

(200)

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ, ΣΤΡΕΣ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΜΕΝΗΣ ΜΕ GIS ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΡΑΒΟΣΙΤΟΥ

Αγ. Φιλίντας^{1α}, Π. Ντιούδης¹, Θ. Λέλλης¹,
Αρ. Παπαδόπουλος² και Ι. Χατζόπουλος³

¹ Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, 41110, Λάρισα, "filintas@teilar.gr

² ΕΘΙΑΓΕ/Ινστιτούτο Εδαφολογίας, 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη

³ Π. Αιγαίου, Σχ. Περιβ. Σπουδών, Τμ. Περιβ., Λόφος Πανεπιστημίου, 81100, Μυτιλήνη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης του εύρους άρδευσης (9, 12 και 15 ημερών), του υδατικού στρες φυτού και της χαρτογράφησης της εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στην απόδοση του αραβοσίτου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, το εύρος άρδευσης των 12 και 15 ημερών επέδρασε αρνητικά στην απόδοση του αραβοσίτου, και προκάλεσε σημαντικά υψηλότερες τιμές εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας (όπως λεπτομερώς έδειξε η GIS χαρτογράφηση), που οδήγησαν τα φυτά σε περιοδικά υδατικά στρες, κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, με αποτέλεσμα τη στατιστικά σημαντική μείωση της παραγωγής.

EFFECT OF IRRIGATION, PLANT STRESS AND GIS MAPPED DEPLETION OF AVAILABLE SOIL MOISTURE IN MAIZE YIELD

Ag. Filintas¹, P. Dioudis¹, Th. Lellis¹,
Ar. Papadopoulos² and J. Hatzopoulos³

¹ TEI of Larissa, Fac. of Agr., Dept. of Agr. Eng & Irrigation, 41110, Larissa, Greece.

² NAGREF/Soil Science Institute, 570 01 Thermi, Thessaloniki, Greece

³ University of the Aegean, Faculty of Environmental Studies, Department of Environment, University Hill, 81100, Mytilini, Greece

ABSTRACT

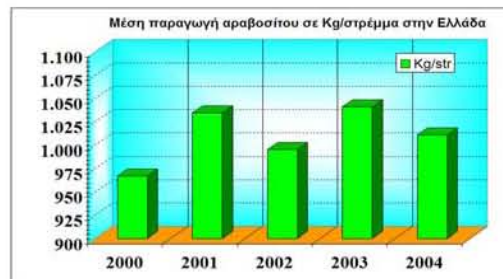
The aim of this project was to study the effect of irrigation interval (9, 12 and 15 days), plant water stressing and GIS mapping of the available soil moisture depletion, in maize yield. The results showed that, the irrigation interval affected negatively the yield of the 12 and 15 days irrigation interval and caused significantly higher values of available soil moisture depletion (as in detail showed GIS mapping), that led the plants to periodically water stresses, particularly at the months July-August, with result the statistically significant reduction of yield.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο αραβόσιτος (*Zea mays L.*) καλλιεργείται από 58^ο Βόρειο Γεωγραφικό πλάτος μέχρι 40^ο Νότιο Γεωγραφικό πλάτος και από το επίπεδο της θάλασσας μέχρι 3.800 μέτρα υψόμετρο. Αποτελεί μία κατεξοχήν αρδευόμενη καλλιέργεια ανά τον κόσμο [1] [2], με κύρια παραγωγό χώρα τις Η.Π.Α. [2]. Ο αραβόσιτος για να επιτύχει μέγιστες αποδόσεις έχει υψηλές εποχικές απαιτήσεις σε νερό [3] [2]. Οι υδατικές απαιτήσεις του αραβόσιτου κυμαίνονται από 500 έως 800 m³ νερού για την επίτευξη μέγιστης παραγωγής από μια ποικιλία μέσης ωριμότητας σπόρου [3]. Σε χονδρόκοκκα εδάφη παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής αραβόσιτου από το συνδυασμό βαθιάς άρδευσης και ενσωμάτωσης υπολειμμάτων (άχυρο) με αύξηση του εύρους άρδευσης [4].

