

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Αειφόρος Αγροτική Παραγωγή και Διαχείριση Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας για μέτρηση παραλλακτικότητας σε καλλιέργεια σιταριού, για μεταβλητή εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης.

ΓΙΟΥΡΟΥΚΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2016

Εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας για μέτρηση παραλλακτικότητας σε καλλιέργεια
σιταριού, για μεταβλητή εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης.

Γιουρούκας Βασίλειος

Τριμελής επιτροπή

Θ. Γέμτος (επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Κ. Κίττας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Ν. Κατσούλας
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές
Επίκουρος Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές

Copyright @ Γιουρούκας Βασίλειος, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό τη προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης.

Η έγκριση της Μεταπτυχιακής Διατριβής Ειδίκευσης από το Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δε δηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.

Πρόλογος

Θεωρώ υποχρέωση μου να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, καθηγητή κ. Θεοφάνη Γέμτο για την υπόδειξη του θέματος της μεταπτυχιακής μου διατριβής, την επίβλεψη, τη βοήθεια που μου προσέφερε και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Κίττα για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας ως μέλους της τριμελούς επιτροπής.

Ευχαριστίες αποδίδονται επίσης στον Επίκουρο καθηγητή Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Κατσούλα για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας ως μέλους της τριμελούς επιτροπής.

Ευχαριστίες αποδίδονται επίσης στα μέλη του εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Καβαλάρη (Δρ.) και κ. Καραμούτη (Μ.Δ.Ε.) για την επίβλεψη της παρούσας εργασίας, για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια του πειράματος και για τη βοήθεια και τον καταλυτικό ρόλο κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Διδάκτορα Α. Χατζηνίκο για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια του πειράματος και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε κάθε στιγμή.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένεια μου, για την συμπαράσταση και την βοήθεια τους σε ότι κάνω.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους στενούς μου φίλους για την ηθική υποστήριξη, την υπομονή και κατανόηση που έδειξαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά στην αειφορική διαχείριση του σκληρού σίτου από τους Έλληνες παραγωγούς. Το αγροτεμάχιο όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα βρίσκεται στο Γραμματικό Καρδίτσας και πραγματοποιήθηκαν οι εξής ενέργειες:

Στα 10 στρέμματα έγινε εφαρμογή αειφορικής διαχείρισης (πιστοποιημένος σπόρος, ποσότητα σπόρου σποράς, σπαστή λίπανση κ.λ.π) σκληρού σίτου. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε σπορά με πιστοποιημένο σπόρο ποικιλίας Simeto, όπου δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση αλλά δυο επιφανειακές λιπάνσεις. Επίσης, στο αγροτεμάχιο των 10 στρεμμάτων πραγματοποιήθηκαν και δυο δόσεις αζωτούχου λίπανσης για την καλύτερη απορρόφηση του αζώτου, την βελτίωση του παραγόμενου προϊόντος (αυξημένες πρωτεΐνες) και την μείωση των απωλειών της αζωτούχου λίπανσης.

Επίσης, χωροθετήθηκε εντός της έκτασης μάρτυρας 30 τ.μ. στον οποίο δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση. Όμως, πραγματοποιήθηκε επιφανειακή λίπανση με την μέγιστη ποσότητα αζώτου, που να εξασφαλίζει πλήρως το μέγιστο των αναγκών του σε N και οι μετρήσεις του NDVI να διακριθούν με τις μέγιστες τιμές. Με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως βάση σύγκρισης και να εκτιμηθούν ελλείψεις αζώτου στο αγροτεμάχιο σύμφωνα με το NDVI.

Κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο αγροτεμάχιο και στον μάρτυρα των 30 τ.μ... Πραγματοποιήθηκε σύγκριση των τιμών του NDVI στο αγροτεμάχιο των 10 στρεμμάτων, με τις τιμές του μάρτυρα των 30 τ.μ. , με σκοπό να βοηθήσουμε την καλύτερη διαχείριση της επιφανειακής λίπανσης του σίτου. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι η χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους και συγκεκριμένα της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Eca) με τον αισθητήρα μέτρησης EM-38 (Geonics LTD, Ontario Canada). Η χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών για την μέτρηση του NDVI, πραγματοποιήθηκε με τον αισθητήρα Crop Circle (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA). Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε μέτρηση του όγκου βιομάζας των φυτών, με την χρήση του σαρωτή Laser Scanner (LMS 200 30106SIC AG, Germany). Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της παραλλακτικότητας του αγρού και της φυτείας, με στόχο να διαπιστωθεί η δυνατότητα εφαρμογής ενός συστήματος μεταβλητών δόσεων αζωτούχου λίπανσης και γενικότερα διαχείρισης σύμφωνα με τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας.

Αφού ολοκληρώθηκαν οι μετρήσεις και πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων με το λογισμικό Surfer 11, δημιουργήθηκαν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν την παραλλακτικότητα της καλλιέργειας σίτου στον αγρό. Παρόλο που πραγματοποιήθηκαν οι

ίδιες καλλιεργητικές διαδικασίες στον αγρό, στα αποτελέσματα διακρίνονται περιοχές με εύρωστα φυτά και περιοχές με μειωμένη ευρωστία φυτών. Στις παραπάνω περιοχές ανάλογα με την ευρωστία που παρουσιάζουν τα φυτά, είναι δυνατό να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης. Όπου, χρησιμοποιώντας ένα σύστημα Γεωργία Ακριβείας θα μπορούσε να γίνει εφαρμογή διαφοροποιημένης λίπανσης. Με σκοπό την ορθολογική εφαρμογή λίπανσης, που θα επέτρεπε την εξοικονόμηση λιπασμάτων, θα βελτίωνε ομοιόμορφα την παραγωγή με ταυτόχρονη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η διαφοροποιημένη λίπανση είναι δυνατό να γίνει την ίδια η επόμενη χρονιά στον αγρό.

Λέξεις κλειδιά: Φαινόμενη εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα, κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) , σαρωτής λέιζερ, ζώνες διαχείρισης, σκληρό σιτάρι, αζωτούχος λίπανση.

Abstract.

This research paper attempts to study the sustainable management of durum wheat from the Greek producers. This experimental plot is located at Grammatiko in Karditsa and there was made the following actions:

In 1 hectare there was used the implementation of sustainable management (certified seed, sowing seed quantity, sectional lubrication etc.) durum wheat. Specifically, sowing was made with certified seed of a Simeto variety and there wasn't made any broadcasting fertilization but two top dressing fertilizations . The two doses of nitrogen fertilization were made to improve the absorption of nitrogen, the improvement of the product (increased protein) and reduce losses of N fertilization.

Also, in the area there was situated a plot of 30 sq. m. in which there wasn't made a broadcasting fertilization. In the plot there was made a top dressing application of N fertilization to fully ensure the greatest needs in N and NDVI measurements to be increased. In order to serve as a basis for comparison and estimate nitrogen deficiency in the land according to NDVI.

During the growing season there were made measurements in the field and the plot of 30 sq. m. . There was made a contrast of the NDVI values of the plot of 1 hectare with the plot of 30 sq. m.. in order to improve the manage of top dressing fertilization. The measurements which performed are mapping the soil properties and specifically the apparent electrical conductivity (Eca) with EM-38 measuring sensor (Geonics LTD, Ontario Canada). Mapping the vigourity of the plants with the NDVI measurements was performed with the Crop Circle sensor (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA). In parallel, there have been

made for the volume of biomass measurements at the plants, using the Scanner Scanner Laser (LMS 200 30106SIC AG, Germany). These data were used to estimate the variance of the field and the crop in order to determine the top dressing fertilization system and variable dose generally managed in accordance with the technologies of precision agriculture.

After the measurements were completed and data analysis was performed with the software Surfer 11, there have been created maps that illustrate the variance of the wheat crop in the field. Although that the same cultivation procedures were made, the results have shown divided areas with vigor plants and in contrast there were areas with reduced vigor plants. In these areas depending on the vigourity that the plants are presenting, it is possible to create management zones. Using a Precision Agriculture system it could be possible to make different top dressing application of N-fertilization. The purpose of the system could help to use the exact amount of fertilizers it could improve the uniformity of production, while reducing the negative environmental impact. The differential fertilization is possible to happen the same or the next year at the field.

Key – words: Apparent electrical conductivity, Vegetation index NDVI, Laser scanner, Zone management, Durum wheat, N- fertilization.

Εγώ, ο Γιουρούκας Βασίλειος, είμαι συγγραφέας αυτής της Μ.Δ.Ε. Αυτή η Μ.Δ.Ε. αντικατοπτρίζει την έρευνα που έγινε από εμένα και δεν έχει υποβληθεί (εξ ολοκλήρου ή μέρος της) σαν προπτυχιακή διατριβή η Μ.Δ.Ε. η ως μέρος Διδακτορικής Διατριβής σε αυτό η άλλο Προπτυχιακό η Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Ιδρυμάτων Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης του εσωτερικού η εξωτερικού. Όποια συνεργασία καθώς και το μέγεθος αυτής δηλώνονται επακριβώς στο αντίστοιχο πεδίο αυτής της διατριβής. Επίσης έχω διαβάσει όλες τις βιβλιογραφικές αναφορές που παρατίθενται στο τέλος.

Υπογραφή.

Ως επιβλέπων της έρευνας που περιγράφεται σε αυτή τη διατριβή, δηλώνω ότι όλοι οι όροι του Εσωτερικού Κανονισμού του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος έχουν τηρηθεί από τον κο Γιουρούκα Βασίλειο.

Υπογραφή.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|-----|
| Ευχαριστίες..... | III |
| Περίληψη..... | IV |
| Abstract..... | V |
| Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή..... | 1 |
| Κεφάλαιο 2. Ανάλυση Βιβλιογραφίας..... | 2 |
| 2.1 Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture)..... | 2 |
| 2.2 Παραλλακτικότητα στον αγρό..... | 3 |
| 2.3 Παγκόσμιο σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS (Global Positioning System)..... | 4 |
| 2.3.1 Λειτουργικά μέρη του GPS..... | 5 |
| 2.4 Το σύστημα Differential Global Positioning System (DGPS)..... | 7 |
| 2.5 Το σύστημα Real Time Kinematic GPS (RTK)..... | 8 |
| 2.6 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών GIS (Geographic Information Systems)..... | 9 |
| 2.7 Αισθητήρες εκτίμησης της δεικτών βλάστησης..... | 10 |
| 2.8 Αισθητήρες εκτίμησης ιδιοτήτων κατάστασης του εδάφους..... | 11 |
| 2.9 Αισθητήρες εκτίμησης της φυτομάζας - ανίχνευσης της κόμης..... | 14 |
| 2.10 Συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής..... | 15 |
| 2.11 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για θεριζοαλωνιστικές μηχανές..... | 16 |
| 2.12 Ζώνες διαχείρισης..... | 18 |
| 2.13 Εφαρμογή μεταβλητών δόσεων (Variable Rate Application)..... | 21 |
| 2.14 Αζωτούχος (N) λίπανση στο σιτάρι..... | 22 |
| 2.15 Σκοπός της εργασίας..... | 27 |
| 3. Υλικά και μέθοδοι..... | 28 |
| 3.1 Περιγραφή Πειράματος..... | 29 |
| 3.1.1 Πειραματικό αγροτεμάχιο..... | 29 |
| 3.1.2 Μάρτυρας..... | 30 |
| 3.2 Φαινολογικά στάδια σκληρού σίτου ανά μέτρηση..... | 30 |
| 3.3 Χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους..... | 35 |
| 3.4 Χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών..... | 35 |
| 3.5 Χαρτογράφηση όγκου βιομάζας..... | 36 |
| 3.6 Συγκομιδή καλλιέργειας..... | 38 |
| 3.7 Επεξεργασία δεδομένων..... | 38 |
| 4. Αποτελέσματα..... | 39 |
| 4.1 Αποτελέσματα πληθυσμού φυτών στις καλλιέργειες..... | 39 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Σύγκριση του μέσου όρου των τιμών του NDVI μεταξύ του αγροτεμαχίου και του μάρτυρα..... | 37 |
| 4.3 Σύγκριση του μέσου όρου των τιμών για τον όγκο βιομάζας μεταξύ του αγροτεμαχίου και του μάρτυρα..... | 38 |
| 4.4 Σύγκριση του δείκτη NDVI και της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις 31/01/2014..... | 39 |
| 4.5 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας για την ποικιλία Simeto στις 22/03/2014..... | 41 |
| 4.6 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας για την ποικιλία Simeto στις 04/04/2014..... | 45 |
| 4.7 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας στις 10/05/2014..... | 46 |
| 4.8 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων..... | 48 |
| 4.9 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ NDVI και ECa..... | 49 |
| 4.10 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ όγκου βιομάζας και ECa..... | 52 |
| 4.11 Χάρτες | 53 |
| 4.11.1. Μέτρηση NDVI και ECa των φυτών στις 31/01/14 | 53 |
| 4.11.2 Μέτρηση NDVI και όγκο βιομάζας των φυτών στις 22/03/2014..... | 54 |
| 4.11.3 Μέτρηση NDVI και όγκο βιομάζας των φυτών στις 04/04/2014..... | 55 |
| 4.11.4 Μέτρηση NDVI και όγκο βιομάζας στις 10/05/2014 | 57 |
| 5. Συμπεράσματα – Συζήτηση..... | 57 |
| 5.1 Προτάσεις για τον παραγωγό..... | 58 |
| 6. Βιβλιογραφία | 63 |

Περιεχόμενο Σχημάτων

| | |
|--|----|
| Σχήμα 1. Απορρόφηση αζώτου στην ανάπτυξη καλλιέργειας σίτου..... | 24 |
| Σχήμα 2. Στάδια ανάπτυξης φυτού σύμφωνα με τον Zadocks και Feekers..... | 25 |
| Σχήμα 3. Τοποθεσία αγρού..... | 28 |
| Σχήμα 4. Σύγκριση μέσου όρου τιμών NDVI, ανά ημερομηνία στα 10 στρέμματα αγρού και στο μάρτυρα..... | 38 |
| Σχήμα 5. Σύγκριση μέσου όρου τιμών ύψος φυτών, ανά ημερομηνία στα 10 στρέμματα αγρού και στο μάρτυρα..... | 39 |
| Σχήμα 6. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητας του εδάφους κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014. | 40 |
| Σχήμα 7. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014. | 40 |
| Σχήμα 8. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014. | 41 |
| Σχήμα 9. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014. | 41 |
| Σχήμα 10. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014..... | 42 |
| Σχήμα 11. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014. | 42 |
| Σχήμα 12. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014..... | 43 |
| Σχήμα 13. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014..... | 43 |
| Σχήμα 14. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014..... | 44 |
| Σχήμα 15. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας , κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014..... | 44 |
| Σχήμα 16. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014. | 45 |
| Σχήμα 17. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με το τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014. | 45 |

| | |
|--|----|
| Σχήμα 18. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014..... | 46 |
| Σχήμα 19. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014..... | 46 |
| Σχήμα 20. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014..... | 47 |
| Σχήμα 21. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014..... | 47 |
| Σχήμα 22. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 22/03/2014..... | 48 |
| Σχήμα 23. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 04/04/2014..... | 48 |
| Σχήμα 24. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 10/05/2014..... | 49 |
| Σχήμα 25. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 31/10/2014..... | 49 |
| Σχήμα 26. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 22/03/2014..... | 50 |
| Σχήμα 27. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 04/04/2014..... | 50 |
| Σχήμα 28. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 10/05/2014..... | 51 |
| Σχήμα 29. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 22/03/2014. | 51 |
| Σχήμα 30. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 04/04/2014..... | 52 |
| Σχήμα 31. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 10/05/2014..... | 52 |

Περιεχόμενο Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται το GPS..... | 5 |
| Εικόνα 2. Ανα πάσα στιγμή 4 δορυφόροι είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο..... | 5 |
| Εικόνα 3. Τα σήματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός 300.000 km/s και χρειάζονται 67.3 ms για να φτάσουν στην Γη..... | 6 |
| Εικόνα 4. Σύστημα Differential Global Positioning System (DGPS)..... | 7 |
| Εικόνα 5. Επίγειος σταθμός RTK στο χωράφι..... | 8 |
| Εικόνα 6. Απεικόνιση αισθητήρα Crop Circle..... | 10 |
| Εικόνα 7. Απεικόνιση αισθητήρα EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada)..... | 13 |
| Εικόνα 8. Το μηχάνημα χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας Veris 3100..... | 13 |
| Εικόνα 9. Επαρκής ποσότητα αζώτου (N) στο έδαφος, βοηθά την καλή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος..... | 23 |
| Εικόνα 10. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 31-01-2014..... | 30 |
| Εικόνα 11. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 22-03-2014..... | 31 |
| Εικόνα 12. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 04-04-2014..... | 31 |
| Εικόνα 13. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 10-05-2014..... | 32 |
| Εικόνα 14. Πραγματοποίηση μετρήσεων εντός της πορείας που σχηματίσανε οι τροχοί..... | 35 |
| Εικόνα 15. Θεριζοαλωνιστική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε | 36 |

1. Εισαγωγή

Πριν από λιγότερο από 100 χρόνια, οι γεωργοί καλλιεργούσαν μικρή έκταση γης, όπου όλες οι εργασίες πραγματοποιούνταν χειρωνακτικά και γνώριζαν πολύ καλά τις ιδιαιτερότητες του χωραφιού. Αυτό οφειλόταν κυρίως στην κατοχή αγροτεμαχίων με μικρή έκταση γης, αλλά και στην ελάχιστη εκμηχάνιση της γεωργίας. Οπότε, μπορούσαν να διαχειριστούν το κάθε σημείο ξεχωριστά μέσα στον αγρό, ώστε να καλύψουν τις ανάγκες του για να πετύχουν την μέγιστη παραγωγή.

Όμως, το διαρκώς αυξανόμενο μέγεθος των κτημάτων, η εντατικοποίηση της παραγωγής, η εκμηχάνιση της γεωργίας, οδήγησε τον παραγωγό να χάσει την άμεση επαφή του με τον αγρό. Πλέον, ο γεωργός λαμβάνοντας υπόψη το μέσο όρο της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και της εκάστοτε καλλιέργειας, θεωρεί πως χρησιμοποιώντας τις ίδιες καλλιεργητικές πρακτικές και εισροές σε όλη την έκταση του χωραφιού στην εκάστοτε καλλιέργεια το χωράφι είναι ομοιόμορφο. Όμως, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες και την διαφοροποίηση που παρουσιάζει το χωράφι, εκτελεί τις περισσότερες διεργασίες (λίπανση, ψεκασμούς) ημερολογιακά.

Η δυναμική της παραγωγικότητας των αγροτεμαχίων βασίζεται στις καλλιεργητικές τεχνικές. Όπου τεχνικά μέσα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα είναι απαραίτητα για την παραγωγή. Όμως, το κόστος των εισροών αυξάνεται και οι τιμές των αγροτικών προϊόντων εμφανίζουν σταθερές τιμές ή εμφανίζουν πτωτική τάση. Ιδιαίτερα σε χρονιές όπου οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές και υποβιβάζεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος, με αποτέλεσμα την μείωση της τιμής. Ένα πρόβλημα που συνεχώς διογκώνεται και χρήζει αντιμετώπιση είναι η ανάγκη για μείωση των καλλιεργητικών δαπανών.

Μια νέα τακτική για την διαχείριση των αγροκτημάτων, η οποία να συνδυάζει και νέες γεωργικές τεχνικές είναι επιτακτική. Νέες μέθοδοι διαχείρισης των αγρών έχουν αναπτυχθεί την τελευταία εικοσαετία, οι οποίες έχουν ως βάση τις νέες τεχνολογίες της πληροφορικής, των τηλεπικοινωνιών και των ηλεκτρονικών, με σκοπό την πλήρη καταγραφή των δεδομένων του αγρού και την ορθή διαχείριση του. Πληροφορίες όπως γονιμότητα του εδάφους, πορεία ανάπτυξης της καλλιέργειας, ευρωστία των φυτών, πληθυσμός των ζιζανίων και συγκομιδή του προϊόντος μπορούν να ληφθούν με τις νέες μεθόδους διαχείρισης. Οι μέθοδοι αυτοί αναφέρονται με το όνομα της Γεωργίας Ακριβείας (precision agriculture). Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε μία νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών, σύμφωνα με την οποία οι εισροές και οι καλλιεργητικές φροντίδες εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών καθώς αυτές διαφοροποιούνται στον χωροχρόνο. Οι παραγωγοί μέσω της Γεωργίας Ακριβείας μπορούν να επιβιώσουν στην διεθνή αγορά, παράγοντας προϊόντα υψηλής ποιότητας και μειωμένο κόστος παραγωγής. Σκοπός της

Γεωργίας Ακριβείας είναι η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών και η βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων με σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους. Επίσης, ο υπολογισμός για την αποδοτικότερη χρήση των αγροχημικών με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, και την εξοικονόμησης ενέργειας.

Στην εποχή μας, το σιτάρι κατέχει εξέχουσα θέση στην παγκόσμια γεωργία, αλλά και αποτελεί βασικό στοιχείο στην διατροφή μας, για την παρασκευή του άρτου των ζυμαρικών κλπ. Το σιτάρι παγκοσμίως μετά τον αραβόσιτο, κατέχει την δεύτερη θέση σε συγκομισμένο δημητριακό. Επίσης, σύμφωνα με τον Asseng et al., (2011) η καλλιέργεια σιταριού παγκοσμίως καταλαμβάνει την τρίτη θέση στην παραγωγή τροφής στον ανθρώπινο πληθυσμό.

Στην Ελλάδα καλλιεργούνται περίπου 7.300.000 στρέμματα σίτου, με την παραγωγή να ανέρχεται σε 1.850.000 τόνους, όπου η έκταση του σκληρού σίτου αναφέρεται στα 5.250.000 στρέμματα και για τον μαλακό σίτο στα 1.730.000 στρέμματα (Πηγή: ΥΠΑΑΤ, 2014 και ΕΛΣΤΑΤ, 2014).

2. Ανάλυση Βιβλιογραφίας

2.1 Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture)

Οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας, έχουν εφαρμοστεί στην πράξη σε αρκετές χώρες και συνεχώς εξελίσσονται με θετικά αποτελέσματα. Έρευνες ανά τον κόσμο αναφέρουν ότι, η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας δεν περιορίζεται μόνο σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας, άλλα και σε δενδρώδεις καλλιέργειες. Η εφαρμογή των τεχνολογιών πραγματοποιούνται προς όφελος του καλλιεργητή και πρόκειται για μία νέα προσέγγιση της διαχείρισης των αγρών και των γεωργικών εκμεταλλεύσεων,.

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας, ορίζουμε την διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας του εδάφους, του κλίματος και της καλλιέργειας για την βελτίωση της απόδοσης της, την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων (Gemtos κ.α. 2002).

Η Γεωργία Ακριβείας, έχει ως απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση της διαχείρισης του αγρού, με το διαχωρισμό του σε ομοιογενείς περιοχές. Σε περιοχές που πραγματοποιούνται μετρήσεις ΓΑ διάφορων παραμέτρων στον αγρό, εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά, τα οποία καθορίζονται με την ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων ορίζονται ως ζώνες διαχείρισης. Οι βασικές ενέργειες που πραγματοποιούνται για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας είναι η συλλογή δεδομένων, η ανάλυση και η επεξεργασία τους, με σκοπό την ορθή λήψη αποφάσεων στη διαχείριση του αγρού. Οι μετρήσεις που

πραγματοποιούνται κάθε χρονιά κατά την πορεία της καλλιέργειας, χρησιμοποιούνται για τη λήψη αποφάσεων και την σωστή διαχείριση του αγρού. Επίσης, ο παραγωγός μπορεί να χρησιμοποιήσει δεδομένα από μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν την προηγούμενη ή τις προηγούμενες χρονιές για το βέλτιστο τελικό αποτέλεσμα.

Σύμφωνα με τους Τανό κ.α. (2007) οι κύριοι στόχοι της Γεωργίας Ακριβείας είναι:

- Η αποδοτικότερη χρήση των αγροχημικών και τη μείωση των αρνητικών επιδράσεων στο περιβάλλον
- Η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- Η εξοικονόμηση ενέργειας
- Η βελτιστοποίηση του εισοδήματος του παραγωγού.

Στην Ελλάδα παρατηρείται μια καθυστέρηση στην εκμηχάνιση της γεωργίας και στην χρήση των νέων τεχνολογιών λόγω του ότι :

- Υπάρχουν πολλοί αγρότες με μικρές εκτάσεις γης
- Ανεπάρκεια γνώσεων σε θέματα τεχνολογίας
- Έλλειψη συνεταιρισμών και ομάδων παραγωγών
- Μεγάλο ποσοστό αγροτών μεγάλης ηλικίας, οι οποίοι έχουν συνηθίσει σε παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας
- Αυξημένο κόστος για σχετικά μικρής έκτασης αγροτεμάχιο.

Οι πρώτες εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας ξεκίνησαν την δεκαετία 1980 σε καλλιέργεια σίτου (Stafford 2000). Πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση παραγωγής, με τη μέτρηση της ροής του σπόρου στη μηχανή και υγρασίας του σπόρου κατά την μηχανική συγκομιδή, αλλά και καταγραφή της γεωγραφικής θέσης του πλάτους εργασίας και ταχύτητας της μηχανής. Με τα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε η δημιουργία χαρτών που παρουσιάζουν την παραγωγή.

Στην δεκαετία του 1990 αλλά ακόμα και σήμερα, συνεχίζεται η έρευνα για την παραγωγή αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής των διαφόρων καλλιεργειών.

Οι τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας υιοθετήθηκαν πρώτα εκεί που η γη ήταν φθηνή, το κόστος του εργατικού δυναμικού ήταν υψηλό, ενώ παράλληλα υπήρχε γεωργικός εξοπλισμός υψηλού κόστους και ήταν εφικτό να ενσωματωθούν οι τεχνολογίες που υποστηρίζουν την Γεωργία Ακριβείας. Η υιοθέτηση των τεχνολογιών που προβλέπει η Γεωργία Ακριβείας φαίνεται να υφίσταται σε χώρες με ισχυρή οικονομία και εκεί όπου φέρει τα προσδοκώμενα αποτελέσματα. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν, οι Η.Π.Α., η

Αυστραλία, ο Καναδάς και κάποιες περιοχές της Βραζιλίας και της Αργεντινής. Αντίθετα σε ανεπτυγμένες χώρες με μικρές εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης, η υιοθέτηση Γεωργίας Ακριβείας γίνεται με αργούς ρυθμούς. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι χώρες της δυτικής Ευρώπης.

Την τελευταία δεκαετία, αρκετές είναι οι εταιρείες γεωργικών μηχανημάτων και κατασκευαστές αισθητήρων, οι οποίες έχουν καθιερώσει αρκετά συστήματα αισθητήρων. Οι αισθητήρες έχουν σκοπό να πραγματοποιούν μετρήσεις των ιδιοτήτων του εδάφους και για την παρακολούθηση της κατάστασης των φυτών, με σκοπό να καταγράφουν και να βελτιώνουν τις καλλιεργητικές διαδικασίες κατά την πορεία της καλλιέργειας. Κύριος στόχος η αύξηση της παραγωγής, αλλά και η καλύτερη διαχείριση των εισροών στις καλλιέργειες (McLoud και Gronwald, 2007, Peteinatos κ.α. 2014).

2.2 Παραλλακτικότητα στον αγρό

Παραπάνω έγινε αναφορά ότι παλαιότερα οι γεωργοί καλλιεργούσαν μικρή έκταση γης, γνωρίζανε πολύ καλά τις ιδιαιτερότητες του χωραφιού και όλες οι εργασίες πραγματοποιούνταν χειρωνακτικά. Η εφαρμογή των εισροών πραγματοποιούνταν ομοιόμορφα, θεωρώντας ότι ο αγρός δεν παρουσιάζει διαφορές. Όμως, ο αγρός παρουσιάζει περιοχές με διαφορετικά σημεία στον αγρό, κάποια πιο γόνιμα και κάποια λιγότερο γόνιμα τα οποία χρήζουν αντιμετώπιση. Σαν αποτέλεσμα διαφοροποιείτε η καλλιέργεια παρουσιάζοντας περιοχές με εύρωστα φυτά, ενώ άλλες χαρακτηρίζονται με πιο αδύναμα φυτά. Οπότε, στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, η παραγωγή στον αγρό δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του.

Πραγματοποιώντας μετρήσεις και μελετώντας τον αγρό είναι δυνατό να εντοπισθεί η παραλλακτικότητα του αγρού, με σκοπό να τεθούν σε εφαρμογή οι τεχνολογίες της ΓΑ και πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή των εισροών με μεταβλητή δόση. Η παραλλακτικότητα του αγρού μπορεί να είναι χωρική ή χρονική. Χρονική είναι η μεταβολή της χωρικής παραλλακτικότητας του αγρού στο χρόνο. Ενώ χωρική παραλλακτικότητα, εννοούμε τη μεταβολή των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας στο χωράφι (Blackmore κ.α. 2003). Επίσης, υπάρχει και η προβλεπτική παραλλακτικότητα με την οποία ορίζεται η ασυμφωνία μεταξύ προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών για τις διάφορες θέσεις μέσα στο αγροτεμάχιο.

Η παραλλακτικότητα διακρίνεται σε:

- Παραλλακτικότητα εδάφους όπου παρουσιάζεται η ανομοιομορφία στην μηχανική σύσταση, τα θρεπτικά στοιχεία και τις χημικές ιδιότητες του εδάφους.

- Παραλλακτικότητα λόγω ασθενειών και εχθρών οι οποίες επρόκειτο να επηρεάσουν και να μειώσουν την παραγωγή.
- Παραλλακτικότητα τοπογραφίας του εδάφους, η οποία σχετίζεται με τοπογραφικές ανομοιογένειες του εδάφους.
- Παραλλακτικότητα λόγω διαχείρισης του παραγωγού.
- Παραλλακτικότητα που οφείλεται στο γενότυπο της καλλιεργούμενης ποικιλίας.
- Παραλλακτικότητα παραγωγής που οφείλεται στο πώς κατανέμεται η παραγωγή χωρικά.

Έλεγχος της παραλλακτικότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με δυο τρόπους. Κατά το πρώτο στάδιο πραγματοποιούνται μετρήσεις, συνδυάζοντας τα δεδομένα κατά την διάρκεια της μέτρησης με το GPS ώστε να αποθηκεύονται χωροθετημένες. Έπειτα γίνεται επεξεργασία των δεδομένων και αποτυπώνονται σε ένα χάρτη με σκοπό να μελετηθούν. Ακόμα υπάρχει και η μέθοδος με την χρήση αισθητήρων όπου η μέτρηση και η ενέργεια στον αγρό πραγματοποιείται άμεσα. Συστήματα διαφοροποιημένης δόσης κατά την κίνηση τους στον αγρό συλλέγουν πληροφορίες διαμέσου αισθητήρων, επεξεργάζονται και ενημερώνουν τα συστήματα εφαρμογής εισροών για να χορηγήσουν την κατάλληλη ποσότητα δόσης (λιπάσματος, ζιζανιοκτόνου, φυτοπροστασίας κ.α.). Οι μετρήσεις τις ΓΑ περιγράφονται παρακάτω.

Για την αντιμετώπιση της παραλλακτικότητας του αγρού, είναι επιθυμητό να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης με σκοπό την διαχείριση της κάθε περιοχής ξεχωριστά προς όφελος του παραγωγού.

