

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 2015-2016
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή:

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΒΥΝΟΠΟΙΗΣΙΜΟΥ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ
ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (GIS)



ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ Θ. ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γαρυφαλλιά Οικονόμου

ΑΘΗΝΑ 2018

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 2015-2016
ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΑ, ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΦΥΤΩΝ & ΓΕΩΡΓΙΚΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΑΣ

Μεταπτυχιακή Διατριβή:

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΒΥΝΟΠΟΙΗΣΙΜΟΥ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ
ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (GIS)

ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ Θ. ΙΩΑΝΝΗΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Γαρυφαλλιά Οικονόμου

ΑΘΗΝΑ 2018



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΙΚΙΛΙΩΝ ΒΥΝΟΠΟΙΗΣΙΜΟΥ ΚΡΙΘΑΡΙΟΥ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ
ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (GIS)»

ΘΩΜΟΠΟΥΛΟΣ Θ. ΙΩΑΝΝΗΣ

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Επιβλέπουσα: ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΓΑΡΥΦΑΛΛΙΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

Μέλος: ΚΑΛΥΒΑΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Μέλος: ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ ΣΤΥΛΙΑΝΗ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε συνδυασμό με την αξιοποίηση μη επανδρωμένων ελαφρών εναέριων οχημάτων (drones – UAV) για την χωρική απεικόνιση καλλιεργειών έχει δείξει ότι προσφέρει πολλές δυνατότητες για την παρακολούθηση αγρονομικών αλλά και περιβαντολογικών παραμέτρων. Η ταχύτητα, η ακρίβεια αλλά και η σχετική ευκολία με την οποία επιτυγχάνεται η εξαγωγή πληροφοριών, τα καθιστά εξαιρετικά χρήσιμα εργαλεία για την γεωργία ακριβείας. Σκοπός της μελέτης είναι η αξιοποίηση των UAV για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση των αγρονομικών χαρακτηριστικών ποικιλιών κριθαριού.

Για τους σκοπούς του πειράματος εγκαταστάθηκε καλλιέργεια κριθαριού σε έκταση 14 στρεμμάτων στη περιοχή του Ορχομενού Βοιωτίας. Η σπορά έγινε στις 4 Δεκεμβρίου 2015. Το πειραματικό σχέδιο που εφαρμόστηκε ήταν των τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με 4 επαναλήψεις και περιελάμβανε δύο παράγοντες: 9 ποικιλίες βυνοποιήσιμου κριθαριού και 2 διαφορετικούς τύπους άζωτούχου λιπάσματος (16-20-0, 20-20-0). Πραγματοποιήθηκαν 3 πτήσεις, με στόχο τη λήψη αεροφωτογραφιών, από μη επανδρωμένο εναέριο όχημα αποτελούμενο από ένα τετρακινητήριο ελικόπτερο (Phantom 2, DJI-Science and Technology Co., Ltd.) και το οποίο έφερε μια τροποποιημένη ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (Hero3+Black, GoPro Inc.). Η πρώτη πτήση έγινε κατά τη σπορά και ακολούθησαν δύο επιπλέον πτήσεις σε κρίσιμα φαινολογικά στάδια του κριθαριού, μία στο στάδιο του αδελφώματος και η τελευταία στο στάδιο του καλαμώματος. Μετά από δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε εδαφική ανάλυση για κάθε τεμάχιο η οποία αφορούσε το pH, τη μηχανική σύσταση, την περιεκτικότητα σε ασβέστιο, άζωτο και οργανική ουσία. Επιπλέον κατά τη συγκομιδή υπολογίστηκαν η συνολική στρεμματική απόδοση σε καρπό και ξηρή βιομάζα, ο δείκτης συγκομιδής (Harvest Index), το βάρος 1000 κόκκων, ο αριθμός στάχων ανά m^2 , και ο αριθμός των καρπών ανά στάχυ ανά πειραματικό τεμάχιο. Αναπτύχθηκε γεωβάση στην οποία καταχωρήθηκαν όλες οι εδαφολογικές αναλύσεις και οι αγρονομικές παρατηρήσεις καθώς και οι NDVI τιμές που υπολογίστηκαν μέσω των καταλλήλων επεξεργασιών των μηκών κύματος.

Σύμφωνα με την εδαφολογική ανάλυση, ο πειραματικός αγρός παρουσίασε διαφοροποίηση όσον αφορά την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (IAK), αλλά και την περιεκτικότητα του εδάφους σε άζωτο και οργανική ουσία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές του δείκτη NDVI συσχετίστηκαν θετικά κατά το αδελφωμα με τα περισσότερα συστατικά της απόδοσης. Κατά το καλάμωμα διατηρήθηκε η τάση που υπήρχε κατά το αδελφωμα και ιδιαίτερα για την στρεμματική απόδοση σε ξηρή βιομάζα και τον δείκτη συγκομιδής η θετική αυτή σχέση παρατηρείται εντονότερα. Ακόμα, ο δείκτης NDVI κατάφερε να διαχωρίσει με αποτελεσματικό τρόπο τις ποικιλίες μεταξύ τους ως προς τον γενετικά καθορισμένο χρωματισμό τους και να αναδείξει τους διαφορετικούς ρυθμούς ανάπτυξης τους. Τέλος παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική διάφορα όσον αφορά τον δείκτη NDVI και για τις δύο χρονικές περιόδους πτήσεων (αδελφωμα/καλάμωμα), σε σχέση με τους δυο διαφορετικούς τύπους N λίπανσης όπου εφαρμόστηκαν.

Η μελέτη αυτή καταδεικνύει τις προοπτικές που παρουσιάζουν δεδομένα υψηλής ανάλυσης που εξάγονται μέσω G.I.S. για τη συλλογή πολυφασματικών εικόνων και την χρήση του δείκτη NDVI, ως εργαλείο παρακολούθησης των φυτειών με σκοπό την έγκαιρη και ενδεικνυόμενη λήψη αποφάσεων στη γεωργική πρακτική.

ABSTRACT

The use of Geographical Information Systems (GIS) combined with unmanned aerial vehicles (drones – UAV) for the site specific monitoring of crops has many abilities to offer in monitoring agronomic, as well as environmental parameters. Their speed, accuracy and relatively easy data extraction are features that render UAVs especially useful tools in precision agriculture. The aim of this study is to utilize UAVs for the monitoring and assessment of agronomic characteristics in barley varieties.

For the purposes of the experiment, a barley cultivation was established in a 14-acre field in the area of Orchomenos, Viotia. Sowing took place on the 4th of December 2015. The experimental plan applied was the randomized complete blocks design with four repetitions and it involved two factors: 9 maltable barley varieties and 2 different types of nitrogen fertilizer (16-0-0, 20-0-0). To obtain the aerial images, three flights were realized by an unmanned aerial vehicle, which consisted of a four-propeller helicopter (Phantom 2, DJI-Science and Technology Co., Ltd.) equipped with a modified digital camera (Hero3+Black, GoPro Inc.). The first flight occurred during sowing, followed by two more flights in critical barley phenological stages, once over the tillering and finally over the booting. After acquiring samples, soil analysis was conducted for every plot, regarding pH, mechanical composition, as well as calcium, nitrogen and organic matter concentration. Furthermore, over the harvest the total area yield was calculated, along with the harvest index, the thousand kernel weight, the number of spikes per m², the number of kernels per spike and the dry biomass of plants per experimental plot. A geodatabase was developed, which contained all soil analyses and agronomic observations, as well as the NDVI values. According to the soil analysis, the experimental field differed in its cation exchange capacity, as well as its nitrogen and organic matter concentration.

The results demonstrated that the NDVI values correlate positively with the fruit and biomass yield, as well as with most of the agronomic traits, during the tillering period. The same trend was maintained during the booting stage and especially for the dry biomass yield and the harvest index, this positive correlation was more intense. Moreover, the NDVI index efficiently separated the different varieties as far as their genetically defined colouring is concerned and highlight the different development rates of maltable barley varieties. Finally, a statistically significant difference was observed in the NDVI index over both of the flight periods (tillering/booting), with regards to the two different types of phosphate fertilization applied.

This study demonstrates the prospects of high-definition data extraction through G.I.S. for the collection of multi-spectral images and the use of NDVI index, indicating that utilizing such means is a fast and reliable method to observe and assess agronomic parameters in cultivations.

Λέξεις κλειδιά : κριθάρι, άζωτο, γεωργία ακριβείας, γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα, μη επανδρωμένο εναέριο όχημα, ποικιλίες, δείκτης βλάστησης.

Keywords : barley, nitrogen, precision agriculture, G.I.S., NDVI, drone, cultivars

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πριν ξεκινήσω την παρουσίαση αυτής της μελέτης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γεωργίας του Γ.Π.Α. κ. Οικονόμου Γαρυφαλλιά, για την ανάθεση της παρούσας μελέτης, αλλά και για τις πολύτιμες υποδείξεις κατά την πραγματοποίησή της.

Επίσης επιβάλλεται να ευχαριστήσω τον κ. Καλύβα Διονύσιο, αναπληρωτή καθηγητή του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γενικής Χημείας του Γ.Π.Α., και υπεύθυνο της Ερευνητικής Μονάδας GIS, για την βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια τόσο των δειγματοληψιών όσο και της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Εν συνεχεία, ευχαριστώ τον κ. Μουστάκα Νικόλαο διευθυντή καθηγητή του εργαστηρίου Εδαφολογίας και Γενικής Χημείας του Γ.Π.Α., για την παραχώρηση χρήσης ειδικού εξοπλισμού, τον κ. Δάλλα Στυλιανό ΔΕ του ίδιου εργαστηρίου, για την σημαντική βοήθεια ως προς την διεκπεραίωση των εδαφολογικών αναλύσεων καθώς και τον Δρ. Παπαδόπουλο Αντώνη για την υποστήριξη του μέσω της λήψης και επεξεργασίας των εικόνων με τη χρήση του U.A.V..

Επιπρόσθετα επιθυμώ να ευχαριστήσω την κ. Χωριανοπούλου Στυλιανή επίκουρη καθηγήτρια του εργαστηρίου Μορφολογίας και Φυσιολογίας Φυτών, αφ' ενός για τη συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή, αφετέρου για την διάθεση χρόνου κατά την εξέταση και βαθμολόγηση της μελέτης.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή μου Βλάχο Χρήστο και τον Δρ. Βαχαμίδα Πέτρο για την πολύτιμη βοήθεια τους τόσο κατά την εκπόνηση του πειραματικού μέρους όσο και κατά την συγγραφή της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά όλη την οικογένεια μου και την Μαρία για την ηθική συμπαράσταση που μου πρόσφεραν απλόχερα σε όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. Η καλλιέργεια του κριθαριού.....	10
1.1.1. Καταγωγή και διάδοση της καλλιέργειας	10
1.1.2. Μορφολογικά Χαρακτηριστικά	12
1.1.3. Βυνοποιήσιμες ποικιλίες κριθαριού	14
1.1.3. Οικολογικές απαιτήσεις - Προσαρμοστικότητα.....	15
1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ	17
1.2.1. Προετοιμασία αγρού.....	17
1.2.2. Λίπανση	18
1.2.3.. Σχέση Αζώτου-Φυτού	20
1.2.4. Σπορά.....	22
1.3 ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	23
1.3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)	23
1.3.2 Χωρική Ανάλυση και Χωρική Παρεμβολή.....	23
1.3.3 Γεωργία Ακριβείας.....	25
1.3.4. Απεικόνιση μέσω τηλεπισκόπησης.....	28
1.3.5. Θεωρητικό υπόβαθρο δεικτών βλάστησης	30
1.3.6 Φυσιολογικές διεργασίες του φυτού και προσπίπτουσα ακτινοβολία.....	32
1.3.7 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)	35
1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	38
2.1 Πειραματικό σχέδιο	38
2.2 Κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης	40

2.3	Εδαφικές αναλύσεις και αγρονομικές παρατηρήσεις	41
2.4	Τρόπος λήψης φωτογραφιών με UAV	42
2.6	Γεωγραφική βάση δεδομένων	47
2.7	Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης	47
2.7.1	Μη χωρικές.....	47
2.7.2	Χωρικές.....	47
2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	48
3.1	Μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής	48
3.2	Ποσοτικά χαρακτηριστικά	50
3.2.1	Απόδοση σε καρπό.....	50
3.2.2	Απόδοση σε ξηρή βιομάζα	51
3.2.3	Δείκτης Συγκομιδής (Harvest Index)	53
3.2.4	Βάρος 1000 κόκκων.....	54
3.2.5	Αριθμός Στάχων ανά m ²	56
3.2.6	Αριθμός καρπών ανά στάχυ.....	57
3.3	Εδαφικές ιδιότητες και απεικόνισή τους μέσω χωρικής παρεμβολής.....	59
3.4	Δεδομένα δείκτη βλάστησης NDVI	64
3.5	Συσχέτιση των αποδοτικών χαρακτηριστικών με τον δείκτη βλάστησης NDVI	69
3.6	Απεικόνιση των τιμών NDVI για κάθε ποικιλία.....	71
3.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ	74
4.1	Η χρήση ψηφιακών αριθμών (Digital Numbers) για τον υπολογισμό του NDVI.....	75
4.2	Η διακριτική ικανότητα του δείκτη NDVI όσον αφορά την περιεκτικότητα των φυτών σε άζωτο	76
4.3	Η διακριτική ικανότητα του δείκτη NDVI όσον αφορά την απόδοση και τα συστατικά της.....	77
4.4	Διαχωρισμός των ποικιλιών με τη χρήση του NDVI.....	79
4.5	Η επίδραση του αζώτου στις τελικές αποδόσεις.....	80
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	82

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84
8.1 Ξενόγλωσση.....	84
8.2 Ελληνική	90
8.3 Ιστοσελίδες.....	91

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η καλλιέργεια του κριθαριού

1.1.1. Καταγωγή και διάδοση της καλλιέργειας.

Το κριθάρι (*Hordeum vulgare* L.) αποτελεί φυτικό είδος του γένους *Hordeum* και ανήκει στην οικογένεια Poaceae. Το καλλιεργούμενο κριθάρι θεωρείται ότι προήλθε από το άγριο είδος *Hordeum vulgare* L. subsp. *Spontaneum* (K. Koch) Thell., το οποίο φύεται ακόμα ως άγριο στη Μέση Ανατολή. Τόσο το άγριο όσο και το καλλιεργούμενο είδος είναι απλοειδή με $2n=24$ χρωμόσωμα. Το κριθάρι αποτελεί το δεύτερο σε σπουδαιότητα χειμερινό σιτηρά μετά το σιτάρι. Πρόκειται για ένα από τα πρώτα φυτά που καλλιεργήθηκαν από τον άνθρωπο και σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα η καλλιέργειά του ξεκίνησε την περίοδο 5.000-7.000 π.Χ. (Harlan, 1979) ή 10.000 χρόνια νωρίτερα, σύμφωνα με μια άλλη μελέτη (Wendorf κ.α., 1979). Κατά τον Νάβιλον, τα καλλιεργούμενα κριθάρια κατάγονται από δύο κύρια κέντρα: 1) τη Βορειοανατολική Αφρική και τις ορεινές περιοχές της Αβησσυνίας και 2) τη Νοτιοανατολική Ασία (Κίνα, Ιαπωνία και περιοχές γύρω από το Θιβέτ) (Χρηστίδης, 1963). Σύμφωνα με τον Wendorf (1979), η κοιλάδα του Νείλου θεωρείται ότι είναι ο πιο πιθανός ο τόπος καταγωγής του κριθαριού. Η παγκόσμια παραγόμενη ποσότητα του κριθαριού είναι αρκετά χαμηλότερη του σιταριού, ανερχόμενη περίπου στο ένα πέμπτο αυτής. Στην αρχαία Αίγυπτο το ψωμί από κριθάρι καθώς και η μπίρα που παράγεται από αυτό ήταν συνηθισμένα στις διατροφικές τους συνήθειες από το 3.200 π.χ. Ακόμα είναι γνωστή η παρασκευή χυλών και διαφόρων ειδών σούπας με αυτό.

Το κριθάρι αποτελεί το μόνο σιτηρό που καλλιεργείται σε τόσο μεγάλο εύρος περιοχών από άποψη κλιματολογικών συνθηκών και είναι γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παράγωγής του, λαμβάνεται από περιοχές όπου το κλίμα δεν είναι ευνοϊκό για αλλά σιτηρά. Η καλλιέργεια του είναι διαδεδομένη σε μικρά γεωγραφικά πλάτη όπως στην Ινδία σε 11° ΒΠ αλλά και στην Ινδονήσια όπου σε κάποια υψίπεδα της πλησιάζει ακόμα και τον Ισημερινό (Φασούλας, Σενλόγλου 1966). Επίσης καλλιεργείται και σε οάσεις σε περιοχές της Σαχάρας και σε αλατούχες περιοχές της Αυστραλίας εξαιτίας της μεγάλης αντοχής που παρουσιάζει στα άλατα. Ενώ, όπως αναφέρεται παραπάνω το κριθάρι κατάγεται από σχετικά θερμές περιοχές, η καλλιέργεια του συνηθίζεται και σε αρκετά μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και

υψόμετρα. Ως παραδείγματα αξίζουν να αναφερθούν η Σιβηρία όπου καλλιεργείται σε 68° ΒΠ, στη Νορβηγία σε 70° ΒΠ αλλά και στα Ιμαλάια σε υψόμετρο κοντά στα 5.000 m. Η δυνατότητα της καλλιέργειας του σε τέτοιες περιοχές σχετίζεται με την ιδιότητα αρκετών ποικιλιών του κριθαριού να ωριμάζουν σε 60-70 ημέρες και αν σπαρθούν κατά την άνοιξη μπορούν να αξιοποιούν περιοχές όπου η βλαστική τους περίοδος είναι μικρή.

Η παγκόσμια καλλιεργούμενη έκταση με κριθάρι ανήλθε το 2014 στα 490 εκατομμύρια στρ. με συνολική απόδοση 144 εκ. τόνους. Η μέση παγκόσμια απόδοση το 2014 ήταν περίπου 290 kg/στρ. Η Ευρώπη είναι η ήπειρος που κυριαρχεί στην παράγωγή κριθαριού με τη Ρωσία να ξεχωρίζει σημαντικά από τις υπόλοιπες χώρες. Το 2014 στην Ευρώπη καλλιεργήθηκε το 64.8% της παγκόσμιας παράγωγης κριθαριού με τη Ρωσία να παράγει 20 εκ. τόνους. Σε φθίνουσα σειρά οι χώρες που ακολούθησαν το 2014 είναι η Γαλλία, η Γερμανία, η Αυστραλία, η Ουκρανία, ο Καναδάς ενώ μικρότερες αλλά σημαντικές ποσότητες παρήχθησαν στην Τουρκία και στις ΗΠΑ (FAOSTAT 2014).

Στην χώρα μας το κριθάρι αποτελεί το δεύτερο σε σπουδαιότητα χειμερινό σιτηρά μετά από το σιτάρι. Τα τελευταία χρόνια έχει καταγράψει μικρή αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από τα 1.120.000 στρ το 2010, η καλλιεργούμενη έκταση αυξήθηκε σε 1.830.000 στρ. το 2014 (FAOSTAT 2014). Με την καλλιέργεια του κριθαριού αρκετοί παραγωγοί έχουν καταφέρει και έχουν εκμεταλλευτεί αρκετά χωράφια τα όποια θεωρούνται άγονα και αλατούχα και δύσκολα στην εγκατάσταση κάποιας άλλης καλλιέργειας. Η μέση απόδοση το 2014 ήταν 260 kg/στρ.

Η παγκόσμια παράγωγή του κριθαριού προβλέπεται ότι θα παραμείνει σε υψηλή επίπεδα και στο μέλλον, εξαιτίας των πολλών χρήσεων και της προσαρμοστικότητας αποχαρακτηρίζει το φυτό. Η στρεμματική απόδοση αυξήθηκε τα τελευταία χρόνια, όχι όμως με τον ίδιο ρυθμό που αυξήθηκε οι αποδόσεις του σιταριού ή και του καλαμποκιού. Χρειάζεται στο μέλλον αρκετή έρευνα για την δημιουργία παραγωγικότερων ποικιλιών.

1.1.2. Μορφολογικά Χαρακτηριστικά

Το κριθάρι δεν παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα στην μορφή του (Εικ. 1.1.2.), όπως το σιτάρι, αλλά ακολουθεί την τυπική αύξηση και ανάπτυξη των χειμερινών σιτηρών. Χαρακτηριστικό του κριθαριού είναι τα μεγάλα ωτίδια στο σημείο που συνδέεται το έλασμα με τον κολεό και τα όποια το διαφοροποιούν από τα υπόλοιπα χειμερινά σιτηρά. Το ανώτερο φύλλο είναι μικρότερο από όλα τα αλλά, σε αντίθεση με το σιτάρι και σε κάποιες ποικιλίες είναι συνεστραμμένο.

Η ταξιανθία του είναι στάχυς με τρία σταχύδια σε κάθε άρθρωση της ράχης. Κάθε σταχύδιο έχει δυο τριχοειδή εξωτερικά λέπυρα και δυο εσωτερικά λέπυρα (τον χιτώνα και τη λεπίδα), τα όποια κατά την ωρίμανση είτε παραμένουν προσκολλημένα στο σπόρο (ντυμένος) ή αποχωρίζονται από αυτόν (γυμνός). Όταν μόνο το μεσαίο σταχύδιο κάθε θέσης είναι γόνιμο, τότε το κριθάρι αναφέρεται ως δίστοιχο, ενώ όταν και τα τρία στασιδία έχουν γόνιμα αντίδια αναφέρεται ως εξάστιχο. Στις περιπτώσεις όπου ο ταχύς είναι αραιός, είναι δυνατόν τα δυο ακραία σταχύδια κάθε κόμβου να σκεπάζονται μερικώς από τα αντίστοιχα του επόμενου κόμβου και έτσι να διακρίνονται τέσσερις στήλες κόκκων. Το άκρο του χιτώνα στις περισσότερες ποικιλίες καταλήγει σε άγανο. Σε ορισμένες ποικιλίες το αγανό έχει αντικατασταθεί από δισχιδές λοφίο. Οι σταγανοφόρες ποικιλίες θεωρούνται ως οι πιο παραγωγικές.

Η ράχη στο κριθάρι έχει 10-30 κόμβους και το δύστυχο κριθάρι μπορεί να έχει 25-30 σπόρους και το εξάστιχο 25-60. Οι δίστοιχες ποικιλίες τείνουν να σχηματίζουν περισσότερα παραγωγικά αδέλφια, όποτε οι αποδόσεις δύστυχων και εξάστιχων ποικιλιών τείνουν να είναι παρόμοιες.

Το κριθάρι είναι ένα αυστηρά αυτογονιμοποιούμενο φυτό. Η επικονίαση στις περισσότερες ποικιλίες λαμβάνει χώρα όταν ο στάχυς δεν έχει εκπτυχθεί πλήρως από τον κολεό του τελευταίου φύλλου. Σε ορισμένες ποικιλίες μάλιστα κατά την ωρίμανση ένα μέρος του στάχου βρίσκεται ακόμα μέσα στον κολεό. Ο καρπός που παράγεται είναι καρύωση. Οι καρποί των εξάστιχων ποικιλιών μπορεί να είναι λιγότεροι ομοιόμορφοι σε μέγεθος σε σχέση με εκείνους των δύστυχων. Ο λόγος είναι ότι οι εξωτερικοί σπόροι στο εξάστιχο τείνουν να συστρέφονται καθώς αναπτύσσονται. Αυτή η συστροφή δημιουργεί ανόμοιους σπόρους ως προς το μέγεθος. Στις νεότερες ποικιλίες αυτό το φαινόμενο έχει αντιμετωπίσει. Ο σπόρος έχει κανονικό ατρακτοειδές σχήμα και το έμβρυο είναι τοποθετημένο προς την κοιλιακή πλευρά.

Το κριθάρι μπορεί να διακριθεί σε διαφορετικούς τύπους με βάση την αγρονομική και μορφολογική άποψη καθώς και την χρήση για την οποία προορίζεται. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με τα εξής κριτήρια :

- Αριθμός σειρών σπόρων στο στάχυ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί αφορά το διαχωρισμό μεταξύ δίστοιχου και εξάστοιχου κριθαριού.
- Υπαρξη ή όχι αγάνων. Οι περισσότερες ποικιλίες παράγουν σπόρο με αγανό αλλά υπάρχουν και κάποιες που είναι μη αγανοφόρες.
- Χρώμα αλευρώνης. Καθορίζει το χρώμα του σπόρου που κυμαίνεται μεταξύ λευκό, κίτρινο, μπλε ή και τελείως άχρωμο.
- Προσκόλληση λεπύρων με τον κόκκο. Στην πλειονότητα των ποικιλιών ο χιτώνας και η λεπίδα είναι κολλημένα με τον κόκκο (επιθυμητό για κριθάρι ζυθοποιίας). Υπάρχουν και ποικιλίες των οποίων τα λέπυρα αποχωρίζονται από τον κόκκο κατά των αλωνισμό και η καλλιέργεια τους προορίζεται για τη διατροφή του ανθρώπου.
- Χρήσεις. Οι ποικιλίες διακρίνονται σε κτηνοτροφικές, ζυθοποιίας αλλά και διπλής κατεύθυνσης που χρησιμοποιούνται και για τα δυο. Στις ευρωπαϊκές χώρες, οι ποικιλίες που χρησιμοποιούνται για παράγωγη μύρας είναι κατά κανόνα δύστυχες, ενώ στις ΗΠΑ κυρίως εξάστοιχες.

Γενικότερα οι διαφορές ποικιλίες του κριθαριού μπορούν να διακριθούν και με βάση αλλά χαρακτηριστικά, που συναντιούνται και σε πολλές άλλες καλλιέργειες, όπως η αντοχή στην αλατότητα, σε διάφορους εχθρούς και ασθένειες, στο ύψος των, αντοχή στη ξηρασία κ.α. Πιο συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί ότι κοντόσωμες ποικιλίες παρουσιάζουν οψιμιση αλλά και ευαισθησία σε ασθένειες (Stoskopf 1985). Ποικιλίες με μια μεση σταθερότητα στο ύψος έδειξαν να έχουν υψηλές αποδόσεις και σε ευνοϊκές αλλά και σε δυσμενείς συνθήκες (Μπλαδενόπουλος 2002).

1.1.3. Βυνοποιήσιμες ποικιλίες κριθαριού

Το κριθάρι αποτελεί ένα ιδανικό δημητριακό, κατάλληλο για την παράγωγή ζύθου. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη συγκέντρωση υδρολυτικών ενζύμων που παράγονται κατά την διαδικασία βυνοποίησης του. Επιπλέον ο εξωτερικός φλοιός δρα ως σημαντικός ανοσοποιητικός παράγοντας. Το πλεονέκτημα που έχει το κριθάρι σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σιτηρά, ως προς την ζυθοποίηση, έγινε αντιληπτό νωρίς από τους αρχαίους πολιτισμούς, όπως αυτό διαφαίνεται από ευρήματα στις περιοχές της Αιγύπτου, Μεσοποτάμιας αλλά και Ελλάδος. Από τότε γινόταν συνεχής επιλογή των καταλληλότερων ποικιλιών και πληθυσμών κριθαριού, ώστε να γίνει πλήρως εκμεταλλεύσιμη η ιδιότητα του κριθαριού που το καθιστά ιδανικό για ζυθοποίηση. Ο Βαυαρικός Νομός Αγρότητας (1516 μ.Χ.) ήταν αυτός που επιτάχυνε αυτή τη διαδικασία, καθιστώντας το κριθάρι βυνοποίησης την μοναδική πηγή δημητριακών για την παράγωγή μύζας. Από τότε έχει γίνει μεγάλη πρόοδος για την βελτίωση των βυνοποιήσιμων χαρακτηριστικών του κριθαριού όπως τη αμυλούχο σύστασή του, το ενζυμικό δυναμικό των καρπών αλλά και σχετικά με τεχνολογικές ιδιότητες που το καθιστούν κατάλληλο για ζυθοποίηση.

Τα επιθυμητά για την βυνοζυθοποιία ποιοτικά χαρακτηριστικά του κριθαριού σχετίζονται κυρίως με τη βλαστική του ικανότητα και την περιεκτικότητα του ενδοσπερμίου σε άμυλο και αζωτούχες ουσίες (Καραμάνος 2008, Esslinger 2006).

Πιο συγκεκριμένα :

- Βλαστική Ικανότητα. Οι σπόροι πρέπει να έχουν υψηλή βλαστική ικανότητα (96%), ταχύτητα και ομοιομορφία φυτρώματος.
- Αλευρώδες ενδοσπέρμιο. Το ενδοσπέρμιο πρέπει να είναι αλευρώδες και όχι υαλώδες. Το αλευρώδες ενδοσπέρμιο σχετίζεται με ευκολότερη διάσπαση και μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άμυλο.
- Περιεκτικότητα σε άζωτο. Δεν είναι επιθυμητή η υψηλή περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο, γιατί συνεπάγεται τη μείωση του ολικού ποσού των υδατανθράκων ενώ παράλληλα αυξάνει την περιεκτικότητα του τελικού εκχυλίσματος σε ανεπιθύμητες αζωτούχες ουσίες.

- Μέγεθος καρπών. Το μέγεθος καρπών (βάρος 1000 κόκκων) είναι ενδεικτικό της αποδοτικότητας σε βύνη. Μικρότεροι καρποί σχετίζονται με χαμηλότερο ποσοστό γέμισματος και επομένως μικρή περιεκτικότητα σε άμυλο που είναι ανεπιθύμητο.
- Γέμισμα καρπών. Βαθμιαίο και παρατεταμένο γέμισμα συνεπάγεται υψηλή ποιότητα καρπών λόγω μεγαλύτερης ποσότητας αμύλου.

Το κριθάρι αποτελεί τη σημαντικότερη πρώτη υλη για την παράγωγη μύρας. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες κριθαριού που χρησιμοποιούνται για αυτό το σκοπό. Μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι καταγεγραμμένοι περίπου 300 ποικιλίες ανοιξιάτικου κριθαριού, 100 ποικιλίες δίστοιχου χειμερινού και 100 ποικιλίες εξάστοιχου χειμερινού κριθαριού. Αυτό και μόνο δείχνει την διαφορετικότητά τους. Για τον σκοπό της βυνοποίησης το δίστοιχο είναι το πλέον κατάλληλο. Κυρίως χρησιμοποιείται το Ανοιξιάτικο κριθάρι αν και τα τελευταία χρόνια έχουν βελτιωθεί πολύ οι ιδιότητες του χειμερινού γεγονός που το έχει οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής για τη χρήση στη ζυθοποιία. Όσον αφορά τις ποικιλίες του κριθαριού που καλλιεργούνται για την χρήση τους στη ζυθοποιία είναι πάρα πολλές και ποικίλουν ανά περιοχή. Στην Ευρώπη κάποιες χαρακτηριστικές ποικιλίες είναι Quench, NFC Tipple, Sebastian, Propino, Odyssey, Concerto, Overture, Belgravia.