Διάφοροι άλλοι ερευνητές [5] [6] [2] [7] [8] [9], που ασχολήθηκαν εκτεταμένα με την άρδευση του αραβόσιτου συγκλίνουν στο ότι η άρδευση είναι σημαντική από την εμφάνιση των αρρένων ταξιανθιών μέχρι την γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάρδικα. Για τις συνθήκες της Ελλάδος η άρδευση του αραβόσιτου εφαρμόζεται από τον Ιούνιο μέχρι την ωρίμανση, η οποία συμπίπτει συνήθως μέσα έως τέλος Αυγούστου [6] [7] [8] [2], φτάνοντας όμως μερικές φορές έως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Σεπτεμβρίου [6] [2]. Οι περισσότερες έρευνες στο συγκεκριμένο θέμα αναφέρονται στην επίδραση της άρδευσης, χρησιμοποιώντας ως συστήματα άρδευσης τον καταιονισμό ή τα αυλάκια. Αντιθέτως, ελάχιστες εργασίες έχουν γίνει με εφαρμογή στάγδην άρδευσης στον αραβόσιτο [6] [2] [7] [8] [9], οι οποίες έκαναν χρήση της μεθόδου του εξαιμισμέτρου για τον υπολογισμό της δόσης άρδευσης. Η μέθοδος αυτή το 2001 χρησιμοποιήθηκε στην Αγγλία ως μέθοδος προγραμματισμού άρδευσης σε ποσοστό 45% των αρδευόμενων εκτάσεων [13]. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της στάγδην άρδευσης είναι ότι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από διαθέσιμα όργανα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας [12] [13], ηλεκτρονικών προγραμματιστών και ηλεκτροδραυλικών στοιχείων που δίνουν τη δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης των δικτύων άρδευσης [12] [14].

Συνολικά, στην Ελλάδα ο αραβόσιτος καλύπτει έκταση 2.667.000 στρεμμάτων [2] δηλαδή το 5 % του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Το 2004 η μέση στρεμματική απόδοσή του στην Ελλάδα (στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας), ήταν 1.010,88 Kg/στρ (Σχήμα 1). Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του εύρους άρδευσης, του υδατικού στρες του φυτού λόγω μεγάλου εύρους άρδευσης και της εξάντλησης της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας μέσω χαρτογράφησης με GIS, στην απόδοση καλλιέργειας αραβόσιτου που αρδεύονταν με σύστημα στάγδην άρδευσης.



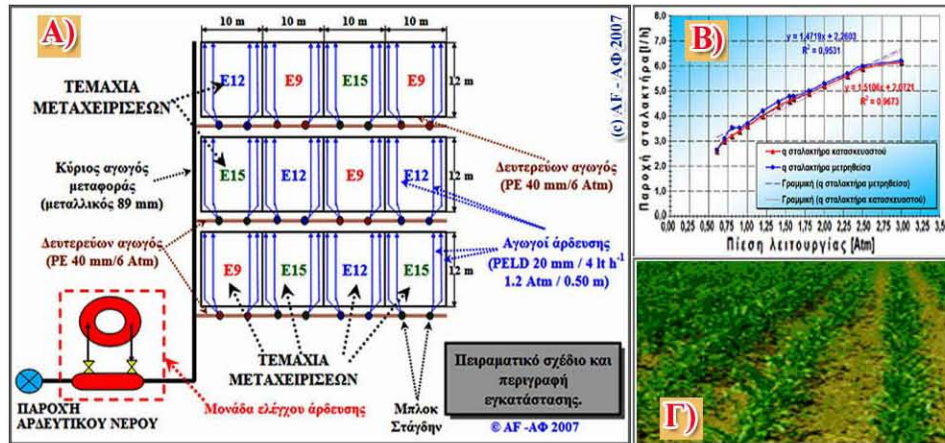
Σχήμα 1. Μέση παραγωγή αραβόσιτου σε Kg/στρ στην Ελλάδα από 2000-2004.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή εγκατάστασης