2.3 Παγκόσμιο σύστημα Εντοπισμού Θέσης GPS (Global Positioning System)

Το GPS ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων NAVSTAR/G.P.S. (NAVigation System with Timing And Ranging-Global Positional System). Σχεδιάστηκε στις Η.Π.Α. και είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα ακόμη και σήμερα. Αρχικά, δημιουργήθηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτική και έπειτα για πολιτική χρήση (<http://1>).

Με τον όρο δορυφορικός εντοπισμός θέσης, εννοείται ο προσδιορισμός των απόλυτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων με την επεξεργασία μετρήσεων προς ή από τεχνητούς δορυφόρους (Αγγελοπούλου, 2008).

Η χρησιμότητα του στην Γεωργία Ακριβείας είναι πολύ σημαντική, διότι μπορεί να παρέχει δεδομένα στον χρήστη εντοπίζοντας τη θέση του, κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Για τον σκοπό αυτό, χρειάζεται ένας δέκτης GPS, για να καταγράψει την τοποθεσία των

μετρήσεων. Επομένως, οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται στην Γεωργία Ακρίβειας, μπορούν να χωροθετούνται άμεσα.

2.3.1 Λειτουργικά μέρη του GPS

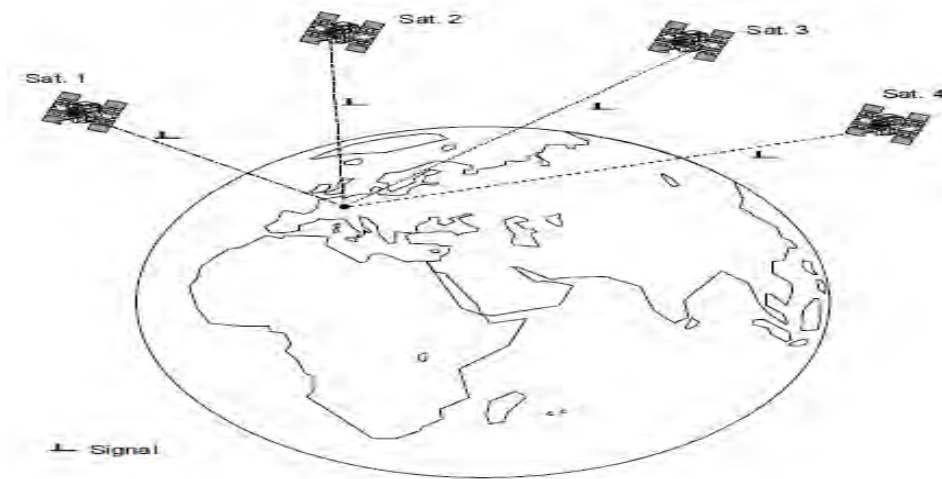
Το GPS αποτελείται από τρία μέρη:

- το δορυφορικό τμήμα
- το τμήμα ελέγχου
- το τμήμα χρήσης.



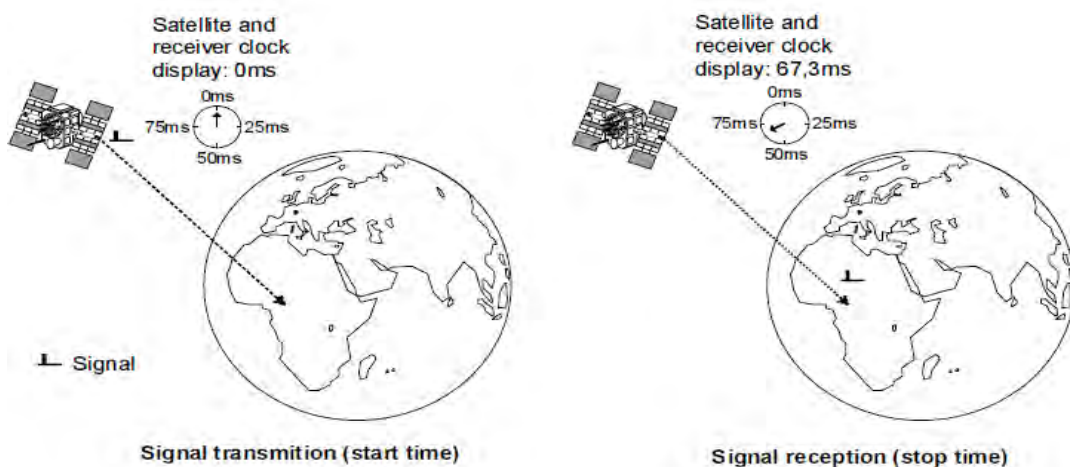
Εικόνα 1. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται το GPS (Πηγή: Δερμάνης 1999).

Το **δορυφορικό τμήμα** αποτελείται από 24 δορυφόρους, που κινούνται σε μια τροχιά γύρω από τη γη, σε απόσταση 20180 km πάνω από την επιφάνεια της. Οι δορυφόροι κινούνται σε 6 τροχιές, με 4 δορυφόρους να κινούνται σε κάθε τροχιά και έχουν εμβέλεια που καλύπτει ξηρά, θάλασσα και αέρα. Επίσης, εξασφαλίζεται ότι τουλάχιστον 4 δορυφόροι θα στέλνουν σήμα σε οποιοδήποτε σημείο της γης 24 ώρες τη μέρα. Κάθε τροχιακό επίπεδο έχει κλίση 55° με το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Κάθε ένας δορυφόρος περιστρέφεται γύρω από τη γη κάθε 12 ώρες, οπότε περνάει από το ίδιο σημείο της γης 2 φορές την ημέρα. Όμως, από την 15 Μαρτίου του 2008, οι ενεργοί δορυφόροι που εξυπηρετούν το GPS αυξήθηκαν σε 32. Οι επιπρόσθετοι αυτοί δορυφόροι, έχουν σκοπό να δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών στους δέκτες των GPS. Οι δορυφόροι ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτουν ηλιακούς συλλέκτες με μπαταρίες, με σκοπό να τροφοδοτήσουν με ισχύ τα συστήματα υψηλής τεχνολογίας με τα οποία είναι εφοδιασμένοι. (Δερμάνης 1999).



Εικόνα 2. Ανα πάσα στιγμή 4 δορυφόροι είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο (Πηγή: Zogg 2002).

Οι δορυφόροι εκπέμπουν μεγάλης ακρίβειας σήματα και κωδικοποιημένες πληροφορίες στην περιοχή των μικροκυμάτων, επιτρέποντας έτσι στους δέκτες GPS να καθορίσουν τη θέση τους, υπολογίζοντας την ταχύτητά τους, την κατεύθυνση και τον χρόνο που κινούνται. Κάθε ένας δορυφόρος έχει μέχρι τέσσερα ατομικά ρολόγια στην κατασκευή του. Τα οποία είναι τα πιο ακριβή όργανα που υπάρχουν και στην χειρότερη περίπτωση μπορούν να χάσουν ένα δευτερόλεπτο σε 3.000.000 χρόνια. Επίσης, εκπέμπουν ραδιοκύματα στην συχνότητα $L1=1575,42$ MHz και $L2=1227,60$ MHz. Το σήμα $L1$ περιέχει έναν ακριβή κώδικα τον C/A (Coarsel / Acquisition Code). Και το σήμα $L2$ φέρει μόνο τον κώδικα P (Precise Code) και χρησιμοποιείται για να διορθώσει την καθυστέρηση των σημάτων, το οποίο οφείλεται στην ιονόσφαιρα (Rabbany 2002).



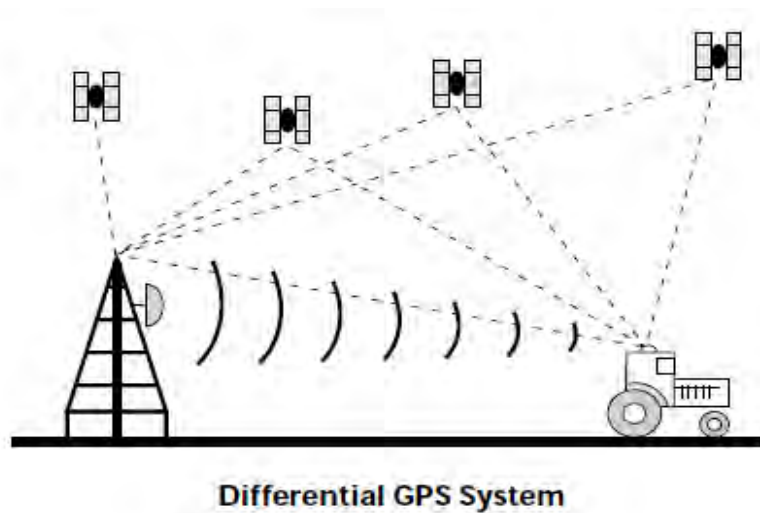
Εικόνα 3. Τα σήματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός 300.000 km/s και χρειάζονται 67.3 ms για να φτάσουν στην Γη (Πηγή: Zogg 2002).

Το τιμήμα ελέγχου του GPS, έχει ως σκοπό να προβλέπει τις δορυφορικές θέσεις και τις παραμέτρους των δορυφορικών χρονομέτρων. Κυρίως τον έλεγχο, την πρόληψη, την ακεραιότητα του συστήματος και την συμπεριφορά των χρονομέτρων, οι οποίες μπορεί να αλλοιώσουν το σήμα. Το τμήμα αποτελείται από ένα κέντρο, με προσωπικό στο Κολοράντο (Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής) και ακόμα τέσσερις αυτόματους σταθμούς που βρίσκονται διάσπαρτα στον πλανήτη, στις περιοχές Ascension Island (Ατλαντικός Ωκεανός), Diego Garcia (Ινδικός Ωκεανός), Kwajalein (Δυτικός Ειρηνικός Ωκεανός), Χαβάη (Ανατολικός Ειρηνικός Ωκεανός). Όλοι οι σταθμοί είναι εξοπλισμένοι με υψηλής ακρίβειας δέκτες GPS και τρεις από αυτούς, μπορούν να αποστέλλουν πληροφορίες στους δορυφόρους μέσω επίγειων κεραιών (Δερμάνης 1999).

Το τιμήμα χρήσης περιλαμβάνει τους χιλιάδες δέκτες GPS που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως, οι οποίοι λαμβάνουν και επεξεργάζονται τα σήματα και καταγράφουν τη θέση, την πλοήγηση και τον χρονισμό πληροφοριών για τους χρήστες. Οι δέκτες αποτελούνται από μια κεραία, η οποία συντονίζεται στις συχνότητες που εκπέμπουν οι δορυφόροι, από ένα υψηλής σταθερότητας χρονόμετρο και από επεξεργαστές λήψης σημάτων. Για τον καθορισμό της θέσης, απαιτείται ταυτόχρονη λήψη σήματος από τουλάχιστο τέσσερις δορυφόρους. Υπολογίζοντας την απόσταση που απέχει η κεραία από τον κάθε δορυφόρο, υπολογίζοντας το χρόνο που χρειάζεται το σήμα, το οποίο ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός για να φτάσει από τον πομπό (δορυφόρος) στο δέκτη (κεραία GPS) (<http://2>).

2.4 Το σύστημα Differential Global Positioning System (DGPS)

Το Διαφορικό GPS (DGPS) είναι ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από επίγειους πομπούς και δέκτες με γνωστή θέση. Γνωρίζοντας την θέση των δορυφόρων του διαφορικού σταθμού, υπολογίζεται η απόσταση μεταξύ τους. Ο επίγειος σταθμός λαμβάνει υπόψη τις παραμορφώσεις που προκαλούνται στο σήμα, προχωρά στη διόρθωση του και εκπέμπει το σφάλμα στον κινητό δέκτη GPS. Στη συνέχεια εκπέμπεται στους χρήστες, οι οποίοι διορθώνουν με τη σειρά τους το σήμα, το οποίο που λαμβάνουν από τους δορυφόρους του GPS. Το σύστημα έχει ακτίνα μέχρι 200 km και μπορεί να δώσει ακριβές σήμα σε αποστάσεις 1-5 m. Τέλος, για να λειτουργήσει σωστά ο δέκτης του χρήστη, αλλά και ο σταθμός DGPS πρέπει να δέχονται τα ίδια δορυφορικά σήματα κατά τον ίδιο χρόνο (Παπαοικονόμου 2003).



Εικόνα 4. Σύστημα Differential Global Positioning System (DGPS).

2.5 Το σύστημα Real Time Kinematic GPS (RTK)

Το RTK GPS είναι μια τεχνική προσδιορισμού θέσης, η οποία βασίζεται στη μέτρηση φέροντος σήματος δυο GPS. Ένας επίγειος σταθμός παρέχει την δυνατότητα διόρθωσης του σήματος σε πραγματικό χρόνο, με ακρίβεια ακόμη και τα 2 cm. Για την λειτουργία του RTK GPS απαιτείται ένας σταθερός σταθμός στα όρια του αγρού (reference receiver), ο οποίος λαμβάνει σήμα από τους δορυφόρους και έπειτα εκπέμπει σήμα προς το δέκτη GPS που κινείται στο χωράφι. Ο δέκτης λαμβάνει ταυτόχρονα τα δεδομένα του σταθερού σταθμού και τις δικές του μετρήσεις, με σκοπό να τα συνδυάζει με τα αποτελέσματα, ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις. Το σύστημα έχει κόστος ενεργοποίησης μια φορά και έπειτα δεν χρειάζονται τέλη συνδρομής (<http://3>).



Εικόνα 5. Επίγειος σταθμός RTK στο χωράφι.

2.6 Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών GIS (Geographic Information Systems)

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών GIS, είναι ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία λειτουργούν με την βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών και έχουν σκοπό να συλλέγουν, να αποθηκεύουν και να αναλύουν δεδομένα, που σχετίζονται με μια γεωδεμένη πληροφορία (<http://4>). Συνήθως, αποτελούνται από τον τεχνολογικό εξοπλισμό (hardware), το ειδικό λογισμικό (software), τα δίκτυα σύνδεσης μεταξύ των συστημάτων (networks), το πλήθος των πληροφοριών (data), το προσωπικό (people) και τις διαδικασίες ανάλυσης κι εξαγωγής συμπερασμάτων (procedures).

Τα συστήματα είναι πολύ σημαντικά, διότι έχουν την δυνατότητα να συνδυάζουν πληροφορίες από διάφορα πεδία, να οργανώνουν ολοκληρωμένα πακέτα πληροφοριών και να επιλύουν προβλήματα. Οι πληροφορίες που εισάγονται μέσα σε ένα σύστημα GIS, είναι οργανωμένες και ταξινομημένες σε συγκεκριμένες δέσμες (layers), οι οποίες συνδυάζονται μεταξύ τους για να δώσουν το προσδοκώμενο επιστημονικό συμπέρασμα (<http://5>).

Το GIS μπορεί να αναμείξει και να διασυνδέσει πληροφορίες, που φαινομενικά είναι άσχετες μεταξύ τους. Έχει την δυνατότητα με την εισαγωγή δεδομένων να αποτυπώνει χάρτες και μπορεί συνεχώς να εμπλουτίζονται με νέες δέσμες (layers) πληροφοριών. Το GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας χάρτης και είναι ικανό να προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία από πληροφορίες. Τα δεδομένα βρίσκονται αποθηκευμένα σε ψηφιακή μορφή και επιτρέπεται η παραγωγή διαφόρων θεματικών χαρτών, ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Το πιο σημαντικό είναι ότι, η ψηφιακή φύση των δεδομένων επιτρέπει τη γρήγορη επεξεργασία των δεδομένων και την εκτέλεση διαφόρων αναλύσεων. Τέλος, επειδή όλα τα στοιχεία συνδυάζονται σε ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων, είναι δυνατόν να κάνουμε πολλές χωρικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τα συνδεδεμένα χαρακτηριστικά.

Η τεχνολογία των GIS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επιστημονικές έρευνες, διαχείριση πηγών και ανάπτυξη στρατηγικού σχεδιασμού σε διάφορα πεδία. Για παράδειγμα, οι επιστήμονες που συλλέγουν δεδομένα μέσω των GIS, προσπαθούν να δημιουργήσουν σχέδια αντίδρασης σε φυσικές καταστροφές, να διακρίνουν βιότοπους που κινδυνεύουν από τη ρύπανση, να βγάλουν συμπεράσματα κοινωνικής ανάλυσης για μια περιοχή, να προβλέψουν την οικονομική ανάπτυξη ή ύφεση κάποιων πόλεων κτλ. (Clarke, 1997).

2.7 Αισθητήρες εκτίμησης της δεικτών βλάστησης

Οι αισθητήρες εκτίμησης των δεικτών βλάστησης, έχουν δημιουργηθεί και λειτουργούν για να πραγματοποιούν μετρήσεις της ανάπτυξης και ευρωστίας των φυτών. Τα

δεδομένα είτε λαμβάνονται από δορυφόρο, είτε με επίγειες μετρήσεις με την βοήθεια αισθητήρων. Ένας από τους πιο διαδεδομένους δείκτες είναι και το NDVI. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα συνδυασμό μεταξύ των ερυθρών και των υπέρυθρων φασματικών μετρήσεων. Ο δείκτης έχει σκοπό να υπολογίζει τις φωτοσυνθετικές ικανότητες της βλάστησης, τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας και τις ιδιότητες της πράσινης βλάστησης. Συγκεκριμένα κατά την μέτρηση μεταδίδει μια δέσμη φωτός και λαμβάνει με αισθητήρες την ανάκλαση της NIR και Red ακτινοβολίας. Οι τιμές του NDVI βρίσκονται σε ένα εύρος τιμών από 0.00 έως 0.99, όπου οι υψηλότερες τιμές αναφέρονται σε πιο εύρωστα και υγιή φυτά (Gutiérrez-Soto κ.α. 2011).

Το NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) είναι ο πιο γνωστός δείκτης βλάστησης και δίνεται από τη σχέση (Prasad κ.α. 2007):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}_{\text{reflected}} - \text{RED}_{\text{reflected}}) / (\text{NIR}_{\text{reflected}} + \text{RED}_{\text{reflected}})$$

Η μέτρηση του NDVI μπορεί να γίνει είτε επίγεια ή με όργανα στον αγρό όπως το Crop Circle. Στην παρούσα εργασία έγινε χρήση του Crop Circle και έλαβε τις μετρήσεις μετακινούμενος με τα πόδια στον αγρό ή με την τοποθέτηση του στο πίσω μέρος του ελκυστήρα.



Εικόνα 6. Απεικόνιση αισθητήρα Crop Circle.

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες, η ανάπτυξη των δεικτών βλάστησης για την αξιολόγηση της κατάστασης του αζώτου (N) στα φυτά ήταν το επίκεντρο των ερευνών τηλεπισκόπησης

(Feng κ.α. 2008; Yao κ.α. 2010; Wang κ.α. 2012; Cao κ.α. 2013; Diacono κ.α. 2013). Έπειτα από έρευνες, οι Zhu κ.α. (2007) κατέληξαν ότι το NDVI είναι ο δείκτης, που σχετίζεται περισσότερο με την συγκέντρωση αζώτου (N) στα φύλλα.

Ο δείκτης NDVI, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της απόδοσης των σιτηρών (Raun κ.α. 2001; Prasad κ.α. 2007), αλλά και σαν δείκτης ανάπτυξης των φυτών (Dorigo κ.α. 2007). Οι Trotter κ.α. (2008) και Fitzgerald (2010) κατέληξαν ότι στον τομέα των σιτηρών, η μέτρηση του NDVI μπορεί να επιτευχθεί με το Crop Circle το οποίο είναι ένας ενεργός αισθητήρας, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ευρωστίας των φυτών, την ανίχνευση της πράσινης βιομάζας, της φυλλικής επιφάνειας και της ανάπτυξης των φυτών με σκοπό να γίνουν ενέργειες όπως η αζωτούχος λίπανση.

Οι Perry κ.α. (2012) κατέληξε ότι μετρώντας το NDVI της καλλιέργειας μπορεί να υπολογιστεί ικανοποιητικά το ποσοστό φυτοκάλυψης αλλά όχι το ποσοστό της βιομάζας.

Οι Zhang κ.α. (2011), με την χρήση αεροφωτογραφιών υπολόγισαν το δείκτη NDVI και συμπεράνανε ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να δώσει την παραλλακτικότητα της καλλιέργειας στον αγρό.

2.8 Αισθητήρες εκτίμησης ιδιοτήτων κατάστασης του εδάφους

Σημαντική εξέλιξη στην Γεωργία Ακριβείας σημειώθηκε από τους Carter κ.α. το 1993, οι οποίοι δημιούργησαν έναν αισθητήρα που λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο ανίχνευσης, χωρίς να έρχεται σε επαφή με το έδαφος. Συγκεκριμένα ο αισθητήρας EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada), πραγματοποιεί μετρήσεις της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Eca), η οποία ορίζεται ως η ηλεκτρική αγωγιμότητα της μάζας του εδάφους.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, ορίζεται ως η ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσα από την μάζα του. Η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται κυρίως μέσω του νερού και των πόρων που σχηματίζουν τα εδαφικά συσσωματώματα μεταξύ τους. Στους πόρους του εδάφους περιέχεται νερό και εδαφικό διάλυμα. Οι μονάδες μέτρησης είναι οι Siemens ανά μέτρο ($S\ m^{-1}$) (Doerge κ.α. 1999). Με την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την ποιότητα του εδάφους και η διαδικασία είναι απλή και οικονομική (Corwin και Lesch, 2005).

Η μέτρηση της ECa είναι πολύ σημαντική για την Γεωργία Ακριβείας, διότι με την πραγματοποίηση μετρήσεων και ανάλυση των δεδομένων, μπορούν να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης και να γίνουν διαφορετικές ενέργειες, που σχετίζονται με την διαχείριση της καλλιέργειας (Mulla, 2013).

Ο αισθητήρας EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada), λειτουργεί με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και χωρίς να εισέλθει στο έδαφος. Ο αισθητήρας στα άκρα του έχει δυο πηνία, τα οποία απέχουν μεταξύ τους περίπου 1 m. Λειτουργεί στην συχνότητα των 14.6 kHz και έχει ενσωματωμένη μπαταρία 9V. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων το πηνίο-πομπός, που βρίσκεται στο ένα άκρο του οργάνου παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο διαπερνά το έδαφος. Έπειτα, το έδαφος παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί εκ νέου ηλεκτρικό ρεύμα με μικρότερη ένταση. Το παραγόμενο ρεύμα του εδάφους, δημιουργεί ένα μικρότερο μαγνητικό πεδίο. Στην συνέχεια τα δυο μαγνητικά πεδία, δηλαδή από το εναλλασσόμενο ρεύμα του οργάνου και του εδάφους λαμβάνονται από το πηνίο δέκτη του οργάνου (Geonics Limited, 2006). Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, είναι η αναλογία του πρωτεύοντος με το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο.

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες του εδάφους:

- την θερμοκρασία του εδάφους, όπου τιμές άνω του μηδενός αυξάνουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα ελάχιστα, ενώ όταν η θερμοκρασία μειώνεται κάτω του μηδενός η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται σημαντικά (Corwin και Letch 2005).
- την αλατότητα του εδάφους, όπου αυξημένη αλατότητα στο έδαφος αυξάνει την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Corwin και Plant 2005).
- την οργανική ουσία, όπου αυξημένη οργανική ουσία στο έδαφος αυξάνει την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Shaner κ.α. 2008).
- την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, όπου αυξημένη συγκέντρωση της αργίλου στο έδαφος αυξάνει την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Mulla 2013).
- την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, όπου μεγαλύτερες ποσότητες νερού στο έδαφος αυξάνουν την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Doerge 2001).
- το πορώδες του εδάφους, όπου εδάφη με μεγαλύτερο πορώδες παρουσιάζουν μικρότερη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Doerge 2001).
- την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, όπου μεγαλύτερες ποσότητες νερού στο έδαφος παρουσιάζουν μεγαλύτερη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Doerge 2001).
- την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, όπου μεγάλη ικανότητα στο έδαφος παρουσιάζει μεγαλύτερη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (Doerge 2001).

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Παράγοντες που αλλάζουν την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι:

- Το βαθύ όργωμα
- Η προσθήκη μεγάλης ποσότητας οργανικής ουσίας

- Η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών π.χ. ασβέστη για διόρθωση του pH
- Τροποποίηση στο έδαφος π.χ. ισοπέδωση
- Η χρήση αρδευτικού νερού με πολλά άλατα

Το όργανο λαμβάνει τις μετρήσεις καθώς μετακινούμαστε μέσα στον αγρό, σε μικρή απόσταση από το έδαφος και μπορεί κάλλιστα να συνδυαστεί με GPS, με σκοπό την καταγραφή και αποθήκευση των τιμών της ECa, ώστε να μπορούμε να έχουμε τις μετρήσεις γεωδεμένες. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε κάρτα μνήμης, οπότε με το κατάλληλο λογισμικό και με την κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να δημιουργηθούν χάρτες, ώστε να μελετήσουμε τις ιδιαιτερότητες του αγροτεμαχίου (Trotter κ.α. 2010).

Ο αισθητήρας μπορεί να είναι τοποθετημένος στο χέρι, λόγω μικρού όγκου και βάρους η σε κάποιο παρελκόμενο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ρύθμιση του, πριν αλλά και κατά την διάρκεια της μέτρησης, πρέπει να μην υπάρχουν μεταλλικά αντικείμενα τριγύρω, διότι επηρεάζουν τις τιμές των μετρήσεων.



Εικόνα 7. Απεικόνιση αισθητήρα EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada).

Στην παρούσα εργασία το EM-38 ήταν και ένας από τους αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση της ECa στον πειραματικό αγρό σιταριού και απεικονίζεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 8. Το μηχάνημα χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας Veris 3100(Πηγή: Παπαοικονόμου 2003).

Στην εικόνα 8 απεικονίζεται το σύστημα Veris της εταιρείας Veris technologies (Salina, KS, USA), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον αυτόματο υπολογισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Το σύστημα αποτελείται από τρία ζευγάρια δίσκων/ηλεκτροδίων, τα οποία έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Στην κεντρική κονσόλα καταγραφής, εμφανίζονται τα δεδομένα του ηλεκτρικού πεδίου σε διαφορετικά βάθη (0-30 και 0-90). Σε μια κονσόλα ελέγχου η οποία είναι τοποθετημένη στην καμπίνα του οχήματος και συνδεδεμένη με GPS παρέχεται η δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων. (Παπαοικονόμου 2003).

2.9 Αισθητήρες εκτίμησης της φυτομάζας - ανίχνευσης της κόμης

Οι σαρωτές λέιζερ (laser scanner), είναι αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να πραγματοποιήσουν μετρήσεις για την βιομάζα και το ύψος των φυτών και να αποδώσουν με ακρίβεια τα συγκεκριμένα αποτελέσματα στην καλλιέργεια. Ο αισθητήρας βασίζεται στην αρχή του <<χρόνου πτήσης>>, όπου για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση της απόστασης υπολογίζεται ο χρόνος που κάνει το φως για να ταξιδέψει έως το κοντινότερο εμπόδιο και να επιστρέψει πίσω στον αισθητήρα. Το σύστημα αποτελείται από μια συσκευή σάρωσης λέιζερ, η οποία συνδέεται με μια μονάδα ελέγχου με σκοπό την καταγραφή των δεδομένων. Επίσης, η χρήση ενός φορητού υπολογιστή είναι απαραίτητη, για την άμεση αποθήκευση των δεδομένων και την μετέπειτα επεξεργασία τους (Paulus κ.α. 2014).

Σύμφωνα με τους Lumme κ.α. (2008), η πληροφορία που σχετίζεται με το ύψος της καλλιέργειας, μπορεί να δώσει αποτελέσματα για την συνολική παραγωγή της καλλιέργειας κριθαριού, βρώμης και σιταριού. Επίσης, δεδομένα που σχετίζονται με το ύψος μιας καλλιέργειας, σε συνδυασμό με την φασματική πληροφορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του αριθμού των βλαστών της καλλιέργειας (Scotford και Miller 2004). Πραγματοποιώντας μετρήσεις για τις διαστάσεις των φυτών που παρέχονται από σαρωτές λέιζερ, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λήψη πληροφοριών που σχετίζονται με δομικές ιδιότητες της καλλιέργειας όπως: τα αποθέματα άνθρακα στην καλλιέργεια και την βιομάζα των καλλιεργειών (Eitel κ.α. 2010b; Hosoi και Omasa 2009; Polo κ.α. 2009). Λέιζερ που συλλέγουν πληροφορίες ξηρού βάρους, απόδοσης και πυκνότητας μιας καλλιέργειας, σε συνδυασμό με δεδομένα μετρήσεων από εκτιμήσεις αζώτου που πραγματοποιούνται στο φύλλωμα, μπορούν να βοηθήσουν για την βελτιστοποίηση αποφάσεων λίπανσης, με συστήματα που λειτουργούν στον αγρό εν κινήσει (on the go).

Σύμφωνα με τους Nelson κ.α. (1988), ένα αερομεταφερόμενο σύστημα με παλμικό λέιζερ χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στα τέλη του 1980, για την αξιολόγηση δασικής βιομάζας και του όγκου της ξυλείας.

Οι Wei και Salyani (2004), χρησιμοποίησαν ένα σύστημα λέιζερ σκάνερ (AccuRange AR4000–LIR, Acuity Research Inc., Menlo Park, Cal.), για να μετρήσουν το ύψος, το πλάτος και τον όγκο σε καλλιέργεια εσπεριδοειδών.

Οι Ehlert κ.α. (2008), χρησιμοποίησαν ένα σύστημα λέιζερ για να μετρήσουν παραμέτρους της καλλιέργειας όπως: το ύψος των φυτών, την κάλυψη και την πυκνότητα της βιομάζας, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σαν παράγοντας για την βελτιστοποίηση των μεθόδων συγκομιδής των καρπών. Τα αποτελέσματα δείξαν πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ της πυκνότητας της βιομάζας και το μέσο ύψος των φυτών της καλλιέργειας, σε καλλιέργειες ελαιοκράμβης, χειμερινής σίκαλης και στο σιτάρι.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Laser Scanner Lms 200 της εταιρείας SICK.

2.10 Συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής

Η χαρτογράφηση της παραγωγής, είναι μια από τις βασικότερες τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας. Οι χάρτες παραγωγής μπορεί να γίνουν χρήσιμα εργαλεία, με σκοπό να βοηθήσουν τον χρήστη, να αντιληφθεί τους λόγους για τους οποίους διαφοροποιείται η παραγωγή, σε διαφορετικά σημεία μέσα στο χωράφι. Γενικότερα, η ποσότητα του προϊόντος που συγκομίζει ο γεωργός, δεν είναι η ίδια σε κάθε σημείο του αγρού.

Παράγοντες που μπορεί να διαφοροποιήσουν την παραγωγή είναι οι εξής (Παπαϊκονόμου 2003):

- Υδατικό στρες (έλλειψη ή περίσσεια) σε ένα σημείο του αγρού
- Ανομοιομορφία του τύπου εδάφους η ανάγλυφου του εδάφους
- Διαφορετική προσβολή από έντομα, ζιζάνια και ασθένειες
- Διαφορετική διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων
- Χαμηλή διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, λόγω διαφοροποιήσεων του pH.

Συνδυάζοντας τους χάρτες παραγωγής με άλλες πληροφορίες όπως: την γονιμότητα του εδάφους, τις τιμές των εισροών (σπόροι, λιπάσματα, ψεκασμούς με φυτοπροστατευτικά προϊόντα, άρδευση κ.α.), το κόστος των μηχανημάτων και το κόστος εργασίας, μπορεί ο ενδιαφερόμενος να συλλέξει πληροφορίες για τον υπολογισμό του τελικού κέρδους, που επρόκειτο να τους αποδώσει η καλλιέργεια. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που δίνεται στον παραγωγό με την χαρτογράφηση της παραγωγής στον αγρό, είναι ότι από έτος σε έτος μπορεί να συγκρίνει σημειακά τυχόν αυξομειώσεις στην παραγωγή της καλλιέργειας. Με σκοπό να ελέγχει το πρόβλημα στις συγκεκριμένες τοποθεσίες και έπειτα να προχωρά στις κατάλληλες

ενέργειες, για την εφαρμογή των εισροών στον αγρό, την βελτίωση της παραγωγής και την μεγιστοποίηση του κέρδους του (Shearer κ.α. 1999).

