

## Παραλλακτικότητα Παραγωγής Βιομάζας Ενσίρωσης Αραβοσίτου για Ζωοτροφή και Επίδραση Στάγδην Άρδευσης, με χρήση Μεθόδων GIS και Τηλεπισκόπησης

Αγ. Φιλίντας<sup>1,2\*</sup>, Π. Ντιούδης<sup>1</sup>, Ι. Χατζόπουλος<sup>2</sup>, Δ. Πατέρας<sup>1</sup>, Αρ. Παπαδόπουλος<sup>3</sup>, Ι. Καλαβρουζιώτης<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Τ.Ε.Ι. Λάρισας, Τμήμα Γεωργικών Μηχανών και Αρδεύσεων, Περιφερειακή οδός Λάρισας-Τρικάλων, 41110 Λάρισα, e-mail: [filintas@teilar.gr](mailto:filintas@teilar.gr), [dioudis@teilar.gr](mailto:dioudis@teilar.gr), [pateras@teilar.gr](mailto:pateras@teilar.gr)

<sup>2</sup> Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Λόφος Πανεπιστημίου, 81100 Μυτιλήνη, e-mail: [ihat@aegean.gr](mailto:ihat@aegean.gr)

<sup>3</sup> ΕΘΙΑΓΕ/Ινστιτούτο Εδαφολογίας, 570 01 Θέρμη, Θεσσαλονίκη, e-mail: [ssi@the.forthnet.gr](mailto:ssi@the.forthnet.gr)

<sup>4</sup> Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Γ. Σεφέρη 1, Αγρίνιο, e-mail: [ikalavru@cc.uoi.gr](mailto:ikalavru@cc.uoi.gr)

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η μοντελοποίηση και χαρτογράφηση βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου (*Zea mays L.*) προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως χορτονομή για μηρυκαστικά ζώα, σε συνάρτηση με τις επιδράσεις διαχείρισης νερού με στάγδην άρδευση σε πειραματικό αγρό στο αγρόκτημα του Τ.Ε.Ι. Λάρισας το 2004, με συνδυαστική χρήση τεχνικών GIS, GPS, Τηλεπισκόπησης, Γεωργίας Ακριβείας και μετρήσεων πεδίου. Επίσης μελετήθηκε η επίδραση στο ποσοστό βιομάζας στα διάφορα φυτικά μέρη, στην περιεχόμενη φυτική και εδαφική υγρασία (που μετρήθηκε με τη μέθοδο TDR). Αν και μερικοί βιολογικοί και χημικοί παράγοντες είναι κατά μεγάλο μέρος έξω από τον έλεγχο του αγρότη, υπάρχουν παράγοντες που ο αγρότης μπορεί να βελτιστοποιήσει την ποιότητα ενσιρώματος όπως το μέγεθος φυτικών τεμαχιδίων, η περιεχόμενη υγρασία συγκομιδής, οι περιεχόμενοι υδρογονάνθρακες και τα νιτρικά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή βιομάζας ενσίρωσης των 3 μεταχειρίσεων βρέθηκε Tr2=1393,35 Kg/στρ, Tr5=1385,36 Kg/στρ, Tr9=1380,51 Kg/στρ και τα αποτελέσματα για τα φυτικά μέρη (ξηρή ουσία), ήταν 47,32% καρπός και 52,68% για τα στέλεχος-φύλλα-σπάδικα-φλοιός-φύλλα σπάδικα. Όσον αφορά τη κατανομή βιομάζας αραβοσίτου εκτός καρπού (ξηρή ουσία) για ενσίρωση ήταν στέλεχος 50,72%, φύλλα 21,05%, σπάδικα 15,17% και φλοιός-φύλλα του σπάδικα 13,06%. Τέλος, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι διαφορές της παραγωγής βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικά διαφορετικές.

## Yield Variability of Corn Biomass Silage for Fodder and Drip Irrigation Effects, with the use of GIS and Remote Sensing Methods

Ag. Filintas<sup>1,2\*</sup>, P. Dioudis<sup>1</sup>, J. Hatzopoulos<sup>2</sup>, D. Pateras<sup>1</sup>, Ar. Papadopoulos<sup>3</sup>, I. Kalavrouziotis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Technological Educational Institute of Larissa, Department of Agricultural Engineering and Irrigation, Periferiaki Odos Larissas-Trikala, 41110 Larissa, Greece, e-mail: [filintas@teilar.gr](mailto:filintas@teilar.gr), [dioudis@teilar.gr](mailto:dioudis@teilar.gr), [pateras@teilar.gr](mailto:pateras@teilar.gr)

<sup>2</sup>University of the Aegean, Department of Environment, University Hill, 81100 Mitilini, Greece, e-mail: [ihat@aegean.gr](mailto:ihat@aegean.gr)

<sup>3</sup> NAGREF / Soil Science Institute, 570 01 Thermi, Thessaloniki, Greece, e-mail: [ssi@the.forthnet.gr](mailto:ssi@the.forthnet.gr)

<sup>4</sup> University of the Ioannina, Department of Environmental and Natural Resources Management, G.Seferi 1, Agrinion, Greece, e-mail: [ikalavru@cc.uoi.gr](mailto:ikalavru@cc.uoi.gr)

### Abstract

Scope of the present study is the modelling and mapping of corn (*Zea mays L.*) biomass yield for silage in order to be used as fodder for ruminant animals, in correlation with drip irrigation water management effects in an experimental field in the T.E.I. farm in Larissa, in 2004, with combinational use of GIS, GPS, Remote Sensing, Precision Agriculture techniques and in situ measurements. Also the effect in the proportion of biomass in the various plant parts, plant moisture and in soil moisture (measured with TDR method) was studied. Although some biological and chemical factors are largely

outside the farmer's control, there are factors the farmer can manage to optimize silage quality such as particle size, moisture content at harvest, water-soluble Carbohydrate content and Nitrates. Results showed that the biomass silage yield of the 3 treatments was found Tr2=13933.5 Kg/ha, Tr5=13853.6 Kg/ha, Tr9=13805.1 Kg/ha and the cut plants fractions results (dry matter), was 47.32% grain and 52.68% for stalk-leaf-cob-husk. As for the distribution of corn biomass in stover (dry matter) for silage was 50.72% stalk, 21.05% leaf, 15.17% cob and 13.06% husk. Finally, results showed that differences of corn biomass yield for silage between treatments were not noted statistically significantly different.