Η έρευνα έγινε κατά την καλλιεργητική περίοδο του έτους 2004 στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, στην πεδιάδα της Θεσσαλίας (Σχήμα 2.Α). Σε αγροτεμάχιο του αγροκτήματος του ΤΕΙ/Λ έγινε εγκατάσταση συστήματος στάγδην άρδευσης, όπου μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (9, 12

και 15 ημερών) στην απόδοση του αραβοσίτου. Το σύστημα άρδευσης (Σχήμα 2.Α) αποτελείτο: α) από μονάδα ελέγχου, β) από τον κύριο αγωγό γ) από τους δευτερεύοντες αγωγούς και δ) από τους σταλακτηφόρους σωλήνες (PELD 20 mm/σταλάκτες μαιανδρικής διαδρομής 4 lt ανά h στις 1,2 Atm με ισαποχή σταλακτών 0,50 m) οι οποίοι τοποθετήθηκαν ενδιάμεσα στις γραμμές των φυτών σε ισαποχή (μεταξύ των γραμμών) 1,5 m. Επίσης έγινε εγκατάσταση αισθητήρων μέτρησης εδαφικής υγρασίας (ΕΥ) και μετρήθηκε και αξιολογήθηκε σε καθημερινή βάση η υγρασία του εδάφους.



Σχήμα 2. Α) Σχέδιο διάταξης πειραματικών τεμαχίων και δικτύου άρδευσης. Β) Διάγραμμα πίεσεως-παροχής σταλακτών από τις μετρήσεις κατασκευαστού και τις εργαστηριακές. Γ) Άποψη του πειραματικού αγρού αραβοσίτου στο Τ.Ε.Ι./ Λ.

2.2. Πειραματικό σχέδιο

Τα πειράματα έγιναν το έτος 2004, σε πειραματικό αγρό σε διάταξη πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων που αποτελείτο από τρεις επεμβάσεις με εύρος άρδευσης ανά εννέα (Ε9), ανά δώδεκα (Ε12) και ανά δεκαπέντε (Ε15) ημέρες (για διευκρίνηση υδατικού στρες φυτού) επί τέσσερις επαναλήψεις (Σχήμα 2.Α). Η τυχαιοποίηση έγινε με τη μέθοδο των στατιστικών πινάκων. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 10 m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και μήκος 12 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς).

2.3. Μεθοδολογία

Έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις της παροχής/πίεσης των σταλακτών και σύγκριση με τις τιμές και τα οριζόμενα ως επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή. Διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια (Σχήμα 2.Β). Επίσης λόγω της μικρής ισαποχής των σταλακτών και του μικρού μήκους γραμμής των σταλακτηφόρων σωλήνων επιτεύχθηκε υψηλή ομοιομορφία άρδευσης που πλησιάζει το 100%.

Για τον προσδιορισμό της Μηχανικής σύστασης του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Βουγιούκου, το pH μετρήθηκε με πεχάμετρο και η οργανική ουσία με τη μέθοδο Υγρής καύσης του δείγματος με θειικό οξύ.

Η σπορά του αραβοσίτου πραγματοποιήθηκε αρχές Απριλίου με σπαρτική μηχανή σιτηρών. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PIONEER-Konstantza (Zea mays L.), (Σχήμα 2.Γ) η οποία έχει 125 ημέρες φυσιολογικής ωρίμανσης. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των φυτών ήταν 0,75 m. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της κατ' όγκον ΕΥ καθημερινά σε όλη την αρδευτική περίοδο με χρήση της μεθόδου TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία αξιόπιστη, μη ραδιενεργός μέθοδος, γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους [15] [2] [7] [9]. Έγινε χρήση συσκευής TDR του