1.1.3. Οικολογικές απαιτήσεις - Προσαρμοστικότητα

Η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία φυτρώνει το κριθάρι είναι 3-4°C και η άριστη 20°C. Παρουσιάζει μικρότερη αντοχή στο κρύο σε σχέση με το σιτάρι. Ειδικότερα, παρατεταμένες θερμοκρασίες γύρω στους -8°C προκαλούν πάγωμα των φύλλων ενώ χαμηλότερες που κυμαίνονται από -12°C έως -15°C καταστρέφουν ολόκληρο το φυτευτότα καλύπτεται από χιόνι παρουσιάζει αντοχή μέχρι και στους -30°C. Οι φθινοπωρινές ποικιλίες όπως είναι αναμενόμενο είναι πιο ανθεκτικές στις χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τις ανοιξιάτικες. Για την χώρα μας, στην ανοιξιάτικη σπορά οι θερμοκρασίες δεν πέφτουν αρκετά χαμηλά για να προκαλέσουν κάποιο μη αναστρέψιμο πρόβλημα στα φυτά. Σε περιπτώσεις που καταστραφούν τα φύλλα, γίνεται αναβλάστηση από τους οφθαλμούς της στεφάνης που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

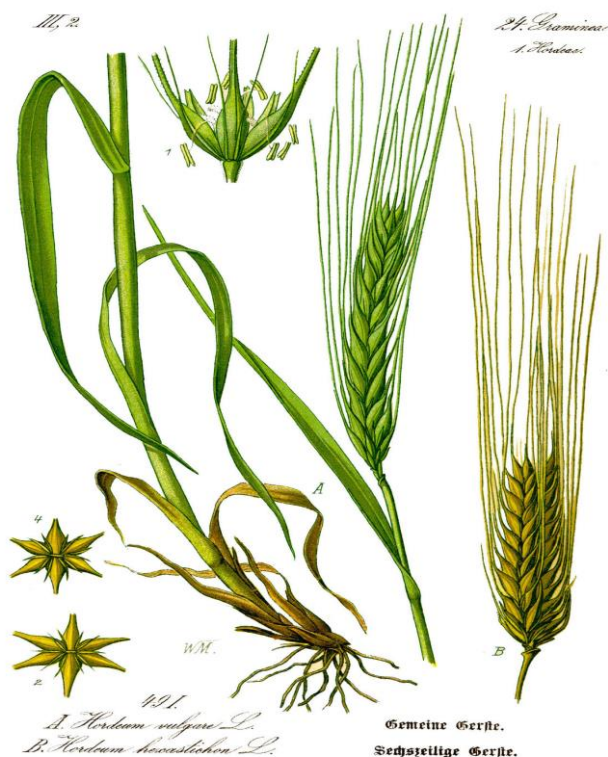
Το κριθάρι δεν αντέχει πολύ στην ξηρασία και αναπτύσσεται καλύτερα σε περιοχές με μέτριες, παρά άφθονες βροχοπτώσεις. Η ικανότητα του αυτή να αποδίδει καλά σε ξηροδερμίες συνθήκες οφείλεται στην αποφυγή της περιόδου ξηρασίας της προωμότητας του και όχι λόγω της αντοχής του στην ξηρασία. Για αυτό το λόγο αποτελεί ένα υπερπολυτελή φυτό για ξηροδερμία μεσογειακά κλίματα. Έλλειψη νερού κατά την περίοδο του αδελφώματος και του ξεσταχυάσματος μειώνει τον αριθμό των σπόρων που θα παραχθούν, ενώ αν παρουσιαστεί και μετά το ξεστάχυασμα μειώνει και το βάρος των σπόρων. Σε περιοχές με μειωμένες βροχοπτώσεις το κριθάρι έχει δείξει ότι αντιδρά θετικά σε συμπληρωματική άρδευση και μπορεί να δώσει μέχρι και διπλάσιες αποδόσεις.

Προσαρμόζεται καλύτερα σε βαθιά, πηλώδη εδάφη, με καλή αποστράγγιση και με pH 6 με 8. Η υψηλή γονιμότητα του εδάφους δεν βοηθά την καλλιέργεια, προκαλεί μεγάλη ανάπτυξη των φυτών που έχει σαν αποτέλεσμα ευκολότερο πλάγιασμα. Το κριθάρι είναι αρκετά ευαίσθητο στην οξύτητα του εδάφους, όπως σχεδόν όλα τα χειμερινά σιτηρά, είναι όμως το πιο ανθεκτικό στην αλατότητα και την αλκαλικότητα του εδάφους.

Όσον αφορά τα ζιζάνια το κριθάρι έχει τη δυνατότητα να τα ανταγωνίζεται με μεγάλη αποτελεσματικότητα. Αυτό οφείλεται στην ταχυτάτη ανάπτυξη του κριθαριού, καθώς και στην υψηλή αλληλοπαθητική του ιδιότητα που το χαρακτηρίζει. Η αλληλοπαθητική του δράση βεβαία και κατά συνέπεια η αντοχή του στα ζιζάνια διαφέρει μεταξύ των ποικιλιών, γεγονός που θα πρέπει να υπολογίζουν οι καλλιεργητές για τη σωστή επιλογή ποικιλιών ανάλογα με τη ζιζανιοχλωρίδα του αγρού τους, αλλά το οποίο αποτελεί και πεδίο μελέτης των βελτιωτών για την παράγωγή ανθεκτικότερων ποικιλιών. Τα διεθνή δεδομένα σχετικά με την αλληλοπάθεια του κριθαριού (Martin και Rademacher, 1960. Overland, 1966. Putnam και DeFrank, 1979, 1983. Steinsiek κ.ά., 1982. Liebl και Worsham, 1983. Shilling, Liebl και Worsham, 1985. Purvis, Jessop και Lovett, 1985. Rosenthal, Maddox και Brenetti, 1985) δείχνουν ότι η καλλιέργεια του αναστέλλει το φύτεμα των σπόρων διαφόρων ζιζανίων, την αύξηση και τη σποροπαραγωγή τους εξαιτίας και της έκκρισης στην περιοχή ανάπτυξης του διαφόρων αλληλοπαθητικών ουσιών.

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι για την παράγωγή καλής ποιότητας κριθαριού ζυθοποιίας, είναι απαραίτητες παρατεταμένες συνθήκες ανάπτυξης, (μέτριες θερμοκρασίες και αρκετή υγρασία εδάφους) κατά τη διάρκεια γεμίσματος

των σπόρων. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι σπόροι γίνονται μεγαλύτεροι και συγκεντρώνουν χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεϊνικά προϊόντα, που είναι επιθυμητά για τη ζυθοποιία. Αντίθετα οι ξηροθερμικές συνθήκες την άνοιξη, κατά τις οποίες η υγρασία του εδάφους μειώνεται προοδευτικά, βελτιώνουν τη ποιότητα του κριθαριού που προορίζεται για ζωοτροφή, αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη.



Εικόνα 1.1.2. : Μορφολογικά χαρακτηριστικά του κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.).

1.2 ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΤΙΚΗ ΤΕΧΝΙΚΗ

Το κριθάρι δεν διαφέρει σημαντικά από τα υπόλοιπα σιτηρά ως προς τη προετοιμασία του εδάφους για την σπορά, τον έλεγχο των ζιζανίων και την άρδευση.

1.2.1. Προετοιμασία αγρού

Ο αριθμός, το είδος και η εποχή εκτέλεσης των οργωμάτων έτσι ώστε το χωράφι να καταστεί κατάλληλο για σπορά, εξαρτάται από την προηγούμενη καλλιέργεια, τα ζιζάνια που πιθανώς εμφανίζονται καθώς και την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους. Βασική αρχή είναι το έδαφος πριν τη σπορά να έχει βλωώδη μορφή και να μην είναι κονιορτοποιημένο. Με αυτό το τρόπο εξασφαλίζεται προστασία των φυταρίων από ψυχρούς ανέμους και αποφεύγεται ο σχηματισμός επιφανειακής κρούστας.

Συνήθως το πρώτο όργωμα εφαρμόζεται μαζί με τις πρώτες φθινοπωρινές βροχές. Εάν έχει προηγηθεί φθινοπωρινό φυτό τότε μια μέτρια αναστροφή του εδάφους για να ενσωματωθούν τα υπολείμματα και για την καταστροφή των ζιζανίων ενδείκνυται. Μετά από ανοιξιάτικη ή επίσπορη καλλιέργεια θα πρέπει σε σύντομο χρονικό διάστημα να κοπούν και να ενσωματωθούν τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας καθώς και να αποκτήσει το χωράφι κατάλληλη ύψη.

Μετά τα οργώματα και πριν τη σπορά θα εξακολουθήσει επεξεργασία με καλλιεργητή για να ενσωματωθεί το λίπασμα και την καταστροφή ζιζανίων που μόλις έχουν αρχίσει να εκφύονται.

1.2.2. Λίπανση

Ως γενικός κανόνας ισχύει ότι το κριθάρι παρουσιάζει πανόμοια πορεία απορρόφησης με τα υπόλοιπα χειμερινά σιτηρά. Άζωτο και φώσφορος απορροφούνται συνεχώς μέχρι την ωρίμανση και παρατηρείται μια συσσώρευση τους στους στάχεις. Το κάλιο απορροφάται μέχρι και λίγο μετά το ξεστάχυσμα.

Αναλυτικότερα, αζωτούχος λίπανση στο κριθάρι θεωρείται απαραίτητη σε άγονα εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία. Οικονομία σε αζωτούχο λίπανση μπορεί να επιτευχθεί αν η προηγούμενη καλλιέργεια ήταν κάποιο ψυχανθές, όπου μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την αζωτοδεσμευτική του ιδιότητα με ενσωμάτωση των υπολειμμάτων στο έδαφος. Γενικότερα, το ποσό της αζωτούχου λίπανσης που μπορεί να αφομοιωθεί από το φυτό εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως από την εδαφική υγρασία. Με υψηλή εδαφική υγρασία η αξιοποίηση του αζώτου γίνεται ευκολότερα. Χρειάζεται όμως προσοχή γιατί με υπερβολική λίπανση, ιδιαίτερα σε υγρά εδάφη, παρουσιάζεται πρόβλημα πλαγιάσματος των φυτών. Ακόμα η περίσσεια αζώτου είναι πολύ πιθανό να αυξήσει την περιεκτικότητα των κόκκων σε πρωτεΐνη, κάτι που είναι ανεπιθύμητο στα κριθάρια ζυθοποιίας (Μπλαδενόπουλος και Κουτρούμπας 2003) αλλά επιθυμητό μέχρι ενός σημείου σε κριθάρια που προορίζονται για κτηνοτροφία (Γαλανοπούλου 2003). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία για παράγωγη περίπου 35 kg σπόρου κριθαριού θα χρειαστεί 1 kg N (Fageria κ.α. 1991). Βεβαία η συνιστώμενη ποσότητα λίπανσης θα πρέπει να καθορίζεται πάντα αφού εξετασθούν η εδαφική υγρασία και το ποσό του αζώτου που ήδη περιέχεται στο έδαφος. Στη χώρα μας οι ποικιλίες που καλλιεργούνται μπορούν να αξιοποιήσουν από 7 έως 11 kg N/στρ. με τις μικρότερες

ποσότητες να εφαρμόζονται σε εδάφη με χαμηλή υγρασία έτσι ώστε να πιο εύκολα αφομοιώσιμες (Οικονόμου και Θεουλάκη 1992).

Όσον αφορά το φώσφορο, η επάρκεια του βοήθα σημαντικά στο καλό γέμισμα των καρπών και συσχετίζεται με υψηλότερο εκχύλισμα βύνης. Επιπροσθέτως, προωμίζει την καλλιέργεια και δρα συνεργατικά με το άζωτο ως προς το όφελος του φυτού (Καραμάνος 1987). Οι συνιστώμενες δόσεις κυμαίνονται μεταξύ 4 και 6 kg/στρ. Πιθανόν είναι όμως να μην χρειαστεί και καθόλου προσθήκη σε εδάφη που κατ' εξακολούθηση δέχονταν φωσφορική λίπανση.

Το κάλιο θεωρείται απαραίτητο ιδιαίτερα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης και διασφαλίζει τον ομαλό μεταβολισμό των ζαχάρων και την ιοντική τους ισορροπία στους ιστούς. Στη χωρά μας τα εδάφη στην πλειοψηφία τους παρουσιάζουν επάρκεια αζώτου και σπάνια θα χρειαστεί η προσθήκη λιπάσματος. Ωστόσο σε ελλειμματικά εδάφη η ποσότητα που συνίσταται είναι 5 με 10 kg/στρ.

Ακολουθεί πίνακας με τη μέγιστη περιεκτικότητα φυτειών κριθαριού στα κύρια μακροστοιχεία καθώς και την αντίστοιχη περιεκτικότητα των καρπών.

Πίνακας 1.2.2. : Ολική περιεκτικότητα και περιεκτικότητα των καρπών στα βασικά θρεπτικά στοιχεία.

Θρεπτικά στοιχεία	Περιεκτικότητα (kg/στρ.)	
	Ολική	Καρπών
Άζωτο	9 - 13.7	7 - 10.4
Φώσφορος	1.8 - 2.2	1.4 - 1.7
Κάλιο	15.6 - 17.4	2.2 - 2.9

1.2.3.. Σχέση Αζώτου-Φυτού

Το άζωτο αποτελεί τον πιο περιοριστικό παράγοντα στο σύνολο της αγροτικής παραγωγής ανά τον κόσμο. Το κριθάρι αντιδρά θετικά στην προσθήκη αζώτου όταν η υγρασία δεν είναι περιοριστικός παράγοντας. Οι Alessi και Power (1973) αναφέρουν ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ λίπανσης, ποικιλίας και περιβάλλοντος που οδηγεί στην διαφοροποίηση της απόδοσης σε καρπό και της ποιότητας του σπόρου. Η αζωτούχος λίπανση είναι συνάρτηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής και κυρίως της διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία του εδάφους τόσο περισσότερο άζωτο αξιοποιείται από τα φυτά.

Το άζωτο, αν και επηρεάζει διαφορές διεργασίες εντός του φυτού, συμβάλλει στην αύξηση του φυτού κυρίως μέσω της φωτοσύνθεσης. Η περιεκτικότητα φύλλων σε χλωροφύλλη σχετίζεται θετικά με την φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού και βασικό δομικό στοιχείο της χλωροφύλλης είναι το άζωτο (Drossopoulos *et al.* 1999). Οι μετρήσεις χλωροφύλλης σε συνθήκες αγρού γίνονται απλά με το χλωροφυλλόμετρο και βοηθούν στην ορθή λίπανση της καλλιέργειας.

Η έλλειψη αζώτου σε σημαντικό βαθμό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας και της διάρκειας ανάπτυξης της φυλλικής επιφάνειας και κατά συνέπεια σε μικρότερη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας και χαμηλότερους φωτοσυνθετικούς ρυθμούς (Fageria *et al.*, 2003). Επάρκεια αζώτου στο κριθάρι αυξάνει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, το αδελφωμα, το φύλλωμα, το ύψος του βλαστού, την επιμήκυνση των μεσογονατίων διαστημάτων και το μέγεθος του στάχους (Παπακώστα – Τασοπούλου, 2008) καθώς επίσης και τον αριθμό των κόκκων ανά στάχυ, το δείκτη συγκομιδής και την απόδοση σε καρπό. Υπερβολικές ποσότητες αζώτου ευνοούν την ανάπτυξη φυλλώματος και βλαστού, προκαλούν πλάγιασμα και οψιμίζουν την καλλιέργεια (Καραμάνος, 1987). Η χρησιμοποίηση νέων ποικιλιών με αυξημένη αντοχή στο πλάγιασμα επέτρεψε τη χορήγηση μεγαλύτερων δόσεων αζώτου και συνέβαλε στην αύξηση των αποδόσεων (Dubetz και Wells, 1968).

Τα δευτερεύοντα στελέχη πριν το γηρασμό τους μεταφέρουν αζωτούχες και άλλες οργανικές ουσίες στους βλαστούς που θα επιζήσουν (Lupton και Pinthus. 1969, Rawson και Donald, 1969). Το στέλεχος χρησιμεύει ως προσωρινή δεξαμενή υδατανθράκων και αζωτούχων ουσιών που κατόπιν ανακατανέμονται στους κόκκους κατά την περίοδο γεμίσματος του κόκκου (Μπλαδενοπούλου, 2002). Η συμμετοχή

των προϊόντων αυτών στο γέμισμα του κόκκου είναι ιδιαίτερα υψηλή και φτάνει στο 50%, κάτω από συνθήκες ξηρασίας (Austin *et al.*, 1980). Παρά το γεγονός ότι παρατηρείται σημαντική μετακίνηση αζώτου από τα βλαστικά όργανα προς τους στάχεις (Watson, 1958) κατά το γέμισμα των κόκκων, περίσσεια αζώτου στο έδαφος κατά την ίδια περίοδο αυξάνει αρκετά την περιεκτικότητα των καρπών σε πρωτεΐνη (Καραμάνος, 1987). Η περιεκτικότητα των καρπών σε ολικό άζωτο αυξάνει συνεχώς μέχρι την φυσιολογική ωρίμανση. Από τις διαφορές αζωτούχες ουσίες ταχύτερα συσσωρεύονται η χορδεΐνη και η γλουτεΐνη (Καραμάνος, 1987).

Η αζωτούχος λίπανση όπως αναφέρεται από πολλούς ερευνητές αυξάνει την απόδοση και το ποσοστό πρωτεΐνης στον καρπό (Martin και Mikeisen. 1960; Baghot *et al.*, 1968; Dubetz και Wells, 1968; Gately, 1968; Zubriski *et al.*, 1970; Alessi και Power, 1973). Οι Θεουλάκης κ.α. (1992) αναφέρουν ότι η αζωτούχος λίπανση αυξάνει το ποσοστό πρωτεΐνης και μειώνει το βάρος και το πάχος των κόκκων. Οι Μπλαδενοπούλου κ.α. (1990) βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα, προσθέτοντας ότι μειώνεται η περιεκτικότητα σε άμυλο του καρπού. Επίσης οι Μπλαδενοπούλου και Γκατζιάνας (2001) βρήκαν ότι η αζωτούχος λίπανση αύξησε την συνολική υπέργεια φυτομάζα, το ύψος, επιμήκυνε ελαφρά την περίοδο γεμίματος του κόκκου, αύξησε την πυκνότητα των στάχτων ανά μονάδα επιφάνειας, αύξησε την περιεκτικότητα της πρωτεΐνης του κόκκου, τον βαθμό πλαγιάσματος και την ευαισθησία στο οίδιο. Επίσης, παρατήρησαν μείωση της βλαστικής περιόδου, του δείκτη συγκομιδής, της απόδοσης και του βάρους 1000 κόκκων.

Στο κριθάρι που προορίζεται για βυνοποίηση πρέπει να γίνεται περιορισμένη εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης, γιατί τα χαρακτηριστικά της ποιότητας της βύνης, όπως η πρωτεΐνη του κόκκου, το πάχος του κόκκου και η α-αμυλάση, υποβαθμίζονται (Zubriski *et al.*, 1970). Η περίσσεια αζώτου στα υγρά εδάφη αυξάνει την περιεκτικότητα των κόκκων σε πρωτεΐνη, χαρακτηριστικό ανεπιθύμητο για το κριθάρι ζυθοποιίας αλλά επιθυμητό για το κριθάρι που προορίζεται ως κτηνοτροφή.

Οι Μπλαδενοπούλου και Γκατζιάνας (2001) θεωρούν ότι η επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στο κριθάρι είναι μάλλον αρνητική και σε ένα αγρό με ικανοποιητική γονιμότητα και ισχυρές βροχοπτώσεις κατά την άνοιξη δεν ωφελεί. Άλλωστε, μόνο το 50% του αζώτου που εφαρμόζεται στο έδαφος θα απορροφηθεί εν τέλει από τα φυτά, ενώ το υπόλοιπο θα χαθεί μέσω έκλυσης, απορροής και απονιτροποίησης (Craswell, 1984). Συνεπώς η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων με

φειδώ και ακρίβεια στην εφαρμογή τους ελαχιστοποιεί και την περιβαλλοντική ρύπανση (Scharf και Alley, 1988)

1.2.4. Σπορά

Το κριθάρι ως χειμερινό σιτηρά σπέρνεται κατά το φθινόπωρο, με εξαίρεση περιοχές με πολύ βαρύ χειμώνα όπου συνηθίζεται η ανοιξιάτικη σπορά. Στη χώρα μας η σπορά συνίσταται να γίνεται κατά τους μήνες Νοέμβριο-Δεκέμβριο. Με πρώιμες σπορές το κριθάρι έχει δείξει να ανταποκρίνεται καλύτερα και αντέχει περισσότερο στο ψύχος, κυρίως εξαιτίας των περισσότερων γόνιμων στελεχών /φυτό που παρατηρείται σε πρώιμες σπορές (Green *et al.* 1985). Ωστόσο η πολύ πρώιμη σπορά θα πρέπει να αποφεύγεται καθότι υπάρχει σημαντικός κίνδυνος τα φυτά να αναπτυχθούν αρκετά και στη συνέχεια να πλαγιάζουν. Σε ψυχρές περιοχές όπου θα προτιμηθεί ανοιξιάτικη σπορά αυτή θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν νωρίτερα, για να έχουν αρκετό χρόνο τα φυτά να αδελφώσουν και να αναπτυχθούν, εκμεταλλευόμενα την υγρασία που υπάρχει ακόμα στο έδαφος. Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών του καλοκαιριού θα πρέπει να αποφεύγεται καθότι μειώνει σημαντικά τις αποδόσεις και υποβιβάζει την ποιότητα (Καραμάνος 1987). Σε ημίξηρες περιοχές με πρώιμη σπορά, είναι δυνατή η βόσκηση της καλλιέργειας κριθαριού σε νεαρό στάδιο χωρίς να μειωθεί η απόδοση σε καρπό και άχυρο. Έτσι κερδίζεται μια ποσότητα ποιοτικού χόρτου για την διατροφή των ζώων (Yau 2003).

1.3 ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

1.3.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.)

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ονομάζεται ένα δυναμικό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, επανάκτηση, μετασχηματισμό και απόδοση χωρικών δεδομένων του περιβάλλοντος, για την ικανοποίηση ενός συνόλου εξειδικευμένων απαιτήσεων (Burrough, 1986). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Γ.Σ.Π. (Geographical Information Systems – G.I.S.) αποτελούν ένα ολοκληρωμένο, σύγχρονο αλλά και πολυδιάστατο εργαλείο που προέρχεται και συσχετίζεται άμεσα με το χώρο της πληροφορικής. Παρέχουν στον χρήστη την δυνατότητα να διαχειρίζεται και να συνδυάζει εισερχόμενες πληροφορίες, παράγοντας αποτελέσματα σε μορφή χαρτών και πινάκων. Οι χάρτες, που ονομάζονται θεματικοί χάρτες (thematic maps), δείχνουν την κατανομή στο χώρο οποιουδήποτε παράγοντα για τον οποίο υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία (π.χ. υψομέτρου, απόδοσης, θρεπτικών στοιχείων, εδαφικής υγρασίας, κ.λπ.) και είναι προϊόντα διαδικασιών ολοκλήρωσης ενός περιορισμένου αριθμού γνωστών τιμών.

1.3.2 Χωρική Ανάλυση και Χωρική Παρεμβολή

Η χωρική ανάλυση (spatial analysis) αποτελεί ένα διακριτό τομέα βασικής και εφαρμοσμένης έρευνας όπου κατά την ανάλυση των δεδομένων λαμβάνεται υπόψη η χωρική πληροφορία των δεδομένων αυτών. Είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και τη Γεωπληροφορική, αφού κατά την ανάλυση δεδομένων λαμβάνεται υπόψη η χωρική πληροφορία των δεδομένων αυτών. Η χωρική ανάλυση ως τμήμα της ποσοτικής γεωγραφίας χρησιμοποιεί την επιστημονική μέθοδο για τη μελέτη των χωρικών φαινομένων με στόχο την καλύτερη κατανόησή τους. Σύμφωνα με τους Fotheringham *et al.* (2000) η ποσοτική γεωγραφία περιλαμβάνει μία ή περισσότερες από τις παρακάτω δραστηριότητες: την ανάλυση αριθμητικών χωρικών δεδομένων, την ανάπτυξη χωρικής θεωρίας και τον ορισμό και έλεγχο μαθηματικών μοντέλων χωρικών διεργασιών. Στις περισσότερες μελέτες με μεθόδους ποσοτικής γεωγραφίας το ζητούμενο είναι η μεγιστοποίηση της γνώσης για μια χωρική διεργασία με όσο το δυνατό λιγότερο σφάλμα. Σύμφωνα με τον Unwin (1981), χωρική ανάλυση είναι η μελέτη της κατανομής των σημείων, γραμμών, περιοχών και επιφανειών ενός χάρτη με απλά λόγια η επιστήμη που βγάζει νόημα από τα χωρικά στοιχεία ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών. Οι Bailey and

Gatrell (1995) ορίζουν τη χωρική ανάλυση ως την ποσοτική ανάλυση/μελέτη των χωρικών φαινομένων που βρίσκονται στο γεωγραφικό χώρο. Η ανάλυση χωρικών δεδομένων αφορά τις καταστάσεις στις οποίες είναι διαθέσιμα δεδομένα παρατήρησης για κάποιο φαινόμενο που συμβαίνει στο γεωγραφικό χώρο και εξετάζει μοντέλα, μεθόδους και τεχνικές για να περιγράψει ή να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά αυτού του φαινομένου και της πιθανής του σχέσης με άλλα χωρικά φαινόμενα (Johnston *et al.* 2000, Fischer and Wang 2011).

Η χωρική παρεμβολή αποτελεί ένα ιδιαίτερα διαδεδομένο και χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση χωρικών δεδομένων. Είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο ερευνητής προσπαθεί να προβλέψει την τιμή μιας μεταβλητής στα σημεία ενός πεδίου όπου δεν έχουν γίνει μετρήσεις, δεδομένου ότι είναι γνωστές οι τιμές της μεταβλητής αυτής σε άλλα σημεία του συγκεκριμένου πεδίου. Χρησιμοποιείται για την μετατροπή πληροφορίας από σημειακές παρατηρήσεις σε συνεχή πληροφορία και η οποία αποδίδεται σε μια συνεχή επιφάνεια. Η χωρική παρεμβολή βασίζεται στον Πρώτο Νόμο της Γεωγραφίας, ο οποίος διατυπώθηκε από τον Waldo Tobler το 1970 και ο οποίος αναφέρει ότι κάθε τι σχετίζεται με κάθε τι άλλο, αλλά τα πράγματα που είναι πιο κοντά σχετίζονται περισσότερο από αυτά που είναι απομακρυσμένα (Longley *et al.*, 2001). Βασικές προϋποθέσεις της διαδικασίας της χωρικής παρεμβολής είναι οι εξής δύο. Πρώτον, η επιφάνεια που εκφράζει το υπό εξέταση χαρακτηριστικό είναι συνεχής και, επομένως, η τιμή σε κάθε θέση μπορεί να υπολογιστεί αν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για την επιφάνεια αυτή. Η δεύτερη υπόθεση είναι έμμεση, αφού αναφέρεται στη χωρική εξάρτηση των τιμών του υπό εξέταση χαρακτηριστικού, αλλά είναι ιδιαίτερα σημαντική γιατί επιτρέπει την τεκμηρίωση των μεθόδων χωρικής παρεμβολής (Κουτσόπουλος, 2005).

Οι μέθοδοι χωρικής παρεμβολής χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: τις ντετερμινιστικές μεθόδους (deterministic methods), οι οποίες εφαρμόζουν κατευθείαν μαθηματικές σχέσεις για την δημιουργία μιας συνεχούς επιφάνειας και τις γεωστατιστικές μεθόδους (geostatistical methods), οι οποίες βασίζονται σε μεθόδους χωρικής αυτοσυσχέτισης, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα όχι μόνο της δημιουργίας μιας συνεχούς επιφάνειας πρόβλεψης αλλά και ενός μέτρου ακριβείας για αυτήν την πρόβλεψη. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε η γεωστατική μέθοδος χωρικής παρεμβολής Αντίστροφης Βαρύνουσας Απόστασης (Inverse Distance Weighting, IDW). μέθοδος της αντίστροφης βαρύνουσας απόστασης (IDW) είναι από τις πιο

συχνά χρησιμοποιούμενες, μεθόδους χωρικής παρεμβολής ακριβείας λόγω της απλότητάς της. Βασική της υπόθεση είναι ότι τα σημεία τα οποία προσομοιώνονται, θα πρέπει να επηρεάζονται περισσότερο από τα άμεσα γειτονικά σημεία στα οποία έχουν γίνει μετρήσεις και λιγότερο ή καθόλου από τα σημεία που απέχουν αρκετά. Σε κάθε σημείο με τιμή πεδίου δίνεται ένα βάρος, το οποίο εξασθενεί όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του σημείου αυτού και του σημείου προς προσομοίωση. Δηλαδή, κάθε σημείο με μέτρηση ασκεί μια τοπική επιρροή γύρω του η οποία ελαττώνεται με την απόσταση.

1.3.3 Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture) αποτελεί ένα σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων που στηρίζεται στη διαχείριση των εισροών σε ένα αγρό σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Με την βοήθεια των νέων τεχνολογιών υπάρχει η δυνατότητα αναγνώρισης των αναγκών της καλλιέργειας στο χωρικό αλλά και χρονικό φάσμα και στη συνεχεία ανάπτυξη συστημάτων μεταβλητών για τις εισροές που θα χρειαστούν (Εικ. 1.3.1.)