2.11 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για θεριζοαλωνιστικές μηχανές

Σε μια μηχανή συγκομιδής που θερίζει στον αγρό, είναι δυνατό να επιτευχθεί μέτρηση της παραγωγής, γνωρίζοντας την ροή του υλικού σε κάποιο σύστημα της μηχανής συγκομιδής, την ταχύτητα αλλά και το πλάτος εργασίας της θεριζοαλωνιστικής μηχανής.

Τα συστήματα καταγραφής της παραγωγής αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη (Αγγελοπούλου, 2008):

1) Αισθητήρες μέτρησης της ροής του σπόρου.

Οι αισθητήρες τοποθετούνται σε ένα σημείο της μηχανής, όπου εισέρχεται ο σπόρος.

Υπάρχουν διάφορα είδη αισθητήρων οι οποίοι λειτουργούν διαφορετικά:

- Αισθητήρες οι οποίοι υπολογίζουν τον όγκο του σπόρου με την βοήθεια ακτινοβολίας.
- Αισθητήρες μέτρησης της πίεσης, καθώς ο σπόρος διέρχεται μέσα από κάποιον συγκεκριμένο σωλήνα.
- Αισθητήρες μέτρησης του βάρους με δυναμοκυψέλες.

2) Αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας του σπόρου.

Οι αισθητήρες στην μηχανή συγκομιδής, τοποθετούνται στο σύστημα καθαρισμού του σπόρου. Για την μέτρηση της υγρασίας του σπόρου, συνήθως τοποθετούνται πυκνωτές, οι οποίοι συσσωρεύουν ηλεκτρικά φορτία σε δυο οπλισμούς και χωρίζονται με ένα διηλεκτρικό. Κατά το πέρασμα του σπόρου από τους δυο οπλισμούς, υπολογίζεται η διηλεκτρική σταθερά η οποία είναι ανάλογη με την υγρασία του σπόρου.

3) Αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας.

Οι αισθητήρες τοποθετούνται στην μηχανή συγκομιδής και μετράνε την ταχύτητα της.

Η τεχνολογία βασίζεται σε υπερήχους, ραντάρ, μαγνήτες ή σήματα από GPS.

4) Αισθητήρας μέτρησης του πραγματικού πλάτους εργασίας της μηχανής, δηλαδή το πλάτος της λωρίδας του σιτηρού που συγκομίζει σε κάθε σημείο της διαδρομής.

5) Αισθητήρας θέσης μηχανισμού θερισμού της μηχανής συγκομιδής.

Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ότι ο μηχανισμός θερισμού είναι ανυψωμένος, δεν πραγματοποιείται καταγραφή των δεδομένων. Όμως, όταν ο μηχανισμός θερισμού είναι στο έδαφος, πραγματοποιείται η καταγραφή των δεδομένων και υπολογίζεται η συγκομισμένη έκταση.

6) Δέκτης GPS με κεραία.

Σκοπός είναι να εντοπίζεται η θέση της μηχανής συγκομιδής.

7) Κεντρική μονάδα με οθόνη.

Είναι πολύ σημαντική για το σύστημα, διότι συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα από τους παραπάνω αισθητήρες και παράλληλα τα εμφανίζει στην οθόνη. Η θέση της είναι στην καμπίνα της μηχανής συγκομιδής, όπου ο χειριστής παρατηρεί την πορεία της εργασίας, αλλά και να εισάγει πληροφορίες σχετικές με την ονομασία του αγρού, το πλάτος κοπής αλλά και τον αριθμό του φορτίου. Ακόμη, στην οθόνη εμφανίζονται πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με την στιγμιαία παραγωγή, την μέση απόδοση, την έκταση που συγκομίστηκε, την υγρασία του σπόρου, την ταχύτητα της μηχανής και το σήμα από το GPS.

Η ακρίβεια, εξαρτάται από παράγοντες όπως: την κατάλληλη εγκατάσταση των συστημάτων, την βαθμονόμηση και την καλή λειτουργία τους. Ανάλογα με τις πληροφορίες που λαμβάνει ο παραγωγός για την καλλιέργεια του, μπορεί να προχωρήσει σε καλύτερες αποφάσεις διαχείρισης του αγρού (Grisso κ.α. 2005).

2.12 Ζώνες διαχείρισης

Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της Γεωργία Ακριβείας είναι η συλλογή των δεδομένων από τον αγρό. Δεδομένα όπως: η παραγωγή, η τοπογραφία, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, αεροφωτογραφίες του εδάφους και δείκτες βλάστησης, μπορούν να αναλυθούν ώστε να δημιουργηθούν θεματικοί χάρτες. Έπειτα, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης, χρησιμοποιώντας μέρος των ιδιοτήτων που συλλέχτηκαν ή από κοινού επεξεργασία όλων για ένα θεματικό πεδίο. Οι ζώνες διαχείρισης έχουν σκοπό, να εντοπίζουν και να διαχωρίζουν την παραλλακτικότητα του αγρού, με σκοπό να γίνεται διαφορετική διαχείριση των καλλιεργητικών εισροών (σπορά, άρδευση, λίπανση, ψεκασμούς κ.α.) και με διαφοροποιημένη δόση (Aggelorouλου κ.α. 2012).

Οι Lark και Stafford (1997), χρησιμοποίησαν υψομετρικά δεδομένα για να οριοθετήσουν ζώνες διαχείρισης. Επίσης, τα δεδομένα απόδοσης, χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές μελέτες για την οριοθέτηση των ζωνών διαχείρισης (Blackmore κ.α. 2003; Diker κ.α. 2004; Ping και Dobermann 2003).

Οι Long κ.α. (1994), συγκρίνοντας διαφορετικά δεδομένα όπως εδαφολογικούς χάρτες και αεροφωτογραφίες, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση των αεροφωτογραφιών για την ανάπτυξη της καλλιέργειας, ήταν η καλύτερη μέθοδος για την δημιουργία ζωνών διαχείρισης και πρόβλεψη της απόδοσης. Οι Fleming κ.α. (2000),

δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης με τη χρήση αεροφωτογραφιών, λαμβάνοντας υπόψη το γυμνό έδαφος, το χρώμα του εδάφους και την εμπειρία του αγρότη σε περιοχές όπου μεταβάλλονταν το έδαφος. Οι Zaman και Schuman (2006), βασισμένοι στην ποικιλία, τις ιδιότητες του εδάφους και της απόδοσης των δέντρων, δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης σε καλλιέργεια εσπεριδοειδών. Οι Vrindts κ.α. (2005), συνδυάζοντας την συμπίεση του εδάφους με την απόδοση της εκάστοτε καλλιέργειας, δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης.

Πολλοί ερευνητές χρησιμοποίησαν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (ECa) (Kitchen κ.α. 1999, 2003; Johnson κ.α. 2003; Perry κ.α. 2007; Morari κ.α. 2009) για την δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Ενώ οι Fraisse κ.α. (2001b), χρησιμοποίησαν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Eca), σε συνδυασμό με τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής με σκοπό να οριοθετήσουν ζώνες διαχείρισης.

Οι Lopez-Granados κ.α. (2004), δημιούργησαν χάρτες λίπανσης λαμβάνοντας υπόψη τα θρεπτικά στοιχεία, που βρίσκονταν στα φύλλα των δέντρων της ελιάς. Οι Fountas κ.α. (2010), οριοθέτησαν ζώνες διαχείρισης για την λίπανση των καλλιεργειών χρησιμοποιώντας χημικές ιδιότητες που προέκυψαν από αναλύσεις του εδάφους. Οι Aggeloroulou κ.α. (2010), δημιούργησαν χάρτες λίπανσης για οπωρώνες μηλιάς, βασισμένοι στην ποσότητα των ιχνοστοιχείων που μετακινήθηκαν από το έδαφος, με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς.

Οι Mann κ.α. (2010), δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης συνδυάζοντας την παραγωγή των φρούτων, υπερέχους για την μέτρηση της κόμης των δέντρων, τον δείκτη NDVI και την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Οι Tagarakis κ.α. (2012), προχώρησαν σημαντικά ώστε να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης σε έναν αμπελώνα, με την χρήση του δείκτη NDVI, την παραγωγή, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και τις εδαφικές ιδιότητες.

Σκοπός της διαφοροποιημένης διαχείρισης των ζωνών του αγρού είναι, να βελτιωθεί το οικονομικό αποτέλεσμα της γεωργικής εκμετάλλευσης του παραγωγού, αντιμετωπίζοντας τους περιοριστικούς παράγοντες του αγρού σε όλη την έκταση και ένταση του.

2.13 Εφαρμογή μεταβλητών δόσεων (Variable Rate Application)

Οι αγρότες συνήθιζαν να εφαρμόζουν μεγάλες ποσότητες εισροών στα χωράφια τους, με σκοπό να μεγιστοποιήσουν την παραγωγή τους. Όμως, οι σημερινές τιμές των εισροών έχουν αυξηθεί σημαντικά και οι αγρότες επιθυμούν να κρατήσουν το κόστος παραγωγής χαμηλό, χωρίς να επηρεαστεί η απόδοση του τελικού τους προϊόντος. Κύριο μέλημα τους είναι η μέγιστη παραγωγή και φυσικά το οικονομικό κέρδος στο τέλος της χρονιάς. Οπότε, γεωργικές εισροές όπως χημικά, λιπάσματα κ.α. πρέπει εφαρμόζονται πιο ορθά, δηλαδή να

εφαρμόζονται βάση των αναγκών και ελλείψεων της κάθε ζώνης του χωραφίου. Η τεχνική ονομάζεται εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις.

Η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση χαρτών. Για την δημιουργία χαρτών, πρέπει να προηγηθούν μια ή περισσότερες μετρήσεις στον αγρό όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Έπειτα, λαμβάνονται πληροφορίες από έναν χάρτη, δημιουργούνται οι ζώνες διαχείρισης και υπολογίζεται η ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί. Το λειτουργικό αποθήκευσης, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων από την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων (<http://5>). Παρακάτω επρόκειτο να γίνει ανάλυση ενός συστήματος λίπανσης με εφαρμογή μεταβλητών δόσεων.

Το κεντρικό εξάρτημα που εφαρμόζει τις μεταβλητές δόσεις είναι ο υπολογιστής (controller), ο οποίος βρίσκεται στην καμπίνα του ελκυστήρα και εκτελεί διαδικασίες όπως (<http://5>):

- Εμφανίζει τον χάρτη λίπανσης στην οθόνη
- Σε ακριβή χρόνο να εμφανίζει την θέση του λιπασματοδιανομέα, όπως φαίνεται στον χάρτη από το GPS
- Ο ελεγκτής υπολογίζει και αλλάζει την ποσότητα λίπανσης, ανάλογα με τις ανάγκες του αγρού
- Αλλάζει τις δόσεις λιπάσματος, σε σχέση με το σήμα που λαμβάνει από τον χάρτη
- Εμφανίζει την ταχύτητα του οχήματος
- Καταγράφει εκ νέου τον χάρτη λίπανσης.

Υπάρχει μια κατηγορία η οποία λειτουργεί με την χρήση των αισθητήρων. Το σύστημα χρησιμοποιεί δεδομένα, τα οποία λαμβάνει από διάφορους αισθητήρες κατά την κίνηση του ελκυστήρα ή σε κάποιο παρελκόμενο. Τα συστήματα ονομάζονται εν κινήσει (on the go), δηλαδή λειτουργούν κατά την κίνηση τους στον αγρό. Το σύστημα λειτουργεί αυτόματα και το μηχάνημα εφαρμογής εναποθέτει την κατάλληλη ποσότητα, στην κατάλληλη τοποθεσία εφαρμογής. Δεν χρησιμοποιείται GPS γιατί συνήθως δεν γίνεται αποθήκευση των δεδομένων, εάν όμως απαιτείται είναι εφικτό.

Το GreenSeeker είναι ένα μηχάνημα, το οποίο έχει την ικανότητα να υπολογίζει τις ανάγκες του φυτού για άζωτο κατά την κίνηση στον αγρό και παράλληλα να εφαρμόζει την επιθυμητή ποσότητα στο φυτό.

Η λειτουργία του γίνεται ως εξής:

- Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί το LED για να σαρώσει την καλλιέργεια
- Εκτιμά την ευρωστία των φυτών με την χρήση του NDVI της καλλιέργειας
- Προβλέπει την δυναμικότητα της καλλιέργειας

- Υπολογίζει την επιθυμητή δόση ανά σημείο στον αγρό
- Εναποθέτει το άζωτο σε διαφοροποιημένες δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες τις κάθε ζώνης.

Το σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί για να διευθετήσει ζώνες διαχείρισης και την κατάσταση αζώτου στο καλαμπόκι και στο σιτάρι (Hong κ.α. 2007; Guo κ.α. 2008; Tremblay κ.α. 2009; Li κ.α. 2010; Shaver κ.α. 2010).

Παρόμοια λειτουργεί και το Weedseeker το οποίο είναι ένα σύστημα που λειτουργεί εν κινήσει (on the go). Έχει την ικανότητα να ψεκάζει επιλεκτικά τα ζιζάνια της καλλιέργειας, χωρίς να πραγματοποιεί άσκοπους ψεκασμούς στον αγρό. Οπότε, είναι αντιληπτό ότι μειώνεται η εφαρμογή ζιζανιοκτόνου εκεί που τα ζιζάνια δεν είναι παρόντα, ή μειώνει την ποσότητα εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου, εκεί όπου υπάρχει μικρότερος αριθμός. Η ειδική διαχείριση των ζιζανίων με βάση την τεχνολογία της εφαρμογής μεταβλητών δόσεων, είναι μια από τις πιο γνωστές τεχνολογίες στην γεωργία ακριβείας.

Η λειτουργία του γίνεται ως εξής:

- Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί το LED για να σαρώσει το έδαφος
- Ο ανιχνευτής είναι ικανός να ανιχνεύσει το ανακλώμενο φως
- Ψεκασμός γίνεται επιλεκτικά μόνο στα ζιζάνια και όχι στο έδαφος
- Λογισμικό για τον υπολογισμό της εφαρμογής του ζιζανιοκτόνου
- Χάρτης της περιοχής
- GPS το οποίο καταγράφει την τοποθεσία στον αγρό
- Οπτικούς αισθητήρες
- Ακροφύσια και βαλβίδες για την εφαρμογή του ζιζανιοκτόνου
- Με την παρουσία ζιζανίου, ενεργοποιείται ηλεκτρονικά η βαλβίδα και γίνεται ψεκασμός με ζιζανιοκτόνο, στο σημείο που βρίσκεται.

Οι Tian κ.α. (1999), ανέπτυξαν και δοκίμασαν σε πραγματικό χρόνο ένα σύστημα με αυτόματο ψεκαστήρα ζιζανιοκτόνου. Προέκυψε ότι το σύστημα ήταν ικανό να κάνει χρήση 48% λιγότερης ποσότητας ζιζανιοκτόνου, σε σύγκριση με το συμβατικό ψεκασμό.

Οι Celen κ.α. (2007), σε αγρό με ηλίανθο ανέπτυξαν ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου ζιζανίων, χρησιμοποιώντας έναν οπτικό αισθητήρα, για τον επιλεκτικό ψεκασμό των ζιζανίων. Το σύστημα γινότανε ενεργό όταν εντόπιζε τα ζιζάνια, με την διακοπή ενός συνεχούς σήματος που περνούσε μεταξύ του αισθητήρα και του ανακλαστήρα, έδινε την εντολή για να γίνει ο ψεκασμός. Η δοκιμή έδειξε ότι, το νέο σύστημα κατανάλωνε ένα ελάχιστο 0,9 και ένα μέγιστο 1,3 λίτρα ζιζανιοκτόνου, σε σύγκριση με τα 11 έως 13 λίτρα, για τον συμβατικό ψεκασμό σε ίδια έκταση καλλιέργειας.

Τα συστήματα είναι ικανά να μειώσουν την ποσότητα των ζιζανιοκτόνων στο χωράφι, με σημαντικό πλεονέκτημα στο περιβάλλον αλλά και οικονομικό όφελος προς τον παραγωγό. Όμως, το κόστος τους είναι μεγάλο και δεν συνίστανται για αγρούς μικρής εκτάσεως, μικρότερης των 300 στρεμμάτων (Shirzadifar κ.α. 2013).

Με την μέθοδο της διαφοροποιημένης δόσης εφαρμόζεται η κατάλληλη δόση, για να τις ανάγκες της καλλιέργειας και να βελτιώσει την παραγωγή ποσοτικά και ποιοτικά. Επίσης, παρουσιάζει πλεονεκτήματα στο περιβάλλον, το οποίο δεν επιβαρύνει με άσκοπες και μεγάλες ποσότητες εισροών. Οπότε, μειώνεται η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα, των ποταμών, των λιμνών και της θάλασσας με την ορθή χρήση των φυτοπροστατευτικών προϊόντων (Παπαοικονόμου 2003).

2.14 Αζωτούχος (N) λίπανση στο σιτάρι

Η βέλτιστη απόδοση μιας καλλιέργειας, επιτυγχάνεται με το σωστό συνδυασμό καλλιεργητικών πρακτικών και εισροών, σε συνδυασμό με τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες. Μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους είναι η σωστή στρατηγική λίπανσης, η οποία αποτελεί και πρόκληση για τον παραγωγό, δεδομένης της πολυπλοκότητας της. Πριν την εφαρμογή λίπανσης πρέπει να πραγματοποιείται μια εδαφολογική ανάλυση σε ένα πιστοποιημένο εργαστήριο, ώστε να υπολογίζεται το εδαφικό N και η σύσταση του εδάφους. Επίσης, σημαντικό είναι να λαμβάνονται υπόψη οι απαραίτητες μονάδες N που χρειάζεται η καλλιέργεια. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση περίσσειας ποσότητας N στο έδαφος, η οποία δεν θα απορροφηθεί από το φυτό. Η απαραίτητη ποσότητα N, πρέπει να εφαρμόζεται στο στάδιο όπου το φυτό παρουσιάζει αυξημένες ανάγκες, για την σωστή ανάπτυξη της καλλιέργειας (Raun κ.α. 2008). Το N είναι σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη και παραγωγή των σιτηρών και άλλων καλλιεργειών (Zhu κ.α. 2008; Ju κ.α. 2009; Girma κ.α. 2010). Η λίπανση με N αυξάνει την παραγωγή της καλλιέργειας σιτηρών (Liu κ.α. 2006), κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και από τον Wild (1992) και Gonzalez-Fernandez (2004).

Στην Ελλάδα, για την εφαρμογή της βέλτιστης λίπανσης, θα πρέπει να εκτιμούνται τα αγρονομικά χαρακτηριστικά των καλλιεργούμενων ποικιλιών του σίτου. Διότι, η λίπανση αλληλεπιδρά με το γενότυπο της ποικιλίας και με το περιβάλλον. Σαν αποτέλεσμα οδηγεί στη διαφοροποίηση της απόδοσης, αλλά και της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων. Η σύσταση του εδάφους είναι επίσης σημαντική. Για παράδειγμα, στα αμμώδη εδάφη συνιστώνται μικρότερες ποσότητες N αλλά περισσότερες εφαρμογές, κυρίως λόγω έκπλυσης.

Ακόμα, σημαντικές είναι και οι αποδόσεις της περιοχής, διότι σε περιοχές με αυξημένες αποδόσεις, επάρκεια λίπανσης με N θα ευνοήσει την καλλιέργεια, ενώ σε περιοχές

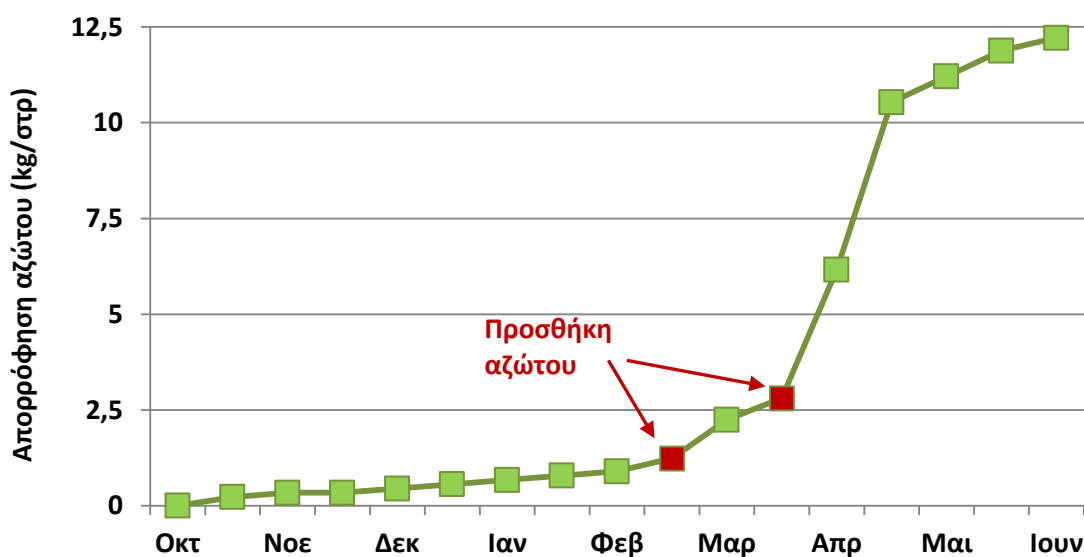
με μειωμένες παραγωγές η ποσότητα λίπανσης θα πρέπει να είναι μειωμένη (Lopez-Bellido κ.α. 2005; Clawson κ.α. 2006; Pettigrew και Adamczyk, 2006). Υπερβολική λίπανση, μπορεί να παράγει φυτά σιταριού ευαίσθητα στο πλάγιασμα, διότι θα δημιουργήσει στάχεις με αυξημένο βάρος, σε σχέση με το επιθυμητό. Το στέλεχος λόγω βάρους του στάχους, δεν θα μείνει σταθερό σε νοτιοδυτικούς ανέμους την περίοδο του Μαΐου-Ιουνίου. Είναι δυνατό να πλαγιάσει και να αυξήσει τις απώλειες κατά την συγκομιδή. Επίσης, περιττές εφαρμογές και μεγάλες ποσότητες N είναι άσκοπες, διότι δεν επρόκειτο να απορροφηθούν από το φυτό, αλλά θα μειώσουν το κέρδος του παραγωγού και θα δημιουργήσουν περιβαλλοντικά προβλήματα (Yu κ.α. 2007; Miao κ.α. 2007; 2011 Diacono κ.α. 2013), όπως αέρια (N₂O) του θερμοκηπίου, ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα και των επιφανειακών νερών με νιτρικά, είναι τα κύρια προβλήματα που δημιουργούνται (Dambreville κ.α. 2008). Επίσης, περιττές λιπάνσεις αυξάνουν τον χρόνο εργασίας, την κατανάλωση καυσίμων και με την κίνηση του ελκυστήρα στο χωράφι, συμπιέζεται το έδαφος (Oksanen 2013). Αντίθετα, μειωμένη λίπανση N θα οδηγήσει σε χαμηλές αποδόσεις σίτου, λόγω δημιουργίας φυτών με μειωμένο μέγεθος σπόρου. Επίσης, θα λειτουργήσει αρνητικά στην ποιότητα του σίτου, μειώνοντας την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης στον καρπό. Οπότε, είναι σημαντικό να γίνει υπολογισμός της απαραίτητης εφαρμογής λίπανσης.

Η N λίπανση στο σιτάρι επηρεάζει αριθμητικά τα φυτά που παράγονται ανά τετραγωνικό, τους σπόρους αλλά και το μέγεθος τους. Σύμφωνα με τους Alley κ.α. (2009) του Πανεπιστημίου της Βιρτζίνια, μια υγιής καλλιέργεια θα πρέπει να περιέχει 60-70 στάχεις ανά τετραγωνικό και τουλάχιστον 30 σπόρια ανά στάχυ.



Εικόνα 9. Επαρκής ποσότητα αζώτου (N) στο έδαφος, βοηθά την καλή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος.

Οι ανάγκες λίπανσης του σίτου την εποχή της σποράς είναι μειωμένες. Πιθανές βροχοπτώσεις που επικρατούν από Οκτώβρη μέχρι Δεκέμβρη, μπορεί να οδηγήσουν σε έκπλυση της μεγαλύτερη ποσότητας του Ν. Όμως, εφαρμογή βασικής λίπανσης 1.5 έως 3 κιλά το στρέμμα στην σπορά θα βελτιώσει το φύτευμα, την σωστή ανάπτυξη των βλαστικών οργάνων κατά την πορεία της καλλιέργειας, για δυναμικό ριζικό σύστημα όπως βλέπουμε στην Εικόνα 9, με πολλούς στάχεις ανά φυτό και μειωμένες απώλειες τον χειμώνα (Alley κ.α. 2009). Σύμφωνα με το πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα, η εφαρμογή περίπου 3.4 κιλών Ν ανά στρέμμα βοηθά θετικά το φύτευμα του σιταριού, ώστε να αποφευχθεί το στρες στα φυτά (Arnall κ.α. 2008). Βέβαια οι Dawson κ.α. (2008), ανέφεραν ότι η βασική λίπανση δεν αυξάνει το ποσοστό της πρωτεΐνης στον καρπό.

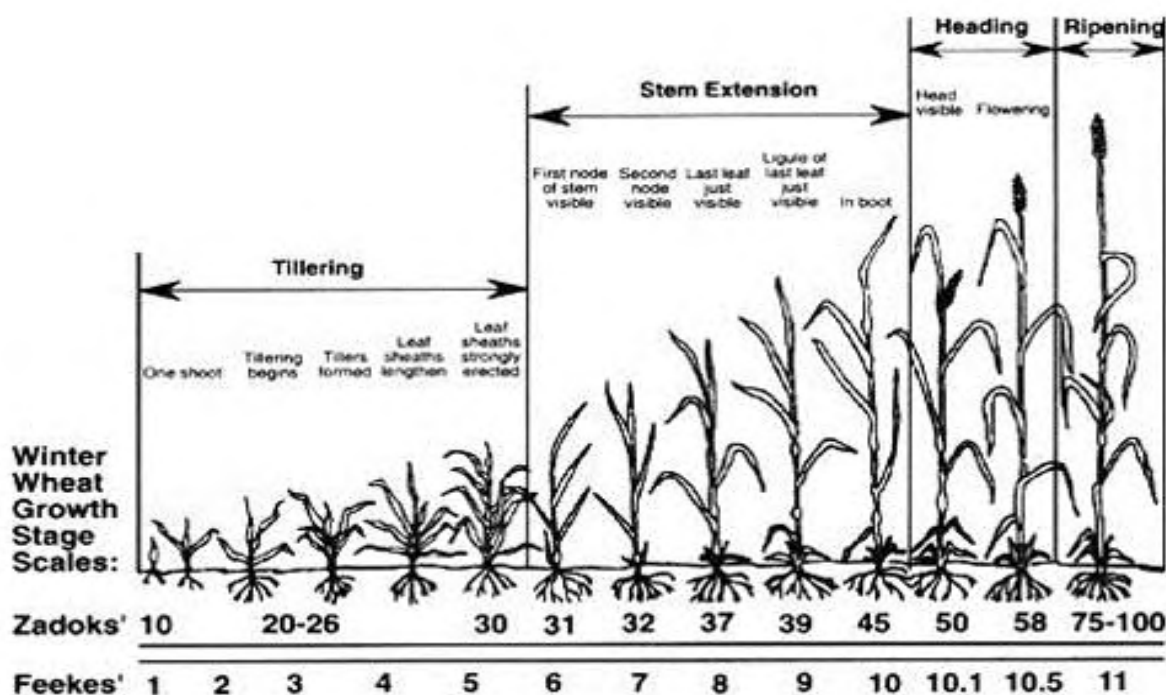


Σχήμα 1. Απορρόφηση αζώτου στην ανάπτυξη καλλιέργειας σίτου.

Στην περίοδο Ιανουαρίου - Φεβρουαρίου η καλλιέργεια του χρησιμοποιεί ελάχιστο Ν για τις ανάγκες της, ενώ η μεγαλύτερη ποσότητα εκπλένεται ή χάνεται λόγω επιφανειακών απορροών. Επίσης, οι χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο έδαφος, δυσκολεύουν την απορρόφηση του Ν από την ρίζα. Όμως, μια ποσότητα το μέγιστο στα 3.5 κιλά Ν το στρέμμα, προάγει το αδέλωμα και την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος (Alley κ.α. 2009).

Η διακοπή του ληθάργου γίνεται τέλη Φεβρουαρίου με αρχές Μαρτίου, που αυξάνεται σταδιακά το μέγεθος των βλαστών και παράλληλα αυξάνεται η ανάγκη των φυτών για πρόσληψη Ν. Η ίδια περίοδος, χαρακτηρίζεται από αυξημένο αδέλωμα και μειωμένη επιμήκυνση των φύλλων (στάδιο Zadoks 30, Σχήμα 3). Λόγω χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν στην ατμόσφαιρα αλλά και στο έδαφος, η ανάπτυξη της καλλιέργειας είναι αργή, αλλά θα πρέπει να υπάρχει επάρκεια Ν στο έδαφος για να προάγει το αδέλωμα. Η

πρόσληψη N όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, από τα μέσα Φεβρουαρίου έως τα μέσα Μαρτίου εμφανίζει αυξητική τάση. Οπότε, την συγκεκριμένη περίοδο εφαρμογή με 7 κιλά N ανά στρέμμα είναι επιθυμητή, εάν είναι προγραμματισμένη και μελλοντική εφαρμογή με μικρή ποσότητα. Υπερβολική λίπανση την συγκεκριμένη περίοδο, θα δημιουργήσει ψιλά και λεπτά φυτά, τα οποία να είναι επιρρεπή σε αρρώστιες όπως το ωίδιο (Alley κ.α. 2009).



Σχήμα 2. Στάδια ανάπτυξης φυτού σύμφωνα με τον Zadocks και Feekes.

Κατά την ανάπτυξη του φύλλου σημαία, σηματοδοτείται η αρχή επιμήκυνσης των στελεχών του σίτου, το οποίο είναι και το ταχύτερο στάδιο ανάπτυξης. Η πρόσληψη N από τα φυτά είναι αυξημένη, διότι επηρεάζει θετικά την ανάπτυξη του αριθμού των κόκκων ανά στάχυ και την ανάπτυξη του στελέχους (βλέπουμε Σχήμα 2, στάδιο Zadocs 30). Επιθυμητό χρώμα είναι το σκούρο πράσινο, το οποίο παρουσιάζει εύρωστα και υγιή φυτά, χωρίς έλλειψη N. Αντίθετα, εάν τα φυτά εμφανίζονται κιτρινωπά υπάρχει έλλειψη N. Ελλείψεις κατά το στάδιο ανάπτυξης του φύλλου σημαία θα προκαλέσουν ζημιά στο αδελφωμα, με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής κατά την συγκομιδή. Η μεγαλύτερη ανάγκη για πρόσληψη N ξεκινάει στις αρχές Απριλίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 στο στάδιο GS 30 μέχρι τα μέσα Μαΐου (Alley κ.α. 2009).