οίκου ESI, η οποία ελέγχθηκε και βαθμονομήθηκε με εργαστηριακές μετρήσεις στην αρχή της περιόδου. Ο έλεγχος της ΕΥ είναι μια πολύ σύνθετη διαδικασία και η τοποθέτηση ενός αισθητήρα εντός της ζώνης του ριζοστρώματος των φυτών δεν επαρκεί για να εξασφαλίσει τον ικανοποιητικό έλεγχο αυτής. Από αρκετούς ερευνητές [14] [12] [13], για τον αποτελεσματικότερο έλεγχο, προτείνεται η λύση της χρήσης δύο ή περισσότερων αισθητήρων σε διαφορετικά βάθη ώστε να καλύψουν μεγαλύτερο μέρος της ζώνης του ριζοστρώματος. Για το λόγο αυτό και με στόχο την εξασφάλιση της υψηλής ακρίβειας των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν καθετήρες προσδιορισμού (probe) της εδαφικής υγρασίας, που είχαν ενσωματωμένους 5 αισθητήρες (sensors), οι οποίοι μετρούσαν την ΕΥ σε βάθη: 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 και 60-75 cm και βρίσκονταν μόνιμα εγκατεστημένοι στα πειραματικά τεμάχια και σε συνεχή επαφή με το έδαφος. Η μέθοδος TDR εξασφαλίζει υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, όταν οι αισθητήρες προσδιορισμού της ΕΥ βρίσκονται σε συνεχή επαφή με το έδαφος [13] [7] [2] [9]. Από τις μετρήσεις των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η ΕΥ για κάθε επέμβαση και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (ΕΔΥ) κι από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν και αξιολογήθηκαν με χρήση GIS και εργαλείων χωρικής ανάλυσης [12], GIS χάρτες ΕΔΥ που παρουσιάζουν την υπεδάφια κατανομή της, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 0,75 m για τις ημερομηνίες με τα υψηλότερα ποσοστά ΕΔΥ. Ακόμη, μελετήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογίστηκε η ωφέλιμη βροχόπτωση P_e με την μέθοδο USDA.

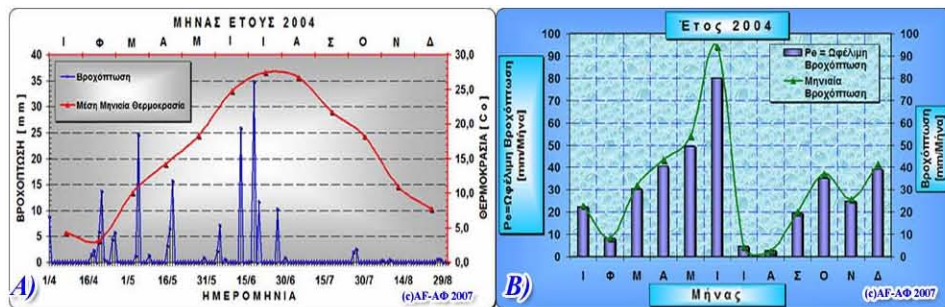
Η δόση άρδευσης για κάθε επέμβαση ήταν ίση με τη συνολική εξατμισοδιαπνοή μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων (λαμβάνοντας υπόψη την ωφέλιμη βροχόπτωση), έτσι όπως μετρίονταν με τη βοήθεια εξατμισομέτρου τύπου A διορθωμένη με τους αντίστοιχους συντελεστές K_p (του εξατμισομέτρου) και K_c (φυτικός συντελεστής) [16].