Άρχισε να εφαρμόζεται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με πρωτοπόρους χώρες όπως οι ΗΠΑ, η Βρετανία και άλλες. Οι πρώτες εφαρμογές ήταν σε σιτηρά με χαρτογράφηση της παραγωγής και, ήδη, στο τέλος της δεκαετίας οι εφαρμογές επεκτάθηκαν στις περισσότερες μεγάλες καλλιέργειες και άρχισαν εφαρμογές και σε καλλιέργειες όπως το αμπέλι. Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας άρχισε σχετικά αργά στην Ελλάδα όπως και σε πολλές χώρες της Νότιας Ευρώπης. Η καθυστέρηση αυτή αποδόθηκε στις επικρατούσες συνθήκες στην Ελλάδα, αλλά και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο που χαρακτηρίζονται (Gemtos *et al.* 2003):

- Από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις.
- Από γεωργούς με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο.
- Από γεωργούς προσκολλημένους σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής.
- Από γεωργούς προσκολλημένους σε επιδοτήσεις των προϊόντων.
- Για τις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου, κυρίως για τα φρούτα και λαχανικά δεν υπάρχει αναπτυγμένη τεχνολογία εφαρμογής των μεθόδων γεωργίας ακριβείας.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην γεωργία ακριβείας διαχειρίζονται τις καλλιέργειες χωρίζοντάς τες σε μικρότερες περιοχές που παρουσιάζουν μια σχετική ομοιομορφία. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τις υπόλοιπες συμβατικές μεθόδους αγροτικής παράγωγης σύμφωνα με τις οποίες, οι εισροές παρέχονται ενιαία στον αγρό, υποθέτοντας ότι υπάρχει μια αποδεκτή ομοιογένεια όσον αφορά τα καλλιεργήσιμα φυτά, τους πληθυσμούς ζιζανίων και εντόμων καθώς και τις ιδιότητες και γονιμότητα του εδάφους. Με τη γεωργία ακριβείας διαχειριζόμαστε αποτελεσματικότερα την τοπική παραλλακτικότητα ενός αγρού με στόχο:

- Την αύξηση της απόδοσης της παραγωγής.
- Τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.
- Την ορθολογική και αποτελεσματικότερη χρήση των χημικών εισροών.
- Τη μείωση κατανάλωσης ενέργειας.
- Την προστασία του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης

Τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning Systems – G.P.S.) είναι συστήματα, που καθιστούν δυνατό τον εντοπισμό και την καταγραφή της θέσης οποιουδήποτε σημείου επάνω στην επιφάνεια της υδρογείου. Αποτελούνται από ειδικούς δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη γη, οι οποίοι στέλνουν διαρκώς ραδιοσήματα στην επιφάνειά της. Τα σήματα αυτά λαμβάνονται από ειδικά όργανα, τους ραδιολήπτες (radio-receivers), τα οποία υπολογίζουν το γεωγραφικό στίγμα και το υψόμετρο της θέσης τους, καθώς και το χρόνο (Χρήστος Γ. Καρυδάς και Νικόλαος Γ. Συλλαίος 2000).

Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών

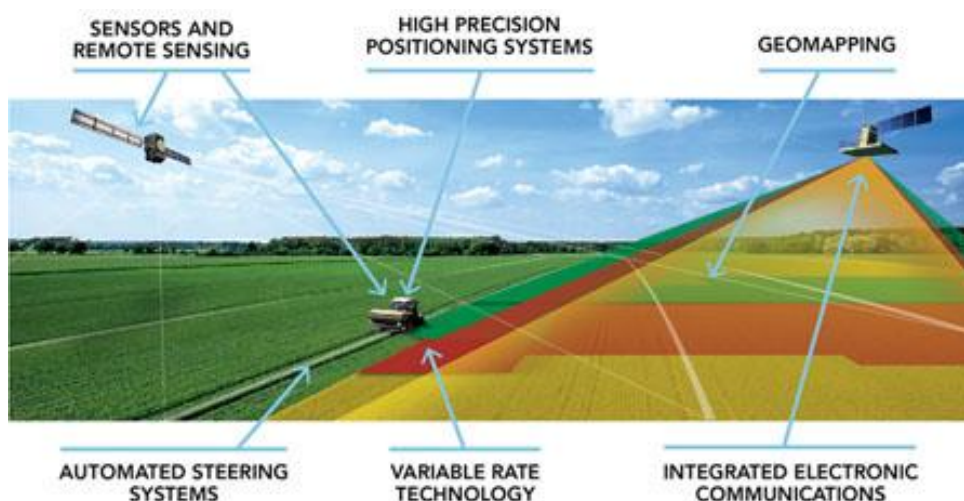
Τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable Rate Application Technology – V.R.A. ή V.R.T.) είναι συστήματα γεωργικής μηχανικής, που μεταβάλλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών (σπόρων, λιπασμάτων, νερού, φαρμάκων, κ.λπ.) ή και αλλάζουν το εφαρμοζόμενο είδος (π.χ. την ποικιλία του σπόρου, ή το είδος του λιπάσματος) την ίδια στιγμή που εφαρμόζουν τις εισροές αυτές, αναλόγως με το σημείο του αγροτεμαχίου στο οποίο βρίσκονται.

Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων

Τα Συστήματα Παρακολούθησης Αποδόσεων (Yield Monitoring Systems) είναι συστήματα που μετρούν και καταγράφουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών κατά τη συγκομιδή. Τα υλικά μετρούνται, είτε ποσοτικά, είτε ποιοτικά (π.χ. ποσότητα συγκομιζόμενων κόκκων ενός σιτηρού, είτε περιεχόμενη υγρασία στους κόκκους, αντίστοιχα) και για τις μετρήσεις αυτές έχουν επινοηθεί διάφορα συστήματα, όπως του ποτενσιόμετρου, το ραδιομετρικό, το σύστημα φόρτισης κελιού, το ογκομετρικό, κ.ά. Οι μετρήσεις καταγράφονται σε πίνακες μαζί με τις τιμές των αντίστοιχων χωρικών συντεταγμένων, που λαμβάνονται την ίδια στιγμή από G.P.S., ώστε με αυτόν τον τρόπο οι στοιχειώδεις αποδόσεις συνδέονται με τη θέση. Μέσω των Γ.Σ.Π., οι παραπάνω πίνακες μετατρέπονται σε χάρτες αποδόσεων (yield maps)

Μετρήσεις στο Πεδίο

Οι Μετρήσεις στο Πεδίο είναι μετρήσεις των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των καλλιεργειών ή του εδάφους με δειγματοληψία και γίνονται, είτε με αναλύσεις στο Εργαστήριο, είτε με Αισθητήρες. Οι αναλύσεις στο Εργαστήριο γίνονται σε δύο βήματα (λήψη δειγμάτων - ανάλυση), ενώ οι Αισθητήρες είναι όργανα αυτόματης δειγματοληψίας και ταχείας μέτρησης (επί τόπου, σε ένα μόνο βήμα).



Εικόνα 1.3.1. : Εφαρμογες της Γεωργίας Ακρίβειας

1.3.4. Απεικόνιση μέσω τηλεπισκόπησης

Η λέξη τηλεπισκόπηση συντίθεται από το αρχαίο επίρρημα «τηλέ» (= από μακριά), ως πρώτο συνθετικό της, και το ρήμα «επισκοπέω-ώ», που σημαίνει εξετάζω, βλέπω από ψηλά, επιθεωρώ. Τηλεπισκόπηση, επομένως, σημαίνει αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από απόσταση. Ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα ο ερευνητής να έρθει σε απευθείας επαφή με αυτόν (Μέρτικας, 1999).

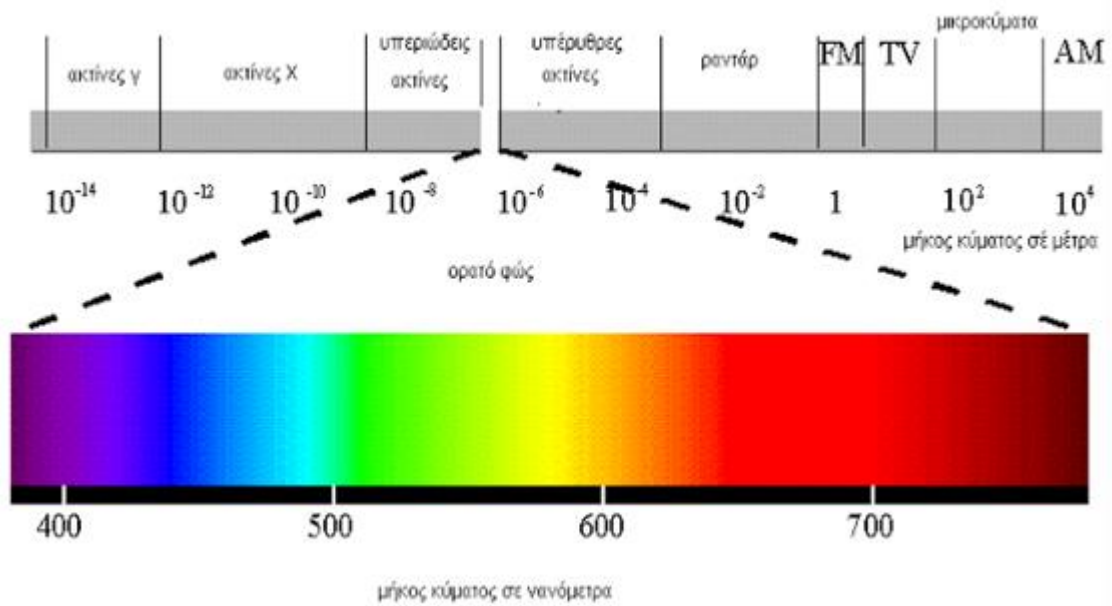
Η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τρία τμήματα: τους στόχους που συνιστούν τα υπό μελέτη αντικείμενα ή τα φαινόμενα μιας περιοχής, τη συλλογή δεδομένων με τη χρήση ορισμένων οργάνων και την ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων. Ο ορισμός της τηλεπισκόπησης είναι πολύ ευρύς. Παραδείγματα μετρήσεων τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη συμβατική φωτογραφία, την αεροφωτογραφία, τη λήψη εικόνων με Radar, τις μετρήσεις βαρύτητας κλπ. Στην πράξη όμως, οι μελέτες τηλεπισκόπησης περιορίζονται μόνο σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες.

Έτσι λοιπόν, ένα τμήμα της τηλεπισκόπησης είναι η απόκτηση ψηφιακών δεδομένων και πληροφοριών στην ανακλώμενη, θερμική και μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (ΗΜΦ). Οι μετρήσεις του ΗΜΦ γίνονται συνήθως μέσω δορυφόρων, αεροσκαφών, εδαφικών και εναέριων συστημάτων (π.χ ραντάρ, Unmanned Aerial Vehicles) και γενικότερα σε απόσταση από τον στόχο. Οι εικόνες μπορούν να υποστούν επεξεργασία μέσω ηλεκτρονικών υπολογιστών με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών για την εξαγωγή πληροφοριών ανάλογα με το αντικείμενο εφαρμογής (μετεωρολογία, γεωπονία κλπ.). Κάθε εικόνα αποτελείται από εικονοστοιχεία τα οποία συνεισφέρουν με μετρήσεις σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος του ΗΜΦ, με συγκεκριμένη χωρική διακριτική ικανότητα για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Η φασματική διακριτική ικανότητα και εύρος καθώς και τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά (χωρική και χρονική διακριτική ικανότητα) παίζουν σημαντικό ρόλο στον χαρακτηρισμό και την επιλογή των εικόνων. Το φασματικό εύρος περιγράφει τις περιοχές του ΗΜΦ που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της πληροφορίας π.χ. χρησιμοποιείται μόνο το ορατό φάσμα ή το εύρος επεκτείνεται και στο θερμικό. Η

φασματική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στον αριθμό των περιοχών (bands) σε ένα συγκεκριμένο ή μη τμήμα του ΗΜΦ, π.χ. οι πολυφασματικοί αισθητήρες χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα από τα όργανα ευρείας περιοχής φάσματος. Το χωρικό εύρος είναι η περιοχή η οποία καλύπτεται από την εικόνα. Η χωρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στο μέγεθος των εικονοστοιχείων (pixel) από τα οποία αποτελείται η εικόνα. Το χρονικό εύρος είναι η περίοδος καταγραφής των δεδομένων. Η χρονική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στη συχνότητα επανάληψης λήψεως δεδομένων από τον δορυφόρο και για μερικές εφαρμογές στη διαθεσιμότητα λήψεως δεδομένων που δεν υπόκεινται σε περιορισμούς από νεφοκάλυψη. Το εύρος και η διακριτική ικανότητα των τηλεπισκοπικών δεδομένων, καθώς και άλλων πηγών δεδομένων όπως επίγεια μετεωρολογικά δεδομένα, είναι ανάγκη να είναι απολύτως κατανοητά για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παρακολούθηση και χαρτογράφηση της επίγειας βλάστησης και της κατάστασης αυτής.

Η τηλεπισκόπηση της επιφάνειας του εδάφους λαμβάνει χώρα σε μήκη κύματος του ΗΜΦ στα οποία το φως μπορεί να διαπεράσει την ατμόσφαιρα χωρίς ιδιαίτερες αλληλεπιδράσεις. Αυτές οι περιοχές του ΗΜΦ ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα και αναφέρονται στο φασματικό εύρος στο οποίο η ακτινοβολία που καταγράφεται από τα τηλεπισκοπικά όργανα περιέχει πληροφορίες για την επιφάνεια της γης. Αυτά τα ατμοσφαιρικά παράθυρα ορίζονται από τα συστατικά της γήινης ατμόσφαιρας. Υπάρχουν κάποια αέρια που σε συγκεκριμένα μήκη κύματος απορροφούν όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, απαγορεύοντας τη χρήση αυτών των περιοχών στην τηλεπισκόπηση. Οι περιοχές του ΗΜΦ, περιγράφονται συνοπτικά στην εικόνα 1.3.3.a.



Εικόνα 1.3.4.a : Περιοχές του ΗΜΦ

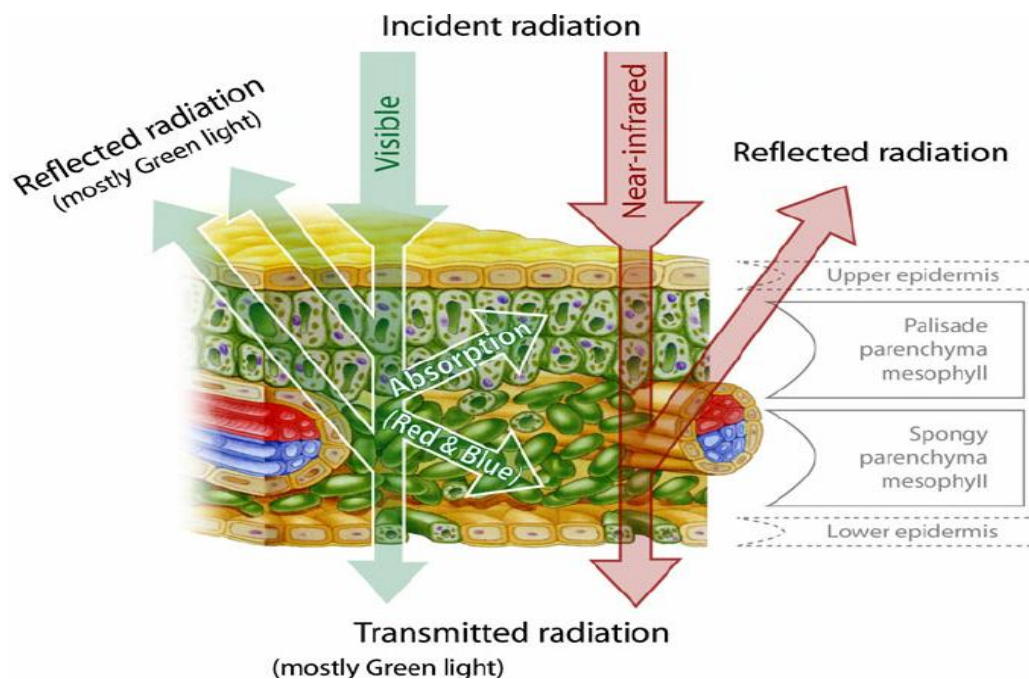
1.3.5. Θεωρητικό υπόβαθρο δεικτών βλάστησης

Η ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ κυμαίνεται από τα 0,4 έως 3,75 μm και υποδιαιρείται στο ορατό (0,4 - 0,7 μm), στο εγγύς υπέρυθρο (NIR, 0,7 - 1,1 μm) και στο μέσο υπέρυθρο (1,1 - 3,75 μm). Η ορατή περιοχή του ΗΜΦ είναι αυτή την οποία αισθάνεται το ανθρώπινο μάτι με αποτέλεσμα την ικανότητα της όρασης. Ο διαφορετικές ανακλαστικές ιδιότητες των υλικών και επιφανειών έχουν ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των χρωμάτων στο ορατό φάσμα του ΗΜΦ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των φύλλων και του φωτός που προσκρούει σε αυτά, είναι ένας καθοριστικός παράγοντας της διαφορετικής απόκρισης στην ερυθρή και στην κοντινή υπέρυθρη περιοχή του ανακλώμενου φωτός. Η χρωστική χλωροφύλλη που περιέχεται στα φύλλα, παρουσιάζει τη μέγιστη απορρόφηση στην ερυθρή περιοχή του ορατού φάσματος. Στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου η ακτινοβολία ανακλάται ισχυρά από τον μεσοκυττάριο χώρο του φύλλου με αποτέλεσμα την αύξηση των ραδιομετρικών τιμών (εικόνα 1.3.4.a). Έτσι πολλοί αισθητήρες δορυφόρων είναι σχεδιασμένοι να καταγράφουν το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τη βλάστηση (π.χ. Landsat TM και NOAA/AVHRR). Χρησιμοποιώντας την πληροφορία στην ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή του ΗΜΦ μπορούν να προκύψουν δείκτες βλάστησης που έχουν αποδειχθεί σημαντικό εργαλείο στην μελέτη της κατάστασης της βλάστησης από τις αρχές της δεκαετίας του '70 (Tarpley *et al.*, 1984).

Σε σχέση με τη βλάστηση η ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ χρησιμοποιείται μεταξύ των άλλων για:

- Τον προσδιορισμό της τρέχουσας κατάστασης της βλάστησης (McVicar – Jupp, 1998).
- Την χαρτογράφηση των εδαφικών επιφανειών με τη χρήση δυο κύριων χαρακτηριστικών της βλάστησης: της εδαφικής φυτοκάλυψης και των φαινολογικών σταδίων της ανάπτυξης των φυτών (McVicar – Jupp, 1998).
- Την χαρτογράφηση της επανασύστασης των φυσικών πόρων (π.χ. δάση), που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη πυρκαγιών κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας (Chladil and Nunez, 1995; Illera *et al.*, 1996).

Προηγούμενες έρευνες απόδειξαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της παρουσίας του φυλλώματος, συμπεριλαμβάνοντας μετρήσεις του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI = Leaf Area Index) (Tucker, 1979), της κατάστασης στην οποία βρίσκεται το φυτό (Sellers, 1985) και δεικτών βλάστησης όπως ο απλός λόγος εγγύς υπέρυθρου - ερυθρού και ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI : Normalized Difference Vegetation Index) (Tian *et al.*, 1989).



Εικόνα 1.3.5.a : Εγκάρσια τομή φύλλου και απεικόνιση της ανάκλασης και απορρόφησης της ακτινοβολίας στον μεσοκυττάριο χώρο (Solomon *et al.*, 2005).

Το ποσοστό φυτοκάλυψης είναι μία από τις συνιστώσες που ορίζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ. Υπάρχουν όμως και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τελική τιμή του εικονοστοιχείου. Σε αυτούς περιλαμβάνεται και η γεωμετρία των θέσεων ήλιου - στόχου - αισθητήρα. Αυτός ο παράγοντας ελέγχει την συνεισφορά του ποσοστού σκίασης στο σήμα. Η σκίαση μπορεί να είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του ηλίου με την τοπογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής και να επηρεάζεται από τις σκιάσεις που προκαλεί η βλάστηση. Αυτή η επίδραση, που ορίζεται από την συνάρτηση κατανομής της ανακλαστικότητας διπλής κατεύθυνσης (BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function) (Deering, 1989, Burgess and Pairman, 1997), είναι χαρακτηριστικό της δομής της βλάστησης. Άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν την ισχύ του σήματος στην ανακλώμενη περιοχή του ΗΜΦ, είναι οι μεταβολές στο χρώμα του εδάφους, στο σήμα παρατήρησης σε σχέση με τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής συνιστώσας του σήματος, εμπεριέχοντας σε αυτές και τα ατμοσφαιρικά υδάτινα κατακρημνίσματα (Choudhury and DiGirolamo, 1995, Hobbs, 1997) καθώς και οι μεταβολές στην απόκριση του αισθητήρα με την πάροδο του χρόνου. Υπάρχουν πολλοί τρόποι και μέθοδοι με τους οποίους μπορεί η τηλεπισκόπηση να συνεισφέρει στη χαρτογράφηση των χρήσεων γης με άπώτερο σκοπό την αναγνώριση και την παρακολούθηση του φαινομένου της ξηρασίας. Σε αυτές περιλαμβάνονται η χαρτογράφηση των τύπων βλάστησης και η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης (Kogan, 1990, Samarasinghe, 2003).

1.3.6 Φυσιολογικές διεργασίες του φυτού και προσπίπτουσα ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία (0.4 - 2.5 μm) που διεισδύει στο φύλλο ενός φυτού, υπόκειται σε ανάκλαση, διάθλαση και απορρόφηση. Η ανάκλαση λαμβάνει χώρα λόγω των διαφορετικών δεικτών διάθλασης μεταξύ των αερίων του μεσοκυττάρου χώρου του φύλλου και των ιδίων των κυττάρων. Επίσης κάποιο ποσοστό διάθλασης οφείλεται σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ ενδοκυτταρικών συστατικών, όπως μακρομορίων και λυσοσωμάτων, το οποίο όμως, ανέρχεται στο 10% μόνο της συνολικής διάθλασης.

Οι χρωστικές των φυτών και το νερό στο μεσόφυλλο απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές 0.4 - 0.7 μm και 1.3 - 2.5 μm αντίστοιχα του φάσματος της

ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η Ακτινοβολία στην πρώτη περιοχή είναι γνωστή στη διεθνή βιβλιογραφία ως PAR (Photosynthetic Active Radiation) ή ενεργός/αποτελεσματική για τη φωτοσύνθεση ακτινοβολία και απορροφάται κυρίως από τη χλωροφύλλη (a και b), συστατικό των χλωροπλαστών και δευτερευόντως από τα καροτενοειδή. Στην περιοχή 0.7 - 1.3 μm πραγματοποιείται μηδαμινή ή καθόλου απορρόφηση και έτσι κυριαρχούν οι μηχανισμοί ανάκλασης και εκπομπής. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία τελικά είτε απορροφάται, είτε ανακλάται και διαχέεται διαμέσου της φυτικής μάζας ή στο υπόβαθρο αυτής (έδαφος, ατμόσφαιρα κλπ) (Δαλέζιος, 2002).

Η φασματική συμπεριφορά της φυτικής κάλυψης στο εύρος 0.4 - 0.7 μm προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης των μεταβολών στα διάφορα στάδια καλλιεργούμενων και μη φυτών, λαμβάνοντας όμως υπόψη και την αντίστοιχη συμπεριφορά του γύρω μικροπεριβάλλοντος, π.χ. του εδάφους. Έτσι, σε γενικές γραμμές, όπως προκύπτει από μελέτες και έρευνες, τέσσερις είναι οι φασματικές περιοχές που ενδιαφέρουν στην παρακολούθηση της βλάστησης, διότι σ' αυτές κυριαρχούν πολύ σημαντικά φυσιολογικά φαινόμενα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.3.5.a (Δαλέζιος, 2002).

Στις περιοχές 1 και 2 Στα εύρη τιμών μηκών κύματος ≤ 0.5 μm και 0.62 - 0.7 μm (Πίνακας 1.3.5.a) λαμβάνει χώρα η μέγιστη αντίθεση στη φασματική συμπεριφορά ανάμεσα στο γυμνό έδαφος και τη βλάστηση και, πιο συγκεκριμένα, από 0.62 έως 0.68 μm. Οι περιοχές 2 και 3 αναφέρονται στην περιοχή του ΗΜΦ που θεωρείται σημαντική βάσει της φυσιολογίας των φυτών για την εξαγωγή των δεικτών βλάστησης. Έτσι, από τις περιοχές 1 και 2 είναι δυνατό να εξαχθούν συμπεράσματα όσο αφορά στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και από τις περιοχές 2 και 3 όσον αφορά στην πυκνότητα της χλωροφύλλης και στο ποσό του φυλλώματος στη φυτική μάζα. Η περιοχή 4 παρέχει χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν στο περιεχόμενο νερό στα φύλλα, γεγονός άμεσα συνδεδεμένο με το ρυθμό διαπνοής και, κατ' επέκταση, με την επίδραση αυτού στη φυσιολογική διεργασία της φωτοσύνθεσης. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση ελλείμματος νερού στους μεσοκυττάρους χώρους στο φύλλο, κάτω από προκαθορισμένα από το φυτό όρια, συνεπάγεται κλείσιμο των στοματίων για διακοπή της διαπνοής, άρα και φωτοσύνθεσης, αφού παρεμποδίζεται η ανταλλαγή αερίων με το μικροπεριβάλλον (CO₂, C>2 κλπ).

Τα πράσινα φυτά έχουν μια μοναδική φασματική αντίδραση που επηρεάζεται από τη δομή και τη σύνθεσή τους. Το ποσοστό της ακτινοβολίας που αντανακλάται σε διαφορετικά μέρη του φάσματος εξαρτάται από την κατάσταση, τη δομή και τη σύνθεση του φυτού. Γενικά, υγιή φυτά και πυκνό φύλλωμα, θα αντανακλά περισσότερη ακτινοβολία ειδικά στην εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος.

Στο ορατό μέρος του φάσματος (0,4 μm-0,7μm), τα φυτά απορροφούν φως στη μπλε (0,45μm) και στην κόκκινη περιοχή (0,6μm) και αντανακλούν σχετικά περισσότερο στο πράσινο μέρος του φάσματος εξαιτίας της παρουσίας χλωροφύλλης. Υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα θα έχει ως συνέπεια χαμηλότερη αντανάκλαση στην κόκκινη περιοχή και υψηλή αντανάκλαση στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Σε περιπτώσεις που τα φυτά υποβάλλονται σε υδατικό στρες ή σε άλλες συνθήκες που επιβραδύνουν την ανάπτυξη, η παραγωγή χλωροφύλλης θα μειωθεί. Αυτό με τη σειρά του θα οδηγήσει σε λιγότερη απορρόφηση στις μπλε και τις κόκκινες περιοχές του φάσματος (Sawasawa, H., 2003).

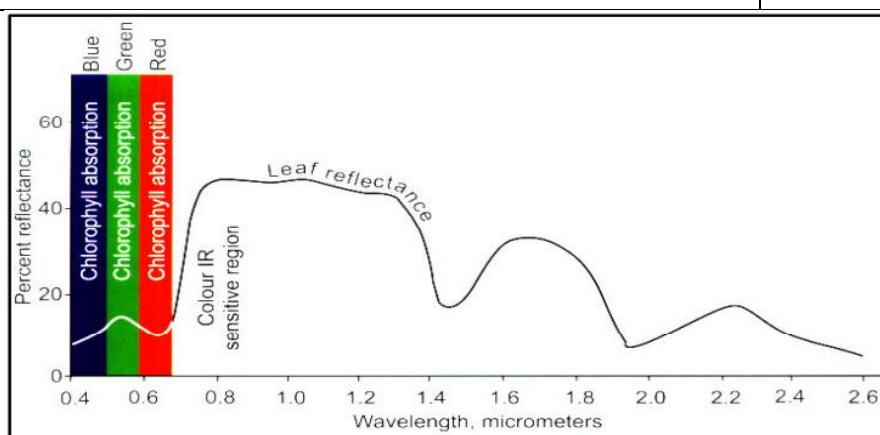
Στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος (0,7-2,5 μm), η αντανάκλαση των πράσινων φυτών αυξάνεται στο 40-60%. Πέρα από τα 1,3 μm, υπάρχουν πτώσεις στην καμπύλη αντανάκλασης εξαιτίας της απορρόφησης από το νερό στα φύλλα, περισσότερο ελεύθερο νερό καταλήγει σε λιγότερη αντανάκλαση. Η εικόνα 1.3.5.a δείχνει μια ιδανική καμπύλη αντανάκλασης για υγιή βλάστηση.

Όσο τα φύλλα ξεραίνονται ή όσο το φυτό μαραίνεται ή γερνάει ή αρρωσταίνει ή τα κύτταρα πεθαίνουν, υπάρχει μείωση στη χρωστική ουσία της χλωροφύλλης. Αυτό καταλήγει σε μια αύξηση αντανάκλασης στο ορατό φάσμα και μια μείωση στην αντανάκλαση στο μέσο υπέρυθρο (MIR) εξαιτίας της χειροτέρευσης των κυττάρων. Έτσι, η φασματική αντίδραση του φυλλώματος μιας καλλιέργειας επηρεάζεται από την υγεία του φυτού, το ποσοστό της εδαφικής κάλυψης, το στάδιο ανάπτυξης, διαφορές σε καλλιεργητικές πρακτικές, συνθήκες στρες και αρχιτεκτονική φυλλώματος (Sawasawa, H., 2003).

Αυτή η διαφορετική αντανάκλαση των πράσινων φυτών στα ορατά και στα υπέρυθρα μέρη της ακτινοβολίας καθιστά ικανή την ανίχνευση των πράσινων φυτών από δορυφορικά δεδομένα μιας και άλλα γνωρίσματα στην επιφάνεια της γης δεν έχουν τέτοια μοναδικά χαρακτηριστικά στο φάσμα μεταξύ 0,65-0,75 μm. Αυτή η υπογραφή είναι μοναδική μόνο στα πράσινα φυτά και έτσι η αρχή αυτή χρησιμοποιείται στους δείκτες βλάστησης.

Πίνακας 1.3.6.a: Φασματικές περιοχές σε αντιστοίχιση με φυσιολογικές διεργασίες των φυτικών κυττάρων (Δαλέζιος, 2002).

