

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΠΜΣ «ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΙΣ ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ, ΤΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΚΜΗΧΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ»  
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΣΕ ΣΥΜΠΡΑΞΗ ΜΕ ΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΕΙ ΧΑΛΚΙΔΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Γεωργία Ακριβείας στα αγλάδια: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής με NDVI και  
ανθοφορία**

**ΑΛΙΚΗ ΖΑΧΟΥ, ΓΕΩΠΟΝΟΣ**

**Βόλος, Μάρτιος 2013**



**Γεωργία Ακριβείας στα αγλάδια: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής με NDVI και  
ανθοφορία**

## **Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Σπ. Φουντάς (Επιβλέπων)  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Θ. Γέμος  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
Γ. Νάνος  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Επίκουρος Καθηγητής  
Γεωργική Μηχανολογία  
Καθηγητής  
Γεωργική Μηχανολογία  
Αναπληρωτής Καθηγητής  
Δεντροκομία

**Αλίκη Σ. Ζάχου**

**Γεωργία Ακριβείας στα αγλάδια: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής με NDVI και  
ανθοφορία**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και του NDVI καθώς και η σχέση της παραγωγής με το NDVI και την ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στα αχλάδια. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας εμπορικός οπωρώνας στην περιοχή του Τύρναβου Λάρισας που καλλιεργούνται αχλάδια στον οποίο έγιναν μετρήσεις για ένα έτος.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν χαρτογράφηση παραγωγής, χαρτογράφηση NDVI με χρήση ενός αισθητήρα Crop Circle και χαρτογράφηση ανθοφορίας.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε στα εξής στάδια: α) υπολογισμός περιγραφικών στατιστικών όπως μέση, ελάχιστη, μέγιστη τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας, β) γεωστατιστική ανάλυση και υπολογισμός βαριογραμμμάτων που περιγράφουν τη χωρική δομή των δεδομένων γ) υπολογισμός συντελεστών γραμμικής συσχέτισης  $r$  μεταξύ των δεδομένων της παραγωγής και του NDVI και μεταξύ των δεδομένων της παραγωγής και της ανθοφορίας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στο NDVI παρά το μικρό μέγεθος του οπωρώνα. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορεί να εφαρμοστούν οι τεχνικές της Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα.

Η παραγωγή είχε σημαντική χωρική παραλλακτικότητα η οποία ήταν περίπου 32%. Η χωρική παραλλακτικότητα στο NDVI ήταν μικρότερη από την παραγωγή και κυμάνθηκε από 7-11%. Από τις μετρήσεις του NDVI τη μικρότερη παραλλακτικότητα είχαν οι μετρήσεις που λήφθηκαν το μήνα Ιούλιο κατά το στάδιο ανάπτυξης του καρπιδίου για την άνω κόμη και τη μεγαλύτερη οι μετρήσεις που λήφθηκαν την ίδια μέρα για τη μέση κόμη όμως.

Ο χάρτης ανθοφορίας έδειξε ότι υπάρχει χωρική παραλλακτικότητα στην ανθοφορία που σχετίζεται με την παραγωγή. Επομένως ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί

οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Πρώτον από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου κ. Θεοφάνη Γέμτο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, ο οποίος με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε ευκαιρίες να ασχοληθώ με πολύ ενδιαφέροντα θέματα καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος. Τον ευχαριστώ επίσης, που μου έδωσε ευκαιρίες και με παρότρυνε να διευρύνω τους ορίζοντές μου και να φοιτήσω στο εξωτερικό.

Ευχαριστώ με όλη μου την καρδιά, τον Επίκουρο Καθηγητή Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Επιβλέποντα της εργασίας αυτής κ. Σπύρο Φουντά για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της έρευνας και τις υποδείξεις του στη διαμόρφωση της διατριβής. Τον ευχαριστώ θερμά που με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε όχι μόνο κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής αλλά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.

Ιδιαίτερος ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Βασίλη Λίακο για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε στη διενέργεια των μετρήσεων και τις υποδείξεις του στη διαμόρφωση της παρούσας μελέτης, χωρίς τα οποία δε θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διατριβής αυτής. Τον ευχαριστώ θερμά για το χρόνο που διέθεσε και για την καθοδήγηση και συμπαράσταση που μου προσέφερε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας κ. Γεώργιο Νάνο, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής για τη συμμετοχή του στην επιτροπή και τα σχόλιά του για το περιεχόμενο της διατριβής αυτής.

Επίσης, ευχαριστώ πολύ την υποψήφια διδάκτορα κ. Άννα Βατσανίδου για τη βοήθεια που μου προσέφερε για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και για την άψογη συνεργασία μας. Σημαντική ήταν η προσφορά του υποψήφιου διδάκτορα κ. Αριστοτέλη Ταγαράκη που η επιστημονική του γνώση σε θέματα ανάλυσης της



χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων ήταν πολύ σημαντική για την ολοκλήρωση της διατριβής αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την κατανόηση που υπέδειξε και την ηθική στήριξη που μου παρείχε από την αρχή της εργασίας αυτής μέχρι σήμερα.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Γενικά.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Αντικείμενο και δομή της διατριβής.....</b>	<b>6</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Γεωργία Ακριβείας.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στη Ελλάδα.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Τεχνολογίες για εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας.....</b>	<b>16</b>
2.3.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης.....	17
2.3.1.1. Ιστορική αναδρομή.....	17
2.3.1.2. Εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας.....	18
2.3.2. Χαρτογράφηση παραγωγής.....	19
2.3.3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.....	20
2.3.3.1 Γενικά.....	20
2.3.3.2 Χρήση GIS για Γεωργία Ακριβείας.....	21
2.3.4. Ζώνες διαχείρισης.....	22
2.3.5. Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις.....	23
2.3.6. Παρακολούθηση καλλιέργειας.....	24
2.3.6.1. Γενικά.....	24
2.3.6.2. Οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία Ακριβείας.....	33
<b>2.4. Η καλλιέργεια της αχλαδιάς.....</b>	<b>44</b>
2.4.1. Γενικά.....	44
2.4.2. Βοτανική ταξινόμηση.....	49
2.4.3. Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	49
2.4.4. Οικονομική σημασία.....	50
2.4.5 Ποικιλίες.....	51
2.4.6. Κλίμα και έδαφος.....	52
2.4.7. Βλαστικά στάδια αχλαδιάς.....	53
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1. Περιγραφή πειραμάτων.....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Μετρήσεις.....</b>	<b>56</b>
<b>3.3. Ανάλυση δεδομένων.....</b>	<b>59</b>
3.3.1. Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας.....	59
3.3.2. Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων.....	61

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....</b>	<b>62</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ NDVI.....</b>	<b>65</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ.....</b>	<b>71</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ NDVI.....</b>	<b>73</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ.....</b>	<b>78</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....</b>	<b>79</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>82</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>83</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>85</b>

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

**Πίνακας 1.1.** Προβλήματα που επικαλούνται οι γεωργοί, προκειμένου να μην εφαρμόσουν τη Γεωργία Ακριβείας

**Πίνακας 2.1.** Κατηγορίες δείκτη βλάστησης (NDVI)

**Πίνακας 2.2.** Παραγωγή αχλαδιών την τελευταία πενταετία στην Ευρώπη και Τουρκία (χιλ. τόνοι)

**Πίνακας 2.3.** Ποικιλίες της Καρδιόσχημης ή Ευρωπαϊκής αχλαδιάς

**Πίνακας 2.4.** Παραγωγή ανά ποικιλία αχλαδιού την τελευταία πενταετία σε χώρες της ΕΕ (Βέλγιο, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ελλάδα, Ολλανδία, Πορτογαλία, Ισπανία, Ην. Βασίλειο)

**Πίνακας 2.5.** Μέσες φαινολογικές ημερομηνίες για φούσκωμα οφθαλμών, άνθηση, καρπόδεση και ωρίμανση για την ποικιλία Coscia κατά τη διάρκεια του 1992-1995 κοντά στο Tempio και στο Oristano της Σαρδηνίας

**Πίνακας 4.1.** Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011 του πειράματος

**Πίνακας 5.1.** Περιγραφικά στατιστικά για το NDVI στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 2.1.** Σημαντικά θέματα που σχετίζονται με τη Γεωργία Ακριβείας

**Εικόνα 2.2.** Κύκλος Γεωργίας Ακριβείας

**Εικόνα 2.3.** Δορυφορικό σύστημα GPS

**Εικόνα 2.4.** Ένα σύστημα GIS μπορεί να απεικονίσει και να αναλύσει δεδομένα σε πολλά επίπεδα στον ίδιο αγρό.

**Εικόνα 2.5.** Διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες διαχείρισης

**Σχήμα 2.6.** Ιδανική φασματική αντανάκλαση υγιούς βλάστησης

**Σχήμα 2.7.** Βασική αρχή NDVI

**Εικόνα 2.8.** Παγκόσμια παραγωγή αχλαδιού

**Εικόνα 2.9.** Ποσοστά % εξαγωγών αχλαδιών διαφόρων χωρών παγκοσμίως

**Εικόνα 2.10.** Οι 10 Ευρωπαϊκές χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αχλαδιών

**Εικόνα 2.11.** Coscia

**Εικόνα 2.12.** Βλαστικά στάδια αχλαδιάς

**Εικόνα 3.1.** Συνοπτική στρωματογραφική στήλη περιοχής Νότια του Τύρναβου-Αγία Σοφία

**Εικόνα 3.2.** Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων

**Σχήμα 3.3.** Αισθητήρας Crop Circle

**Εικόνα 3.4.** Πειραματικό βαριόγραμμα

**Εικόνα 4.1** Βαριόγραμμα για την παραγωγή της ποικιλίας Coscia για το έτος 2011

**Εικόνα 4.2.** Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011

**Εικόνα 5.1.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 15/5/2011

**Εικόνα 5.2.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 29/5/2011

**Εικόνα 5.3.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 17/6/2011

**Εικόνα 5.4.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 1/7/2011

**Εικόνα 6.1.** Χάρτης ανθοφορίας έτους 2011 για την ποικιλία Coscia

**Εικόνα 7.1.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 15/5/11

**Εικόνα 7.2.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 29/5/11

**Εικόνα 7.3.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 17/6/11

**Εικόνα 7.4.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 17/6/11

**Εικόνα 8.1.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Γενικά

Η γεωργία, ένας από τους πιο συμβατικούς τομείς της οικονομίας, τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, αντιμετωπίζει τα τελευταία χρόνια διάφορες προκλήσεις όπως, ο ανταγωνισμός της παγκόσμιας αγοράς εξαιτίας του υψηλού κόστους της παραγωγής, η έλλειψη αρδευτικού ύδατος και το ενδιαφέρον του κόσμου για τις συνέπειες της αγροτικής παραγωγής στο περιβάλλον, η μόλυνση του περιβάλλοντος και τα προβλήματα από την έλλειψη φυσικών πηγών. Το γεγονός αυτό είναι απόρροια των μεγάλων εισροών πρώτων υλών και ενέργειας, οι οποίες είχαν θετική μεν επίπτωση στην αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών, αρνητική δε στο περιβάλλον και στην υγεία των ανθρώπων, των ζώων κλπ. (Μυγδάκος και άλλοι, 2004). Έτσι σήμερα οι παραγωγοί, για να επιβιώσουν στο διεθνή ανταγωνισμό, θα πρέπει να παράγουν προϊόντα υψηλής ποιότητας και χαμηλής τιμής, χρησιμοποιώντας μεθόδους φιλικές προς το περιβάλλον.

Η επιστήμη για μια ακόμα φορά καλείται να βρει λύσεις για αυτά τα προβλήματα. Στην παρούσα φάση γίνονται προσπάθειες προς δύο κατευθύνσεις: τη βιοτεχνολογία και τη νέα τεχνολογία. Η πρόοδος της βιοτεχνολογίας οδηγεί στην εμφάνιση νέων, περισσότερο παραγωγικών ποικιλιών με περισσότερο αντοχή σε εχθρούς και σε αλλαγές στην κλιματική κατάσταση, μειώνοντας έτσι τη χρήση χημικών και φυσικών εισροών. Από την άλλη πλευρά, οι πρόοδοι στην ηλεκτρονική και στους υπολογιστές παράγουν νέες τεχνικές για τη μεγιστοποίηση των κερδών του αγρότη και για την προστασία του περιβάλλοντος (Markinos et al., 2002). Οι νέες εφαρμογές της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής φαίνεται να έχουν μεγάλη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν αυτά τα θέματα. Συγκεκριμένα, η Πληροφορική έχει δημιουργήσει δύο νέα δυναμικά εργαλεία, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και τα Έμπειρα Συστήματα, η Διαστημική Επιστήμη έκανε πραγματικότητα τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης και τη δορυφορική Τηλεπισκόπηση, ενώ η Γεωργική Μηχανική επεξεργάζεται αισθητήρες μέτρησης εδαφοκαλλιεργητικών παραμέτρων και Αυτόνομες γεωργικές μηχανές (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Η νέα τεχνολογία παρέχει τη δυνατότητα για αύξηση της παραγωγικότητας στη γεωργία καθώς οι διαθέσιμοι πόροι περιορίζονται αρκετά.

Συγκεκριμένα, στη συμβατική γεωργία, θεωρώντας τον αγρό σα μια ομοιόμορφη περιοχή με σταθερές φυσικές, χημικές και μορφολογικές ιδιότητες,



αυξάνεται το κόστος παραγωγής και προκαλείται υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Ένας μέσος όρος της παραγωγής θεωρούνταν έγκυρος για όλα τα μέρη του χωραφιού και οι εισροές προσδιορίζονταν για το μέσο όρο της παραγωγής και εφαρμόζονταν ομοιογενώς σε ολόκληρο το χωράφι. Με βάση το σκεπτικό αυτό η εφαρμογή των εισροών ήταν ενιαία σε όλη την έκταση του αγρού (Weiss 1996). Δηλαδή, ο αγρότης εφαρμόζει τις εισροές όπως τα λιπάσματα, με σταθερό ρυθμό, που σημαίνει ανεπάρκεια σε κάποια σημεία και περίσσεια σε κάποια άλλα και βεβαίως μακράν του αρίστου οικονομικού αποτελέσματος με όλες τις συνέπειες ρύπανσης κλπ. (Μυγδάκος και άλλοι, 2004). Αναφερόμαστε σε όλες τις αγροτικές εισροές και εφαρμογές όπως, στη σπορά, την άρδευση, το ψεκάσμο και άλλα. Μέχρι σήμερα υπήρχε η πρακτική του ελεγχόμενου πειράματος, στο οποίο ένας ή λίγοι παράγοντες είναι ποικίλοι ενώ όλοι οι άλλοι κρατούνται σταθεροί. Αυτό όμως είναι η εξαίρεση γιατί το σύνηθες είναι η μεγάλη ποικιλομορφία και διαφοροποίηση των εδαφών, ακόμη και μέσα στον ίδιο αγρό (Earl et al, 1996, Godwin et al, 2003a, Gemtos et al, 2003). Ένα τέτοιο πείραμα αντιστοιχεί ελάχιστα σε ένα πραγματικό αγροτικό περιβάλλον, στο οποίο πολλαπλοί παράγοντες ποικίλλουν ταυτόχρονα. Τέτοια πειράματα παρέχουν λίγες πληροφορίες για την παραλλακτικότητα στο αγροτεμάχιο όταν αλλάζει ένας παράγοντας ενώ στην πραγματικότητα αλλάζουν πολλοί παράγοντες (Φτάκα, 2006)

Με την ανάπτυξη των αισθητήρων παραγωγής στη δεκαετία του 90 αποκαλύφθηκε ότι η υπόθεση του ομοιογενούς χωραφιού ήταν λάθος. Το ίδιο εφαρμόστηκε για τις ιδιότητες του εδάφους προκαλώντας τη χωρική παραλλακτικότητα του αγρού. Επομένως, η συμβατική γεωργία δεν είναι ικανή να πετύχει τη μέγιστη παραγωγή με τις ελάχιστες εισροές και τις ασήμαντες περιβαλλοντικές επιδράσεις (Markinos et al., 2002). Κατανοώντας τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πολλαπλών παραγόντων που έχουν επιπτώσεις στην αύξηση της αγροτικής παραγωγής, θεμελιώνεται οποιαδήποτε προσπάθεια να βελτιωθεί το συστήματα διαχείρισης. Ενσωματώνοντας πληροφορίες, για τη μεταβλητότητα στο έδαφος, στην υγρασία, στις θρεπτικές ουσίες, και στους πληθυσμούς παρασίτων, με σκοπό τη λήψη αποφάσεων απαιτείται κατανόηση της αύξησης της παραγωγής σε δεδομένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παραδοσιακή επιστημονική έρευνα για τα φυτά και το έδαφος δεν έχει ως σκοπό να παρέχει αυτού του είδους τις πληροφορίες.

Μια νέα τάση που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για μια ιδέα που στην πραγματικότητα δεν είναι καινούργια.

Στο παρελθόν ο γεωργός, μπορούσε να μάθει καλά τα χαρακτηριστικά της γης του και να διαφοροποιήσει τις επεμβάσεις του, ανάλογα με τη θέση στο χωράφι από σημείο σε σημείο και από εποχή σε εποχή με σκοπό την καλύτερη διαχείριση (Τσελές και Κυριακαράκος, 2011). Για παράδειγμα έριχνε περισσότερο σπόρο σε σημεία του χωραφιού που δε φύτρωναν. Βέβαια, αυτό γινόταν σχετικά εύκολα λόγω του μικρού μεγέθους των εκμεταλλεύσεων και της μορφής των εργασιών που ήταν κυρίως χειρονακτικές. Με την μεγέθυνση των εκμεταλλεύσεων, την εντατική παραγωγή και την εκμηχάνιση το τελευταίο μισό του 20ου αιώνα, είναι σχεδόν αδύνατο να θυμάται τα χαρακτηριστικά όλης της έκτασής του, και πώς αυτά μεταβάλλονται και είναι πλέον πολύ δυσκολότερη η διαχείριση της μεταβλητότητας των παραμέτρων μέσα στο ίδιο χωράφι χωρίς τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών (Markinos et al., 2002).

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ορθολογική χρήση των εισροών (Γέμτος και άλλοι, 2006). Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών για κάθε τμήμα του αγρού.

Τα συστήματα Γεωργίας Ακριβείας αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 80 και στη δεκαετία του 1990. Σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας δόθηκε από την εφαρμογή για πρώτη φορά των αισθητήρων χαρτογράφησης της παραγωγής που εφαρμόστηκαν από την εταιρεία Massey Ferguson σε θεριζοαλωνιστικές. Τα συστήματα αυτά βελτιώθηκαν στη διάρκεια της δεκαετίας του 90. Σε αυτό συνέβαλε ουσιαστικά η βελτίωση των συστημάτων καθορισμού της θέσης πάνω στην επιφάνεια της γης μέσω σημάτων από δορυφόρους (GPS) (Γέμτος και άλλοι, 2006).

Οι πρώτες αναφορές σχετικά με την ανάγκη για διαχείριση της παραλλακτικότητας στο αγροτεμάχιο έγιναν ήδη από την αρχή του 20ού αιώνα από τους Eden & Maskell (1928) και Linsley & Bauer (1929), ενώ κατά τη δεκαετία του 1980, οι Johnson et al. (1983) προχώρησαν στην περιγραφή μιας αυτόματης γεωργικής μηχανής ακριβείας. Η πρώτη πραγματική εφαρμογή, όμως, ήταν η κατασκευή συστήματος μίξης και διανομής λιπασμάτων σε κίνηση, που κατασκευάστηκε από την εταιρεία Soil Teq στις Η.Π.Α. (Fairchild, 1988) και το οποίο χρησιμοποιούσε πληροφορία από αεροφωτογραφία και εδαφικές αναλύσεις με

βάση πλέγμα συντεταγμένων, για να παράγει ένα χάρτη εφαρμογής λιπασμάτων (Φτάκα, 2006).

Το 1992 στις Η.Π.Α., επετράπη η λειτουργία ιδιωτικών συστημάτων διαστημικής Τηλεπισκόπησης, ενώ το 1993 πραγματοποιήθηκε στη Μινεσότα η πρώτη διεθνής συνάντηση με θέμα τη Γεωργία Ακριβείας. Το 1994, επίσης στις Η.Π.Α. επετράπη η ελεύθερη χρήση από τους πολίτες δορυφορικών δεδομένων με χωρική ανάλυση ενός μέτρου, ενώ η πρώτη Ευρωπαϊκή συνάντηση για τη Γεωργία Ακριβείας πραγματοποιήθηκε στη Μ. Βρετανία το 1997. Τον Ιούλιο του 2000 πραγματοποιήθηκε στη Μινεσότα το 5ο Διεθνές Συνέδριο Γεωργίας Ακριβείας, ενώ τον Ιούνιο του 2001 στη Γαλλία το 3ο Ευρωπαϊκό (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

Σήμερα η Γεωργία Ακριβείας είναι μια πραγματικότητα. Έως το 1998, το 15% περίπου των γεωργών είχαν χρησιμοποιήσει τεχνικές Γεωργίας Ακριβείας στη Μ. Βρετανία και όπως δήλωσαν οι ίδιοι, σε σχετική έρευνα του ίδιου έτους, οι προσδοκίες τους σε γενικές γραμμές επαληθεύτηκαν. Στις Η.Π.Α. η Γεωργία Ακριβείας εφαρμόζεται κυρίως εκεί όπου υπάρχουν προβλήματα λειψυδρίας (μεσοδυτικές και δυτικές πολιτείες), ανωμαλίες ως προς διάφορα χαρακτηριστικά των εδαφών, ή έντονες ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων, λόγω εξαντλητικής εκμετάλλευσης (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Πολλές εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας που έχουν εκτιμηθεί στις ΗΠΑ, την Αυστραλία και τη Βόρεια Ευρώπη την τελευταία δεκαετία δίνουν θετικά αποτελέσματα, ειδικά σε μεγάλους αγρούς με μεταβλητές εδαφικές συνθήκες. Επίσης ο αυξανόμενος καλλιεργούμενος κλήρος έχει ως αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση πρακτικών, όπως η Γεωργία Ακριβείας και στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου, όπως η Ελλάδα (Γέμτος και άλλοι, 2006). Η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί ένα πλεονέκτημα που μπορεί να βοηθήσει σημαντικά προς την κατεύθυνση της αύξησης της παραγωγικότητας με περιορισμό των εισροών και σεβασμό στο περιβάλλον (Watson et al, 2003).

Όμως η μεγάλη πλειοψηφία των γεωργών παραμένει ακόμα μακριά από τη νέα μέθοδο και οι κυριότεροι λόγοι γι' αυτό είναι το υψηλό κόστος της επένδυσης και τα μη αποδεδειγμένα οφέλη από αυτήν. Επίσης οι αγροί της Νότιας Ευρώπης χαρακτηρίζονται από μικρά αγροτεμάχια και μικρή υιοθέτηση στις νέες τεχνολογίες μαζί και με τη γήρανση των αγροτών (Markinos et al., 2002). Άλλα προβλήματα που επικαλούνται οι γεωργοί, προκειμένου να μην εφαρμόσουν τη Γεωργία Ακριβείας, φαίνονται στον Πίνακα 1.1. (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης του κόστους παραγωγής μέσω της περαιτέρω

εκμηχάνισης της γεωργίας και μείωσης των εργατικών ημερομισθίων, όπως συμβαίνει στις χώρες του Βορρά.

**Πίνακας 1.1** Προβλήματα που επικαλούνται οι γεωργοί, προκειμένου να μην εφαρμόσουν τη Γεωργία Ακριβείας

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ %	Σημαντικό	Μικρό	Καθόλου
Ακριβή χρήση	74	25	1
Επιπλέον εκπαίδευση	48	49	3
Ερμηνεία δεδομένων	43	49	8
Εξάρτηση από τις μηχανές	52	39	9
Ανάγκη για μεγαλύτερο αγρόκτημα	46	34	20
Υποχρέωση για συμβουλευτική πηγή	13	44	43

Πηγή: Καρυδάς και Συλλαίος, 2000

Ειδικότερα όσον αφορά το κόστος, το βασικότερο στοιχείο είναι η αγορά του τεχνολογικού εξοπλισμού και η απόκτηση δεδομένων.

## **1.2. Αντικείμενο και δομή της εργασίας**

Από την εισαγωγή φαίνεται ότι η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου η καλλιέργεια είναι εκμηχανισμένη. Είναι πολύ ενδιαφέρον να δούμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας σε υψηλής αξίας καλλιέργειες όπως για παράδειγμα τα φρούτα, έτσι ώστε να βελτιώσουμε την παραγωγή και την ποιότητά τους και να ελαχιστοποιήσουμε τις αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες όπως η αχλαδιά είναι από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες για τη χώρα μας. Παρόλα αυτά δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια της αχλαδιάς στη χώρα μας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και του NDVI καθώς και η σχέση της παραγωγής με το NDVI και την ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα αυτό. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας εμπορικός οπωρώνας στην περιοχή του Τύρναβου Λάρισας όπου καλλιεργούνται αχλάδια στον οποίο έγιναν μετρήσεις για ένα έτος.

Μετά την εισαγωγή που παρουσιάστηκε, στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται η βιβλιογραφία σχετικά με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η Γεωργία Ακριβείας όπως είναι για παράδειγμα το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), τη χαρτογράφηση παραγωγής, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), το διαχωρισμό του αγρού σε ζώνες διαχείρισης (Management Zones), την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application), την παρακολούθηση της καλλιέργειας (αισθητήρες, αυτοματισμοί, τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης, ερμηνεία ψηφιακών εικόνων).

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύεται το πειραματικό μέρος της εργασίας όπου παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και γίνεται επεξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων και την επεξεργασία των δεδομένων. Στα Κεφάλαια 4-8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της παραγωγής. Δίνεται ο χάρτης παραγωγής και γίνεται προσπάθεια εξήγησης της χωρικής παραλλακτικότητας που παρατηρείται στην παραγωγή.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση του NDVI της καλλιέργειας (άνω και μέση κόμη) που λήφθηκε τέσσερις διαφορετικές

ημερομηνίες σε τέσσερα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Δίνονται οι αντίστοιχοι χάρτες όπου φαίνεται η παραλλακτικότητα του NDVI στον οπωρώνα.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται ο χάρτης ανθοφορίας μετά από την επεξεργασία των ψηφιακών εικόνων που λήφθηκαν κατά την ανθοφορία της καλλιέργειας.

Στο Κεφάλαιο 7 και 8 παρουσιάζονται οι πίνακες και τα διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής, NDVI και ανθοφορίας και γίνεται προσπάθεια εξήγησης των αποτελεσμάτων της συσχέτισης των μεταβλητών.

Τέλος, στα Κεφάλαια 9, 10 και 11 παρουσιάζονται η ανακεφαλαίωση, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για συνέχιση της έρευνας αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1. Γεωργία Ακριβείας

Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης της καλλιέργειας, το οποίο βασίζεται στη χρήση της τελευταίας τεχνολογίας, στην καταγραφή και στη ψηφιακή χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας του συστήματος έδαφος-καλλιέργεια. Ο στόχος της είναι η εφαρμογή εισροών σε όλα τα παραγωγικά στάδια βασισμένη στην παραλλακτικότητα. Ο στόχος δεν είναι να αποκτήσουμε την ίδια παραγωγή παντού, αλλά να διαχειριστούμε και να κατανέμουμε τις εισροές με βάση την τοποθεσία για να μεγιστοποιήσουμε το μακροπρόθεσμο κέρδος (Anil Kumar Singh). Στη Γεωργία Ακριβείας το κλειδί είναι οι πληροφορίες. Αγρότες οι οποίοι χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τις πληροφορίες κερδίζουν περισσότερες απολαβές από εκείνους που δε χρησιμοποιούν. Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να οριστεί ως η διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας σε επίπεδο υπό-χωραφιού έτσι ώστε να βελτιώσει τις οικονομικές αποδοχές και να μειώσει τις περιβαλλοντικές επιδράσεις (Blackmore et al., 2006). Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά, βοηθά το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος (Sigrimis 2000). Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών, είτε με συνδυασμό και των δύο. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, εφόσον εφαρμόζεται η αναγκαία ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού.