Στη γαλακτώδη ωρίμανση των κόκκων του σπάρδικα, η εμφάνιση μαύρου στίγματος στο 50 % των κόκκων αποτελεί ένδειξη ότι η καλλιέργεια έχει ωριμάσει πλήρως [10] [6]. Το ανωτέρω κριτήριο χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα για τη διακοπή της άρδευσης. Όταν ωρίμασε πλήρως η καλλιέργεια πραγματοποιήθηκε ο θερισμός των φυτών. Στη συνέχεια έγινε διαχωρισμός του σπάρδικα από το φυτό, αφαίρεση (εκκόκκιση) των σπόρων και ζύγισμά τους, για κάθε σειρά φυτών κάθε πειραματικού τεμαχίου. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίστηκε επακριβώς η απόδοση του αραβοσίτου για κάθε επέμβαση.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τη μελέτη του κλίματος της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν οι παρατηρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού Λάρισας (Γεωγραφικό πλάτος 39° 39' N και μήκος 22° 27' E, υψόμετρο του Βαρομέτρου 73,6 m) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Η ετήσια βροχόπτωση του 2004 ήταν 387,3 mm (Σχήμα 3). Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία βροχόπτωση για το 2004 ήταν $r_v=94,2$ mm, παρατηρήθηκε τον Ιούνιο και αποτέλεσε έκπληξη για τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής. Η μικρότερη μέση μηνιαία βροχόπτωση ήταν $r_z=2,6$ mm κατά το μήνα Αύγουστο (Σχήμα 3). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται σαν XERIC MOISTURE REGIME [17]. Η ωφέλιμη βροχόπτωση P_e παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.B. Από τα Σχήματα 3.A, και 3.B φαίνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς η περιοχή μελέτης είχε έλλειμμα υγρασίας και ήταν αναγκαία η εφαρμογή άρδευσης.

Από την εδαφολογική ανάλυση (Πίνακας 1) διαπιστώθηκε ότι το έδαφος του πειραματικού αγρού ήταν αργιλώδες (CL). Η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού μετρήθηκε με Guelph Permeameter και ήταν 3.0×10^{-5} cm/sec στα πρώτα 15 cm και 3.2×10^{-5} cm/sec σε βάθος 45 cm.



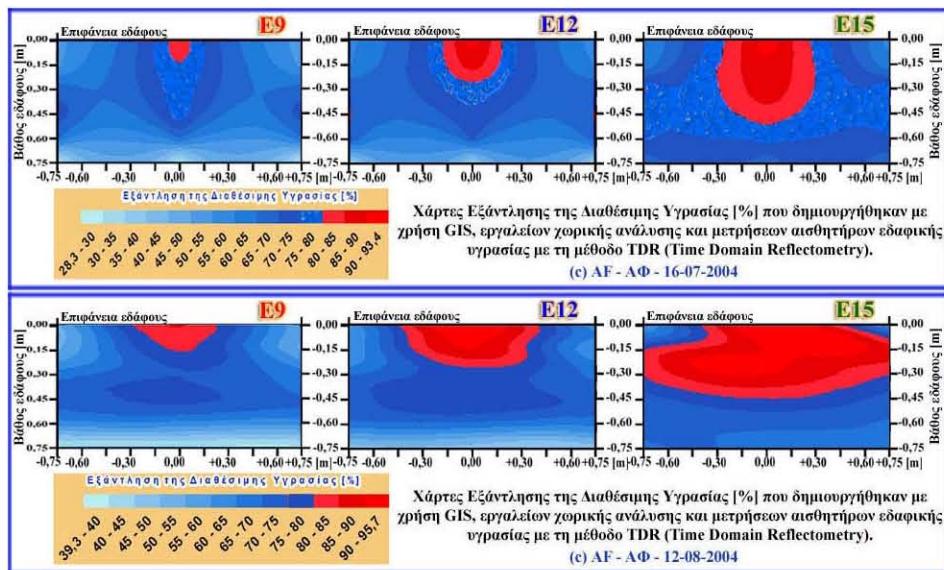
Σχήμα 3. Α) Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Β) Διάγραμμα μηνιαίας ωφέλιμης βροχόπτωσης.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης του πειραματικού.