Το γέμισμα του κόκκου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1 γίνεται από αρχές Μαΐου μέχρι τον Ιούνιο, όπου οι ανάγκες είναι μικρότερες σε σχέση με το στάδιο επιμήκυνσης του στελέχους. Η ποσότητα N που χρειάζονται τα φυτά βρίσκεται στο έδαφος από προηγούμενες λιπάνσεις και είναι επαρκής, οπότε δεν χρειάζεται εκ νέου λίπανση. Έπειτα από έρευνες

παρατηρήθηκε ότι το N που βρίσκεται στου φυτικού ιστούς, μεταφέρεται προς τους κόκκους για το γέμισμα τους. Ακόμη, διαφυλλικά λιπάσματα με ποσότητα 1-2 kg ουρίας την άνοιξη, βελτιώνουν την ποιότητα του σίτου αυξάνοντας την πρωτεΐνη του κόκκου, χωρίς να επηρεάζουν την παραγωγή. Έπειτα από την διαφυλλική λίπανση, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η άρδευση (Alley κ.α. 2009).

Σύμφωνα με τους Svodova και Haberle (2006), έρευνες δείξαν ότι η αύξηση του N στο έδαφος δεν επηρέασε την αύξηση της ρίζας και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος. Όμως, υπερβολική λίπανση με συνολική ποσότητα 20 κιλών N ανά στρέμμα μπορεί να λειτουργήσει αρνητικά, μειώνοντας το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος στο υπέδαφος. Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Dawson κ.α. (2008), τυχόν προσθήκες N στην διάρκεια της άνθησης βελτιώνουν την πρωτεΐνη στον καρπό, χωρίς να μειώνεται το N που υπάρχει στο έδαφος από προηγούμενες λιπάνσεις. Σύμφωνα με τους Kristensen και Thorup-Kristensen (2007), υψηλή διαθεσιμότητα N στα κατώτερα στρώματα του εδάφους, οδήγησαν σε μεγαλύτερη αύξηση της ρίζας σε βάθος και με μεγαλύτερη ταχύτητα ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Παραπάνω από μια εφαρμογές λίπανσης, με μικρότερες ποσότητες N είναι προτιμότερες και ιδιαίτερα στα στάδια όπου η καλλιέργεια παρουσιάζει τις μεγαλύτερες ανάγκες. Μπορούν να αποφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα στην παραγωγή και στην ποιότητα του σίτου (Garrido-Lestache κ.α. 2004). Οι Garrido-Lestache κ.α. (2005), ανέφεραν ότι σε συμβατικές συνθήκες καλλιέργειας, ο διαχωρισμός και η διαφοροποίηση των λιπάνσεων με N κατά την διάρκεια της καλλιέργειας δεν επηρέασε την παραγωγή, αλλά ούτε και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως την γλουτένη, ή την συγκέντρωση πρωτεΐνης στα σιτηρά. Όμως, σε μια άλλη έρευνα των Garrido-Lestache κ.α. (2005), βρέθηκε ότι με σπαστές εφαρμογές (μισή ποσότητα ή το 1/3 της ποσότητας N εφαρμόστηκε στην επιμήκυνση των βλαστών), βελτιώθηκε το γέμισμα των σιτηρών και η αύξηση της πρωτεΐνης, σε σχέση με την εφαρμογή βασικής λίπανσης στην σπορά ή στο αδελφωμα των σιτηρών. Οι Haberle κ.α. (2006), ανέφεραν ότι υψηλές εφαρμογές λίπανσης με 20 kg N ανά στρέμμα, καθυστέρησαν και μείωσαν την απορρόφηση του N από το υπέδαφος. Σύμφωνα με τους Malhi κ.α. (2007), διαφορετικοί τύποι λιπασμάτων μπορούν να προσθέσουν στον αγρό μακροστοιχεία και μικροστοιχεία. Οι Agregui και Quemada (2008), ανέφεραν ότι σημαντικοί παράγοντες για επιτυχημένες και διαχωρισμένες εφαρμογές λιπάνσεων σχετίζονται με τον αριθμό, την εφαρμογή χρονικά στο επιθυμητό στάδιο της καλλιέργειας, τις ποσότητες της λίπανσης, τις καλές καιρικές συνθήκες και την ποσότητα του διαθέσιμου N στο έδαφος.

Σύμφωνα με τους Villar και Guillaumes (2010), η χρήση λιπασμάτων με αναστολείς νιτροποίησης λειτουργεί θετικά αποδεσμεύοντας το N σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, από

την στιγμή που θα γίνει η εφαρμογή τους στο έδαφος. Τα παραπάνω λιπάσματα συμβάλλουν στη μείωση των απωλειών N, την καλύτερη απορρόφηση και την αποφυγή πολλαπλών και επαναλαμβανόμενων λιπάνσεων.

2.15 Σκοπός της εργασίας

Στόχος του πειράματος ήταν η χρήση των μεθόδων της Γεωργίας Ακριβείας, σε αγροτεμάχιο σκληρού σίτου με σκοπό να βρεθούν μέθοδοι για την καλύτερη διαχείριση της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι η χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους και συγκεκριμένα της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) με τον αισθητήρα μέτρησης EM-38 (Geonics LTD, Ontario Canada). Η χαρτογράφηση του NDVI, δηλαδή της ευρωστίας των φυτών και πραγματοποιήθηκε με τον αισθητήρα Crop Circle (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA). Επίσης, η μέτρηση του όγκου βιομάζας των φυτών, με την χρήση του σαρωτή Laser Scanner (LMS 200 30106SIC AG, Germany).

Στόχος, είναι να αναλυθεί και να διαπιστωθεί η παραλλακτικότητα του αγρού. Παράλληλα έγινε σύγκριση του NDVI του μάρτυρα (με υψηλή N λίπανση) με το NDVI των τμημάτων του αγρού και να εκτιμηθεί αν μπορούμε να διαφοροποιήσουμε την αζωτούχο λίπανση. Με βάση τις μετρήσεις στόχος ήταν να παρατηρήσουμε τις διαφορές κατά την καλλιεργητική περίοδο των φυτών, ώστε να διαφοροποιήσουμε την λίπανση, με βάση τις ανάγκες των φυτών. Οι μετρήσεις που έγιναν θα επέτρεπαν να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης, με σκοπό την ορθολογική λίπανση που θα επέτρεπε την εξοικονόμηση λιπασμάτων, που θα βελτίωνε την οικονομικότητα της καλλιέργειας, πιθανόν τη παραγωγή με ταυτόχρονη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

3.Υλικά και Μέθοδοι

3.1 Περιγραφή Πειράματος

Η τοποθεσία του χωραφιού όπου διεξήχθησαν οι μετρήσεις, βρίσκεται στο Γραμματικό του Νομού Καρδίτσας.



Σχήμα 3. Τοποθεσία αγρού

Στο πειραματικό τεμάχιο των 10 στρεμμάτων εφαρμόστηκε η καλλιεργητική τεχνική του παραγωγού, όπου πραγματοποιήθηκαν δυο εφαρμογές λίπανσης. Επίσης, χωροθετήθηκε μάρτυρας 30 τ.μ. εκτός της έκτασης του αγροτεμαχίου, στον οποίο εφαρμόστηκε υψηλή λίπανση N ώστε να λάβει τις μέγιστες τιμές NDVI κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων.

Την προηγούμενη χρονιά στο χωράφι είχε καλλιεργηθεί βαμβάκι, οπότε η διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων που παρέμειναν στο χωράφι ήταν απαραίτητη. Η κατεργασία που έγινε στο χωράφι πριν την σπορά, ήταν βαθειά αναμόχλευση του εδάφους χωρίς αναστροφή με Ripper σε βάθος 15-20 cm. Ακολούθησε μια φορά κατεργασία με μέσο καλλιεργητή σε πλάτος εργασίας 3.20 m, με βάθος εργασίας 10-15 cm. Επίσης, μια φορά κατεργασία με ελαφρύ καλλιεργητή με πλάτος εργασίας τα 3.40 m και με βάθος εργασίας τα 5-10 cm. Στόχος μας είναι η δημιουργία κατάλληλης σποροκλίνης, ώστε να δεχθεί το σπόρο και να ευνοήσει την ανάπτυξη της ρίζας στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Σαν αποτέλεσμα επιτεύχθηκε η καταστροφή υπολειμμάτων του ριζικού συστήματος του βαμβακιού από το έδαφος, η καταστροφή των χειμερινών ζιζανίων στο χωράφι, ο τεμαχισμός και ο αερισμός

του εδάφους και η καλή προετοιμασία της σποροκλίνης, για ομοιόμορφο και γρήγορο φύτευμα των φυταρίων και ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Η σπορά στον αγρό πραγματοποιήθηκε στις 23-11-2013 με σπαρτική μηχανή τύπου BEKAM με 19 δίσκους. Η σπαρτική μηχανή έχει την δυνατότητα σποράς 19 σειρών σε βάθος σποράς 3-5 cm, με αποστάσεις μεταξύ των σειρών στα 15 cm και πλάτος σποράς 2.85 m. Επίσης, έχει την δυνατότητα να διανέμει και λίπασμα με την σπορά. Συγκεκριμένα βασική λίπανση πραγματοποιήθηκε μόνο στο χωράφι των 5 στρ, σύμφωνα με τις καλλιεργητικές τεχνικές που ακολουθεί ο παραγωγός. Αντίθετα, στο χωράφι των 10 στρ δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση, όπως και στον μάρτυρα.

Ο λιπασματοδιανομέας που χρησιμοποιήθηκε για τις επιφανειακές λιπάνσεις, είναι χωρητικότητας 800 lt, με άνοιγμα εργασίας τα 20-25 m, με μονή φτερωτή, με πλάτος 1.15 m, μήκος 1.80 m και ύψος 1.30 m. Οι ποσότητες και οι τύποι των λιπασμάτων περιγράφονται παρακάτω για κάθε αγρό ξεχωριστά.

Στον αγρό κατασκευάστηκε ξύλινο πλαίσιο διαστάσεων 1 μ X 1 μ και στις 10-1-2015 τοποθετήθηκε σε 5 τυχαία σημεία στον πειραματικό αγρό των 10 και σε άλλα 5 στον αγρό των 5 στρ. Πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση φυτών όταν φύτεψε το σιτάρι με σκοπό την εκτίμηση των πληθυσμών του σίτου. Η διαδικασία έγινε συνολικά 5 φορές και έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος, παρακάτω εμφανίζονται και τα αποτελέσματα.

3.1.1 Πειραματικό αγροτεμάχιο.

Στις 23-11-2013 πραγματοποιήθηκε σπορά 10 στρ με πιστοποιημένο σπόρο σκληρού σίτου ποικιλίας Simeto με 24 kg /στρ. Η ποικιλία παρουσιάζει καλά χαρακτηριστικά όσον αφορά την απόδοση στην συγκομιδή. Η ποσότητα υπολογίστηκε με βάση το ειδικό βάρος του σπόρου και την ικανότητα της ποικιλίας να αδελφώνει. Σκοπός ήταν να επιτευχθεί μια επάρκεια πληθυσμού 260.000 φυτών το στρέμμα, που θεωρείται επαρκής για τα δεδομένα της ποικιλίας. Στο συγκεκριμένο πειραματικό αγροτεμάχιο δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση. Προσθήκη P,K δεν πραγματοποιήθηκε, διότι προηγήθηκε εδαφολογική ανάλυση η οποία έδειξε επάρκεια των στοιχείων. Οι λιπάνσεις που πραγματοποιηθήκαν με τον λιπασματοδιανομέα είναι οι εξής:

- Στις 20-02-2014 πραγματοποιήθηκε η 1^η εφαρμογή επιφανειακής λίπανσης με λίπασμα τύπου 46-0-0 και ποσότητα 15 kg/στρ, δηλαδή 6,9 μονάδες N το στρέμμα.
- Στις 17-03-2014 πραγματοποιήθηκε η 2^η εφαρμογή επιφανειακής λίπανσης με λίπασμα τύπου 33.5-0-0 και ποσότητα 15 kg/στρ, δηλαδή 5 μονάδες N το στρέμμα.

Συνολικά έγινε προσθήκη **11.9** μονάδων N το στρέμμα.

3.1.2 Μάρτυρας

Τα 30 τ.μ. του μάρτυρα δεν περιλαμβάνονται στο πειραματικό αγροτεμάχιο των 10 στρεμμάτων. Πραγματοποιήθηκε σπορά 24 kg / στρ με πιστοποιημένο σπόρο Simeto. Με την σπορά δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση, αλλά πραγματοποιήθηκε επιφανειακή λίπανση με αυξημένη ποσότητα N. Η συγκεκριμένη λίπανση έγινε με σκοπό να υπάρχει επαρκής ποσότητα αζώτου στα φυτά του μάρτυρα, ώστε η μέτρηση του NDVI να λάβει τις μέγιστες τιμές. Η λίπανση που πραγματοποιήθηκε είναι η εξής:

- Στις 15-01-2014 πραγματοποιήθηκε επιφανειακή λίπανση με λίπασμα τύπου 33.5-0-0 και ποσότητα 2 kg/30 τμ, δηλαδή 22.11 μονάδες N το στρέμμα.

Συνολικά έγινε προσθήκη **22.11** μονάδες N το στρέμμα.

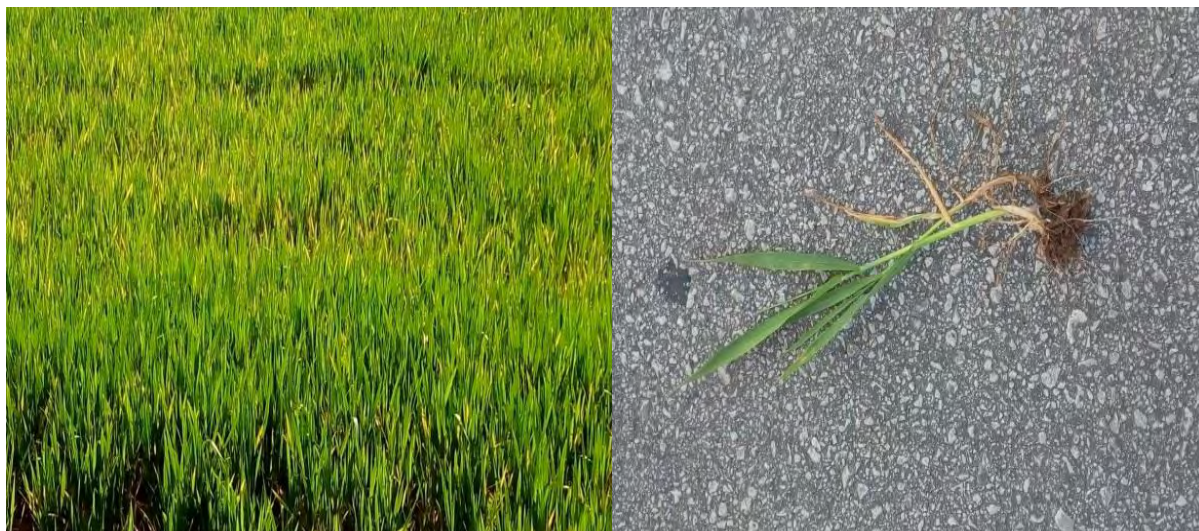
3.2 Φαινολογικά στάδια σκληρού σίτου ανά μέτρηση



Εικόνα 10. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 31-01-2014.

Στις 31-01-2014 πραγματοποιήθηκε η πρώτη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στον αγρό με το όργανο EM-38 και η μέτρηση του δείκτη NDVI με το όργανο Crop Circle ACS-210. Η καλλιέργεια εκείνη την περίοδο βρισκόταν στο αδελφωμα, με ύψος 15-20 εκατοστά. Αδελφωμα ορίζεται ως η έκπτυξη νέων βλαστών από οφθαλμούς οι οποίοι βρίσκονται στα γόνατα του στελέχους λίγο πιο κάτω ή ακριβώς πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.

Σύμφωνα με το Σχήμα 2 η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο 3 κατά Feekes και στάδιο 20-26 κατά Zadocks.



Εικόνα 11. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 22-03-2014.

Στις 22-03-2014 πραγματοποιήθηκε η δεύτερη μέτρηση του NDVI με το όργανο Crop Circle και η πρώτη μέτρηση του όγκου της βιομάζας με το όργανο Laser Scanner. Η καλλιέργεια εκείνη την περίοδο βρισκόταν στο στάδιο καλάμωμα, με ύψος 25-30 εκατοστά. Σύμφωνα με το Σχήμα 2 η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο 6 κατά Feekes και στάδιο 31 κατά Zadocks.



Εικόνα 12. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 04-04-2014.

Στις 04-04-2014 πραγματοποιήθηκε η τρίτη μέτρηση του NDVI με το όργανο Crop Circle και η δεύτερη μέτρηση του όγκου της βιομάζας με το όργανο Laser Scanner. Η

καλλιέργεια εκείνη την περίοδο βρισκόταν στο στάδιο του φύλλου σημαίας και το ύψος της ήταν περίπου 50-60 cm. Σύμφωνα με το Σχήμα 2 η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο 8 κατά Feekes και στάδιο 37 κατά Zadocks. Στο συγκεκριμένο στάδιο αναπτύσσεται το στέλεχος (καλάμι) επιμηκύνονται τα μεσογονάτια διαστήματα και συγχρόνως αυξάνονται τα φύλλα, οι ρίζες και η ταξιανθία στο εσωτερικό του στελέχους.



Εικόνα 13. Ανάπτυξη και πορεία της καλλιέργειας στις 10-05-2014.

Στις 10-05-2014 πραγματοποιήθηκε η τέταρτη μέτρηση μετρώντας το NDVI με το όργανο Crop Circle και η τρίτη μέτρηση του όγκου της βιομάζας με το όργανο Laser Scanner. Η καλλιέργεια εκείνη την περίοδο βρισκόταν στο στάδιο γάλακτος του κόκκου και το ύψος της ήταν 1 – 1.10 m. Σύμφωνα με το Σχήμα 2 η καλλιέργεια βρισκόταν στο στάδιο 10.5 κατά Feekes και στάδιο 58 κατά Zadocks.

3.3 Χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Για την χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, πραγματοποιήθηκε μέτρηση με τον αισθητήρα EM-38. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα, κατά μήκος του χωραφιού τοποθετώντας τον αισθητήρα στον ώμο, σε κατακόρυφη θέση και σε απόσταση λίγων εκατοστών από το έδαφος. Το όργανο λαμβάνει τις μετρήσεις καθώς κινείται μέσα στο χωράφι. Σε συνδυασμό με την σύνδεση GPS που προσδίδει, μέσω ασύρματης σύνδεσης Bluetooth μπορούμε να καταγράψουμε και να αποθηκεύσουμε τις μετρήσεις γεωδεμένες. Για την καταγραφή και αποθήκευση των

δεδομένων έγινε χρήση καταγραφικού (data logger) (Allegro CX, Jupiner Systems Inc.), το οποίο ρυθμίστηκε για να καταγράφει μία τιμή ανά δευτερόλεπτο.

Ο αισθητήρας EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada), λειτουργεί με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και χωρίς να εισέλθει στο έδαφος. Ο αισθητήρας στα άκρα του έχει δυο πηνία, τα οποία απέχουν μεταξύ τους περίπου 1 m. Λειτουργεί στην συχνότητα των 14.6 kHz και έχει ενσωματωμένη μπαταρία 9V. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων το πηνίο-πομπός, που βρίσκεται στο ένα άκρο του οργάνου παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, το οποίο διαπερνά το έδαφος. Έπειτα, το έδαφος παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα και δημιουργεί εκ νέου ηλεκτρικό ρεύμα με μικρότερη ένταση. Το παραγόμενο ρεύμα του εδάφους, δημιουργεί ένα μικρότερο μαγνητικό πεδίο. Στην συνέχεια τα δυο μαγνητικά πεδία, δηλαδή από το εναλλασσόμενο ρεύμα του οργάνου και του εδάφους λαμβάνονται από το πηνίο δέκτη του οργάνου (Geonics Limited, 2006). Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, είναι η αναλογία του πρωτεύοντος με το δευτερεύων μαγνητικό πεδίο.

Προτού πραγματοποιηθεί η μέτρηση στον αγρό στις 31-01-2014 έγινε βαθμονόμηση του αισθητήρα, ο οποίος βρισκότανε απομακρυσμένος από μεταλλικά αντικείμενα τα οποία επηρεάζουν την βαθμονόμηση. Για την συνέχεια των επόμενων μετρήσεων στα ίδια σημεία τοποθετήθηκαν πάσσαλοι κατά μήκος του χωραφιού, ώστε να υπάρχει αρχή και τέλος στις μετρήσεις επί των γραμμών. Ο αισθητήρας κατά την μέτρηση στον αγρό, βρισκότανε σε κάθετη θέση και έχει την δυνατότητα μέτρησης για βάθος από 0 έως 1.5 m Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα και κάθε γραμμή μέτρησης απείχε 6 μέτρα από την επόμενη. Στον αγρό των 10 στρεμμάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 4 γραμμές.. Μέτρηση πραγματοποιήθηκε και στον μάρτυρα των 30 τ.μ. σημειακά, όπου έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Με το EM-38 πραγματοποιήθηκε μια μόνο μέτρηση και έπειτα έγινε η μεταφορά και η επεξεργασία των δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Στόχος ήταν να αποτυπώσουμε τα δεδομένα σε χάρτη, για να παρατηρήσουμε την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του χωραφιού.

3.4 Χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών

Η μέτρηση του NDVI πραγματοποιήθηκε με το όργανο Crop Circle ACS-210, στην ίδια διαδρομή όπου προηγήθηκε και μέτρηση με το EM-38. Η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με σκοπό την χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών. Ο αισθητήρας λειτουργεί εκπέμποντας μια δέσμη φωτός συγκεκριμένου μήκους κύματος και μετρά την ανάκλαση από το φύλλωμα των φυτών, χρησιμοποιώντας αισθητήρες στο ερυθρό και το εγγύς υπέρυθρο

μήκος. Η δέσμη φωτός που εκπέμπεται αντανακλάται από τα φύλλα. Έπειτα δυο αισθητήρες ανιχνεύουν την ακτινοβολία που αντανακλάται σε δυο μήκη κύματος, το ορατό και το υπεριώδες. Η ακτινοβολία του ορατού απορροφάται από την πάνω επιφάνεια της χλωροφύλλης του δρυφακτοειδούς παρεγχύματος. Ενώ η υπέρυθη ακτινοβολία αντανακλάται από την σπογγώδης δομή του μεσόφυλλου.

Ο δείκτης NDVI υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$$

Το NIR (Near InfraRed) ορίζεται ως η αντανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο και το VIS (Visible) είναι η αντανάκλαση στο ερυθρό (ορατό) φάσμα.

Στην καλλιέργεια του σίτου πραγματοποιηθήκανε συνολικά 4 μετρήσεις για το NDVI της καλλιέργειας. Στις 31-01-2014, 22-03-2014, 04-04-2014 και 10-05-2014. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε χειροκίνητα, κρεμώντας τον αισθητήρα στον ώμο. Ενώ οι επόμενες 3 μετρήσεις, πραγματοποιηθήκανε τοποθετώντας τον αισθητήρα σε μια βάση στο πίσω μέρος του ελκυστήρα και σε απόσταση περίπου 70-80 cm από το ύψος της καλλιέργειας του σίτου. Έχοντας τον αισθητήρα στο πίσω μέρος του ελκυστήρα και πραγματοποιώντας τις μετρήσεις κατά μήκος του χωραφιού, καταστράφηκε μέρος των φυτών από το πέρασμα των τροχών του ελκυστήρα. Οπότε, επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα ανάμεσα από τους τροχούς του ελκυστήρα για πλάτος 1 μέτρο και το μήκος του χωραφιού είναι 200 μέτρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χειροκίνητα και κάθε γραμμή μέτρησης απείχε 6 μέτρα από την επόμενη. Στον αγρό των 10 στρεμμάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 4 γραμμές κατά μήκος του χωραφιού. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν και στον μάρτυρα των 30 τ.μ. σημειακά, όπου έπειτα υπολογίστηκε ο μέσος όρος.

Τα δεδομένα του NDVI αποθηκευτήκανε σε κάρτα μνήμης στο καταγραφικό (data logger, Geoscout GLS- 400, Holland Scientific Inc., Lincoln, NE. Ο ελκυστήρας είχε σταθερή ταχύτητα περίπου 4-5 km/h και λάμβανε μια μέτρηση ανά δευτερόλεπτο. Η συγκεκριμένη ταχύτητα χρησιμοποιήθηκε για να μειωθεί το σφάλμα από την μέτρηση του αισθητήρα, λόγω αναπηδήσεων του γεωργικού ελκυστήρα που οφείλονται στις ανωμαλίες του εδάφους.



Εικόνα 14. Πραγματοποίηση μετρήσεων εντός της πορείας που σχηματίσανε οι τροχοί.

3.5 Χαρτογράφηση όγκου βιομάζας

Για την χαρτογράφηση του όγκου της βιομάζας των φυτών, χρησιμοποιήθηκε ο σαρωτής λέιζερ σκάνερ (laser scanner LMS 200 30106, SIC AG, Germany). Ο αισθητήρας λειτουργεί βασισμένος στην αρχή του χρόνου-πτώσης, εκπέμπει ένα παλμικό λέιζερ που αντανακλάται μόλις προσκρούσει σε ένα αντικείμενο. Ο χρόνος που χρειάζεται για την επιστροφή της δέσμης λέιζερ, εξαρτάται από την απόσταση που ορίζεται ο αισθητήρας από τον στόχο.

Προτού μέτρηση στην φυτεία, έγινε μέτρηση αναφοράς σε αγροτικό δρόμο. Η μέτρηση αυτή γινότανε για να εκτιμηθεί το ύψος των φυτών, καθώς ο αισθητήρας μετράει την απόσταση μεταξύ του αντικειμένου και της θέσης του. Ο σαρωτής λέιζερ ρυθμίστηκε να λαμβάνει δυο μετρήσεις το δευτερόλεπτο. Ο αισθητήρας τοποθετήθηκε στο πίσω μέρος του γεωργικού ελκυστήρα, στοχεύοντας την καλλιέργεια σίτου σε απόσταση 70-80 εκατοστά από το ύψος της καλλιέργειας. Η ταχύτητα του ελκυστήρα ήταν στα 4-5 km/h. Τα δεδομένα των μετρήσεων από την σάρωση γεωδέθηκαν με την χρήση ενός GPS (eTrex Legend H, Garmin Ltd). Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε ανάμεσα από τους τροχούς του ελκυστήρα, για πλάτος 1 μέτρο και μήκος 190 μέτρα. Για την καταγραφή των δεδομένων και μετέπειτα επεξεργασία τους, έγινε χρήση μικρού φορητού υπολογιστή (netbook), όπου ήταν εγκατεστημένο το λογισμικό της συσκευής. Το λέιζερ συνδέθηκε με καλώδιο στην θύρα USB του υπολογιστή, χρησιμοποιώντας μετατροπέα RS232. Ο σαρωτής λειτουργεί με ρεύμα συνεχόμενης τάσης 24V και ως πηγή ρεύματος για τον αισθητήρα χρησιμοποιήθηκε η θύρα του αναπτήρα. Η τάση εξόδου ήταν 12V και για αυτό παρεμβλήθηκε μετασχηματιστής για την μετατροπή του ρεύματος από 12 σε 24V.

3.6 Συγκομιδή καλλιέργειας



Εικόνα 15. Θεριζοαλωνιστική μηχανή που χρησιμοποιήθηκε.

Για τη συγκομιδή του σκληρού σίτου από τον αγρό χρησιμοποιήθηκε η θεριζοαλωνιστική μηχανή New Holland (CX8080). Έπειτα από την συγκομιδή τα υπολείμματα από τα στελέχη του σκληρού σίτου που κόπηκαν παρέμεινε στον αγρό. Με το φθινοπωρινό όργανο που θα πραγματοποιηθεί τα υπολείμματα επρόκειτο να ενσωματωθούν στο έδαφος, για την αύξηση της οργανικής ουσίας του εδάφους.

3.7 Επεξεργασία δεδομένων

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων αφαιρέσαμε τις πρώτες και τις τελευταίες τιμές, διότι τα φυτά στην αρχή και στο τέλος του χωραφιού ήταν πιο αδύναμα, όπως και τις μετρήσεις από τις στροφές στο χωράφι. Κάθε γραμμή μέτρησης έχει πλάτος 1 μέτρο και μήκος 190 μέτρα, δηλαδή όσο είναι το εύρος ανάμεσα στους τροχούς του ελκυστήρα το μήκος του χωραφιού. Κάθε γραμμή χωρίστηκε σε 19 ισομήκεις κυψέλες, μήκους 10 μέτρων και εμβαδού 10 τετραγωνικών μέτρων. Όλες οι μετρήσεις του δείκτη NDVI κάθε κυψέλης χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογίσουμε το μέσο όρο της τιμής της κυψέλης. Ενώ για τη μέτρηση του όγκου της βιομάζας, χρησιμοποιήθηκαν το σύνολο των τιμών του αισθητήρα λέιζερ και η τελική τιμή του ανάγεται σε κυβικά μέτρα στο σύνολο των 10 τετραγωνικών μέτρων.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε έλεγχος των δεδομένων για τυχόν σφάλματα, δηλαδή τιμές που απέχουν πολύ από τις άλλες, χωρίς όμως να εμφανίζεται κάποια διαφοροποίηση τιμών. Για την δημιουργία των διαγραμμάτων και των μέσων όρων των τιμών, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel. Έπειτα τα δεδομένα αναλύθηκαν και δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες, με τους οποίους μπορούμε να διακρίνουμε την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα, την ευρωστία και τον όγκο βιομάζας των φυτών. Για τη δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Surfer 11 (Golden Software LLC, Golden, USA) με τη χρήση 3 κλάσεων για την κατηγοριοποίηση των δεδομένων.

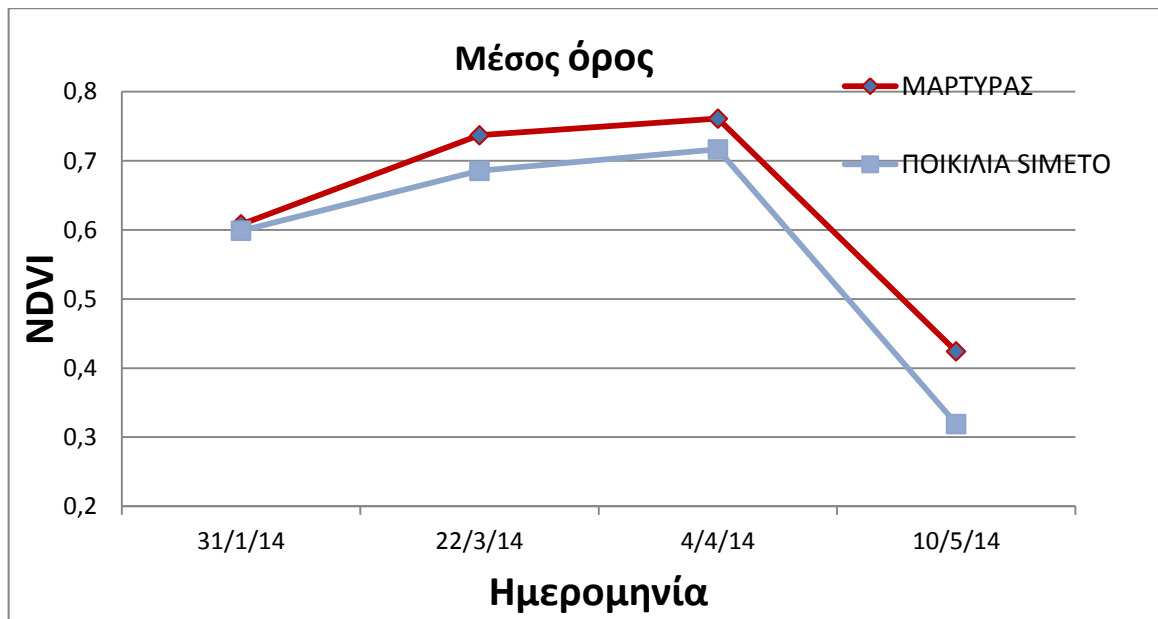
4. Αποτελέσματα

4.1 Αποτελέσματα πληθυσμού φυτών στις καλλιέργειες

Έπειτα από την καταμέτρηση φυτών που πραγματοποιήθηκε 5 φορές στις 10-1-2014, ο πληθυσμός των φυτών σκληρού σίτου στο πειραματικό αγρό των 10 στρεμμάτων και στον μάρτυρα, υπολογίστηκε στα 580 φυτά ανά τ.μ.. Δηλαδή υπολογίζονται στα 580.000 ανά στρέμμα, σε σχέση με τα 260.000 φυτά που είχαμε θέσει ως αρχικό στόχο. Ο επιθυμητός αριθμός φυτών θα μπορούσε να είχε επιτευχθεί και με μικρότερη ποσότητα σπόρου, σε αντίθεση με τα 24 kgf που χρησιμοποιήσαμε κατά την σπορά στο πειραματικό τεμάχιο. Η σπορά με 24kgf σπόρου ανά στρέμμα είναι και η επιθυμητή βάση του ειδικού βάρους του σπόρου και την ικανότητα της ποικιλίας να αδελφώνει. Ωστόσο, ο αυξημένος αριθμός φυτών επρόκειτο να οδηγήσει σε αυξημένη παραγωγή.