Μετρώντας αυτήν την παραλλακτικότητα χρησιμοποιώντας διάφορες νέες τεχνολογίες όπως GPS, GIS και αισθητήρες παρέχονται ιστορικά δεδομένα στον αγρότη για να βοηθήσει στη διαχείριση του χωραφιού. Οι διαφορές αυτές οφείλονται είτε σε τυχαίους, είτε σε συστηματικούς παράγοντες. Οι τυχαίοι αφορούν τα μετεωρολογικά δεδομένα, τις διάφορες ασθένειες και εχθρούς που για κάθε χρονιά διαφέρουν. Οι συστηματικοί παράγοντες αφορούν ιδιότητες κυρίως του εδάφους όπως οι φυσικές και χημικές ιδιότητες και η μηχανική του σύσταση (Markinos et al. 2002,). Περιοχές του οπωρώνα μπορεί να ποικίλουν ως προς: την παραγωγή, το χρώμα του καρπού, τα σάκχαρα των καρπών, το μέγεθος του καρπού, τη

διαθεσιμότητα των θρεπτικών, το PH του εδάφους, την υδατοικανότητα του εδάφους, την υφή και τη δομή του εδάφους (Doug Hutton, 2010). Ο καθηγητής Patrick Brown του πανεπιστημίου του Davis έχει εμπλακεί με μια μακροπρόθεσμη έρευνα, κατά την οποία παρακολουθεί τους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την παραγωγή των ξηρών καρπών. Η ομάδα του βρήκε ότι η παραγωγή που μετρήθηκε σε περισσότερα από 10.000 ξεχωριστά δέντρα για πάνω από 8 χρόνια, μπορεί να ποικίλει περισσότερο από 50%. Εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας σε οπωρώνα αχλαδιάς έκαναν και οι Perry et al. (2010), οι οποίοι εξέτασαν τη χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής, του μεγέθους των δέντρων, της υγείας των φυτών, και των χαρακτηριστικών του εδάφους. Η χωρική δομή διέφερε κάπως ανάμεσα στις μετρήσεις (παραγωγή, μέγεθος και υγεία δέντρου) και στα χαρακτηριστικά του εδάφους. Αλλά τα ιστορικά δεδομένα δεν είναι επαρκή μιας και αποδείχθηκε ότι υπάρχει η χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Το ενδεχόμενο της πρόβλεψης της παραγωγής χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα είναι πολύ σημαντικό μιας και η διαχείριση μπορεί να προσδιοριστεί και να εφαρμοστεί για να βελτιώσει τη βιωσιμότητα των αγρών και να μειώσει τη περιβαλλοντική επίδραση της γεωργίας. Ακόμα και η πρόβλεψη της παραγωγής στην αρχή της περιόδου ανάπτυξης μπορεί να είναι πολύ σημαντική (Parageorgiou et al. 2010.). Έτσι αναφορικά διακρίνονται τρεις μορφές παραλλακτικότητας: η χωρική, η χρονική και η προβλεπτική. Η χωρική παραλλακτικότητα γίνεται αντιληπτή ως μεταβολή των χαρακτηριστικών των ιδιοτήτων των καλλιεργειών και του εδάφους, με την αλλαγή θέσης μέσα στο αγροτεμάχιο. Η χρονική παραλλακτικότητα γίνεται αντιληπτή ως μεταβολή τους με το χρόνο. Η προβλεπτική παραλλακτικότητα γίνεται αντιληπτή ως μεταβολή στο χώρο, της διαφοράς μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών αποδόσεων. Η Γεωργία Ακριβείας παρέχει το πλαίσιο μέσα στο οποίο οι διαχειριστές των καλλιεργειών μπορούν με μεγάλη ακρίβεια να κατανοήσουν και στη συνέχεια να ελέγξουν αυτά που συμβαίνουν μέσα στο αγροτεμάχιο (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί πολλοί όροι για την περιγραφή της, με πιο συνηθισμένους τους εξής: Precision Agriculture, Precision Farming, Variable Rate Technology, Variable Rate Management, Prescription Farming, Site-specific Crop Management, Farming by Soil, Grid Soil Sampling Agriculture, Grid Farming, Farming by the Inch, Farming by the Foot, GPS Agriculture, Space Age Agriculture, κ.α. Οι διαφορετικοί αυτοί όροι δίνουν έμφαση και βαρύτητα σε διαφορετικές πτυχές



της ίδιας έννοιας (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Ποικίλοι ορισμοί έχουν διατυπωθεί για την έννοια της ενσωμάτωσης των τεχνολογιών που παρέχουν πληροφορίες με τις αγρονομικές πρακτικές. Οι περισσότεροι επιστήμονες έχουν εστιάσει στη δυνατότητα να ληφθούν τα δεδομένα και να ποικίλουν οι εισροές σε βάση μικρότερης κλίμακας μέσα στο αγροτεμάχιο (Φτάκα, 2006).

Η Γεωργία Ακριβείας θεωρεί τον αγρό σαν ένα μεγάλο αριθμό μικρών χωραφιών. Σε αυτούς τους επιμέρους αγρούς, οι ιδιότητες του εδάφους είναι σταθερές. Έτσι για καθένα από αυτούς θα μπορούσε να ακολουθηθεί διαφορετική πρακτική διαχείρισης. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους γίνεται εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών για κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες (Γέμτος και άλλοι, 2006). Αυτά προϋποθέτουν την ύπαρξη συστημάτων επεξεργασίας και αποθήκευσης ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών. Η εξέλιξη στους υπολογιστές, στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και στην τεχνολογία μεταβαλλόμενης δόσης, συμβάλλει στην εύκολη και γρήγορη αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων (Markinos et al. 2004.).

Σήμερα, η τεχνολογία έχει φτάσει σε ικανοποιητικό επίπεδο ώστε να μας προσφέρει τη δυνατότητα μέτρησης ενός μεγάλου πλήθους παραμέτρων. Η έρευνα έχει εστιαστεί περισσότερο στο συνδυασμό όλων αυτών των παραμέτρων χωρικά και χρονικά και πως όλα αυτά θα καταλήξουν σε εφαρμόσιμες αποφάσεις, και θα αποφέρουν κέρδος στον παραγωγό πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων (Markinos et al. 2004.).

Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής σ' ένα χωράφι, τόσο πιο επιτυχημένη είναι μια διαχείριση με βάση τους κανόνες της Γεωργίας Ακριβείας. Αντίθετα, σ' ένα τελείως ομοιόμορφο χωράφι στην παραγωγή και στις εδαφολογικές παραμέτρους μια τέτοια διαχείριση κρίνεται αναποτελεσματική. Επομένως, βασικό κριτήριο για την εφαρμογή αυτής της διαχείρισης είναι η μεταβλητότητα της παραγωγής και το πως κατανέμεται αυτή στην έκταση του κάθε χωραφιού σε μια ακολουθία ετών (Markinos et al. 2004.).

Γενικά η Γεωργία Ακριβείας στοχεύει στη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας, αύξηση των αποδόσεων, βελτίωση της ποιότητας, στη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα της παραγωγικότητας της καλλιέργειας, αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση των λιπασμάτων, φαρμάκων, σπόρων κλπ., περιορισμός της κατανάλωσης της ενέργειας και στη μέγιστη πιθανή μείωση της

μόλυνσης του περιβάλλοντος (Roberson 2004, Godwin et al, 2003a). Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένας ευρύς όρος για τεχνικές, τεχνολογίες και στρατηγικές διαχείρισης που στοχεύουν στην παραλλακτικότητα των παραμέτρων εντός του χωραφίου που επηρεάζουν την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Αυτές οι παράμετροι μπορεί να περιλαμβάνουν τον τύπο του εδάφους, την οργανική ουσία του εδάφους, τα επίπεδα των θρεπτικών του εδάφους, την τοπογραφία, τη διαθεσιμότητα του νερού, την ύπαρξη ζιζανίων και εντόμων και άλλα (Vardoulis et al., 2006).

Σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία δίνουν τη δυνατότητα στους αγρότες για δράσεις που προηγουμένως δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν, σε επίπεδο λεπτομέρειας που ποτέ πριν δεν ήταν δυνατόν να υπάρξει, και, όταν γίνονται σωστά, σε επίπεδα ποιότητας που ποτέ πριν δεν μπορούσαν να επιτευχθούν

- 1) Διαφοροποίηση στην τοπογραφία ( κίνηση νερού /διάβρωση)
- 2) Διαφοροποίηση στην εδαφική δομή και υφή (Βαρύ / ελαφρύ έδαφος)
- 3) Διαφοροποίηση στην συγκέντρωση οργανικής ουσίας του εδάφους
- 4) Διαφοροποίηση στη εδαφική υγρασία (κρατάει η όχι νερό)
- 5) Διαφοροποίηση στη περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία καθώς και στη διαθεσιμότητα τους
- 6) Διαφοροποίηση στο Ph του εδάφους (Ευαγγέλου και Τσαντίλας, 2012)

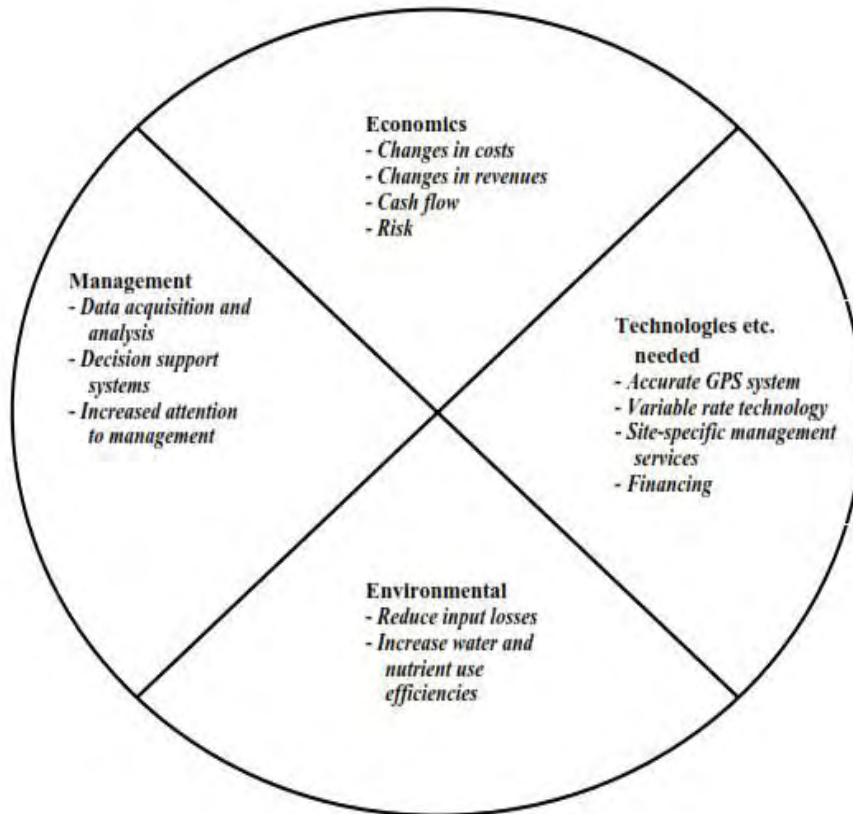
Αγρότες που υπερνικούν τα στοιχεία της φύσης με αυτοματοποιημένα μηχανήματα που ελέγχονται με ακρίβεια μέσω δορυφόρων και τοπικών αισθητήρων και χρησιμοποιούν λογισμικό που προγραμματίζει και προβλέπει ακριβώς την ανάπτυξη της σοδειάς, είναι η εικόνα στην οποία προσβλέπει η Γεωργία Ακριβείας. Αυτή η εικόνα θεωρείται πλέον το μέλλον της γεωργίας (Φτάκα, 2006).

Ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις διαφορετικές φάσεις. Η πρώτη αφορά την απόκτηση δεδομένων μετεωρολογικών, εδαφικών και δεδομένων της καλλιέργειας. Η δεύτερη φάση αφορά την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί. Η τρίτη φάση αφορά την εφαρμογή και την προσαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών σύμφωνα με τα αποτελέσματα (Gemtos et al., 2004). Μια πραγματικά περιεκτική προσέγγιση στη Γεωργία Ακριβείας πρέπει να καλύπτει όλες τις φάσεις παραγωγής από το σχεδιασμό μέχρι τη μετασυλλεκτική μεταχείριση. Οι πληροφορίες, η τεχνολογία, και η διαχείριση συνδυάζονται σε ένα σύστημα παραγωγής που στόχο έχει την αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής, τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, την

αποδοτικότερη χρήση χημικών ουσιών και νερού, τη διατήρηση της ενέργειας, και την προστασία του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

Η επιτυχία της Γεωργίας Ακριβείας στηρίζεται στην έγκαιρη πληροφόρηση του παραγωγού σχετικά με τη γονιμότητα και τις υπόλοιπες ιδιότητες του εδάφους, την πορεία ανάπτυξης και τα χαρακτηριστικά των φυτών, τον πληθυσμό των ζιζανίων και εντόμων, τη συγκομιδή και τη μετασυλλεκτική μεταχείριση των προϊόντων. Στηρίζεται ακόμη στη σύγχρονη τεχνολογία και χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή, στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) και στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS), για τη χαρτογράφηση των αγρών. Στηρίζεται, επίσης, στη σωστή διαχείριση που συνδυάζει την πληροφόρηση με την τεχνολογία για την καλύτερη επιτυχία του συστήματος (Olson 1999, Roberson 2004).

Η Γεωργία Ακριβείας έχει δοκιμαστεί σε πολλές εκτατικές καλλιέργειες και έχει βρεθεί ότι μπορεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων των εδαφών με διαφοροποίηση των εισροών και εφαρμογή τους στη σωστή θέση, ποσότητα και χρόνο. Η παρακολούθηση της απόδοσης και η καταγραφή της παραλλακτικότητας έχει γίνει με επιτυχία στις καλλιέργειες καλαμποκιού, σόγιας, πατάτας, τομάτας, τεύτλων, σταφυλιών. Έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες διαφοροποιημένης εφαρμογής σπόρου, λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και αρδευτικού νερού.



**Εικόνα 2.1.** Σημαντικά θέματα που σχετίζονται με τη Γεωργία Ακριβείας

## 2.2 Εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα

Στη χώρα μας και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο, όπως είναι σύνηθες, παρατηρείται μια καθυστέρηση στην εφαρμογή καινοτομικών συστημάτων στην πράξη και ιδιαίτερα στη γεωργία, ενώ στις ΗΠΑ ο αριθμός κυμαίνεται γύρω στις 28.000. Η καθυστέρηση αυτή αποδίδεται σε πολλούς λόγους, μεταξύ των οποίων ως κυριότεροι θα μπορούσαν να αναφερθούν οι παρακάτω (Παπαγεωργίου και Σπαθής 2000):

1. Το πρόβλημα της ελληνικής γεωργίας με το μεγάλο αριθμό μικρών και πολυτεμαχισμένων εκμεταλλεύσεων που δεν επιτρέπει τη διάδοση και εφαρμογή της τεχνολογικής προόδου που θα συνέβαλε στη βελτίωση του γεωργικού εισοδήματος.
2. Η γεωγραφική διασπορά των παραγωγικών μονάδων και έτσι η δυσκολία στην παροχή γνώσεων και πληροφόρησης από τους αρμόδιους οργανισμούς και υπηρεσίες, γεγονός που παρεμποδίζει τη διάδοση νέων τεχνολογιών.

3. Ο ανθρώπινος παράγων και συγκεκριμένα το χαμηλό επίπεδο εκπαίδευσης των ασχολουμένων στη γεωργία, γεγονός που συντελεί στην καθυστέρηση υιοθέτησης καινοτομιών και εξελίξεων στην τεχνολογία.
4. Η υψηλή μέση ηλικία των αγροτών που έχει ως αποτέλεσμα το μειωμένο ενδιαφέρον για προοπτικές, την περιορισμένη διάθεση αναζήτησης και εφαρμογής νέας τεχνολογίας με συνέπεια την απόρριψη προσπαθειών για εισαγωγή βελτιώσεων κλπ.
5. Η προσκόλληση των παραγωγών στις γνωστές παραδοσιακές τεχνικές παραγωγής με τις οποίες έχουν συνδέσει ένα μεγάλο κομμάτι της ζωής τους, ιδιαίτερα οι πιο ηλικιωμένοι, αλλά και η εξασφάλιση σημαντικού μέρους του εισοδήματός τους μέσω των επιδοτήσεων, συνθήκες που οδηγούν στην απροθυμία για αναζήτηση καινοτόμων ιδεών.
6. Η βραδύτητα ανάπτυξης γενικότερα της τεχνολογίας στη χώρα μας σε σχέση με άλλες χώρες.

Παρ' όλα αυτά έχει ήδη ξεκινήσει τα τελευταία 2-3 χρόνια δειλά- δειλά και στη χώρα μας ο σχετικός προβληματισμός πάνω στο συγκεκριμένο θέμα και σήμερα βρίσκεται σε εξέλιξη η διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού και σιταριού.

Για την Ελλάδα λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων των εδαφών φαίνεται ότι είναι πολλά υποσχόμενη τεχνολογία (Τσαντήλας και Ευαγγέλου). Τα τελευταία χρόνια ολοένα και συχνότερα γίνεται λόγος για την έννοια της Γεωργίας Ακριβείας και μάλιστα ένα σημαντικό κομμάτι έρευνας απασχολείται ενεργά στη διερεύνηση της Γεωργίας Ακριβείας και γενικότερα των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών στη γεωργία. Αναμφίβολα η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί αντικείμενο αιχμής και λαμβάνοντας υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής γεωργίας σε συνδυασμό με την πρόσφατη οικονομική ύφεση της χώρας και την υστέρηση της ανάπτυξης της υπαίθρου κάθε έρευνα που σχετίζεται με την βελτίωση της παραγωγικότητας της ελληνικής γεωργίας αποκτά ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να αντιμετωπίζεται προσεκτικά (Μιχαηλίδης και άλλοι).

Στην Ελλάδα οι Μαρκινός και άλλοι. (2003) εξέτασαν την παραλλακτικότητα της παραγωγής και των ιδιοτήτων του εδάφους για δύο χρόνια σε αγροκτήματα με καλλιέργεια βαμβακιού. Στην εργασία τους συσχετίζουν χάρτες παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας και στοχεύουν στην εύρεση τρόπων εφαρμογής περισσότερο ακριβούς διαχείρισης σε αγροκτήματα βαμβακιού. Με τον ίδιο στόχο

πάλι σε καλλιέργεια βαμβακιού οι Γέμος και άλλοι (2006) έκαναν χαρτογράφηση της παραγωγής για δύο χρόνια, πήραν εδαφικά δείγματα από διαφορετικά βάρη και τα ανέλυσαν για τις χημικές τους ιδιότητες και μετρήθηκε η αντίσταση διείσδυσης του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή για τα αγροκτήματα που μελετήθηκαν καθώς και μη σημαντική συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων που μελετήθηκαν και της παραγωγής. Τέλος η παραγωγή των δύο ετών παρουσίασε σημαντική συσχέτιση, παρά τις διαφορετικές καιρικές συνθήκες.

Μια παρόμοια δουλειά έκαναν οι Fountas et al. (2004) στην Αγγλία για έξι χρόνια αναλύοντας δεδομένα παραγωγής σε αγροκτήματα βαμβακιού, καθώς και στην περιοχή της Καρδίτσας στην Ελλάδα για τρία χρόνια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δε μπορούμε να βασιστούμε ολοκληρωτικά σε ιστορικά δεδομένα παραγωγής για τη διαχείριση των αγροκτημάτων αλλά θα πρέπει να συγκεντρωθούμε περισσότερο στη διαχείριση της παραλλακτικότητας μέσα σε ένα καλλιεργητικό έτος.

Οι Markinos et al. (2004) εγκατέστησαν μια οθόνη παρακολούθησης παραγωγής πάνω σε μια βαμβακοσυλλεκτική έτσι ώστε οι αισθητήρες παραγωγής να υπολογίζουν την ποσότητα ροής του βαμβακιού η οποία μεταβιβάζεται από τις μονάδες συλλογής στα καλάθια μέσω των αεραγωγών. Η μελέτη που διήρκησε για τρία χρόνια σε αγροκτήματα βαμβακιού στην κεντρική Ελλάδα έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή καθώς και στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους.

Με το βαμβάκι και συγκεκριμένα με την ποιότητα της ίνας του βαμβακιού ασχολήθηκαν και οι Gemtos et al. (2005). Συλλέχθηκαν δείγματα σπόρων βαμβακιού σε ένα αγρόκτημα όπου είχαν δημιουργηθεί χάρτες παραγωγής τα τελευταία τρία χρόνια. Τα δείγματα αναλύθηκαν σε μια αυτόματη μηχανή για να εκτιμηθεί η ποιότητα της ίνας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι συσχετίσεις της ποιότητας της ίνας και των ιδιοτήτων του εδάφους ήταν σημαντικές σε πολλές περιπτώσεις.

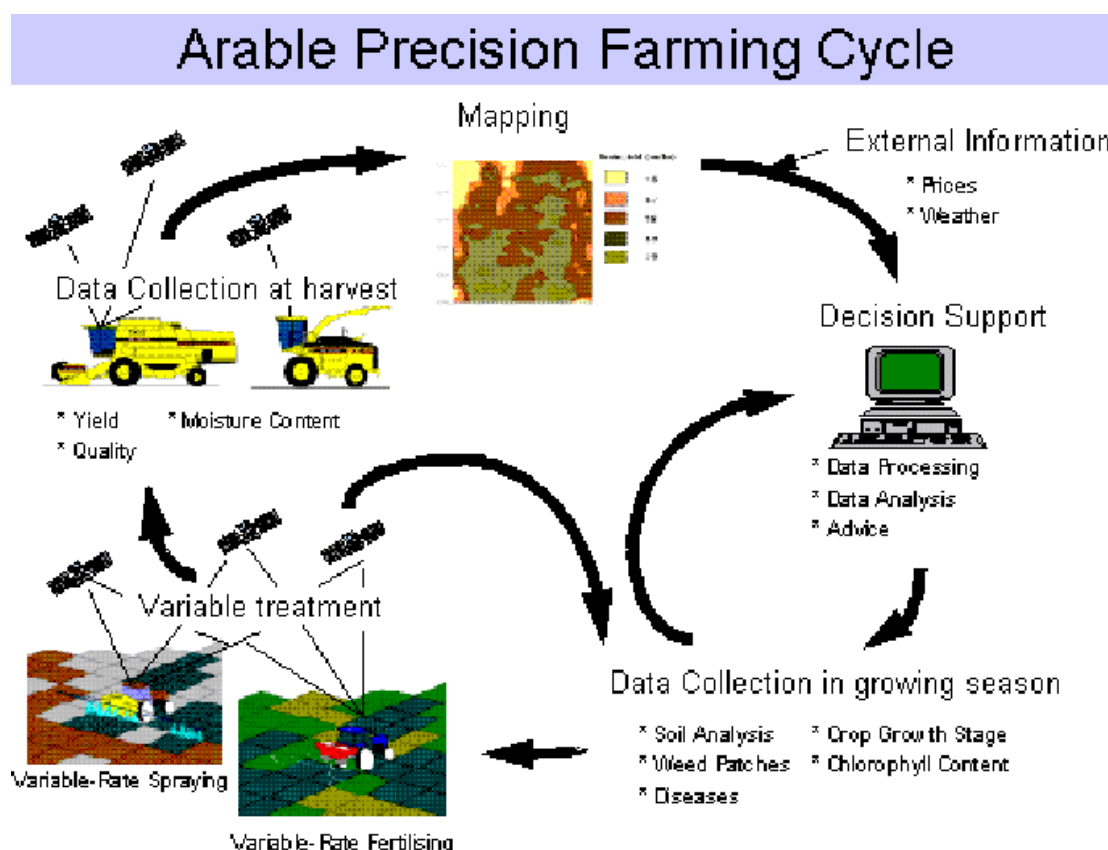
Οι Markinos et al. (2004) ανέπτυξαν ένα μοντέλο ασαφούς λογικής το οποίο αποτελείται από κόμβους οι οποίοι περιγράφουν ιδιότητες του εδάφους και παραγωγή βαμβακιού και από τις σχέσεις μεταξύ αυτών των κόμβων. Τα πρώτα αποτελέσματα της μελέτης ήταν πολλά υποσχόμενα μιας και επιτεύχθηκε 70% ποσοστό επιτυχίας στην πρόβλεψη της παραγωγής για τρία χρόνια.

Στη μελέτη τους οι Gemtos et al. (2005) παρουσίασαν χάρτες τάσεις της παραγωγής τριών διαφορετικών καλλιεργειών, δημητριακών, βαμβακιού και καλαμποκιού στο Ηνωμένο Βασίλειο, την Ελλάδα και την Πορτογαλία αντίστοιχα.

Το κοινό χαρακτηριστικό των καλλιεργειών ήταν ότι ήταν αρδευόμενες. Τα αποτελέσματα από αυτούς τους αγρούς δείχνουν ότι η σημαντική χωρική παραλλακτικότητα που βρέθηκε σε χάρτη παραγωγής μερικώς ακυρώνεται με την πάροδο του χρόνου, αφήνοντας ένα σχετικά ομοιογενές χωρικό χάρτη τάσης, ακόμα και σε αρδευόμενες καλλιέργειες.

### 2.3. Τεχνολογίες για εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας

Για να συλλεχθούν και να χρησιμοποιηθούν οι πληροφορίες αποτελεσματικά, είναι σημαντικό για κάποιον που θέλει να ασχοληθεί με τη Γεωργία Ακριβείας να μάθει τα μοντέρνα τεχνολογικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα. Αυτά τα εργαλεία περιλαμβάνουν εξοπλισμό, λογισμικό και τις καλύτερες πρακτικές διαχείρισης. Αυτές περιγράφονται εν συντομία στις παρακάτω παραγράφους.



Εικόνα 2.2. Κύκλος Γεωργίας Ακριβείας

## 2.3.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

### 2.3.1.1. Ιστορική αναδρομή

Με τον όρο δορυφορικός εντοπισμός θέσης εννοείται ο προσδιορισμός των απολύτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων με την επεξεργασία μετρήσεων προς ή από τεχνητούς δορυφόρους (Παντέλης και άλλοι, 2004).

Το GPS είναι ένα σύστημα πλοήγησης από δορυφόρους. Χρηματοδοτείται και ελέγχεται από το υπουργείο άμυνας των ΗΠΑ. Παρότι το χρησιμοποιούν χιλιάδες άνθρωποι ανά τον κόσμο, το σύστημα σχεδιάστηκε και είναι υπό τον έλεγχο του αμερικανικού στρατού.

Το GPS παραχωρεί ειδικά κωδικοποιημένα σήματα τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν σε ένα δέκτη GPS, δίνοντας τη δυνατότητα στον δέκτη να υπολογίσει: Θέση, ταχύτητα και χρόνο για τον υπολογισμό της θέσης στον τρισδιάστατο χώρο και τη μετατόπιση του χρόνου σε ένα χρονόμετρο του δέκτη χρησιμοποιούνται σήματα από τέσσερις δορυφόρους GPS (Φτάκα, 2006).



**Εικόνα 2.3.** Το δορυφορικό σύστημα GPS



### 2.3.1.2. Εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας

Στη Γεωργία Ακριβείας έχει μεγάλη σημασία η πληροφορία σχετικά με τη θέση ενός οχήματος καθώς κινείται στον αγρό και αυτό είναι δυνατό να γίνει χάρη στο GPS. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας όπως δημιουργία περιγράμματος αγρών, παρακολούθηση καλλιεργειών και σύνδεση με τα σημεία του αγρού, χαρτογράφηση εδάφους, χαρτογράφηση παραγωγής. Με τη χρήση των GPS μπορεί να γίνει διάκριση σε ζώνες διαχείρισης και διαφοροποίησης των εισροών από τους παραγωγούς με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την ελαχιστοποίηση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος. Το GPS για τη Γεωργία Ακριβείας αποθηκεύει τοποθεσίες όπως παραγωγικές περιοχές, όρια καλλιεργειών, δείγμα εδάφους κ.α.

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS, μια συσκευή για αποθήκευση της πληροφορίας (π.χ. ένας φορητός Η/Υ), και λογισμικό για τη δημιουργία και απεικόνιση χαρτών. Ο δέκτης GPS με την κεραία του τοποθετούνται στο όχημα που κινείται στον αγρό (Αγγελοπούλου, 2008).

Εκτός από την καταγραφή της θέσης ενός οχήματος το GPS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στην πλοήγηση και την καθοδήγηση ενός οχήματος στον αγρό. Στην Γεωργία Ακριβείας αυτόματα συστήματα καθοδήγησης (auto guidance) υποστηρίζουν ελκυστήρες, φορητά και αεροπλάνα για να κρατούν τα παραπάνω μεταφορικά μέσα σε παράλληλες διαδρομές στον αγρό χωρίς να αφήνουν κενά ή επικαλύψεις μεταξύ των παράλληλων διαδρομών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να εφαρμοστούν χημικά στο έδαφος και στις καλλιέργειες χωρίς να υπάρχουν κενά που δεν έγινε εφαρμογή του χημικού ή επικαλύψεις που οδηγούν σε υπερεφαρμογή η οποία με τη σειρά της έχει σαν συνέπεια το μεγαλύτερο κόστος, την καταστροφή των καλλιεργειών και τον κίνδυνο ρύπανσης του περιβάλλοντος (Αγγελοπούλου, 2008)

### 2.3.2. Χαρτογράφηση παραγωγής

Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής τα τελευταία έτη δημιούργησαν τη δυνατότητα εφαρμογών διαφοροποιημένων επεμβάσεων μέσα στο ίδιο το αγροτεμάχιο με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Η βελτίωση των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού (GPS: Global Positioning System) και η ανάπτυξη των αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής που προσαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής, έδωσε τη δυνατότητα χαρτογράφησης της παραγωγής. Οι πρώτες εφαρμογές άρχισαν τη δεκαετία του 1980 με χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών (Stafford 2000).