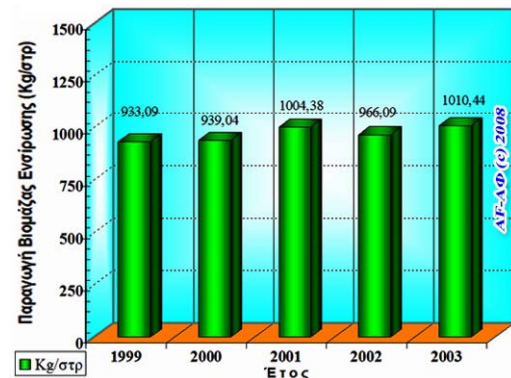
## 1. Εισαγωγή

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Στη βιομάζα περιλαμβάνονται τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, κληματίδες κ.ά. (Φιλίντας 2003). Οι καλλιέργειες που χρησιμοποιούνται στη σίτιση του ζωικού κεφαλαίου αποτελούν εδώ και καιρό ένα θεμελιώδη κρίκο στην τροφική αλυσίδα. Οι εγγενείς χλόες υποστήριζαν τη βοσκή ζώων πολύ προτού να αρχίσει ο άνθρωπος να εξημερώνει το ζωικό κεφάλαιο (Schroeder 2004). Κατόπιν με την ανάπτυξη της γεωργίας χρησιμοποιούνται διάφορες καλλιέργειες-μεταξύ των και ο αραβόσιτος-ως χορτονομή στη διατροφή των ζώων. Η διατροφή διαδραματίζει πρωτεύοντα ρόλο στις επιδόσεις παραγωγής (κρέατος ή γάλακτος) και αναπαραγωγής των ζώων. Τα μηρυκαστικά πρέπει να έχουν χορτονομή στις διατροφές τους για να παραμείνουν υγιή (Eastridge 2007). Προκειμένου να βελτιστοποιούνται οι επιδόσεις, χρειάζεται να χορηγείται κατάλληλο σιτηρέσιο στα ζώα, δηλαδή να καλύπτονται οι ανάγκες τους (σε πρωτεΐνες, ενέργεια, φυτικές ίνες κλπ) μια δεδομένη στιγμή, λαμβάνοντας υπόψη το βάρος τους, τη φυσιολογική τους κατάσταση και το παραγωγικό τους επίπεδο.

Οι διάφορες χορτονομές ήταν πάντα μια εξαιρετικά σημαντική πηγή θρεπτικών ουσιών στο σιτηρέσιο του ζωικού κεφαλαίου. Επιπλέον, παρέχουν φυτικές ίνες που ενισχύουν την κατάλληλη πέψη στα ζώα που καταναλώνουν χορτονομές (Schroeder 2004, Eastridge 2007). Μέσω της μετατροπής τους στα προϊόντα γάλακτος και κρέατος, οι χορτονομές-ζωοτροφές συνεχίζουν να είναι μια από τις κύριες πηγές τροφοδότησης στην ανθρώπινη διατροφή (Schroeder 2004). Επιπλέον, δεδομένου του κόστους που κυμαίνεται από 45 έως 55% των λειτουργικών εξόδων μιας αγροτικής εκμετάλλευσης, το κονδύλι της διατροφής κατέχει πολύ σημαντική θέση στα οικονομικά αποτελέσματα της εκμετάλλευσης. Οι κτηνοτροφικές μονάδες πάχυνσης είναι συνήθως μεγάλοι καταναλωτές αραβόσιτου και συμπληρωματικών τροφών του εμπορίου (CIV 2008). Οι δαπάνες διατροφής αντιπροσωπεύουν την μεγαλύτερη ενιαία δαπάνη στις περισσότερες διαδικασίες ζωικού κεφαλαίου. Η παραγωγή και η κατάλληλη συντήρηση υψηλής ποιότητας βιομάζας χορτονομής-ζωοτροφής μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των δαπανών που συνδέονται με τη σίτιση συμπυκνωμάτων βιομάζας και συμπληρωμάτων διατροφής (Schroeder 2004). Τα συστατικά του σπόρου και της χορτονομής (βιομάζα) του αραβόσιτου είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη (Eastridge 2007, CIV 2008), πράγμα που υποχρεώνει τον κτηνοτρόφο να προβλέψει πρωτεϊνούχο συμπλήρωμα του σιτηρεσίου προκειμένου να εξασφαλίσει καλή ανάπτυξη των ζώων του (CIV 2008). Χάρης όμως, στη μεγάλη ενεργειακή του συγκέντρωση, η οποία οφείλεται στο πλούσιο άμυλό του, ο αραβόσιτος χρησιμοποιείται ευρέως στη ζωική διατροφή (CIV 2008), επειδή συμβάλλει ενέργεια, στη διατροφή και στην πρόσληψη φυτικών ινών για την υγεία των μηρυκαστικών ζώων (Eastridge 2007). Οι αρχικές