4.2 Σύγκριση του μέσου όρου των τιμών του NDVI μεταξύ του αγροτεμαχίου και του μάρτυρα.

Στα παρακάτω σχήματα συγκρίνονται οι μέσοι όροι των τιμών του NDVI για την ποικιλία Simeto, την ποικιλία Iride και του μάρτυρα για τις ημερομηνίες των μετρήσεων. Η σύγκριση γίνεται μεταξύ του αγροτεμαχίου των 10 στρεμμάτων με πιστοποιημένο σπόρο ποικιλίας Simeto, του μάρτυρα με έκταση 30 τ.μ. με πιστοποιημένο σπόρο ποικιλίας Simeto και του αγροτεμαχίου 5 στρεμμάτων με μη πιστοποιημένο σπόρο ποικιλίας iride. Υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι για κάθε ποικιλία και αγροτεμάχιο σε κάθε ημερομηνία μέτρησης, με σκοπό την παρατήρηση των τιμών τους.



Σχήμα 4. Σύγκριση μέσου όρου τιμών NDVI, ανά ημερομηνία στα 10 στρέμματα αγρού και στο μάρτυρα.

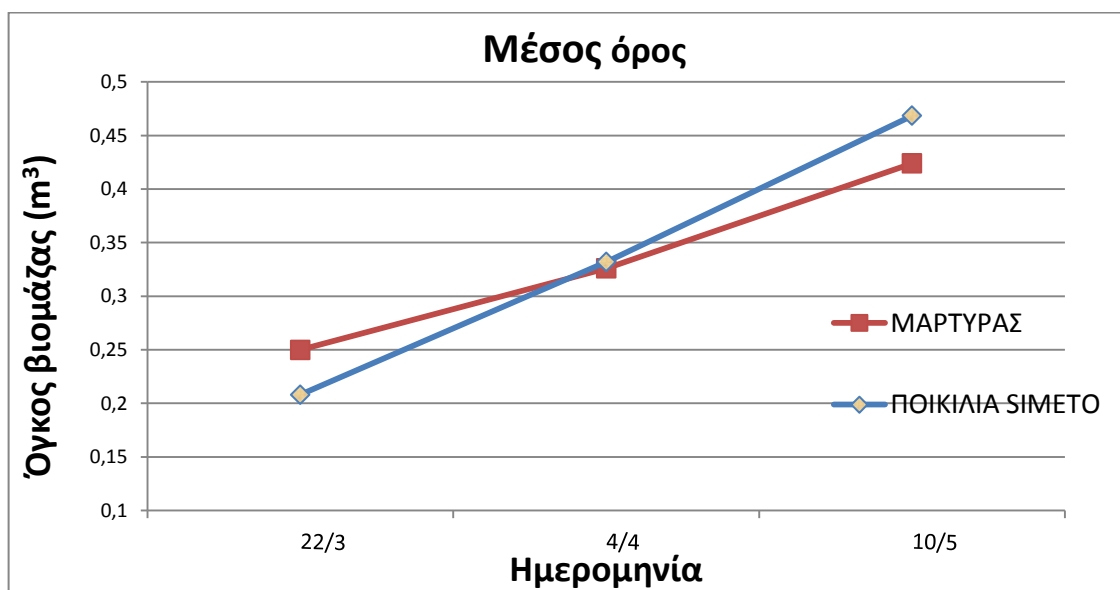
Στο σχήμα 4 παρατηρούμε ότι ο μέσος όρος του NDVI του μάρτυρα της ποικιλίας Simeto έχει τις μεγαλύτερες τιμές και στις 4 μετρήσεις, λόγω του ότι εφαρμόσαμε μεγαλύτερη ποσότητα επιφανειακής λίπανσης με N. Είναι ένδειξη ότι η υψηλή λίπανση δίνει και υψηλές τιμές NDVI. Βέβαια πραγματοποιήθηκε μια λίπανση, αλλά διακρίνουμε μεγαλύτερη ευρωστία σε όλη την καλλιεργητική περίοδο.

Στην 31/1/14 παρατηρούμε ότι οι τιμές του NDVI στον μάρτυρα και στην ποικιλία Simeto βρίσκονται στην κλίμακα του 0.6 ξεκινώντας από την ίδια τιμή. Οπότε στα πρώτα στάδια της καλλιέργειας παρατηρούμε κοινή τιμή NDVI.

Στις 22/3/14 παρατηρούμε υψηλότερο NDVI στον μάρτυρα, ενώ στην ποικιλία Simeto παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές NDVI.

Οι τιμές του NDVI αυξάνονται μέχρι και την μέτρηση που πραγματοποιήθηκε στις 04/04/2014. Έπειτα έως τις 10/05/2014 οι τιμές μειώνονται λόγω ωρίμανσης της καλλιέργειας, δηλαδή το κιτρίνισμα που εμφανίζεται στα φυτά του σίτου.

4.3 Σύγκριση του μέσου όρου των τιμών για τον όγκο βιομάζας μεταξύ του αγροτεμαχίου και του μάρτυρα.



Σχήμα 5. Σύγκριση μέσου όρου τιμών ύψος φυτών, ανά ημερομηνία στα 10 στρέμματα αγρού και στο μάρτυρα.

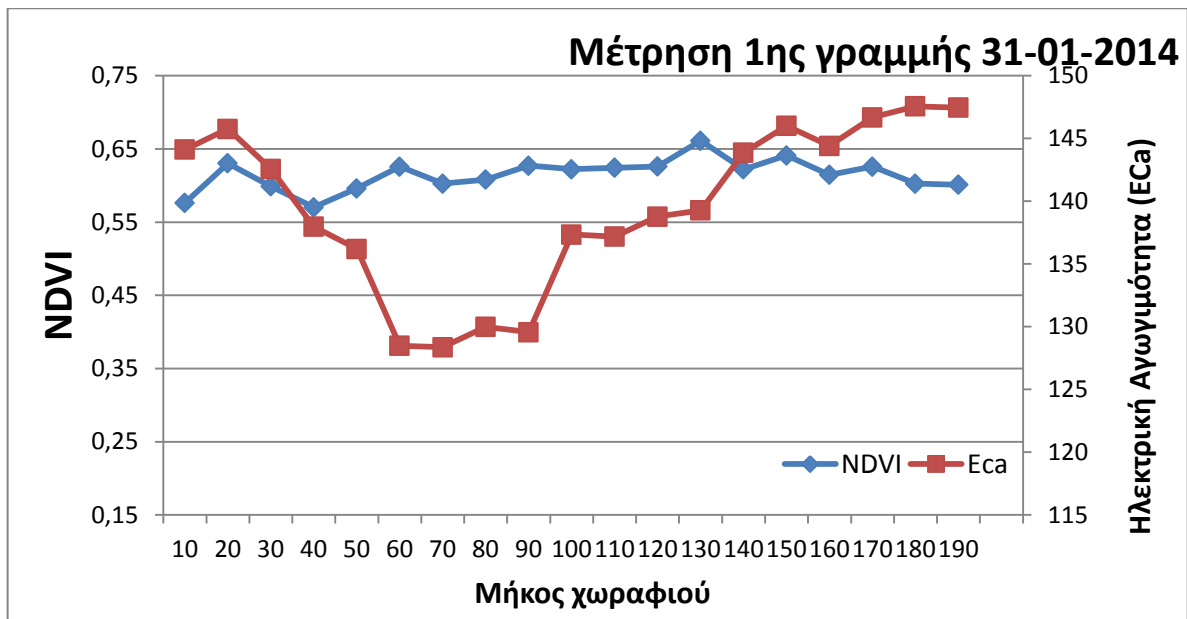
Στο Σχήμα 5 παρατηρούμε την σύγκριση του μέσου όρου των τιμών για τον όγκο βιομάζας για την ποικιλία Simeto και το μάρτυρα για τις ημερομηνίες των μετρήσεων.

Στις 22/3τα φυτά με μεγαλύτερο όγκο βιομάζας διακρίνονται στον μάρτυρα και υποθέτουμε πως η αύξηση οφείλεται στην αυξημένη επιφανειακή λίπανση την οποία κάναμε. Έπειτα, στις 04/04 η ποικιλία Simeto εμφανίζει αυξημένο όγκο βιομάζας, πιθανότατα λόγω εφαρμογής δυο επιφανειακών λιπάνσεων.

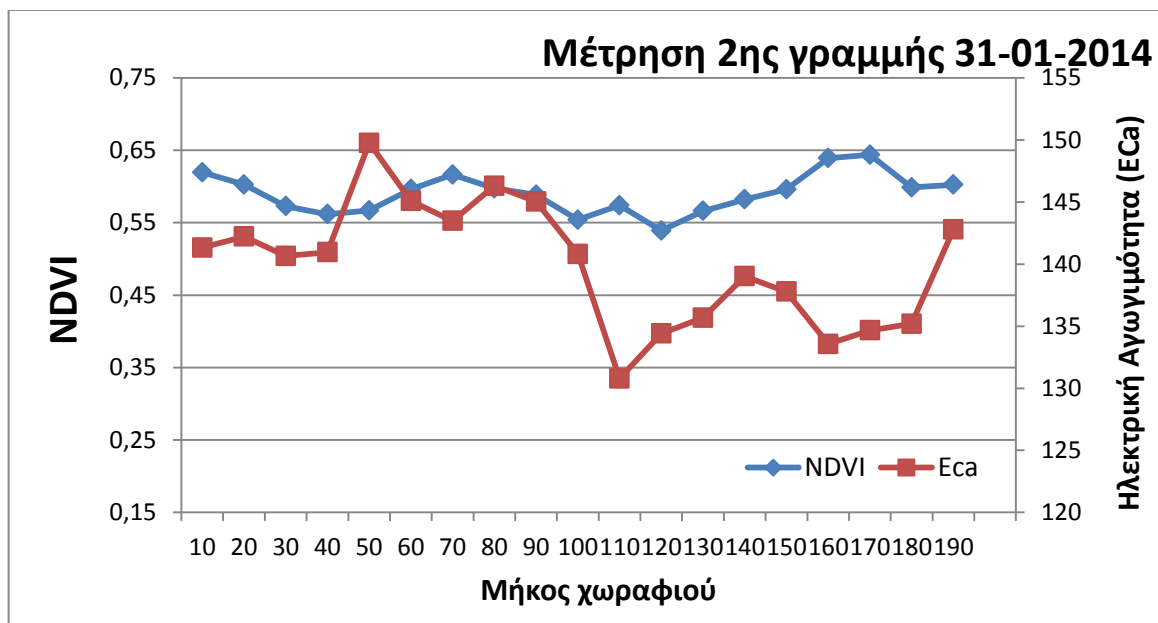
Στις 10/05 η ποικιλία Simeto διακρίνεται με αυξημένο όγκο βιομάζας σε σχέση με τον μάρτυρα και υποθέτουμε ότι οφείλεται στην εφαρμογή των δυο επιφανειακών λιπάνσεων. Χρονικά διαπιστώνουμε πως ο όγκος βιομάζας της καλλιέργειας αυξάνεται, καθώς αυξάνονται οι εφαρμογές λίπανσης και αναπτύσσεται η καλλιέργεια..

4.4 Σύγκριση του δείκτη NDVI και της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στις 31/01/2014.

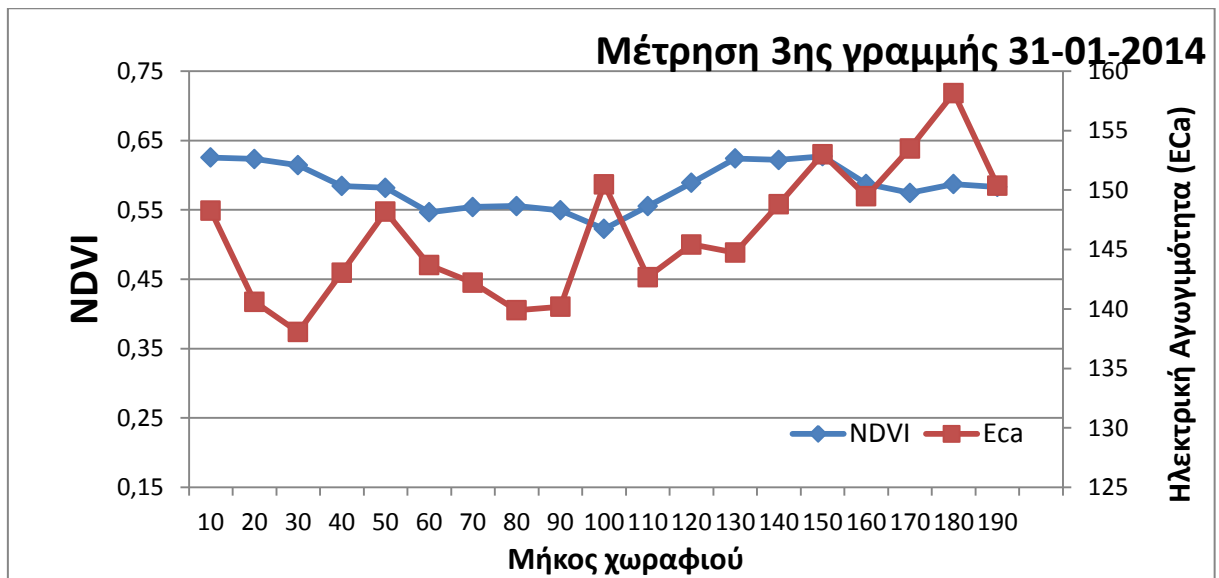
Παρακάτω επρόκειτο να συγκρίνουμε την εξέλιξη μεταξύ του NDVI και της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, για την πρώτη μέτρηση.



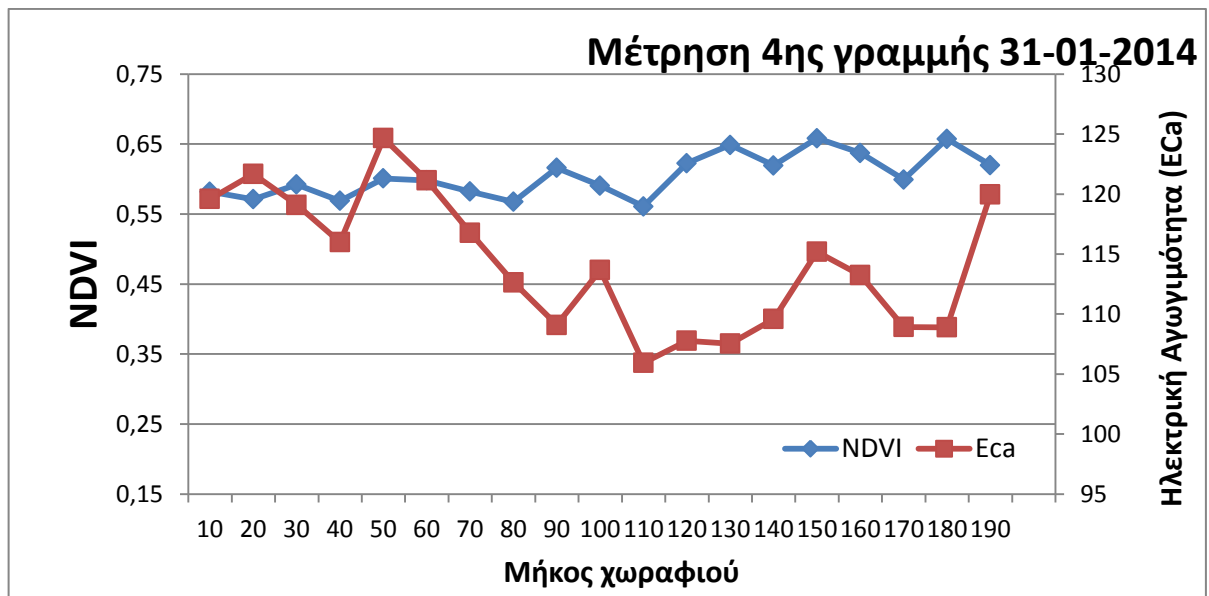
Σχήμα 6. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητας του εδάφους κατά μήκος του χωραφίου στις 31-01-2014.



Σχήμα 7. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφίου στις 31-01-2014.



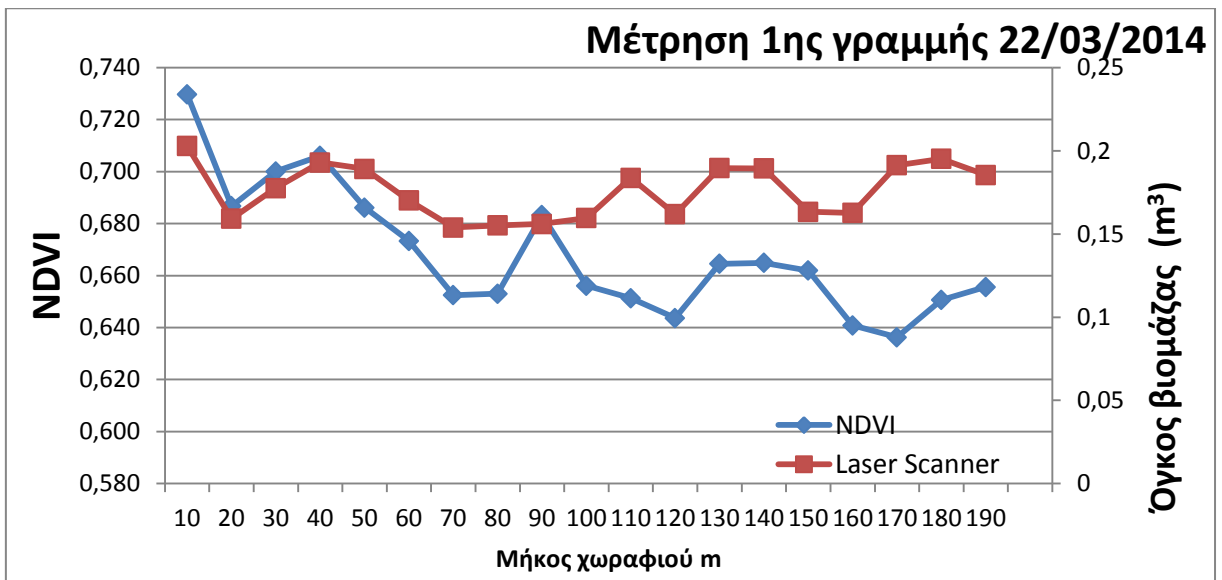
Σχήμα 8. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014.



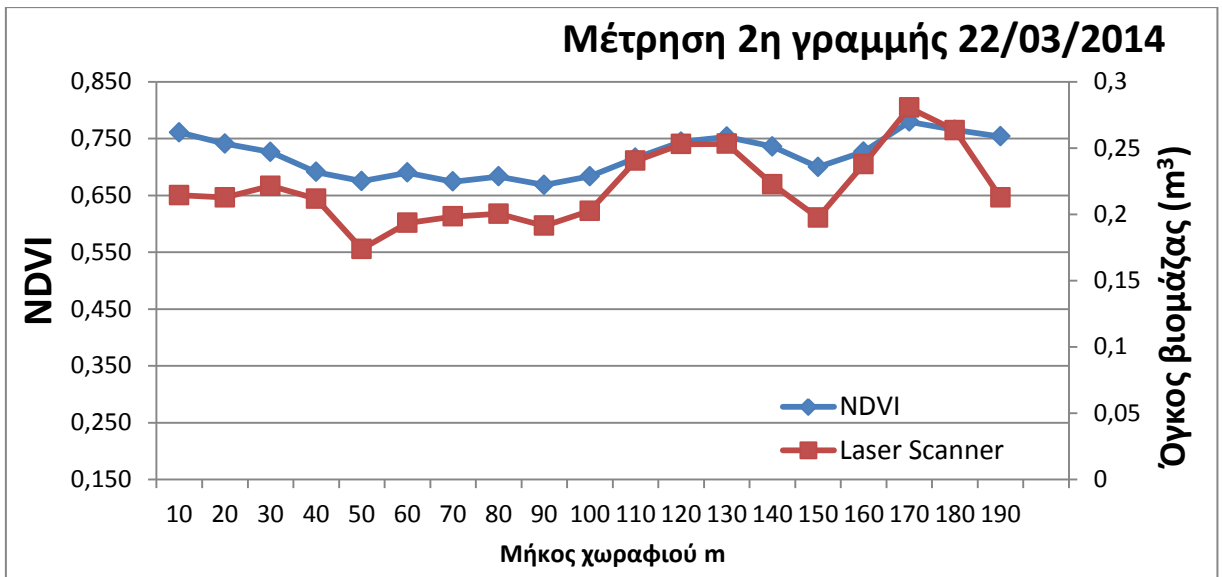
Σχήμα 9. Εξέλιξη του NDVI των φυτών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, κατά μήκος του χωραφιού στις 31-01-2014.

4.5 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας στις 22/03/2014.

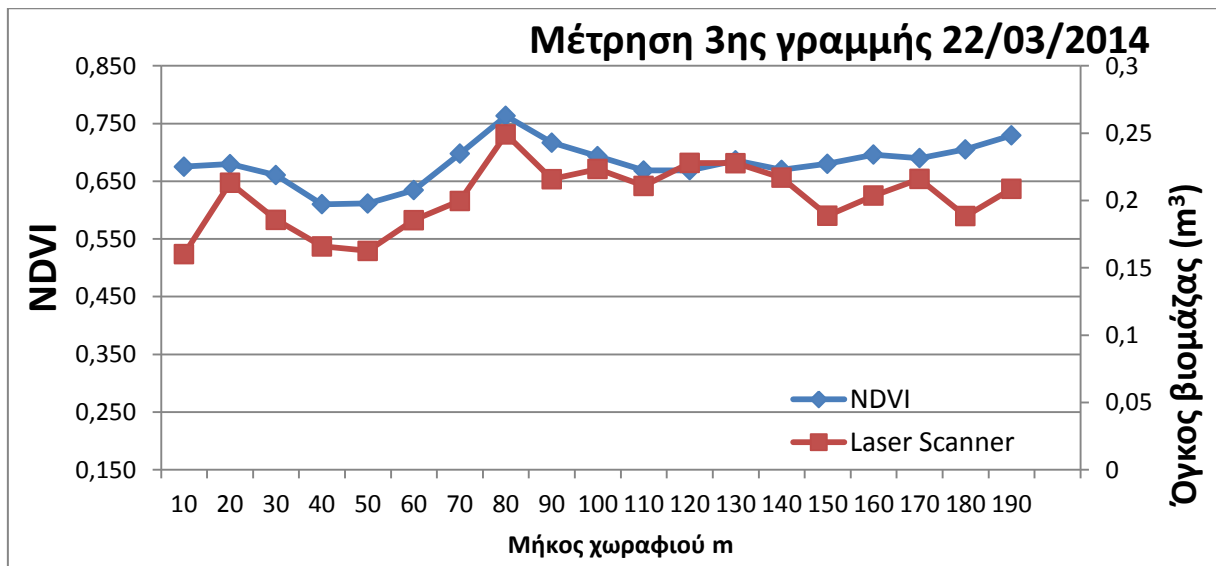
Παρακάτω πρόκειται να συγκρίνουμε την εξέλιξη μεταξύ του NDVI και του όγκου βιομάζας για την δεύτερη μέτρηση.



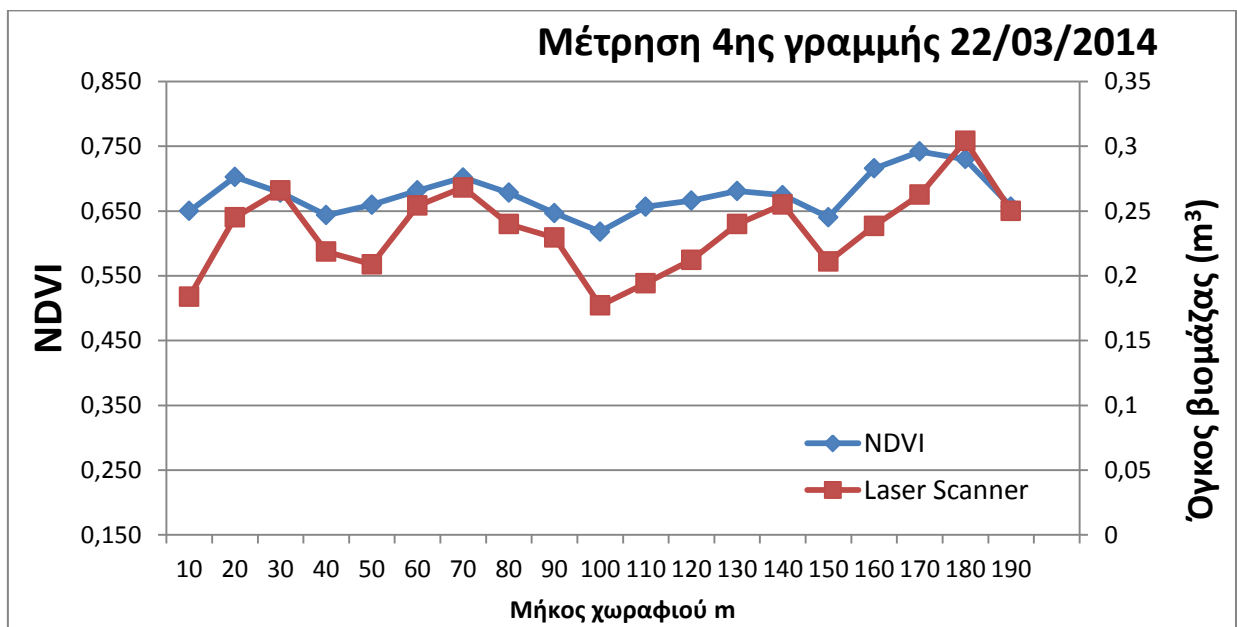
Σχήμα 10. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014.



Σχήμα 11. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 22/03/2014.



Σχήμα 12. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφίου στις 22/03/2014.

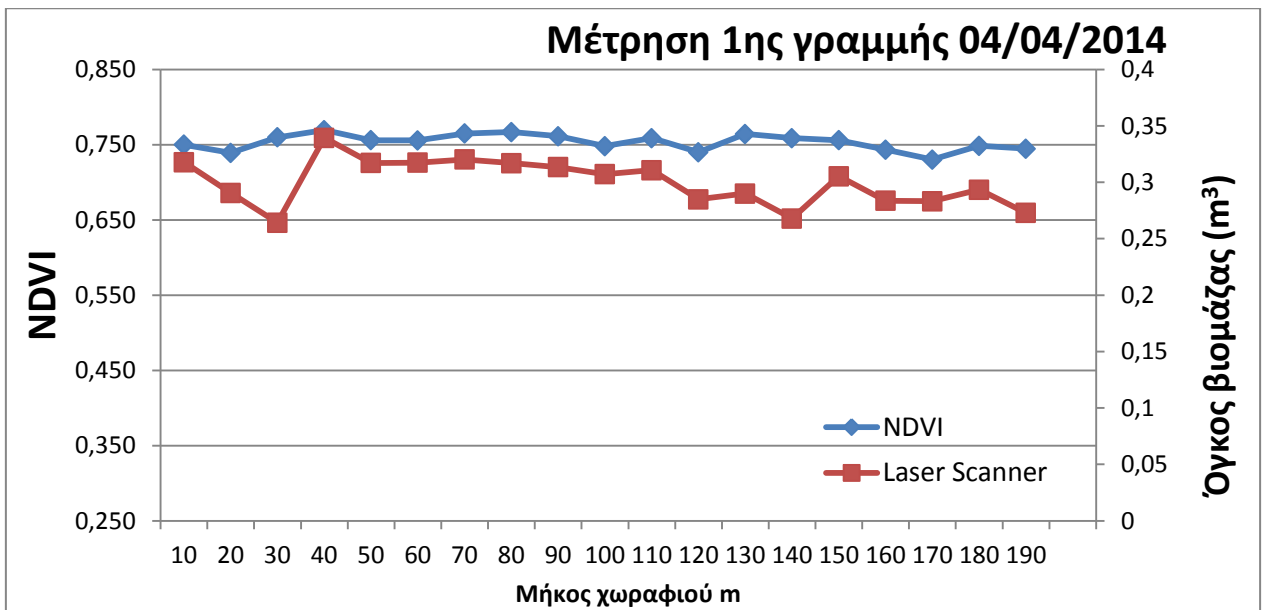


Σχήμα 13. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφίου στις 22/03/2014.

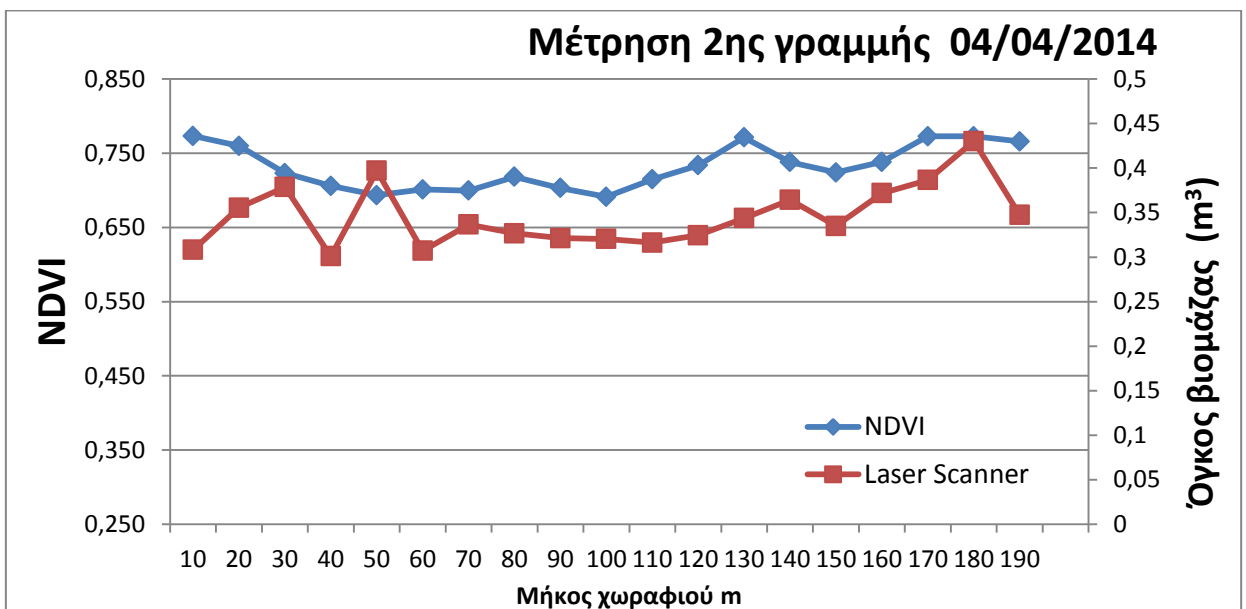
Παρατηρώντας το Σχήμα 12 έως το 17, μπορούμε να διακρίνουμε καλή εξέλιξη μεταξύ του NDVI και του όγκου βιομάζας των φυτών σε όλες τις μετρήσεις. Όπου αυξάνεται το NDVI αυξάνεται και ο όγκος βιομάζας των φυτών.