Με τη χαρτογράφηση παραγωγής γίνεται ταυτόχρονη καταγραφή της παραγωγής και της θέσης σε πολλά σημεία του αγρού, έτσι ώστε να διερευνηθεί ποιοί παράγοντες επηρεάζουν την παραγωγή. Οι χάρτες παραγωγής μπορούν να συνδυαστούν με εδαφολογικούς χάρτες και άλλα δεδομένα (μετεωρολογικά, τηλεπισκόπισης κα) έτσι ώστε να αρχίσει η διαδικασία ανάπτυξης ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας (Αγγελοπούλου, 2008).

Η χαρτογράφηση παραγωγής είναι μια από τις πρώτες εργασίες που πρέπει να κάνει ένας παραγωγός που ενδιαφέρεται να εφαρμόσει ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας. Αν η παραγωγή σε έναν αγρό δεν διαφέρει χωρικά και το επίπεδό της είναι ικανοποιητικό δεν υπάρχει κίνητρο να επενδύσει σε τεχνολογία Γεωργίας Ακριβείας. Αντίθετα αν υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή σε ένα αγρό σημαίνει ότι η μέθοδος διαχείρισης που εφαρμόζεται πιθανώς δεν παρέχει τις κατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές σε όλες τις περιοχές του αγρού και σε αυτήν την περίπτωση η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας θα του πρόσφερε σημαντική δυνατότητα βελτίωσης (Αγγελοπούλου, 2008).

### 2.3.3 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)

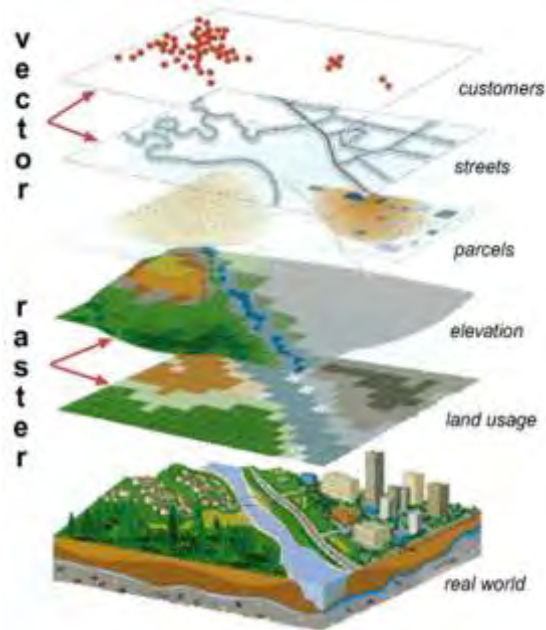
#### 2.3.3.1 Γενικά

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακρίβειας οι διάφορες πληροφορίες που αφορούν στον αγρό, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς οι οποίοι περιγράφουν μετρήσεις κάποιων παραμέτρων, επιτόπιες παρατηρήσεις, εφαρμογή κάποιας εισροής με διαφοροποιούμενη δόση κλπ. Οι πληροφορίες αυτές με τη βοήθεια του GPS, συνοδεύονται με το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού όπου αναφέρονται. Κατά τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών μεγάλης ακρίβειας, ο όγκος των πληροφοριών είναι τεράστιος, έτσι ώστε η χρήση κάποιου λογισμικού για την επεξεργασία τους, είναι απαραίτητη (Αγγελοπούλου, 2008).

Το ΓΣΠ είναι μια οργανωμένη συλλογή από υπολογιστές, λογισμικό, γεωγραφικά δεδομένα, σχεδιασμένη να λαμβάνει, αποθηκεύει, ενημερώνει, διαχειρίζεται, αναλύει και παρουσιάζει όλα τα είδη της πληροφορίας του γεωγραφικού χώρου (Φτάκα, 2006).

Μεταξύ των σημαντικότερων ρόλων για το GIS είναι η λειτουργία βάσεων δεδομένων για την τήρηση αρχείων και για τη σύγκριση των διαχειριστικών αποφάσεων, των παραγωγών, της δραστηριότητας παρασίτων, της ποιότητας των υπόγειων νερών, και άλλων ανησυχιών σχετικών με τις προηγούμενες και τρέχουσες πρακτικές. Το GIS μπορεί να αποθηκεύσει τα αγροτικά αρχεία των εισροών και των αποτελεσμάτων τους σε μια χωρική σειρά (Φτάκα, 2006).

Με τη συστηματική συλλογή δεδομένων δημιουργείται ένας αριθμός χαρτών (Εικόνα 2.4), που απεικονίζουν τη μεταβολή διαφόρων παραμέτρων του αγρού ή της καλλιέργειας. Οι χάρτες που ονομάζονται θεματικοί χάρτες, 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 (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Η ανάλυση των παραπάνω δεδομένων οδηγεί στην εξεύρεση των εντοπισμένων παραγόντων περιοριστικών της παραγωγής και με βάση τα στοιχεία αυτά γίνεται προσπάθεια διόρθωσης τους. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί π.χ. με μια εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητή δόση.



**Εικόνα 2.4.** Ένα σύστημα GIS μπορεί να απεικονίσει και να αναλύσει δεδομένα σε πολλά επίπεδα στον ίδιο αγρό.

### 2.3.3.2 Χρήση GIS για Γεωργία Ακριβείας

Για έναν αγρό μπορούν να προστεθούν διάφορες πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) που στη συνέχεια συνδυάζονται και λαμβάνονται αποφάσεις για τον ορθότερο τρόπο διαχείρισης του αγρού. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι εξής:

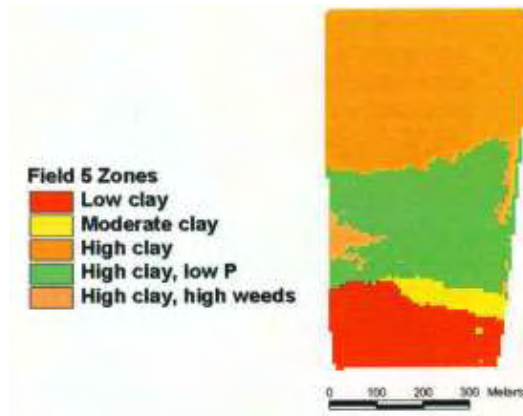
- Περίγραμμα του αγρού
- Χάρτης εδαφικών τύπων
- Σημεία δειγματοληψίας
- Χάρτες θρεπτικών στοιχείων
- Πληθυσμός ζιζανίων
- Χάρτης στράγγισης
- Χάρτης παραγωγής

### 2.3.4. Ζώνες διαχείρισης (Management Zones)

Ο κύριος σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας είναι η εύρεση ζωνών διαχείρισης (management zones) εντός του αγροτεμαχίου, που χαρακτηρίζονται από κοινά εδαφολογικά ή αγρονομικά χαρακτηριστικά (Blackmore et al, 2003). Ζώνη διαχείρισης είναι η περιοχή στην οποία εκφράζεται ένας σχετικά ομογενής συνδυασμός περιοριστικών παραγόντων ως προς την παραγωγή, ενώ παράλληλα απαιτεί έναν σταθερό ρυθμό εφαρμογής κάποιου αγροεφοδίου (Markinos et al. 2004,). Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων αποτελεί τη βάση εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας. Εκτός των χαρτών παραγωγής που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται αναλύσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, εικόνες από τον αέρα (αεροπλάνα ή δορυφόρους) και διάφορα μηχανήματα που μπορούν να χαρτογραφήσουν άμεσα ιδιότητες του αγρού (Γέμτος και άλλοι, 2006).

Πρόσφατες έρευνες στη Γεωργία Ακριβείας έχουν δείξει ότι ο διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες, ανάλογα με τις ιδιότητές του, συμβάλλει στην εξοικονόμηση νερού και λιπάσματος. Αρχικά, κάθε αγρός ελέγχεται για μια ιδιότητά του. Κάθε τμήμα που εμφανίζει διαφορετικές τιμές για τη συγκεκριμένη ιδιότητα (υψηλή, μέση ή χαμηλή τιμή) ορίζει μια ξεχωριστή διαχειριστική ζώνη. Από εκεί, και πέρα ο παραγωγός οφείλει να καλλιεργήσει κάθε ζώνη ανεξάρτητα, ανάλογα με τις απαιτήσεις που αυτή παρουσιάζει σε λίπανση και άρδευση (Σταματιάδης 2011).

Επιλέγοντας τις διαχειριστικές ζώνες ως μέθοδο καλλιέργειας, ο παραγωγός κατορθώνει να εφαρμόσει στον αγρό ακριβώς την ποσότητα λιπάσματος και τον όγκο νερού που απαιτείται (κάποιες ζώνες χρειάζονται μικρότερες ποσότητες και κάποιες άλλες μεγαλύτερες) και έτσι καταφέρνει να μειώσει τις ποσότητες λιπάσματος και νερού και κατ' επέκταση το κόστος παραγωγής. Ένας τρόπος για να διαχωριστούν οι διαχειριστικές ζώνες είναι η χρήση της τηλεπισκόπησης (αερο-φωτογραφίες, εικόνες του φυλλώματος και χάρτες απόδοσης της καλλιέργειας). Η επιλογή της προτιμάται γιατί δε διαταράσσει την καλλιέργεια, είναι επιστημονικά έγκυρη και εμφανίζει χαμηλό κόστος (Σταματιάδης, 2011).



**Εικόνα 2.5.** Διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες διαχείρισης

### 2.3.5. Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application)

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων, μας δίνει τη δυνατότητα για καλλιεργητικές επεμβάσεις με μεταβαλλόμενες δόσεις (variable rate applications). Ο αγρότης μπορεί να χρησιμοποιήσει την τεχνολογία της εφαρμογής μεταβαλλόμενης δόσης (VRA) για να παραλλάξει τις εισροές σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει στη βελτιστοποίηση των εισροών, των παραγωγών και της ποιότητας των προϊόντων οδηγώντας σε καλύτερα οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα για τους αγρούς και για τη γεωργία γενικότερα. Αυτή η δυνατότητα είναι και ο απώτερος σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας, δηλαδή η εφαρμογή διαφορετικών καλλιεργητικών φροντίδων για κάθε τμήμα του αγρού, ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες. Αυτές οι εφαρμογές επιφέρουν εξοικονόμηση πόρων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων για τον παραγωγό, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος από την αλόγιστη χρήση των εισροών (Gemtos et al., 2002).

Τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών 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.

Η τεχνολογία συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών, που είναι βασισμένη σε χάρτες υιοθετείται για τη λίπανση με φώσφορο, κάλιο και ασβέστιο από εναέρια μέσα. Οι μέθοδοι της παραπάνω τεχνολογίας είναι ευρέως διαθέσιμες για τα αγροτικά τρακτέρ που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή υγρών λιπασμάτων, άνυδρης αμμωνίας, ζιζανιοκτόνων, και για σπορά καθώς επίσης είναι διαθέσιμες για τα συστήματα άρδευσης κεντρικού άξονα (Φτάκα, 2006). Επιπλέον, συστήματα διαφοροποίησης εφαρμογής αρδευτικού νερού έχουν δώσει πολύ θετικά αποτελέσματα στην καλύτερη αξιοποίηση και οικονομία του αρδευτικού νερού (Al-Kufaishi, et al., 2005).

### **2.3.6. Παρακολούθηση καλλιέργειας**

Η παρακολούθηση της κατάστασης της καλλιέργειας σε κάθε καλλιεργητική περίοδο μπορεί να περιλαμβάνει: παρακολούθηση ζιζανίων (τύπος και πυκνότητα), μόλυνση από έντομα και μύκητες (είδη και πυκνότητα), κατάσταση θρεπτικών της καλλιέργειας, πλημμυρισμένες ή διαβρωμένες περιοχές χρησιμοποιώντας ένα GPS. Αυτές οι παρατηρήσεις μπορεί να είναι αργότερα χρήσιμες που θα εξηγήσουμε τις μεταβλητές στους χάρτες παραγωγής.

#### **2.3.6.1. Γενικά**

Οι τεχνολογίες, που κάνουν εφικτή τη Γεωργία Ακριβείας στις ημέρες μας, περιλαμβάνουν την ανάπτυξη αισθητήρων, αυτοματισμών και τεχνολογιών τηλεπισκόπησης.

#### **Αισθητήρες**

Η Γεωργία Ακριβείας στους οπωρώνες θεωρεί το δέντρο σα μια ξεχωριστή μονάδα παραγωγής. Σε μια τέτοια προσέγγιση, απαιτείται η τεχνολογία των αισθητήρων για να παρέχουν πληροφορίες για την κατάσταση του κάθε δέντρου, όσον αφορά τα θρεπτικά στοιχεία, την υδατική κατάσταση, το φορτίο καρπών και την παραγωγή.

Στις μέρες μας υπάρχει μεγάλη πληθώρα διαφόρων τύπων αισθητήρων. Η ανάπτυξη της ασύρματης τεχνολογίας επιτρέπει την καταγραφή σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων. Οι κύριες κατηγορίες αισθητήρων είναι οι εξής (Zhang, Wang et al., 2002):

1. Αισθητήρες σοδειάς.
2. Αισθητήρες αγρού (GPS)
3. Αισθητήρες εδάφους
4. Αισθητήρες φυτών.
5. Αισθητήρες ζιζανίων ή προσβολών

Με την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην αμπελουργία ασχολήθηκαν οι Bruno Tisseyre και James Taylor, (2005). Στη μελέτη τους παρουσιάζουν συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο τα οποία είναι ή σύντομα θα γίνουν εμπορικά διαθέσιμα. Θα εστιάσουν στη γεωτοποθέτηση η οποία είναι η βάση της χαρτογράφησης της χωρικής παραλλακτικότητας. Επίσης, η μελέτη τους θα παρουσιάσει αισθητήρες οι οποίοι χαρακτηρίζουν τη χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους και της συγκομιδής. Τέλος έγινε μια σύντομη περίληψη των εργαλείων και των μεθόδων της Γεωργίας Ακριβείας που μπορούν να εφαρμοστούν για να βελτιωθεί το σύστημα παραγωγής.

## **Αυτοματισμοί**

Για να επιτευχθεί ο αυτόματος έλεγχος, χρειάζονται διάφορα μηχανήματα. Πρώτα από όλα χρειάζονται διανομείς χημικών (λιπάσματα και φυτοφάρμακα). Χρειάζεται επίσης η εφαρμογή συστημάτων αυτόματης καθοδήγησης, ώστε να είναι γνωστή η θέση του ελκυστήρα ή του μηχανήματος στον αγρό με ακρίβεια. Επίσης, προτείνεται η χρήση αυτόματων ρομποτικών συλλεκτών της σοδειάς (Τσελές και Κυριακαράκος, 2011).

Οι Tellaeché et al. (2007) στη μελέτη τους περιγράφουν ένα αυτόματο σύστημα όρασης για την ανίχνευση και το διαφοροποιούμενο ψεκασμό ενός βλαβερού ζιζανίου το οποίο αναπτύσσεται σε καλλιέργειες δημητριακών. Το προτεινόμενο σύστημα περιλαμβάνει δύο διαδικασίες: διαχωρισμό της εικόνας και λήψη αποφάσεων.



Στον τομέα των αυτοματισμών και συγκεκριμένα στις ρομποτικές εφαρμογές, όπου ένα ρομπότ είναι εξοπλισμένο με σύστημα εικόνας, δούλεψαν οι Guijarro et al., (2010). Οι πιο κοινές διαδικασίες επεξεργασίας εικόνων απαιτούν την αναγνώριση των πράσινων φυτών, όπως για τους Guijarro et al. την αναγνώριση καλλιέργειας κριθαριού και καλαμποκιού στις οποίες αναπτύσσονται ζιζάνια. Επίσης, η αναγνώριση της υφής του εδάφους και του ουρανού μπορεί να είναι χρήσιμη. Αυτή η μελέτη προτείνει μια νέα αυτόματη προσέγγιση για το διαχωρισμό αυτών των τριών τύπων: των πράσινων φυτών, του εδάφους και του ουρανού.

Οι Heisel και Christensen (1998) δημιούργησαν ένα σύστημα, που αποτελείται από κάμερα και λογισμικό, για την αυτόματη ανίχνευση ζιζανίων. Αποδείχθηκε, ότι ο ψεκασμός ζιζανιοκτόνου εντός των γραμμών, σε σχέση με τον ψεκασμό πάνω από τις γραμμές των φυτών, μειώνει σημαντικά την ποσότητα εφαρμογής ζιζανιοκτόνου.

## **Τεχνολογίες τηλεπισκόπησης**

Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται σαν: Η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία που χρησιμοποιεί εικόνες για να πάρει από μακριά αξιόπιστη μετρική ή ποιοτική πληροφορία (Φτάκα, 2006).

Πιο λεπτομερής ορισμός διατυπώνεται στο Manual of Photogrammetry της American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) (4η έκδοση 1980): "Η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία που παίρνουμε αξιόπιστη πληροφορία για φυσικά αντικείμενα και το περιβάλλον μέσω μιας διαδικασίας που καταγράφει, μετρά και ερμηνεύει εικόνες και πρότυπα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και άλλα φαινόμενα" (Φτάκα, 2006).

Η Διεθνής Φωτογραμμετρική Εταιρεία (ISPRS) διατυπώνει επίσης ανάλογο ορισμό: "Η τέχνη, η επιστήμη και τεχνολογία για τη συλλογή αξιόπιστης πληροφορίας (χάρτες, διαγράμματα) για φυσικά αντικείμενα (έδαφος, κτίρια, αρχαιολογικούς χώρους, φυσικά διαθέσιμα κ.λπ.) με χρήση φωτογραφίας ή με άλλους δέκτες, ειδικότερα δε εκείνους που λειτουργούν από αεροπλάνα και διαστημόπλοια (Φτάκα, 2006).

Παραδοσιακές μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή πληροφοριών γύρω από την καλλιέργεια είναι ακριβές, χρονοβόρες και αναξιόπιστες

για μεγάλες περιοχές. Πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης/χρήσης γης, αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθός τους (Μαρκογιάννη, Β., 2010). Η Τηλεπισκόπηση μας έχει διευκολύνει να κατανοήσουμε το περιβάλλον και τις πολλές του διεργασίες γύρω από ένα ευρύ φάσμα χωρικής και χρονικής κλίμακας. Η Γεωργία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τομείς ο οποίος χρησιμοποιεί δεδομένα παρατήρησης της γης (Earth Observation data), όπου άλλες πηγές δεδομένων είναι πολύ ακριβές. Η κλίμακα των προϊόντων ποικίλει, αλλά τυπικές εφαρμογές αφορούν στην αναγνώριση και απογραφή της καλλιέργειας, στην πρόβλεψη της παραγωγής, στην παρακολούθηση της κατάστασης της καλλιέργειας και στην εκτίμηση της ζημιάς της καλλιέργειας (Toulios et al, 2005).

Δορυφορικές φωτογραφίες με διάφορα φίλτρα μπορούν να δώσουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες, από την αναγνώριση ζιζανίων και προσβολών, μέχρι την πρόβλεψη της ανάγκης σε λίπανση. Επίσης, έχει αρχίσει να επεκτείνεται η χρήση μη επανδρωμένων τηλεκατευθυνόμενων αεροπλάνων και ελικοπτέρων για τη λήψη εικόνων πάνω από την καλλιέργεια (Τσελές και Κυριακαράκος, 2011).

Εικόνες από δορυφόρους και αεροφωτογραφίες επιτρέπουν στο γεωργό να δει τις καλλιέργειές του γρήγορα σε ολόκληρο τον αγρό του και να αποφασίσει ποιες περιοχές χρειάζονται περισσότερη διαχείριση χωρίς να αφήσει την άνεση του σπιτιού του (Manakos et al., 2000). Μια σειρά από εικόνες Τηλεπισκόπησης σταδιακά μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας και χωρική παραλλακτικότητα εντός των χωραφιών (Sonka et al., 1997). Οι εικόνες Τηλεπισκόπησης παρέχουν μία οπτική μέθοδο για την παρακολούθηση των επιδράσεων των εισροών διαχείρισης όπως τα λιπάσματα (Casady και Palm, 2002). Σε αντίθεση με τους χάρτες παραγωγής, οι οποίοι επηρεάζουν μόνο μελλοντικές αποφάσεις, οι εικόνες τηλεπισκόπησης μπορούν να συλλεχθούν πολλές φορές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να επιτρέψουν τη λήψη έγκαιρων αποφάσεων διαχείρισης για να διορθώσουν προβλήματα ή ατέλειες στην τωρινή καλλιέργεια.

Η ακριβής διαχείριση των καλλιεργειών απαιτεί χωρικές πληροφορίες για την κατάσταση της καλλιέργειας, παραγωγικότητα της βιομάζας και της παραγωγής σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης εντός και μεταξύ των περιόδων. Η Τηλεπισκόπηση παρέχει εκτίμηση της παραλλακτικότητας σε βιοφυσικά χαρακτηριστικά και στην

παραγωγή καλλιεργειών τα οποία μπορεί να συνδέονται με μοντέλα για την καλλιέργεια για εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας. Τα πολυφασματικά και υπερφασματικά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν σε ποσοτικούς και ποιοτικούς χάρτες δείχνοντας την παραλλακτικότητα για απευθείας εφαρμογή (Moran et al, 1995; Johannsen et al, 1998).

Οι Guo et al. 2012 ασχολήθηκαν με την Τηλεπισκόπηση και συγκεκριμένα με τη χαρτογράφηση της κατάστασης καλλιεργειών από αέρος με τη βοήθεια ενός τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. Για να επιτύχουν τους στόχους τους χρησιμοποίησαν ένα τηλεκατευθυνόμενο μικρο-ελικόπτερο στο οποίο έχει τοποθετηθεί μια πολυφασματική κάμερα για τη λήψη αεροφωτογραφιών.

Ο κύριος στόχος της μελέτης των Panda et al.(2010) ήταν να διεξάγουν ένα αναλυτικό άρθρο των προηγμένων τεχνολογιών, συμπεριλαμβάνοντας γεωχωρικές τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διαχείριση καλλιεργειών με φρούτα και ξηρούς καρπούς. Το άρθρο εξερευνά ποικίλα δεδομένα Τηλεπισκόπησης από διαφορετικές πλατφόρμες όπως δορυφόρο, LIDAR, εναέριες και φωτογραφίες στον αγρό. Η μελέτη επίσης εξερευνά, άλλες γεωχωρικές τεχνολογίες όπως GPS, GIS, εξελιγμένες τεχνικές επεξεργασίας εικόνων.

Στη μελέτη των Schellberg et al. (2008) συζητήθηκαν οι τωρινές εξελίξεις και οι μελλοντικές προοπτικές στην επεξεργασία ψηφιακών εικόνων, στην Τηλεπισκόπηση, στη μέτρηση της παραγωγής και στη διαχείριση βοσκοτόπων.

Με τη Γεωργία Ακριβείας και συγκεκριμένα με την παρακολούθηση του εδάφους και των φυτών ασχολήθηκαν οι Hellebrand και Umeda. Η Γεωργία Ακριβείας απαιτεί γρήγορες και χαμηλού κόστους τεχνικές μετρήσεων. Η ετερογένεια μπορεί να προέλθει από εκτίμηση εναέριων εικόνων όπως και από απευθείας μεθόδους όπως χαρτογράφηση του εδάφους, παρακολούθηση της συγκομιδής ή διαφορετικών ειδών μετρήσεις κατανομής βιομάζας. Η απεικόνιση της καλλιέργειας στο ορατό, το εγγύς υπέρυθρο και το μέσο υπέρυθρο δίνουν τη δυνατότητα για γρήγορη έρευνα της καλλιέργειας.

Οι Richard et al. (1998) χρησιμοποίησαν ως αντικείμενα μελέτης το υδατικό στρες, τα χαρακτηριστικά των φυτών και τις αποδόσεις για να δείξουν: με ποιο τρόπο η Τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη λήψη αποφάσεων, σε ποιο βαθμό ο δείκτης βλάστησης NDVI (ο οποίος είναι ένα μέτρο της ποσότητας και της υγείας της βλάστησης) είναι ανεξάρτητος από τις συνθήκες της τοποθεσίας, πώς επιδρά η παραλλακτικότητα των εικόνων στα αποτελέσματα. Απέδειξαν ότι σε πολύ ετερογενή

χωράφια, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μαζί με στοιχεία από GPS, μπορούν να προσδιορίσουν τις επιδράσεις της ετερογένειας στις οικονομικές αποδόσεις.

## **Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι σημαντική γιατί αποτελεί την αφετηρία σχηματισμού εικόνων για όλες σχεδόν τις εφαρμογές της φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης. Άλλες πηγές που χρησιμοποιούνται σε μικρότερο βαθμό για το σχηματισμό εικόνων είναι οι υπέρηχοι, το μαγνητικό πεδίο, το πεδίο βαρύτητας κ.λπ. Υπάρχει πάντοτε μια ραδιομετρική πηγή που εκπέμπει ενέργεια (π.χ. ο ήλιος), η οποία συνήθως μεταδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας μέχρις ότου συναντήσει κάποιο αντικείμενο ή στόχο. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συναντήσει το στόχο τότε ένα μέρος της απορροφάται και το υπόλοιπο μέρος της ανακλάται από το στόχο. Το μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από το στόχο ταξιδεύει συνήθως μέσω της ατμόσφαιρας μέχρι να φτάσει στο δέκτη, ο οποίος διαθέτει σύστημα ανίχνευσης και σύστημα καταγραφής ώστε να δημιουργηθεί η εικόνα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της διαδρομής της από την πηγή προς το στόχο και από το στόχο προς το δέκτη υφίσταται ορισμένες μεταβολές και αλλοιώσεις οι οποίες συνήθως για την ατμόσφαιρα είναι διάχυση, ανάκλαση και διάθλαση (Φτάκα, 2006).

## **Μηχανική Όραση**

Η μηχανική όραση βασίζεται σε ψηφιακές φωτογραφίες και προσπαθεί να μιμηθεί την ανθρώπινη αντίληψη. Η πιο κοινή εφαρμογή της βασίζεται σε αισθητήρες πυριτίου (CCD ή CMOS παράταξης) που είναι ευαίσθητοι σε φάσμα 400-1000 nm. Η μηχανική όραση είναι περισσότερο διαδεδομένη για τη χαμηλή της τιμή και για τις πολλαπλές πληροφορίες που περιέχονται στις χρωματιστές εικόνες. Η μηχανική όραση περιέχει τρία ευρέα φασματικά κανάλια (περίπου 150 nm FWHM), που συγκεντρώνονται στα τρία βασικά χρώματα, κόκκινο (~600nm), πράσινο (~550nm) και μπλε (~450nm). Οι κύριες περιοχές της Γεωργίας Ακριβείας που έχει αναπτυχθεί η μηχανική όραση περιλαμβάνουν ανίχνευση ζιζανίων, ανίχνευση γραμμών για

αυτόνομη πλοήγηση και ανίχνευση καρπών για εκτίμηση της παραγωγής ή ρομποτική συγκομιδή.

Κάποιοι από τους καρπούς έχουν έντονες διαφορές στο χρώμα από το φύλλωμα και τους κάνει περισσότερο ευδιάκριτους (για παράδειγμα ώριμα πορτοκάλια, κόκκινα μήλα) και άλλοι έχουν χρώμα παρόμοιο με αυτό της κόμης των δέντρων, κάνοντάς τους πιο δύσκολο να ανιχνευτούν (για παράδειγμα ανώριμα πορτοκάλια και πράσινα μήλα). Η μηχανική όραση έχει φανεί χρήσιμη στην ανίχνευση μήλων Fuji πάνω στο φύλλωμα των δέντρων όταν η χρωματική αντίθεση είναι υψηλή (Bulanon et al., 2002). Οι πολυφασματικές εικόνες απέδειξαν τη δυνατότητά τους να ανιχνεύουν ανώριμα πράσινα πορτοκάλια (Kane και Lee, 2007). Οι υπερφασματικές εικόνες επίσης απέδειξαν ότι έχουν καλή ικανότητα να ανιχνεύουν τα πράσινα μήλα στο φύλλωμα του δέντρου (Safren et al., 2007).