μέθοδοι συγκομιδής και διατήρησης χορτοδοτικών καλλιεργειών περιλαμβάνουν ενσίρωση, σανό, κοπή πράσινης βιομάζας και βοσκή (Schroeder 2004). Ο αραβόσιτος χρησιμοποιείται είτε υπό μορφή σπόρου (ενσωματωμένου στο σιτηρέσιο των ζώων ή ως ένα από τα συστατικά σύνθετων τροφών), είτε ως πλήρες φυτό. Μπορεί να συλλέγεται και να ενσιρώνεται (χειμερινό απόθεμα χορτονομής για τα βοοειδή) πριν από την πλήρη ωρίμανση του σπόρου για τη διατροφή των μηρυκαστικών. Πρόκειται για τον αραβόσιτο βοσκής (Schroeder 2004, CIV 2008). Ο αραβόσιτος (*Zea mays* L.) αποτελεί μία κατεξοχήν αρδευόμενη καλλιέργεια ανά τον κόσμο (Musick *et al.* 1990, Φιλίντας 2003), με κύρια παραγωγό χώρα τις Η.Π.Α. (Φιλίντας 2003). Ο αραβόσιτος για να επιτύχει μέγιστες αποδόσεις έχει υψηλές εποχικές απαιτήσεις σε νερό (Doorenbos and Kassam 1986, Φιλίντας 2003, Filintas *et al.* 2008), με υδατικές απαιτήσεις που κυμαίνονται από 500 έως 800 m<sup>3</sup> νερού για την επίτευξη μέγιστης παραγωγής από μια ποικιλία μέσης ωριμότητας σπόρου (Doorenbos and Kassam 1986). Διάφοροι ερευνητές (Danalatos 1992, Φιλίντας 2003, Ντιούδης κ.ά. 2003, Filintas *et al.* 2006, Filintas *et al.* 2007, Dioudis *et al.* 2008) 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. Τα υπολείμματα καλλιεργειών, όπως του αραβόσιτου (*Zea mays* L.) αντιμετωπίζονται ως άφθονη, ανέξοδη πηγή βιομάζας που μπορεί να αφαιρεθεί από τους αγρούς χωρίς επιβλαβή προϊόντα ή περιβαλλοντικές επιπτώσεις εάν χρησιμοποιηθεί η κατάλληλη διαχείριση (Kim and Dale 2004).

Το έτος 2004 σύμφωνα με το Υπουργείο γεωργίας, η μέση παραγωγή βιομάζας αραβόσιτου στην Ελλάδα ήταν 1010,43 Kg/στρ (Διάγραμμα I) και η απόδοση καρπού ήταν 1040,75 Kg/στρ, (Filintas *et al.* 2007). Ο αραβόσιτος είναι μια κατάλληλη καλλιέργεια για την παραγωγή ενσιρώματος. Το ενσίρωμα είναι ζωοτροφή που έχει συντηρηθεί με οξύνιση-το αποτέλεσμα της ζύμωσης ελλείπει οξυγόνου-(αναερόβια). Η συντήρηση του ενσιρώματος αραβόσιτου με τις ελάχιστες απώλειες εξαρτάται από μια καλή ζύμωση. Η ζύμωση είναι μια διαδικασία που πραγματοποιείται από διάφορα βακτηρίδια-και επιθυμητά και ανεπιθύμητα-που σε κανονικές συνθήκες είναι παρόντα στις φυτείες αραβόσιτου όταν συγκομίζεται. Είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μια κατάσταση στο σύστημα αποθήκευσης έτσι ώστε τα επιθυμητά βακτηρίδια να μπορούν να αυξηθούν και τα ανεπιθύμητα όχι. Αν και μερικοί βιολογικοί και χημικοί παράγοντες είναι κατά μεγάλο μέρος έξω από τον έλεγχο του αγρότη, υπάρχουν παράγοντες που ο αγρότης μπορεί να βελτιστοποιήσει την ποιότητα ενσιρώματος όπως το μέγεθος φυτικών τεμαχιδίων, η περιεχόμενη υγρασία συγκομιδής, οι περιεχόμενοι υδρογονάνθρακες και τα νιτρικά. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η μοντελοποίηση και χαρτογράφηση βιομάζας ενσίρωσης αραβόσιτου προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως χορτονομή για μηρυκαστικά ζώα, σε συνάρτηση με τις επιδράσεις διαχείρισης νερού με στάγδην άρδευση σε πειραματικό αγρό στο Τ.Ε.Ι. Λάρισας το 2004, με συνδυαστική χρήση τεχνικών GIS, GPS, Τηλεπισκόπησης, Γεωργίας Ακριβείας και μετρήσεων πεδίου, καθώς και η μελέτη της επίδρασης της άρδευσης στο ποσοστό βιομάζας στα διάφορα φυτικά μέρη και στην περιεχόμενη φυτική υγρασία.



**Διάγραμμα I.** Μέση ετήσια παραγωγή βιομάζας αραβόσιτου στην Ελλάδα.

## 2. Πειραματική οργάνωση

### 2.1. Πειραματικό σχέδιο



**Σχήμα 1.** Σχέδιο διάταξης πειραματικών τεμαχίων.

μήκος 12 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς).

### 2.2. Περιγραφή εγκατάστασης

Στο αγροτεμάχιο έγινε εγκατάσταση συστήματος στάγδην άρδευσης, όπου μελετήθηκε και αξιολογήθηκε η επίδραση του εύρους άρδευσης (2, 5 και 9 ημερών) στην απόδοση βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου. Το σύστημα άρδευσης αποτελείται: 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 (EY) που έκαναν χρήση της μεθόδου TDR.

### 2.3. Μεθοδολογία

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. Επίσης, έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις της παροχής/πίεσης των σταλακτών και σύγκριση με τις τιμές και τα οριζόμενα ως επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή.

Η σπορά του αραβοσίτου πραγματοποιήθηκε αρχές Απριλίου με σπартική μηχανή σιτηρών. Η ποικιλία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η PIONEER-Konstantza (*Zea mays* L.), η οποία έχει 125 ημέρες φυσιολογικής ωρίμανσης. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των φυτών ήταν 0,75 m. Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της κατ' όγκον EY 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 (ESI INC 1997, Φιλίντας 2003, Ντιούδης κ.ά. 2003, Filintas *et al.* 2007). 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 EY 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. Από τις μετρήσεις των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η EY για κάθε επέμβαση και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (EΔY). Ακόμη, μελετήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα και υπολογίστηκε η ωφέλιμη βροχόπτωση *Pe* με την μέθοδο USDA. Η δόση άρδευσης για κάθε επέμβαση ήταν ίση

Η έρευνα έγινε κατά την καλλιεργητική περίοδο του 2004, σε πειραματικό αγρό του αγροκτήματος του Τ.Ε.Ι. Λάρισας, σε διάταξη πλήρως τυχαιοποιημένων ομάδων που αποτελείται από τρεις επεμβάσεις με εύρος άρδευσης ανά δύο (Tr2), ανά πέντε (Tr5) και ανά εννέα (Tr9) ημέρες επί τέσσερις επαναλήψεις (Σχήμα 1).