Βάθος [cm]	Μηχ. Σύστημα	Άμμος [%]	Ιλύς [%]	Άργιλος [%]	Υδατοϊκανότητα [% ξ.β.ε.]	ΣΜΜ [% ξ.β.ε.]	ΦΕΒ [gr/cm ³]	pH	Οργανική ουσία %
0-30	CL	28,5	25,	46,0	31,21	17,1	1,42	7,	1,37
30-	CL	28,4	25,	46,0	31,21	17,1	1,42	7,	1,26
60-	CL	28,4	25,	45,9	31,21	17,1	1,42	7,	1,29

Από τις μετρήσεις (σε 5 βάθη και σε διάφορες θέσεις) των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η ΕΥ για κάθε επέμβαση και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η ΕΔΥ κι από τα δεδομένα δημιουργήθηκαν και αξιολογήθηκαν με χρήση GIS και εργαλείων χωρικής ανάλυσης [12], GIS χάρτες ΕΔΥ που παρουσιάζουν την υπεδάφια κατανομή της, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι βάθους 0,75 m για τις ημερομηνίες με τα υψηλότερα ποσοστά ΕΔΥ. Αντιπροσωπευτικοί χάρτες ΕΔΥ για κάθε επέμβαση παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Παρατηρούμε στους χάρτες GIS της ΕΔΥ ότι αυξανόμενο του εύρους άρδευσης αυξάνεται στα ανώτερα εδαφικά στρώματα η χωρική επιφάνεια του εδάφους, στην οποία σημειώνονται οι υψηλότερες τιμές ΕΔΥ. Σε διάφορες ημερομηνίες (Ιουλίου-Αυγούστου), η επιφάνεια αυτή διαφοροποιείται και είναι ιδιαίτερα μεγάλη στην επέμβαση Ε15, στην οποία τα φυτά καταπονήθηκαν περισσότερο με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής τους (Πίνακας 2). Οι μ.ο. των τιμών της ΕΔΥ ξεπέρασαν τις ανώτατες επιτρεπόμενες για πλήρη κάλυψη των αναγκών του φυτού σε αρδευτικό νερό, χωρίς μείωση παραγωγής, δηλαδή το 65% και 80% αντίστοιχα για τα στάδια της καρποφορίας και της ωρίμανσης σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1986) [4]. Εδώ τονίζεται ότι οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης θεωρούνται αμελητέες λόγω της χρήσης της στάγδην άρδευσης.

Στο Σχήμα 5.Α και 5.Β παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγωγής του αραβοσίτου για το έτος 2004. Παρότι στο εύρος άρδευσης των 9 ημερών έχουμε μεγαλύτερες απώλειες λόγω εξάτμισης σε σχέση με το εύρος των 12 και 15 ημερών, η απόδοση των 9 ημερών ήταν μεγαλύτερη. Από τη στατιστική ανάλυση (στατιστικά test ANOVA και Dunnett T3), που διενεργήθηκε με χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS, παρατηρείται (Πίνακας 2) ότι η διαφοροποίηση του εύρους άρδευσης (ανά 9, 12 και 15 ημέρες) επέδρασε στατιστικώς σημαντικά στην απόδοση του αραβοσίτου (επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$).

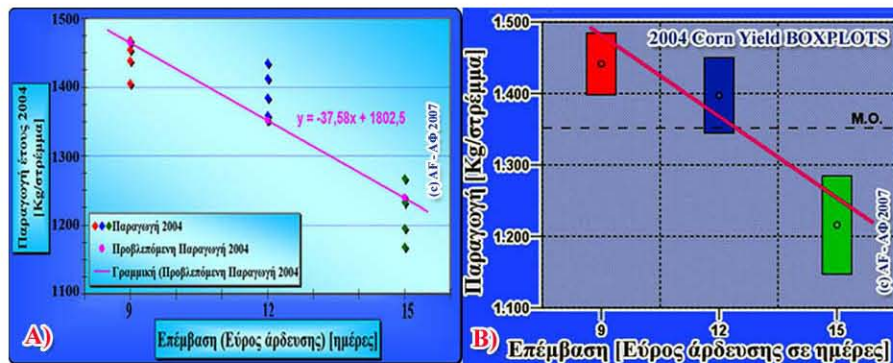


Σχήμα 4. GIS χάρτες με την υπεδάφια κατανομή της ΕΔΥ μέχρι βάθους 0,75 m.