1	Απορρόφηση ακτινοβολίας από καροτενοειδή και χλωροφύλλη	$\leq 0.5 \mu\text{m}$
2	Ισχυρή απορρόφηση ακτινοβολίας από χλωροφύλλη	0.62 - 0.7 μm
3	Ανάκλαση ακτινοβολίας από τα κυτταρικά τοιχώματα κυττάρων του μεσοφύλλου	0.74 - 1.1 μm
4	Απορρόφηση ακτινοβολίας από το νερό	1.3 - 2.5 μm



Εικόνα 1.3.6.a: Ιδανική καμπύλη φασματικής ανάκλασης ενός υγιούς φυτού (Janssen – Huuenemen, 2001)

1.3.7 Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI)

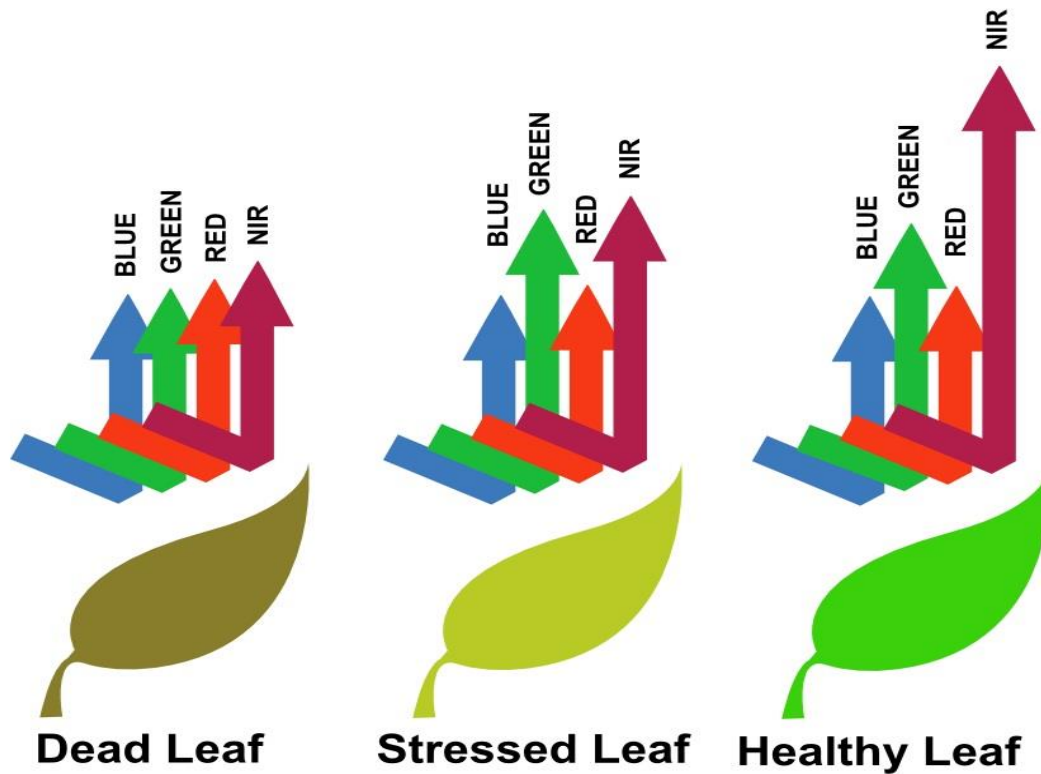
Οι δείκτες βλάστησης είναι συνήθως ο συνδυασμός σημάτων από κανάλια του ραδιομέτρου. Αυτοί οι δείκτες παρέχουν καλύτερες πληροφορίες από τα ανεξάρτητα κανάλια σε φυτικούς παραμέτρους όπως είναι η έκταση της φυτομάζας, η βρεγμένη και υγρή βιομάζα, το ύψος του φυτού και η περιεκτικότητα του φύλλου σε νερό. Επομένως, οι μεταβολές των φασματικών χαρακτηριστικών της βλάστησης ως συνάρτηση της κατάστασης της υγείας της έχουν ιδιαίτερη σημασία (Μαρκογιάννη, Β., 2010).

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται ευρέως ως δείκτες ανάλυσης των διακυμάνσεων της φυτοκάλυψης μιας περιοχής, μεταξύ της βλάστησης αυτής και άλλων παραγόντων. Ο δείκτης NDVI θεωρείται βασικό εργαλείο παρακολούθησης των εποχιακών αλλαγών της βλάστησης και βασίζεται στις ιδιότητες ανάκλασης των περιοχών βλάστησης σε σύγκριση με τα σύννεφα, το νερό, το χιόνι από τη μία

πλευρά, τους βράχους και τα γυμνά εδάφη από την άλλη. Τα τρία στοιχεία της βλάστησης που επηρεάζουν τη φασματική ποσότητα και ποιότητα της ηλιακής αντανακλώμενης ακτινοβολίας που δέχονται οι δορυφόροι είναι η αφθονία, η σύνθεση και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται (Μαρκογιάννη, Β., 2010).

Μια μέθοδος φασματικής ενίσχυσης είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI, ο οποίος όχι μόνο αναδεικνύει τις περιοχές που έχουν βλάστηση στην εικόνα, αλλά δίνει πληροφορίες σχετικά με το πόσο υγιή είναι τα φυτά. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης αποτελεί μια συνηθισμένη και απαραίτητη παράμετρο για την παρακολούθηση της βλάστησης και έχει αποδειχθεί πως είναι ένας σημαντικός και αποτελεσματικός δείκτης. Συνήθως χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση της φυτοκάλυψης, στην οικολογική παρακολούθηση και την εκτίμηση της βιομάζας, στην παρακολούθηση της παραγωγικότητας, στον υπολογισμό της γεωργικής παραγωγικότητας, στην υποβάθμιση του εδάφους καθώς και σε άλλες δραστηριότητες παρακολούθησης (Μαρκογιάννη, Β., 2010).

Η βασική αρχή για το NDVI έγκειται στο γεγονός ότι, τα φύλλα εξαιτίας της σπογγώδους κάτω επιφάνειας τους, ανακλούν πολύ περισσότερο φως στην περιοχή της εγγύς ερυθράς ακτινοβολίας. Όταν όμως το φυτό βρίσκεται υπό υδατική καταπόνηση ή κάποιου άλλου είδους στρες, αυτή η σπογγώδης επιφάνεια αρχίζει να καταρρέει και το φύλλο ανακλά όλο και λιγότερο εγγύς ερυθρά ακτινοβολία, χωρίς όμως να μεταβληθεί η ανάκλαση στο ορατό φάσμα. Επομένως συνδυάζοντας αυτά τα 2 στοιχεία, είναι δυνατό να διαφοροποιηθούν φυτά από αλλά αντικείμενα μη-φυτά, καθώς και υγιή από καταπονημένα φυτά (εικόνα 1.3.6.a).



Εικόνα 1.3.7.a: Ανάκλαση φωτός για ένα νεκρό, υπό καταπόνηση και υγιές φύλλο.

Ο δείκτης βλάστησης NDVI δημιουργήθηκε για πρώτη φορά από τη δορυφορική εικόνα Landsat-1 (Kriegler et al., 1969), με γεωμετρική διόρθωση. Παίρνει τιμές από το -1 έως το 1 και υπολογίζεται από τη διαφορά του υπέρυθρου και του ερυθρού διαιρούμενων με το άθροισμα αυτών. Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν θάλασσα ενώ οι τιμές θετικές και μικρότερες από 0,1 φανερώνουν γυμνό έδαφος.

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}}{\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}}$$

Όπου:

NDVI = κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης

ρ_{nir} = Εγγύς υπέρυθρο κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

ρ_{red} = Ερυθρό κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Πειραματικό σχέδιο

Ο πειραματικός αγρός εγκαταστάθηκε, σε χωράφι στην περιοχή του Ορχομενού Βοιωτίας (γεωγραφικό πλάτος: 38° 29' Δ, γεωγραφικό μήκος: 23° 01' Β) κατά την καλλιεργητική περίοδο 2015-2016. Καλλιεργήθηκαν 9 ποικιλίες βυνοποιήσιμου κριθαριού. Η σπορά πραγματοποιήθηκε στις 4 Δεκέμβριου του 2015 και η συγκομιδή της καλλιέργειας έγινε τον Ιούνιο του 2016. Η συνολική επιφάνεια του πειραματικού αγρού ήταν 21.364,2 m² δηλαδή περίπου 21 στρέμματα.

Το πειραματικό σχέδιο που ακολουθήθηκε ήταν των Τυχαιοποιημένων πλήρων ομάδων με 2 παράγοντες και 2 επαναλήψεις ανά επέμβαση. Ο πρώτος παράγοντας αφορούσε 2 επίπεδα αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκαν και ο δεύτερος 9 διαφορετικές ποικιλίες βυνοποιήσιμου κριθαριού.

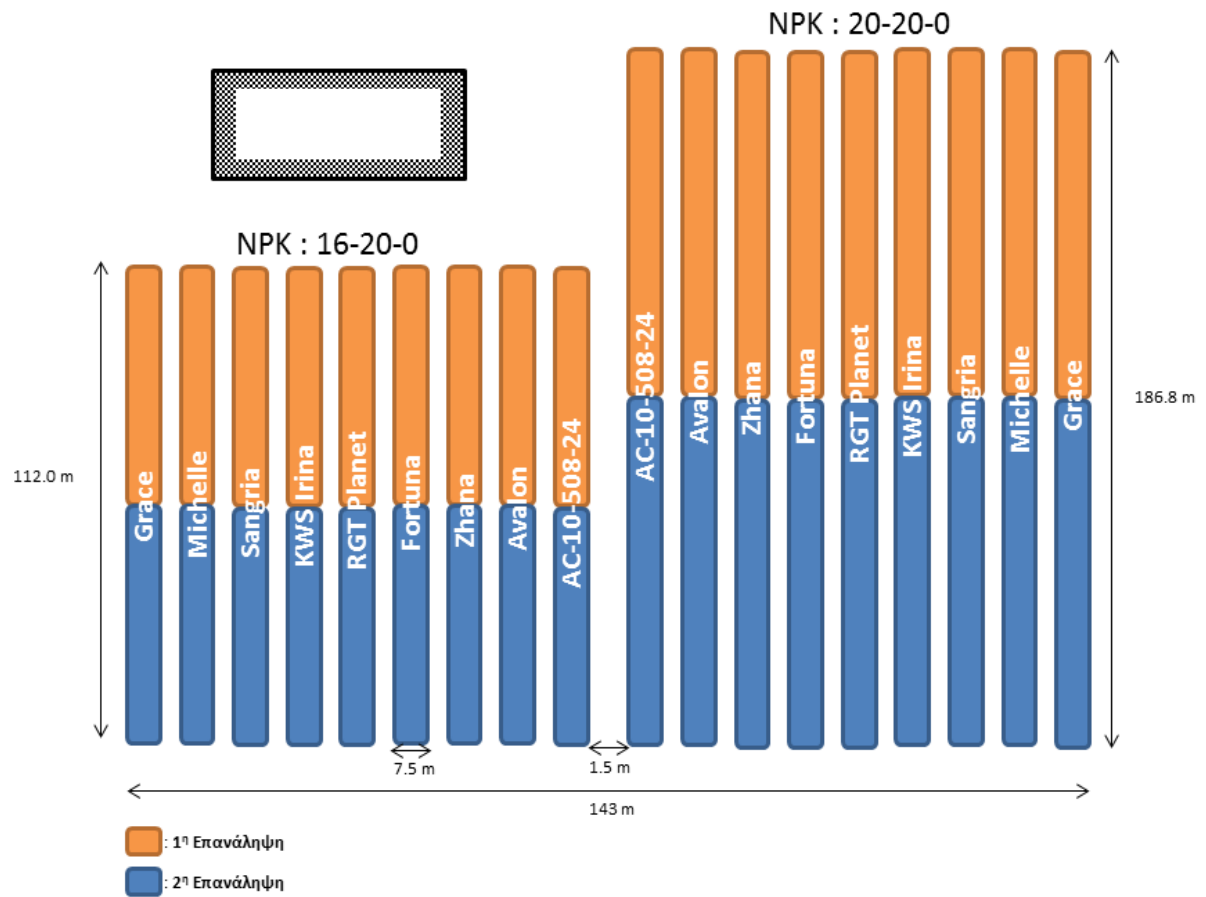
Όσον αφορά τα δύο επίπεδα Ν λίπανσης, αυτά ήταν τα εξής:

- Λίπανση με 20 κιλά/στρ 16-20-0
- Λίπανση με 20 κιλά/στρ 20-20-0 (+2S)

Η συγκεκριμένη λίπανση εφαρμόστηκε κατά τη σπορά ως βασική. Το πειραματικό σχέδιο παρουσιάζεται στην Εικόνα (2.3.1). Οι 9 ποικιλίες δίστιχου βυνοποιήσιμου κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.) που εγκαταστάθηκαν στον πειραματικό αγρό ήταν οι ακόλουθες:

Grace	Fortuna
Michelle	Zhana
Sangria	Avalon
KWS Irina	AC-10-508-24
RGT Planet	

Όλες οι ποικιλίες που μελετήθηκαν έχουν καταγωγή από την κεντρική Ευρώπη, είναι γενετικά ανοιξιάτικες, υψηλής απόδοσης, με αποδεδειγμένα ικανοποιητικά ποιοτικά χαρακτηριστικά για βυνοποίηση και θεωρούνται ιδιαίτερα πρώιμες.



Εικόνα 2.3.1: Απεικόνιση πειραματικού σχεδίου



Εικόνα 2.3.2: Σπορά με χρήση σπαρτικής μηχανής κατά την εγκατάσταση του πειράματος (4/12/2015)

2.2 Κλιματικά δεδομένα της περιοχής μελέτης

Το κλίμα στη περιοχή του Ορχομενού αλλά και γενικότερα του νομού Βοιωτίας χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό με αρκετό κρύο το χειμώνα όπου, εκτός από κάποια περίοδο χιονιά όπου σημειώνεται ολικός παγετός, σε νύχτες με ξαστεριά και νηνεμία παρατηρούνται και αρνητικές θερμοκρασίες κυρίως από Γενάρη μέχρι αρχές Μαρτίου με πιο κρύο μήνα τον Φεβρουάριο. Ενδεικτική ελάχιστη θερμοκρασία των τελευταίων ετών (-7oC στις 21/1/ 2012, -4.1oC στις 15/1/2011, -4.6oC στις 4/2/2010). Αρκετή ζέστη το καλοκαίρι αλλά με δροσερές νύχτες. Ο πιο υετοφόροι μήνες της πόλης είναι ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Μάρτιος και σε 2η φάση ο Νοέμβρης και ο Δεκέμβρης. Το χειμώνα χιονοπτώσεις παρατηρούνται μέσα στο δίμηνο Ιανουάριος-Φεβρουάριος ενώ σπανιότερα μπορεί να χιονίσει μέσα στο 3ο δεκαήμερο του Δεκέμβρη ή στο 1ο δεκαήμερο του Μαρτίου. Αξιόλογη χιονόστρωση (>15cm) σημειώνεται από μία έως τρεις φορές το χρόνο. Οι πιο υετοφόροι άνεμοι στην πόλη είναι ο βορειοανατολικός και ο ανατολικός ενώ ο λιγότερο υετοφόρος είναι ο βορειοδυτικός. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανέρχεται στα 739 mm. Πιθανότητα να παρατηρηθεί ομίχλη στην πόλη υπάρχει κυρίως το τρίμηνο Οκτώβρη, Νοέμβρη, Απρίλη και αυτό τις πρωινές ώρες. Τον Μάιο και τον Ιούνιο παρατηρούνται μπόρες και καταιγίδες κυρίως το μεσημέρι και το απόγευμα ενώ μικρότερη είναι η πιθανότητα να παρατηρηθούν τέτοια φαινόμενα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο. Ο πιο ζεστός μήνας στην πόλη είναι ο Ιούλιος ενώ τον Ιούνιο και τον Αύγουστο τα περιστατικά έντονης ζέστης-καύσιμα έχουν μικρότερη πιθανότητα εκδήλωσης (τον Ιούνιο λόγω των σχετικά συχνών φαινομένων αστάθειας και τον Αύγουστο λόγω της κυριαρχίας των μελτεμιών που αν και στην πόλη δεν ξεπερνάνε τα 4-5 μποφόρ, διατηρούν τον υδράργυρο σε πιο ευχάριστα επίπεδα).

2.3 Εδαφικές αναλύσεις και αγρονομικές παρατηρήσεις

Για την ανάλυση του εδάφους του πειραματικού αγρού πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους από 54 σημεία (βάθους 0-30cm). Στην συνέχεια ακολούθησε εδαφική ανάλυση η όποια έγινε στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών. Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν το pH (1:1 έδαφος/ διάλυμα άλατος) (Mc Lean, 1982), την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (μέθοδος προσδιορισμού Walkley-Black) (Walkley and Black, 1993), ανθρακικό ασβέστιο (κατά Bernard) (Nelson, 1982) καθώς και άζωτο (μέθοδος Kjeldahl) (Kjeldahl, J. 1883), την κοκκομετρική σύσταση (μέθοδος Βουγιούκου) (Gee and Bauder, 1986) και την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (μέθοδος οξικού νατρίου) (Rhoades, 1982).

Σχετικά με τα αποδοτικά χαρακτηριστικά του κριθαριού, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στον αγρό κατά την συγκομιδή και στη συνέχεια εργαστηριακές αναλύσεις. Κατά την συγκομιδή υπολογίστηκε η απόδοση σε kg σπόρου ανά στρέμμα με θεριζοαλωνιστική μηχανή (Εικόνα 2.1.1) για κάθε πειραματικό τεμάχιο και παράλληλα έγινε δειγματοληψία φυτικού υλικού από 1 m² σε κάθε τεμάχιο. Ακολούθησαν το επόμενο χρονικό διάστημα αναλύσεις πάνω σε αυτό το υλικό. Υπολογίστηκε για κάθε τεμάχιο η ξηρή βιομάζα σε kg ανά στρέμμα, το βάρος 1000 κόκκων, ο αριθμός στάχων ανά m² και ο αριθμός των καρπών ανά στάχυ.



Εικόνα 2.3.1 : Συγκομιδή του κριθαριού με θεριζοαλωνιστική μηχανή στον πειραματικό αγρό (15/6/2016).

2.4 Τρόπος λήψης φωτογραφιών με UAV

Με στόχο την αποτύπωση του δείκτη βλάστησης NDVI, και την περαιτέρω παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας κριθαριού και κάθε ποικιλίας, πραγματοποιήθηκαν 3 πτήσεις μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος κατά την διάρκεια της καλλιέργειας. Η πρώτη πτήση συνέβη κατά την εγκατάσταση της καλλιέργειας στις 4 Δεκεμβρίου 2015, στην συνέχεια ακολούθησε μια πτήση στις 9 Φεβρουαρίου 2016 με την καλλιέργεια να βρίσκεται στο στάδιο του αδελφώματος και η τελευταία πτήση έγινε στις 30 Μαρτίου 2016 με την καλλιέργεια να βρίσκεται στο στάδιο του καλαμώματος. Στην παρούσα μελέτη αντικείμενο έρευνας θα αποτελέσουν μόνο οι δυο τελευταίες πτήσεις και σειρές φωτογραφιών κατά το αδελφωμα και το καλάμωμα της καλλιέργειας.

Ο εξοπλισμός που ήταν διαθέσιμος αποτελούνταν από ένα τετρακόπτερο drone χαμηλού κόστους και βάρους, μοντέλου Phantom 2 (Da-Jiang Innovations (DJI) Science and Technology Co., Ltd.), το οποίο έφερε μια ψηφιακή κάμερα Hero3+ Black (GoPro Inc.), ανάλυσης 12-Megapixel (4000×3000 pixels) που ήταν ειδικά τροποποιημένη από την Back-Bone Gear Inc. (Εικόνα 2.4a). Η τροποποίηση αυτή αφορούσε την αντικατάσταση του εργοστασιακού φακού της κάμερας με έναν φακό διαμέτρου 4.4 mm, με διάφραγμα f/2.8, μέγεθος αισθητήρα 1/2,3 in. και 71° γωνίας θέασης. Με αυτή την αλλαγή δεν υπήρχε το πρόβλημα της παραμόρφωσης εικόνας εξαιτίας του fish-eye effect που παρουσιάζουν οι ευρυγωνιοί φακοί (Shah και Aggarwal, 1996). Επιπλέον η τροποποιημένη κάμερα είχε διαμορφωθεί με 2 αφαιρούμενα φίλτρα. Πιο συγκεκριμένα, τα φίλτρα IR-cut [400-700 nm] και near-infrared-longpass [715-1100 nm] χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη φωτογραφιών στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα αντίστοιχα. Η ψηφιακή κάμερα είχε εγκατασταθεί στο τετρακόπτερο μέσω ενός τριπόδου με τρόπο ώστε η λήψη φωτογραφιών από το σημείο ναδίρ να είναι εγγυημένη (Bendig *et al.*, 2013). Η κάμερα ρυθμιζόταν πριν από κάθε πτήση για να πραγματοποιεί λήψη φωτογραφίας κάθε 2 δευτερόλεπτα. Το τετρακόπτερο ήταν επίσης εξοπλισμένο με το βασικό σύστημα ελέγχου πτήσης της DJI, το οποίο περιείχε το κύριο χειριστήριο (Main Controller), την αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU), τον δέκτη GPS και την πυξίδα. Ο χειρισμός του τετρακόπτερου γινόταν μέσω ενός τηλεχειριστηρίου στα 2.4 GHz. Ως πηγή ενέργειας

το τετρακόπτερο ήταν εξοπλισμένο με μια μπαταρία λιθίου δυναμικότητας 5200 mAh παρέχοντας του έτσι αυτονομία για 10 λεπτά πτήσης.

Σε κάθε ημερομηνία λήψης φωτογραφιών, πραγματοποιούνταν 2 πτήσεις, κατά τις οποίες αποτυπώνονταν φωτογραφίες στο ορατό και στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Όλες οι φωτογραφίες λήφθηκαν υπό συνθήκες μηδενικής νεφοκάλυψης κατά τις πρώτες μεσημβρινές ώρες. Πριν από κάθε πτήση γινόταν καθορισμός 6 διακριτών σημείων (Ground Control Points (GCPs)) εντός των ορίων του αγρού, για την μετέπειτα γεωαναφορά των αεροφωτογραφιών. Το ύψος πτήσης ήταν στα 200 μέτρα για να είναι εφικτό με μια φωτογραφία να αποτυπωθεί όλη η έκταση του αγρού.

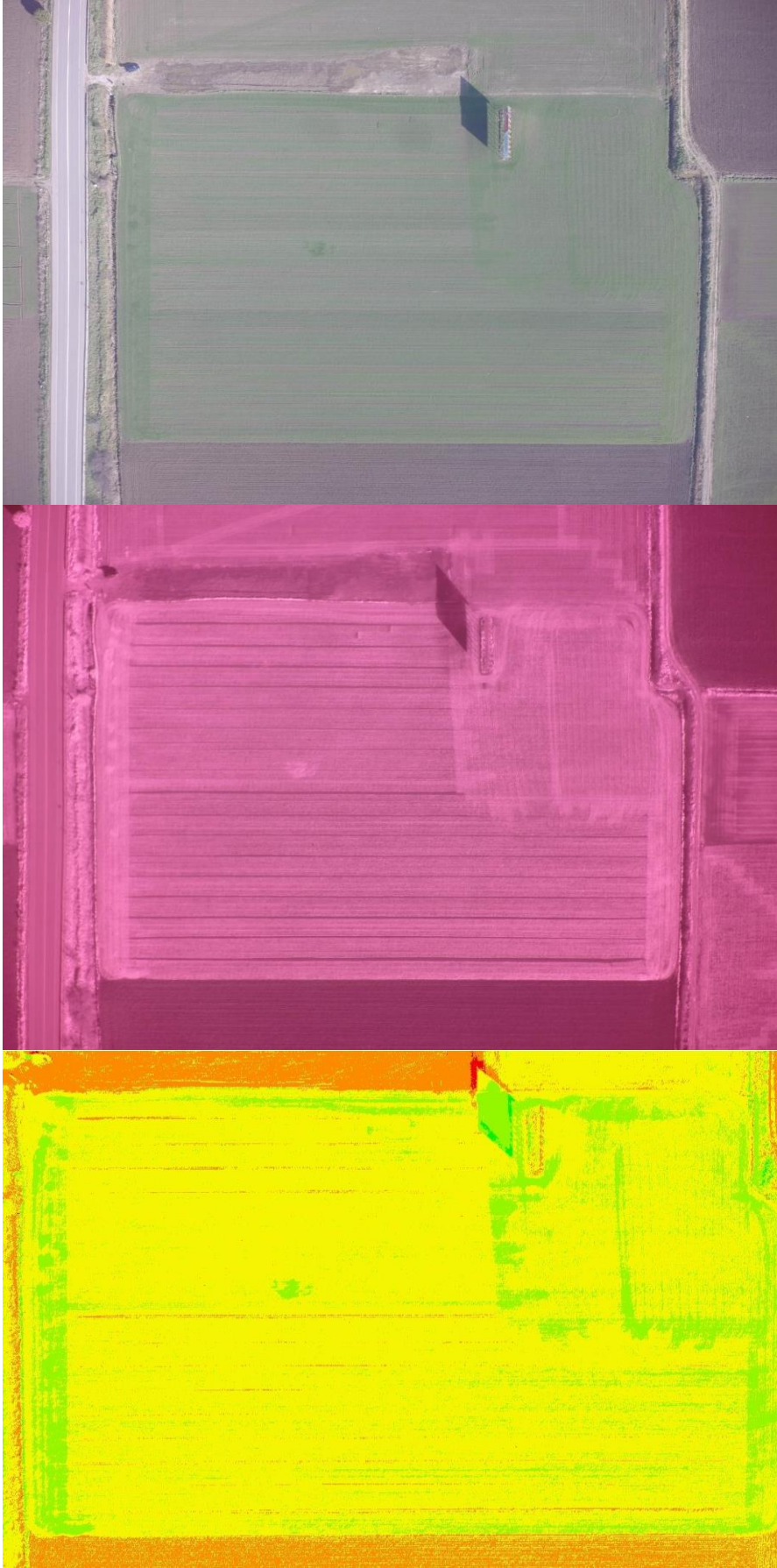
Η επεξεργασία των εικόνων έγινε με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS 10.1 (ESRI Inc.). Σε κάθε ζευγάρι φωτογραφιών (ορατού φάσματος (RGB) και εγγύς υπέρυθρου (NI)) έγινε γεωαναφορά. Για καλύτερα αποτελέσματα το σφάλμα RMS (Root-Mean-Square) ελαχιστοποιήθηκε. Η χωρική ανάλυση των εικόνων που δημιουργήθηκαν ήταν 10 εκ., ενώ κάθε ζεύγος φωτογραφιών που αντιστοιχούσε σε κάθε ημερομηνία πτήσεων χαρακτηριζόταν από πλέγμα ίδιου μέγεθος, ίδιο προσανατολισμό και ίδια επικάλυψη. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία άλγεβρας του λογισμικού ArcGIS, υπολογιστήκαν οι τιμές του NDVI για κάθε pixel και κάθε εικόνα (Longley *et al.*, 2015). Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιήθηκαν οι αντίστοιχοι ψηφιακοί αριθμοί (Digital Numbers), στο ερυθρό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα για κάθε pixel των φωτογραφιών (Papadopoulos *et al.*, 2015). Δεν πραγματοποιήθηκε διόρθωση ανάκλασης και οι υπολογισμοί έγιναν βασισμένοι στους ψηφιακούς αριθμούς κάθε εικόνας (DNs). Ακολουθούν εικόνες (Εικ. 2.4.a, 2.4.b) με τις σειρές φωτογραφιών στις 9 Φεβρουαρίου (αδέλφωμα) και στις 30 Μαρτίου (καλάμωμα) 2016.



Εικόνα 2.4.1 : Το σύστημα μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος που χρησιμοποιήθηκε



Εικόνα 2.4.2 : Ρύθμιση και έλεγχος πτήσεως του Drone



Εικόνα 2.4.α: Σειρά φωτογραφιών που ελήφθησαν 9/2/2016 και απεικονίζεται ο πειραματικός αγρός. Από δεξιά στα αριστερά παρουσιάζεται φωτογραφία στο ορατό φάσμα (RGB), στο υπέρυθρο και μετά την αποτύπωση του NDVI.



Εικόνα 2.4.b: Σειρά φωτογραφιών που ελήφθησαν 30/3/2016 και απεικονίζεται ο πειραματικός αγρός. Από δεξιά στα αριστερά παρουσιάζεται φωτογραφία στο ορατό φάσμα (RGB), στο υπέρυθρο και μετά την αποτύπωση του NDVI.

2.6 Γεωγραφική βάση δεδομένων

Κάθε πειραματικό τεμάχιο αποτυπώθηκε με τη μορφή πολυγώνου, πάνω στις φωτογραφίες που λάβαμε από τις πτήσεις του UAV, δουλεύοντας στην πλατφόρμα του λογισμικού της ESRI, ArcMap 10.1. Για κάθε πολύγωνο καταχωρηθήκαν τα εδαφικά και τα αγρονομικά δεδομένα που του αντιστοιχούσαν καθώς και οι τιμές NDVI που είχαν παραχθεί. Αναλυτικότερα καταχωρηθήκαν :

Πίνακας 2.6 Αγρονομικά και εδαφολογικά στοιχεία που καταχωρηθήκαν σε γεωγραφική βάση δεδομένων, για την δημιουργία χαρτών.

ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
Απόδοση σε καρπό ανά στρέμμα	Αριθμός στάχων ανά m ²
Απόδοση σε ξηρή βιομάζα ανά στρέμμα	Αριθμός καρπών ανά στάχυ
Βάρος 1000 κόκκων	Harvest Index
ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
pH	Περιεκτικότητα σε CaCO ₃
Περιεκτικότητα σε Οργανική ουσία	I.A.K.
Περιεκτικότητα σε Άζωτο	Κοκκομετρική Σύσταση

2.7 Μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης

2.7.1 Μη χωρικές

Η μη χωρική στατιστική ανάλυση περιλάμβανε μονομεταβλητές αναλύσεις (μέσος όρος, τυπική απόκλιση, τυπικό σφάλμα του μέσου όρου), συντελεστές συσχέτισης, ελέγχους για τη διάφορα στους μέσους όρους με χρήση T-test και ανάλυση διακύμανσης (ANalysis Of VAriance). Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση δυο λογισμικών στατιστικής ανάλυσης του Statgraphics Centurion και του SPSS.

