν, καταναλώνει τεράστια ποσά ενέργειας τα οποία θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν με τη χρήση των βιοστερεών.

Παράλληλα με την εφαρμογή των βιοστερεών μπορεί να εξοικονομηθεί σε πολλές περιπτώσεις αρδευτικό νερό, χωρίς να μειωθεί η αποδοτικότητα της καλλιέργειας του γλυκού σόργου. Το ποσοστό εξοικονόμησης του αρδευτικού νερού υπερβαίνει σε πολλές περιπτώσεις το 31%. Αν αυτή η ποσότητα του αρδευτικού νερού εξοικονομούνταν θα υπήρχε όχι μόνο εξοικονόμηση σε επίπεδο υδατικών πόρων αλλά και σε πολύτιμη ενέργεια.

Δεδομένου ότι τα βιοστερεά μπορούν να εφαρμοστούν με τον υπάρχοντα γεωργικό εξοπλισμό στο έδαφος (δεν απαιτείται αγορά πρόσθετου εξοπλισμού) και δεδομένου ότι το κόστος των βιοστερεών και του αντίστοιχου ανόργανου λιπάσματος είναι το ίδιο, προκύπτει οικονομικό όφελος για τον παραγωγό τόσο από την αύξηση της παραγωγής, όσο και από την εξοικονόμηση του αρδευτικού νερού (Sakellariou & Dimakas, 2013).

Το γλυκό σόργο φαίνεται να είναι μια εναλλακτική καλλιέργεια για την παραγωγή βιομάζας και την παραγωγή ενέργειας στην Ελλάδα. Η εφαρμογή βιοστερεών στην καλλιέργεια του γλυκού σόργου μπορεί να ενισχύσει την αποδοτικότητά της και να επιφέρει εξοικονόμηση πόρων και ενέργειας (Sakellariou & Dimakas, 2013).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΟΡΟΛΟΓΙΑΣ

Πίνακας ορολογίας με τις αντιστοιχίσεις των ελληνικών και ξενόγλωσσων όρων

Ελληνικός όρος	Ξενόγλωσσος όρος
Ακτίνιο	Rad
Ανακλασιμετρία πλάτους	Amplitude domain reflectometry
Ανακλασιμετρία συχνότητας	Frequency domain reflectometry
Ανακλασιμετρία χρόνου	Time domain reflectometry
Ανάλυση της διακύμανσης	Analysis of variance
Αποδοτικότητα χρήσης νερού	Water use efficiency
Γενικό γραμμικό μοντέλο	General linear model
Δείκτης φυλλικής επιφάνειας	Leaf area index
Διαμορφωτής - Αποδιαμορφωτής	Modulator - Demodulator
Εικονοστοιχείο	Pixel
Ηλεκτροβαλβίδες	Control valves
Λευκαύγεια	Albedo
Λήψη δεδομένων μέσω Η/Υ	Download
Μέθοδος διακύμανσης των δινών	Eddy covariance
Οθόνη υγρών κρυστάλλων	Liquid crystal display
Παλινδρόμηση	Regression
Περιεκτικότητα σε διαλυτά σάκχαρα	Soluble sugar content
Πορεία τεθλασμένης γραμμής	Zig-zag
Σημείο μόνιμης μάρανσης (εδάφους)	Permanent wilting point
Σχέδιο τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων	Randomized complete block design
Υδατοϊκανότητα (εδάφους)	Field capacity
Υπολογιστής παλάμης	Personal digital assistant
Φαινόμενη πυκνότητα (εδάφους)	Bulk density
Φαινόμενο των περιθωριακών πεδίων	Fringing effect
Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης	Atomic absorption spectrometry
Φασματοσκοπία εκπομπής με διέγερση πλάσματος- Φασματομετρία ατομικής εκπομπής	Inductively coupled plasma- Atomic emission spectrometry
Φύλλο σημαίας	Flag leaf
Φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία	Photosynthetically active radiation
Χωρητικότητα	Capacitance
Ψηφιακό καταγραφικό	Data logger

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ – ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ – ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ**Ακρωνόμια και ανάπτυξή τους**