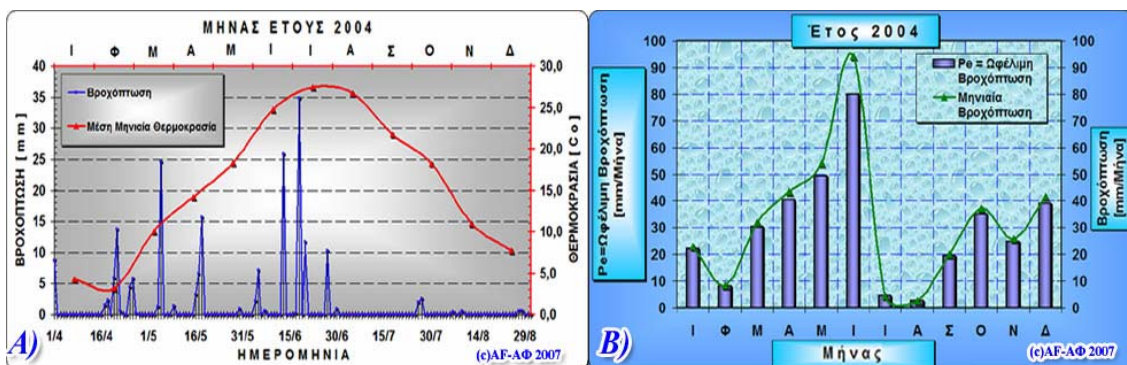
Η τυχαιοποίηση έγινε με τη μέθοδο των στατιστικών πινάκων. Κάθε πειραματικό τεμάχιο είχε πλάτος 10 m (κάθετα στις γραμμές σποράς) και

με τη συνολική εξατμισοδιαπνοή μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων (λαμβάνοντας υπόψη την ωφέλιμη βροχόπτωση), έτσι όπως μετριόταν με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A διορθωμένη με τους αντίστοιχους συντελεστές  $Kp$  (του εξατμισιμέτρου) και  $Kc$  (φυτικός συντελεστής) (Allen *et al.* 1998). Ακόμη, πραγματοποιήθηκαν στον αγρό τηλεπισκοπικές μετρήσεις της βιομάζας με χρήση αισθητήρα BRDF, οι οποίες αξιολογήθηκαν και συνέβαλαν στην χαρτογράφηση GIS της παραλλακτικότητας της βιομάζας του πειραματικού αγρού και της Εύπεπτης Ξερής Ουσίας από τα ζώα ή Digestible Dry Matter (DDM), μαζί με τα δεδομένα αγρού.

Κατά τον θερισμό τα φυτά κόπηκαν με μηχανικό αεροψάλιδο σε ύψος 8 cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο είναι ένα συνετό ύψος κοπής ώστε να ελαχιστοποιηθεί η εδαφική ανάμειξη σε μια μηχανοποιημένη διαδικασία. Τα κομμένα φυτά από κάθε σειρά των πειραματικών τεμαχίων διαχωρίστηκαν με προσοχή σε ξεχωριστά τμήματα: α) σπόρος, β) στέλεχος (περιλάμβανε και το θύσανο), γ) φύλλα, δ) σπάδικας, ε) φλοιός και φύλλα σπάδικα. Κάθε φυτικό τμήμα ζυγίστηκε ξεχωριστά με ακρίβεια. Η περιεχόμενη υγρασία των διάφορων φυτικών μερών προσδιορίστηκε σύμφωνα με τα πρότυπα ASAE. Όλα τα φυτικά μέρη εκτός του σπόρου επεξεργάστηκαν ως βιομάζα και στεγνώθηκαν στους 103 °C για 24 ώρες. Ο σπόρος στεγνώθηκε στους 103 °C για 72 ώρες. Η περιεχόμενη υγρασία, η μάζα του φρέσκου δείγματος και ο πληθυσμός των φυτών χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί η παραγωγή βιομάζας αραβοσίτου (ξηρή ουσία) για ενσίρωση, από κάθε φυτικό τμήμα. Με αυτόν τον τρόπο, προσδιορίστηκε επακριβώς από κάθε μεταχείριση, η παραγωγή βιομάζας αραβοσίτου (ξηρή ουσία) εκτός καρπού για ενσίρωση.

### 3. Αποτελέσματα και συζήτηση

Η ετήσια βροχόπτωση του 2004 ήταν 387,3 mm. Η μεγαλύτερη μέση μηνιαία βροχόπτωση για το 2004 ήταν  $r_v=94,2$  mm, και παρατηρήθηκε τον Ιούνιο. Η μικρότερη μέση μηνιαία βροχόπτωση ήταν  $r_\xi=2,6$  mm κατά το μήνα Αύγουστο (Διάγραμμα II).