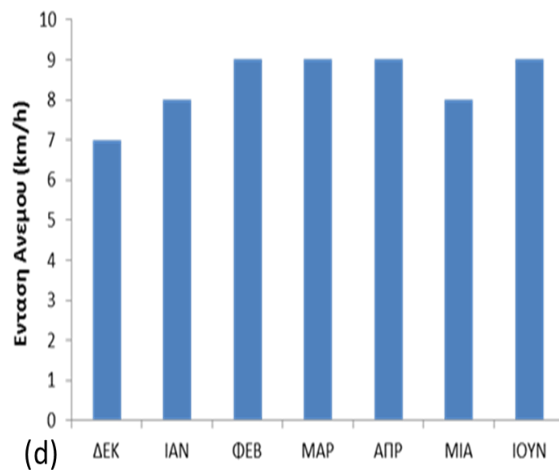
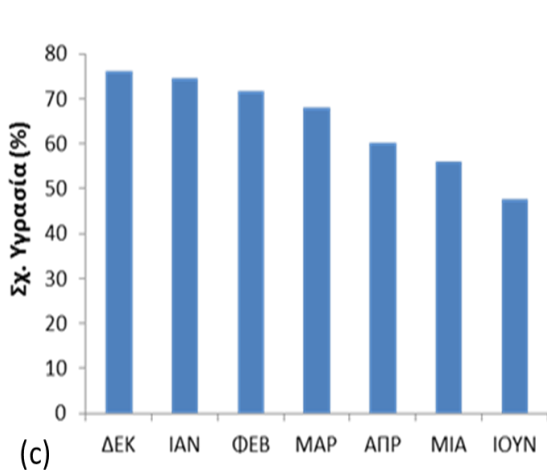
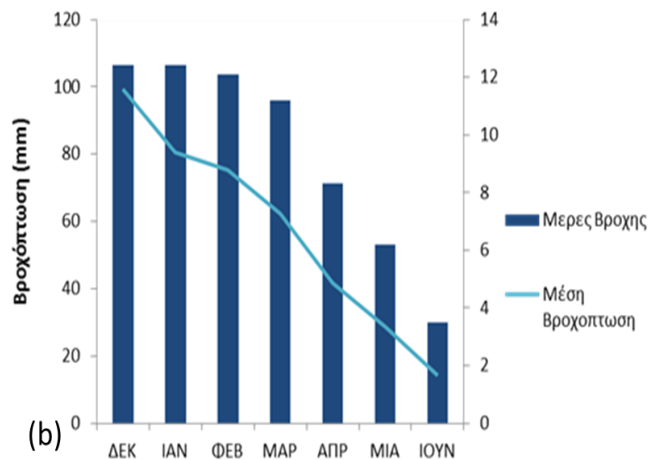
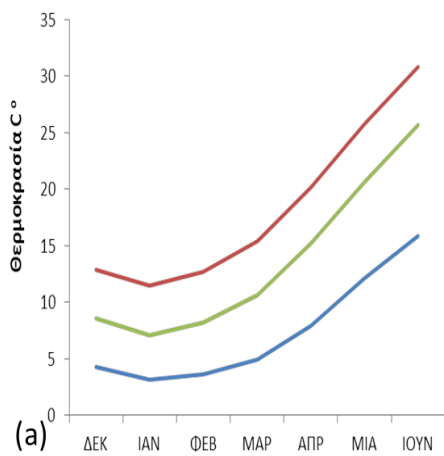
2.7.2 Χωρικές

Η χωρική στατιστική ανάλυση περιελάμβανε εφαρμογή μεθόδων χωρικής παρεμβολής και συγκεκριμένα της μεθόδου Inverse Distance Weighting (IDW) με σκοπό τη δημιουργία χαρτών συνεχούς κατανομής των δεδομένων.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής

Στα διαγράμματα που ακολουθούν εμφανίζονται τα στοιχεία που αφορούν την διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα, το ύψος της βροχόπτωσης, τη μέση σχετική υγρασία καθώς και την ένταση του ανέμου που επικράτησαν στην περιοχή από την σπορά έως και την συγκομιδή της καλλιέργειας (Δεκέμβριος 2015-Ιούνιος 2016).



Διαγραμμα 3.1.1(a-d) Κατά το διαστημα που διηρκησε η καλλιέργεια(Δεκ.-Ιουν.) καταγραφονται : **(a)** Διακύμανση θερμοκρασίας αέρος ανά μηνια, (παρουσιάζεται η μεση μηνιαια (πρασινο), η ελάχιστη (μπλε) και μέγιστη (κοκκινο) μηνιαια θερμοκρασία), **(b)** : Ύψος βροχόπτωσης ανά μηνια, (παρουσιάζονται οι μερες βροχης κάθε μηνια (σκουρο μπλε) και η μεση βροχόπτωση (ανοικτο μπλε) σε χιλιοστα ανά μηνια), **(c)** Ποσοστά μεχης σχετικη υγρασιας αερος ανά μηνια, **(d)** Ενταση ανεμου σε σε χιλιομετρα ανά ωρα, για καθε μηνια.

Κατά τους επτά μήνες που διήρκησε η καλλιέργεια, η μέση θερμοκρασία κυμάνθηκε από 7 °C το χαμηλότερο έως και 26 °C το υψηλότερο. Σημαντικό για να αναφερθεί είναι ότι η θερμοκρασία δεν έπεσε σε επίπεδα κατώτερα των 0 °C σε κανένα στάδιο της καλλιέργειας. Ενώ γενικότερα φαίνεται να ακολούθησε μια ομαλή πορεία, χωρίς να παρουσιάζονται εξαιρετικά ακραίες τιμές ή τιμές που δεν συμβαδίζουν με τις εποχές.

Από το Δεκέμβριο του 2015 μέχρι και τον Ιούνιο του 2016 καταγράφεται μια μέση συνολική βροχόπτωση της τάξης των 402 mm. Τις περισσότερες μέρες βροχής καθώς και οι υψηλότερες τιμές σε mm βροχής παρουσιάζονται κατά τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο, με 12 μέρες βροχής και τους δυο μήνες και με 99 και 80 mm βροχής αντίστοιχα. Όπως ήταν αναμενόμενο κατά τον Ιούνιο η βροχόπτωση μειώθηκε σημαντικά με μόλις 3 μέρες βροχής και 14 mm ύψος βροχόπτωσης

Όσον αφορά την σχετικά υγρασία αέρος, αυτή παρουσιάζει τα μεγαλύτερα ποσοστά κατά τους χειμερινούς μήνες (>70%) ενώ σταδιακά ελαττώνεται μέχρι τον Ιούνιο όπου καταγράφεται σχετική υγρασία 47%.

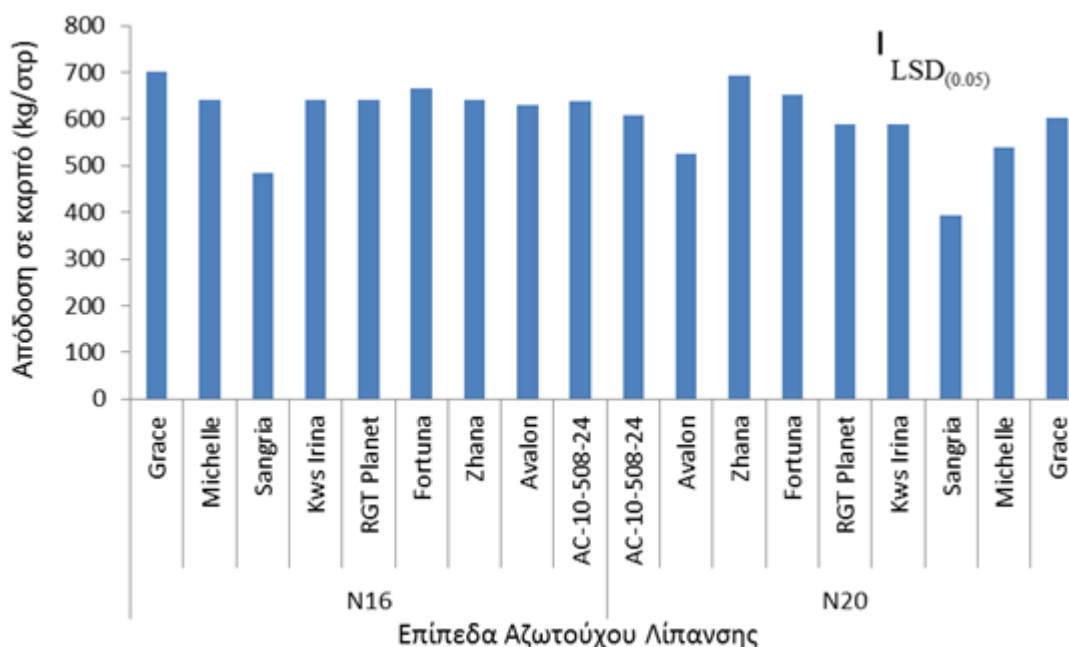
Σχετικά με την ένταση ανέμου που επικράτησε στην περιοχή του αγρού, οι μεγαλύτερες ταχύτητες της τάξης των 9km/h σημειώθηκαν κατά τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο και Ιούλιο.

3.2 Ποσοτικά χαρακτηριστικά

3.2.1 Απόδοση σε καρπό

Οι αποδόσεις σε καρπό κυμάνθηκαν από 392 kg/στρ (Sangria με λίπασμα 20-20-0) έως και 701 kg/στρ (Grace με λίπασμα 16-20-0). Γενικότερα παρατηρείται μια τάση με σταθερά υψηλές αποδόσεις στα τεμάχια που δεχτήκαν την 16-20-0 λίπανση, ενώ στα υπόλοιπα τεμάχια που εφαρμόστηκε 20-20-0 λίπανση παρουσιάζονται χαμηλότερες αποδόσεις στην πλειοψηφία των ποικιλιών. Εξάιρεση αποτελεί η ποικιλία Zhana της οποίας η απόδοση είναι υψηλότερη όταν δέχεται λίπανση 20-20-0. (Διάγραμμα 3.2.1)

Αναλυτικότερα, τις υψηλότερες αποδόσεις και για τα 2 είδη λίπανσης τις παρουσίασαν η Grace με την Zhana, 701kg/στρ, 602kg/στρ και 641kg/στρ, αντίστοιχα. Στην συνέχεια ακολουθεί η Fortuna με 665 και 651 kg/στρ, και έπειτα με μικρή διάφορα υπάρχει μια ομάδα από ποικιλίες που έχουν παρόμοιες αποδόσεις και αποτελείται από τις Michelle, KWS Irina, RGT Planet, Avalon και AC-10-508-24. Η απόδοση σε καρπό για την Sangria είναι σημαντικά χαμηλότερη από οποιαδήποτε άλλη ποικιλία με 484 kg/στρ με 16-20-0 λίπανση και 392 kg/στρ με 20-20-0 λίπανση.



Διάγραμμα 3.2.1 Απόδοση σε καρπό ανά στρέμμα για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Από τη στατιστική ανάλυση (πίνακα 3.2.1.), φαίνεται να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά την απόδοση σε καρπό και μεταξύ των ποικιλιών και μεταξύ των δυο διαφορετικών επιπέδων αζωτούχου λίπανσης και στην αλληλεπίδραση τους.

Πίνακας 3.2.1: Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την απόδοση σε καρπό ανά στρέμμα.

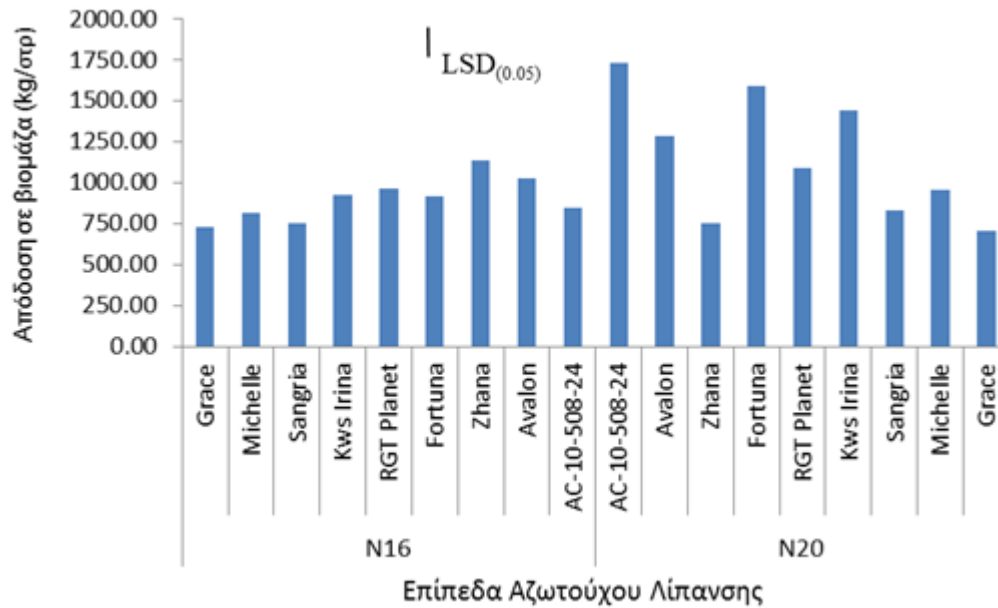
Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	152912	8	19114,0	71,66	***
Επίπεδο N λίπανσης	27039,4	1	27039,4	101,37	***
Επανάληψη	295484	1	295484		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	21584,2	8	2698,03	10,11	***
Υπόλοιπο	4534,56	17	266,739		
Σύνολο	501554	35			

3.2.2 Απόδοση σε ξηρή βιομάζα

Οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα καταγράφηκαν από 707 kg/στρ. (Grace με λίπασμα 20-20-0) έως και 1.733 kg/στρ. (AC-10-508-24 με λίπασμα 20-20-0). Σε γενικές γραμμές στα τεμάχια που δεχτήκαν λίπανση με 16 μονάδες αζώτου η απόδοση σε ξηρή βιομάζα είναι σημαντικά χαμηλότερη από τα υπόλοιπα τεμάχια και με όχι μεγάλες διαφοροποιήσεις μεταξύ των ποικιλιών. Αντίθετα στα τεμάχια που δεχτήκαν 20 μονάδες αζώτου εκτός από την ανοδική τάση σε αποδόσεις σε βιομάζα που παρουσιάζουν, διακρίνεται και μια ανομοιογένεια μεταξύ των ποικιλιών. (Διάγραμμα 3.2.2)

Συγκεκριμένα οι ποικιλίες AC-10-508-24, Fortuna, KWS Irina και Avalon που αναπτύχθηκαν δεχόμενες λίπανση 20-20-0, απέδωσαν σημαντικά υψηλότερη βιομάζα (1.733, 1.593, 1.439 και 1.285 kg/στρ. αντίστοιχα) σε σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα τεμάχια.

Οι υπόλοιπες ποικιλίες (Grace, Michelle, Sangria, RGT Planet) δεν διαφοροποιήθηκαν ιδιαίτερα όσον αφορά την βιομάζα που απέδωσαν σε σχέση με τα δυο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, με τα τεμάχια που λιπάνθηκαν με 20-20-0 να παρουσιάζουν μια μικρή αύξηση. Εξαιρέση αποτελεί η ποικιλία Zhana, η οποία ανέπτυξε σημαντικά υψηλότερη βιομάζα στα τεμάχια με λίπανση 16-20-0 (1.140 kg/στρ.) σε σχέση με αυτά με λίπανση 20-20-0 (750 kg/στρ.).



Διάγραμμα 3.2.2 Απόδοση σε ξηρή βιομάζα ανά στρέμμα για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Σύμφωνα με την ανάλυση διασποράς που ακολουθεί (Πίνακας 3.2.2.), οι αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα φαίνεται ότι επηρεάστηκαν σημαντικά από το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης, διέφεραν και ανά ποικιλία καθώς και στην αλληλεπίδραση της ποικιλίας με το επίπεδο λίπανσης.

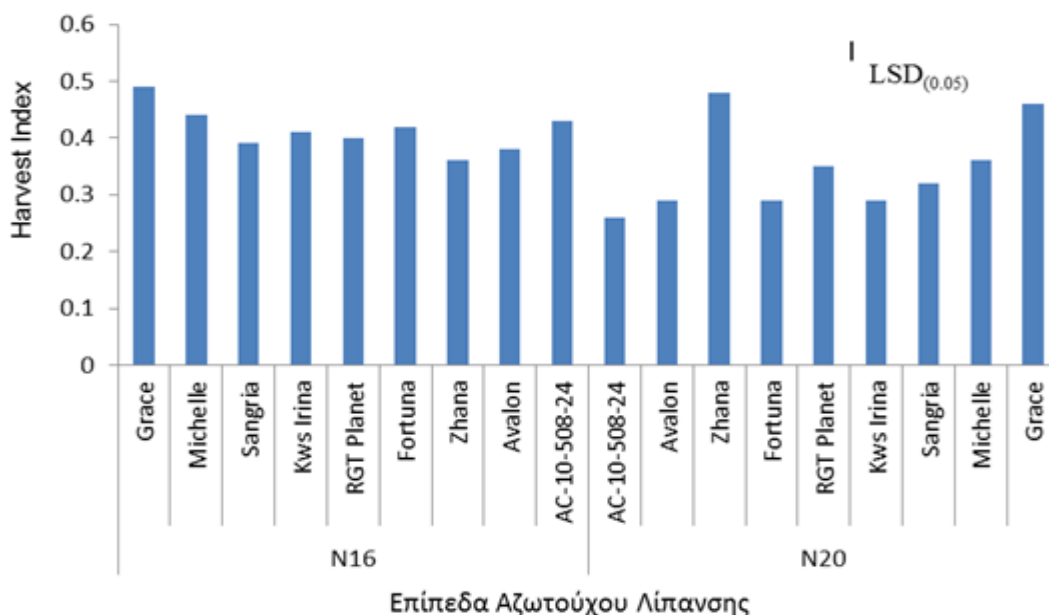
Πίνακας 3.2.2 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για την απόδοση σε ξηρή βιομάζα ανά στρέμμα.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	1,34367E6	8	167959	40,69	***
Επίπεδο N λίπανσης	576620	1	576620	139,69	***
Επανάληψη	856971	1	856971		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	1,19858E6	8	149822	36,29	***
Υπόλοιπο	70174,6	17	4127,92		
Σύνολο	4,04602E6	35			

3.2.3 Δείκτης Συγκομιδής (Harvest Index)

Ο δείκτης συγκομιδής H.I., παρουσιάζει ένα μέσο ορό 0.39, με την μικρότερη τιμή ίση με 0.26 να χαρακτηρίζει το τεμάχιο με την ποικιλία AC-10-508-24 που δέχτηκε 20 μονάδες αζώτου και την μεγαλύτερη ίση με 0.49 το τεμάχιο με την ποικιλία Grace που δέχτηκε 16 μονάδες αζώτου. Στατιστικά σημαντική είναι διάφορα των τιμών όταν συγκρίνουμε τα τεμάχια με τις ποικιλίες που εφαρμόστηκαν 20 μονάδες αζώτου με τα αντίστοιχα τεμάχια που εφαρμόστηκαν 16 μονάδες. Στην δεύτερη περίπτωση παρουσιάζονται υψηλές τιμές του δείκτη συγκομιδής καθώς και μια σταθερότητα στην διακύμανση χωρίς μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα στις ποικιλίες. Αντίθετα στα υπόλοιπα τεμάχια που δέχτηκαν λίπανση 20-20-0 ο δείκτης συγκομιδής παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές και με μικρότερη ομοιογένεια ανάμεσα στις ποικιλίες. (Διάγραμμα 3.2.3)

Πιο αναλυτικά οι ποικιλίες Michelle, Sangria, KWS Irina, RGT Planet, Fortuna, Avalon και AC-10-508-24, χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές του δείκτη συγκομιδής υπό λίπανση 16-20-0 σε σχέση με την 20-20-0 λίπανση. Η ποικιλία Grace παρουσιάζει σχεδόν ίδιο δείκτη συγκομιδής και για τα δυο είδη λίπανσης (0.49-16.20.0, 0.46-20-20-0). Ενώ η ποικιλία Zhana είναι η μοναδική που παρουσίασε μεγαλύτερο δείκτη συγκομιδής μετά από λίπανση 20-20-0 παρά μετά από 16-20-0, με τιμές 0.48 και 0.36 αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3.2.3 Δείκτης συγκομιδής (Harvest Index) για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Σύμφωνα με τον πίνακα 3.2.3 της ανάλυσης διασποράς, το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης, έδειξε να επιδρά με σημαντικό τρόπο στον συντελεστή συγκομιδής. Παρόμοια οι ποικιλίες έδειξαν ότι διέφεραν στατιστικώς σημαντικά και το ίδιο παρουσίασε και η αλληλεπίδραση των ποικιλιών με το επίπεδο αζωτούχου λίπανσης.

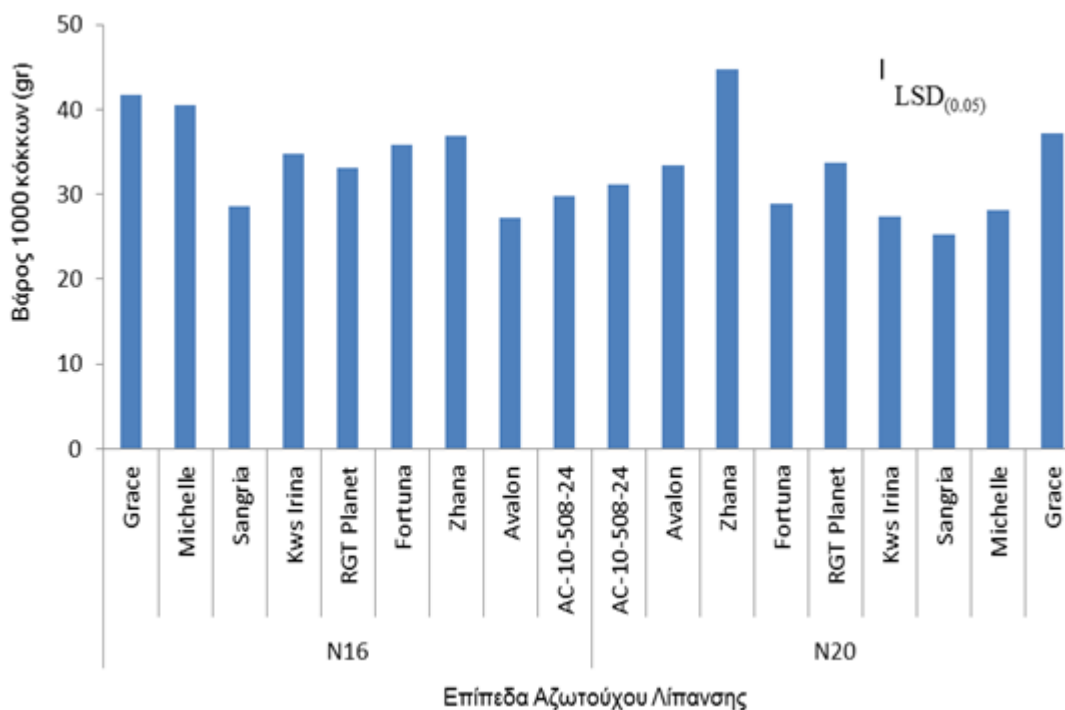
Πίνακας 3.2.3 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον δείκτη συγκομιδής Harvest Index.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	0,0657556	8	0,00821944	34,17	***
Επίπεδο N λίπανσης	0,0427111	1	0,0427111	177,58	***
Επανάληψη	0,111111	1	0,111111		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	0,0546889	8	0,00683611	28,42	***
Υπόλοιπο	0,00408889	17	0,000240523		
Σύνολο	0,278356	35			

3.2.4 Βάρος 1000 κόκκων

Σχετικά με τις τιμές για το βάρος 1000 κόκκων, αυτές κυμάνθηκαν κατά μέσο όρο μεταξύ 25–45 gr. Τα φυτά της ποικιλίας Zhana που δέχτηκαν 20 μονάδες αζώτου, παρουσίασαν το μεγαλύτερο βάρος 1000 κόκκων (44.69 gr.), και ακολουθούν τα τεμάχια με τις ποικιλίες Grace και Michelle στις όποιες εφαρμόστηκε λίπανση με 16 μονάδες αζώτου με 41.7 gr και 40.5 gr αντίστοιχα. (Διάγραμμα 3.2.4.)

Γενικότερα παρατηρείται ότι τα τεμάχια που λιπάνθηκαν με 16 μονάδες αζώτου έδωσαν μεγαλύτερες τιμές σε βάρος 1000 κόκκων. Εξαίρεση σε αυτό αποτελεί η ποικιλία Zhana και σε μικρότερο βαθμό η ποικιλία Avalon, όπου το βάρος 1000 κόκκων υπερτερεί στα τεμάχια με 20 μονάδες λίπανσης αζώτου σε σχέση με τα αντίστοιχα τεμάχια των 16 μονάδων αζώτου, με τις τιμές να είναι 44.69gr – 36.9gr για τη Zhana και 33.4gr – 27.3gr για την Avalon αντίστοιχα. Πολύ μικρές διαφορές στο βάρος των 1000 κόκκων, σε σχέση με το επίπεδο λίπανσης, υποδεικνύοντας έτσι μια σχετική σταθερότητα διαπιστώθηκαν για τις ποικιλίες RGT Planet και AC-10-508-24. Η ποικιλία Sangria είναι αυτή που παρουσίασε το χαμηλότερο βάρος 1000 κόκκων και για τα 2 είδη λίπανσης, δίνοντας 28.7gr με 16 μονάδες αζώτου και 25.3gr με 20 μονάδες αζώτου.



Διάγραμμα 3.2.4 Βάρος 1000 κόκκων για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 3.2.4 ανάλυσης της διασποράς το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης επηρέασε το βάρος των χιλίων κόκκων και παρουσιάστηκαν σημαντικές στατιστικές διαφορές ανάμεσα στα δυο επίπεδα λίπανσης. Ακόμα σημαντικές διαφοροποιήσεις παρουσιάστηκαν και μεταξύ των ποικιλιών αλλά και για την αλληλεπίδραση ποικιλιών και επίπεδου λίπανσης.

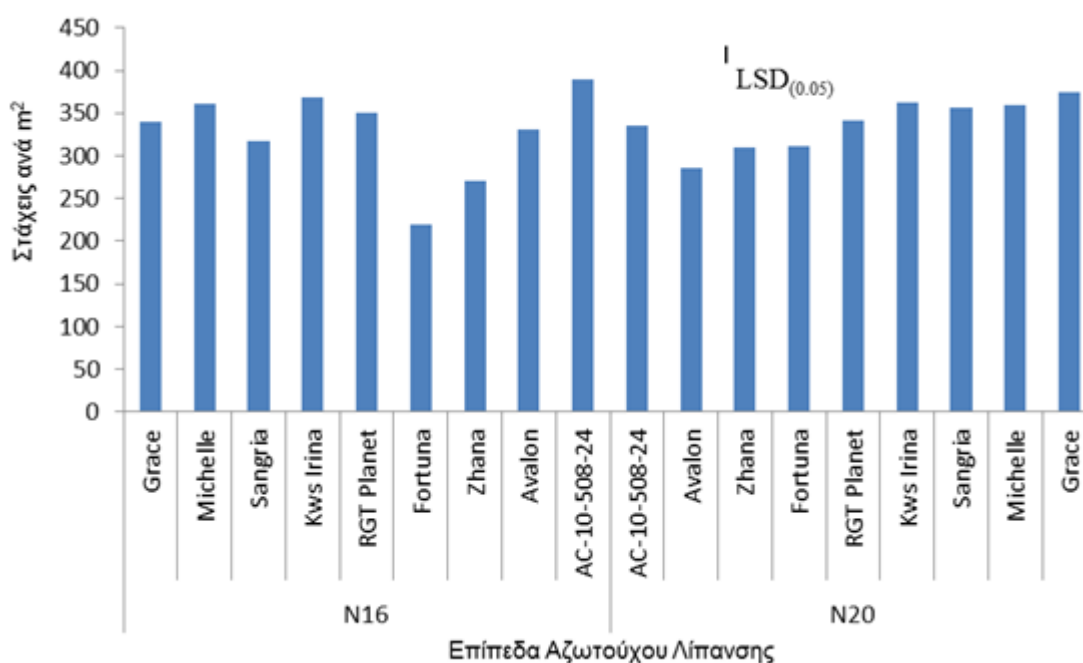
Πίνακας 3.2.4 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για το βάρος χιλίων κόκκων.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	629,669	8	78,7087	58,72	***
Επίπεδο N λίπανσης	38,6884	1	38,6884	28,86	***
Επανάληψη	896,044	1	896,044		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	344,378	8	43,0472	32,12	***
Υπόλοιπο	22,7865	17	1,34038		
Σύνολο	1931,57	35			

3.2.5 Αριθμός Στάχων ανά m²

Ο αριθμός των στάχων ανά m² που υπολογίστηκε, κυμαίνεται κατά μέσο ορό, από 220 για τη ποικιλία Fortuna με 16 μονάδες αζώτου, μέχρι 390 για τη ποικιλία AC-10-508-24 με ίδια λίπανση. Σε γενικές γραμμές τα τεμάχια που δέχτηκαν 20 μονάδες αζωτούχου λίπανσης παρατηρείται ότι ανέπτυξαν περισσότερους στάχους ανά m² σε σύγκριση με τα τεμάχια που εφαρμόστηκαν 16 μονάδες αζώτου, παρουσιάζοντας παράλληλα μικρή σχετικά διακύμανση στις μετρήσεις (μεγαλύτερη μέτρηση 374 στάχους ανά m² κατά μέσο ορό για την Grace και μικρότερη μέτρηση 286 στάχους ανά m² κατά μέσο ορό για την Avalon). Αντίθετα στα τεμάχια που εφαρμόστηκαν 16 μονάδες αζωτούχου λίπανσης παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση των τιμών, από 220 στάχους ανά m² κατά μέσο για την Fortuna μέχρι 390 στάχους ανά m² κατά μέσο ορό για την AC-10-508-24. (Διάγραμμα 3.2.5.)

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση ποικιλιών και επιπέδου λίπανσης, οι Grace, Sangria, RGT Planet, Fortuna και Zhana δείχνουν ότι ανέπτυξαν περισσότερους στάχους με 20 μονάδες αζωτούχου λίπανσης, οι AC-10-508-24 και Avalon ανέπτυξαν περισσότερους στάχους με 16 μονάδες αζωτούχου λίπανσης, ενώ οι ποικιλίες Michelle και KWS Irina δεν φάνηκε να επηρεάζονται και παρουσίασαν σχεδόν ίδιους στάχους ανά m² ανεξαρτήτου επιπέδου λίπανσης.



Διάγραμμα 3.2.5 Αριθμός των στάχων ανά m² για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Όπως παρατηρείται από τον πίνακα 3.2.5 της ανάλυσης της διασποράς, το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκε δείχνει να επιδρά σημαντικά στον αριθμό των στάχων ανά m². Στατιστικώς σημαντικές διαφορές προκύπτουν και μεταξύ των ποικιλιών αλλά και για την αλληλεπίδραση ποικιλιών και επίπεδου αζωτούχου λίπανσης.