AAS	Atomic absorption spectrometry
ANOVA	Analysis of variance
FC	Field capacity
FDR	Frequency domain reflectometry
GLM	General linear model
GSM	Global system for mobile communications
ICP-AES	Inductively coupled plasma-Atomic emission spectrometry
LAI	Leaf Area Index
LCD	Liquid Crystal Display
LDPE	Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο
Modem	Modulator-Demodulator
PWP	Permanent Wilting Point
RCBD	Randomized Complete Block Design
WUE	Water use efficiency
ΔΕΥΑΜΒ	Δημοτική Επιχείρηση Ύδρευσης Αποχέτευσης Μείζονος Περιοχής Βόλου
κ.β.	Κατά βάρος
κ.ο.	Κατά όγκο
Κ.Ο.Γ.Π.	Κώδικας Ορθής Γεωργικής Πρακτικής
Π.Θ.	Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Μ.Ο.	Μέσος όρος
Υ.Α.Ε.	Υπέρυθρη Ακτινοθερμική Επεξεργασία
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβέρνησης
ΧΥΤΑ	Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αργυρούλη, Φ. Ε. (2005). *Μελέτη Σκοπιμότητας και Χωροθέτησης Βιολογικών Καθαρισμών Τουριστικών και Παραλιακών Περιοχών Θεσσαλίας*. Ανακτήθηκε από http://www.argiroulifotini.gr/portal/images/stories/pdf/meleti_skopimotitas_xorothetisis_viol_katharismou_n_larisas.pdf (Τελευταία πρόσβαση: 26-11-2013).

Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. *Οδηγία 2009/28/ΕΚ του Συμβουλίου της 23^{ης} Απριλίου 2009 σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ*. L 140/16.

Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. *Οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12^{ης} Ιουνίου 1986 σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία*. L 181/6.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (2004). *Κώδικες ορθής γεωργικής πρακτικής*. ΦΕΚ 142Β'/2004.

Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας (2004). *Μέθοδοι, όροι και περιορισμοί για την χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων*. ΦΕΚ 641Β'/1991.

Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2006). *Ενεργειακές καλλιέργειες για την παραγωγή υγρών και στερεών βιοκαυσίμων στην Ελλάδα*. Πικέρμι Αττικής: Συγγραφέας.

Μαμάσης, Ν. (2011). *Περιγραφή εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων Βόλου*. Ανακτήθηκε από <http://itia.ntua.gr/~nikos/plastiras/volos.doc> (Τελευταία πρόσβαση: 26-11-2013).

Μήτσιος, Ι. Κ. (2000). *Εδαφολογική μελέτη και εδαφολογικός χάρτης του αγροκτήματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στην περιοχή Βελεστίνου*. Αθήνα: Εκδόσεις Zymel.

Τερζίδης, Γ. Α., & Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ. (1997). *Γεωργική υδραυλική*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd El-Lattief, E. A. (2011). Nitrogen management effect on the production of two sweet sorghum cultivars under arid regions conditions. *Asian Journal of Crop Science*, 3(2), 77-84.
- Alexopoulou, E., Chatziathanassiou, A., Panoutsou, C., Koutoukidis, A., Tsakiris, S., & Drimaki, E. (2000). Yields and public perception of sweet sorghum growth in demonstrative fields of northern Greece. *Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June, Sevilla, Spain*, 1638-1641.
- Alhajturki, D., Aljamali, M., Kanbar, A., & Azmah, F. (2012). Potential of some sweet sorghum (*sorghum bicolor* L.) genotypes under two water regimes for sugar and bio-ethanol production. *Sugar Tech*, 14(4), 376-382.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* (Irrigation and drainage paper 56). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Almodares, A. A., Hotjatabady, R. H., & Mirniam, E. (2013). Effects of drought stress on biomass and carbohydrate contents of two sweet sorghum cultivars. *Journal of Environmental Biology*, 34(3), 585-589.
- Almodares, A., Jafarinia, M., Hadi, M. (2009). The effects of nitrogen fertilizer on chemical compositions in corn and sweet sorghum. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 6, 441-446.
- Antille, D. L., Sakrabani, R., & Godwin, R. J. (2012). Nitrogen and phosphorus availability following topsoil application of mineral and organomineral fertilisers (OMF). Paper presented at the *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2012*, 5, 4134-4150.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1953). Saison seche et indice xerothermique. *Bull. Soc. Hist. Nat. de Toulouse*, 88, 193-240.
- Blaney, H. F., & Criddle, W. D. (1950). *Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data* (Soil Conserv. Serv. Tech. Paper 98). Washington, DC: Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture.