Οι R. H. Veltman et al., 2000 για να καταλάβουν και να προβλέψουν της ανάπτυξη της καφέ κηλίδωσης στα αχλάδια χρησιμοποίησαν επίσης την ανάλυση εικόνων. Από τις εικόνες μετρήθηκε η συνολική περιοχή και το ποσοστό της καφέ περιοχής. Κατά τη διαδικασία ταξινόμησης τα καφέ αχλάδια ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κλάσεις: καθόλου καφέτιασμα (0), ελαφρύ καφέτιασμα (1), μέτριο καφέτιασμα (2) και σοβαρό καφέτιασμα (3).

Οι J. Marsal et al., στην προσπάθειά τους να εκτιμήσουν την ανάπτυξη των καρπών αχλαδιάς κάτω από ρυθμισμένο έλλειμμα άρδευσης χρησιμοποίησαν ένα σύστημα ανάλυσης εικόνων για να κάνουν τις ανατομικές μετρήσεις του καρπού.

Οι M. Policarpo et al., ασχολήθηκαν με την παραγωγικότητα και βλάστηση αχλαδιών “Conference” και “Williams” τα οποία φυτεύτηκαν με διαφορετικά διαστήματα μεταξύ των γραμμών. Σε αυτή την περίπτωση η ανάλυση ψηφιακών εικόνων χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσει την ανάπτυξη και τη διαμόρφωση της κόμης.

Οι Frank Kappel και Gerry H. Neilsen χρησιμοποίησαν ημισφαιρικές φωτογραφίες για να μετρήσουν το μικροκλίμα όσον αφορά το φως μέσα στις κόμης αχλαδιών “Bartlett” και “Anjou”. Ο στόχος της μελέτης τους ήταν να προσδιορίσουν τη σχέση ανάμεσα στο μικροκλίμα όσον αφορά το φως και στο μέγεθος και την ποιότητα του καρπού.

Η μελέτη των P. Paz et al., στόχευε στη στιγμιαία ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση αχλαδιών κατά τη διάρκεια της μετασυλλεκτικής αποθήκευσης, χρησιμοποιώντας φασματοσκοπία κοντά στην υπέρυθρη.

Το υδρόφυτο *Zostera marina* είναι μια ακόμα καλλιέργεια στην οποία χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση φωτογραφιών. Οι Boese et al., ανέπτυξαν μια μέθοδο χρησιμοποιώντας ψηφιακές φωτογραφίες φύλλων *Zostera marina* οι οποίες μετά επεξεργάστηκαν για να εκτιμηθεί ο βαθμός της κάκωσης των φύλλων.

Σε καλλιέργεια αγγουριού οι Zou Xiaobo et al., χρησιμοποίησαν ένα υπερφασματικό σύστημα στην περιοχή του ορατού (VIS) και στην περιοχή κοντά στο υπέρυθρο (SNIR), για να μελετήσουν την αποδοτικότητα της χρήσης υπερφασματικών εικόνων για να εκτιμήσουν το περιεχόμενο χλωροφύλλης στα φύλλα.

### **Ερμηνεία ψηφιακών εικόνων**

Οι ψηφιακές εικόνες επεξεργάζονται με τη χρήση λογισμικού ώστε να δημιουργηθούν καλής ποιότητας εικόνες στην οθόνη του Η/Υ, για την ερμηνεία της εικόνας.

Η ερμηνεία της εικόνας βασίζεται στη δημιουργία μιας ενισχυμένης εικόνας καλής ποιότητας και η απόσπαση της πληροφορίας γίνεται άμεσα από το ανθρώπινο μάτι ή καλύτερα το μηχανισμό μάτι-μυαλό. Ο ερμηνευτής της εικόνας παρατηρεί μια απλή εικόνα ή μια στέρεο εικόνα και ανάλογα με την εμπειρία και εκπαίδευση που έχει αναγνωρίζει τα διάφορα χαρακτηριστικά της εικόνας χαράζοντας πολύγωνα που οριοθετούν εκτατικά χαρακτηριστικά π.χ. Κάλυψη γης, αγροτεμάχια, ή χαράζοντας γραμμές που ακολουθούν γραμμικά χαρακτηριστικά π.χ. Δρόμους, ποτάμια, κ.λπ.

Η φωτοερμηνεία χρησιμοποιεί είτε αεροφωτογραφίες, εκτυπώσεις ψηφιακών εικόνων κ.λπ. είτε ψηφιακές εικόνες σε οθόνη Η/Υ. Η ενίσχυση της εικόνας αυξάνει την αντίθεση ανάμεσα στο προς αναγνώριση αντικείμενο και το φόντο που το περιβάλλει. Αύξηση της αντίθεσης έχουμε επίσης όταν αλλάζουμε τα χρώματα ώστε η ψευδόχρωμη εικόνα που δημιουργείται να παρουσιάζει αντίθεση χρωμάτων ανάμεσα στο προς αναγνώριση αντικείμενο και το φόντο.

Κλασική είναι η ψευδόχρωμη υπέρυθρη εικόνα η οποία χρησιμοποιεί τα κανάλια: πράσινο, κόκκινο και κοντινό υπέρυθρο, με τα αντίστοιχα χρώματα: μπλε, πράσινο, κόκκινο. Η εικόνα αυτή έχει σαν αποτέλεσμα να δείχνει τη βλάστηση κόκκινη και το νερό μαύρο (Φτάκα, 2006).

Στη Γερμανία οι Sokefeld et al. (2012) έκαναν δύο προσπάθειες για τον έλεγχο ζιζανίων σε καλλιέργειες σιταριού και καλαμποκιού. Για την απόκτηση εικόνων τοποθετήθηκαν βιο-φασματικές κάμερες σε ένα όχημα. Αυτές οι κάμερες είναι ικανές να παίρνουν εικόνες αγνοώντας το έδαφος, το λίπασμα και τις πέτρες. Οι εικόνες και τα δεδομένα από το GPS αποθηκεύονταν επί τόπου. Έπειτα οι εικόνες αναλύονταν από ένα λογισμικό αναγνώρισης ζιζανίων.

Με τον ίδιο τομέα της ανίχνευσης ζιζανίων σε καλλιέργεια καλαμποκιού ασχολήθηκαν οι Burgos-Artizzu et al. (2010). Η μελέτη τους παρουσιάζει ένα σύστημα όρασης το οποίο επιτυχώς ξεχωρίζει σε πραγματικό χρόνο τα κομμάτια γης με τα ζιζάνια από τις γραμμές της καλλιέργειας κάτω από μη ελεγχόμενο φωτισμό. Το σύστημα αποτελείται από δύο ανεξάρτητα υποσυστήματα, ένα γρήγορο υποσύστημα επεξεργασίας εικόνων το οποίο διανέμει αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο, και ένα πιο αγρό και ακριβές υποσύστημα επεξεργασίας εικόνων το οποίο χρησιμοποιείται για να διορθώνει τα λάθη του πρώτου υποσυστήματος.

Στον Καναδά, οι Yang et al. (2000) παρουσίασαν τα αρχικά στάδια της ανάπτυξης ενός συστήματος λήψης και επεξεργασίας εικόνων για την ανίχνευση ζιζανίων καθώς επίσης και ένα σύστημα λήψης αποφάσεων που βασίζεται στην ασαφή λογική με στόχο να αποφασίσουν που και πόσο ζιζανιοκτόνο να εφαρμόσουν σε έναν αγρό. Στο στάδιο της επεξεργασίας εικόνων, αναγνωρίστηκαν τα πράσινα αντικείμενα σε κάθε εικόνα χρησιμοποιώντας μια μέθοδο αναγνώρισης πρασίνου η οποία συνέκρινε την ένταση του χρώματος του κόκκινου, του πράσινου και του μπλε (RGB).

Οι Perez et al. (2000) ασχολήθηκαν με τη λήψη εικόνων κοντά στο έδαφος και με τεχνικές επεξεργασίας με σκοπό την ανίχνευση ζιζανίων σε καλλιέργεια δημητριακών κάτω από πραγματικές συνθήκες. Οι προτεινόμενες μέθοδοι χρησιμοποιούν πληροφορίες χρωμάτων για να ξεχωρίσουν τη βλάστηση και το φόντο, ενώ τεχνικές ανάλυσης του σχήματος εφαρμόστηκαν για να ξεχωρίσουν η καλλιέργεια από τα ζιζάνια.

Με την αντιμετώπιση ζιζανίων με τη βοήθεια της ανάλυσης εικόνων με στόχο την αύξηση της παραγωγής ζαχαρότευτλων με ακριβές αυτόματο ψεκασμό ζιζανίων ασχολήθηκαν και οι Rees et al. οι οποίοι ανέπτυξαν ένα ακριβές σύστημα εικόνων το οποίο μπορούσε να ενσωματωθεί με συστήματα ψεκασμού για να στοχεύσουν ζιζάνια τα οποία ελέγχονται δύσκολα.

Με τη διάγνωση και τον υπολογισμό των απωλειών λόγω μυκητολογικής ασθένειας σε καλλιέργεια ρυζιού ασχολήθηκαν οι Verma et al. (2011). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποίησαν ψηφιακές εικόνες της καλλιέργειας ρυζιού, οι οποίες επιπλέον αναλύθηκαν και μετά ταξινομήθηκαν χρησιμοποιώντας τη θεωρία της ασαφούς λογικής.

Με την επεξεργασία εικόνων στη Γεωργία Ακριβείας ασχολήθηκαν και οι Pokrajac et al. (1999) οι οποίοι παρουσίασαν μια μέθοδο η οποία υπολογίζει τη συχνότητα δειγματοληψίας αγροτικών δεδομένων.

Οι Meuleman et al. (2003) επέλεξαν οπωρώνες μηλιάς για να κάνουν πειράματα παρακολούθησης του στρες των δέντρων. Η πρόωρη ανίχνευση του στρες των φυτών είναι πολύ σημαντική στα πλαίσια της εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας, ειδικά στο τομέα της διαχείρισης των θρεπτικών συστατικών και των ζιζανίων. Τα υπερφασματικά δεδομένα έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν το στρες των φυτών και να κάνουν διάγνωση της αιτίας του πολύ πριν φανεί με το μάτι.

### **2.3.6.2. Οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία Ακριβείας**

Οι εφαρμογές των αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων στη γεωργία αφορούν κυρίως την

1. Αναγνώριση καλλιεργειών
2. Πρόβλεψη της παραγωγής
3. Αναγνώριση ασθενειών και τροφωπενιών

#### **Πρόβλεψη παραγωγής**

Κατά τη λήψη αποφάσεων και το σχεδιασμό στη γεωργία, η γνώση της παραγωγής σε πρόωρο στάδιο είναι πολύ σημαντική και σε εθνικό και σε τοπικό επίπεδο. Καλύτερες εκτιμήσεις της παραγωγής αποκτώνται εάν η ανάπτυξη των καλλιεργειών παρακολουθείται κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης (Toulios et al, 2005).

Η παραγωγή της καλλιέργειας είναι ίσως η πιο σημαντική πληροφορία για τη διαχείριση καλλιεργειών στη Γεωργία Ακριβείας. Είναι αποτέλεσμα των επιδράσεων ποικίλων χωρικών μεταβλητών όπως είναι οι ιδιότητες του εδάφους, η τοπογραφία, ο



πληθυσμός των φυτών, η λίπανση, η άρδευση, και οι παρασιτισμοί. Επομένως ένας χάρτης παραγωγής μπορεί να είναι είτε από μόνος του είτε σε συνδυασμό με άλλες χωρικές πληροφορίες ένα απαραίτητο στοιχείο για τη σωστή διαχείριση (Searcy et al., 1989). Παρά την εμπορική διαθεσιμότητα και την αυξανόμενη χρήση των οργάνων παρακολούθησης της παραγωγής, οι περισσότεροι παραγωγοί δεν είναι εξοπλισμένοι μ' αυτά. Επιπλέον, τα δεδομένα των οργάνων παρακολούθησης της παραγωγής μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για διαχείριση στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, ενώ κάποια προβλήματα όπως η ανεπάρκεια θρεπτικών, το υδατικό στρες, ή οι παρασιτισμοί πρέπει να διαχειρίζονται κατά την καλλιεργητική περίοδο. Οι εικόνες που αποκτήθηκαν με τηλεπισκόπηση κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου δίνουν τη δυνατότητα όχι μόνο για διαχείριση στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου αλλά επίσης και κατά τη διάρκειά της.

Οι παραδοσιακές εικόνες δορυφόρων έχουν χρησιμοποιηθεί για εκτίμηση της παραγωγής σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, αλλά αυτού του τύπου οι εικόνες έχουν περιορισμένη χρήση στην εκτίμηση της παραλλακτικότητας της παραγωγής εξαιτίας της κακής χωρικής τους ανάλυσης. Επομένως, πολυφασματικές και υπερφασματικές αεροφωτογραφίες και υψηλής ανάλυσης δορυφορικές εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση της παραγωγής των χωραφιών και για άλλες εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας. Οι πολυφασματικές αεροφωτογραφίες παρέχουν εικόνες με καλή χωρική ανάλυση και σε λεπτομερή φάσματα και έχουν δυνατότητα παρακολούθησης επί τόπου στο χωράφι.

Οι υπερφασματικές εικόνες περιέχουν δεκάδες έως εκατοντάδες λεπτομερή φάσματα και παρέχουν πληροφορίες τις οποίες τα πολυφασματικά δεδομένα μπορεί να έχουν παραλείψει. Αυτά τα σχεδόν συνεχή φασματικά δεδομένα έχουν τη δυνατότητα για την καλύτερη εκτίμηση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών για κάποιες εφαρμογές. Η διαθεσιμότητα δορυφόρων υψηλής ανάλυσης όπως ο IKONOS, QuickBird και Spot 5 έχει ανοίξει νέες ευκαιρίες για χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας των χωραφιών.

Η αναγνώριση καλλιεργειών είναι στενά συνδεδεμένη με την πρόβλεψη της παραγωγής. Είναι ευνόητο ότι σε περίπτωση που η αναγνώριση και η χαρτογράφηση των καλλιεργειών δεν έχει την απαιτούμενη ακρίβεια, τότε και τα αποτελέσματα από την πρόβλεψη της παραγωγής δεν θα είναι αξιόπιστα. Η πρόβλεψη της παραγωγής, με μεθόδους Τηλεπισκόπησης στηρίζεται βασικά στην πρόβλεψη με βάση τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και δεδομένων από προηγούμενα χρόνια. Η

πρόβλεψη της παραγωγής με βάση τα φωτογραφικά και φασματικά χαρακτηριστικά των φυτών, απασχολεί σήμερα τους ερευνητές που χρησιμοποιούν την Τηλεπισκόπηση ως μέσο έρευνας για το σκοπό αυτό. Η ερευνητική προσπάθεια στρέφεται σε δύο κατευθύνσεις, 1) τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών της βλάστησης με την παραγωγή και 2) την προσπάθεια μέτρησης των διάφορων παραγόντων που σχετίζονται με την παραγωγή (Φτάκα, 2006).

Σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμα υπέρυθρα φιλμ, με σκοπό τη μέτρηση της χρωματικής πυκνότητας (color density) διαφόρων καλλιεργειών και τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών της βλάστησης με την παραγωγή και την προσπάθεια μέτρησης των διαφόρων παραγόντων που σχετίζονται με την παραγωγή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ειδικά όργανα (microdensitometer) και μετρήθηκαν η χρωματική πυκνότητα με τη χρησιμοποίηση ουδετέρου, κόκκινου, πράσινου και μπλε φίλτρου (Φτάκα, 2006).

Όλες οι τεχνικές βασίζονται κυρίως σε ιστορικά δεδομένα σχετικά με την παραγωγή της μελετώμενης καλλιέργειας. Με την προϋπόθεση ότι οι καλλιέργειες και η έκταση των καλλιεργειών έχουν καθοριστεί και ότι με βάση τα ιστορικά δεδομένα ο όγκος της παραγωγής είναι σταθερός ή σχεδόν σταθερός, τότε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι ικανοποιητική. Στην περίπτωση αυτή οι προσπάθειες συγκεντρώνονται στην αναγνώριση παραγόντων που μπορούν να επιδράσουν στη μείωση της παραγωγής (ζημίες κυρίως λόγω καιρικών φαινομένων και ασθενειών.)

Συγκρίνοντας μια σειρά από στοιχεία, είναι δυνατή η καταγραφή του ιστορικού της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας σε μια περιοχή και ο υπολογισμός στατιστικών για το ρυθμό ανάπτυξης, τους τύπους ανάπτυξης κ.α. Έτσι για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας μια διαδοχική σειρά από εικόνες με το δείκτη βλάστησης, διαφορετικών περιόδων, είναι δυνατή η καταγραφή των σταδίων ανάπτυξης μιας καλλιέργειας σε ένα χωράφι από το γυμνό έδαφος (Α), στην ώριμη καλλιέργεια (Β) και τέλος λίγο μετά από τη συγκομιδή (C). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να καθοριστεί εύκολα η εποχή συγκομιδής αλλά και η ακριβής έκταση της καλλιέργειας (Φτάκα, 2006).

Τα στοιχεία που παρέχουν οι αισθητήρες μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για να γίνει μια εκτίμηση σχετικά με τη μελλοντική απόδοση των καλλιεργειών. Υπολογίζοντας τον Δείκτη Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI), ή τον Εδαφικά Προσαρμοσμένο Δείκτη Βλάστησης (SAVI) όταν η κάλυψη βλάστησης

είναι χαμηλή, μπορούμε να αποκτήσουμε πληροφορίες σχετικά με την υγεία των καλλιεργειών. Αρκετές έρευνες έχουν γίνει για την ανακάλυψη σχέσεων μεταξύ ενός δείκτη βλάστησης μιας καλλιέργειας, το οποίο μετράται σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, και την τελική απόδοση των καλλιεργειών. Οι σχέσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν στην τελική εκτίμηση της απόδοσης των καλλιεργειών, με τη χρήση των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι πάνω στους ελκυστήρες. Κάθε μία από αυτές τις σχέσεις, όμως, συνήθως ισχύει μόνο για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια, που καλλιεργείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή και τα δεδομένα της Τηλεπισκόπησης θα πρέπει να έχουν συλλεχθεί σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.

Οι δείκτες βλάστησης που προέρχονται από φασματικά κανάλια στις πολυφασματικές εικόνες έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά για τον υπολογισμό της παραγωγής (Tucker et al., 1980; Wiegand et al., 1991; Plant et al., 2000; Yang and Everitt, 2002). Αυτοί οι δείκτες βλάστησης σχηματίζονται συνήθως από συνδυασμούς του ορατού και του κοντά στο υπέρυθρο φάσματος. Δύο από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες βλάστησης είναι ο λόγος κοντά στο υπέρυθρο/κόκκινο (Jordan, 1969) και ο NDVI (Rouse et al., 1973). Ακόμα ένας δείκτης που χρησιμοποιείται αρκετά είναι ο SAVI (Huete, 1988). Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί πολλοί άλλοι δείκτες βλάστησης που περιλαμβάνουν λόγους φασμάτων όπως ο λόγος κοντά στο υπέρυθρο/πράσινο και ο NDVI για τον υπολογισμό της παραγωγής (Yang et al., 2000, 2006a; Dobermann και Ping, 2004).

Κατ' αρχήν, όλοι οι δείκτες βλάστησης που προέρχονται από πολυφασματικά δεδομένα μπορούν να εφαρμοστούν σε υπερφασματικά δεδομένα. Παρόλα αυτά, τα πολυφασματικά δεδομένα έχουν μόνο λίγα κανάλια να χρησιμοποιήσουν για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης, ενώ τα υπερφασματικά δεδομένα περιέχουν δεκάδες έως εκατοντάδες κανάλια για να διαλέξεις. Συνεπώς, ο αριθμός των δεικτών βλάστησης που μπορεί να παραχθεί από μια υπερφασματική εικόνα μπορεί να είναι υπερβολικά μεγάλος. Οι Yang et al., (2004a) εφάρμοσαν ανάλυση παλινδρόμησης σε δεδομένα παραγωγής σόργου και σε 102 υπερφασματικές αεροφωτογραφίες για να αναγνωρίσουν τους καταλληλότερους συνδυασμούς καναλιών για τη χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας της παραγωγής. Οι Zarco-Tejada et al., (2005) υπολόγισαν έναν αριθμό δεικτών βλάστησης χρησιμοποιώντας επιλεγμένα στενά κανάλια από υπερφασματικές αεροφωτογραφίες για να υπολογίσουν την παραγωγή βαμβακιού.

Η Τηλεπισκόπηση έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση παραγωγής για διάφορες ετήσιες καλλιέργειες, αλλά για καλλιέργειες όπως οποροφόρα δέντρα και λαχανικά έχει διεξαχθεί περιορισμένη έρευνα για την εκτίμηση της παραγωγής. Οι Koller και Upadhyaya (2005a,b) εξέτασαν τις σχέσεις ανάμεσα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και ενός τροποποιημένου NDVI στις τομάτες και χρησιμοποίησαν το δείκτη φυλλικής επιφάνειας που πάρθηκε από αεροφωτογραφίες και τη φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία (PAR) για να προβλέψουν την παραγωγή τομάτας. Οι Ye et al. (2007) χρησιμοποίησαν μοντέλα παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων για να προβλέψουν τις παραγωγές δέντρων εσπεριδοειδών από τα χαρακτηριστικά της κόμης τους που αποκτήθηκαν από υπερφασματικές αεροφωτογραφίες. Έπειτα τα συνέκριναν με δείκτες βλάστησης και με μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι οι δείκτες βλάστησης και τα πολυφασματικά μοντέλα παλινδρόμησης απέτυχαν να προβλέψουν την παραγωγή των εσπεριδοειδών, αλλά τα μοντέλα παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων προέβλεψαν επιτυχώς την παραγωγή εσπεριδοειδών με τιμές  $r^2$  από 0.51 έως 0.90. Οι Yet et al. (2008) εξέτασαν επίσης τις σχέσεις μεταξύ συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της κόμης που αποκτήθηκαν από πολυφασματικές αεροφωτογραφίες και παραγωγής των εσπεριδοειδών και βρήκαν ότι τα ώριμα φύλλα στις κόμης συσχετίζονταν περισσότερο με την παραγωγή της τωρινής καλλιεργητικής περιόδου, ενώ τα νεότερα φύλλα συσχετίζονταν περισσότερο με την παραγωγή της επόμενης καλλιεργητικής περιόδου. Οι αεροφωτογραφίες μαζί με εδαφολογικές και στατιστικές αναλύσεις μπορούν να παρέχουν μια εναλλακτική λύση για τη χαρτογράφηση της παραγωγής. Οι εικόνες που αποκτήθηκαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας θα δώσουν κάποια στοιχεία όπως τις καταλληλότερες περιόδους για λήψη φωτογραφιών για την εκτίμηση της παραγωγής. Επειδή δεν είναι πάντα δυνατές οι ακριβείς εκτιμήσεις της παραγωγής κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη η αναγνώριση ζωνών διαχείρισης από αεροφωτογραφίες για τη διαχείριση και μέσα στην καλλιεργητική περίοδο αλλά και μετά την καλλιεργητική περίοδο. Χρειάζεται περισσότερη έρευνα στη Τηλεπισκόπηση για την εκτίμηση της παραγωγής για να προσαρμοστούν οι υπάρχουσες μέθοδοι και να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι για συγκεκριμένες καλλιέργειες. Οι Wood et al. (1998) προτείνουν έναν παλινδρομικό εκτιμητή ολοκλήρωσης δειγμάτων παρατήρησης καλλιεργητικών αποδόσεων σε όλες τις θέσεις ενός αγροτεμαχίου, ο οποίος χρησιμοποιεί το δείκτη NDVI. Επίσης, αποδεικνύουν τη

σπουδαιότητα της ψηφιακής αεροφωτογραφίας στην απόκτηση σε πραγματικό χρόνο, πληροφοριών σχετικών με την παραλλακτικότητα εντός του αγροτεμαχίου και τη δυναμική της απόδοσης. Αποδεικνύεται ότι τα αποτελέσματα παραμένουν αξιόπιστα ακόμη και με μικρό αριθμό δειγμάτων.

## **Η ανάγκη για πρόβλεψη της παραγωγής**

Η καλή πρόβλεψη της παραγωγής της καλλιέργειας πριν τη συγκομιδή είναι σημαντική ειδικά σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από κλιματικές αβεβαιότητες. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στους παραγωγούς να προβλέψουν πόσες εισροές να εισάγουν σε περίπτωση ελλείμματος ή προαιρετικά, να εξάγουν σε περίπτωση πλεονάσματος. Επίσης επιτρέπει στις κυβερνήσεις να θέσουν σε εφαρμογή στρατηγικά σχέδια έκτακτης ανάγκης για αναδιανομή τροφίμων κατά τη διάρκεια λιμών. Συνεπώς, η παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας και η έγκαιρη πρόβλεψη της παραγωγής είναι γενικά σημαντική.

Η εκτίμηση της παραγωγής σε πολλές χώρες βασίζεται σε συμβατικές τεχνικές συλλογής δεδομένων όπως επισκέψεις και εργασίες στον αγρό. Τέτοιες εργασίες είναι συχνά υποκειμενικές, δαπανηρές, χρονοβόρες και είναι επιρρεπείς σε μεγάλα σφάλματα εξαιτίας ελλειπόντων εδαφικών παρατηρήσεων, οδηγώντας σε φτωχή εκτίμηση της παραγωγής. Στις περισσότερες χώρες τα δεδομένα διατίθενται πολύ αργά για να μπορέσουν να ληφθούν δράσεις που θα αποτρέψουν την έλλειψη τροφής (Sawasawa, H., 2003).

Επίσης, σε μερικές χώρες όπου χρησιμοποιούνται κλιματικά δεδομένα, έχουν αναπτυχθεί μοντέλα που βασίζονται σε κλιματικές παραμέτρους. Αυτή η προσέγγιση συσχετίζεται με έναν αριθμό προβλημάτων συμπεριλαμβανομένης της χωρικής κατανομής του μετεωρολογικού σταθμού, ελλιπή και/ή μη διαθέσιμα εγκαίρως μετεωρολογικά δεδομένα, και καιρικές παρατηρήσεις που δεν απεικονίζουν επαρκώς την ποικιλομορφία του καιρού πάνω από τις μεγάλες περιοχές όπου αναπτύσσονται οι καλλιέργειες.

Αντικειμενικές, και πιθανώς φθηνότερες/ ταχύτερες μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παρακολούθηση της καλλιέργειας και έγκαιρη εκτίμηση της παραγωγής είναι επιτακτικές.

Πολλά εμπειρικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να προσπαθήσουν να εκτιμήσουν την παραγωγή πριν τη συγκομιδή. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες από τις μεθόδους αυτές απαιτούν δεδομένα που δεν είναι εύκολα διαθέσιμα. Η πολυπλοκότητα των μοντέλων, η απαίτηση των δεδομένων, και οι μέθοδοι ανάλυσης, καθιστούν αυτά τα μοντέλα μη πρακτικά, ιδιαίτερα σε επίπεδο αγρού.

Με την ανάπτυξη των δορυφόρων, οι εικόνες Τηλεπισκόπησης παρέχουν πρόσβαση σε χωρικές πληροφορίες σε παγκόσμια κλίμακα, σε γνωρίσματα και φαινόμενα στη γη σχεδόν σε πραγματικό χρόνο. Έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να αναγνωρίζουν τις καλλιέργειες αλλά και να εκτιμούν την παραγωγή. Μπορούν να αναγνωρίσουν και να παρέχουν πληροφορίες για τη χωρική παραλλακτικότητα και να επιτρέψουν καλύτερη αποτελεσματικότητα στην παρακολούθηση του αγρού. Η Τηλεπισκόπηση θα μπορούσε συνεπώς να χρησιμοποιηθεί για παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας και εκτίμηση της παραγωγής (Sawasawa, H., 2003).