Πίνακας 3.2.5 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον αριθμό των στάχων ανά m².

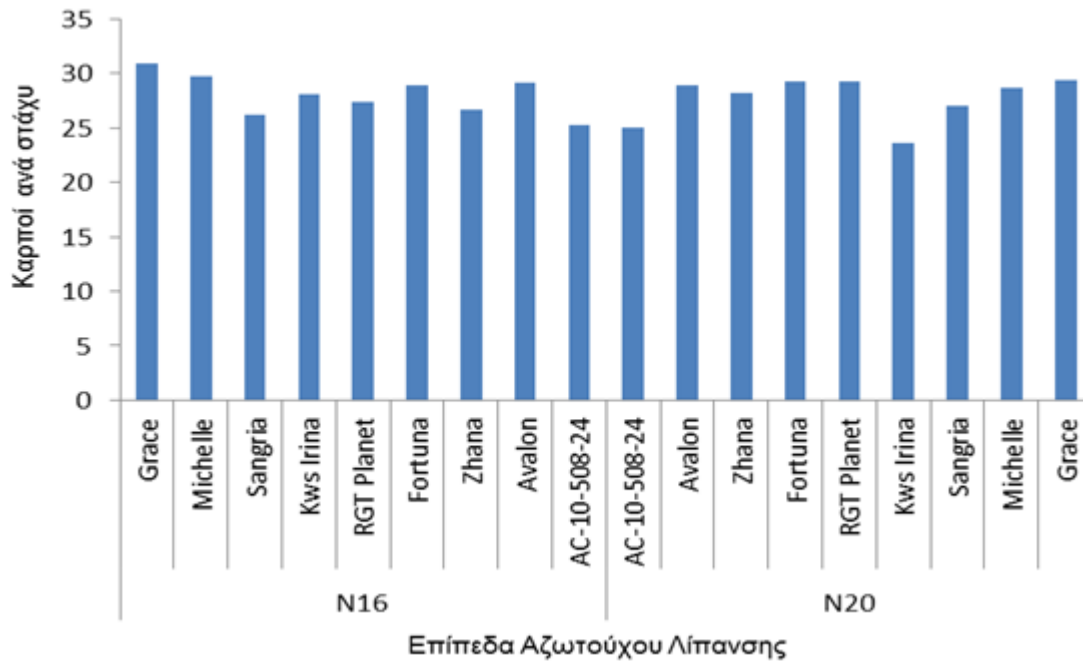
Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	41585.6	8	5198.19	66.20	***
Επίπεδο N λίπανσης	841	1	841	10.71	**
Επανάληψη	89610.4	1	89610.4		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	16898	8	2112.25	26.90	***
Υπόλοιπο	1334.8	17	78.5178		
Σύνολο	150270	35			

3.2.6 Αριθμός καρπών ανά στάχυ

Αναφορικά με τον αριθμό καρπών ανά στάχυ παρατηρήθηκε ότι στα τεμάχια της ποικιλίας Grace, που εφαρμόστηκαν 16 μονάδες αζωτούχου λίπανσης, παρουσίασαν τους περισσότερους καρπούς ανά στάχυ κατά μέσο ορό, τιμή ίση με 30.9. Ενώ οι λιγότεροι καρποί ανά στάχυ, 23.6, καταγράφηκαν για τα τεμάχια της ποικιλίας KWS Igina που δέχτηκαν 20 μονάδες αζωτούχου λίπανσης. (Διάγραμμα 3.2.6.)

Παρατηρήθηκε γενικότερα μια τάση τα τεμάχια που λιπάνθηκαν με 16-20-0 λίπασμα να παράγουν ελαφρά περισσότερους καρπούς ανά στάχυ, σε σχέση με τα υπόλοιπα τεμάχια στα όποια εφαρμόστηκα 20-20-0 λίπασμα.

Σχετικά με την αλληλεπίδραση του επιπέδου λίπανσης και των ποικιλιών, η ποικιλία KWS Igina παρήγαγε περισσότερους καρπούς ανά στάχυ μετά από 16-20-0 λίπασμα, παρά μετά από 20-20-0. Το ίδιο ακριβώς αλλά σε μικρότερο βαθμό ισχύει για τις ποικιλίες Grace και Michelle. Οι ποικιλίες RGT Planet και Zhana αντίθετα απέδωσαν περισσότερους καρπούς ανά στάχυ στα τεμάχια που εφαρμόστηκε λίπανση με 20 μονάδες αζώτου σε σχέση με τα τεμάχια των 16 μονάδων αζώτου. Σταθερές στην απόδοση καρπών ανά στάχυ και για τα δυο επίπεδα λίπανσης παρέμειναν οι ποικιλίες Avalon, Fortuna, Sangria και AC-10-508-24.



Διάγραμμα 3.2.5 Αριθμός των καρπών ανά στάχυ για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

Στον παρακάτω πίνακα ανάλυσης διασποράς (πίνακας 3.2.6), φαίνεται ότι το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης επηρέασε σημαντικά τον αριθμό των καρπών ανά στάχυ. Μεγάλες διαφορές καταγράφονται και μεταξύ των ποικιλιών αλλά και για την αλληλεπίδραση των ποικιλιών με τα επίπεδα αζωτούχου λίπανσης.

Πίνακας 3.2.6 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον αριθμό των καρπών ανά στάχυ.

Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	92.2506	8	11.5313	71.18	***
Επίπεδο N λίπανσης	0.9025	1	0.9025	5.57	*
Επανάληψη	628.881	1	628.881		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	29.245	8	3.65563	22.57	***
Υπόλοιπο	2.75396	17	0.161997		
Σύνολο	754.003	35			

3.3 Εδαφικές ιδιότητες και απεικόνισή τους μέσω χωρικής παρεμβολής

Σχετικά με τα εδαφικά χαρακτηριστικά του αγρού, σύμφωνα με την εδαφική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, το έδαφος παρουσιάζει βασικό pH, επαρκή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, καθώς και ικανοποιητική Ικανότητα Ανταλλαγής κατιόντων. Όσον αφορά την ορυκτολογική σύσταση, υπερτερεί σημαντικά η Άργιλος και ως εκ τούτου το έδαφος χαρακτηρίζεται ως αργιλώδες. Τα αποτελέσματα κατά μέσο όρο παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 3.3.1: Αποτελέσματα ανάλυσης εδάφους (βάθους 0-30cm) του πειραματικού αγρού κατά την περίοδο 2015-16.

Ιδιότητες	Τιμές (Μ.Ο.)
Χημικές	
pH	7.70
Οργανική Ουσία (%)	2.63
CaCO ₃ (%)	13.21
N (%)	0.16
I.A.K. (meq/100gr)	49
Φυσικές	
Άργιλος (%)	62.78
Άμμος (%)	17.49
Ιλύς (%)	19.73
Έδαφος	Αργιλώδες

Τα αποτελέσματα της εδαφικής ανάλυσης, καταχωρηθήκαν σε βάση δεδομένων στο λογισμικό ArcMap με στόχο την δημιουργία χαρτών χωρικής παρεμβολής (μέθοδος IDW) που θα απεικονίζονται τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Γενικότερα αυτό που παρατηρείται είναι ότι ο αγρός στον όποια εγκαταστάθηκε το πείραμα, παρουσίαζε ετερογένεια ως προς τα εδαφικά χαρακτηριστικά του και πιο συγκεκριμένα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, άζωτο και ανθρακικό ασβέστιο καθώς και στην I.A.K. Ακολουθούν οι χάρτες χωρικής παρεμβολής όπου και απεικονίζονται αυτά τα χαρακτηριστικά

Στην εικόνα 3.3.1 που δημιουργήθηκε με την μέθοδο χωρικής παρεμβολής IDW, παρουσιάζεται η κατανομή του ποσοστού της οργανικής ουσίας στον αγρό. Παρατηρείται υψηλότερη συγκέντρωση οργανικής ουσίας στο δεξιό τμήμα του αγρού σε σχέση με το αριστερό με τη διάφορα να πλησιάζει τις δυο μονάδες.



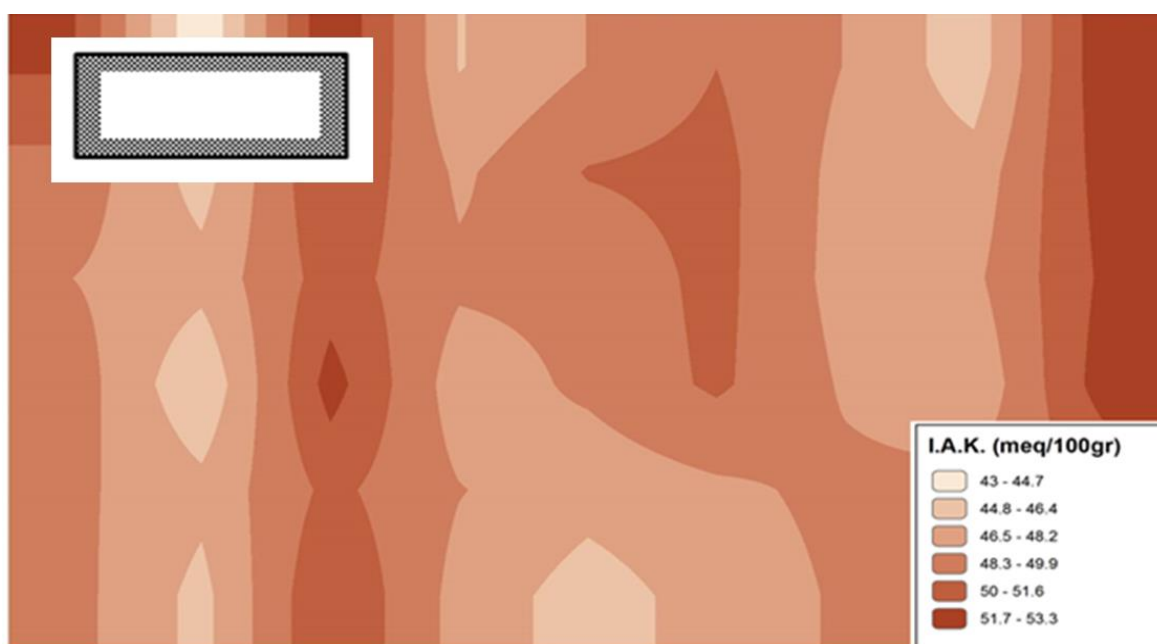
Εικόνα 3.3.1 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζεται η περιεκτικότητα του αγρού σε οργανική ουσία. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρουτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.

Αντίστοιχα στην εικόνα 3.3.2 έχει αποτυπωθεί με τη χρήση της χωρική παρεμβολής η κατανομή του ποσοστού του αζώτου στον αγρό. Οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στο κεντρικό χώρο του αγρού με μέγιστο τις 0.18 ποσοστιαίες μονάδες, ενώ οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στο δεξιό τμήμα με ελάχιστο τις 0.134 μονάδες.



Εικόνα 3.3.2 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζεται η περιεκτικότητα του αγρού σε αζωτο. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρουτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.

Στην εικόνα 3.3.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων στον αγρό και πάλι με τη χρήση χωρικής παρεμβολής. Η Ι.Α.Κ. παρουσιάζει μεγάλη ετερογένεια με τις μεγαλύτερες τιμές να εμφανίζονται δεξιά και κεντροαριστερά του αγρού και να υπολογίζονται στα 51-53 meq/100gr, ενώ οι μικρότερες να συγκεντρώνονται κυρίως στο δεξιό τμήμα και να κυμαίνονται από 43-47 meq/100gr.



Εικόνα 3.3.3 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζεται η Ι.Α.Κ του πειραματικού αγρού. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρουτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.

Τέλος στην εικόνα 3.3.4 έχει αποτυπωθεί η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο. Παρατηρείται μια κατευθυνόμενη αύξηση του ασβέστιο από το δεξιό τμήμα του αγρού μέχρι το αριστερό με τις τιμές να κυμαίνονται από 10.5% μέχρι 14.9%



Εικόνα 3.3.4 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζεται η περιεκτικότητα του αγρού σε ανθρακικό ασβέστιο. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρουτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.

3.4 Δεδομένα δείκτη βλάστησης NDVI

Οι τιμές του δείκτη NDVI υπολογίστηκαν σε δυο κρίσιμες περιόδους του βιολογικού κύκλου της καλλιέργειας κατά το αδελφωμα και κατά το καλάμωμα. Ακολουθούν οι πίνακες ανάλυσης παραλλακτικότητας του NDVI για τις δυο αυτές περιόδους.

Πίνακας 3.4.1 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον NDVI κατά την περίοδο του αδελφώματος της καλλιέργειας.

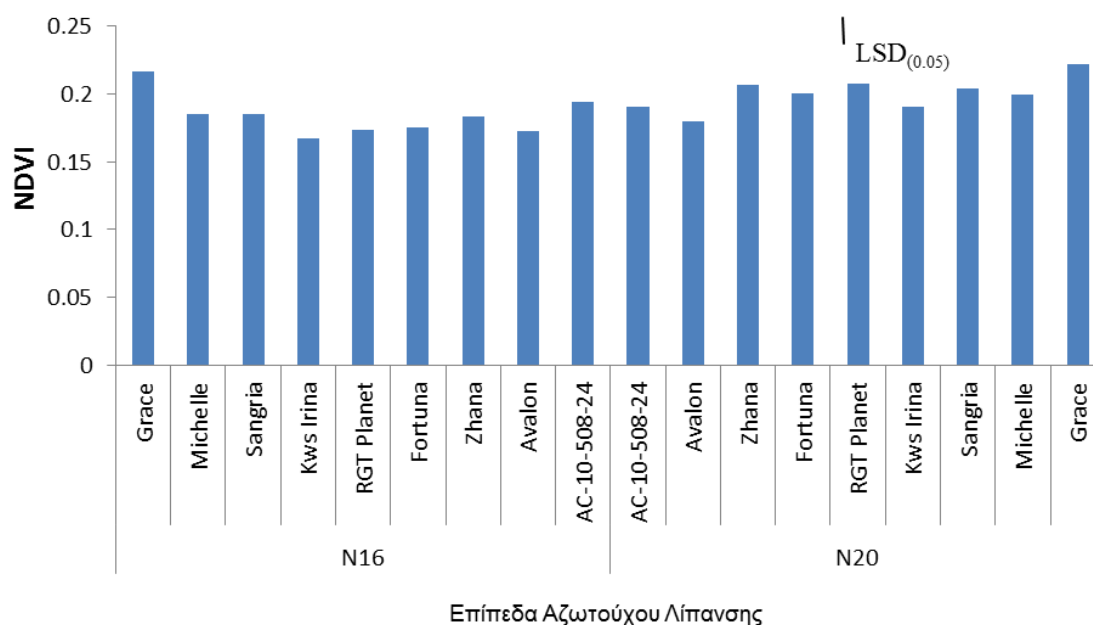
Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	0.0048113	8	0.000601413	6.99	***
Επίπεδο N λίπανσης	0.00245685	1	0.00245685	28.57	***
Επανάληψη	0.0020824	1	0.0020824		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	0.00108978	8	0.000136223	1.58	0.2021 ^{ns}
Υπόλοιπο	0.00146193	17	0.0000859958		
Σύνολο	0.0119023	35			

Πίνακας 3.4.2 Ανάλυση διασποράς (ANOVA) για τον NDVI κατά την περίοδο του καλαμώματος της καλλιέργειας.

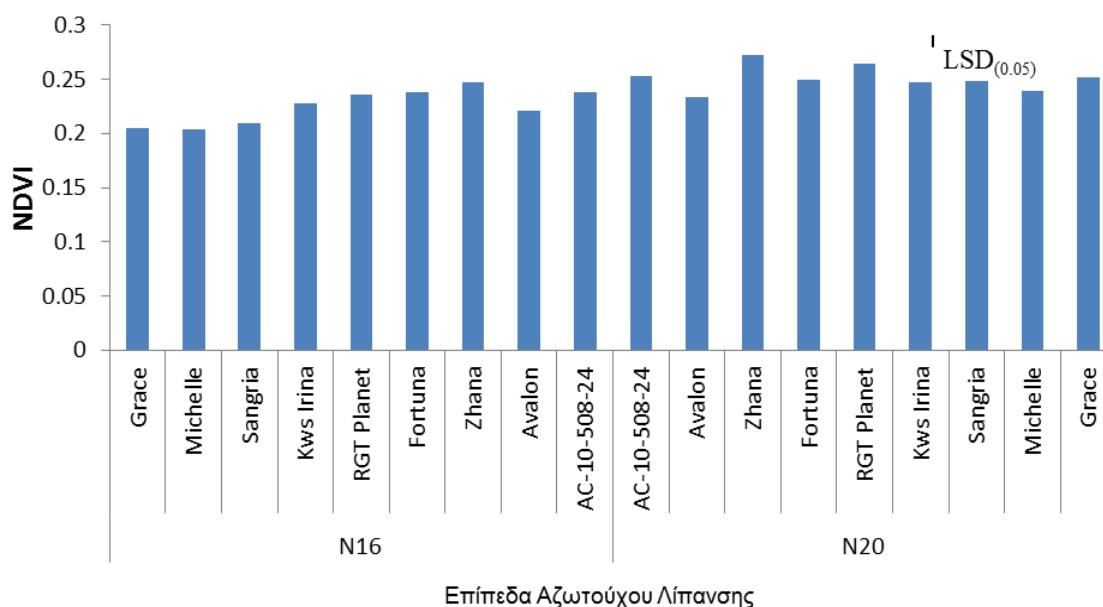
Πηγή παραλλακτικότητας	Άθροισμα τετραγώνων	Βαθμοί ελευθερίας	Μέσα τετράγωνα	F-Ratio	P-Value
Ποικιλία	0.00518026	8	0.000647533	33,58	***
Επίπεδο N λίπανσης	0.00603729	1	0.00603729	313,12	***
Επανάληψη	0.00119947	1	0.00119947		
Ποικιλία x Επίπεδο N λίπανσης	0.0011963	8	0.000149537	7,76	***
Υπόλοιπο	0.000327782	17	0.0000192813		
Σύνολο	0.0139411	35			

Όπως παρατηρείται από τους πίνακες ANOVA και κατά την περίοδο του αδελφώματος καθώς και κατά την περίοδο του καλαμώματος οι τιμές του NDVI διαφοροποιούνται σημαντικά και σε σχέση με τη ποικιλία αλλά και σε σχέση με το επίπεδο της αζωτούχου λίπανσης. Η αλληλεπίδραση αυτών των δυο παραγόντων φάνηκε να επηρεάζει το NDVI μόνο κατά την περίοδο του καλαμώματος και όχι κατά το αδελφωμα

Στα διαγράμματα που ακολουθούν καταγράφονται οι τιμές του NDVI κατά το αδελφωμα και καλάμωμα της καλλιέργειας για κάθε συνδυασμό των 9 ποικιλιών με τα 2 ειδή λίπανσης.



Διάγραμμα 3.4.1 Τιμές NDVI κατά το αδελφωμα για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

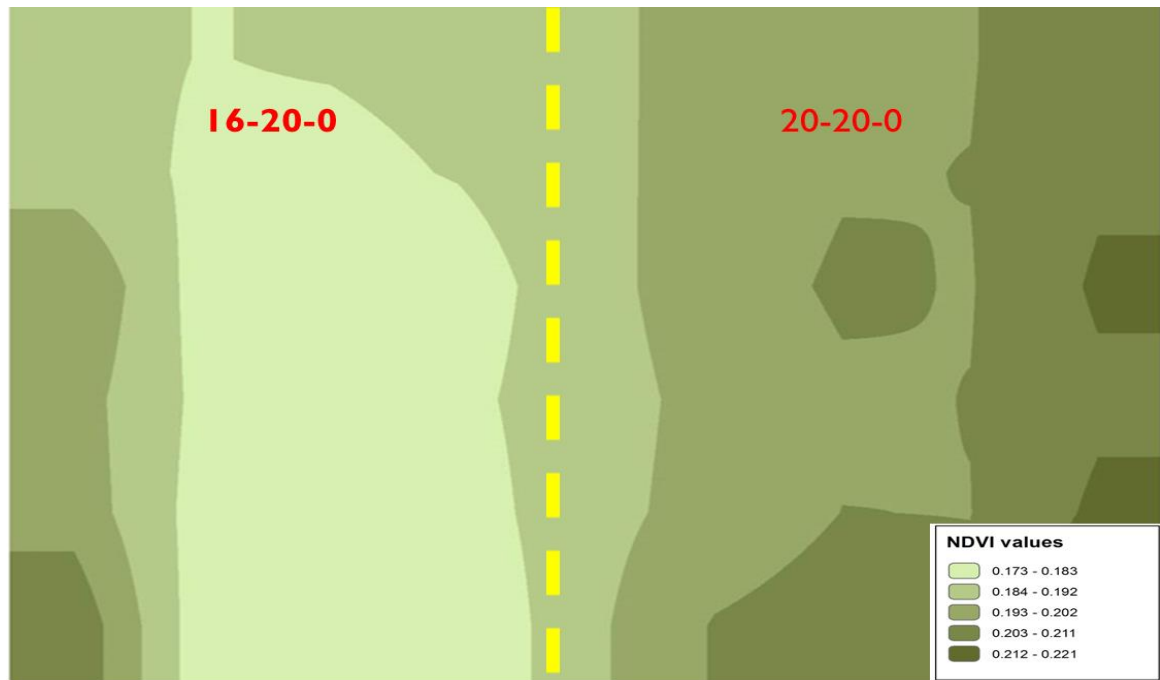


Διάγραμμα 3.4.2 Τιμές NDVI κατά το καλάμωμα για κάθε ποικιλία και είδος λίπανσης. Η κάθετη μπάρα συμβολίζει την Ελάχιστη Σημαντική Διάφορα για $\alpha=0.05$. Λίπανση N20: 20-20-0, N16: 16-20-0.

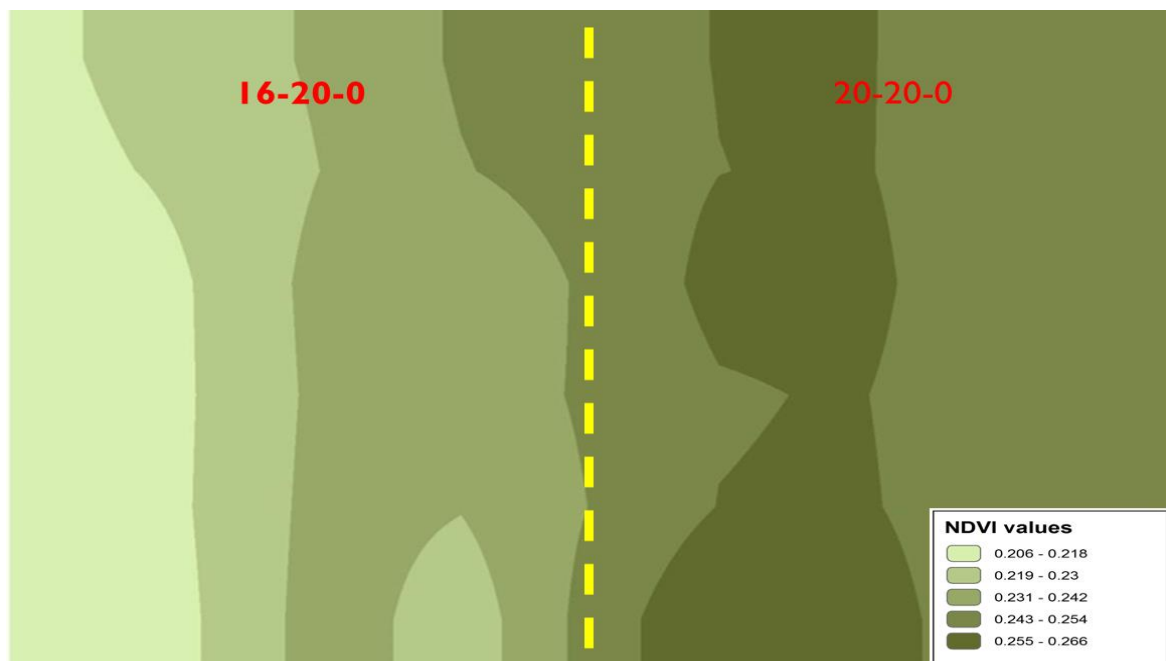
Σύμφωνα με το διάγραμμα 3.4.1 που αντιστοιχεί στο στάδιο του αδελφώματος για την καλλιέργεια παρατηρείται ότι τα τεμάχια με την ποικιλία Grace παρουσιάζουν τον εντονότερο δείκτη βλάστησης NDVI και για τις δυο διαφορετικές λιπαντικές μονάδες αζώτου. Επιπλέον τα τεμάχια των ποικιλιών που έχουν δεχτεί 20 μονάδες αζώτου αποτυπώνουν μεγαλύτερο NDVI σε σχέση με τα αντίστοιχα τεμάχια που δέχτηκαν 16 μονάδες αζώτου. Εξαιρέση εκτός από την Grace, φαίνεται να αποτελεί και η AC-10-508-24 με τον δείκτη βλάστηση NDVI να παραμένει σταθερός. Η ποικιλία Avalon είναι αυτή για την οποία, ο δείκτης βλάστησης NDVI που καταγράφηκε είναι ιδιαίτερα χαμηλός και για τα δυο διαφορετικά επίπεδα αζωτούχου λίπανσης

Κατά το στάδιο του καλαμώματος, ο δείκτης βλάστησης NDVI όπως καταγράφεται στο διάγραμμα 3.4.2 εξακολουθεί να είναι υψηλότερος στα τεμάχια που δέχτηκαν 20 μονάδες αζώτου σε σχέση με τα υπόλοιπα. Η ποικιλία Zhana είναι αυτή που παρουσιάζει τον υψηλότερο δείκτη βλάστησης ανεξαρτήτως επιπέδου λίπανσης. Όλες οι υπόλοιπες ποικιλίες φαίνεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερο NDVI στα τεμάχια με τις 20 μονάδες αζώτου σε σχέση με αυτά με τις 16. Οι διαφορές μεταξύ τους κυμαίνονται από 0.012 μονάδες για την Fortuna μέχρι 0.046 μονάδες για την Grace.

Στη συνέχεια παρατίθενται χάρτες που δημιουργήθηκαν με το εργαλείο της χωρικής παρεμβολής και αποτυπώνουν χωρικά τις τιμές του NDVI κατά τα δυο βιολογικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας (αδέλφωμα και καλάμωμα). Παρατηρώντας τις εικόνες 3.4.1 και 3.4.2 φαίνεται ότι τόσο κατά το αδέλφωμα όσο και κατά το καλάμωμα, υψηλότερες τιμές NDVI καταγράφηκαν για τα φυτά τα οποία αναπτύχθηκαν έχοντας λιπανθεί με 20 μονάδες αζώτου σε σχέση με αυτά που λιπάνθηκαν με 16 μονάδες αζώτου.



Εικόνα 3.4.1 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζονται οι τιμες του δεικτη βλαστησης NDVI κατά το αδελφωμα της καλλιεργειας.Στο αριστερό τμήμα αντιστοιχει το τμήμα του αγρού που λιπανθηκε με λιπασμα 16-20-0 και στο δεξί με 20-20-0. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα πιο σκούρα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.



Εικόνα 3.4.2 Χαρτης χωρικής παρεμβολής που απεικονίζονται οι τιμες του δεικτη βλαστησης NDVI κατά το καλάμωμα της καλλιεργειας.Στο αριστερό τμήμα αντιστοιχει το τμήμα του αγρού που λιπανθηκε με λιπασμα 16-20-0 και στο δεξί με 20-20-0. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα πιο σκούρα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.



Εικόνα 3.4.3. Άποψη του πειραματικού αγρού , στην όποια είναι εμφανείς οι διαφορές στην χαρακτηριστική απόχρωση κάθε ποικιλίας. (15/2/2016 – Σταδιο αδελφώματος)



Εικόνα 3.4.4. Φωτογραφία του πειραματικού αγρού μέσω Google Earth. (13/5/2016 – Σταδιο καλαμώματος)

3.5 Συσχέτιση των αποδοτικών χαρακτηριστικών με τον δείκτη βλάστησης NDVI

Πίνακας 3.5.1.: Συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των αποδοτικών μεγεθών και των τιμών NDVI

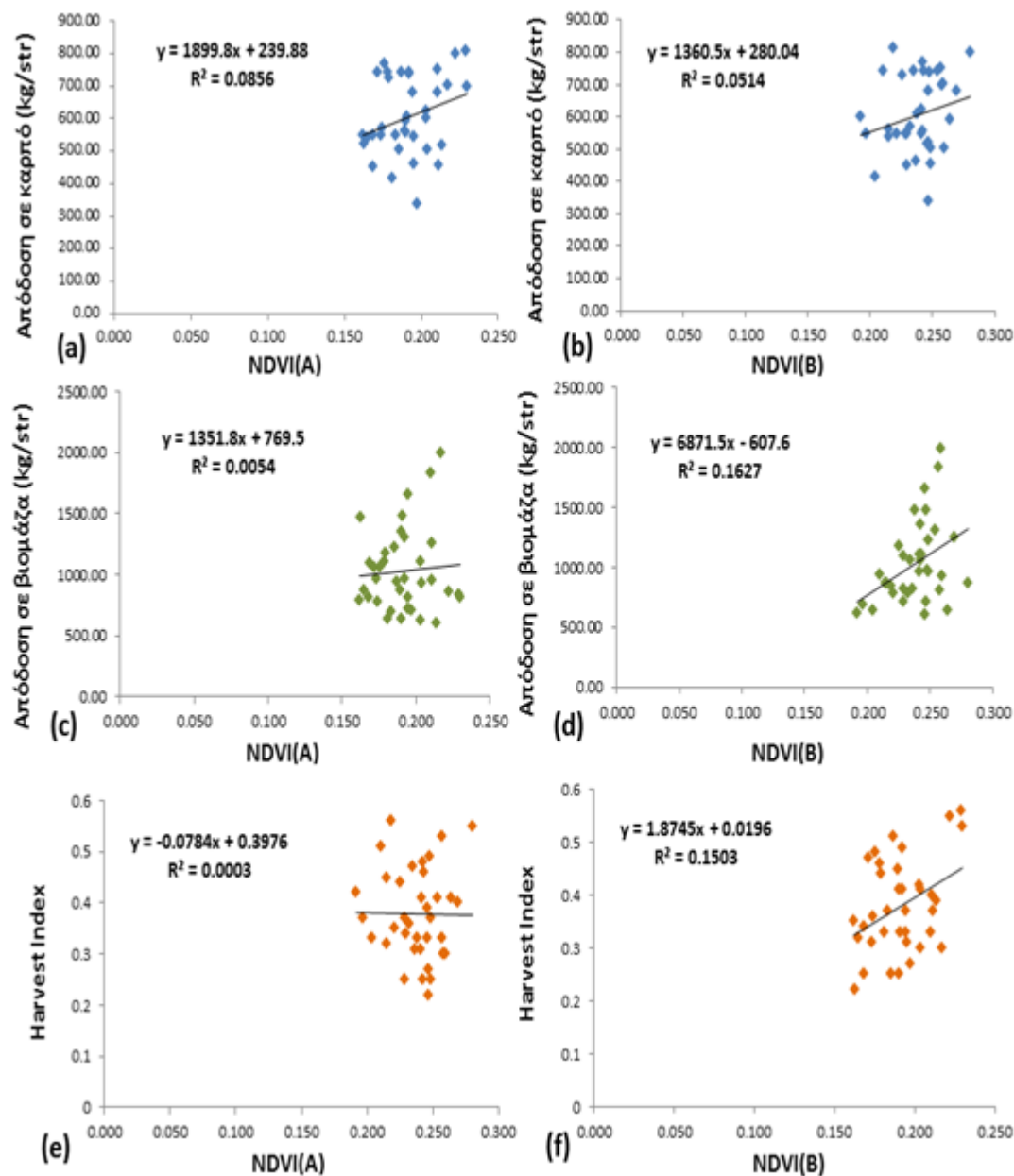
	NDVI Αδέλφωμα	NDVI Καλάμωμα	Απόδοση σε καρπο	Βάρος 1000 κόκκων	Βιομάζα	HI	Στάχεις ανά m ²	Καρποί ανά στάχυ
NDVI Αδέλφωμα		0.4042**	0.2927 ^{ns}	0.4235**	0.0733 ^{ns}	-0.0176 ^{ns}	0.4748**	0.46**
NDVI Καλάμωμα			0.2268 ^{ns}	0.197 ^{ns}	0.4034**	0.3876*	0.1778 ^{ns}	0.1766 ^{ns}
Απόδοση σε καρπο				0.8257***	0.3586*	0.725***	0.53**	0.7738***
Βάρος 1000 κόκκων					0.0583 ^{ns}	0.8182***	0.4272**	0.7646***
Βιομάζα						-0.3006	0.2597 ^{ns}	0.2838 ^{ns}
HI							0.5414**	0.72***
Στάχεις ανά m ²								0.6606***
Καρποί ανά στάχυ								

Στον παραπάνω πίνακα καταγράφονται οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης R μεταξύ των αποδοτικών μεγεθών και του δείκτη βλάστησης, και κατά ποσό αυτή η σχέση είναι στατιστικά σημαντική.