- Boltzmann, L. (1888). Über einen von prof. pebal vermutheten thermochemischen satz, betreffend nicht umkehrbare elektrolytische processe. *Monatshefte Für Chemie*, 8(1), 230-236.
- Bordovsky, J. P., & Lyle, W. M. (1996). LEPA irrigation of grain sorghum with varying water supplies. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 39(6), 2033-2038.
- Bos, M. G., & Nugteren, J. (1990). *On irrigation efficiencis* (4th ed.). Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, 27(6), 779-787.
- Calviño, M., & Messing, J. (2012). Sweet sorghum as a model system for bioenergy crops. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(3), 323-329.
- Campbell, G. S. (1986). Extinction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36, 317-321.
- Ceclan, R. E., Pop, A., & Ceclan, M. (2012). Studies concerning the integrated use of sweet sorghum for bioethanol production in romania. *Chemical Engineering Transactions*, 29, 877-882.
- Ceotto, E., Di Candilo, M., Castelli, F., Badeck, F-W., Rizza, F., Soave, C., Volta, A., Villani, G., & Marletto, V. (2013). Comparing solar radiation interception and use efficiency for the energy crops giant reed (*arundo donax* L.) and sweet sorghum (*sorghum bicolor* L. moench). *Field Crops Research*, 149, 159-166.
- Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, CA: University of California.
- Cosentino, S. L. (1996). Crop physiology of sweet sorghum. *Proceedings of 1st European Seminar on Sorghum for energy and industry*, 30-41.
- Cosentino, S. L., Mantineo, M., & Testa, G. (2012). Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*sorghum bicolor* moench (L.)) cv. keller under semi-arid conditions. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 329-342.

- Cosgrove, W. J., & Rijsberman, F. R. (2000). *World water vision. Making water everybody's business*. London: Earthscan publications ltd.
- Curt, M. D., Fernandez, J. & Martinez, M. (1995). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum Bicolor* (L.) Moench) cv. 'Keller' in relation to water regime. *Biomass and Bioenergy* 8(6), 401-409.
- Dean, T. J. (1994). *The IH capacitance probe for measurement of soil water content* (Report No. 125). Wallingford, United Kingdom: Institute of Hydrology.
- Dercas, N., & Liakatas, A. (2007). Water and radiation effect on sweet sorghum productivity. *Water Resources Management*, 21(9), 1585-1600.
- Dolciotti, I., Mambelli, S., Grandi, S., & Venturi, G. (1998). Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fiber production. *Industrial Crops and Products*, 7(2-3), 265-272.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements* (Irrigation and drainage paper 24). Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- El Bassam, N. (1998). C3 and C4 plant species as energy sources and their potential impact on environment and climate. *Renewable Energy* 15, 205-210.
- Epstein, E. (2003). *Land application of sewage sludge and biosolids*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC.
- Eurostat Statistics (2007). *Annual freshwater abstraction by source and sector* [Table]. Retrieved from http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
- Fan, F., Spiertz, J. H. J., Han, L. P., Liu, Z. X., & Xie, G. H. (2013). Sweet sorghum performance under irrigated conditions in northwest china: Biomass and its partitioning in inbred and hybrid cultivars at two nitrogen levels. *Research on Crops*, 14(2), 459-470.
- FAO Statistics (2014). *Global sum of all withdrawal* [Graph]. Retrieved from http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm

- Foti, S., Cosentino, S. L., Copani, V., Patane, C., & Guarnaccia, P. (1996). Growth and yield of C4 species for biomass production in Mediterranean environment. *Proceedings of 9th European Bioenergy Conference: Biomass for energy and environment*, 616–621.
- Freeman, J. C., Thorburn, J. P., Fitch, P., & Bristow L. K. (2003). WetUp: a software tool to display approximate wetting patterns from drippers. *Irrigation Science*, 22, 129-134.
- Friedman, S. P. (1998). A saturation degree-dependent composite spheres model for describing the effective dielectric constant of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 34(11), 2949-2961.
- Geng, S., Hills, F. J., Johnson, S. S., & Sah, R. N. (1989). Potential Yields and On-Farm Ethanol Production Cost of Corn, Sweet Sorghum, Fodderbeet, and Sugarbeet. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 162, 21–29.
- Gupta, S. C., Dowdy, R. H., & Larson, W. E. (1977). Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 41, 601-605.
- He, K. (2013). *Biosolids used as fertilizer in China and other countries*. Retrieved from <http://www.lead.org.au/lanv10n1/lanv10n1-4.html>
- Heimovaara, T. J., Bouten, W., & Verstaten, J. M. (1994). Frequency domain analysis of time domain reflectometry waveforms: 2. A four-component complex dielectric mixing model for soils. *Water Resources Research*, 30(2), 201-209.
- Holou, R. A. Y., & Stevens, G. (2012). Juice, sugar, and bagasse response of sweet sorghum (sorghum bicolor (L.) moench cv. M81E) to N fertilization and soil type. *GCB Bioenergy*, 4(3), 302-310.
- Howell, T.A. (2001). Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal* 93, 281-289.
- Ippolito, J. A., Barbarick, K. A., Paschke, M. W., & Brobst, R. B. (2010). Infrequent composted biosolids applications affect semi-arid grassland soils and vegetation. *Journal of Environmental Management*, 91(5), 1123-1130.

- Kalavrouziotis, I. K., Filintas, A. T., Koukoulakis, P. H., & Hatzopoulos, J. N. (2011). Application of multicriteria analysis in the management and planning of treated municipal wastewater and sludge reuse in agriculture and land development: The case of sparti's wastewater treatment plant, greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20(2), 287-295.
- Kalavrouziotis, I. K., Koukoulakis, P. H., Ntzala, G., & Papadopoulos, A. H. (2012). Proposed indices for assessing soil pollution under the application of sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(8), 5189-5196.
- Kalavrouziotis, I. K., Sakellariou-Makrantonaki, M. S., Vagenas, I. N., & Lemesios, I. (2006). Assessment of water requirements of crops for the reuse of municipal wastewaters from the wastewater treatment plant at Patras, Greece. *International Journal of Environment and Pollution* 28(3-4), 485-495.
- Kalavrouziotis, I. K., Sakellariou-Makrantonaki, M. S., Vagenas, I. N., Hortis, T. C., & Drakatos, P. A. (2005). Systematic reuse potential of wastewater effluents for soils and agriculture obtained from the biological treatment plant of Agrinion, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin* 14(3), 204-211.
- Kelleners, T. J., Soppe, R. W. O., Robinson, D. A., Schaap, M. G., Ayars, J. E., & Skaggs, T. H. (2004). Calibration of capacitance probe sensors using electric circuit theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 430-439.
- Khaleel, R., Reddy, K. R., & Overcash, M. R. (1981). Changes in Soil Physical Properties Due to Organic Waste Applications: A Review. *J. Environ. Qual.*, 10, 133-141
- Klute, A. (Ed.). (1986). *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods* (2nd ed.). Madison, WI: Soil Science Society of America, American Society of Agronomy.
- Lichtenecker, K. (1926). Die dielektrizitatskonstante natuerlicher und kunstlicher mischkorper. *Physikalische Zeitschrift*, 27, 115-158.
- Lipinsky, E.S., Birkett, H.S., Polack, J.A., Atchison, J.E., Kresovich, S., McClure, T.A., & Lawhon, W.T. (1978). *Sugar crops as a source of fuels. Volume II: Processing and conversion research. Final report.* Battelle Columbus Labs, Ohio.

- Liu, R., Li, J., & Shen, F. (2008). Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation. *Renewable Energy* 33, 1130-1135.
- Lu, Q., He, Z. L., & Stoffella, P. J. (2012). Land application of biosolids in the USA: A review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012.
- Maiti, R. K., & Ross, F. L. (1990). Variability in biochemical characters of glossy, sorghum seedlings under irrigated and water stress conditions. *Sorghum Newsletter* 31, 52.
- Mastrorilli, M., Katerji, N., & Rana, G. (1999). Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages. *European Journal of Agronomy*, 11(3-4), 207-215.
- Minitab 16 Statistical Software (2010). [Computer software]. State College, PA: Minitab, Inc.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and analysis of experiments* (8th ed.). New York, NY: Wiley.
- Oguntunde, P. G., Olukunle, O. J., Fasinmirin, J. T., & Abiolu, O. A. (2012). Performance of the SunScan canopy analysis system in estimating leaf area index of maize. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 14(3), 1-7.
- Pages, L., Vercambre, G., Drouet, J., Lecompte F., Collet, C., & Le Bot, J. (2004). Root Typ: a generic model to depict and analyze the root system architecture. *Plant and Soil*, 258, 103-119.
- Pagliai, M., & Antisari, L. V. (1993). Influence of waste organic matter on soil micro- and macrostructure. *Bioresource Technology*, 43(3), 205-213.
- Potter, E., Wood, J., & Nichol, C. (1996). *User manual for the SunScan canopy analysis system type SSI* (version 1.05). Cambridge, United Kingdom: Delta-T Devices Ltd.
- Powers, W. L., Wallingford, G. W., & Murphy, L. S. (1975). *Research status on effects of land application of animal wastes*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.