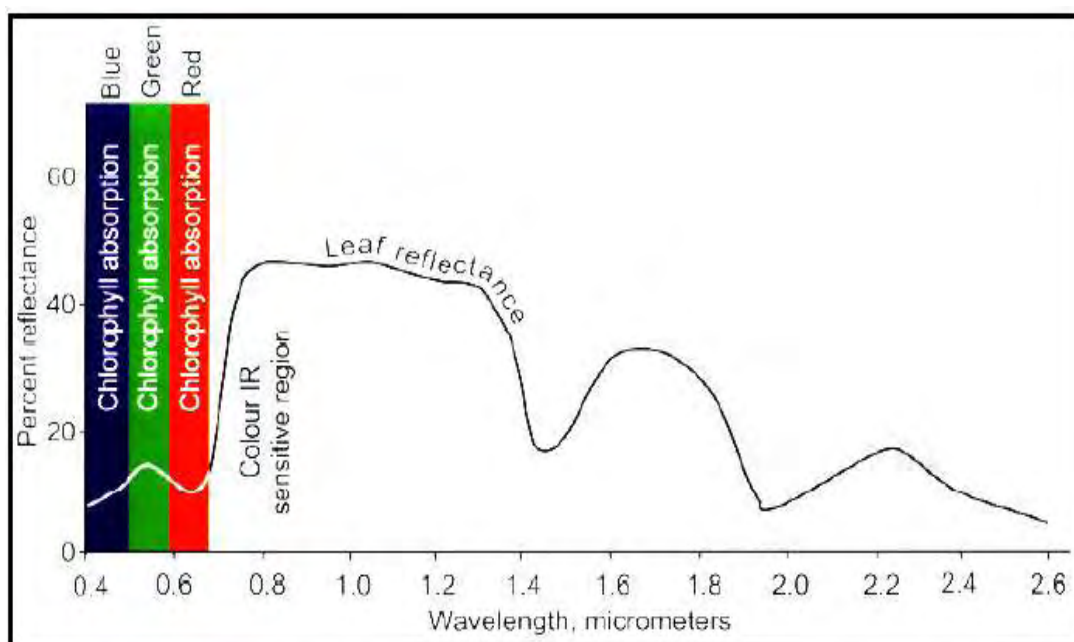
### **Η φασματική αντίδραση της βλάστησης**

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  $\mu\text{m}$ -0,7 $\mu\text{m}$ ), τα φυτά απορροφούν φως στη μπλε (0,45 $\mu\text{m}$ ) και στην κόκκινη περιοχή (0,6 $\mu\text{m}$ ) 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  $\mu\text{m}$ ), η αντανάκλαση των πράσινων φυτών αυξάνεται στο 40-60%. Πέρα από τα 1,3  $\mu\text{m}$ , υπάρχουν πτώσεις στην καμπύλη αντανάκλασης εξαιτίας της απορρόφησης από το νερό στα φύλλα,

περισσότερο ελεύθερο νερό καταλήγει σε λιγότερη αντανάκλαση. Το σχήμα 2.6. δείχνει μια ιδανική καμπύλη αντανάκλασης για υγιή βλάστηση.



**Σχήμα 2.6.** Ιδανική φασματική αντανάκλαση υγιούς βλάστησης (Πηγή: Sawasawa, H., 2003)

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.

## Δείκτες βλάστησης-Κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης ( δείκτης NDVI)

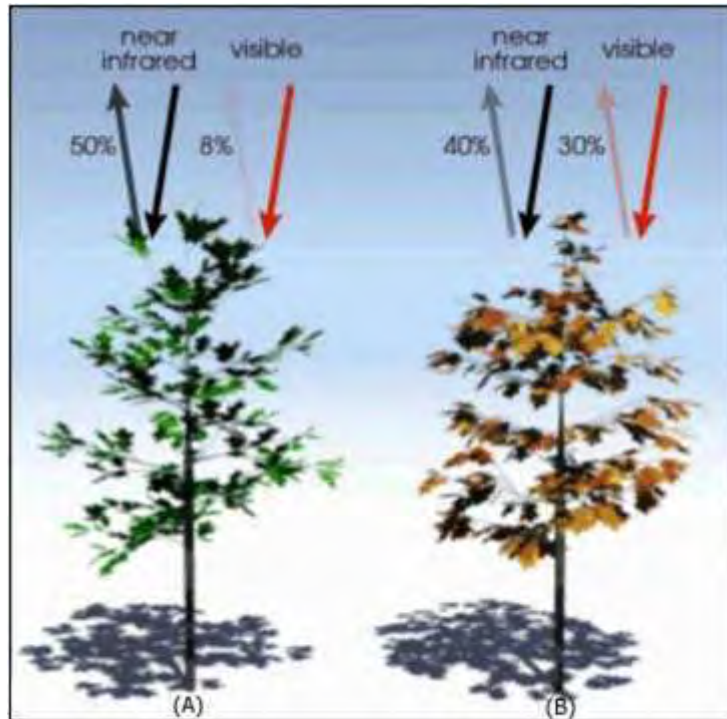
Οι δείκτες βλάστησης είναι συνήθως ο συνδυασμός σημάτων από κανάλια του ραδιομέτρου. Αυτοί οι δείκτες παρέχουν καλύτερες πληροφορίες από τα ανεξάρτητα κανάλια σε φυτικούς παραμέτρους όπως είναι η έκταση της φυτομάζας, η βρεγμένη και υγρή βιομάζα, το ύψος του φυτού και η περιεκτικότητα του φύλλου σε νερό. 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).

Βασική αρχή του NDVI: το σχήμα δείχνει ότι: α) η υγιής βλάστηση απορροφά περισσότερο από το κόκκινο φως από ότι η άρρωστη βλάστηση όπως φαίνεται στο β)





**Σχήμα 2.7.** Βασική αρχή NDVI α) υγιής βλάστηση β)άρρωστη βλάστηση

Ο δείκτης βλάστησης υπολογίζεται από τη διαφορά του υπέρυθρου και του ερυθρού διαιρούμενων με το άθροισμα αυτών. Συνεπώς:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

Όπου:

NDVI=κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης

IR= Υπέρυθρο κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

R= Ερυθρό κανάλι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ο δείκτης βλάστησης δημιουργήθηκε από τη δορυφορική εικόνα Landsat TM (1999), με γεωμετρική διόρθωση και με τη χρήση των καναλιών 3 και 4. Ο δείκτης βλάστησης παίρνει τιμές από το -1 έως το 1. Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν θάλασσα ενώ οι τιμές θετικές και μικρότερες από 0,1 φανερώνουν γυμνό έδαφος. Μικρό NDVI (αραιή βλάστηση) υποδηλώνουν τιμές από 0,1 έως 0,2 καθώς επίσης Μέτριο NDVI (αρκετά πυκνή βλάστηση) έχουν περιοχές με τιμές από 0,2 έως 0,4. Τέλος δείκτης

βλάστησης μεγαλύτερος από τιμή 0,4 σημαίνει ότι στις περιοχές αυτές υπάρχει πολύ πυκνή και υγιής βλάστηση δηλαδή υψηλό NDVI.

**Πίνακας 2.1.** Κατηγορίες δείκτη βλάστησης (NDVI) (Πηγή: Sustainable Development Department (SD) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO))

Κατηγορία	Δείκτης βλάστησης
Θάλασσα	<0
Γυμνό έδαφος	0-<0,1
Μικρό NDVI	0,1-0,2
Μέτριο NDVI	0,2-0,4
Υψηλό NDVI	>0,4

### Επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στις μεταβολές της βλάστησης

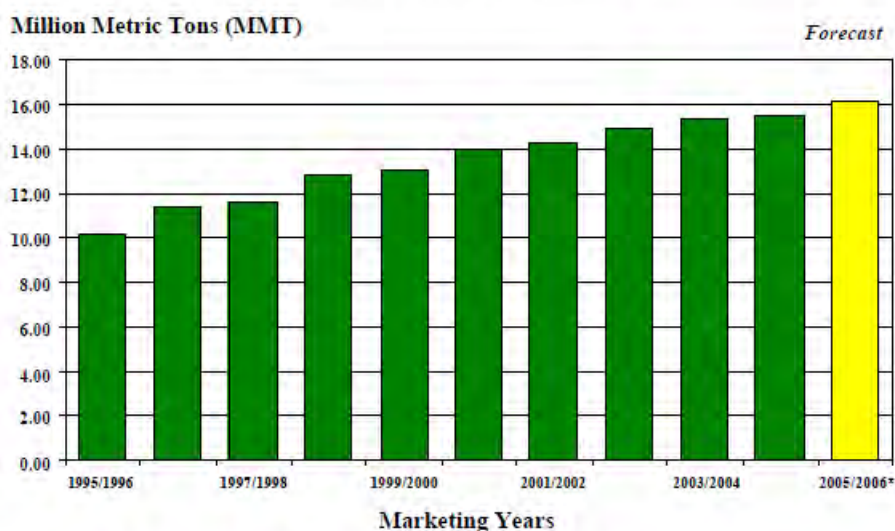
Η βλάστηση και συνεπώς οι τιμές του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI, είναι αποτέλεσμα συνεπίδρασης πολλών περιβαλλοντικών παραγόντων και κυρίως της χλωρίδας, του κλίματος (θερμοκρασία, βροχόπτωση, εξατμισοδιαπνοή) και της γεωλογικής σύστασης του εδάφους, αλλά και της ανθρώπινης επίδρασης. Διακυμάνσεις στις τιμές των κλιματικών παραγόντων, συγκεκριμένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας, ασκούν μεγάλη επιρροή στη διακύμανση των τιμών του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI. Η υγρασία του εδάφους θεωρείται ευρέως ως μια πολύ σημαντική παράμετρος, η οποία συνδέει τη βροχόπτωση, τη θερμοκρασία και το δείκτη NDVI, παρόλο που η θερμοκρασία επηρεάζει επίσης τη φαινολογία και την ανάπτυξη των φυτών. Από αρκετές μελέτες συμπεραίνεται ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις του NDVI συνδέονται στενά με τη βροχόπτωση και υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ τους. Από τις παραπάνω μελέτες προκύπτει λοιπόν ότι η βροχόπτωση επηρεάζει το NDVI μέσω της επιρροής της στην εδαφική υγρασία (Μαρκογιάννη, Β., 2010).

## 2.4. Η καλλιέργεια της αχλαδιάς

### 2.4.1. Γενικά

Τα διάφορα είδη αχλαδιάς κατατάσσονται ανάλογα με την προέλευσή τους σε δύο ομάδες. Η μία περιλαμβάνει τα είδη που κατάγονται από την περιοχή της δυτικής Ασίας, γύρω από την Κασπία θάλασσα, με πιο γνωστό αντιπρόσωπο το είδος *Pyrus communis* L., στο οποίο υπάγονται όλες οι γνωστές σήμερα καλλιεργούμενες ποικιλίες ευρωπαϊκής αχλαδιάς. Η άλλη ομάδα περιλαμβάνει είδη που κατάγονται από τη βόρεια Ασία, όπως είναι το *Pyrus pyrifolia* Nakai, το *P. ussuriensis* Maxim, το *P. betulaefolia* Bunge και το *P. calleryana* Dence. Οι ποικιλίες της δεύτερης ομάδας και μάλιστα του είδους *P. pyrifolia* ονομάζονται συχνά μηλοαχλαδιές λόγω του μηλόμορφου σχήματος των καρπών του.

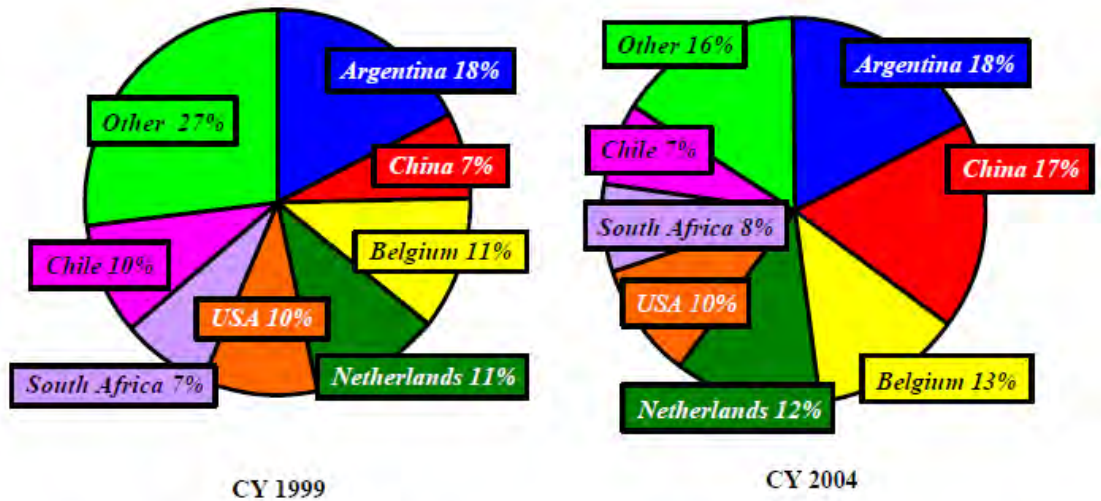
### World Pear Production To Increase for the 10th Consecutive Season



\* Totals no longer include Belgium, France, and the Netherlands  
Source: USDA Agricultural Attaché Reports and the U.S. National Agricultural Statistics Service.

Εικόνα 2.8. Παγκόσμια παραγωγή αχλαδιού

## China's Share of Global Pear Exports Is Expanding Rapidly



*Source: Global Trade Atlas – World total not yet available for CY 2005*

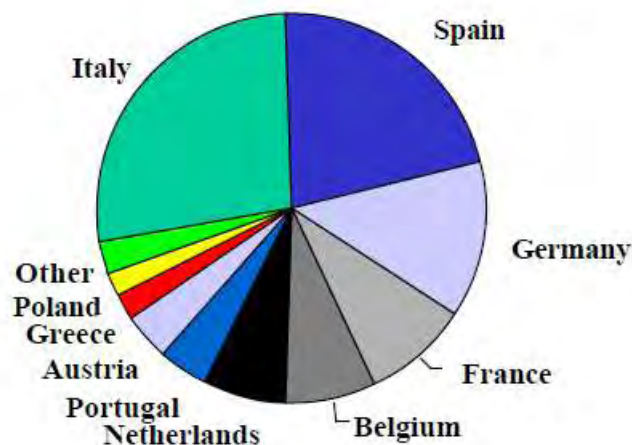
**Εικόνα 2.9.** Ποσοστά % εξαγωγών αχλαδιών διαφόρων χωρών παγκοσμίως

Οι Ευρωπαίοι φυτογενετιστές ποικιλιών αχλαδιάς έχουν επιτύχει τη δημιουργία ποικιλιών υψηλής ποιότητας, μεγάλου μεγέθους και ελκυστικές σε εμφάνιση που ευδοκιμούν καλύτερα στη Γαλλία, Ιταλία και Βέλγιο ενώ της Β. Αμερικής δεν έχουν δημιουργήσει ποικιλίες υψηλής ποιότητας, γιατί δίνουν μεγαλύτερη έμφαση στη δημιουργία ποικιλιών ανθεκτικών στις ασθένειες και στον παγετό (Μηνοπούλου Χαρίκλεια, 2007). Χώρες της Ευρώπης που παράγουν μεγάλες ποσότητες αχλαδιών είναι η Ιταλία, η Ισπανία, η Γαλλία και άλλες (Πίνακας 2.2).

**Πίνακας 2.2** Παραγωγή αχλαδιών την τελευταία πενταετία στην Ευρώπη και Τουρκία (χιλ. τόνοι)

Χώρα	2001	2002	2003	2004	2005
Βέλγιο	89	173	176	231	229
Δανία	6	5	4	5	5
Γαλλία	254	237	191	248	230
Γερμανία	47	56	49	61	53
Ελλάδα	47	39	32	54	56
Ιταλία	793	948	820	838	879
Ολλανδία	70	180	170	225	200
Πορτογαλία	142	125	90	188	130
Ισπανία	660	603	641	521	608
Ην. Βασίλειο	33	35	35	34	27
Τσεχία	2	2	2	2	2
Ουγγαρία	27	27	33	31	40
Πολωνία	77	90	77	87	65
Τουρκία	360	358	378	373	377

## Top 10 Pear Producing EU-25 Countries 2005



Source: Food and Agriculture Organization of the United Nations

**Εικόνα 2.10.** Οι 10 Ευρωπαϊκές χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή αχλαδιών

Στην Ελλάδα η καλλιέργεια της αχλαδιάς είναι διαδεδομένη παντού, αλλά σε μορφή συστηματικών οπωρώνων εντοπίζονται κυρίως στην δυτική και κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία και Πελοπόννησο. Οι συστηματικοί οπωρώνες αχλαδιάς στην χώρα μας καταλαμβάνουν έκταση 64.000 στρεμμάτων, η δε μέση ετήσια παραγωγή αχλαδιών ανέρχεται σε 121.156 τόνους. Η παραγωγή αχλαδιών στην Ελλάδα στο παρελθόν ξεπερνούσε τις 120.000 τόνους. Σήμερα παρατηρείται έλλειψη αχλαδιών και η Ελλάδα εισάγει σημαντικές ποσότητες αχλαδιών κυρίως από Ισπανία, Ιταλία, Ν. Αφρική και από χώρες της Ν. Αμερικής (Βασιλακάκης, 2004).

Η κύρια παραγωγή αχλαδιών προέρχεται από ποικιλίες της Καρδιόσχημης ή Ευρωπαϊκής αχλαδιάς (*P. communis*) και αυτές είναι:

**Πίνακας 2.3.** Ποικιλίες της Καρδιόσχημης ή Ευρωπαϊκής αχλαδιάς

Τσακώνικη ή Κρυστάλλι	Harrow Sweet
Κοντούλα	Conference
A. Fetel	Tosca
William's	Etrusca
P. Crassana	Packham's Triumph
Decana del Comicio	
Kaiser Alexander (Bosc)	Ερυθρές Ποικιλίες
Highland	Sensation
Coscia	Cascade
Santa Maria	

Η τσακώνικη ή Κρυστάλλι συμβάλλει κατά 50% στη συνολική παραγωγή αχλαδιών στην Ελλάδα και στη συνέχεια με μικρότερες ποσότητες οι άλλες ποικιλίες. Στην Ευρώπη οι κύριες ποικιλίες που καλλιεργούνται φαίνονται στον Πίνακα 2.4.

**Πίνακας 2.4.** Παραγωγή ανά ποικιλία αχλαδιού την τελευταία πενταετία σε χώρες της ΕΕ (Βέλγιο, Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ελλάδα, Ολλανδία, Πορτογαλία, Ισπανία, Ην. Βασίλειο)

Ποικιλία	2001	2002	2003	2004	2005
Abate Fetel	225	282	251	261	281
Blanquilla	240	196	200	157	171
Conference	490	637	684	718	757
Coscia	99	103	97	95	111
D. Comice	68	163	97	129	105
Guyot	118	117	99	106	115
Kaiser	50	59	63	50	61
Κρυστάλλι	17	18	15	22	23
Red William's	28	33	27	26	24
Passa Crassana	27	43	34	37	35
William's	317	331	287	314	321
Άλλες	464	419	353	490	414
Σύνολο	2140	2400	2207	2405	2418

## 2.4.2. Βοτανική ταξινόμηση

Η αχλαδιά ανήκει στην οικογένεια των Rosaceae και στην υποοικογένεια Rosoideae. Το γένος *Rugos* περιλαμβάνει περισσότερα από 20 είδη, που όλα κατάγονται από την Ευρώπη και την Ασία. Πολλά από τα είδη αυτά μοιάζουν και η διάκρισή τους είναι συνήθως δύσκολη. Στην Ευρώπη, Β. Αμερική, Ν. Αμερική, Αφρική και Αυστραλία οι ποικιλίες που καλλιεργούνται ανήκουν στο είδος *Rugos communis* L. Στη Νότια και Κεντρική Κίνα και Ιαπωνία καλλιεργούνται οι ποικιλίες που ανήκουν στο είδος *P. rugifolia*, ενώ στη Βόρεια Κίνα και Ιαπωνία καλλιεργούνται ποικιλίες του είδους *P. ussuriensis* Max (Μηνοπούλου Χαρίκλεια, 2007).

## 2.4.3. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η αχλαδιά είναι δέντρο φυλλοβόλο, μακρόβιο, μικρού ως μεγάλου μεγέθους (ανάλογα με το υποκείμενο που χρησιμοποιείται). Σε γενική εμφάνιση μοιάζει με τη μηλιά, αλλά χαρακτηρίζεται ως πιο ορθόκλαδο. Τα φύλλα είναι απλά, κατ' εναλλαγή, ωοειδή ή καρδιάσχημα, οδοντωτά, στιλπνά και μακρόμυχα. Ο μίσχος των φύλλων στη βάση του φέρει δύο μικρά παράφυλλα. Οι οφθαλμοί διακρίνονται σε βλαστοφόρους και μικτούς και βρίσκονται πλάγια ή επάκρια των βλαστών. Οι βλαστοφόροι οφθαλμοί έχουν σχήμα κωνικό, δεν φέρουν χνούδι και σχηματίζουν στο σημείο έκφυσής τους με τον βλαστό οξεία γωνία, χαρακτήρας που διακρίνει την αχλαδιά από την μηλιά.

Τα άνθη είναι λευκά, σπανιότερα δε ρόδινα. Παράγονται πριν ή συγχρόνως με τα φύλλα από μικτούς οφθαλμούς κατά σκιαδόμορφους κορύμβους. Κάθε άνθος αποτελείται από 5 πέταλα, 5 σέπαλα και 20 – 30 στήμονες που φέρουν κόκκινους ανθήρες.

Η αχλαδιά ανθίζει λίγο πιο νωρίς από την μηλιά με σημαντικές διαφορές ως προς τον χρόνο ανθοφορίας μεταξύ των ποικιλιών καθώς και από χρονιά σε χρονιά. Το νέκταρ των ανθέων της αχλαδιάς είναι φτωχό σε σάκχαρα και έτσι οι μέλισσες δεν τα επισκέπτονται αν υπάρχουν άλλα είδη ανθισμένα. Ικανοποιητικά παραγωγή δίνει η καρπόδεση του 8 – 10% των ανθέων. Επειδή οι περισσότερες ποικιλίες αχλαδιάς



είναι αυτόστειρες, εάν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για την πτήση των μελισσών υπάρχει κίνδυνος μειωμένης παραγωγής.

Ο καρπός είναι άπιο και έχει σχήμα αχλαδόμορφο ή σφαιρικό – πεπλατυσμένο. Είναι ψευδής καρπός επειδή στο σχηματισμό του συμμετέχουν και άλλα μέρη του άνθους εκτός από την ωσθήκη. Το εδώδιμο τμήμα του καρπού είναι ο ανθικός σωλήνας ο οποίος σχηματίζεται από τις βάσεις των σεφάλων, πετάλων και στημόνων.

Η αύξηση του καρπού της Ευρωπαϊκής αχλαδιάς ακολουθεί απλή σιγμοειδή καμπύλη, όπως και στη μηλιά. Αντίθετα στις ασιατικές ποικιλίες η αύξηση του καρπού ακολουθεί διπλή σιγμοειδή καμπύλη. Οι ποικιλίες που συγκομίζονται νωρίς για να συντηρηθούν δεν αποκτούν το πλήρες μέγεθος τους. Τα καρποφόρα όργανα της αχλαδιάς είναι παρόμοια με αυτά της μηλιάς (Μηνοπούλου Χαρίκλεια, 2007).

#### **2.4.4. Οικονομική σημασία**

Η αχλαδιά σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το δεύτερο σπουδαιότερο φυλλοβόλο οπωροφόρο δέντρο μετά τη μηλιά. Τα αχλάδια καταναλώνονται κυρίως φρέσκα αλλά και επεξεργασμένα ως κομπόστες, πουρές ή αποξηραμένα και ως χυμοί. Η Ιταλία, η ΗΠΑ, η Ισπανία και η Γαλλία αποτελούν τις χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή ευρωπαϊκών αχλαδιών, ενώ η Κίνα και η Ιαπωνία παράγουν τις μεγαλύτερες ποσότητες ασιατικών αχλαδιών.

Οι κύριες αιτίες για τη μειωμένη παραγωγή αχλαδιών έναντι των μήλων είναι η ευπάθειά τους στο βακτηριακό κάψιμο, η μειωμένη σκληραγώγηση, η πρωϊμότερη ανθοφορία, η ευπάθεια στο έντομο ψύλλα και η δυσκολία στις μεταχειρίσεις των καρπών και στην συντήρησή τους.

Η καλλιεργούμενη έκταση και η παραγωγή αχλαδιών στην Ελλάδα έχει μειωθεί σε ποσοστά 40 – 50% τα τελευταία 15 χρόνια κατέχοντας την Τρίτη θέση μεταξύ των φυλλοβόλων δέντρων μετά την ροδακινιά και τη μηλιά. Η αχλαδιά καλλιεργείται κυρίως στην Κεντρική Μακεδονία και στη Θεσσαλία. Ασιατικές ποικιλίες άρχισαν να καλλιεργούνται από το 1990 και μετά σε μικρή έκταση, όμως δεν επεκτάθηκαν επειδή το καταναλωτικό κοινό δεν έμεινε ικανοποιημένο από την ποιότητα των καρπών. Βασική αιτία της υποβαθμισμένης ποιότητας θεωρείται η συγκομιδή τους σε ακατάλληλο στάδιο καθώς και οι συνθήκες συντήρησής τους. Οι

προοπτικές επέκτασης της αχλαδοκαλλιέργειας είναι ευοίωνες, αφού οι τιμές που επιτυγχάνουν στην αγορά είναι αρκετά υψηλές, ενώ οι βιομηχανίες χρειάζονται περισσότερα αχλάδια ποικιλιών κατάλληλων για κονσερβοποίηση (Μηνοπούλου Χαρίκλεια, 2007) .

#### 2.4.5 Ποικιλίες

Υπάρχουν χιλιάδες ποικιλίες σε όλο τον κόσμο. Η ποικιλία που μελετήθηκε στην εργασία αυτή και έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την πατρίδα μας είναι η Coscia και περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

Coscia: Κατάγεται από την Τοσκάνη της Ιταλίας και χρονολογείται από το 1800. Η ποικιλία Coscia έχει καρπούς καλής γεύσης, πιο γλυκούς και λιγότερο σφιχτούς από άλλες καλοκαιρινές ποικιλίες (Pear Encyclopedia, 2011). Δέντρο μέσης ζωηρότητας, παράγει καρπούς μεσαίου μεγέθους, κίτρινου χρώματος, μέτριας γεύσης, δε συντηρείται στο ψυγείο. Ωριμάζει το δεύτερο 15νήμερο του Ιουλίου (εικόνα 2.11). Καλός επικονιαστής των ποικιλιών Τσακόνικη και Κοντούλα. Είναι αυτόστειρη ποικιλία, χρειάζεται επικονιαστή. Οι ποικιλίες που αναφέρθηκαν την επικονιάζουν. Σχετικά ανθεκτική στο βακτήριο *Erwinia amylovora* που προκαλεί την ασθένεια βακτηριακό κάψιμο (Βασιλακάκης, 2004).



**Εικόνα 2.11.** Coscia

#### 2.4.6. Κλίμα και έδαφος

Η καλλιεργούμενη Ευρωπαϊκή αχλαδιά *P. communis* προήλθε από επιλογή που έγινε σε άτομα της άγριας αχλαδιάς στη Νότια Ανατολική Ευρώπη. Τα είδη *P. communis* και *P. ussuriensis* είναι γενικώς περισσότερο ανθεκτικά στο ψύχος από ότι το *P. pyrifolia* γιατί προέρχονται από πιο ψυχρά κλίματα.

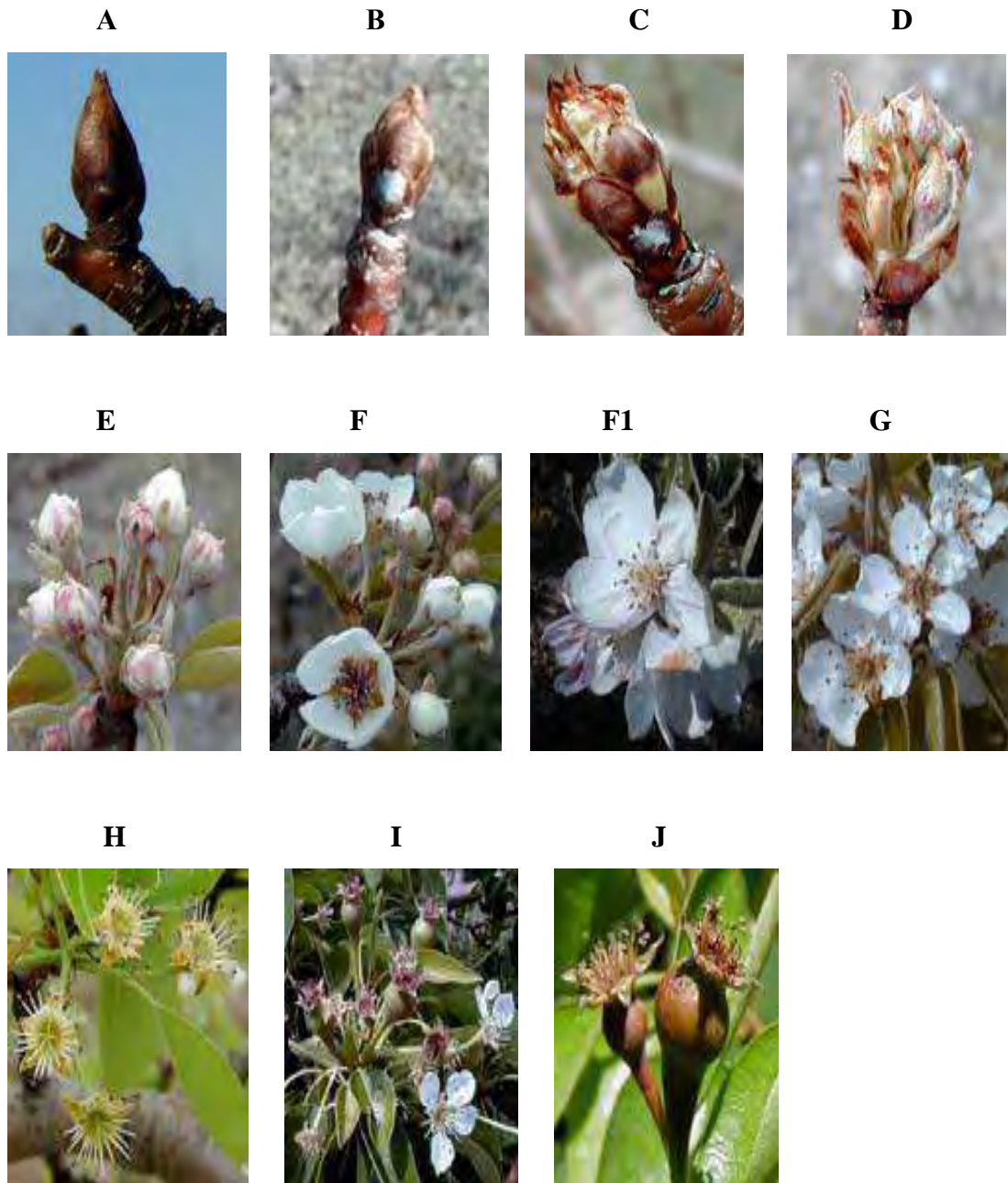
Η αχλαδιά απαιτεί ξηρό και θερμό καλοκαίρι αλλά αρκετό νερό για άρδευση. Το ξερό θέρος είναι πρωταρχικής σημασίας παράγοντας για τον περιορισμό της εξάπλωσης του βακτηριακού καψίματος.