Εξετάζοντας την σχέση του δείκτη βλάστησης NDVI στις δυο διαφορετικές αναπτυξιακές περιόδους της καλλιέργειας (αδέλφωμα και καλάμωμα), με τα διάφορα αποδοτικά χαρακτηριστικά, παρατηρούμε ότι εμφανίζονται διαφορές και μεταξύ των χαρακτηριστικών και μεταξύ των δυο αυτών περιόδων. Αναλυτικότερα κατά το στάδιο του αδελφώματος ο δείκτης βλάστησης φαίνεται να συσχετίζεται σημαντικά με το βάρος 1000 κόκκων, τους στάχεις ανά m² και τους καρπούς ανά στάχυ. Δεν παρουσιάζεται σημαντική συσχέτιση με την απόδοση σε καρπό, με την απόδοση σε ξηρή βιομάζα ούτε και με τον δείκτη συγκομιδής (HI). Κατά το στάδιο του καλάμματος όμως, στατιστικώς σημαντικά συσχετίζεται μόνο η απόδοση σε ξηρή βιομάζα και σε μικρότερο βαθμό ο δείκτης συγκομιδής (HI), ενώ όλα τα υπόλοιπα αποδοτικά χαρακτηριστικά δεν εμφανίζουν σημαντική συσχέτιση.

Όσον αφορά χαρακτηριστικά που αφορούν την απόδοση, συνολικά παρατηρείται να συσχετίζονται μεταξύ τους, παρουσιάζοντας όμως κάποιες εξαιρέσεις. Συγκεκριμένα η απόδοση σε καρπό συσχετίζεται ιδιαίτερα με το βάρος των 1000 κόκκων, τον δείκτη συγκομιδής (HI) και τους καρπούς ανά στάχυ. Με μικρότερη σημαντικότητα παρουσιάζει συσχέτιση με την απόδοση σε ξηρή βιομάζα και τους στάχεις ανά m². Ο δείκτης συγκομιδής (HI) αντίστοιχα συσχετίζεται σημαντικά με

όλα τα αποδοτικά μεγέθη εκτός από την απόδοση σε ξηρή βιομάζα. Το ίδιο παρατηρείται και για τα μεγέθη του βάρους των 1000 κόκκων, των στάχων ανά m² και των καρπών ανά στάχυ. Εξαιρέση αποτελεί η απόδοση σε βιομάζα αφού φαίνεται να συσχετίζεται σημαντικά μόνο με την απόδοση σε καρπό.



Διαγράμματα 3.5.1(a-f): Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των τιμών NDVI και της απόδοσης σε καρπό (a,b), της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα (c,d) και του δείκτη συγκομιδής HI (e,f). Οι τιμές NDVI(A) αφορούν το αδελφωμα και οι τιμές NDVI(B) αφορούν το καλάμωμα

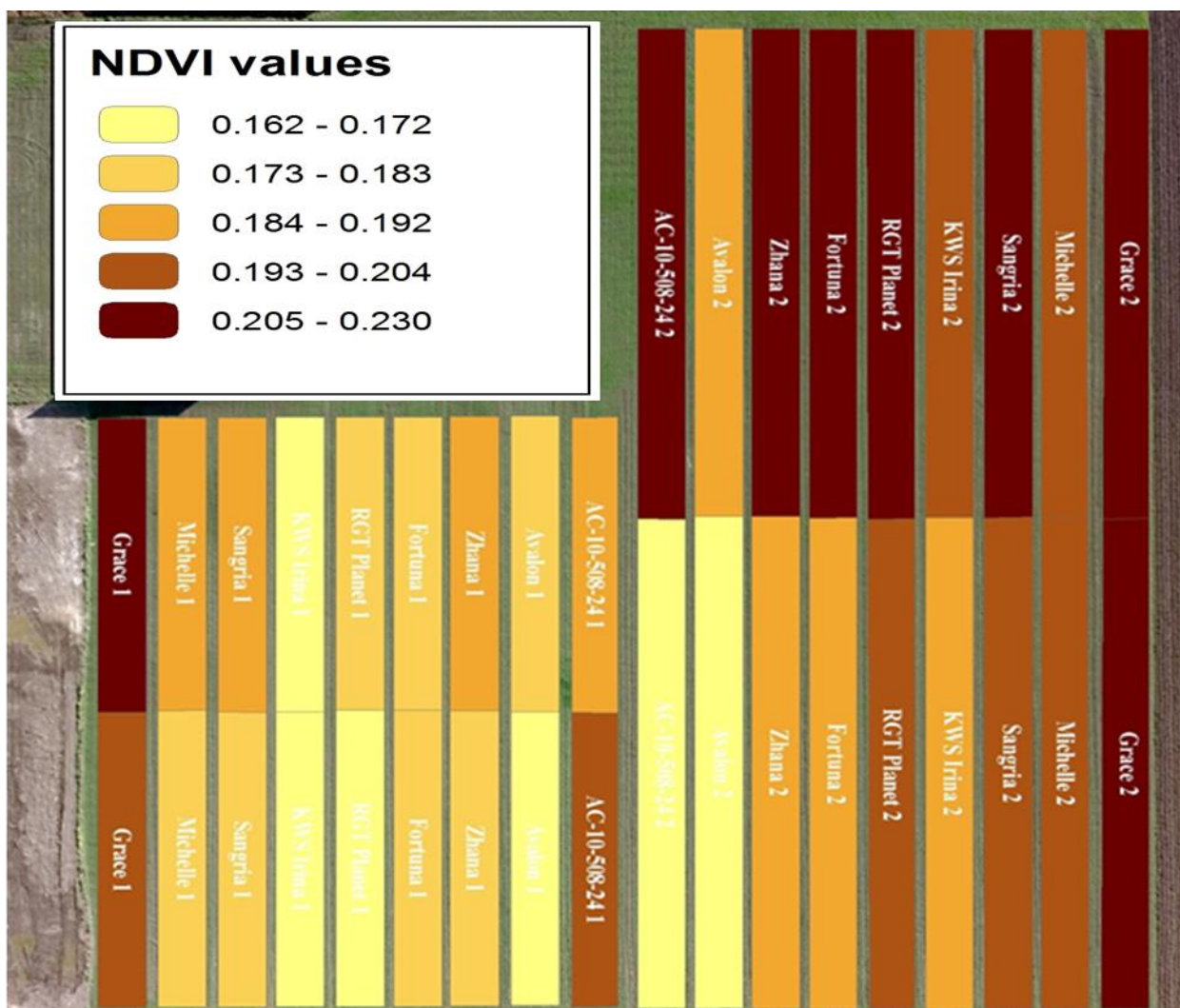
3.6 Απεικόνιση των τιμών NDVI για κάθε ποικιλία

Οι τιμές του δείκτη NDVI σε κάθε πειραματικό τεμάχιο έδειξαν να διαφοροποιούνται σε σχέση με την ποικιλία σε συνάρτηση πάντα με το βιολογικό στάδιο κατά την στιγμή της λήψης του. Για κάποιες ποικιλίες οι διαφορές αυτές ήταν ισχνές, ενώ σε κάποιες άλλες ποικιλίες οι διαφορές παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές.

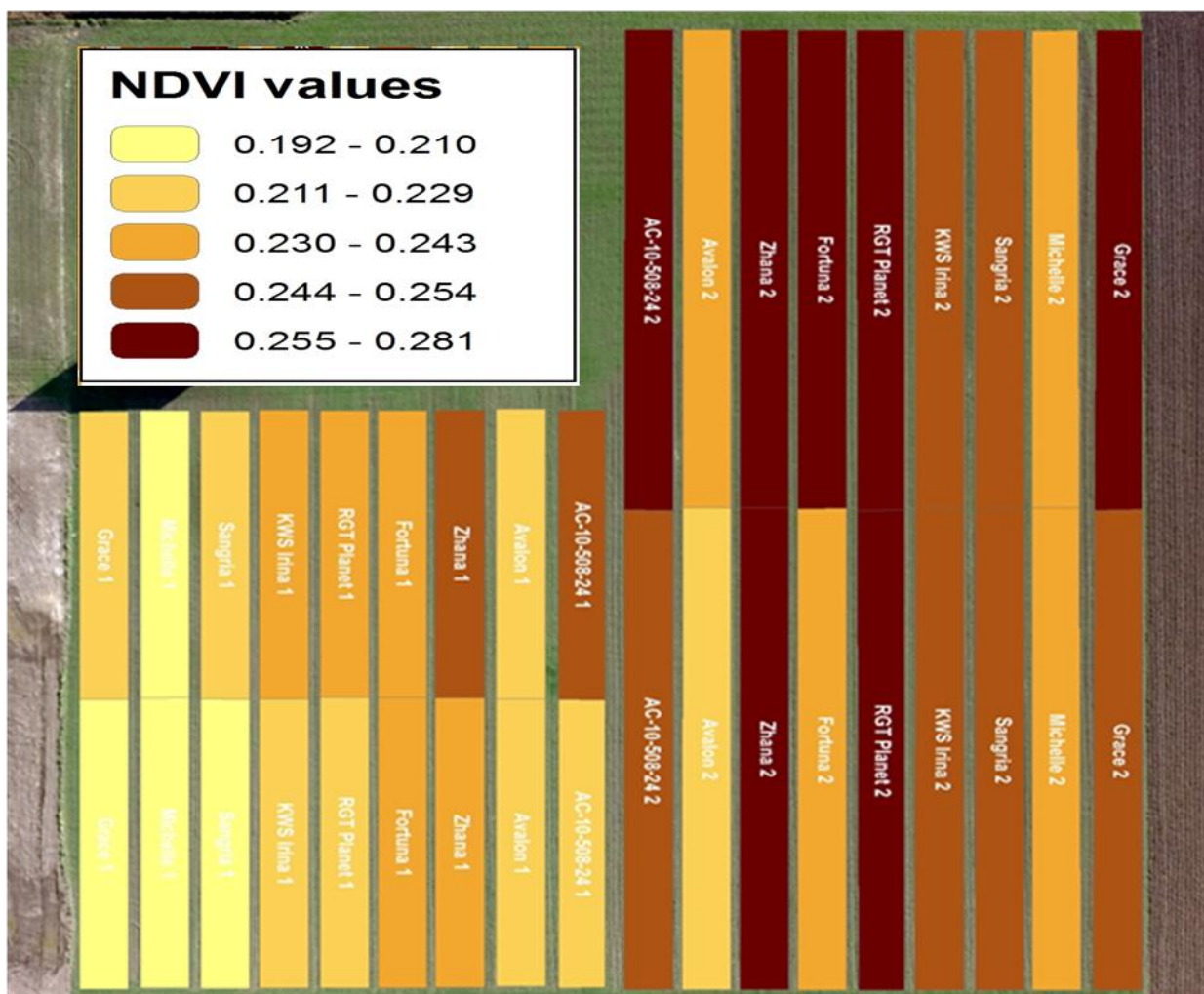
Ειδικότερα κατά το στάδιο του αδελφώματος (ημ. λήψης 9/2/2016) τα τεμάχια στα όποια αναπτυσσόταν η ποικιλία Grace παρουσίασαν στατιστικώς σημαντικά μεγαλύτερες τιμές NDVI σε σύγκριση με όλες τις υπόλοιπες ποικιλίες. Αυτό καταδεικνύει ότι η Grace αναπτύχθηκε γρηγορότερα κατά το βιολογικό στάδιο του αδελφώματος και κάλυψε περισσότερο τα κενά μεταξύ των φυτών. Οι υπόλοιπες ποικιλίες παρουσιάζουν πολύ μικρότερη παραλλακτικότητα, ωστόσο οπτικές διαφορές μεταξύ τους μπορούν να αποτυπωθούν με τη βοήθεια του NDVI.

Όταν η καλλιέργεια βρισκόταν στο βιολογικό στάδιο του καλαμώματος οι τιμές του NDVI δείχνουν μικρή διαφοροποίηση σε σχέση με πριν. Σε αυτό το στάδιο η ποικιλία Zhana είναι αυτή που παρουσιάζει στατιστικώς σημαντικά υψηλότερες τιμές NDVI σε κάθε τεμάχιο στο οποίο καλλιεργείται, συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες ποικιλίες. Συμπεραίνεται επομένως ότι η Grace αν και αναπτύχθηκε ταχύτατα κατά τα πρώτα βιολογικά στάδια, κατά το καλάμωμα ο ρυθμός ανάπτυξης της δεν διαφέρει από τις περισσότερες ποικιλίες, ενώ η Zhana είναι αυτή που δείχνει να αναπτύσσεται εντονότερα κατά το στάδιο του καλαμώματος.

Ακολουθούν οι χάρτες που απεικονίζονται οι τιμές NDVI για κάθε πειραματικό τεμάχιο κατά τα στάδια του αδελφώματος και του καλαμώματος.



Εικόνα 3.6.1 Χάρτης απεικόνισης των τιμών NDVI σε κάθε πειραματικό τεμαχίο κατά το στάδιο του αδελφώματος (ημ. ληψης 9/2/2016). Διακρίνονται τα ονοματα των ποικιλιών για κάθε τεμαχίο. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρύτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.



Εικόνα 3.6.2 Χάρτης απεικόνισης των τιμών NDVI σε κάθε πειραματικό τεμαχίο κατά το στάδιο του καλαμώματος (ημ. ληψης 30/3/2016). Διακρίνονται τα ονοματα των ποικιλιών για κάθε τεμαχίο. Όπως φαίνεται στο υπομνημα τα σκουρουτερα χρωματα αντιστοιχουν σε υψηλότερες τιμες.

3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην γεωργική πρακτική, στο πλαίσιο της εφαρμογής Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, έχουν χρησιμοποιηθεί διαφορές τεχνολογίες με σκοπό την λήψη φωτογραφιών που αποτυπώνουν την απόδοση, τέτοιες είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV), κάμερες χειρός και οχήματα εδάφους εξοπλισμένα με κάμερες (Deery *et al.*, 2014; Lopresti *et al.*, 2015; Schirmann *et al.*, 2016). Κάμερες χειρός έχουν χρησιμοποιηθεί σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα και σε επίπεδο αγρού υπό φυσικές συνθήκες για να αξιολογήσουν την φυλλική κάλυψη (Sharma *et al.*, 2015), τον δείκτη LAI (Mora *et al.*, 2016) και τον δείκτη NDVI (Schirmann *et al.*, 2016) καθώς και σε επίπεδο μεμονωμένων φυτών για την εξέταση του αριθμού και της μορφολογίας των φύλλων (Duan *et al.*, 2016; Paproki *et al.*, 2012; Round *et al.*, 2014). Τα οχήματα εδάφους φαίνεται να πλεονεκτούν σε σχέση με τη χρήση κάμερας χειρός καθώς προσφέρουν γρηγορότερη φαινοτυπική απόδοση του αγρού (Deery *et al.*, 2014; Kitchen *et al.*, 2010), ωστόσο είναι συχνό φαινόμενο να δημιουργούνται προβλήματα εξαιτίας του ύψους της φυτικής επιφάνειας και των συνθηκών που δημιουργούνται λόγω βροχοπτώσεων ή και άρδευσης (Tattaris *et al.*, 2016). Επομένως, η χρησιμοποίηση οχημάτων εδάφους ή καμερών χειρός αποτελεί πολλές φορές χρονοβόρα διαδικασία και περιορίζει την λήψη φωτογραφίας για κάθε τεμάχιο ξεχωριστά, σε περιπτώσεις πειραμάτων με μεγάλο αριθμό τεμαχίων ή βελτιωτικών προγραμμάτων, ιδιαίτερα όταν ενδιαφερόμαστε για την παρακολούθηση της ανάπτυξης και τη δυναμική που δημιουργείται μεταξύ διαφορετικών γονοτύπων ή και μεταχειρίσεων σε ένα αγρό. Η χρήση των UAV, αποτελεί μια οικονομική μέθοδο και με μεγάλη ελαστικότητα για τη δημιουργία προγράμματος λήσεων φωτογραφιών (Torres-Sanchez *et al.*, 2015), και επομένως ένα UAV σύστημα μπορεί να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για αγρότες ή και ερευνητές με στόχο την παρακολούθηση καλλιεργειών σε επίπεδο αγρού (Chapman *et al.*, 2014; Zarco-Tejada *et al.*, 2014). Επιπροσθέτως τα UAV έχουν την δυνατότητα να πετούν σε χαμηλά ύψη προσφέροντας παράλληλα μεγάλες επικαλύψεις, που επιτρέπουν την λήψη φωτογραφιών χωρικής ανάλυσης εκατοστών και την δημιουργία ορθομοσαικών καθώς και απεικονίσεις σε τρεις διαστάσεις (3D) (Chapman *et al.*, 2014; Sankaran *et al.*, 2015).

Το NDVI αποτελεί δείκτη βλάστησης που καταδεικνύει τις συνδυασμένες αλληλεπιδράσεις της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης, της φυλλικής επιφάνειας και της απόδοσης (Erdle *et al.*, 2011). Η εκτίμηση του NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης αναφοράς για την παρακολούθηση των αλλαγών που επέρχονται στη βιομάζα των φυτών σε μια καλλιεργητική περίοδο του κριθαριού. Ο υπολογισμός ωστόσο του NDVI μπορεί να επηρεαστεί από το χρονικό σημείο που θα γίνει η μέτρηση, από τις καιρικές και περιβαλλοντικές συνθήκες (Crusiol *et al.*, 2016) καθώς και από τη γεννητική παραλλακτικότητα των φυτών.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να καταγράψει η συμπεριφορά διαφορετικών βυνοποιήσιμων ποικιλιών κριθαριού, που λιπάνθηκαν με διαφορετικές ποσότητες αζωτούχου λιπάσματος με τη χρήση εκτός των παραδοσιακών εργαστηριακών μεθόδων, και μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος και του δείκτη βλάστησης NDVI. Αρχικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μετρήσεις του NDVI και των εδαφικών χαρακτηριστικών, η δημιουργία χαρτών και ο συνδυασμός τους με τα αποδοτικά δεδομένα που ελήφθησαν κατά τη συγκομιδή, παρέχουν μια επαρκή εικόνα για την κατάσταση του αγρού και την πορεία της καλλιέργειας. Καταγράφηκε η εδαφική ετερογένεια που παρουσίαζε ο αγρός (Εικ. 3.3.1.-3.3.4.), οι τιμές του δείκτη βλάστησης κατά τα στάδια του αδελφώματος και καλαμώματος της καλλιέργειας (Διαγρ. 3.4.1.-3.4.2.) καθώς και τα αποδοτικά χαρακτηριστικά για κάθε ποικιλία (Διαγρ. 3.2.1.-3.2.5.).

4.1 Η χρήση ψηφιακών αριθμών (Digital Numbers) για τον υπολογισμό του NDVI

Όπως έχει αναφερθεί, στην παρούσα εργασία ο υπολογισμός του NDVI, έγινε με την ενσωμάτωση των ψηφιακών αριθμών (DN) που αντιστοιχούσαν σε κάθε pixel των εικόνων. Η επιλογή αυτής της μεθόδου αντί της πιο συχνά εφαρμοσμένης, υπολογισμού NDVI μέσω των τιμών ανάκλασης, έγινε με σκοπό να εξετασθεί η αποτελεσματικότητα μιας ήδη δοκιμασμένης μεθόδου εναέριας παρακολούθησης καλλιεργειών, χωρίς όμως να χρειαστεί εκ των προτέρων μετασχηματισμούς και διορθώσεις στις αρχικές μετρήσεις. Η διόρθωση ανάκλασης των δεδομένων και στη συνέχεια η επεξεργασία τους, είναι κάτι απαραίτητο για τους περισσότερους Δείκτες Βλάστησης, που όμως δεν είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί για το NDVI. Αρκετοί Δείκτες Βλάστησης (π.χ. Soil Adjusted Vegetation Index) , συμπεριλαμβάνουν τιμές

που συνήθως καθορίζονται χρησιμοποιώντας δεδομένα ανάκλασης. Οι τιμές αυτές κλιμακώνονται θεωρώντας ότι τα δεδομένων στο ερυθρό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα έχουν μετρηθεί μετά από διόρθωση ανάκλασης. Αν δεν χρησιμοποιηθεί ατμοσφαιρική διόρθωση, όπως στην παρούσα εργασία, τότε η ανάκλαση θα αποτελεί απλά μια γραμμική μετατροπή των DN, χωρίς να επηρεάζεται έτσι ο υπολογισμός του NDVI. Σε περίπτωση που τα δεδομένα διορθώνονταν για να αποκλειστεί η ατμοσφαιρική επίδραση, τότε θα ήταν πολύ πιθανό να μειωθούν οι τιμές στο ερυθρό και να αυξηθούν στο εγγύς υπέρυθρο, το οποίο θα συνεπαγόταν υψηλότερες τιμές NDVI σε σύγκριση με αυτές που υπολογίστηκαν από DN.

Όπως θα αναλυθεί και στα κεφάλαια που ακολουθούν οι τιμές NDVI που υπολογίστηκαν με τη χρήση DN διέκριναν με επιτυχία την περιεκτικότητα των φυτών σε άζωτο, τα αποδοτικά χαρακτηριστικά καθώς και τις διαφορετικές ποικιλίες. Χρησιμοποιώντας DN χωρίς κάποια μετατροπή ή και διόρθωση οι Papadopoulos *et al.* (2015) παρακολούθησαν καλλιέργεια βαμβακιού, οι Aldana-Jague *et al.* (2016) υπολόγισαν την περιεκτικότητα εδάφους σε άνθρακα, οι Lelolng *et al.* (2008) παρακολούθησαν καλλιέργεια σιταριού και οι Liu *et al.* (2012) ερεύνησαν υδάτινες επιφάνειες.

4.2 Η διακριτική ικανότητα του δείκτη NDVI όσον αφορά την περιεκτικότητα των φυτών σε άζωτο

Παρατηρώντας τους χάρτες 3.4.1 και 3.4.2, διακρίνουμε περιοχές με υψηλό και χαμηλότερο δείκτη βλάστησης NDVI. Στα σημεία που εμφανίζεται χαμηλότερος δείκτης βλάστησης NDVI, συμπίπτουν με αγροτεμάχια στα οποία εφαρμόστηκαν 16 μονάδες αζώτου στο στρέμμα, παρουσίασαν σε μεγάλο ποσοστό μικρότερη απόδοση σε ξηρή βιομάζα και αυξημένες αποδόσεις σε καρπό σε σύγκριση με τα τεμάχια που βρίσκονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλότερο δείκτη NDVI. Αυτή η παράλληλη πορεία των τιμών του NDVI, με την ποσότητα αζωτούχου λίπανσης εξηγείται και από τον Motomiya *et al.* (2009), αφού χαμηλότερες ποσότητες αζωτούχου λίπανσης έχουν ως αποτέλεσμα μείωση της χλωροφύλλης και του ρυθμού αύξησης του φυλλώματος, και συνεπώς της ανάπτυξης του φυτού. Λαμβάνοντας υπόψη ακόμα ότι η αντανάκλαση στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την συγκέντρωση της χλωροφύλλης στον φυλλικό ιστό, συμπεραίνεται ότι όσο χαμηλότερη είναι η τροφοδοσία αζώτου στα

φυτά, τόσο χαμηλότερα θα είναι τα επίπεδα της χλωροφύλλης και τόσο χαμηλότερη θα είναι η απορρόφηση της ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα, το οποίο προκαλεί μείωση των τιμών του NDVI. Στο συμπέρασμα ότι με τη χρήση του NDVI μπορεί να γίνει εκτίμηση για την θρεπτική κατάσταση των φυτών σχετικά με το άζωτο και ότι υπάρχει συσχέτιση με την ποσότητα της αζωτούχου λίπανσης που εφαρμόστηκε καταλήγει και ο Holzapfel (2007) με την ερευνά του σε φυτά ελαιοκράμβης.

4.3 Η διακριτική ικανότητα του δείκτη NDVI όσον αφορά την απόδοση και τα συστατικά της

Η ικανότητα της πρόβλεψης με ταχύτητα και ακρίβεια των αποδόσεων σε καρπό διαφόρων καλλιεργειών, σε πραγματικό χρόνο, βασισμένοι σε δεδομένα που αντλούμε από απομακρυσμένους αισθητήρες, είναι ένας ενεργός τομέας έρευνας. Έχουν υπάρξει προκαταρκτικές εφαρμογές του NDVI, για την πρόβλεψη των αποδόσεων σε σιτάρι (Reyniers *et al.*, 2006), κριθάρι (Mikhabela *et al.*, 2011), αραβόσιτο και σόγια (Bolton and Friedl, 2013). Ακόμα ο Zhao (2007) πρόβλεψε την απόδοση βαμβακιού χρησιμοποιώντας διαφορετικούς δείκτες βλάστησης, με τον δείκτη σχετικής ευρωστίας να δείχνει μεγαλύτερη ακρίβεια. Ωστόσο δεν υπάρχουν πολλές έρευνες που να προσπαθούν να καθορίσουν με επιτυχία την απόδοση καλλιεργειών, με τη χρήση συστημάτων UAV.

Στην παρούσα έρευνα στόχος ήταν να μελετηθούν οι τιμές του NDVI και η σχέση του με τα αποδοτικά χαρακτηριστικά σε βιολογικά στάδια του κριθαριού που επιτρέπουν στον παραγωγό να επέμβει για διορθωτικές κινήσεις. Έτσι εξετάστηκε η σχέση του δείκτη NDVI με τα αποδοτικά χαρακτηριστικά κατά τα στάδια του αδελφώματος και καλαμώματος της καλλιέργειας. Οι συσχετίσεις οι οποίες έγιναν και παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5.1 και στα διαγράμματα 3.5.1(a-f), έδειξαν ότι ο δείκτης NDVI κατά το αδελφωμα συσχετίστηκε σημαντικά με τα περισσότερα μεγέθη, ενώ κατά το καλάμωμα δεν συσχετίστηκε στατιστικώς σημαντικά με τα περισσότερα αποδοτικά δεδομένα διατηρώντας όμως την τάση που υπήρχε κατά το αδελφωμα.

Σχετικά με την απόδοση σε καρπό, τα διαγράμματα 4.2.1a και 4.2.1b παρουσιάζουν μια θετική συσχέτιση των τιμών του NDVI με την στρεμματική απόδοση σε καρπό και κατά το αδελφωμα και κατά το καλάμωμα, χωρίς όμως αυτή η σχέση να μπορεί να θεωρηθεί στατιστικώς σημαντική. Το πείραμα

πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας 9 διαφορετικές ποικιλίες κριθαριού, αυτή η μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα, αντικατοπτρίζεται στη σχέση του NDVI με την απόδοση σε καρπό, όπου ακόμα και αν η θετική τάση που παρουσιάζουν τα μεγέθη είναι εμφανής, η ετερογένεια στις αποδόσεις των 9 διαφορετικών ποικιλιών είναι αρκετή για να προκύψει μικρός συντελεστής συσχέτισης r , μη στατιστικά σημαντικός. Επίσης είναι σημαντικό το γεγονός ότι η τελευταία μέτρηση του NDVI έγινε κατά το στάδιο του καλαμώματος και όχι αργότερα, με σκοπό να μην υπερβούμε τα όρια αντίδρασης του παραγωγού. Το στάδιο του καλαμώματος αντιπροσωπεύει την ακμή της θρεπτικής κατάστασης των σιτηρών και το μεγαλύτερο δείκτη φυλλώματος, και κατά συνέπεια σε αυτό το στάδιο μπορεί να γίνει καλύτερη αποτύπωση της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών καθώς και της δυνητικής απόδοσης σε καρπό (Becker – Rashef *et al.*, 2010), (Xue *et al.*, 2007). Αποτελέσματα άλλων ερευνών συμφωνούν ότι το NDVI και η απόδοση σε καρπό είναι μεγέθη που συσχετίζονται, για τα περισσότερα σιτηρά. Πιο συγκεκριμένα οι Moran *et al.* (1997), Tucker *et al.*, (1980) κατέληξαν ότι υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ του NDVI και της απόδοσης σιταριού. Οι Becker – Reshef *et al.*, (2010) πρόβλεψαν με επιτυχία την απόδοση σιταριού βασιζόμενοι σε NDVI δεδομένα στο Κάνσας και την Ουκρανία. Οι Zhou *et al.*, (2017) χρησιμοποίησαν NDVI όπως και άλλους δείκτες βλάστησης, βασισμένοι σε φωτογραφίες από UAV, για να προβλέψουν την απόδοση σε φυτείες ρυζιού.