- Pu, G., Bell, M., Barry, G., & Want, P. (2008). Fate of applied biosolids nitrogen in a cut and remove forage system on an alluvial clay loam soil. *Soil Research* 46(8), 703-709.
- Rains, G. C., & Cundiff, J. S. (1993). Design and field testing of whole-stalk sweet sorghum harvester. *Applied Engineering in Agriculture*, 9(1), 15-20.
- Reynolds, W.D. (1986). *The Guelph Permeameter method for in situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity and matric flux potential*. (Doctoral dissertation). University of Guelph, Ontario, Canada.
- Richards, L. A. (1941). A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Science*, 51(5), 377-386.
- Robinson, D. A., & Friedman, S. P. (2003). A method for measuring the solid particle permittivity or electrical conductivity of rocks, sediments, and granular materials. *Journal of Geophysical Research*, 108(B2), 2076.
- Robinson, D. A., Gardner, C. M. K., Evans, J., Cooper, J. D., Hodnett, M. G., & Bell, J. P. (1998). *Hydrology and Earth System Sciences*, 2(1), 111-120.
- Sacramento Regional County Sanitation District (2005). *Biosolids fact sheet: Historical use of biosolids*. Sacramento, CA: Author.
- Saeed, I. A. M., & El-Nadi, A. H. (1998). Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrigation Science*, 18(2), 67-71.
- Sakellariou-Makrantonaki, M. S., Kalavrouziotis, I. K., Giakos, D., & Vagenas, I. N. (2006). Potential and planning to reuse municipal wastewater for the irrigation of vinicultures in Attica, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin* 15(2), 129-135.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., & Dimakas, D. (2013). Effects of biosolids application on sweet sorghum biomass, water use efficiency and ethanol production. *Fresenius Environmental Bulletin*, 22(3A), 914-921.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papalexis, D., Nakos, N., & Kalavrouziotis, I. K. (2007). Effect of modern irrigation methods on growth and energy production of sweet sorghum (var. keller) on a dry year in Central Greece. *Agricultural Water Management*, 90(3), 181-189.

- Sakellariou-Makrantonaki, M., Papanikolaou, C., & Mygdakos, E. (2009). Fiber sorghum biomass yield, water use efficiency and economic results under different levels of water, using subsurface and surface irrigation systems. *Fresenius Environmental Bulletin* 18(9), 1624-1632.
- Sakellariou-Makrantonaki, M., Giouvanis, V., Soulti, A., Papadakis, E., & Koliou, A. (2012). Water-saving by irrigating two varieties of sorghum (energy plant) with treated municipal wastewater: a 3-years study in central Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 21(1A), 207-205
- Samuelsson, R., Burvall, J., & Jirjis, R. (2006). Comparison of different methods for the determination of moisture content in biomass. *Biomass and Bioenergy*, 30(11), 929-934.
- Sanderson, M. A., Jones, R. M., Ward, J., & Wolfe, R. (1992). *Silage sorghum performance trial at Stephenville. Forage Research in Texas* (Report PR-5018). Texas Agricultural Experimental Station, Stephenville, USA.
- Saxton, K. E., Rawls, W. J., Romberger, J. S., & Papendick, R. I. (1986). Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50(4), 1031-1036.
- Sentek Pty Ltd, (2006). *EnviroSMART & EasyAG SII voltage probe interface manual* (version 1.01). Stepney, South Australia: Author.
- Sentek Pty Ltd, (2009). *Diviner 2000 user guide* (revision 1.5). Stepney, South Australia: Author.
- Sentek Pty Ltd, (2011). *Calibration manual for Sentek soil moisture sensors* (version 2.0). Stepney, South Australia: Author.
- Shaheen, S., & Tsadilas, C. (2013). Utilization of biosolids in production of bioenergy crops I: Impact of application rate on canola biomass, soil properties, and nutrient availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1-4), 243-258.
- Smith, G. A., & Buxton, D. R. (1993). Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Technology* 43, 71-75.