Κατά την περίοδο της ανθοφορίας η θερμοκρασία πρέπει να είναι υψηλότερα των 10 °C για ικανοποιητική καρπόδεση. Οι περισσότερες ποικιλίες ευρωπαϊκής αχλαδιάς είναι προσαρμοσμένες σε περιοχές όπου οι μέσες ετήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται από -29 °C έως -7 °C. Οι ζημιές από χαμηλές θερμοκρασίες την άνοιξη εξαρτώνται από γενετικούς παράγοντες και από το φαινολογικό στάδιο του δέντρου, επειδή όσο πλησιάζει το στάδιο ανθοφορίας τόσο οι ελάχιστες θερμοκρασίες που προκαλούν βλάβη είναι υψηλότερες. Οι ποικιλίες ασιατικής αχλαδιάς είναι λιγότερο ανθεκτικές στους ανοιξιότικους παγετούς από τις ποικιλίες ευρωπαϊκής αχλαδιάς. Αλλά και οι ποικιλίες ευρωπαϊκής αχλαδιάς ανθίζουν σχετικά νωρίς την άνοιξη οπότε είναι πιθανόν να υποστούν ζημιές. Χαμηλές θερμοκρασίες που μπορούν να προκαλέσουν ζημιά είναι (-4) – (-2) °C στο στάδιο της ρόδινης κορυφής, (-2) – (-1) °C στα ανοιχτά άνθη και (-1,2) - (-1,1) °C στα νεαρά καρπίδια. Η αχλαδιά έχει μικρότερες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες από την μηλιά για την διακοπή του λήθαργου των σπερμάτων και των οφθαλμών της. Η αχλαδιά όμως αντέχει περισσότερο από την μηλιά στις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού (30 – 35 °C).

Για τη διακοπή του λήθαργου των οφθαλμών της απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες τόσες όσες περίπου απαιτεί και η μηλιά. Δέντρα ζωνής ανάπτυξης είναι ευαίσθητα στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Απαιτεί αρκετό νερό για να δώσει υψηλές αποδόσεις και ιδιαίτερα όταν είναι εμβολιασμένη πάνω σε κυδωνιά. Αναπτύσσεται καλά σε βαθιά και πλούσια εδάφη, δεν ανέχεται καθόλου το ασβέστιο και το υψηλό pH όταν το υποκείμενο είναι η κυδωνιά (Βασιλακάκης, 2004).

### 2.4.7. Βλαστικά στάδια αχλαδιάς



**Εικόνα 2.12.** Βλαστικά στάδια αχλαδιάς (Πηγή: Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 2012)

A-B: Λήθαργος

C: Φούσκωμα οφθαλμών

D: Πράσινη κορυφή

E: Λευκή κορυφή

F: Έναρξη ανθοφορίας

F1-G: Ανθοφορία

H-I: Όταν έχει πέσει το 70-90% των πετάλων

J: Καρπίδιο

**Πίνακας 2.5.** Μέσες φαινολογικές ημερομηνίες για φούσκωμα οφθαλμών, άνθηση, καρπόδεση και ωρίμανση για την ποικιλία Coscia κατά τη διάρκεια του 1992-1995 κοντά στο Tempio και στο Oristano της Σαρδηνίας (R.L. Snyder et al, 2002).

ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ	ΦΟΥΣΚΩΜΑ ΟΦΘΑΛΜΩΝ	ΑΝΘΗΣΗ	ΚΑΡΠΟΔΕΣΗ	ΩΡΙΜΑΝΣΗ
TEMPIO (40° 55' N 9° 07' E 550 m a.s.l.)	2 Μαρτίου	6 Απριλίου	22 Απριλίου	1 Αυγούστου
ORISTANO (39° 53' N 8° 37' E 15 m a.s.l.)	9 Μαρτίου	13 Απριλίου	29 Απριλίου	7 Αυγούστου

Στον Πίνακα 2.5. παρουσιάζονται οι ημερομηνίες για το φούσκωμα οφθαλμών, για την άνθηση, την καρπόδεση και την ωρίμανση για την ποικιλία Coscia σύμφωνα με μελέτη που έγινε στη Σαρδηνία όπου συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν κλιματικά δεδομένα και φαινολογικές ημερομηνίες αχλαδιών με σκοπό να γίνει πρόβλεψη των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας.

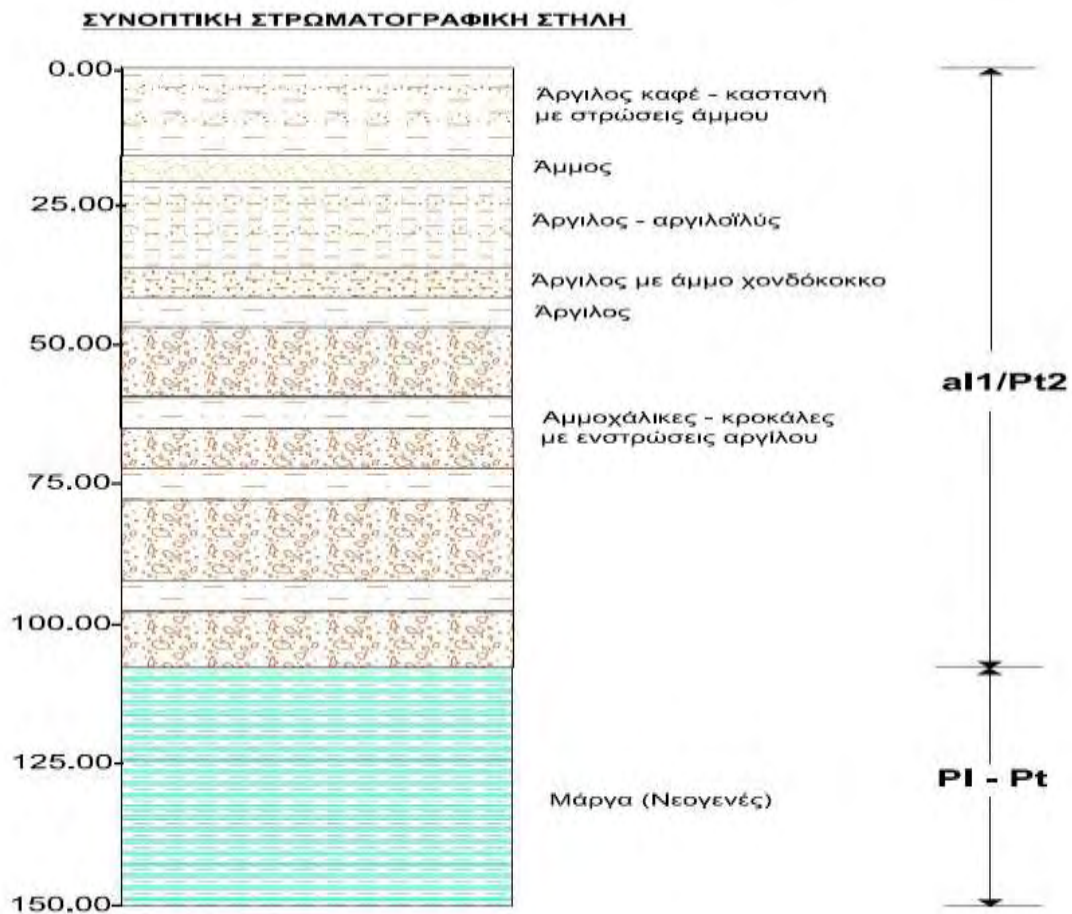
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.1. Περιγραφή πειραμάτων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε έναν εμπορικό οπωρώνα που βρίσκεται στην περιοχή του Τύρναβου της Λάρισας. Ο οπωρώνας που επιλέχθηκε αποτελεί τμήμα της πεδινής ζώνης της περιοχής. Το υψόμετρο της πεδινής ζώνης κυμαίνεται από 80-100 μέτρα. Η μορφολογική κλίση είναι μικρή της τάξης του 1%. Πρόκειται για μια περιοχή που τα τελευταία 30 χρόνια έχουν αναπτυχθεί έντονες αγροτικές εκμεταλλεύσεις αποτελούμενες κυρίως από δενδρώδεις καλλιέργειες (κυρίως αχλαδιές, ροδακινιές), αμπέλια, καλαμπόκι, μηδική και βαμβάκι. Η περιοχή του Τυρνάβου, χαρακτηρίζεται από κλίμα ηπειρωτικό και συγκεκριμένα μεταβατικό, από το μεσογειακό προς το μεσευρωπαϊκό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θεσσαλική πεδιάδα περικλύεται από τους ψηλούς ορεινούς όγκους της Πίνδου, του Ολύμπου, της Όσσας, του Μαυροβουνίου, του Πηλίου και των Αγράφων που την απομονώνουν από την ευεργετική επίδραση του Αιγαίου, που επηρεάζει τα ανατολικά της παράλια.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15,72 °C, με ελάχιστη 2,1°C και μέγιστη 30,3°C. Γενικά η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται από 0,6 °C τον Ιανουάριο έως τους 33,1 °C τον Ιούλιο. Η διαφορά αυτή χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής ως ηπειρωτικού τύπου. Η ετήσια νέφωση ανέρχεται για την περιοχή σύμφωνα με τα στοιχεία σε 34,3 και 46,1 ημέρες/έτος ενώ οι αίθριες ημέρες ανέρχονται από 103 έως 172 και οι νεφοσκεπείς από 63 έως 75 ανα έτος σύμφωνα με τα μετεωρολογικά δεδομένα. Η μέση σχετική υγρασία στην περιοχή κυμαίνεται στο 62,85% ενώ το διάστημα που παρατηρούνται οι μέγιστες τιμές της είναι οι μήνες από Νοέμβριο ως Φεβρουάριο και οι ελάχιστες τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι μέρες βροχής ανέρχονται από 59,6 έως 110,8 ημέρες ανά έτος στην περιοχή μελέτης. Η βροχή παρουσιάζεται γενικά ασθενής και συνεχής. Κατά τους μήνες όμως Μαΐο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο εμφανίζονται βροχές βίαιης μορφής και καταιγίδες.

Ο οπωρώνας που μελετήθηκε έχει έκταση 5 στρέμματα και περιλαμβάνει την ποικιλία Coscia σε 10 γραμμές. Η καλλιέργεια έχει διαμόρφωση ελεύθερης παλμέττας. Οι αποστάσεις φύτευσης είναι 4 μέτρα μεταξύ των γραμμών και 3,5 μέτρα επί της γραμμής. Στο πείραμα αυτό λήφθηκαν μετρήσεις για το έτος 2011.



**Εικόνα 3.1.** Συνοπτική στρωματογραφική στήλη περιοχής Νότια του Τύρναβου-Αγία Σοφία

### 3.2 Μετρήσεις

#### **Χαρτογράφηση ανθοφορίας**

Τον Απρίλιο του 2010 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο. Με τη χρήση μιας ψηφιακής φωτογραφικής κάμερας Olympus E-420 λαμβάνονταν φωτογραφίες της ανθισμένης κόμης σειρά ανά σειρά, δέντρο ανά δέντρο. Έπειτα, οι φωτογραφίες επεξεργάστηκαν με ειδικό πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνων GIMP έτσι ώστε να διακριθούν καλύτερα τα άνθη για να καταμετρηθούν. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε τον Αύγουστο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους.





**Εικόνα 3.2.** Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων

### **Χαρτογράφηση παραγωγής**

Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε με ζύγιση των κιβωτίων που περιείχαν τους καρπούς και ταυτόχρονη καταγραφή της θέσης τους. Τα αχλάδια συλλέγονταν με το χέρι και τοποθετούνταν σε πλαστικά κιβώτια τα οποία τοποθετούνταν σε πλατφόρμα η οποία κινούνταν κατά μήκος της γραμμής των δέντρων. Σε κάθε σειρά δέντρων ζυγίστηκε η παραγωγή ανά πέντε δέντρα και έγινε καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων στο κέντρο της πεντάδας των δέντρων. Έτσι, σε κάθε σημείο του χάρτη παραγωγής αντιστοιχεί η παραγωγή από πέντε συνεχόμενα δέντρα πάνω στη γραμμή. Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε για το έτος 2011 στις αρχές Αυγούστου.



## Μέτρηση NDVI

Η επιλογή των ημερομηνιών των μετρήσεων του NDVI βασίστηκε στην ανάλυση των πληροφοριών που δόθηκαν από τους αγρότες οι οποίοι έδωσαν το γενικό ημερολόγιο της καλλιέργειας για το 2011. Η επιλογή των ημερομηνιών έγινε με κάποιο τρόπο για να συμπίπτουν οι μετρήσεις του NDVI με συγκεκριμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Από το Μάιο έως τον Ιούλιο του 2011 λήφθηκαν τέσσερις μετρήσεις NDVI με Crop Circle σε δύο ύψη της κόμης του δέντρου, στην κορυφή και στη μέση της κόμης. Η πρώτη μέτρηση λήφθηκε στις 15/5 με σκοπό να συμπίπτει με την ανθοφορία της καλλιέργειας. Η δεύτερη μέτρηση έγινε στις 29/5 στο τέλος της άνθησης κατά την πτώση των πετάλων. Η τρίτη μέτρηση στις 17/6 έγινε κατά την καρπόδεση της καλλιέργειας και η τέταρτη και τελευταία μέτρηση ήταν στο στάδιο ανάπτυξης του καρπιδίου. Το Crop Circle παρέχει δεδομένα δεικτών βλάστησης (NDVI, SRI, και άλλους) όπως επίσης βασικές πληροφορίες αντανάκλασης φυλλώματος φυτών και εδάφους. Αυτό το νούμερο εκφράζεται ως NDVI (normalised difference vegetative index) και χρησιμοποιείται σε αλγόριθμους για να υποδείξει χαρακτηριστικά της καλλιέργειας όπως η βιομάζα και το περιεχόμενο σε άζωτο. Για εφαρμογές εν κινήσει το Crop Circle μπορεί να τοποθετηθεί σε σχεδόν κάθε τύπου όχημα για να πάρει μετρήσεις από μακριά και/ή να χαρτογραφήσει το φυτό ή τη κόμη της καλλιέργειας ενώ κινείται μέσα στον αγρό. Το Crop Circle ενσωματώνει τρία οπτικά κανάλια. Ο αισθητήρας ταυτόχρονα μετράει την ανάκλαση καλλιέργεια/έδαφος στα 670 nm, στα 730 nm και στα 780nm (Holland Scientific, Inc. 2011).



**Σχήμα 3.3.** Αισθητήρας Crop Circle

### **3.3. Ανάλυση δεδομένων**

#### **3.3.1. Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας**

##### **Περιγραφικά στατιστικά**

Υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά (μέσος όρος, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστής παραλλακτικότητας) για όλα τα δεδομένα. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας είναι μέτρο της χωρικής παραλλακτικότητας των δεδομένων και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$CV = (SD/X) * 100$$

Όπου CV είναι ο συντελεστής παραλλακτικότητας

SD είναι η τυπική απόκλιση

X είναι η μέση τιμή

##### **Συσχετίσεις παραγωγής, NDVI και ανθοφορίας**

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης r μεταξύ των δεδομένων της παραγωγής και του NDVI για να διαπιστωθεί αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Επίσης υπολογίστηκε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r ανθοφορίας και παραγωγής του τρέχοντος έτους προκειμένου να διαπιστωθεί αν μπορεί να προβλεφθεί η παραγωγή από την εποχή της ανθοφορίας που είναι η Άνοιξη γεγονός που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά.

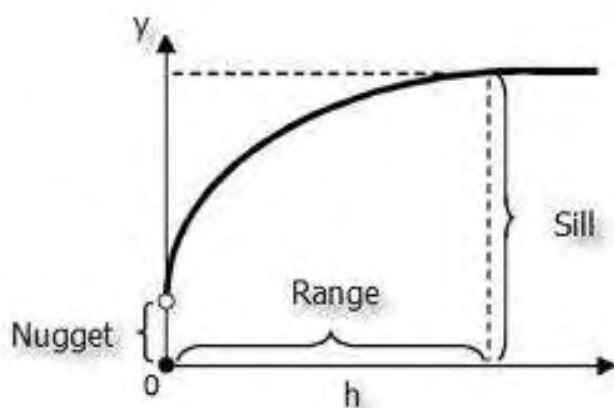
Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές στο κλειστό διάστημα [0,1] και όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τιμή του προς το 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

## Γεωστατιστική

Ακολούθησε η γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων. Επειδή τα δεδομένα μας έχουν χωρική εξάρτηση, η γεωστατιστική είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης, η οποία περιλαμβάνει τα εξής βήματα: α) υπολογισμό των πειραματικών βαριογραμμάτων από τα αρχικά δεδομένα, β) προσαρμογή του κατάλληλου μοντέλου στα πειραματικά βαριογράμματα και γ) με βάση τις πληροφορίες που έδωσαν τα αντίστοιχα βαριογράμματα έγινε η παρεμβολή των δεδομένων (kriging) έτσι ώστε να προβλεφθούν με ακρίβεια οι τιμές στα σημεία του αγρού που δεν έχουν μετρήσεις. Έτσι δημιουργήθηκαν οι χάρτες για όλα τα μετρούμενα μεγέθη που απεικονίζουν την παραλλακτικότητα τους σε όλη την έκταση του αγρού.

Το πειραματικό βαριόγραμμα περιγράφει τη χωρική παραλλακτικότητα μιας ιδιότητας (π.χ. παραγωγή) μετρώντας το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας σε μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ τους (Webster and Oliver 2001).

Η μορφή του πειραματικού βαριογράμματος φαίνεται στην Εικόνα 3.4



**Εικόνα 3.4.** Πειραματικό βαριόγραμμα

Οι παρακάτω παράμετροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ένα βαριόγραμμα

Nugget: είναι η τιμή που τέμνει το βαριόγραμμα τον κατακόρυφο άξονα

Sill: είναι το όριο που τέμνει το βαριόγραμμα σε μεγάλες αποστάσεις  $h$

Range: είναι η απόσταση στην οποία η τιμή του βαριογράμματος φτάνει στο sill.

Η μορφή του βαριογράμματος δείχνει το είδος της χωρικής εξάρτησης των δεδομένων. Για το σύνολο των εφαρμογών τέσσερα είναι τα βασικά μοντέλα του βαριογράμματος που χρησιμοποιούνται:

1. Σφαιρικό μοντέλο
2. Εκθετικό μοντέλο
3. Κανονικό μοντέλο
4. Γραμμικό μοντέλο

Στη συνέχεια προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές των μετρούμενων μεγεθών σε σημεία που δεν υπήρχε μέτρηση και να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής kriging.

### **3.3.2. Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων**

Για τον υπολογισμό των περιγραφικών στατιστικών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS. Για τη γεωστατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Vesper (Minasny et al., 2005). Για τη δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer (Surfer 9, Golden Software Inc). Για το υπολογισμό των συντελεστών συσχέτισης  $r$  χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

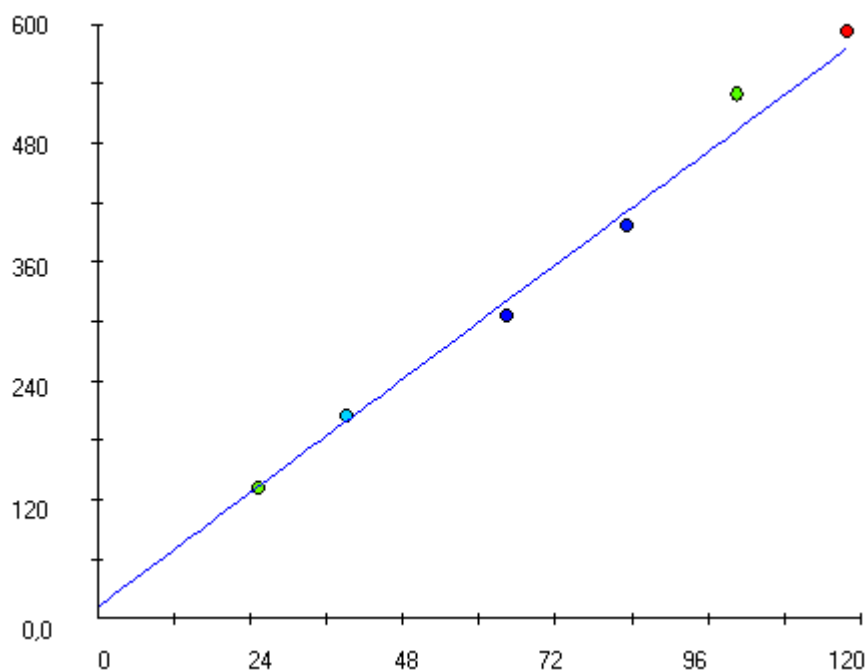
Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά [ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή, τυπική απόκλιση και συντελεστής παραλλακτικότητας (CV)] για την παραγωγή στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011 του πειράματος.

**Πίνακας 4.1.** Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011 του πειράματος

	<b>Ελάχιστη Τιμή</b>	<b>Μέγιστη τιμή</b>	<b>Μέση τιμή</b>	<b>Τυπική απόκλιση</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Παραγωγή</b>	52,5	270,8	134,36	43,2874	32,2

Από τα στοιχεία του πίνακα 4.1 φαίνεται ότι η ποικιλία Coscia είχε κατά μέσο όρο για το έτος 2011 παραγωγή 134,36 κιλά/στρέμμα. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 32% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα που είναι μόλις 5 στρέμματα.

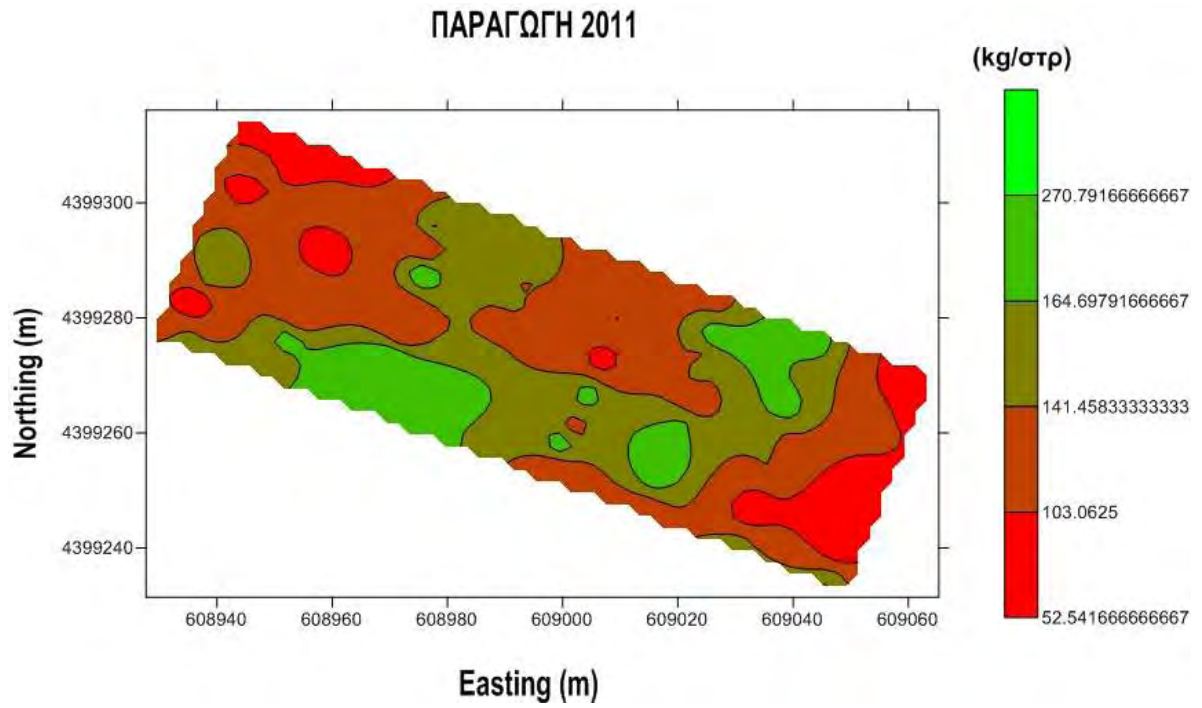
Στην Εικόνα 4.1 φαίνεται το βαριόγραμμα για τα δεδομένα της παραγωγής. Για την παραγωγή του 2011 το βαριόγραμμα ήταν εκθετικό. Το εκθετικό βαριόγραμμα δείχνει ότι καθώς η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων αυξάνεται, η ημιδιασπορά επίσης αυξάνεται. Αυτός ο τύπος βαριογράμματος περιγράφει μεταβλητές στις οποίες υπάρχει αυτοσυσχέτιση σε όλες τις αποστάσεις που είναι μεγαλύτερες από την απόσταση που έχουν ληφθεί τα δείγματα στον αγρό (grid spacing distance).



**Εικόνα 4.1** Βαριόγραμμα για την παραγωγή της ποικιλίας Coscia για το έτος 2011

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται ο χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011 του πειράματος. Από το χάρτη αυτό φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Η παραγωγή το έτος 2011 κυμάνθηκε από 52-270 κιλά/στρέμμα και φαίνεται μια τάση στο νότιο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερη παραγωγή από το βόρειο τμήμα του.

Η παραλλακτικότητα αυτή σημαίνει ότι η μέθοδος διαχείρισης που εφαρμόζεται στον οπωρώνα μελέτης δεν παρέχει τις κατάλληλες καλλιεργητικές τεχνικές σε όλες τις περιοχές του αγρού. Δεδομένου ότι ο οπωρώνας είναι επίπεδος θεωρούμε ότι η τοπογραφία του δεν επηρεάζει την παραγωγή. Αντίθετα, οι ιδιότητες του εδάφους είναι πολύ πιθανό να αλλάζουν από σημείο σε σημείο του αγρού με αποτέλεσμα να επηρεάζουν και την παραγωγή. Επίσης, οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως λίπανση και άρδευση αν δεν εφαρμόζονται σωστά παίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην τελική παραγωγή. Τέλος, τυχόν παρασιτισμοί σε συγκεκριμένα δέντρα ή σημεία του αγρού έχουν ως αποτέλεσμα την επιρροή στην παραγωγή και κατ' επέκταση στη χωρική κατανομή της παραγωγής.



**Εικόνα 4.2.** Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ NDVI

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά [ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, μέση τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστής παραλλακτικότητας (CV)] για το NDVI στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011.