Από τη στατιστική επεξεργασία προσδιορίστηκε η σχέση μεταξύ της παραγωγής σε καρπό του αραβοσίτου και του εύρους άρδευσης. Η σχέση αυτή δίνεται από την εξίσωση (1):

$$Y = -37,58X + 1.802,5 \quad (1)$$

με $R^2=0,9$, όπου Y είναι ο παραγόμενος καρπός σε Kg/στρέμμα και X είναι το εύρος άρδευσης της καλλιέργειας σε ημέρες. Ο υψηλός βαθμός συσχέτισης δείχνει τη σημαντική εξάρτηση της απόδοσης της καλλιέργειας από το εύρος άρδευσης.



Σχήμα 5. Α) Διάγραμμα αποδόσεων των 12 πειραματικών τεμαχίων.

Β) Διάγραμμα box plot της διακύμανσης της παραγωγικότητας του αραβοσίτου.

Διευκρινίζεται ότι οι αποδόσεις που φαίνονται στο Σχήμα 5 και στον Πίνακα 2, αντιστοιχούν σε υγρασία 14 % των κόκκων αραβοσίτου.

Πίνακας 2. Στατιστική ανάλυση παραγωγικότητας αραβοσίτου έτους 2004.

Επέμβαση	Εύρος άρδευσης [ημέρες]	Αριθμός παρατηρήσεων	Τυπική απόκλιση	Μ.Ο. Παραγωγής [Kg/στρ]
E9	9	4	27,10849	1.441,350 ΣΣ*
E12	12	4	33,12111	1.397,378 ΣΣ*
E15	15	4	43,19004	1.215,872 ΣΣ*
Σύνολο Επεμβάσεων		12	106,76316	1.351,533
Επέμβαση	Στατιστικό test	Τιμή F-test	Σημαντικότητα F	
Όλες	ANOVA	46,368	0,000 *	
Μεταξύ τους	Dunnett T3	-	ΣΣ*=Στατιστικώς Σημαντικό	

(*Επίπεδο σημαντικότητας $p < 0,05$).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε πείραμα που διενεργήθηκε το έτος 2004 στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι./Λάρισας μελετήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (ανά 9, 12 και 15 ημέρες), της υδατικής καταπόνησης του φυτού και της εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας (με χρήση μεθόδων και τεχνικών GIS και χωρικής ανάλυσης) στην απόδοση του αραβοσίτου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μεγαλύτερη παραγωγή αραβοσίτου παρατηρήθηκε στην επέμβαση με εύρος άρδευσης 9 ημερών. Ακολούθησε η παραγωγή της επέμβασης με εύρος άρδευσης 12 ημερών και τέλος μικρότερη ήταν η παραγωγή στην επέμβαση των 15 ημερών. Οι διαφορές αυτές ήταν στατιστικά σημαντικές (με $p < 0,05$). Επίσης προσδιορίστηκε η σχέση μεταξύ της παραγωγής σε καρπό του αραβοσίτου και του εύρους άρδευσης, η οποία δίνεται από την εξίσωση (1):

$$Y = -37,58X + 1.802,5 \quad (1)$$

με $R^2=0,9$, όπου Y είναι ο παραγόμενος καρπός σε Kg/στρέμμα και X είναι το εύρος άρδευσης της καλλιέργειας σε ημέρες. Το εύρος άρδευσης επέδρασε αρνητικά στην απόδοση των επεμβάσεων 12 και 15 ημερών παρά τις μικρότερες απώλειες λόγω εξάτμισης, και προκάλεσε σημαντικά υψηλότερες τιμές ΕΔΥ (όπως λεπτομερώς έδειξε η χαρτογράφηση GIS). Το γεγονός αυτό οδήγησε τα φυτά σε περιοδικές υδατικές καταπονήσεις (στρες), κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, με αποτέλεσμα την στατιστικά σημαντική μείωση της παραγωγής των επεμβάσεων E15 και E12.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η άρδευση για τις συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες (αργιλώδες έδαφος και μεσογειακού τύπου Csa κλίμα κατά Köppen [12], ή XERIC MOISTURE REGIME [17]), θα πρέπει να γίνεται κάθε 9 ημέρες αντί για 12 ή 15 ημέρες (όπως συχνά συμβαίνει στην περιοχή).