Όσον αφορά την απόδοση σε ξηρή βιομάζα, κατά το στάδιο του αδελφώματος (4.2.1c), δεν διαπιστώνεται συσχέτιση με τις τιμές του NDVI, ωστόσο κατά το μεταγενέστερο στάδιο του καλαμώματος (4.2.1d), η σχέση μεταξύ των δυο μεγεθών είναι θετική και στατιστικώς σημαντική. Κατά τα αρχικά στάδια της καλλιέργειας, όπως είναι αυτό του αδελφώματος, τα φυτά δεν έχουν αναπτυχτεί αρκετά για να καλύψουν τα κενά μεταξύ των γραμμών σποράς. Συνεπώς το έδαφος που παραμένει ακάλυπτο επηρεάζει την μέτρηση του NDVI, ελαττώνοντας τις τιμές του και καθιστά τον υπολογισμό του NDVI στο στάδιο του αδελφώματος μη ακριβή μέθοδος για να βασιστεί η πρόβλεψη της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα. Κατά το στάδιο του καλαμώματος, όμως, τα φυτά έχουν αναπτυχτεί αρκετά, καλύπτοντας πλήρως τα κενά μεταξύ των γραμμών σποράς και η συσχέτιση του NDVI με την απόδοση σε ξηρή βιομάζα είναι ασφαλής. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι οι υψηλές αποδόσεις σε καρπό συνδέονται με την ευρωστία των φυτών, αλλά το αντίθετο δεν ισχύει

πάντα. Υψηλές τιμές βιομάζας δεν αποτελούν εγγύηση για υψηλές αποδόσεις και εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες σε κρίσιμα βιολογικά στάδια, την λίπανση καθώς και την όποια γενετική παραλλακτικότητα (Fontana *et al.*, 2007).

Ο δείκτης συγκομιδής των σιτηρών (HI) αποτελεί μια πολύ σημαντική και παραδοσιακή αγρονομική παράμετρος για την παρακολούθηση των καλλιεργειών. Αντιστοιχεί ουσιαστικά στο μέγεθος που προσδιορίζει τι ποσοστό από τη βιομάζα που ανέπτυξε το φυτό αντιστοιχεί στην απόδοση σε καρπό. Γνωρίζοντας ότι η περίοδος από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση σχετίζεται σημαντικά με τον σχηματισμό των καρπών. οι Heli, Yi (2001), εκτίμησαν επιτυχημένα τον δείκτη συγκομιδής με την χρήση NDVI στα αντίστοιχα στάδια για μαλακό σιτάρι. Ακόμα οι Jianqiang *et al.*, (2010) χρησιμοποιώντας δεδομένα NDVI, για τα στάδια λίγο πριν και λίγο μετά την άνθηση του μαλακού σιταριού, υπολόγισαν τον δείκτη συγκομιδής. Ωστόσο, ακόμα και αν τα στάδια από την άνθηση μέχρι την ωρίμανση προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια για τον προσδιορισμό του HI, δεν αφήνουν περιθώρια στον παραγωγό να επέμβει σε περίπτωση που χρειάζεται κάτι τέτοιο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα παρατηρείται ότι ο δείκτης συγκομιδής HI, εμφανίζει θετική συσχέτιση με τις τιμές του NDVI ακόμα και κατά το προγενέστερο στάδιο του καλαμώματος (4.2.1f), ενώ κατά το αδελφωμα (4.2.1e) η σχέση αυτή παύει να υπάρχει και η συσχέτιση με τις τιμές του NDVI είναι αδύναμη.

4.4 Διαχωρισμός των ποικιλιών με τη χρήση του NDVI

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε ακόμα, κατά ποσό είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ο δείκτης NDVI, με σκοπό να ξεχωρίσει ποικιλίες στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του κριθαριού. Όπως παρουσιάζονται και στους χάρτες 3.6.1 και 3.6.2 οι 9 διαφορετικές ποικιλίες έδωσαν διαφορετικές τιμές NDVI, και για τα 2 φαινολογικά στάδια που εξεταστήκαν. Ακόμα κατά την ανάλυση διασποράς που πραγματοποιήθηκε οι τιμές του NDVI διαφοροποιήθηκαν σημαντικά τόσο ως προς την ποικιλία όσο και το είδος λίπανσης και για τα 2 φαινολογικά στάδια. Η αλληλεπίδραση ποικιλίας με το είδος λίπανσης ωστόσο, επηρέασε σημαντικά το NDVI μόνο κατά το στάδιο του καλαμώματος. Στο αποτέλεσμα αυτό κατέληξαν και οι Sultana *et al.*, (2014), όπου ερευνώντας σιτάρι για 2 διαδοχικές χρονιές, βρήκαν ότι η σχέση μεταξύ της αζωτούχου λίπανσης και των ποικιλιών με το NDVI ήταν έντονα σημαντική από το στάδιο του καλαμώματος μέχρι τα στάδια της ωρίμανσης.

Αξία αναφοράς αποτελούν οι ποικιλίες Grace και Zhana. Ο δείκτης NDVI αποτύπωσε την πρωιμότερη ανάπτυξη της Grace κατά το αδελφωμα σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ποικιλίες και την εξίσου εντονότερη ανάπτυξη της Zhana κατά το καλάμωμα. Επιπλέον σημαντικός παράγοντας για το καθαρισμό της ποικιλίας μέσω του NDVI σύμφωνα με τον Lu Yanli (2010) είναι η ιδιαίτερη απόχρωση που φέρει κάθε ποικιλία καθώς και η κατεύθυνση του φυλλώματος.

4.5 Η επίδραση του αζώτου στις τελικές αποδόσεις

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και παρουσιάζεται και στα διαγράμματα 3.2.1., 3.2.2., διαπιστώθηκε ότι η απόδοση σε καρπό ήταν υψηλότερη στα τεμάχια που εφαρμόστηκε μικρότερη ποσότητα αζωτούχου λίπανσης, ενώ η βιομάζα ήταν υψηλότερη στα τεμάχια που εφαρμόστηκε μεγαλύτερη ποσότητα αζωτούχου λίπανσης. Η επάρκεια αζώτου στο κριθάρι αυξάνει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, το αδελφωμα, το φύλλωμα, το ύψος του βλαστού και το μέγεθος των σταχέων. Επομένως, η θετική επίδραση της αζωτούχου λίπανσης στην απόδοση ξηρής βιομάζας ήταν αναμενόμενη και αρκετές πρόσφατες έρευνες, καταλήγουν ότι η αζωτούχος λίπανση βοήθησε την ανάπτυξη της βιομάζας του φυτού και βελτιώνει την θρεπτική του κατάσταση (Viana & Kehl, 2010, Espindula *et al.*, 2010; Nunes *et al.*, 2011). Ωστόσο υπερβολικές ποσότητες αζώτου ευνοούν πολύ την βλαστητική ανάπτυξη και οψιμίζουν την καλλιέργειας εις βάρος της απόδοσης (Barraclough *et al.*, 1968), γεγονός που παρατηρήθηκε στα περισσότερα τεμάχια που λιπάνθηκαν με 20 μονάδες αζώτου ανά στρέμμα.

Ερευνώντας παρόμοιες συμπεριφορές, σε αλλά σιτηρά, διαπιστώνεται ότι το μαλακό σιτάρι παρουσιάζει γενικά υψηλές αποδόσεις, αναλογικά με το ύψος της αζωτούχου λίπανσης (Zagonel *et al.*, 2002; Boschini *et al.*, 2011). Ωστόσο, σε περιπτώσεις όπου η ποσότητα λιπάσματος υπερβαίνει τις ανάγκες της καλλιέργειας, ακόμα και αν παρουσιάζεται αύξηση της βιομάζας, του αριθμού των αδελφών και των καρπών ανά στάχυ, οι αποδόσεις είναι χαμηλές αφού κατά το γέμισμα των καρπών το φυτό δεν προλαβαίνει να αξιοποιήσει το επιπλέον άζωτο (Kapp Jr. *et al.*, 2016). Αρκετές είναι οι έρευνες που υποστηρίζουν ότι στον αραβόσιτο οι αυξημένες αποδόσεις σε καρπό είναι ανάλογες με ποσότητες αζωτούχου λιπάνσεως έως και 22.4 kg N ανά στρέμμα (Halvorson *et al.*, 2005; Gagnon and Ziadi, 2010). Παρολαυτά ο Kesi Liu (2011) έχει καταγράψει ότι ποσότητες αζώτου περισσότερο

από 9 kg/στρέμμα δεν είχαν καμία επίπτωση στην απόδοση σε καρπό. Οι Τσακελίδου κ.α. (2006), μελέτησαν την επίδραση της αζωτούχου και καλιούχου λίπανσης στην απόδοση των σιτηρών και στο δείκτη συγκομιδής. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της απόδοσης σε ξηρή βιομάζα με την προσθήκη καλίου, ενώ το άζωτο δεν επήρρασε σημαντικά στην απόδοση και αντίστοιχα ο δείκτης συγκομιδής ΗΙ μειώθηκε με το άζωτο και αυξήθηκε με το κάλιο. Επιπλέον αύξηση στην απόδοση σε ξηρή βιομάζα για το σόργο, μετά από αζωτούχο λίπανση αυξημένη κατά 20% από την ενδεδειγμένη ποσότητα, διαπιστώθηκε από τους Κόκκορα κ.α. (2015). Τέλος σε ερευνά που πραγματοποιήθηκε σε καλλιέργεια ελαιοκράμβης καταγράφηκε ότι η αξιοποίηση του αζώτου από τα φυτά, ήταν αυξημένη, όταν παρουσιάζονταν αυξημένες αποδόσεις σε σπόρο και μειώνονταν με αυξημένες ποσότητες αζωτούχου λίπανσης, ειδικότερα όταν αυτές ξεπερνούσαν τις ανάγκες των φυτών (Smith *et al.*, 1998; Hocking *et al.*, 2002).

Συμπερασματικά, η εφαρμογή των μεθόδων G.I.S. είναι ικανή να εντοπίσει τις διαφορές στις ανάγκες θρέψης και ιδιαίτερα του αζώτου όπως μελετήθηκε στην παρούσα εργασία και ως εκ τούτου να ορίζει την κατάλληλη ποσότητα λίπανσης για όποια σημεία του αγρού κρίνεται αναγκαίο. Η χρήση των UAV για αυτό το σκοπό ενδείκνυται αφού αποτελούν μια οικονομική και αξιόπιστη λύση. Το σύστημα, έχοντας ως δεδομένα την χαρτογράφηση του αγρού που θα έχει προηγηθεί και με τη βοήθεια GPS θα αυξομειώνει την ποσότητα λίπανσης ανάλογα με τις τιμές του NDVI. Όποτε σε περιοχές όπου οι τιμές του NDVI στον αγρό είναι ίδια κλάση με τις τιμές κάποιου μάρτυρα, δεν θα χρειαστεί περαιτέρω επέμβαση με λίπασμα. Αντίθετα σε περιοχές όπου οι τιμές του NDVI είναι διαφοροποιημένες από τις τιμές κάποιου μάρτυρα θα πρέπει να εφαρμοστεί αυξημένη ποσότητα επιφανειακής λίπανσης. Έτσι η διαχείριση της καλλιέργειας, σύμφωνα και με τα αποτελέσματα θα μπορούσε να ενταχθεί σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας με στόχο την ορθότερη διαχείριση της καλλιέργειας και ειδικότερα τη καταλληλότερη Επιλογή και δοσολογία λίπανσης βάσει των αναγκών της φυτείας με στόχο την μείωση των εισροών στο αγροπεριβάλλον.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα έρευνα στόχος ήταν η παρακολούθηση καλλιέργειας βυνοποιήσιμου κριθαριού εφαρμόζοντας μεθόδους Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, αξιοποιώντας παράλληλα ένα σύστημα με μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV). Στο πλαίσιο αυτού μελετήθηκαν οι τιμές του NDVI και η σχέση τους με τα αποδοτικά χαρακτηριστικά σε βιολογικά στάδια του κριθαριού που επιτρέπουν στον παραγωγό να επέμβει για διορθωτικές κινήσεις. Έτσι εξετάστηκε η σχέση του δείκτη NDVI με τα αποδοτικά χαρακτηριστικά κατά τα στάδια του αδελφώματος και καλαμώματος της καλλιέργειας.

Οι συσχετίσεις οι όποιες πραγματοποιήθηκαν παρουσίασαν ότι ο δείκτης NDVI συσχετίστηκε θετικά κατά το αδελφωμα με τα περισσότερα συστατικά της απόδοσης. Κατά το καλάμωμα διατηρήθηκε η τάση που υπήρχε κατά το αδελφωμα και ιδιαίτερα για την στρεμματική απόδοση σε ξηρή βιομάζα και τον δείκτη συγκομιδής η θετική αυτή σχέση παρατηρείται εντονότερα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ιδίως κατά το καλάμωμα οι περισσότερες συσχετίσεις δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, γεγονός που οφείλεται κυρίως στη γονοτυπική παραλλακτικότητα των ποικιλιών που συμμετείχαν στο πείραμα.

Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του NDVI διαφοροποιούνταν ανάλογα με το είδος της αζωτούχου λίπανσης που είχε εφαρμοσθεί. Σε γενικές γραμμές στα τεμάχια που λιπάνθηκαν με περισσότερες μονάδες αζωτούχου λίπανσης οι τιμές του NDVI παρουσιάζονταν υψηλότερες σε σχέση με τα υπόλοιπα τεμάχια. Με τη βοήθεια του NDVI έγινε επιτυχής διάκριση των αγροτεμαχίων ανάλογα με την λίπανση.

Πολύ σημαντικό αποτελεί το γεγονός ότι αποτυπώθηκε με επιτυχία διαφοροποίηση όσον αφορά τις ποικιλίες από τη χρήση του δείκτη NDVI. Μετά την εξέταση των εννέα διαφορετικών ποικιλιών κατά τα δύο φαινολογικά στάδια, διαπιστώθηκε ότι αποτυπώνονταν με διαφορετικές τιμές NDVI. Η διαφοροποίηση των τιμών NDVI ήταν σημαντική και για τα 2 φαινολογικά στάδια. Το δεδομένο αυτό καταδεικνύει το διαφορετικό ρυθμό ανάπτυξης των ποικιλιών, που αποτελεί σημαντική πληροφορία για την πρωίμιση/οψίμιση του βιολογικού κύκλου.

Τέλος καταγράφηκε η αποτελεσματική χρήση του συστήματος UAV για την παρακολούθηση της καλλιέργειας και την αποτύπωση του δείκτη NDVI. Πραγματοποιήθηκε μια εκτίμηση της φυτοκαλυψης και κατά συνέπεια της γενικότερης εικόνας των φυτών σε κρίσιμα στάδια όπου ο παραγωγός έχει ακόμα δυνατότητα να επέμβει για διορθωτικές κινήσεις. Διαπιστώνεται έτσι ότι η συνεισφορά των συστημάτων UAV στην γεωργία ακριβείας είναι σημαντική και δίνει την δυνατότητα στους παραγωγούς να παρακολουθούν τις καλλιέργειές τους με μεγάλη ευελιξία.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 Ξενόγλωσση

- 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.
- Aldana-Jague, E., Heckrath, G., Macdonald, A., van Wesemael, B., & Van Oost, K. (2016). UAS-based soil carbon mapping using VIS-NIR (480–1000 nm) multi-spectral imaging: potential and limitations. *Geoderma*, 275, 55–66.
- Barracough, P.B.; Howarth, J.R.; Jones, J.; Lopez-Bellido, R.; Parmar, S.; Shepherd, C. E.; Hawkesford, M. J.(2010) Nitrogen efficiency of wheat: Genotypic and environmental variation and prospects for improvement. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v.33, n.1, p.1-11.
- Becker-Reshef, I., Vermote, E., Lindeman, M., Justice, C., 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data. *Remote Sens. Environ.* 114, 1312–1323.
- Bolton, D.K., Friedl, M.A., 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agric. For. Meteorol.* 173, 74–84.
- Boschini A.P.M.; Silva, C. L.; Oliveira, C.A.S.; Oliveira Jr, M. P.; Miranda, M. Z.; Fagioli, M., 2011. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.5, p. 450-457.
- Chapman, S.C., Merz, T., Chan, A., Jackway, P., Hrabar, S., Dreccer, M.F., Holland, E., Zheng, B., Ling, T.J., Jimenez-Berni, J., 2014. Pheno-copter: a low-altitude autonomous remote-sensing robotic helicopter for high-throughput field-base phenotyping. *Agronomy* 4, 279–301.
- Crusiol, L.G.T., Carvalho, J. de F.C., Sibaldelli, R.N.R., Neiverth, W., Rio, A. do Ferreira, L.C., Procópio, S. de O., Mertz-Henning, L.M., Nepomuceno, A.L. Neumaier, N., Farias, J.R.B., 2016. NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars. *Precis. Agric.* 1–21.

- 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.
- Deery, D., Jimenez-Berni, J., Jones, H., Sirault, X., Furbank, R., 2014. Proximal remote sensing buggies and potential applications for field-based phenotyping. *Agronomy* 4, 349–379.
- Drossopoulos J. B., D. L. Bouranis, S. Kintsios, G. Aivalakis, J. Karides, S. N Chorianopoulou, and C. Kitsaki. 1999. Effect of Nitrogen Fertilization on Distribution Profiles of Selected Macronutrients in Oriental Field-Grown Tobacco Plants. *Journal of plant nutrition*, 22(3), p. 527-541.
- Duan T., S.C. Chapmana, Y. Guo, B. Zheng, 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle. *Field Crops Research* 210, p.71–80.
- Duan, T., Chapman, S.C., Holland, E., Rebetzke, G.J., Guo, Y., Zheng, B., 2016 Dynamic quantification of canopy structure to characterize early plant vigour in wheat genotypes. *J. Exp. Bot.* 67, 4523–4534.
- Erdle, K., Mistele, B., Schmidhalter, U., 2011. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. *Field Crops Res.* 124, 74–84.
- Espindula, M. C. 2010. Doses e formas de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e produção da cultura do trigo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n.6, p. 1404-1411.
- Fontana DC, Potgieter AB, Apan A. Assessing the relationship between shire winter crop yield and seasonal variability of the MODIS NDVI and EVI images. *Appl GIS* 2007;3(7):1-16.
- G. A. Elliott and K. L. Regan, 1993. “Use of reflectance measurements to estimate early cereal biomass production on sand plain soils,” *Australian Journal of Experimental Agriculture*, vol. 33,no. 2, pp. 179–183.
- Gagnon, B. and N. Ziadi, 2010. Grain corn and soil nitrogen responses to sidedress nitrogen sources and applications. *Agron. J.*, 102: 1014-1022.
- Halvorson, A.D., A.R. Mosier, C.A. Reule and W.C. Bausch, 2005. Nitrogen and tillage effects on irrigated continuous corn yields. *Agron. J.*, 98: 63-71.

- Heli Li, Yi Luo, Xiaoping Xue, Yujin Zhao, Hong Zhao, Feng Li, 2011. A comparison of harvest index estimation methods of winter wheat based on field measurements of biophysical and spectral data. *Biosystems engineering* 109, 396-403.
- Hocking, P.J., Kirkegaard, J.A., Angus, J.F., Bernardi, A. and Mason, L.M. 2002. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. III. Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen uptake by plants and on soil nitrogen extraction. *Field Crops Res.* 79:153-172.
- Holzapfel, C.B., Lafond, G.P., Brandt, S.A., May, W.E., Johnston, A.M. 2007. Insoil banded versus post-seeding liquid nitrogen applications on no-till spring wheat and canola. *Can. J. Plant Sci.* 87: 223–232.
- Jianqiang Ren, Zhongxin Chen, Huajun Tang, 2010. Derivation and Validation of Harvest Index for Winter Wheat Using MODIS NDVI Data and Ground Measurements. 3rd International Congress on Image and Signal Processing, p. 2158-2162.
- Kapp Jr., Alaine M. Guimaraes, Eduardo F. Caires, 2016. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.36, n.5, p.886-894.
- Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Scharf, P.C., Palm, H.L., Roberts, D.F., Vories, E.D., 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable rate nitrogen corn fertilization. *Agron. J.* 102, 71–84.
- Lelong, C. C. D., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Sylvain Labbé, S., & Baret, F. (2008). Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*, 8, 3557–3585.
- Liu Kesi, 2011. Corn (*Zea Mays* L.) Plant Characteristics and Grain Yield Response to N Fertilization Programs in No-Tillage System. *American Journal of Agricultural and Biological Science*.
- Liu, Y., Song, P., Peng, J., & Ye, C. (2012). A physical explanation of the variation in threshold for delineating terrestrial water surfaces from multi-temporal images: effects of radiometric correction. *International Journal of Remote Sensing*, 33(18), 5862–5875.

- Lopes, M.S., Reynolds, M.P., 2012. Stay-green in spring wheat can be determined by spectral reflectance measurements (normalized difference vegetation index) independently from phenology. *J. Exp. Bot.* 63, 3789–3798.
- Lopresti, M.F., Di Bella, C.M., Degioanni, A.J., 2015. Relationship between MODIS NDVI data and wheat yield: a case study in northern Buenos Aires province, Argentina. *Inf. Process. Agric.* 2, 73–84.
- Mkhabela MS, Bullock P, Raj S, Wang S, Yang Y. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agric. For Meteorol.* 2011;151(3):385-93.
- Mora, M., Avila, F., Carrasco-Benavides, M., Maldonado, G., Olgúin-Cáceres, J., Fuentes, S., 2016. Automated computation of leaf area index from fruit trees using improved image processing algorithms applied to canopy cover digital photographs. *Comput. Electron. Agric.* 123, 195–202.
- Moran, M.S., Inoue, Y., Barnes, E.M., 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sens. Environ.* 61, 319–346.
- Motomiya, A. V. A; Molin, J. P.; Chiavegato, E. J. 2009. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n.2, p.137–145.
- Mouazen, A.M., Alhwaimel, S.A., Kuang, B., Waine, T., 2014. Multiple on-line soil sensors and data fusion approach for delineation of water holding capacity zones for site specific irrigation. *Soil Tillage Res.* 143, 95–105.
- Nunes, A. S.; Souza, L. C. F.; Mercante, F. M. 2011. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v. 70, n.2, p.432-438.
- Pantazi, X.E., Moshou, D., Alexandridis, T., Whetton, R.L., Mouazen, A.M., 2016. Wheat yield prediction using machine learning and advanced sensing techniques. *Comput. Electron. Agric.* 121, 57–65.
- Papadopoulos, A., Kalivas, D., & Hatzichristos, T. (2015). GIS modelling for site-specific nitrogen fertilization towards soil sustainability. *Sustainability*, 7, 6684–6705.

- Paproki, A., Sirault, X., Berry, S., Furbank, R., Fripp, J., 2012. A novel mesh processing based technique for 3D plant analysis. *BMC Plant Biol.* 12, 63–75.
- Pound, M.P., French, A.P., Murchie, E.H., Pridmore, T.P., 2014. Automated recovery of three-dimensional models of plant shoots from multiple color images. *Plant Physiol.* 166, 1688–1698.
- Rasmussen, J., Ntakos, G., Nielsen, J., Svensgaard, J., Poulsen, R.N., Christensen, S., 2016. Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots? *Eur. J. Agron.* 74, 75–92.
- Raun, W.R., J.B. Solie, G.V. Johnson, M.L. Stone, R.W. Mullen, K.W. Freeman, W.E. Thomason, and E.V. Lukina 2002 Improving Nitrogen Use Efficiency in Cereal Grain Production with Optical Sensing and Variable Rate Application. *Agron. J.* 94:815-820.
- S. R. Sultana, A. Ahmad, A. Wajid, and J. Akhtar, 2013. “Estimating growth and yield related traits of wheat genotypes under variable nitrogen application in semi-arid conditions,” *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 118–125.
- Sankaran, S., Khot, L.R., Espinoza, C.Z., Jarolmasjed, S., Sathuvalli, V.R., Vandemark, G.J., Miklas, P.N., Carter, A.H., Pumphrey, M.O., Knowles, N.R., Pavek, M.J., 2015. Low-altitude, high-resolution aerial imaging systems for row and field crop phenotyping: a review. *Eur. J. Agron.* 70, 112–123.
- Sawasawa, H., 2003. Crop yield estimation: Integrating RS, GIS and management factors. A Case Study of Birkoor and Kortgiri Mandals-Nizamabad District, India. Enschede, The Netherlands, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC).
- Schirrmann, M., Hamdorf, A., Garz, A., Ustyuzhanin, A., Dammer, K.-H., 2016. Estimating wheat biomass by combining image clustering with crop height. *Comput. Electron. Agric.* 121, 374–384.
- Sharma, B., Ritchie, G.L., Rajan, N., 2015. Near-remote green: red perpendicular vegetation index ground cover fraction estimation in cotton. *Crop Sci.* 55, 2252–2261.
- Singh R, Semwal DP, Rai A, Chhikara RS. Small area estimation of crop yield using remote sensing satellite data. *Int J Remote Sens* 2002;23(1):49-56.

- Smith, C.J., Wright, G.C., and M.R. Woodrooffe. 1988. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in South-Easter Australia. *Irrig. Sci.* 9:15-25.
- Soudani, K., Hmimina, G., Delpierre, N., Pontauiller, J.-Y., Aubinet, M., Bonal, D., Caquet, B., de Grandcourt, A., Burban, B., Flechard, C., Guyon, D., Granier, A., Gross, P., Heinesh, B., Longdoz, B., Loustau, D., Moureaux, C., Ourcival, J.-M., Rambal, S., Saint André, L., Dufrêne, E., 2012. Ground-based Network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes. *Remote Sens. Environ.* 123, 234–245.
- Stoskopf, N.C.1985, Cereal grain crops. Reston Publishing Company, Inc., Reston.
- Tattaris, M., Reynolds, M.P., Chapman, S.C., 2016. A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. *Crop Sci. Hortic.* 7, 1131–1139.
- Torres-Sanchez, J., Lopez-Granados, F., Pena, J.M., 2015. An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. *Comput. Electron. Agric.* 114, 43–52.
- Torres-Sánchez, J., Pe A, J.M., de Castro, A.I., López-Granados, F., 2014. Multitemporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Comput. Electron. Agric.* 103, 104–113.
- Tsiligirides TA. Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frame sampling methodology in Hellas. *Comput Electron Agric* 1998;20(1):45–77.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 8, 127-150.
- Viana, E. M.; Kiehl, J. C. 2010. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 4, p.975-982.
- Whetton Rebecca, Yifan Zhao, Sameh Shaddad, Abdul M. Mouazen, 2017. Nonlinear parametric modelling to study how soil properties affect crop yields and NDVI. *Computers and Electronics in Agriculture* 138, p.127–136.
- Xue, L., Cao, W., Yang, L., 2007. Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different N supply levels using canopy reflectance spectra. *Pedosphere* 17, 646–653.

- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F., 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14 (6), 415–421.
- Zagonel, J.; Venancio, W. S.; Kunz, R. P.; Tanamati, H. 2002. Doses de nitrogênio e densidade de plantas com e sem um regulador de crescimento afetando o trigo, cultivar OR-1. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.1, p.25-29.
- Zarco-Tejada, P.J., Guillen-Climent, M.L., Hernandez-Clemente, R., Catalina, A., Gonzalez, M.R., Martin, P., 2013. Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV). *Agric. For. Meteorol.* 171, 281–294.
- Zhou X., H.B. Zheng, X.Q. Xu, J.Y. He, X.K. Ge, X. Yao, T. Cheng, Y. Zhu, W.X. Cao, Y.C. Tian, 2017. Predicting grain yield in rice using multi-temporal vegetation indices from UAV-based multispectral and digital imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 130, p.246–255.

8.2 Ελληνική

- Αγγελοπούλου, Κ. 2008. Γεωργία ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων. Νέα Ιωνία, Βόλος Διδακτορική διατριβή.
- Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Αγγελοπούλου, Α., Χατζηνίκος, Α., 2006. Εφαρμογές και προοπτική γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα (Application and perspectives of Precision Agriculture in Greece). Καινοτόμες εφαρμογές της πληροφορικής στον αγροτικό τομέα και στο περιβάλλον (Innovative application of Informatics in agriculture and rural environment). Τόμος επιστημονικών εργασιών της ΕΠΕΓΕ-Παράρτημα Β. Ελλάδας, σελ 41-51.
- Καραμάνος Α., 2008. Τα Σιτηρά των εύκρατων κλιμάτων Ανδρέα Ι. Καραμάνου εκδόσεις Παπαζήση», Αθήνα
- Κόκκορα Μ., Ν. Γκουγκουλιάς, Χ. Καβαλάρης, Δ. Καλφούντζος, Θ. Γέμτος, 2015. Μελέτη της επίδρασης μεθόδων κατεργασίας και λίπανσης στην απόδοση ενεργειακών καλλιεργειών. *Proceeding of 9th National Conference of Agricultural Engineering*, At Thessaloniki, Greece. pp. 693-700.
- Μέρτικας, Σ.Π. 1999. Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή ανάλυση εικόνας. Εκδόσεις Ίων, Στέλλα Παρίκου και ΣΙΑ Ο.Ε.

- Παπακώστα, Δ., 1996. Ειδική Γεωργία Ι. Θεσσαλονίκη.
- Πιτσιλίδου, Ε., 2011. Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων κατά τα έτη 2007-2009 με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Modis. Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.
- Τσακελίδου Κ., Η. Παρούσης, 2006. Επίδραση λίπανσης αζώτου και καλίου στην απόδοση των σιτηρών σε όξινα εδάφη που ασβεστώθηκαν. 11ο Συνέδριο της Ελληνικής Εδαφολογικής Εταιρείας, Άρτα, 4-7 Οκτωβρίου 2006 σελ. 325-334.
- Τσαντήλας, Χ. και Ευαγγέλου, Α. Εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών.
- Φτάκα, Α., 2006. Η Γεωργία Ακριβείας ως εργαλείο της γεωργικής πρακτικής για την αειφόρο ανάπτυξη. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

8.3 Ιστοσελίδες

<http://www.fao.org>

<http://www.statistics.gr>

<http://www.gis.com>

<http://www.esri.com>

<http://www.nagref.gr>