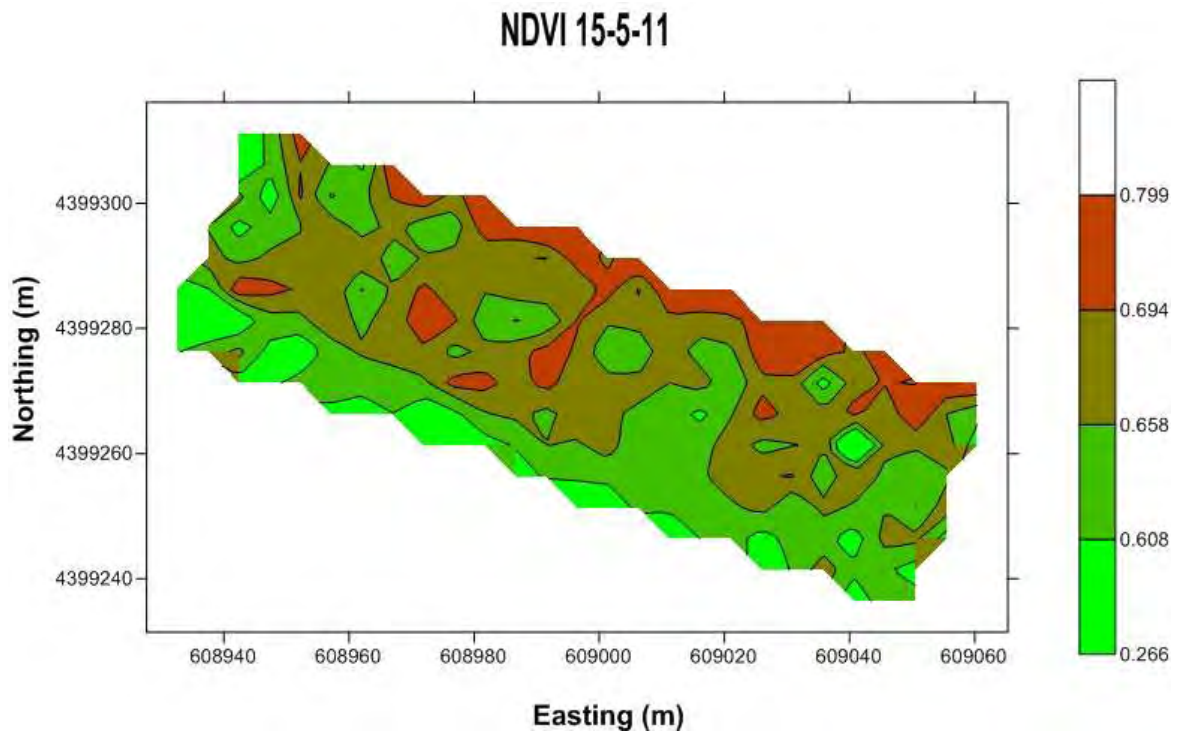
**Πίνακας 5.1.** Περιγραφικά στατιστικά για το NDVI στον οπωρώνα του Τύρναβου για το έτος 2011

NDVI	Ελάχιστη Τιμή	Μέγιστη Τιμή	Μέση Τιμή	Τυπική Απόκλιση	CV (%)
15-5-11 Άνω Κόμη	0,26	0,79	0,64	0,06	9,3
15-5-11 Μέση Κόμη	0,02	0,98	0,68	0,07	10,2
29-5-11 Άνω Κόμη	0,29	0,80	0,71	0,06	8,4
29-5-11 Μέση Κόμη	0,03	1	0,71	0,07	9,8
17-6-11 Άνω Κόμη	0,3	0,92	0,70	0,06	8,5
17-6-11 Μέση Κόμη	0,23	0,81	0,72	0,06	8,3
1-7-11 Άνω Κόμη	0,26	0,79	0,70	0,05	7,1
1-7-11 Μέση Κόμη	0,24	0,81	0,71	0,08	11,2

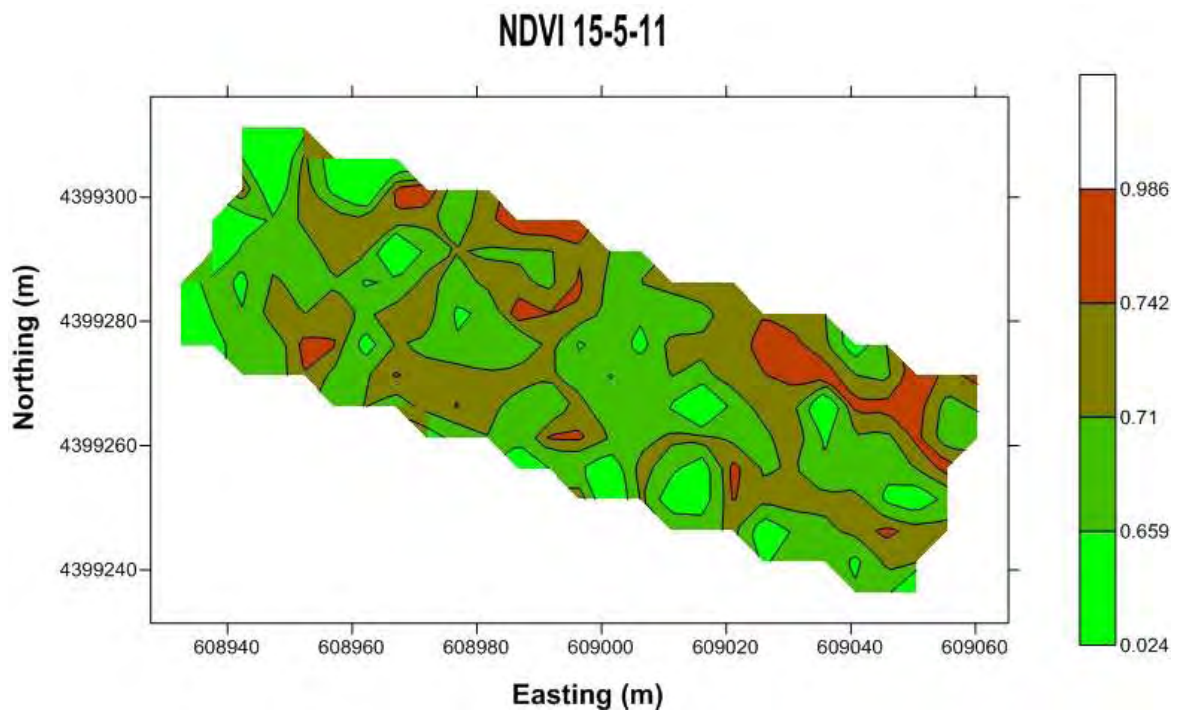
Από τα στοιχεία του Πίνακα 5.1 φαίνεται ότι η μικρότερη τιμή NDVI σημειώθηκε στις 15-5-11 στο στάδιο της ανθοφορίας της καλλιέργειας για την μέση κόμη και ήταν 0,02 ενώ η μέγιστη τιμή NDVI ήταν 1 και σημειώθηκε στις 29-5-11 στο στάδιο της πτώσης των πετάλων για τη μέση κόμη. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας CV κυμάνθηκε μεταξύ 7,1-11,2% που είναι σχετικά υψηλοί αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα που είναι μόλις 5 στρέμματα.



Στις Εικόνες 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται οι χάρτες NDVI στα στάδια της άνθησης, στο τέλος της άνθησης, στην καρπόδεση και στην ανάπτυξη του καρπιδίου αντίστοιχα για την ποικιλία Coscia για το έτος 2011 του πειράματος. Από τους χάρτες αυτούς φαίνεται η χωρική παραλλακτικότητα στο NDVI. Παρατηρούμε μια τάση στο βόρειο τμήμα του οπωρώνα να έχει χαμηλότερες τιμές NDVI από το νότιο τμήμα του. Οι διαφορετικές τιμές NDVI σε συγκεκριμένα τμήματα του οπωρώνα και κατ' επέκταση η χωρική παραλλακτικότητα του NDVI δείχνει διαφορές στην πυκνότητα βλάστησης του αγρού και στην κατάσταση της υγείας των δέντρων κάτι που οφείλεται κατά κύριο λόγο στις καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται στον οπωρώνα.

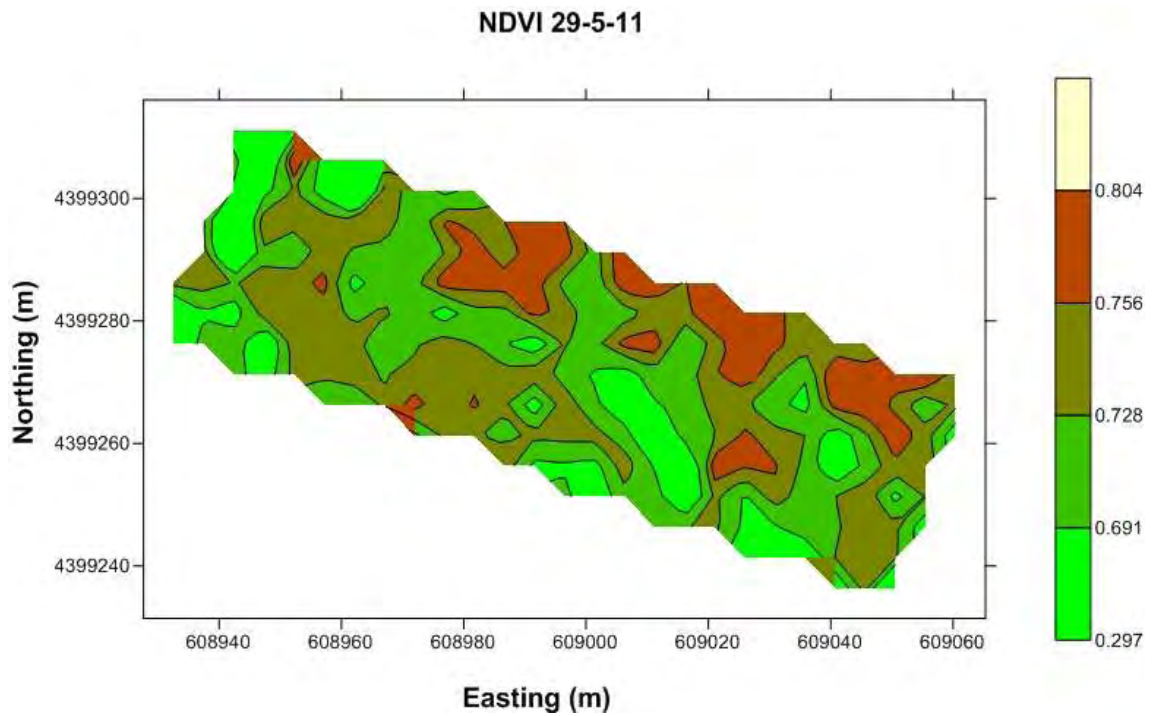


(α)

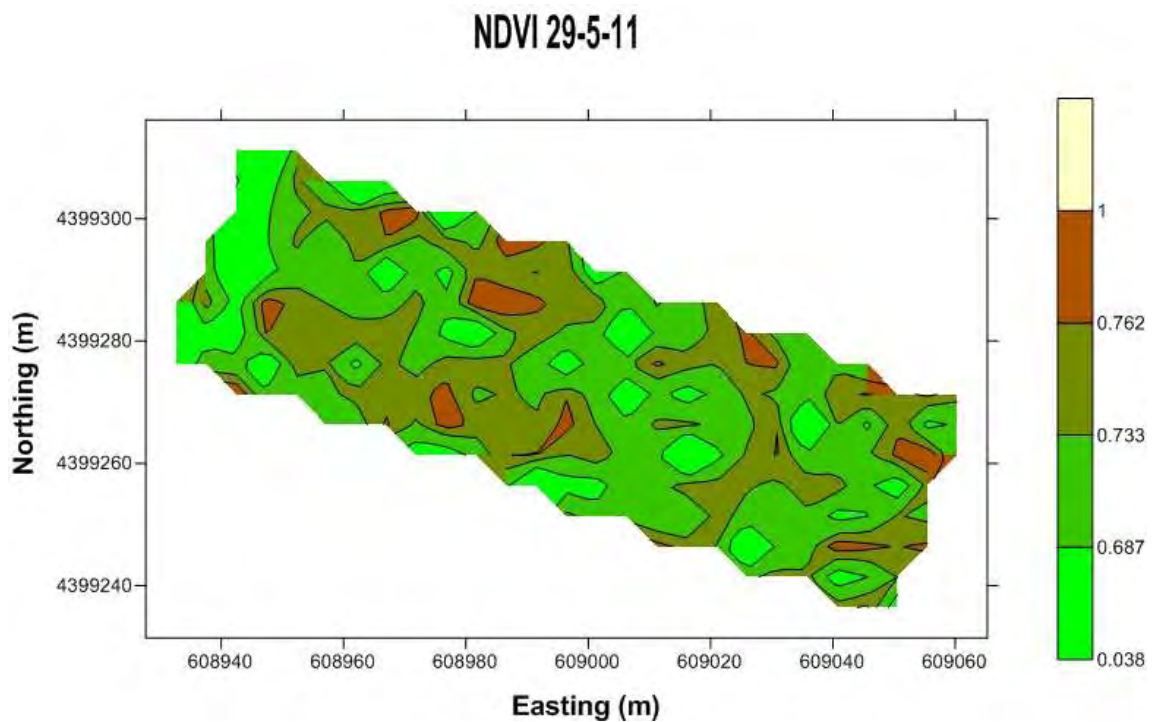


(β)

**Εικόνα 5.1.** Χάρτες NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 15/5/2011 (α) της άνω κόμης, (β) της μέσης κόμης

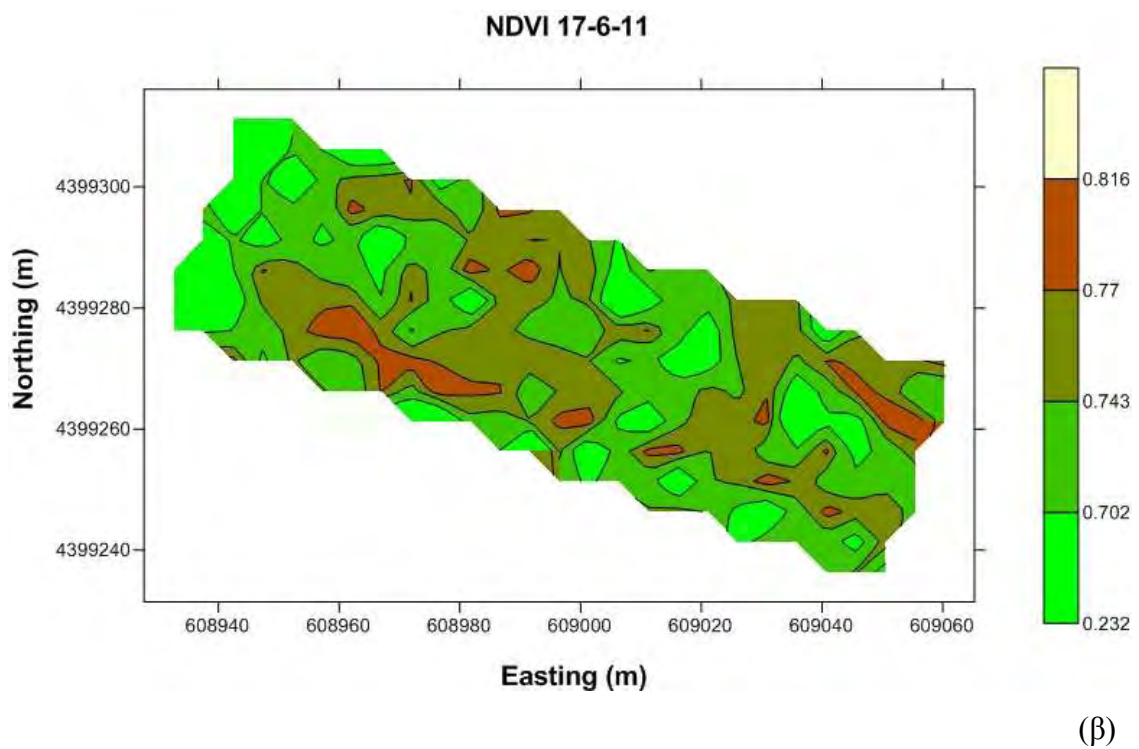
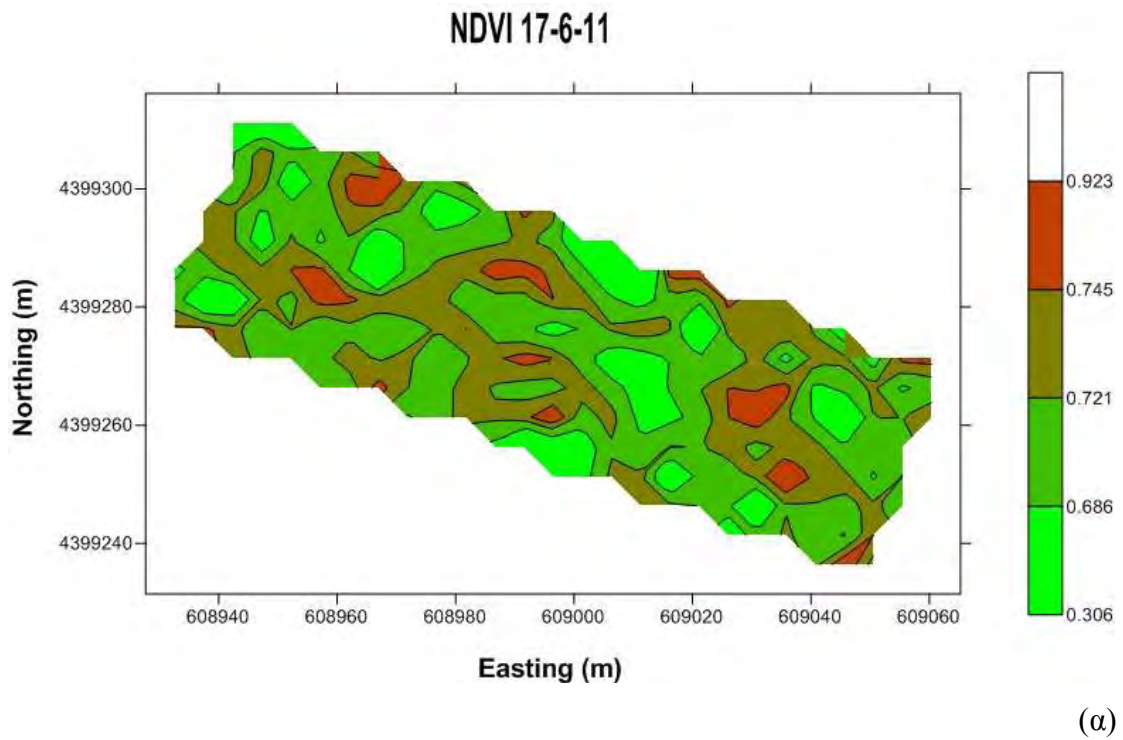


(α)



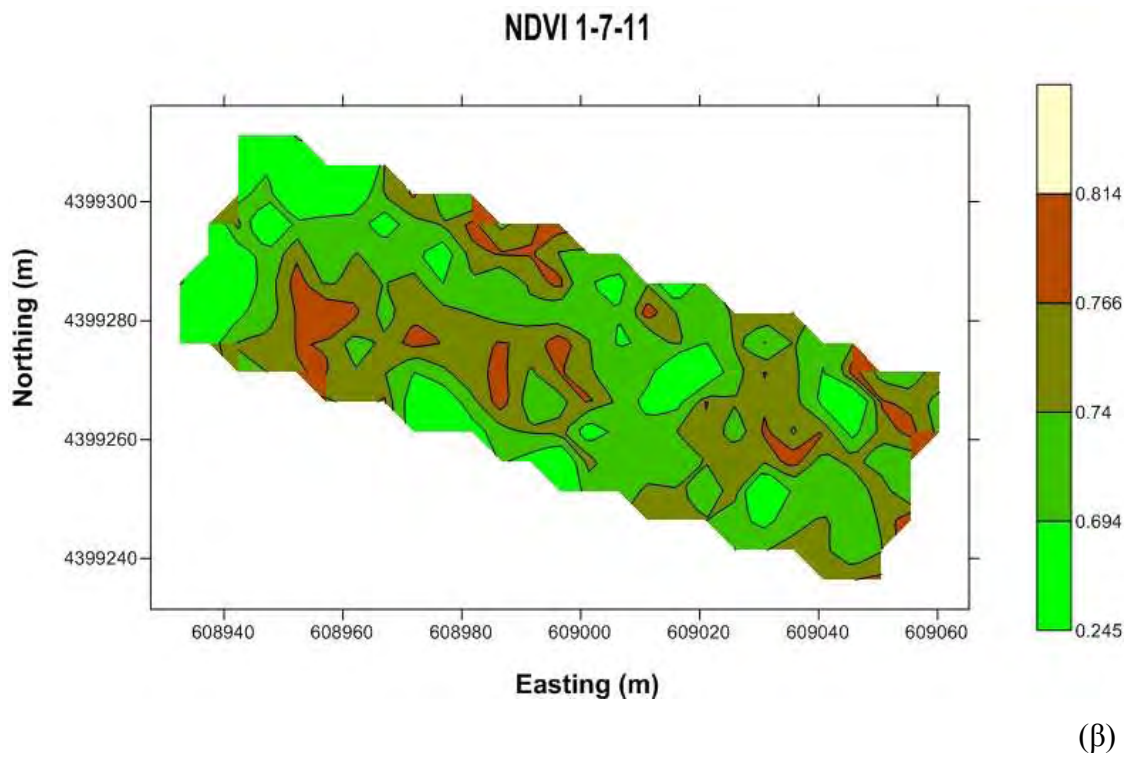
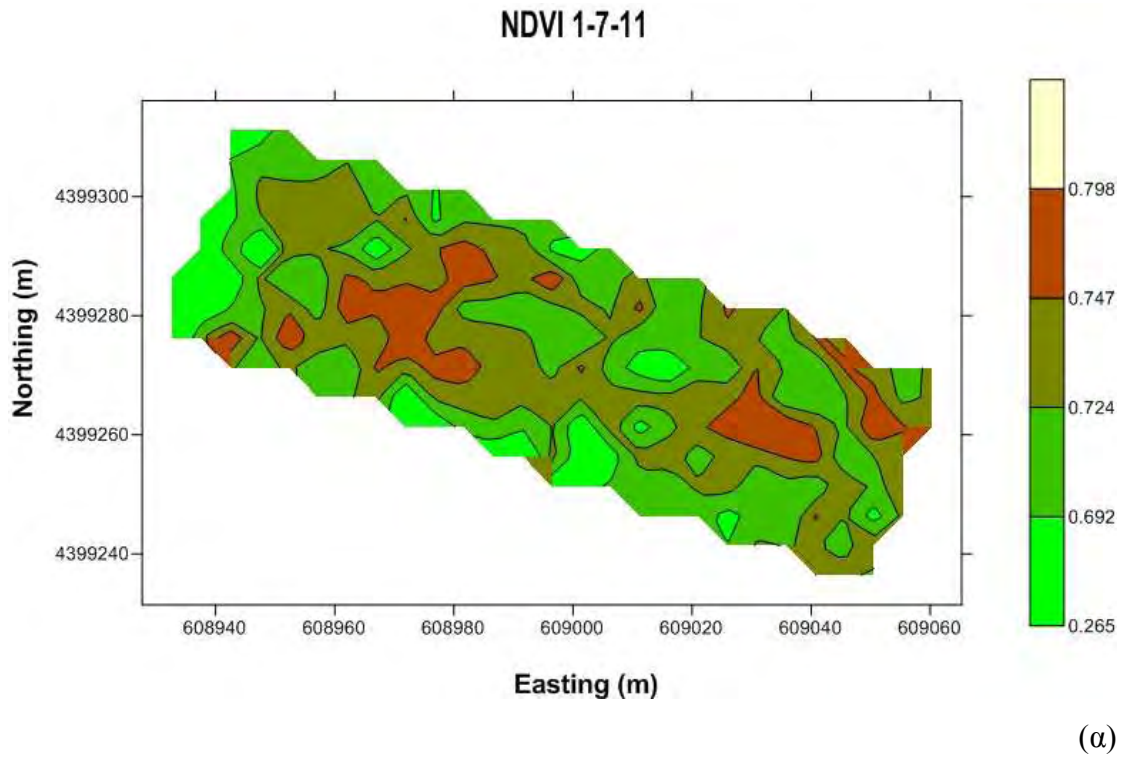
(β)

**Εικόνα 5.2.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 29/5/2011 (α) της άνω κόμης, (β) της μέσης κόμης



**Εικόνα 5.3.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 17/6/2011 (α) της άνω κόμης, (β) της μέσης κόμης



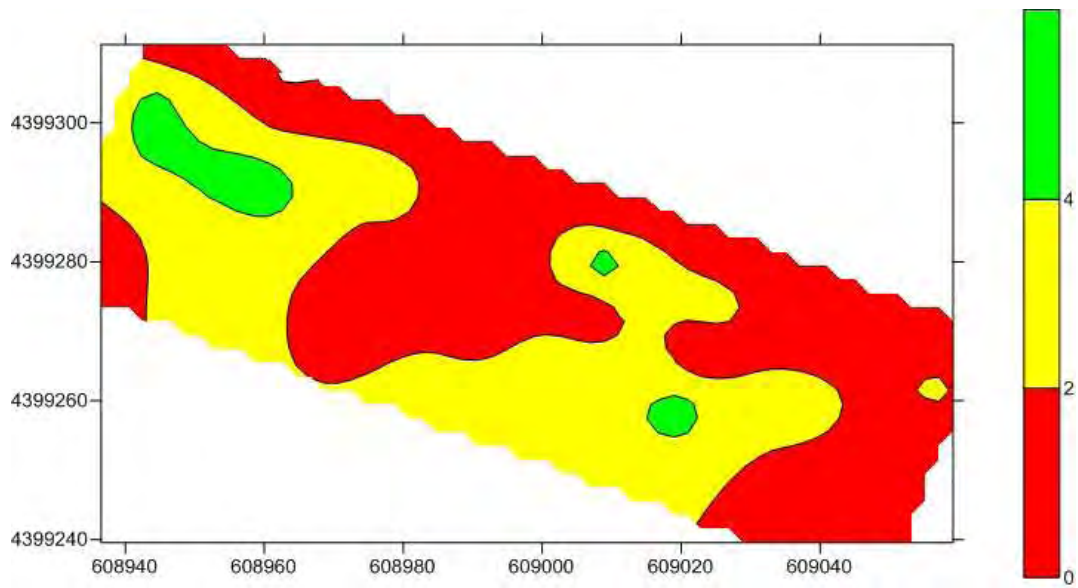


**Εικόνα 5.4.** Χάρτης NDVI των μετρήσεων που λήφθηκαν 1/7/2011 (α) της άνω κόμης, (β) της μέσης κόμης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ

Την Άνοιξη του έτους 2011 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο με τη μέθοδο της ανάλυσης εικόνων. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο καλοκαίρι με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν  $r=0,6$ . Ο χάρτης ανθοφορίας για την ποικιλία Coscia παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι η αρχική ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την τελική παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες όπως αραιώμα κλπ. Φαίνεται ότι ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Με τον τρόπο αυτό ο χάρτης ανθοφορίας μπορεί να είναι πολύ χρήσιμος για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις. Τα λιπάσματα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε μικρότερες δόσεις στις περιοχές του αγρού που ο αριθμός των ανθέων είναι χαμηλός και σε μεγαλύτερες δόσεις στις περιοχές του αγρού που ο αριθμός των ανθέων είναι υψηλός και έχουν υψηλό δυναμικό παραγωγής. Αν εφαρμοστούν μεγάλες δόσεις λιπασμάτων σε περιοχές του αγρού με χαμηλό δυναμικό παραγωγής, ευνοείται η υπερβολική ανάπτυξη βλάστησης η οποία προκαλεί σκίαση, ευαισθησία στις ασθένειες και ανταγωνισμό με την ανθοφορία του επόμενου έτους. Το τελευταίο συμβαίνει διότι η βλαστική ανάπτυξη ανταγωνίζεται τη δημιουργία ανθοφόρων οφθαλμών το καλοκαίρι και επομένως επηρεάζει την παραγωγή της επόμενης χρονιάς.

Ο χάρτης ανθοφορίας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή χημικού αραιώματος των καρπών με μεταβλητές δόσεις. Το χημικό αραιώμα εφαρμόζεται 10-15 ημέρες μετά την ανθοφορία. Το χημικό αραιώμα μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στις περιοχές του αγρού που ο αριθμός των ανθέων είναι υψηλός και όχι σε ολόκληρο τον αγρό. Με την εφαρμογή του χημικού αραιώματος με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιείται μικρότερη ποσότητα χημικού σκευάσματος και μπορεί να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.