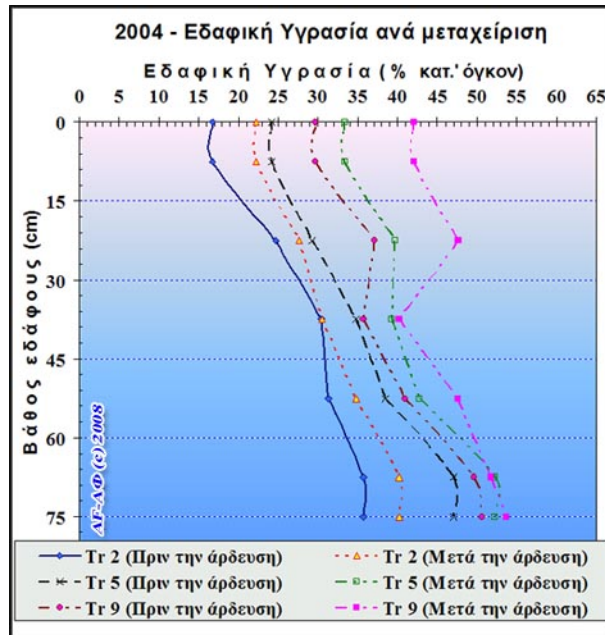


**Διάγραμμα II.** Α) Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης αρδευτικής περιόδου και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας. Β) Διάγραμμα μηνιαίας ωφέλιμης βροχόπτωσης.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται σαν XERIC MOISTURE REGIME. Η ωφέλιμη βροχόπτωση  $P_e$  παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.Β. Από τα Σχήματα 3.Α, και 3.Β 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 κι ήταν  $3,0 \times 10^{-5}$  cm/sec στα πρώτα 15 cm και  $3.2 \times 10^{-5}$  cm/sec σε βάθος 45 cm. Ακόμη, έγιναν εργαστηριακές μετρήσεις της παροχής/πίεσης των σταλακτών και σύγκριση με τις τιμές και τα οριζόμενα ως επιτρεπτά όρια από τον κατασκευαστή.

**Πίνακας 1.** Αποτελέσματα εδαφολογικής ανάλυσης του πειραματικού.

Βάθος [cm]	Μηχ. Σύσταση	Αμμος [%]	Ιλύς [%]	Αργίλος [%]	Υδατοϊκανότητα (% ξ.β.ε.)	ΣΜΜ (% ξ.β.ε.)	ΦΕΒ (gr/cm <sup>3</sup> )	pH	Οργ. ουσία %
0-30	CL	28,50	25,50	46,00	31,21	17,14	1,42	7,5	1,37
30-60	CL	28,45	25,55	46,00	31,21	17,14	1,42	7,5	1,26
60-90	CL	28,44	25,66	45,90	31,21	17,14	1,42	7,6	1,29
90-120	CL	28.42	25.68	45.90	31,21	17.14	1.42	7.7	1.01



**Διάγραμμα III.** Αντιπροσωπευτικές καμπύλες μετρήσεων ΕΥ για βάθος 0-75 cm, για τις 3 μεταχειρίσεις πριν την εφαρμογή άρδευσης και μία ημέρα μετά την εφαρμογή άρδευσης.

στην παραγωγή αραβοσίτου ( $p=0,55$ ).

**Πίνακας 2.** Μέγιστες τιμές και μέσες ανώτατες τιμές της ΕΔΥ για το 2004.

Μετα-χειρίση	Μέγιστες τιμές της ΕΔΥ [%]	Μέσες ανώτατες τιμές της ΕΔΥ [%]
Tr2	40.13	27.12
Tr5	60.09	45.51
Tr9	77.89	65.87

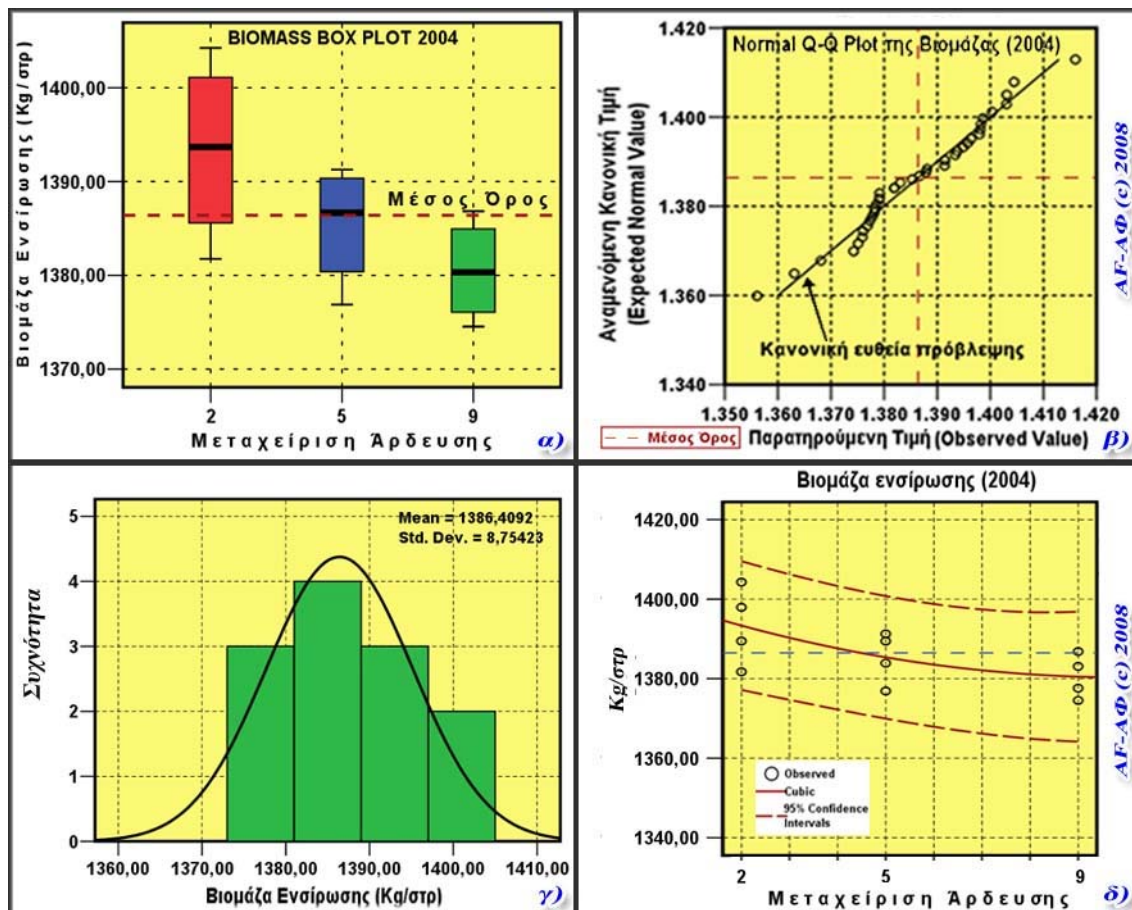
μέσες ανώτατες τιμές της ΕΔΥ που καταγράφηκαν για το έτος 2004 και για κάθε μεταχειρίση άρδευσης. Παρατηρούμε ότι αυξανόμενου του εύρους άρδευσης σημειώνονται υψηλότερες τιμές ΕΔΥ. Οι μ.ο. των τιμών της ΕΔΥ δεν ξεπέρασαν τις ανώτατες επιτρεπόμενες για πλήρη κάλυψη των αναγκών του φυτού σε αρδευτικό νερό, χωρίς μείωση παραγωγής, δηλαδή το 65% και 80% αντίστοιχα για τα στάδια της

Διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια. Επίσης λόγω της μικρής ισαποχής των σταλακτών και του μικρού μήκους γραμμής των σταλακτηφόρων σωλήνων επιτεύχθηκε υψηλή ομοιομορφία άρδευσης που πλησιάζει το 100%. Από τις μετρήσεις (σε 5 βάθη και σε διάφορες θέσεις) των αισθητήρων TDR καταγράφηκε η ΕΥ για κάθε επέμβαση (αντιπροσωπευτικές καμπύλες μετρήσεων ΕΥ για βάθος 75 cm απεικονίζονται στο Διάγραμμα III), και υπολογίστηκε σε καθημερινή βάση η ΕΔΥ.

Αναφέρεται από τους [Doorenbos and Kassam \(1986\)](#), ότι για την καλλιέργεια του αραβοσίτου, η εξάντληση της διαθέσιμης υγρασίας (ΕΔΥ) μέχρι 55%, έχει μια μη-στατιστικά σημαντική επίδραση

Επιπλέον, συστήνεται, ότι προκειμένου να καλυφθούν οι πλήρεις εποχιακές απαιτήσεις ύδατος, το επίπεδο εξάντλησης της διαθέσιμης υγρασίας πρέπει να κυμανθεί μεταξύ 55 και 65% κατά τη διάρκεια των διάφορων φυτικών σταδίων (ανάπτυξη, άνθιση, σχηματισμός καρπού) και μέχρι 80% κατά τη διάρκεια του σταδίου ωρίμανσης. Ο πίνακας 2, παρουσιάζει τις μέγιστες και τις

καρποφορίας και της ωρίμανσης σύμφωνα με τους Doorenbos and Kassam (1986). Εδώ τονίζεται ότι οι απώλειες λόγω βαθιάς διήθησης θεωρούνται αμελητέες λόγω της χρήσης της στάγδην άρδευσης. Στο σχήμα 2.α παρουσιάζεται το διάγραμμα Box plot της διακύμανσης βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου ανά μεταχείριση Tr2, Tr5 και Tr9 και στο 2.β παρουσιάζεται το διάγραμμα κανονικών πιθανοτήτων Q-Q plot.



**Σχήμα 2.** Για τη διακύμανση της βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου: α) Διάγραμμα Box plot, ανά μεταχείριση (ομαδοποίηση περιπτώσεων). β) Διάγραμμα κανονικών πιθανοτήτων Q-Q plot. γ) Ιστόγραμμα τιμών. δ) Διάγραμμα με τις μετρηθέντες τιμές των 12 τεμαχίων, και της καμπύλης της εξίσωσης 3<sup>ου</sup> βαθμού, της σχέσης βιομάζας ενσίρωσης με εύρος άρδευσης και των καμπυλών των διαστημάτων εμπιστοσύνης 95%.

Από αυτό προκύπτει ότι η μεταβλητή δεν είναι πλήρως κανονικά κατανοημένη. Παρατηρείται απόκλιση των προβαλλόμενων τιμών εκατέρωθεν της κανονικής ευθείας πρόβλεψης. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το ιστόγραμμα (σχήμα 2.γ). Από τη στατιστική ανάλυση καθορίστηκε η σχέση μεταξύ της παραγωγής της βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου και του εύρους άρδευσης. Αυτή η σχέση δίνεται από την εξίσωση τρίτου βαθμού (1) και απεικονίζεται στο σχήμα 2.δ ως η καμπύλη *cubic* της γραφικής αναπαράστασης της εξίσωσης.

$$y = 0,207^2x - 4,107x + 1400,738 \quad (1)$$

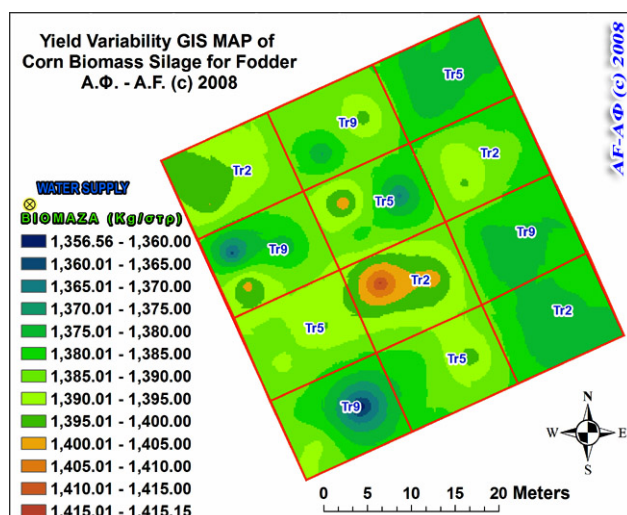
όπου το  $y$  είναι η συγκομισθείσα βιομάζα ενσίρωσης αραβοσίτου (επίγεια) σε Kg/στρ και το  $x$  είναι το εύρος άρδευσης της καλλιέργειας αραβοσίτου σε ημέρες.