Τα πειράματα συνεχίζονται με διαφορετικές τιμές εύρους άρδευσης και σε άλλους τύπους εδαφών, ώστε να προκύψουν περισσότερα και ασφαλέστερα συμπεράσματα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.

1. Musick, J.T., Pringle, F.B., Harman, W.L., and Stewart B.A., 1990. Long-term irrigation trends: Texas High Plains. *Appl. Eng. Agric.* 6: 717-724.
2. Φιλίντας, Θ.Αγ., 2003. *Καλλιέργεια Αραβοσίτου στην Ελλάδα: Αβέξηση και ανάπτυξη, διαχείριση, απόδοση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*, Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα.
3. Doorenbos, J., Kassam A.H., 1986. *Yield Response to Water, FAO Irrigation and Drainage Paper 33*, FAO, Rome, Italy, pp.101-104.

4. Gill, K.S., Gajri, P.R., Chaudhary, M.R., Singh, B., 1996. Tillage, mulch and irrigation effects on corn (*Zea mays* L.) in relation to evaporative demand. *Soil & Tillage Research*, 39: 213-227.
5. Zarogiannis, V., 1979. Beregnung und Standraum bei Mais (*Zea mays* L.) für Bodenkultur. *In Wien*, 30(3): 281-303.
6. Danalatos, G.N., 1992. *Quantified analysis of selected land use systems in the Larissa region, Greece*, PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, pp.133, 175-207.
7. Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Αγ., Λέλλης, Θ. και Σακελλαρίου, Μ., 2003. Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην, Πρακ. 3^{ου} Παν. Συν. Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα- Μάιος 2003, σελ.69-76.
8. Filintas, Th.Ag., Dioudis, I.P., Pateras, T.D., Hatzopoulos, N.J. and Toullos, G.L., 2006. Drip Irrigation Effects in Movement, Concentration and allocation of Nitrates and Mapping of Nitrates with GIS in an Experimental Agricultural Field. *Proc. of Int. Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology(HAICTA)*, Volos, Greece- September 2006, pp.253-262.
9. Filintas, Th.Ag., Dioudis, P., Koutseris, E., Papadopoulos, A., 2007. Soils Nitrates GIS mapping, Irrigation water and applied N-fertilizer effects in soils nitrogen depletion in a drip irrigated experimental field in Thessaly basin. *Proc.of 3rd Int. Conference on: Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD'07)*, Agios Nikolaos, Crete Island, Greece- July 2007, pp.486-492.
10. Rench, W.E., Shaw, R.H., 1971. Black layer development in corn. *Agron. Journal*, 63: 303-305.
11. Weatherhead, E.K., Danert, K., 2002. *Survey of irrigation of outdoor crops in 2001 – England*, Cranfield University, Silsoe.
12. Φιλίντας, Θ.Αγ., 2005. *Συστήματα χρήσης γης με έμφαση στα γεωργικά μηχανήματα στις άρδύσεις και στην νιτρορύπανση, με χρήση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και Μοντέλων, σε επίπεδο λεκάνης απορροής στην Κεντρική Ελλάδα*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα.
13. Cary, J.W. and Fisher, H.D., 1983. Irrigation decision simplified with electronics and soil water sensors. *Soil Science Society of American Journal*, Vol. 47, 1219-1223.
14. Charlesworth, P., 2000. *Soil Water Monitoring*, CSIRO Land and Water, Australia.
15. E.S.I.-Environmental Sensors, INC., 1997. *MP-917 Soil Moisture Instrument Operational Manual*. E.S.I., Canada.
16. Allen, R.G., Pereira, S.L., Raes, D. and Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome, Italy.
17. Soil Survey Staff, 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, USDA Natural Resources Conservation Service. USA.