- Stefan, J. (1890). Über die theorie der eisbildung. *Monatshefte Für Mathematik Und Physik*, 1(1), 1-6.
- Tarantino, A., Ridley, A. M., & Toll, D. G. (2009). Field measurement of suction, water content, and water permeability. In A. Tarantino, E. Romero & Y. J. Cui (Eds.), *Laboratory and field testing of unsaturated soils* (pp. 139-170). New York, NY: Springer.
- Tester, C. F. (1990). Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Science Society of America Journal* 54 (3), 827-831.
- Tsadilas, C. D., Mitsios, I. K., & Golia, E. (2005). Influence of Biosolids Application on Some Soil Physical Properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36(4), 709-716.
- Tukey, J. W. (1994). The problem of multiple comparisons. In H. I. Brown (Ed.), *The Collected Works of John W. Tukey. Volume VIII, Multiple comparisons: 1948-1943* (pp. 1-300). New York, NY: Chapman and Hall.
- United States Environmental Protection Agency (1999). *Biosolids generation, use, and disposal in the United States*. Washington, DC: Author.
- Vanderlip, R. L. (1993). *How a sorghum plant develops*. Manhattan, KS: Kansas State University.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Karagiannidis, N., & Gatsis, T. (2011). Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation. *Field Crops Research*, 120(1), 38-46.
- Venturi, P. and Venturi, G. (2003) Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy* 25, 235-255.
- Viets, F.G. (1962). Fertilizers and the Efficient Use of Water. *Advances in Agronomy* 14, 223-264.
- Volk, V. V., & Ullery, C. H. (1973). *Disposal of municipal wastes on sandy soils. Report to the Boeing Company*. Corvallis, OR: Dep. of Soil Sci., Oregon State University.

- Wang, L. K., Shammass, N. K., & Hung, Y. (Eds.). (2007). Biosolids treatment processes. *Handbook of environmental engineering* (Vol. 6). Totowa, NJ: Humana Press Inc.
- Wang, L. K., Shammass, N. K., & Hung, Y. (Eds.). (2008). Biosolids engineering and management. *Handbook of environmental engineering* (Vol. 7). Totowa, NJ: Humana Press Inc.
- Wang, Y. G., Jing, J. H., & Wang, S. T. (1991). The relationship between osmotic adjustment and elongation growth of sorghum leaves under water stress. *Acta Phytophysiological Sinica* 17(1), 37–43.
- Warman, P. R., & Termeer, W. C. (2005). Evaluation of sewage sludge, septic waste and sludge compost applications to corn and forage: Yields and N, P and K content of crops and soils. *Bioresource Technology* 96 (8), 955-961.
- Webb, N., Nichol, C., Wood, J., & Potter, E. (2008). *User manual for the SunScan canopy analysis system type SSI* (version 2). Cambridge, United Kingdom: Delta-T Devices Ltd.
- Whitfield, M. B., Chinn, M. S., Veal, M. W. (2012). Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 362-375.
- Whitney, D. (1998). *Grain sorghum production handbook*. Manhattan, KS: Kansas State University.
- Wilhelm, W. W., Ruwe, K., & Schlemmer, M. R. (2000). Comparison of three leaf area index meters in a corn canopy. *Crop Science*, 40(4), 1179-1183.
- Xie, T., Su, P., Shan, L., & Ma, J. (2012). Yield, quality and irrigation water use efficiency of sweet sorghum [sorghum bicolor (linn.) moench] under different land types in arid regions. *Australian Journal of Crop Science*, 6(1), 10-16.
- Yu, J., Zhong, J., Zhang, X., & Tan, T. (2010). Ethanol production from H₂SO₃ steam pretreated fresh sweet sorghum stem by simultaneous saccharification and fermentation. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 160, 401-409.
- Zhao, Y., Dolat, A., Steinberger, Y., Wang, X., Osman, A., & Xie, G. (2009). Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research* 111, 55-64.