Ο συντελεστής προσδιορισμού παρουσιάζει μέση εξάρτηση συσχετισμού της παραγωγής ενσίρωσης αραβοσίτου από το εύρος άρδευσης. Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στον πίνακα 3. Κάθε μέτρηση βιομάζας αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή κάθε τεμαχίου για την αντίστοιχη μεταχείριση που συγκομίστηκε στον αγρό, και διαχειρίστηκε όπως αναφέρεται στην μεθοδολογία. Όποτε, κρίθηκε απαραίτητο, εφαρμόστηκε ο κατάλληλος μετασχηματισμός στα δεδομένα. Από τις στατιστικές αναλύσεις (ANOVA και Scheffe), που διενεργήθηκαν με τη χρήση του στατιστικού λογισμικού SPSS, παρατηρείται (πίνακας 3) ότι η διαφοροποίηση του εύρους άρδευσης (ανά 2, 5 και 9 ημέρες) δεν επηρέασε στατιστικώς σημαντικά την εξαρτημένη μεταβλητή (βιομάζα αραβοσίτου) σε επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,05$ .

**Πίνακας 3.** Στατιστική Ανάλυση παραγωγικότητας βιομάζας ενσίρωσης για το 2004.

ANOVA	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί Ελευθερίας (df)	Μέσο Τετράγωνο	Τιμή F-test	Σημαντικό -τητα (p)
Παλινδρόμηση	336,242	2	168,121	2,986	0,101
Υπόλοιπο	506,760	9	56,307		
Σύνολο	843,001	11			
Scheffe	-	-	ΣΜΣ* = Στατιστικώς Μη Σημαντικό		

(\*Επίπεδο σημαντικότητας  $p < 0,05$ ).



**Σχήμα 3.** Χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου του πειραματικού αγρού.

ενσίρωσης αραβοσίτου σε Kg/στρ), παρουσιάζεται στην εξίσωση (2):

$$Y_{Pred} = 0,006X_{Meas} + 1377,739 \quad (2)$$

όπου  $Y_{Pred}$  είναι η προβλεφθείσα παραγωγή βιομάζας ενσίρωσης σε Kg/στρ και  $X_{meas}$  είναι η συγκομισθείσα παραγωγή βιομάζας σε Kg/στρ της καλλιέργειας αραβοσίτου. Όσον αφορά την βιομάζα, το ιστόγραμμα των δεδομένων και ο χάρτης GIS (σχήμα 3) έδειξαν ότι υπάρχει μια έντονη χωρική παραλλακτικότητα της βιομάζας στα πειραματικά τεμάχια. Με την διερεύνηση και την ανάλυση του σχήματος 3 και του πίνακα 3, παρατηρούμε ότι έχουμε υψηλή παραγωγή βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου και υψηλή παραλλακτικότητα, ειδικά στο εύρος 1375,0-1400,0 Kg/στρ. Παρότι, η μεταχείριση με άρδευση κάθε 2 ημέρες είχε τις υψηλότερες απώλειες εξάτμισης σε

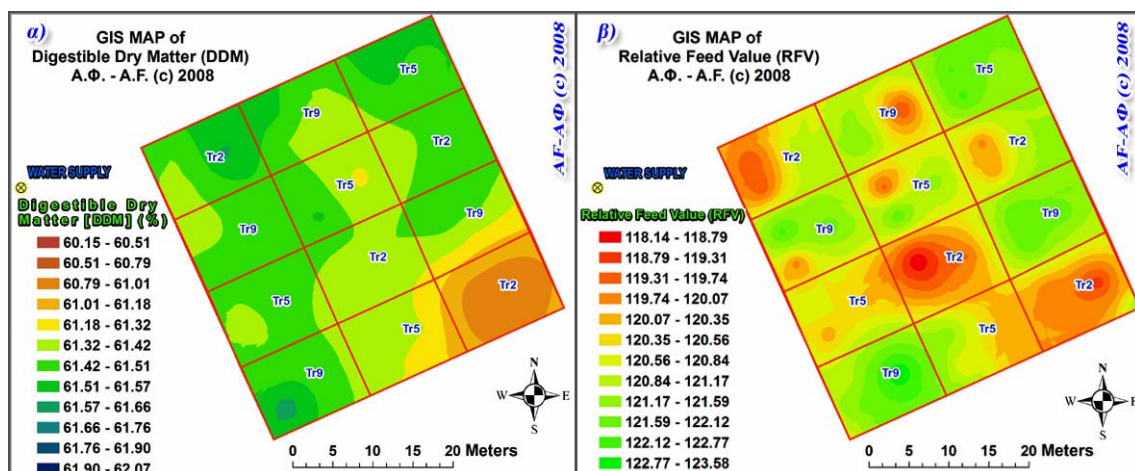
Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής βιομάζας αραβοσίτου για το έτος 2004, σε έναν GIS χάρτη παραγωγής βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου. Για την δημιουργία του GIS χάρτη, που βασίστηκε στη δομική και χωρική ανάλυση, επιλέχτηκε ένα εκθετικό μοντέλο βαριογράμματος για την βιομάζα και χρησιμοποιήθηκε με ισότροπης δομής μοντελοποίηση των παραμετρικών δεδομένων σε κύρια ακτίνα πεδίου 10,935 m. Το μοντέλο παλινδρόμησης των δεδομένων της βιομάζας και του χάρτη παραγωγικότητας (παραλλακτικότητα της βιομάζας



σχέση με τις μεταχειρίσεις Tr5 και Tr9, η παραγωγή βιομάζας ενσίρωσης της Tr2 ήταν υψηλότερη και η στατιστική ανάλυση κατέδειξε μη στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα για τα φυτικά μέρη (ξηρή ουσία), ήταν 47,32% καρπός και 52,68% για τα στέλεχος-φύλλα-σπάδικα-φλοιός-φύλλα σπάδικα. Όσον αφορά τα αποτελέσματα για την κατανομή βιομάζας αραβοσίτου για ενσίρωση (ξηρή ουσία) εκτός καρπού, ήταν στέλεχος 50,72%, φύλλα 21,05%, σπάδικας 15,17% και φλοιός-φύλλα σπάδικα 13,06%.