4.6 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας στις 04/04/2014.

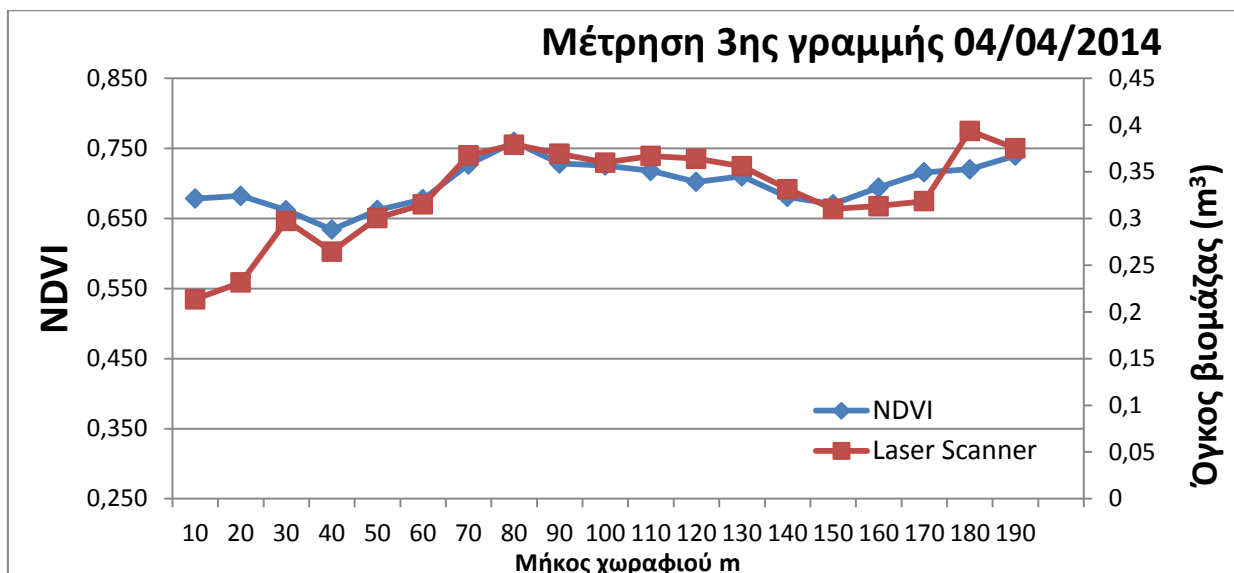
Παρακάτω επρόκειτο να συγκρίνουμε την εξέλιξη μεταξύ του NDVI και του όγκου βιομάζας για την τρίτη μέτρηση.



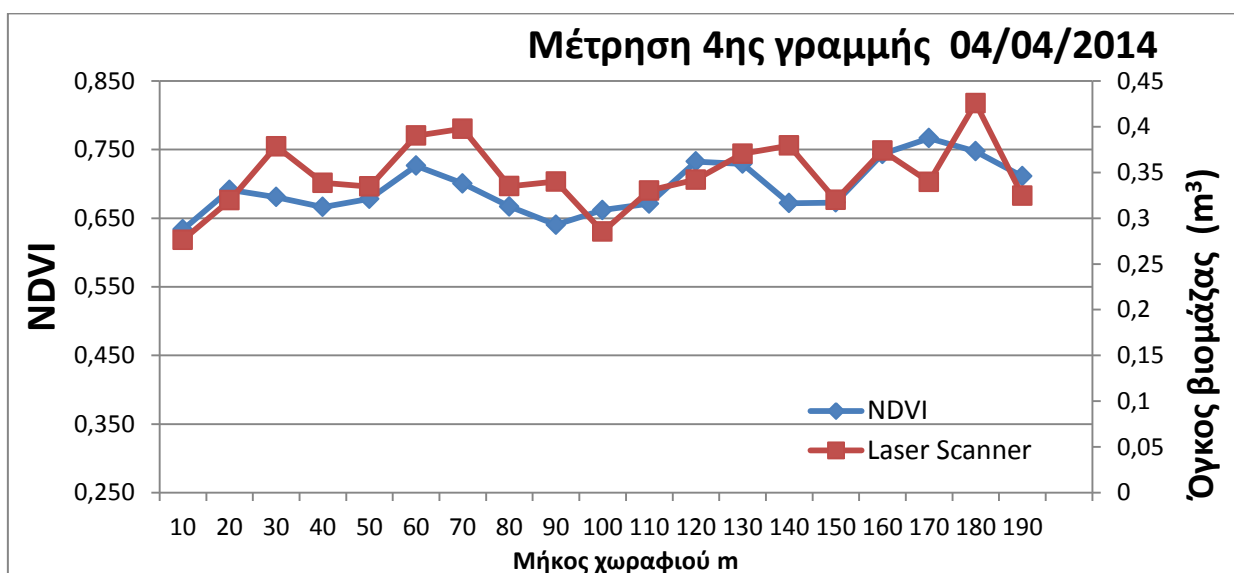
Σχήμα 14. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014.



Σχήμα 15. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014.



Σχήμα 16. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014.

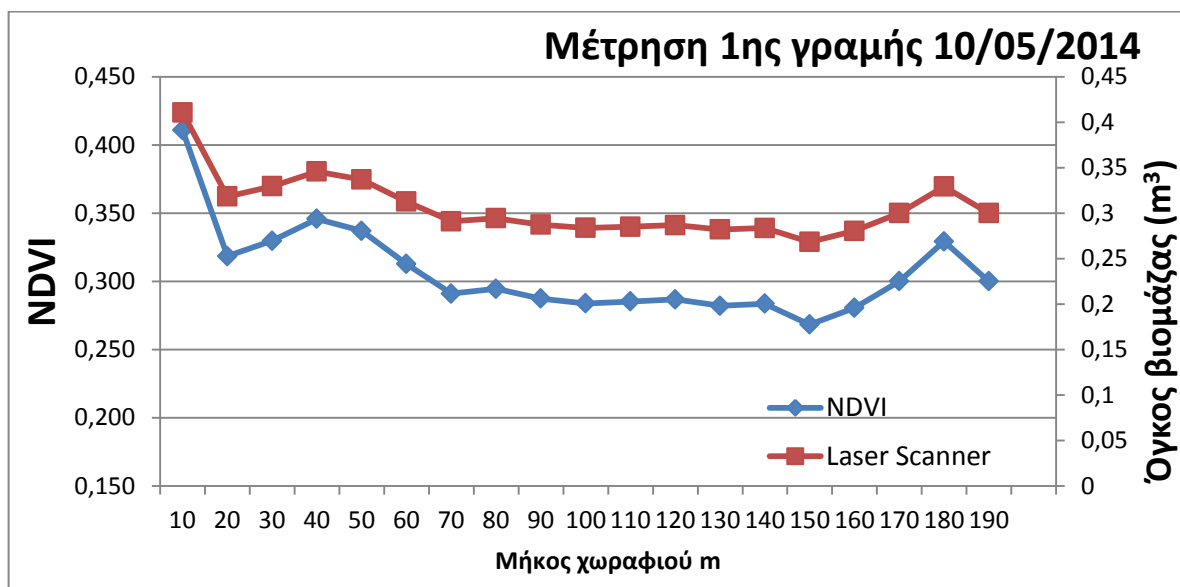


Σχήμα 17. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με το τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 04/04/2014.

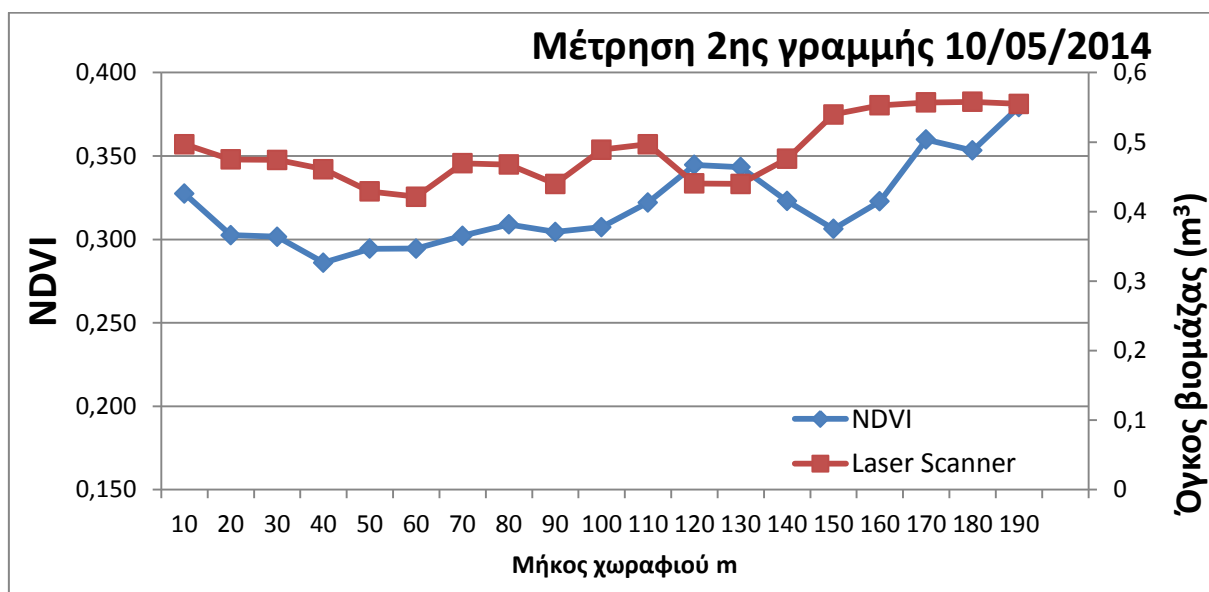
Στην παραπάνω μέτρηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων εμφανίζεται καλή συσχέτιση μεταξύ NDVI και του όγκου βιομάζας. Όμως, σε κάποια σημεία ο όγκος βιομάζας των φυτών εμφανίζεται αυξημένος στο Σχήμα 19 στα 50-60 μέτρα, στο Σχήμα 20 στα 180 μέτρα και στο Σχήμα 21 σε αρκετά σημεία. Σύμφωνα με έλεγχο που πραγματοποιήθηκε στα δεδομένα, εμφανίστηκε σημειακά αυξημένος όγκος βιομάζας των φυτών, το οποίο πρέπει να οφείλεται στην ύπαρξη ζιζανίων στον αγρό. Λόγω των αυξημένων βροχοπτώσεων από τα μέσα Μαρτίου μέχρι και το τέλος του μήνα, η ζιζανιοκτονία πραγματοποιήθηκε στις 11/05/2014.

4.7 Σύγκριση του δείκτη NDVI και του όγκου βιομάζας στις 10/05/2014.

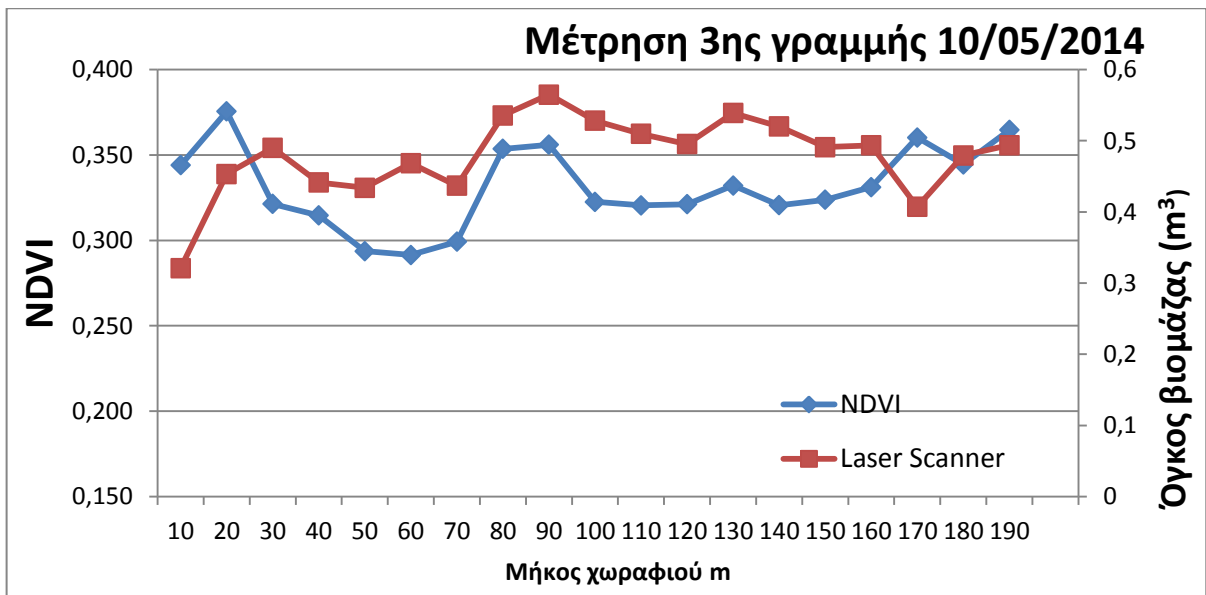
Παρακάτω επρόκειτο να συγκρίνουμε την εξέλιξη μεταξύ του NDVI και του όγκου βιομάζας για την τέταρτη μέτρηση.



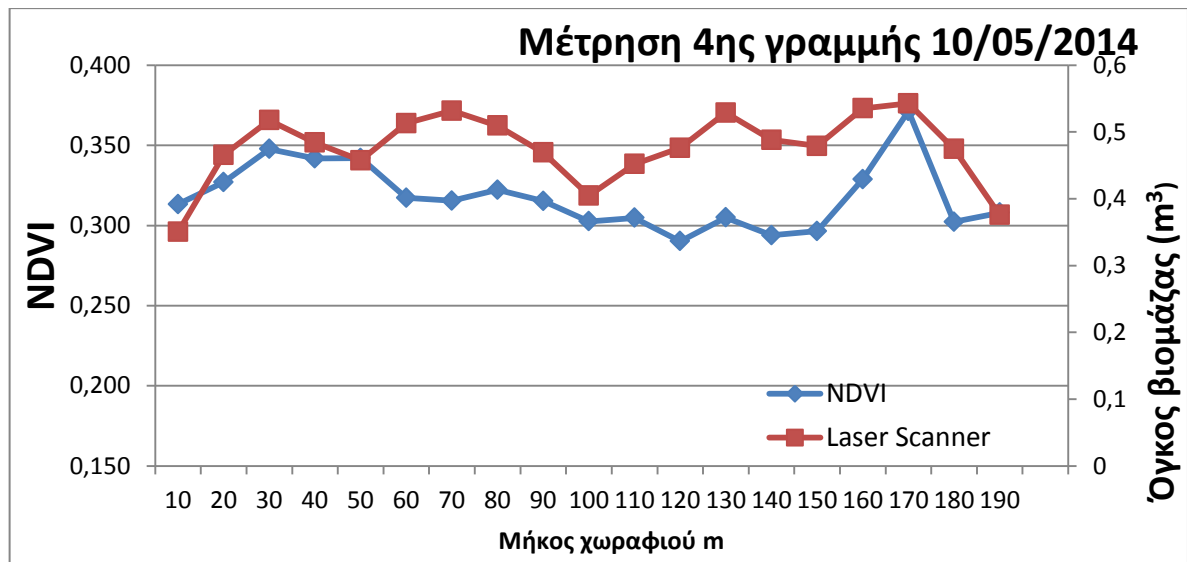
Σχήμα 18. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφίου στις 10/05/2014.



Σχήμα 19. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφίου στις 10/05/2014.



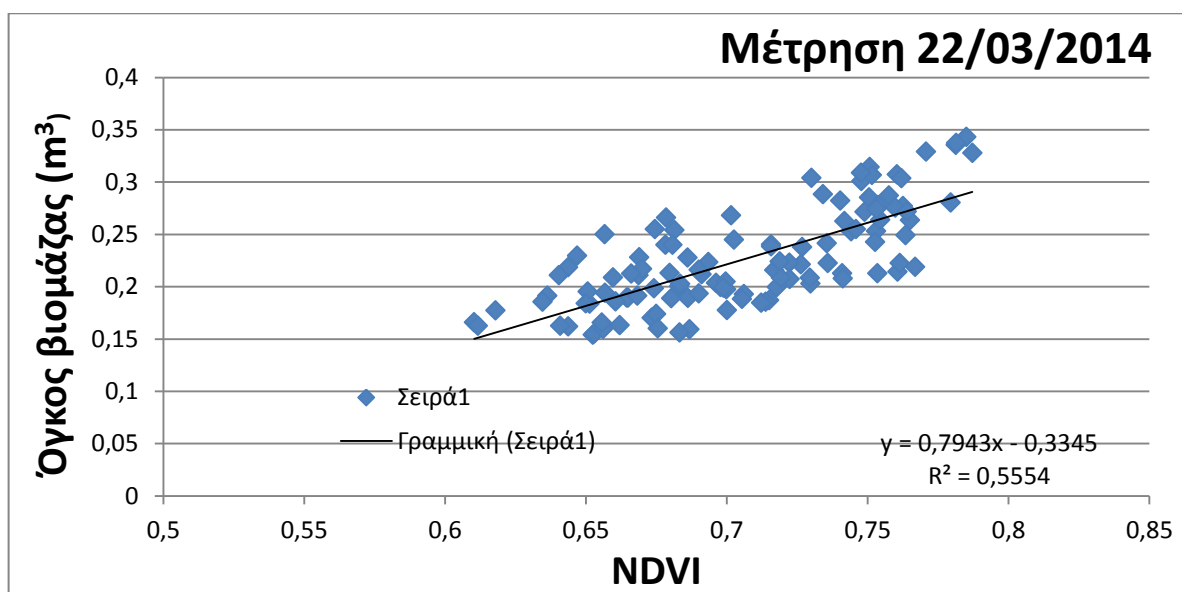
Σχήμα 20. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014.



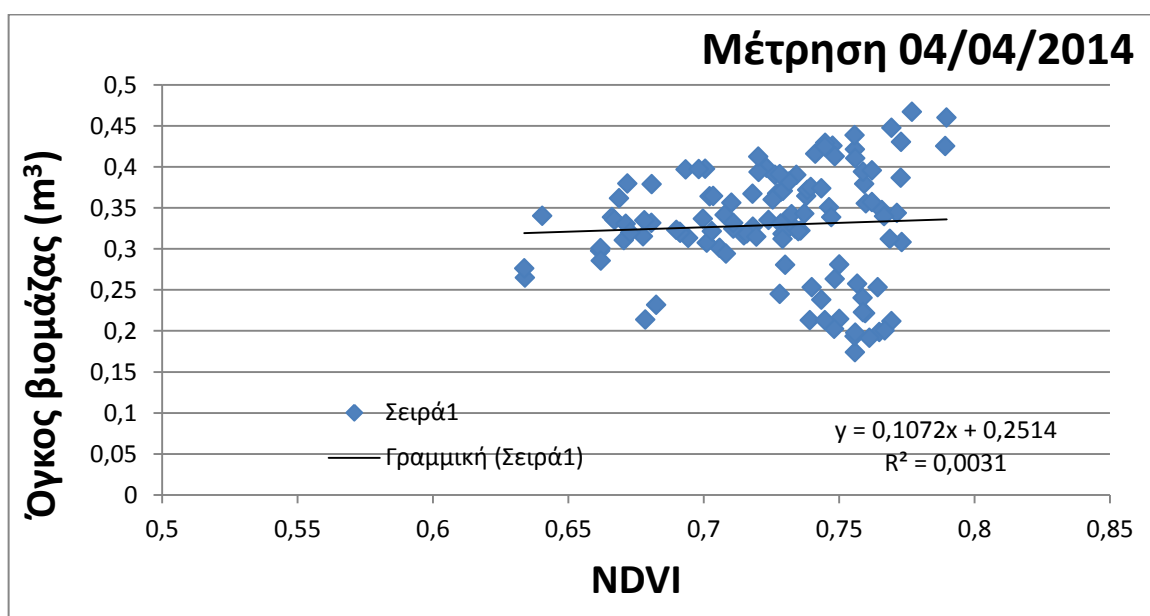
Σχήμα 21. Εξέλιξη του NDVI σε σχέση τον όγκο βιομάζας, κατά μήκος του χωραφιού στις 10/05/2014.

Στις 10/05/2014 όπου πραγματοποιήθηκε η τελευταία μέτρηση, η καλλιέργεια σίτου είχε αυξημένο όγκο βιομάζας, έχοντας κίτρινο χρώμα το οποίο είναι και το στάδιο ωρίμανσης της καλλιέργειας. Οπότε, παρατηρούμε ότι στα παραπάνω διαγράμματα το NDVI έχει ελαττωθεί σημαντικά, σε σχέση με τις προηγούμενες μετρήσεις.

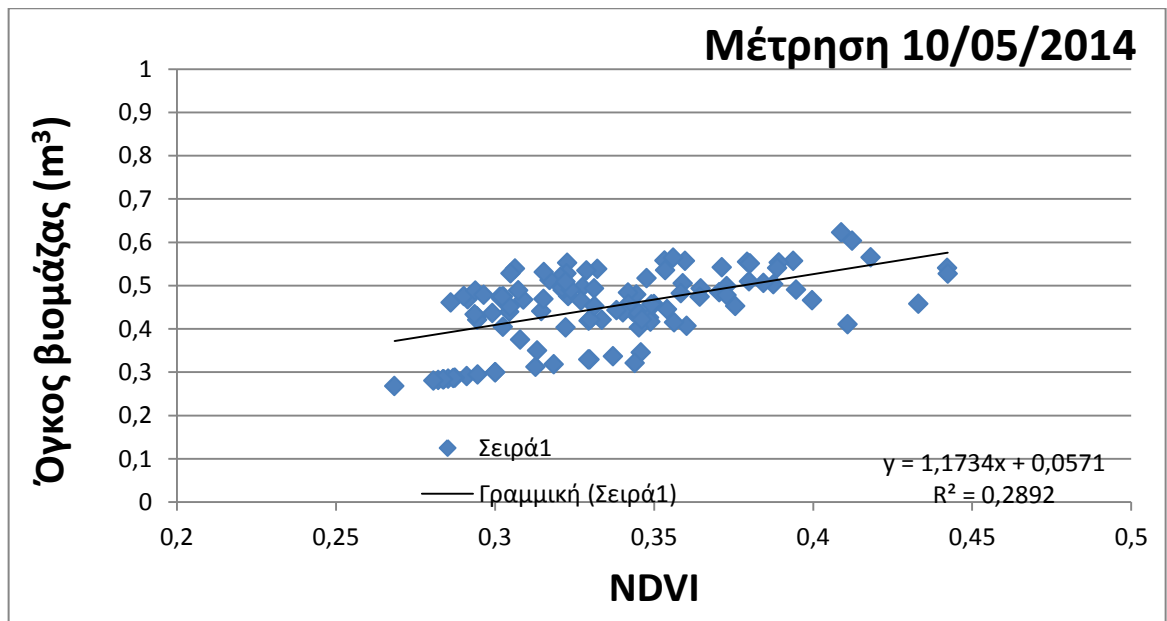
4.8 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ όγκου βιομάζας και NDVI.



Σχήμα 22. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 22/03/2014.

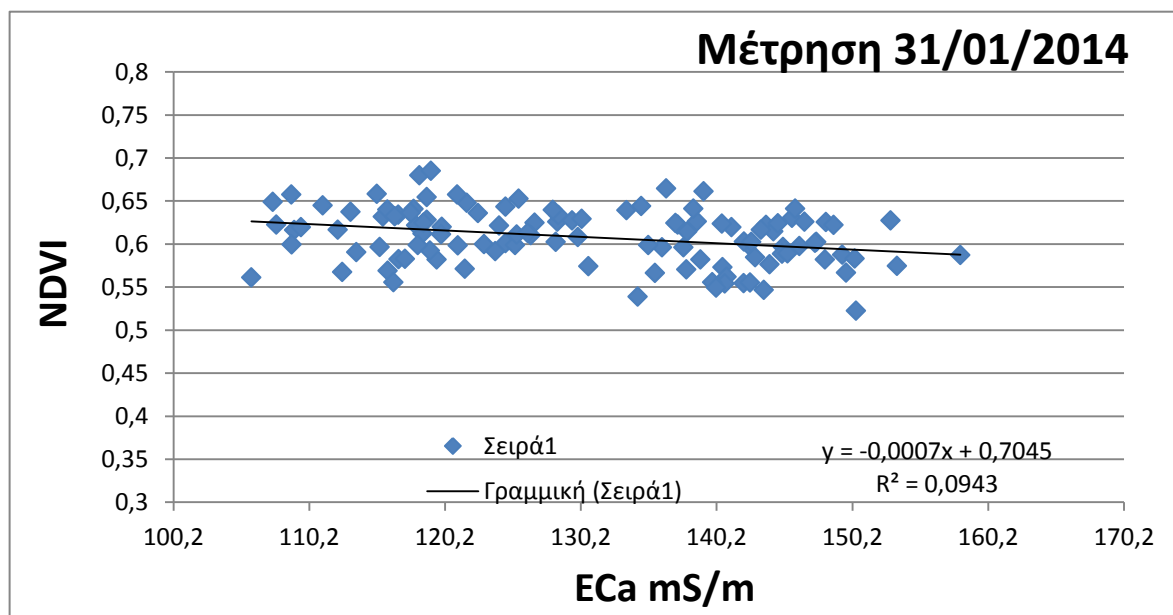


Σχήμα 23. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 04/04/2014.

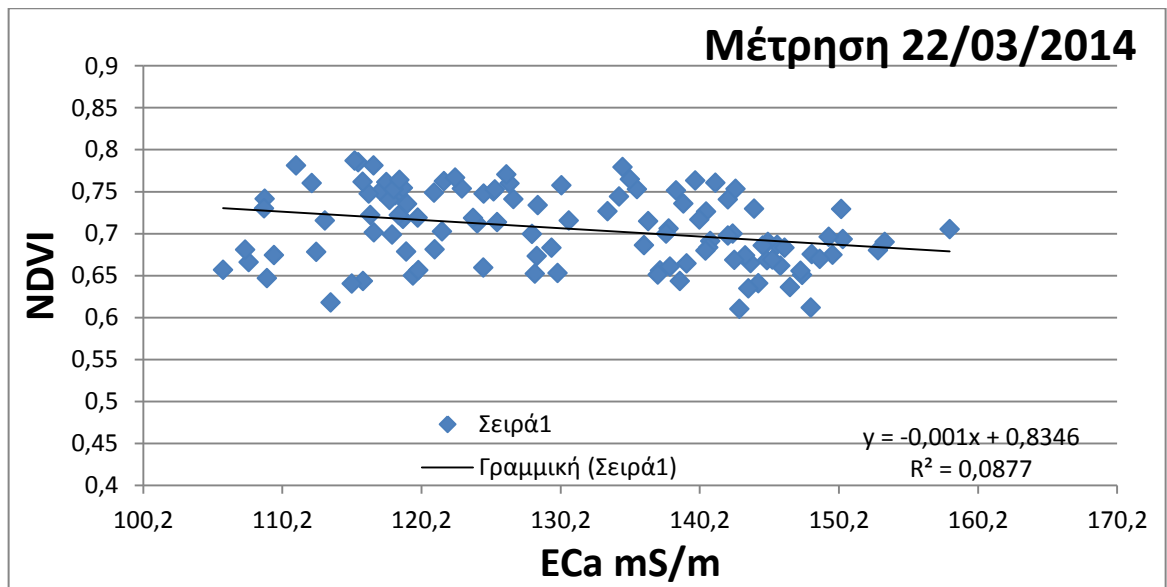


Σχήμα 24. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και του NDVI των φυτών στις 10/05/2014.

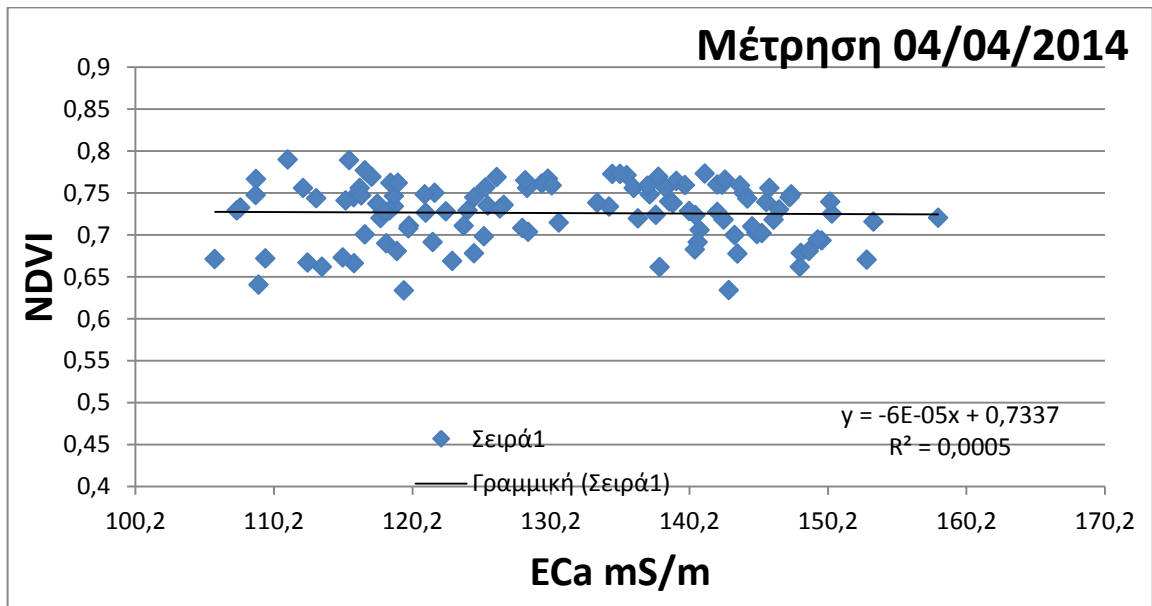
4.9 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ NDVI και ECa.



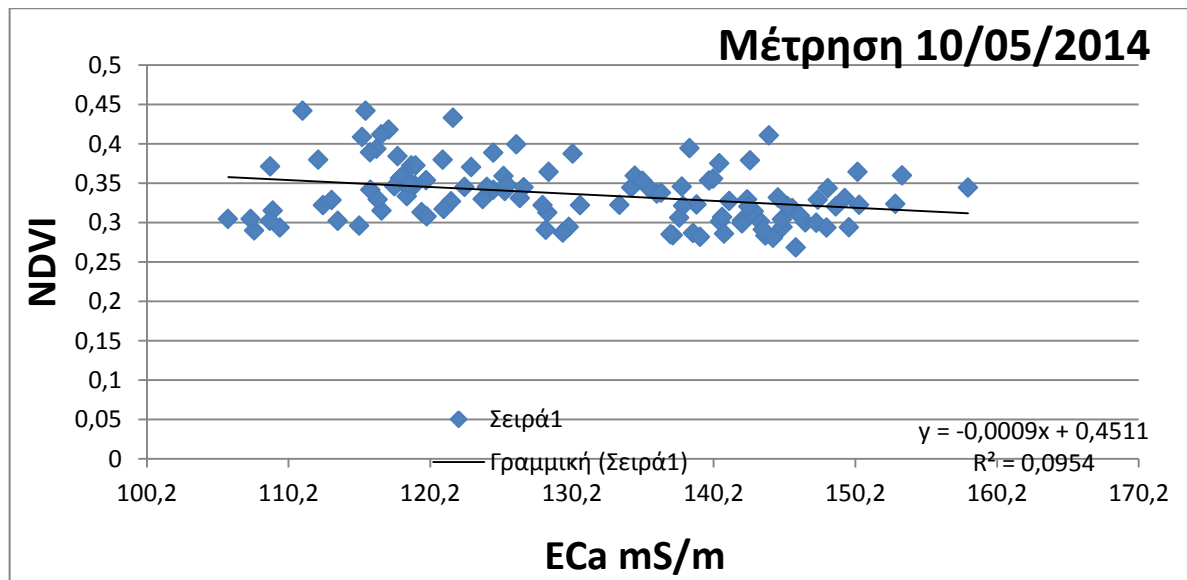
Σχήμα 25. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 31/10/2014.