Στο σχήμα 4.α και 4.β παρουσιάζεται η χωρική παραλλακτικότητα για την Εύπεπτη Ξερή Ουσία από τα ζώα ή Digestible Dry Matter (DDM) (%) και για το συντελεστή της Σχετικής Διατροφικής Αξίας ή Relative Feed Value (RFV) αντίστοιχα, της βιομάζας αραβοσίτου, σε GIS χάρτες για το 2004.

Παρατηρείται ότι η RFV επηρεάστηκε αρνητικά στην μεταχείριση Tr2 όπου παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές (RFV<120) σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Η μεταχείριση Tr9 επηρεάστηκε θετικά από το εύρος άρδευσης και παρουσιάζει τις καλύτερες τιμές της Σχετικής Διατροφικής Αξίας (RFV) καθώς και τα μεγαλύτερα ποσοστά Εύπεπτης Ξερής Ουσίας από τα ζώα (DDM).



**Σχήμα 4.** Χωρική παραλλακτικότητα: α) της Εύπεπτης Ξερής Ουσίας από τα ζώα ή Digestible Dry Matter (DDM) (%), β) της Σχετικής Διατροφικής Αξίας ή Relative Feed Value (RFV), της παραγωγής βιομάζας αραβοσίτου για το έτος 2004.

#### 4. Συμπεράσματα

Όσον αφορά στις τεχνολογίες πληροφορικής κι επικοινωνιών (ΤΠΕ), (ψηφιακές βάσεις δεδομένων, Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS), Τηλεπισκόπηση, γεωργία ακρίβειας, χωρική ανάλυση κ.λπ)-τις οποίες η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί-στις βιολογικές και γεωτεχνικές επιστήμες, συμβάλουν σημαντικά στη μελέτη, μοντελοποίηση και χαρτογράφηση της παραγωγής βιομάζας αραβοσίτου για χρήση ως ενσίρωμα για ζωοτροφή σε σχέση με τις επιδράσεις διαχείρισης αρδευτικού νερού.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η άρδευση για τις συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες του πειράματος, μπορεί να πραγματοποιείται κάθε 9 αντί για 5 ή 2 ημέρες διότι οι διαφορές της παραγωγής βιομάζας ενσίρωσης αραβοσίτου μεταξύ των μεταχειρίσεων δεν βρέθηκαν στατιστικώς σημαντικά διαφορετικές ( $p < 0,05$ ), κι επιπλέον η μεταχείριση Tr9 απέδωσε υψηλότερες τιμές Σχετικής Διατροφικής Αξίας (RFV) και μεγαλύτερα ποσοστά Εύπεπτης Ξερής Ουσίας από τα ζώα (DDM).

Τα αποτελέσματα μπορούν να συμβάλουν στη βιώσιμη, οικονομική και αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων στο γεωργικό τομέα και στην οικονομική και ενεργειακή (σιτηρέσιο από ενσίρωμα) χρήση των υπολειμμάτων αραβοσίτου και στην ανταποδοτική χρήση των νέων τεχνολογιών στην γεωργία.

## Βιβλιογραφία

- 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.
- CIV (2008). Diet of Cattle, Centre d'Information des Viandes.
- 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.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. (1986). *Yield Response to Water*, FAO Irrigation and Drainage Paper 33, FAO, Rome, Italy, pp.101-104.
- Dioudis, I.P., Filintas, Th.Ag. and Papadopoulos, H.A. (2008). Corn yield in response to irrigation interval and the resultant savings in water and other overheads, *Irrigation and Drainage J.*, DOI: 10.1002/ird.395.
- Eastridge, M. (2007). Feeding Corn Stover to Ruminants. C.O.R.N Newsletter 2007-27, August 20-28, Ohio State University Extension.
- ESI-INC., (1997). *MP-917 Soil Moisture Instrument Operational Manual*. E.S.I. Enviromental Sensors, Canada.
- 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 3<sup>rd</sup> HAICTA International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, (HAICTA'06)*, Volos, Greece, September 20-23, ISBN 960-8029-43-0, pp.253-262.
- Filintas, T.Ag., Dioudis, P., Koutseris, E. and 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 3<sup>rd</sup> IASME/WSEAS Int. Conf. on: Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD'07)*, Agios Nikolaos, Crete Island, Greece, July 24-26, pp.486-492.
- Filintas, Ag., Dioudis, P., Hatzopoulos, J. and Karantounias, G. (2008). Irrigation effects in Maize yield, plant stress and GIS integrated modelling of available soil moisture. In *Proc. of Int. Conf.: "Studying, Modeling and Sense Making of Planet Earth"*. Department of Geography, University of the Aegean, 1-6 June, Mytilene, Lesvos island, Greece, B04ID172, pp.8.
- Kim, S.vand Dale, B.E. (2004). Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues". *Biomass Bioenergy*, vol.6, pp.361-375.
- 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.
- Schroeder, W.J. (2004). Forage Nutrition for Ruminants. AS-1250, June'04, North Dakota State University, NDSU, USA.
- Ντιούδης, Π., Φιλίντας, Αγ., Λέλλης, Θ. και Σακελλαρίου, Μ. (2003). Παραγωγικότητα καλλιέργειας αραβοσίτου συναρτήσσει του εύρους άρδευσης με σύστημα στάγδην, *Πρακ. 3<sup>ο</sup> Παν. Συν. Γεωργικής Μηχανικής*, Θεσ/νίκη, Ελλάδα, Μάιος 2003, σελ.69-76.
- Φιλίντας, Θ.Αγ. (2003). *Καλλιέργεια Αραβοσίτου στην Ελλάδα: Αύξηση και ανάπτυξη, διαχείριση, απόδοση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*, Τμήμα Περιβάλλοντος, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη, Ελλάδα.
- Φιλίντας, Θ.Αγ. (2005). *Συστήματα χρήσης γης με έμφαση στα γεωργικά μηχανήματα στις αρδύσεις 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.