Σχήμα 26. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 22/03/2014.

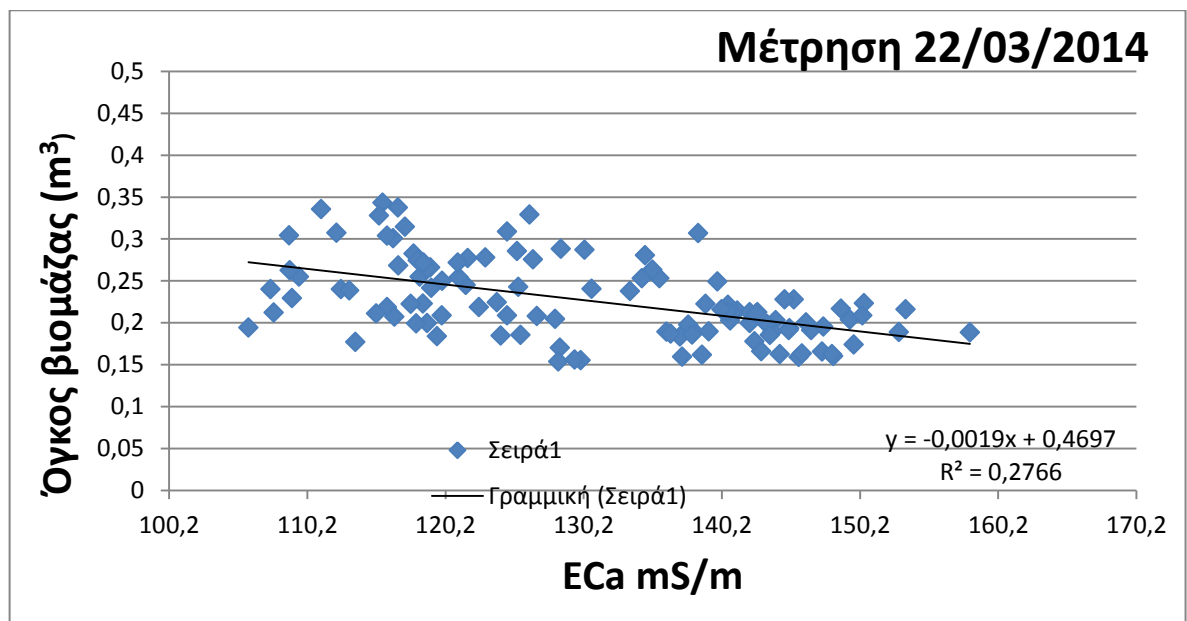


Σχήμα 27. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 04/04/2014.

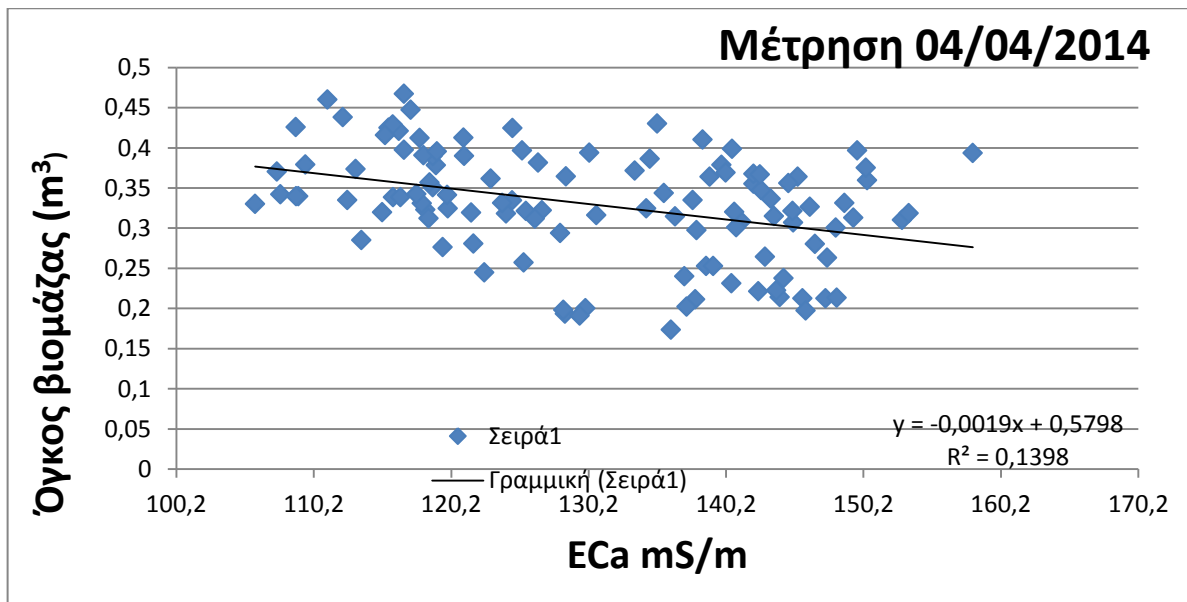


Σχήμα 28. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa στις 10/05/2014.

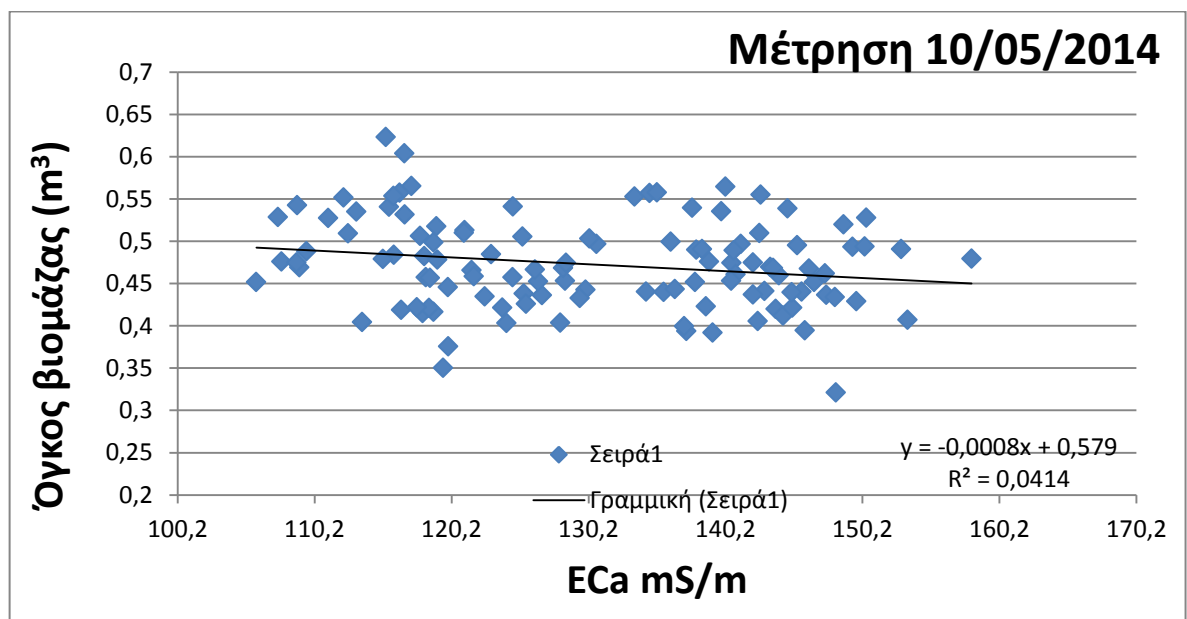
4.10 Γραμμική συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ όγκου βιομάζας και ECa.



Σχήμα 29. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 22/03/2014.



Σχήμα 30. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 04/04/2014.

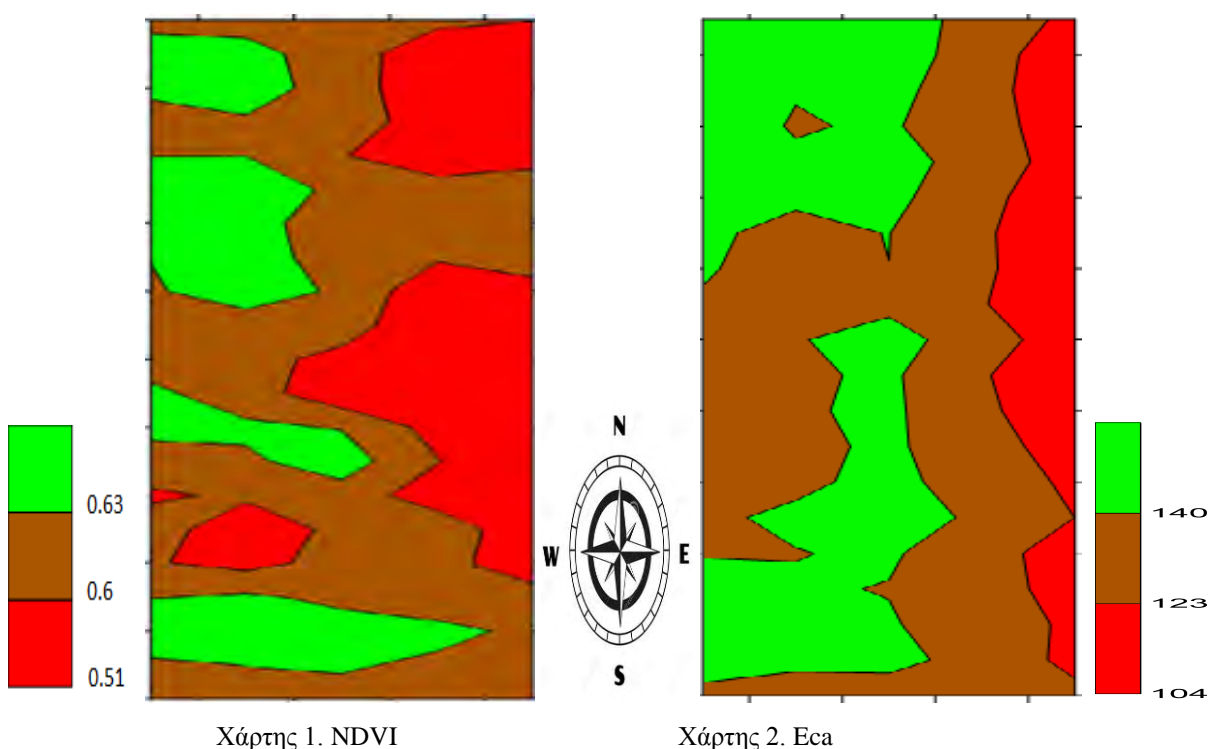


Σχήμα 31. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ του όγκου βιομάζας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) των φυτών στις 10/05/2014.

4.11 Χάρτες

Οι τέσσερις μετρήσεις διακρίνονται ημερολογιακά κατά μήκος του χωραφιού. Όσον αφορά τις τιμές το πράσινο χρώμα δείχνει τις μεγαλύτερες τιμές, έπειτα το καφέ χρώμα τις μεσαίες τιμές και τέλος το κόκκινο χρώμα τις μικρότερες τιμές. Παρακάτω επρόκειτο να διακρίνουμε την παραλλακτικότητα στους χάρτες που δημιουργηθήκανε στο χωράφι με τον πιστοποιημένο σπόρο ποικιλίας *Simeto*. Παράλληλα θα γίνει σύγκριση τους με τον μάρτυρα με σπόρο ίδιας ποικιλίας.

4.11.1. Μέτρηση NDVI και ECa των φυτών στις 31/01/14



Στις 15-01-2014 πραγματοποιήθηκε επιφανειακή λίπανση στον μάρτυρα με νιτρική αμμωνία (33.5-0-0) και ποσότητα 2kgr/30 τμ, δηλαδή **22.11** μονάδες N το στρέμμα. Η λίπανση εφαρμόστηκε 16 μέρες προτού πραγματοποιηθεί η μέτρηση με το NDVI. Η ποσότητα που εφαρμόστηκε ήταν αυξημένη και έγινε με σκοπό τα φυτά του μάρτυρα να λάβουν τις μέγιστες τιμές για την μέτρηση του NDVI. Όμως, στο διάστημα από την εφαρμογή του λιπάσματος μέχρι την 1^η μέτρηση δεν πραγματοποιήθηκε κάποια βροχόπτωση, ώστε να διαλυθεί το λίπασμα στο έδαφος και να γίνει η πρόσληψη του από τα φυτά του σίτου. Η τιμή του μάρτυρα για το NDVI είναι **0,608**, ενώ η τιμή του μάρτυρα της ηλεκτρικής

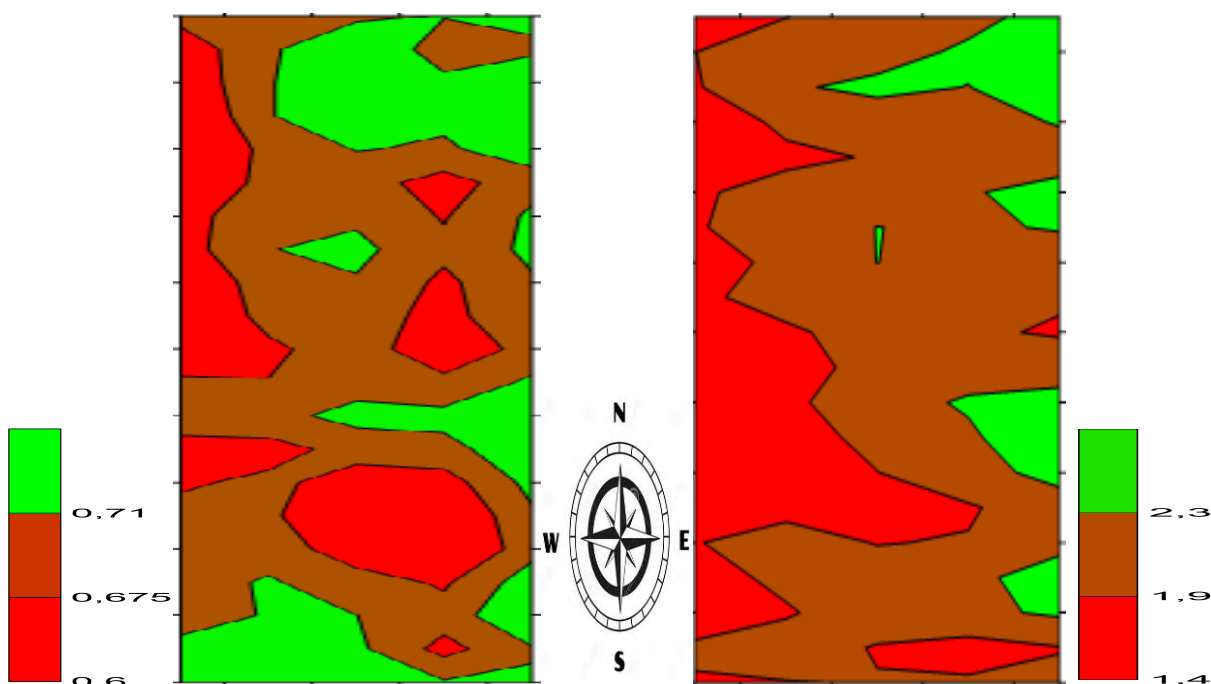
αγωγιμότητας ECa είναι **137.542**. Παρατηρούμε ότι και οι 2 τιμές αντιστοιχούν στο καφέ χρώμα, το οποίο αναφέρεται στις μεσαίες τιμές στις κλάσεις του χάρτη.

Στον αγρό δεν πραγματοποιήθηκε βασική ή επιφανειακή λίπανση μέχρι να πραγματοποιηθούν οι παραπάνω μετρήσεις. Στον Χάρτη 1 παρατηρούμε περιοχές με τιμές που ορίζονται σε όλες τις κλάσεις των μετρήσεων. Δηλαδή περιοχές με αυξημένο, μέτριο και μειωμένο NDVI. Παρόλο που δεν πραγματοποιήθηκε κάποια λίπανση, παρατηρούμε ότι ο αγρός παρουσιάζει παραλλακτικότητα. Στις περιοχές που εμφανίζουν τιμές NDVI μεγαλύτερες του 0.63 δεν χρειάζεται εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας λίπανσης. Στις περιοχές που εμφανίζουν τιμές NDVI από 0.6 έως και μικρότερες του 0.63, θα μπορούσε να γίνει εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας επιφανειακής λίπανσης. Τέλος, σε περιοχές όπου εμφανίζονται τιμές NDVI από 0.51 έως και μικρότερες του 0.6, θα μπορούσε να γίνει εφαρμογή ακόμη μεγαλύτερης ποσότητας επιφανειακής λίπανσης.

Αυξημένες τιμές ECa σημαίνουν και αυξημένη γονιμότητα του εδάφους στα συγκεκριμένα σημεία. Επίσης, συγκρίνοντας την ECa με το NDVI σε περιοχές όπου οι τιμές είναι υψηλές, είναι πιθανό να υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρούμε ότι παρόλο που δεν πραγματοποιήθηκε βασική λίπανση στον αγρό, παρουσιάζονται περιοχές με NDVI το οποίο αντιστοιχεί και στις τρεις κλάσεις του μάρτυρα.

4.11.2 Μέτρηση NDVI και όγκο βιομάζας των φυτών στις 22/03/2014



Το διάστημα που πραγματοποιήθηκε η επιφανειακή λίπανση στον μάρτυρα έως την μέτρηση, δηλαδή μετά από διάστημα μικρότερο των 2 μηνών υπολογίζεται ότι το λίπασμα διαλύθηκε στο έδαφος και αφομοιώθηκε από τα φυτά. Σαν αποτέλεσμα η τιμή του μάρτυρα για το NDVI των φυτών είναι **0,737** και για τον όγκο βιομάζας είναι **0.25**. Παρατηρούμε ότι και οι 2 τιμές αντιστοιχούν στο πράσινο χρώμα, το οποίο αναφέρεται στις υψηλές τιμές στις κλάσεις του χάρτη. Οπότε, στο μάρτυρα η τιμή του NDVI και του όγκου βιομάζας παρουσιάζει την μέγιστη τιμή.

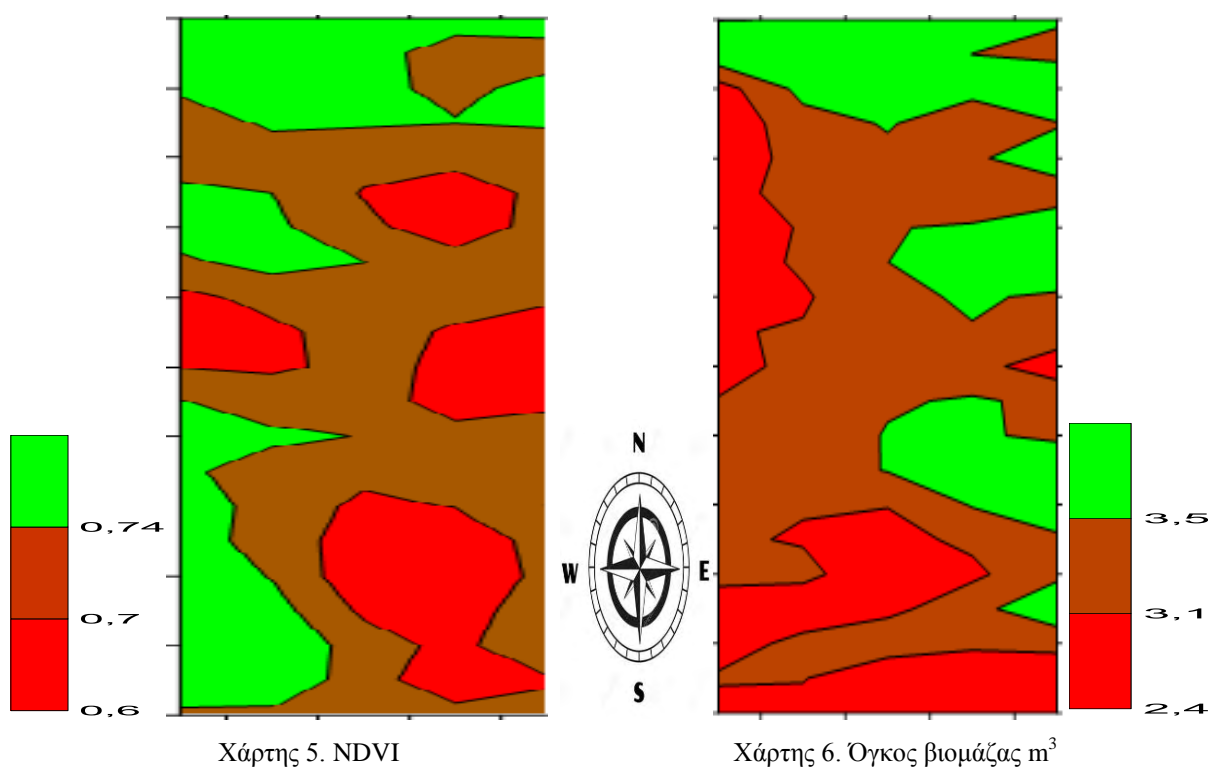
Προτού πραγματοποιηθεί η 2^η μέτρηση στο αγροτεμάχιο των 10 στρεμμάτων προηγήθηκε επιφανειακή λίπανση στις 20-02-2014 με ουρία 46-0-0 και ποσότητα 15 kg/στρ, δηλαδή **6,9** μονάδες N το στρέμμα. Στο μεσοδιάστημα μέχρι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις δεν υπήρξε κάποια βροχόπτωση. Οπότε, το λίπασμα δεν διαλύθηκε στο έδαφος ώστε να αφομοιωθεί από τα φυτά και δεν επηρεάστηκαν οι τιμές του NDVI.

Στον Χάρτη 3 παρατηρούμε περιοχές με τιμές NDVI πάνω από 0.71 που σχετίζονται με τις υψηλές τιμές του NDVI στο μάρτυρα. Στις συγκεκριμένες περιοχές δεν χρειάζεται εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας λίπανσης. Επίσης, παρατηρούμε περιοχές με τιμές NDVI μικρότερες του 0.71 έως 0.675, όπου παρουσιάζουν τιμές NDVI χαμηλότερες από του μάρτυρα. Στις συγκεκριμένες περιοχές εφαρμογή με μεγαλύτερη ποσότητας επιφανειακής λίπανσης, θα βελτίωνε την ευρωστία των φυτών. Τέλος, παρουσιάζονται περιοχές με τιμές NDVI μικρότερες του 0,675 έως 0.6 όπου εφαρμογή ακόμα μεγαλύτερης ποσότητας επιφανειακής λίπανσης, θα βελτίωνε την ευρωστία των φυτών.

Στον Χάρτη 3 υψηλές τιμές NDVI διακρίνονται στα βορειοανατολικά και σε περιοχές στα νοτιοανατολικά και νότια του χάρτη, ενώ μικρότερες τιμές του NDVI διακρίνονται βορειοδυτικά και νοτιοανατολικά. Στον Χάρτη 4 υψηλές τιμές του όγκου βιομάζας διακρίνονται νοτιοανατολικά και βορειοανατολικά, ενώ οι χαμηλές τιμές διακρίνονται στα δυτικά.

Όπως φαίνεται στους χάρτες, παρατηρούμε υψηλές τιμές NDVI και αυξημένο όγκο βιομάζας είναι, ενώ αντίστοιχα μεσαίες και μικρές τιμές NDVI επηρεάζουν τα φυτά έχοντας τον ανάλογο όγκο βιομάζας.

4.11.3 Μέτρηση NDVI και όγκο βιομάζας των φυτών στις 04/04/2014



Η τιμή του μάρτυρα για το NDVI είναι **0,761** και αντιστοιχεί στο πράσινο χρώμα στις κλάσεις του χάρτη. Όμως, η τιμή του μάρτυρα για τον όγκο βιομάζας φυτών είναι **0,326** και αντιστοιχεί στο καφέ χρώμα στις κλάσεις του χάρτη.

Στο αγροτεμάχιο στις 17/03/2014 πραγματοποιήθηκε και η 2^η επιφανειακή λίπανση με λίπασμα νιτρικής αμμωνίας τύπου 33.5-0-0 και ποσότητα 15 kg/στρ, δηλαδή **5.025** μονάδες N το στρέμμα. Στο μεσοδιάστημα μέχρι να πραγματοποιηθεί η μέτρηση, πραγματοποιήθηκε βροχόπτωση στην περιοχή με αποτέλεσμα το λίπασμα να διαλυθεί στο έδαφος και να αφομοιωθεί από τα φυτά.

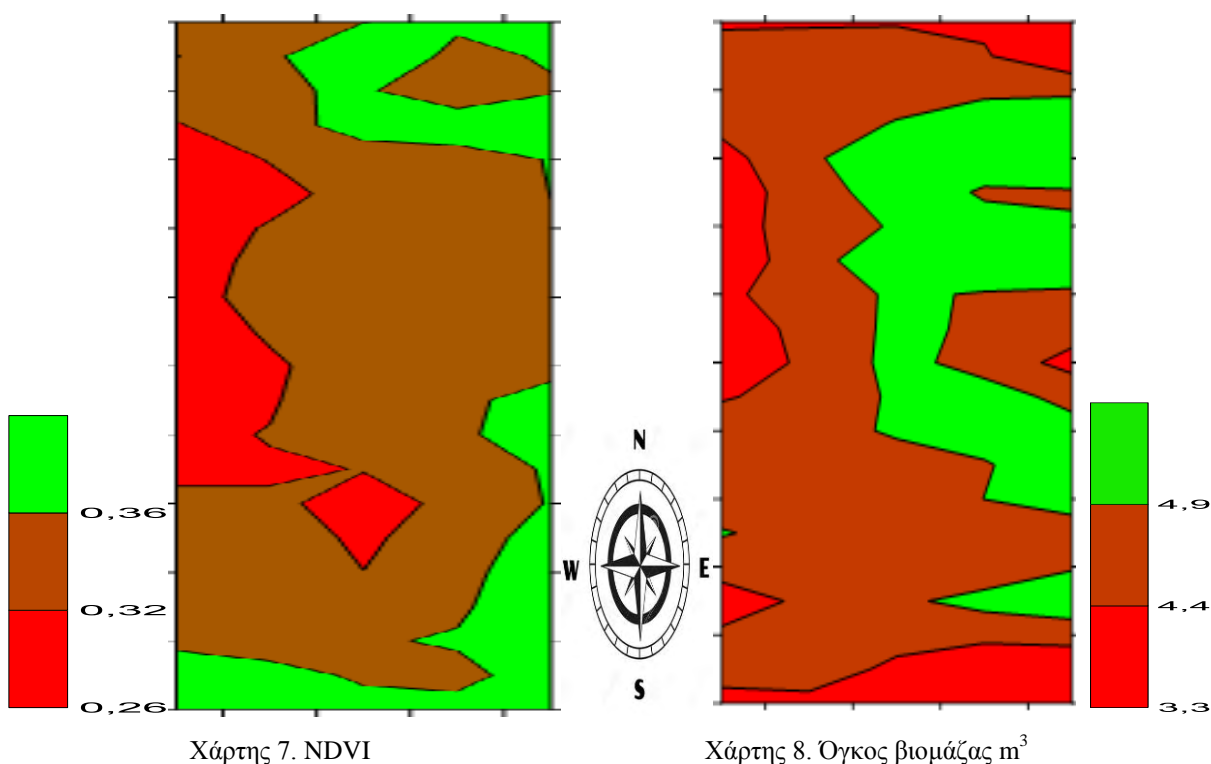
Στον Χάρτη 5 παρατηρούμε περιοχές με τιμές NDVI μεγαλύτερες του 0.74 παρουσιάζοντας κοινές τιμές με του μάρτυρα. Στις συγκεκριμένες περιοχές δεν χρειάζεται εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας λίπανσης. Επίσης, διακρίνονται περιοχές με τιμές NDVI μικρότερες του 0.74 από έως 0.7, όπου εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας επιφανειακής λίπανσης, θα βελτιώνει την ευρωστία των φυτών. Τέλος, διακρίνονται περιοχές με τιμές NDVI από 0.6 και μικρότερες του 0.7, όπου ακόμα μεγαλύτερη εφαρμογή επιφανειακής λίπανσης, θα βελτιώνει την ευρωστία των φυτών.

Οι υψηλότερες τιμές NDVI στον Χάρτη 5, διακρίνονται σε περιοχές προς τα βόρεια και δυτικά του χάρτη. Ενώ χαμηλές τιμές NDVI διακρίνονται στα ανατολικά. Στον Χάρτη 6 περιοχές με αυξημένο όγκο βιομάζας φυτών παρατηρούμε στα βόρεια και ανατολικά. Ενώ,

μικρότερο όγκο βιομάζας φυτών παρατηρούμε στα δυτικά και σε μια μικρή περιοχή στα νότια του χάρτη.

Συγκρίνοντας του 2 χάρτες, παρατηρούμε θετική συσχέτιση σε περιοχές για τις τιμές του NDVI σε σχέση με τον όγκο βιομάζας των φυτών. Όμως, στον Χάρτη 5 στα δυτικά παρατηρούμε υψηλές τιμές NDVI, αλλά ο όγκος βιομάζας των φυτών είναι μειωμένος. Επίσης, στα ανατολικά παρατηρούμε περιοχές όπου το NDVI παρουσιάζει μειωμένες τιμές, ενώ ο όγκος βιομάζας των φυτών στις ίδιες περιοχές εμφανίζεται αυξημένος ή μέτριος αντίστοιχα.

4.11.4 Μέτρηση NDVI και όγκου βιομάζας στις 10/05/2014



Η τιμή του μάρτυρα για το NDVI είναι **0,424** και αντιστοιχεί στο πράσινο χρώμα. Η τιμή του μάρτυρα για τον όγκο της βιομάζας των φυτών είναι **0,481** και αντιστοιχεί στο καφέ χρώμα στις κλάσεις του χάρτη.

Στον Χάρτη 7 παρατηρούμε περιοχές που βρίσκονται πάνω από 0.36 παρουσιάζοντας κοινές τιμές με του μάρτυρα. Στις συγκεκριμένες περιοχές δεν χρειάζεται εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας λίπανσης. Επίσης, διακρίνονται περιοχές με τιμές NDVI από 0.32 και μικρότερες του 0.36, όπου εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας επιφανειακής λίπανσης, θα βελτιώνει την ευρωστία των φυτών. Τέλος, διακρίνονται περιοχές με τιμές NDVI μικρότερες του 0.32 έως 0.26, όπου ακόμα μεγαλύτερη εφαρμογή επιφανειακής λίπανσης, θα βελτιώνει

την ευρωστία των φυτών. Στο Χάρτη 7 παρατηρούμε ότι για τον μήνα Μάιο οι τιμές του NDVI έχουν μειωθεί αρκετά.

Οι υψηλότερες τιμές του NDVI στον Χάρτη 7, διακρίνονται σε περιοχές προς τα βόρεια και νοτιοανατολικά του χάρτη. Ενώ μειωμένες τιμές του NDVI εμφανίζονται στα δυτικά του χάρτη. Στον Χάρτη 8 περιοχές με αυξημένο όγκο βιομάζας φυτών διακρίνονται στα ανατολικά. Ενώ μειωμένος όγκος βιομάζας φυτών παρατηρούμε σε περιοχές στα δυτικά, νότια και βορειοανατολικά.

5. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Αρχικά παρατηρώντας τις παραπάνω μετρήσεις (φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα ECa, NDVI και όγκου βιομάζας των φυτών), είναι δυνατό να παρέχεται μια καλύτερη εκτίμηση για τον αγρό αλλά και για την πορεία της καλλιέργειας.

Συγκρίνοντας το NDVI με την ECa παρατηρούμε περιοχές με αυξημένες αλλά και μειωμένες τιμές NDVI των φυτών. Παρατηρούμε ότι περιοχές με αυξημένες τιμές ECa παρουσιάζουν γονιμότερο έδαφος, όπου εμφανίζονται πιο εύρωστα φυτά με αυξημένο NDVI. Στα συγκεκριμένα σημεία όπου η ECa είναι αυξημένη είναι πιθανόν το έδαφος να είναι αργιλώδες, οπότε να εμφανίζεται καλύτερη συγκράτηση των θρεπτικών στοιχείων. Όμως, εμφανίζονται και περιοχές με αυξημένες τιμές ECa όπου τα φυτά δεν παρουσιάζουν αυξημένο NDVI. Στις συγκεκριμένες περιοχές είναι πιθανόν να είναι αυξημένη η υγρασία ή η συμπίεση του εδάφους, οπότε δεν ευνοείται η ομαλή ανάπτυξη των φυτών.

Συγκρίνοντας τους παραπάνω χάρτες παρατηρούμαι ότι σε κάποιες περιοχές όπου είναι αυξημένες οι τιμές του NDVI, παρουσιάζεται παράλληλη αύξηση του όγκου βιομάζας. Οπότε, στις περιοχές που παρουσιάζονται πιο εύρωστα φυτά λόγω αυξημένου NDVI παρουσιάζονται και φυτά με αυξημένο όγκο βιομάζας. Όμως, σε περιοχές με αυξημένο NDVI παρατηρούμε περιοχές με μειωμένο όγκο βιομάζας, πιθανώς να ευθύνονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Τα δεδομένα που αποτυπώνονται στους χάρτες μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την παραλλακτικότητα του αγρού και τις ανάγκες των φυτών, με σκοπό την καλύτερη διαχείριση των επιφανειακών λιπάνσεων. Παρατηρώντας τους χάρτες με το NDVI και συγκρίνοντας τους με τις τιμές του μάρτυρα, διακρίνονται περιοχές που εμφανίζουν εύρωστα φυτά, ενώ άλλες περιοχές εμφανίζουν φυτά με μειωμένη ευρωστία. Παρόλο που η λίπανση ήταν ομοιόμορφη για όλο τον αγρό, κάποιες περιοχές ήταν περισσότερο γόνιμες η συγκράτησαν καλύτερα το άζωτο από κάποιες άλλες. Οπότε, συγκρίνοντας τις περιοχές με

τον μάρτυρα και προτού εφαρμοστούν οι επιφανειακές λιπάνσεις, μπορούμε να εκτιμήσουμε τις ανάγκες και ελλείψεις των φυτών για εφαρμογή της κατάλληλης ποσότητας αζώτου.

Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες είναι δυνατόν ανάλογα με την ευρωστία των φυτών στον αγρό, να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης, όπου επρόκειτο να γίνουν διαφορετικές εφαρμογές λιπάνσεων ανάλογα με τις τιμές του NDVI. Εφαρμόζοντας τις μεθόδους Γεωργίας Ακριβείας με ένα σύστημα διαφοροποιημένης λίπανσης, είναι δυνατό να γίνει εφαρμογή της κατάλληλης ποσότητας λίπανσης εκεί όπου χρειάζεται. Το σύστημα θα διαβάζει τους παραπάνω χάρτες και με την βοήθεια του GPS θα αυξομειώνει την ποσότητα λίπανσης ανάλογα με τις τιμές του NDVI. Οπότε, σε περιοχές όπου οι τιμές του NDVI στον αγρό είναι στην ίδια κλάση με τις τιμές του μάρτυρα, δεν χρειάζεται να αυξήσουμε την ποσότητα λίπανσης που εφαρμόσαμε. Ενώ σε περιοχές όπου οι τιμές του NDVI του στον αγρό είναι χαμηλότερες από τις τιμές του μάρτυρα χρειάζεται να εφαρμόσουμε αυξημένη ποσότητα επιφανειακής λίπανσης. Οι εφαρμογές μπορεί να γίνουν την ίδια χρονιά προτού πραγματοποιηθεί η επιφανειακή λίπανση. Επίσης, εκ νέου την επόμενη χρονιά οι επιφανειακές λιπάνσεις μπορεί να προγραμματιστούν από την αρχή.

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιάσει η καλλιέργεια είναι πιθανό να είναι ευνοϊκότερα, συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα που παρατηρήσαμε παραπάνω. Σκοπός της εφαρμογής των μεθόδων της Γεωργίας Ακριβείας είναι η βελτίωση της πορείας της καλλιέργειας, η εξοικονόμηση λιπάσματος και η προστασία του περιβάλλοντος από τα νιτρικά.

5.1 Προτάσεις για τον παραγωγό

Είναι γεγονός ότι οι εισροές στην γεωργία έχουν αυξηθεί σημαντικά με αντίκτυπο την μείωση του γεωργικού εισοδήματος. Οι τιμές τις οποίες λαμβάνει ο παραγωγός πουλώντας το προϊόν του είναι χαμηλότερες ή οι ίδιες της προηγούμενης χρονιάς. Οπότε, η κάθε εφαρμογή και εισροή κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πρέπει να είναι μελετημένη.

Αρχικά, ο παραγωγός προτού προχωρήσει στην λίπανση της καλλιέργειας, πρέπει να πραγματοποιήσει δειγματοληψίες εδάφους στον αγρό και στην συνέχεια τα δείγματα να αναλύονται σε εδαφολογικά εργαστήρια. Η εδαφολογική ανάλυση αποτελεί την βάση για την εφαρμογή της λίπανσης της καλλιέργειας, σύμφωνα με τα στοιχεία που υπάρχουν στο έδαφος αλλά και τις ανάγκες τις καλλιέργειας. Τυχόν τροφωπενίες ή τοξικότητες θρεπτικών στοιχείων πρέπει να παρατηρούνται και να αντιμετωπίζονται με την συμβολή των γεωπόνων. Ακόμη, μπορεί να παρατηρηθεί η μηχανική σύσταση του εδάφους, η αγωγιμότητα, το ανθρακικό ασβέστιο η ποσότητα της οργανικής ουσίας, το pH του εδάφους και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι μπορεί να βοηθήσουν για την λίπανση της καλλιέργειας.

Η χαρτογράφηση της φαινόμενης εδαφικής αγωγιμότητας στον αγρό, μπορεί να βοηθήσει τον παραγωγό να παρατηρήσει τις ιδιαιτερότητες του χωραφιού. Μπορεί να παρατηρηθούν περιοχές με αυξημένη υγρασία ή ακόμα και περιοχές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συμπίεση στο έδαφος. Στις συγκεκριμένες περιοχές ο παραγωγός μπορεί να πραγματοποιήσει τις κατάλληλες ενέργειες, διότι το πρόβλημα που παρουσιάζεται δεν σχετίζεται με την εφαρμογή της λίπανσης.

Επίσης, με την μέτρηση του δείκτη NDVI, μπορεί να παρατηρηθεί η ευρωστία των φυτών και να διακριθεί η παραλλακτικότητα που παρουσιάζεται στον αγρό. Παρόλο που ο παραγωγός μπορεί να εφαρμόζει την ίδια ποσότητα λίπανσης στον αγρό, υπάρχουν περιοχές που δεν εμφανίζουν φυτά με την ίδια ευρωστία. Έπειτα, με την μέτρηση του όγκου βιομάζας σε συνδυασμό με το NDVI, ο παραγωγός μπορεί να δημιουργήσει ζώνες διαχείρισης, με σκοπό να εφαρμόσει τις σωστές ποσότητες λιπάσματος ανά ζώνη. Βασιζόμενος ο παραγωγός στους χάρτες μπορεί να σχεδιάσει εξ αρχής την εφαρμογή της επιφανειακής λίπανσης. Σε περιοχές που εμφανίζουν λιγότερο εύρωστα φυτά καλό είναι να αυξάνεται η ποσότητα λίπανσης. Διαφοροποιημένη λίπανση μπορεί να πραγματοποιηθεί την ίδια χρονιά ή την επόμενη χρονιά με εφαρμογή των μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας. Με τελικό σκοπό την αύξηση της παραγωγής για μέγιστο κέρδος, μειώνοντας τις περιττές ποσότητες λίπανση για μειωμένο κόστος εισροών και την προστασία του περιβάλλοντος από τα νιτρικά.

6. Βιβλιογραφία

1. Aggelopoulou, K., Wulfsohn, D., Fountas, S., Nanos, G., Gemtos, T., Blackmore, S., (2010). *Spatial variability of yield and quality in an apple orchard*. Precision Agriculture 11 (5), pp: 538–556.
2. Aggelopoulou, K., Fountas, S., Pateras, D., Nanos, G., Gemtos, T., (2011). *Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard*. Precision Agriculture 12 (1), pp: 118–1.
3. Aggelopoulou K, Castrignano S, Gemtos T, Benedetto D, (2012). *Delineation of management zones in an apple orchard in Greece using a multivariate approach*, Computers and Electronics in Agriculture 90. pp: 119–130.29.
4. Alley M. M., Scharf P, Brann D. E., , Baethgen W. E. and Hammons J. L., (2009). *Nitrogen Management for Winter Wheat: Principles and Recommendations Field Research Supervisor*. Virginia Tech 420-426.
5. Arnall, D.B., Edwards, J.T., Godsey, C.B., (2008). *Reference Strip Series: Applying Your Nitrogen-Rich and Ramped Calibration Strips*. Oklahoma Cooperative Extension Service. Current Report CR 2255. <<http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/ndsweb/Get/Document-5310/CR2255web.pdf>>.
6. Arregui, L.M., Quemada, M., (2008). *Strategies to improve nitrogen use efficiency in winter cereal crops under rainfed conditions*. Agron. J. 100, pp: 277–284.
7. Asseng, S., Foster, I., Turner, N.C., (2011). *The impact of temperature variability on wheat yields*. Global Change Biol. 17, pp: 997–1012.
8. Blackmore, S., Godwin, R.J., Fountas, S., (2003). *The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years*. Biosystems Engineering 84 (4), pp: 455–466.
9. Cao, Q., Cui, Z., Chen, X., Khosla, R., Dao, T.H., Miao, Y., (2012). *Quantifying spatial variability of indigenous nitrogen supply for precision nitrogen management in small scale farming*. Precis. Agric. 13, pp: 45–61.
10. Carter, L.M., Rhoades, J.D., and Chesson J.H., (1993). Mechanization of soil salinity assessment for mapping, ASAE Paper No. 931557, 1993 ASAE Winter Meetings, 12-17 December 1993, Chicago, IL, ASAE, ST. Joseph MI, 1993..
11. Celen, H., E. Klick and M. R. Durget. (2007). *Development of an automatic weed control system for sunflower*. Trans. AS.

12. Clarke, Keith C., (1997). *Getting Started with Geographic Information System*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
13. Clawson, E. L., Cothren, J. T. and Blouin, C. D. (2006). Nitrogen fertilization and yield of cotton in ultra-narrow and conventional row spacings. *Agron. J.* 98: 72–79.
14. Corwin D.L. & Plant R.E. (2005). *Applications of apparent soil electrical conductivity in precision agriculture*. Editorial. *Computers and Electronics in Agriculture* 46, pp: 1-10.
15. Corwin, D.L., Lesch, S.M., (2005). *Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture*. *Computer and Electronics in Agriculture*. 46: pp: 11–43.
16. Daberkow S.G. and McBride W.D. (2003). *Farm and Operator Characteristics Affecting the Awareness and Adoption of Precision Agriculture Technologies in the US*. *Precision Agriculture*, 4, pp: 162-177.
17. Dambreville, C., Morvan, T., Germon, J.-C. (2008). *N₂O emission in maize-crops fertilized with pig slurry, matured pig manure or ammonium nitrate in Brittany*. *Agr. Eosyst. Environ.* (2008), pp: 123, 201–210.
18. Dawson, J. C., Huggins, D. R., Jones, S. S. (2008). Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. Field Crops Research. Volume 107, Issue 2, 10 May 2008, Pages 89–101.
19. Diacono, M., Rubino, P., Montemurro, F., (2013). *Precision nitrogen management of wheat*. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, pp: 219–241.
20. Diker, K., Heermann, D.F., Brodahl, M.K., (2004). *Frequency analysis of yield for delin eating yield response zones*. *Precision Agriculture* 5, pp: 435–444.
21. Doerge T., (2001). *Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox*, Presented at the 2001 Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference, Madison, WI, January, pp:16-18.
22. Dorigo, W. Zurita-Milla, R. De Wit, A. Brazile, J. Singh, R. Schaepman, M. A. (2007). *Review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling*. *Int. J. Appl. Earth Obs.*, 9, pp: 165–193.
23. Fitzgerald, G.J., (2010). *Characterizing vegetation indices derived from active and passive sensors*. *Int. J. Remote Sens.* 31, pp: 4335–4348.
24. Eitel, J.U.H., Vierling, L.A., Long, D.S., (2010b). *Simultaneous measurements of plant structure and chlorophyll content in broadleaf saplings with a terrestrial laser scanner*. *Remote Sensing of Environment* 114, pp: 2229–2237.
25. Ehlert, D., Horn, H., Adamek, R., (2008). *Measuring crop biomass density by laser*

- triangulation*. Comput. Electron. Agric. 61, 117–125. Ehsani, M.R., Upadhyaya, S.K., Slaughter, D., Shafii, S., Pelletier.
26. Feng, W., X. Yao, Y. Tian, W. Cao and Y. Zhu (2008). *Monitoring leaf pigment status with hyperspectral remote sensing in wheat*. Aust J AgrRes 59(8): pp: 748-760.
 27. Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, K., Nanos, G.D., Wulfsohn, D., Gemtos, T.A., Paraskevopoulos, A., Galanis, M., (2010). *Site-specific management in an olive tree plantation*. Precision Agriculture.
 28. Fraisse, C.W., Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., (2001b). *Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity*. Transactions of the ASAE 44 (1), pp: 155–166.
 29. Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R., Lopez-Bellido, L., (2004). *Effects of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions*. Field Crops Res. 85, pp: 213–236.
 30. Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R., Lopez-Bellido, L., (2005). *Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization*. Eur. J. Agron. 23, pp: 265–278.
 31. Gemtos, T, Fountas, S., Blackmore, S., Greipentrog, H.W. (2002). *Precision farming experience in Europe and the Greek potential*. HAICTA Conference, Athens, June.
 32. Gemtos T., Markinos A., Toullos L., Pateras D. and Zerva G. A precision farming application in the small cotton farmers of Greece, ITAFE Conference, Izmir, Turkey, 7-9 October 2003.
 33. Geonics Limited, (2006). EM 38 Ground Conductivity Meter Operating Manual. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
 34. Girma K, Holtz S, Tubana B, Solie J, Raun W. (2010). *Nitrogen accumulation in shoots as a function of growth stage of corn and winter wheat*. Journal of Plant Nutrition, 34, pp: 165-182.
 35. Grisso, R, B., Alley, M., McClellan, P., (2005). Precision Farming Tools. Yield Monitor. *A Comprehensive Approach*. Virginia Cooperative Extension (VCE) publication 442-500.
 36. González-Fernández, P. (2004). *La fertilidad de los suelos y el abonado en la agricultura de conservación*. In Técnicas de Agricultura de Conservación; Gil-Ribes, J., Blanco, G., Rodríguez-Lizana, A., Eds.; Mundi-Prensa: Madrid, Spain, 2004.
 37. Guo, J., Wang, X., Meng, Z., Zhao, C., Yu, Z., Chen, L., (2008). *Study on diagnosing nitrogen nutrition status of corn using Greenseeker and SPAD meter*. Plant Nutr. Fertil. Sci., pp: 513.

38. Gutiérrez-Soto, M.V., Cadet-Piedra, E., Rodríguez-Montero, W., Araya-Alfaro, J.M., (2011). GreenSeeker and the diagnosis of crop health. *Agron. Mesoam.*, 22, pp: 397–40.
39. Haberle, J., Svoboda, P., Krejčová, J. (2006). *Uptake of mineral nitrogen from subsoil by winter wheat*. Research Institute of Crop Production, Prague-Ruzyne, Czech Republic.
40. Holland-Scientific, (2008). Crop Circle ACS-470 User's Guide, Lincoln, NE.
41. Hong, S.-D., Schepers, J.S., Francis, D.D., Schlemmer, M.R., (2007). *Comparison of ground-based remote sensors for evaluation of corn biomass affected by nitrogen stress*. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 38, pp: 2209–2226.
42. Hosoi, F., Omasa, K., (2009). *Estimating vertical plant area density profile and growth parameters of a wheat canopy at different growth stages using three dimensional portable lidar imaging*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 64, pp: 151–158.
43. Hossian, M.B., Lamb, D.W., Lockwood, P.V., Frazier, P., (2010). *EM-38 for Volumetric Soil Moisture Content in Deep Vertisol Soils*. *Computers and electronics in agriculture* 74, pp: 100-109.
44. Humphreys M.T., Raun W.R., Martin K.L., Freeman K.W., Johnson G. V. & Stone M.L. (2004). *Indirect Estimates of Soil Electrical Conductivity for Improved Prediction of Wheat Grain Yield*. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35 (17 & 18), pp: 2639–2653.
45. Johnson, C.K., Mortensen, D.A., Wienhold, B.J., Shanahan, J.F., Doran, J.W., (2003). *Site specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system*. *Agronomy Journal* 95, pp: 303–315.
46. Ju, X.T., Xing, G.X., Chen, X.P., Zhang, S.L., Zhang, L.J., Liu, X.J., Cui, Z.L., Yin, B., Christie, P., Zhu, Z.L., Zhang, F.S., (2009). *Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 106, pp: 3041–3046.
47. Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., (1999). *Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for clay pan soils*. *Journal of Production Agriculture* 12, pp: 607–617.
48. Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Lund, E.D., Sudduth, K.A., Buchleiter, G.W., (2003). *Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems*. *Agronomy Journal* 95, pp: 483–495.

49. Kristensen, H.L., Thorup-Kristensen, K., (2007). *Effects of vertical distribution of soil inorganic nitrogen on root growth and subsequent nitrogen uptake by field vegetable crops*. Soil Use. Manage. 23, pp: 338–347.
50. Lark, R.M., Stafford, J.V., (1997). *Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield*. Annals of Applied Biology 130, pp: 111–121.
51. Li, F., Miao, Y.X., Chen, X.P., Zhang, H.L., Jia, L.L., Bareth, G., (2010). *Estimating winter wheat biomass and nitrogen status using an active crop sensor*. Intel. Autom. Soft Comput. 16, pp: 1221–1230.
52. Liu, M.; Yu, Z.; Liu, Y.; Konijn, N.T (2006). *Fertilizer requirements for wheat and maize in China: The QUEFTS approach*. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 74, 245–258.
53. Long, D.S., Carlson, G.R., DeGloria, S.D., (1994). *Quality of field management maps*. In: Robert, P.C., Rust, R.H., Larson, W.E. (Eds.), Site-Specific Management for Agricultural Systems. 2nd Proc. Int. Conf., Minneapolis, MN, 27–30 March 1994. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, pp. 251–271.
54. Lopez-Bellido, L., L'opez-Bellido, R. J. and Redondo, R. (2005). *Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application*. Field Crop. Res. 94, pp: 86–97.
55. Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., Garcia-Torres, L., (2004). *Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive. (Olea europaea L.) orchards*. European Journal Agronomy 21, pp: 209–212.
56. Lumme, J., Karjalainen, M., Kaartinen, H., Kukko, A., Jaakkola, A., Kleemola, J., (2008). *Terrestrial Laser Scanning of Agricultural Crops*. In: The International Achieves of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial. Information Sciences, Vol. XXXXVII, Part B5 , Beijing 2008, pp. 563–566.
57. Malhi, S. S., Brandt, S., Hultgreen, G., Lafond, G., Lemke, R., Schoenau, J. J. and Wang, H. (2007). *Comparison of agronomic performance of N placement and formulation on wheat, canola and flax at four sites in Saskatchewan*. In Proceedings on Farming Moving Forward SSCA Annual Conference, 12–13 February, 2007, Saskatoon, Saskatchewan. Saskatchewan Soil Conservation Association. pp. 175–176.
58. Mann, K.K., Schumann, A.W., Obreza, T.A., (2010). *Delineating productivity zones in a citrus grove using citrus production tree growth and temporally stable soil data*. Journal of Precision Agriculture 12 (20).

59. Markinos, A.T., Gemtos, T.A., Pateras, D., Toullos, L., Zerva, G. and Papaeconomou, M. 2004. The influence of cotton variety in the calibration factor of a cotton yield monitor, 2nd HAICTA Conference.
60. McCloud P.R. and Gronwald R., (2007), Precision Agriculture: *NRCS Support for Emerging Technologies, Agronomy Technical Note No.1*, Viewed: December 11, 2012.
61. Miao, Y., Mulla, D.J., Hernandez, J.A., Wiebers, M., Robert, P.C., (2007). *Potential impact of precision nitrogen management on corn yield, protein content, and test weight*. Soil Sci. Soc. Am. J. 71, pp: 1490–1499.
62. Miao, Y., Stewart, B.A., Zhang, F., 2011. *Long-term experiments for sustainable nutrient management in China*. A review. Agron. Sustain. Dev. 31, pp: 397–414.
63. Morari, F., Castrignano, A., Pagliarin, C., (2009). Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. Computers and Electronics in Agriculture 69, 97– 107.
64. Mulla D., J., (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Biosystems engineering 114, pp: 358 - 371.
65. Nelson, R., Krabill, W., Tonelli, J., 1988. *Estimating forest biomass and volume using airborne laser data*. Remote Sens. Environ. 24 (2), pp: 247–267.
66. NTech Industries, I., 2007. GreenSeeker RT 100 Datasheet, Ukiah, California.
67. Oksanen, T. Estimating Operational Efficiency of Field Work Based on fields shape. Proceedings of the 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry, Aalto University, Espoo, Finland, 28–29 August 2013, pp. 202–206.
68. Paulus S., Schumann H., Kuhlmann H., Leon J., (2014). *High-precision laser scanning system for capturing 3D plant architecture and analysing growth of cereal plants*. bio systems engineering 121, pp: 1 -11.
69. Perry. , C.D., Sullivan, D.G., Ortiz, B.V., Rucker, K.S., Vellidis, G., (2007). *Developing Nematode Management Zones Using Soil EC Data*. ASAE Paper N. 071002.
70. Perry, E. M., Fitzgerald, G. J., Poole, N., Craig, S., Whitlock, A. (2012). Ndvi from active optical sensors as a measure of canopy cover and biomass, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS CONGRESS, 25 August- 01 September 2012, Melbourne, Australia.

71. Peteinatos, G.G., Weis, M. Andújar., D. Rueda Ayala, V., Gerhards, R., (2014). *Potential use of ground-based sensor technologies for weed detection*. Pest Manag. Sci, 70, pp: 190-199.
72. Pettigrew, W. T. and Adamczyk, J. J. (2006). *Nitrogen fertility and planting date effects on lint yield and CryIAc (Bt) endotoxin production*. Agron. J. 98: pp:691-697.
<http://www.wsi.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043474.pdf>.
73. Ping, J.L., Dobermann, A., (2003). Site specific management. *Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management*. Agronomy Journal 95, 1121–1131.
74. Polo, J.R.R., Sanz, R., Llorens, J., Arno, J. , Escola, A., Ribes-Dasi, M., Masip, J. , Camp, F., Gracia, F., Solanelles, F., Palleja, T., Val, L., Planas, S., Gil, E., Palac, J. (2009). *A tractor mounted scanning LIDAR for the non-destructive measurement of vegetative volume and surface area of tree-row plantations: A comparison with conventional destructive measurements*, Biosystems Engineering, 102, pp: 128–134.
75. Prasad, B., Carver, B.F., Stone, M.L., Babar, M.A., Raun, W.R., Klatt, A.R., (2007). *Potential use of spectral reflectance indices as a selection tool for grain yield in winter wheat under great plains conditions*. Crop Sci. 47, pp: 1426–1440.
76. Rabbany, E. A., (2002). "Introduction to GPS - The Global Positioning System" Artech House.
77. Feng W, Yao X, Zhu Y, Tian Y C, Cao W X. (2008). *Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat*. European Journal of Agronomy, 28, pp: 394-404.
78. Raun, W., Solie, J. Johnson, G. Stone., M. Lukina, E. Thomason., W. Schepers, J. (2001). *In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance*. Agron. J., 93, 131–138.
79. Raun, W.R., Solie, J.B., Taylor, R.K., Arnall, D.B., Mack, C.J., Edmonds, D.E., (2008). *Ramp calibration strip technology for determining midseason nitrogen rates in corn and wheat*. Agronomy Journal 100, pp: 1088–1093.
80. Scotford, I.M., Miller, P.C.H., (2004). *Estimating tiller density and leaf area index of winter wheat using spectral reflectance and ultrasonic sensing techniques*. Biosystems Engineering 89, 395–408.
81. Shaner D.L., Khosla R., Brodahl M.K., Buchleiter G.W. & Farahani H.J. (2008). How Well Does Zone Sampling Based on Soil Electrical Conductivity Maps Represent.

82. Shaver, T.M., Khosla, R., Westfall, D.G., (2010). Evaluation of two ground-based active crop canopy sensors in maize: growth stage, row spacing, and sensor movement speed. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 2101–2108.
83. Shearer J.P.F. et al. (1999), *Elements of Precision Agriculture: Basics of Yield Monitor Installation and Operation*, University of Kentucky College of Agriculture, Viewed: December 11, 2012.
- < http://www.bae.uky.edu/precag/PrecisionAg/Exten_pubs/pa1.pdf>.
84. Shirzadifar A. M., Loghavi M. and Raoufat M. H. (2013). Development and Evaluation of a Real Time Site-Specific Inter-Row Weed Management System. *Iran Agricultural Research*, Vol. 32, No. 2
85. Soil Variability. *Agronomy Journal* 100(5), 1472-1480.18), 2639–2653.
86. Skovby R.I, Bodin D. D., Thorup-Kristensen K. (2015). Winter wheat cultivars and nitrogen (N) fertilization—Effects on root growth, N uptake efficiency and N use efficiency. *Europ. J. Agronomy* 68 , 38–49.
87. Stafford J.V. (2000). Implementing precision agriculture in the 21st century, *Journal of Agricultural Engineering Research* 76 (3), 267-275.
88. Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S., Gemtos, T. (2012). Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture*. 14(1), pp: 18-39.
89. Tian, L., J. F. Reid and J. W. Hummel. (1999). Development of a precision sprayer for site- specific weed management. *Trans. ASAE* 42(4), pp: 893-900.
90. Tremblay, N., Wang, Z.J., Ma, B.L., Belec, C., Vigneault, P., (2009). *A comparison of crop data measured by two commercial sensors for variable-rate nitrogen application*. *Precis. Agric.* 10, pp: 145–161.
91. Trotter, M.G., Lamb, D.W., Donald, G.E., Schneider, D.A., (2010). *Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture*. *Crop and Pasture Science* 61, 389-398.
92. Villar, J. M. and Guillaumes, E. (2010). *Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen recovery in irrigated wheat on a calcareous soil*. *Spanish J. Agr. Res.* 8: pp: 1218– 1230.
93. Vrindts, E., Mouazen, A.M., Reyniers, M., Maertens, K., Maleki, M.R., Ramon, H., De Baerdemaeker, J., (2005). *Management zones based on correlation between soil compaction, yield and crop data*. *Biosystems Engineering* 92 (4), pp: 419–428.

94. Wang W, Yao X, Tian Y C, Liu X J, Ni J, Cao W X, Zhu Y. (2012). *Common spectral bands and optimum vegetation indices for monitoring leaf nitrogen accumulation in rice and wheat*. Journal of Integrative Agriculture, 11, pp:2001-2012.
95. Wei, J., Salyani, M., (2004). *Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics: Phase 1. Prototype development*. Trans. ASAE 47 (6), pp: 2101– 2107.
96. Wild, A. Elementos nutritivos en el suelo: Nitrógeno. *In Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russell*; En Wild, A., Ed.; Mundi-Prensa: Madrid, Spain,1992.
97. Yao, H. L., Tang, L., Tian, Brown, R. L., Bhatnagar, D., & Cleveland, T. E. (2010). *Using hyperspectral data in precision farming applications*. Ch. 25. In P. S. Thenkabail, J. G. Lyon, & A. Huete (Eds.), *Hyperspectral remote sensing of vegetation* (pp. 705). Boca Raton, FL CRC Press.
98. Yu, Q. G., Chen, Y. X., Ye, X. Z., Zhang, Q. L., Zhang, Z. J. and Tian, P. (2007). *Evaluation of nitrification inhibitor 3,4- dimethyl pyrazole phosphate on nitrogen leaching in undisturbed soil columns*. Chemosphere. 67: pp: 872–878.
99. Zaman, Q., Schuman, W.A., (2006). *Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance*. Precision Agriculture 7, pp: 45–63.
100. Zhang, H., Lan, Y., Lacey, R., Hoffman, W. C., Westbrook, J. K. (2011), *Spatial analysis of NDVI readings with different sampling densities*, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032, Vol. 54, pp: 349- 354.
101. Zhu Y, Zhou D, Yao X, Tian Y, Cao W. (2007). *Quantitative relationships of leaf nitrogen status to canopy spectral reflectance in rice*. Australian Journal of Agricultural Research, 58, pp: 1077-1085.
102. Zhu, Y. Yao, X. Tian, Y.C. Liu, X.J. Cao, W.X. (2008). *Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice*. Int. J. Appl. Earth Obs., 10, pp: 1–10.
103. Zogg M. J. (2002). GPS Basics Introduction to the system Application overview.

Ελληνική βιβλιογραφία

104. Αγγελοπούλου, Κ. 2008. Γεωργία ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων. Νέα Ιωνία, Βόλος, Διδακτορική διατριβή.

105. Δερμάνης, Αθανάσιος Α. 1999, Διαστημική Γεωδαισία και Γεωδυναμική GPS. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
106. Παπαοικονόμου Αγροχημικά ΑΒΕΕ, 2003 ,Οδηγός Γεωργίας Ακριβείας.
107. Τάνος, Α, Αγγελοπούλου, Σ. Φουντάς, Θ. Α. Γέμτος, Γ. Δ. Νάνος και Α. Χατζηνίκος. Ζώνες διαχείρισης βάσει χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. 5ο εθνικό συνέδριο γεωργικής μηχανικής 2007, πρακτικά.
108. Χατζηνίκος, Α. 2007. Ανάλυση της παραλλακτικότητας ποιοτικών και ποιοτικών παραμέτρων σε αμπελώνες της Ραψάνης Λάρισας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Πηγές από το διαδίκτυο

109. ΕΛΣΤΑΤ. 2014. Ελληνική Στατιστική Αρχή.
<http://www.statistics.gr>.
110. ΥΠΑΑΤ.2014 Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.
<http://www.minagric.gr>
111. <http://1 www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c04-s02.gr.html>
112. http://2 www.el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System
113. <http://3: www.environmental-studies.de/GPS/GPS-Control-segment/1.html>
114. <http://4 www.gis.com>
115. <http://5 www.esri.com>
116. <http://6 www.ag.ndsu.edu/pubs/ageng/machine/ae1445.pdf>