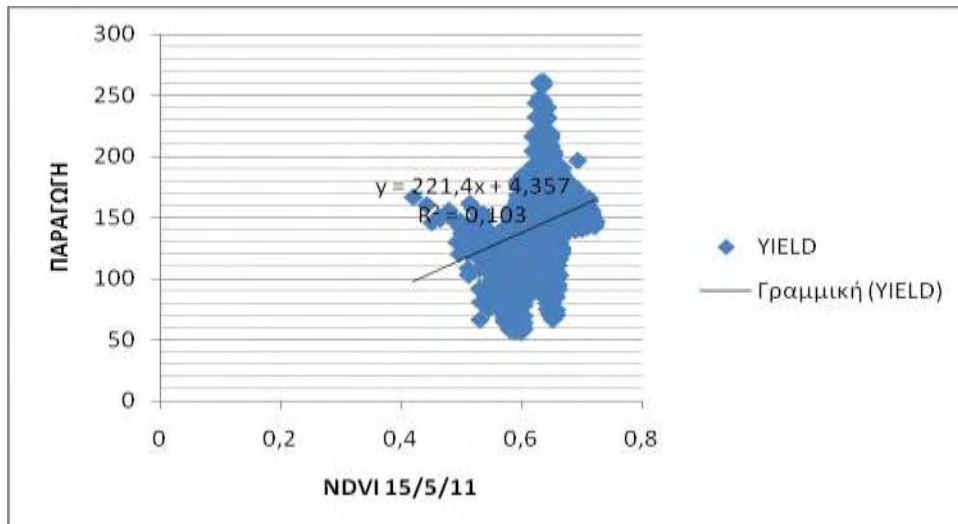
**Εικόνα 6.1.** Χάρτης ανθοφορίας έτους 2011 για την ποικιλία Coscia

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ NDVI

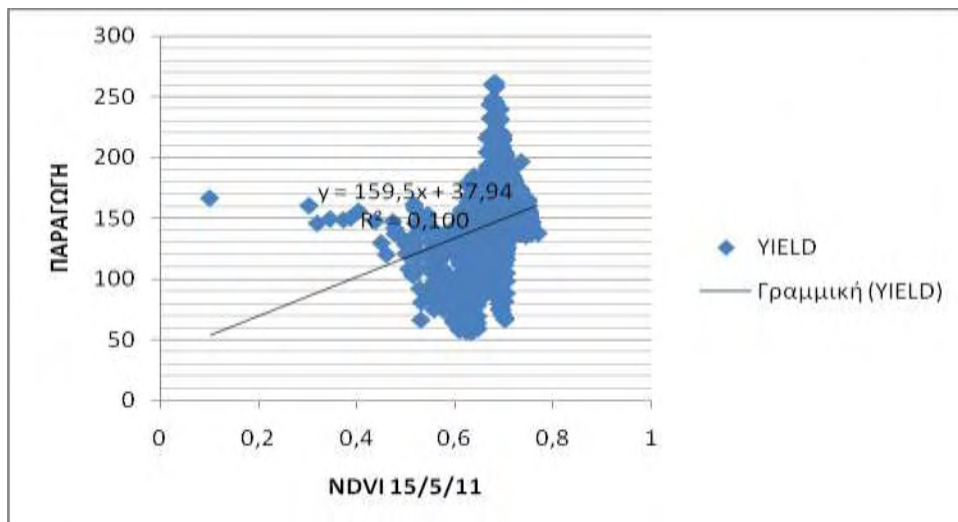
Για να πραγματοποιηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ παραγωγής και NDVI μετρήθηκε η παραγωγή και το NDVI των δέντρων του οπωρώνα. Οι συσχετίσεις για τις ημερομηνίες 15/5/11, 29/5/11, 17/6/11 και 1/7/11 παρουσιάζονται στις εικόνες 7.1, 7.2, 7.3 και 7.4 αντίστοιχα.

Για την πρώτη ημέρα μετρήσεων του NDVI μέσα στο Μάιο δηλαδή στις 15/5/2011 βρέθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και NDVI που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η παραγωγή ανά δέντρο αυξάνεται και η τιμή του NDVI. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν και για την άνω και για τη μέση κόμη  $r=0,3$ . Μέσα στο Μάιο πάρθηκε ακόμα μία μέτρηση NDVI στις 29/5/2011. Η συσχέτισή της με την παραγωγή βρέθηκε και αυτή θετική με συντελεστή συσχέτισης για την άνω κόμη  $r=0,3$  και για την μέση κόμη  $r=0,3$ . Επίσης θετική βρέθηκε και η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και του NDVI το οποίο μετρήθηκε στις 17/6/2011 με συντελεστή συσχέτισης για την άνω και τη μέση κόμη  $r=0,3$  και  $r=0,3$  αντίστοιχα. Τέλος, παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση με την παραγωγή και με τις μετρήσεις του NDVI στις 1/7/2011 με συντελεστή συσχέτισης  $r=0,2$  για την άνω και  $r=0,3$  για τη μέση κόμη. Οι συσχετίσεις που βρέθηκαν ήταν θετικές αλλά όχι σημαντικές. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να αποδίδεται στο γεγονός ότι η καλλιέργεια μπορεί να μην είχε φτάσει την πλήρη κάλυψη και η εδαφική έκθεση να είχε μεγιστοποιηθεί όταν λαμβάνονταν οι μετρήσεις του NDVI. Επίσης, τα μετεωρολογικά στοιχεία όπως η βροχόπτωση και οι καλλιεργητικές φροντίδες όπως η άρδευση μπορεί να επηρέασαν αυτή τη μικρή συσχέτιση. Όταν δεν υπάρχει πολύ νερό στο έδαφος τα καλύτερα δέντρα υπερτερούν έναντι των άλλων και είναι πιο πράσινα. Γι' αυτό και το αρχικό NDVI σχετίζεται με την παραγωγή. Μετά όταν γίνονται τα ποτίσματα όλα τα δέντρα δείχνουν καλά και δεν ξεχωρίζουν τα υγιή δέντρα από τα στρεσαρισμένα.



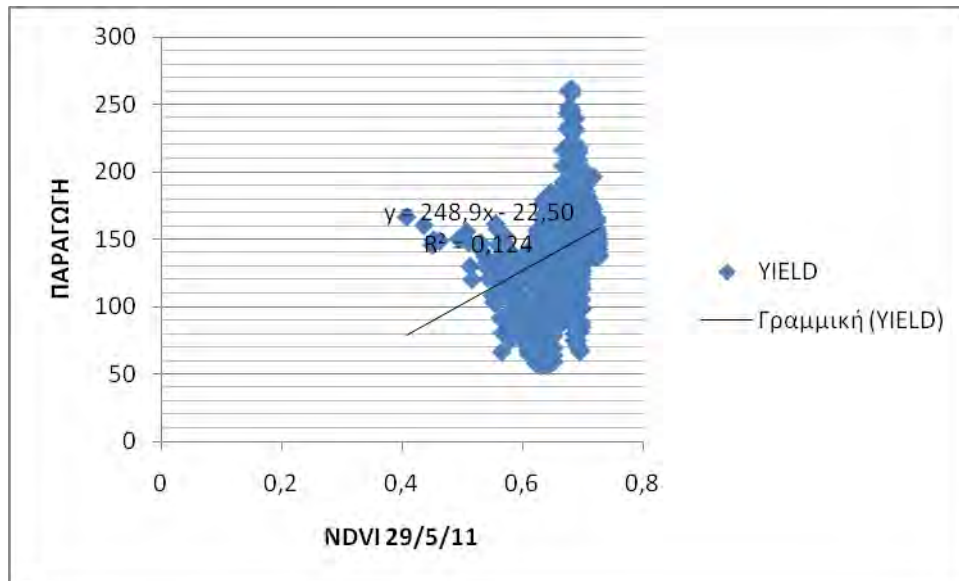


(α)

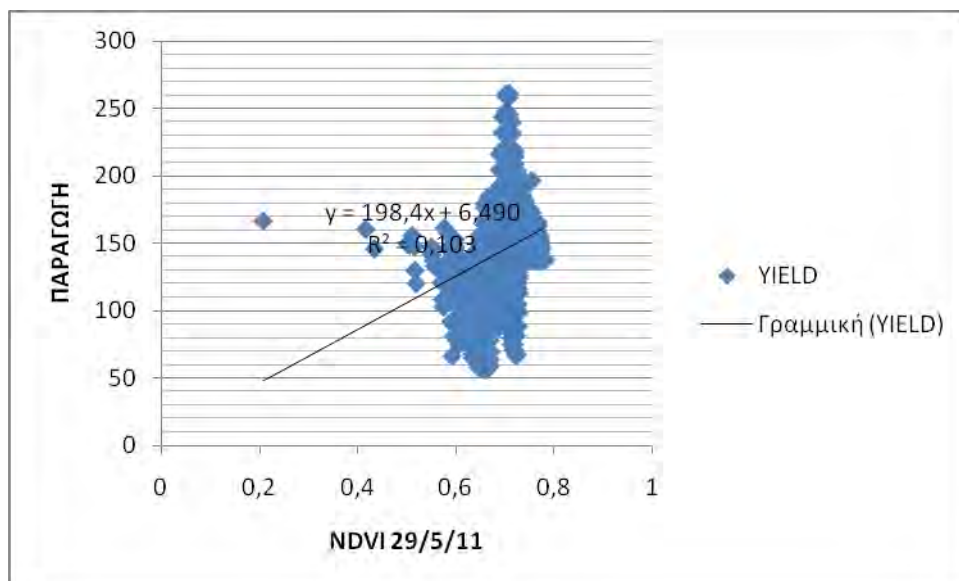


(β)

**Εικόνα 7.1.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 15/5/11 για (α) την άνω κόμη και (β) για τη μέση κόμη

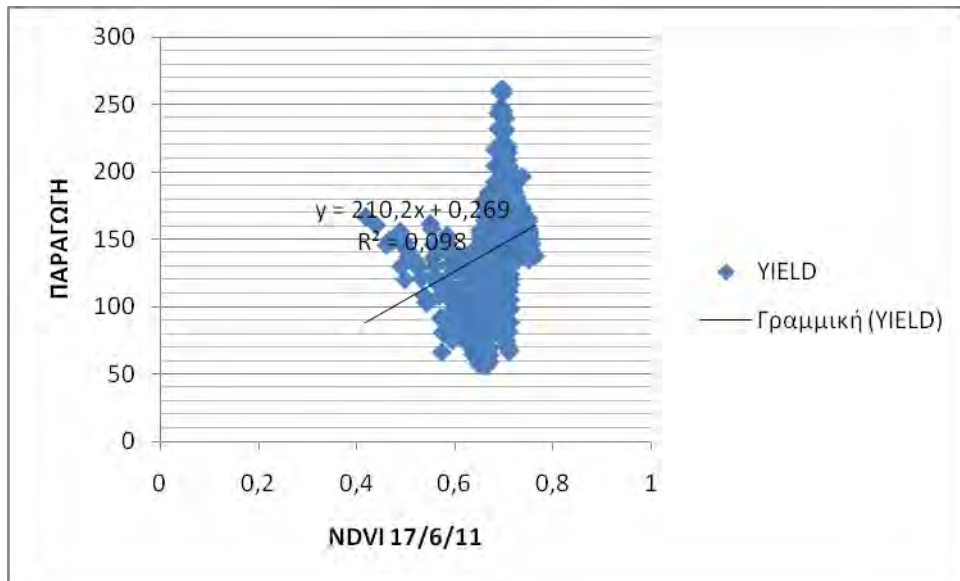


(α)

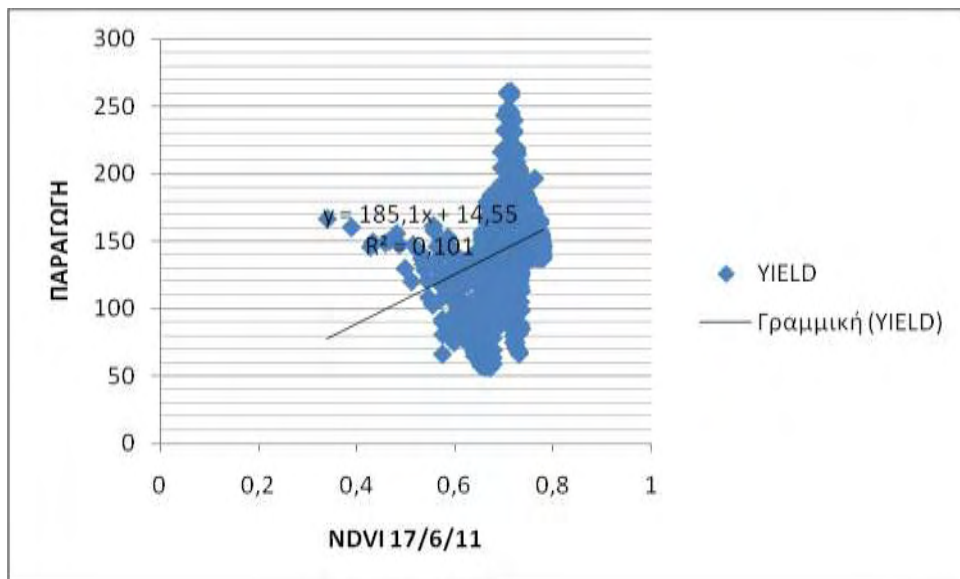


(β)

**Εικόνα 7.2.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 29/5/11 για (α) την άνω κόμη και (β) για τη μέση κόμη

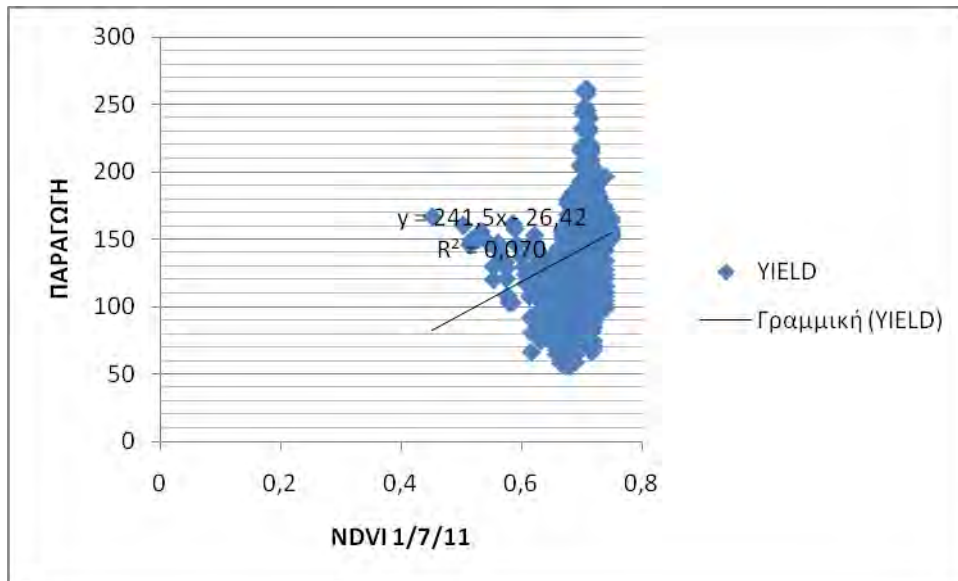


(α)

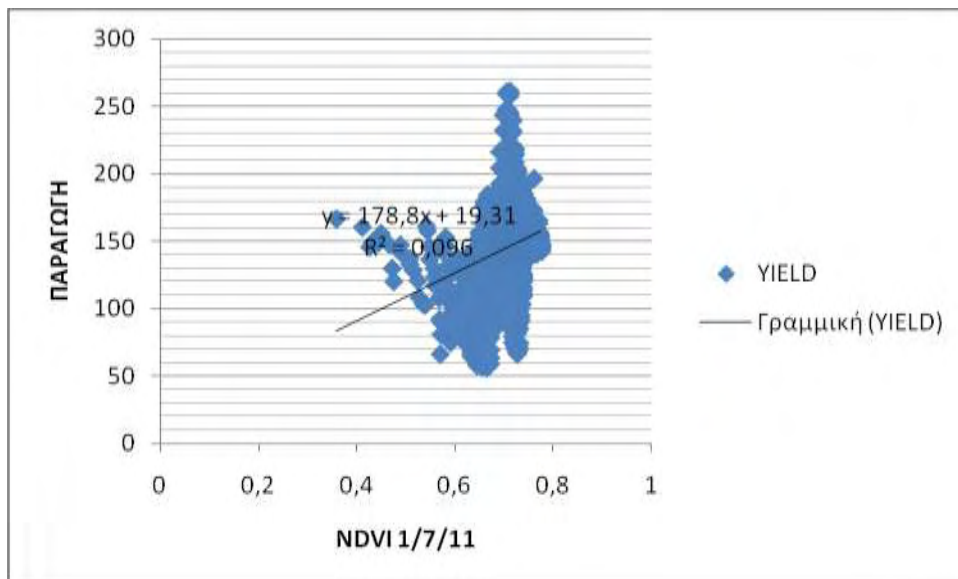


(β)

**Εικόνα 7.3.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 17/6/11 για (α) την άνω κόμη και (β) για τη μέση κόμη



(α)



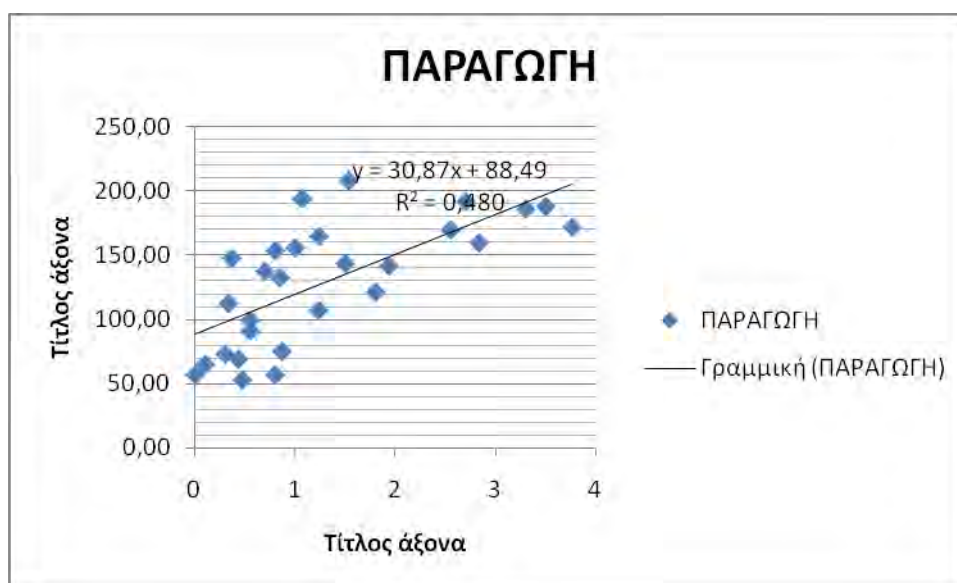
(β)

**Εικόνα 7.4.** Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και NDVI για την ημερομηνία 17/6/11 για (α) την άνω κόμη και (β) για τη μέση κόμη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ

Για να πραγματοποιηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας μετρήθηκε η παραγωγή και το ποσοστό των ανθέων ανά δέντρο. Η συσχέτιση παρουσιάζεται στο διάγραμμα 8.1.

Παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας για το έτος 2011 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται το ποσοστό της ανθοφορίας ανά δέντρο αυξάνεται και η παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν  $r=0,6$ .



Εικόνα 8.1. Διάγραμμα συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ανθοφορίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στην παραδοσιακή γεωργία η διαχείριση των αγρών γίνεται βάσει του μέσου όρου της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Με τον τρόπο αυτό οι εισροές (λιπάσματα, σπόρος, φυτοπροστατευτικές ουσίες, νερό άρδευσης) εφαρμόζονται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του αγρού. Όμως, όπως γνωρίζουμε, οι αγροί δεν είναι ομοιόμορφοι αλλά έχουν χωρική και χρονική παραλλακτικότητα σε πολλά χαρακτηριστικά. Η ομοιόμορφη εφαρμογή των εισροών έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή μεγαλύτερης ποσότητας εισροών από τις απαιτούμενες σε ορισμένες περιοχές του αγρού και την εφαρμογή μικρότερης ποσότητας εισροών από τις απαιτούμενες σε άλλες περιοχές του αγρού. Εκεί που εφαρμόζονται μικρότερες ποσότητες εισροών από τις απαιτούμενες η καλλιέργεια δε μπορεί να φτάσει στο δυναμικό παραγωγής της και πιθανόν να έχουμε μείωση των αποδόσεων. Αντίθετα, στις περιοχές που οι εισροές εφαρμόζονται σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις αναγκαίες, η καλλιέργεια δε μπορεί να αξιοποιήσει τις επιπλέον εισροές και έχουμε σπατάλη των εισροών, αρνητικές επιπτώσεις για το περιβάλλον γιατί οι επιπλέον εισροές μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση των νερών και του εδάφους, πιθανόν μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας και αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των προϊόντων.

Η Γεωργία Ακριβείας είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία οι εισροές και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών καθώς αυτές διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.

Η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας στις ΗΠΑ και στη Β.Ευρώπη όπου έχουν αναδειχθεί τα οφέλη από την εφαρμογή της. Στις δενδρώσεις καλλιέργειες έχει γίνει έρευνα κυρίως στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα στις ΗΠΑ σε εσπεριδοειδή.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και του NDVI καθώς και η σχέση της παραγωγής με το NDVI και την ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα αυτό. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένας εμπορικός οπωρώνας σε μια περιοχή που καλλιεργούνται

αχλάδια, στην περιοχή του Τυρνάβου Λάρισας στον οποίο έγιναν μετρήσεις για ένα έτος.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε ζυγίζοντας την παραγωγή ανά πέντε δέντρα και καταγράφοντας τις συντεταγμένες στο κέντρο της πεντάδας των δεντρών. Η χαρτογράφηση της παραγωγής έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν 32% που είναι πολύ σημαντικός. Η μέση παραγωγή για το έτος 2011 ήταν 134 κιλά/στρέμμα. Η μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή που βρίσκεται ο οπωρώνας είναι πεδινή και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες ίσως δεν είναι οι κατάλληλες για επίτευξη υψηλής παραγωγής.

Η χαρτογράφηση του NDVI έγινε λαμβάνοντας μετρήσεις NDVI και ταυτόχρονα καταγράφοντας τις συντεταγμένες των θέσεων της κάθε μέτρησης. Η χαρτογράφηση του NDVI έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στον οπωρώνα. Ο μέσος συντελεστής χωρικής παραλλακτικότητας για όλες τις μερήσεις NDVI ήταν 9%. Η μέση τιμή NDVI για τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας κυμαίνονταν από 0,64-0,72. Ένας λόγος της χωρικής παραλλακτικότητας στο NDVI θα μπορούσε να ήταν το γεγονός ότι αρκετά δέντρα είχαν αντικατασταθεί και στη θέση τους είχαν φυτευτεί καινούργια. Όσον αφορά τη συσχέτιση της παραγωγής με το NDVI από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι οι τιμές του NDVI σε όλα τα διαφορετικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας είχαν θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν σχεδόν για όλες τις ημερομηνίες  $r=0,3$ . Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η τιμή του NDVI φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες. Οι χάρτες NDVI θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής από πρόωρο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό γιατί μπορεί να επέμβει σε διάφορες καλλιεργητικές φροντίδες με σκοπό τη βελτίωση της κατάστασης των δέντρων και κατ' επέκταση της παραγωγής.

Η χαρτογράφηση της ανθοφορίας έγινε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της ανάλυσης εικόνων για την εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δύο δέντρα. Η παραγωγή των δέντρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο καλοκαίρι με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής

συσχέτισης ήταν  $r=0,6$ . Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες. Ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το ένα έτος του πειράματος παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στο NDVI, παρόλο το μικρό μέγεθος του οπωρώνα. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα Γεωργίας Ακριβείας στον οπωρώνα.

Η χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή ήταν 32%. Η χωρική παραλλακτικότητα στο NDVI για όλα τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν μικρότερη από την παραγωγή και κυμάνθηκε από 7-11%. Από το NDVI τη μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξε η μέτρηση που πάρθηκε στις 1/7/2011 για την άνω κόμη και τη μεγαλύτερη η μέτρηση που πάρθηκε την ίδια μέρα για τη μέση κόμη.

Ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας ήταν  $r=0,6$ . Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και του NDVI στα διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας ήταν μικρότεροι από τον συντελεστή συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής και της ανθοφορίας και κυμάνθηκαν από 0,2-0,3. Από τις συσχετίσεις μεταξύ παραγωγής και NDVI ο μικρότερος συντελεστής συσχέτισης ήταν για τις 1/7/2011 για την άνω κόμη ενώ όλοι οι συντελεστές συσχέτισης για τα υπόλοιπα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας πήραν τη μέγιστη τιμή συντελεστή συσχέτισης  $r$  που βρέθηκε.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα εργασία έγινε καταγραφή της χωρικής παραλλακτικότητας στην παραγωγή, το NDVI και στην ανθοφορία σε έναν οπωρώνα αχλαδιών, όπου έχουν συγκεντρωθεί στοιχεία για ένα έτος. Το αντικείμενο της έρευνας αυτής είναι πολύ καινοτόμο καθώς δεν υπάρχουν, από όσο γνωρίζουμε, εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας στα αχλάδια στην Ελλάδα. Για το λόγο αυτό η έρευνα αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί σε πολλούς τομείς μερικοί από τους οποίους είναι:

- Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων για την εξήγηση της παραλλακτικότητας. Το κλίμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που έχει επίδραση στην παραγωγή. Η χρήση των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί μέχρι τώρα και επιπλέον η καταγραφή κλιματικών δεδομένων σίγουρα θα δώσει κάποιες εξηγήσεις για την παραλλακτικότητα στην παραγωγή που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος οπωρώνας.
- Χρήση εδαφολογικών δεδομένων για την εξήγηση της παραλλακτικότητας. Μπορεί να γίνει μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, της περιεκτικότητας σε νερό, της μηχανικής σύστασης, της οργανικής ουσίας, αλατότητα και άλλα. Η μεταβλητότητα όλων αυτών των παραγόντων στην έκταση του χωραφιού είναι πιθανόν να προκαλεί την αντίστοιχη μεταβλητότητα της παραγωγής.
- Συνέχιση της χαρτογράφησης παραγωγής για τα επόμενα χρόνια στον οπωρώνα καθώς και σε άλλους οπωρώνες αχλαδιάς για να κατανοηθούν καλύτερα οι παράγοντες που προκαλούν την παραλλακτικότητα στην παραγωγή.
- Χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης για πρόβλεψη της παραγωγής. Έχει βρεθεί ότι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης όπως δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες εξάγουν δεδομένα δεικτών βλάστησης που σχετίζονται με την παραγωγή. Γι αυτό το λόγο με την επεξεργασία των δεδομένων τηλεπισκόπησης θα μπορούσε να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής.
- Δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι η σταθερότητα στο χρόνο. Γι αυτό και θα πρέπει να ληφθούν μετρήσεις για επιπλέον χρονιές για να μπορέσουν να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης στον οπωρώνα που είναι και το ζητούμενο της Γεωργίας

Ακριβείας για να δώσει τη δυνατότητα στον παραγωγό να διαφοροποιήσει τις εισροές.

- Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις. Το επόμενο στάδιο μετά τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι εφαρμογή των εισροών (σπόρος, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, νερό άρδευσης) ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε ζώνης. Η έρευνα μπορεί να συνεχιστεί για να μελετηθούν τα μακροχρόνια αποτελέσματα της εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις.
- Βελτίωση της διαδικασίας χαρτογράφησης παραγωγής. Για παράδειγμα η χαρτογράφηση της παραγωγής θα μπορούσε ήταν πιο αυτοματοποιημένη για να γίνει όλη η διαδικασία πιο εύκολη, πιο γρήγορη και πιο ακριβής καθώς ως τώρα απαιτεί τουλάχιστον ένα με δύο άτομα για την ταυτόχρονη καταγραφή της θέσης και της παραγωγής κατά τη συγκομιδή.
- Βελτίωση του συστήματος χαρτογράφησης ανθοφορίας. Στην παρούσα εργασία η χαρτογράφηση της ανθοφορίας έγινε με εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δέντρο λαμβάνοντας ψηφιακές φωτογραφίες από τα ανθισμένα δέντρα και η εκτίμηση των ανθέων ανά δέντρο έγινε χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό επεξεργασίας εικόνων. Μια εξέλιξη αυτής της μεθόδου θα μπορούσε να ήταν η λήψη φωτογραφιών με τη χρήση πολυφασματικής κάμερας πάνω σε όχημα.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Aggelopoulou, K., Rapos, E., Markinos, A., Nanos, G., Gemtos, T., 2005. Precision farming in apple orchard: correlating yield maps and quality. 5<sup>th</sup> European Conference for Precision Agriculture, June 2005, Upsala, Sweden. Book of abstracts, p 23-24.

Bala, S., Islam, S., 2008. Estimation of potato yield in and around Munshiganj using remote sensing NDVI data. Final Report R01/2008. Institute of Water and Flood Management Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka-1000, Bangladesh

Burgos-Artizzu, X., Ribeiro, A., Guijarro, M., Pajares, G., 2010. Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 75 (2011) 337-346.

Fountas, S., Blackmore, S., Gemtos, T., Markinos, A., 2004. Trend yield maps in Greece and the UK. 2<sup>nd</sup> HAICTA Conference Proceedings. Vol 2 p 309-319, Thessaloniki.

Gemtos, T., Markinos, A., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G., 2004. Precision farming applications in cotton fields of Greece. 2004 CIGR International Conference Beijing.

Gemtos, T., Markinos, A., Nassiou, T., 2005. Cotton lint quality spatial variability and correlation with soil properties and yield. Precision agriculture '05. Papers presented at the 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden 2005 pp. 361-368

Gemtos, T., Fontas, S., Markinos, A., Blackmore, S., Marques da Silva, J., 2005. Trend yield maps in irrigated and fed crops. ITAFE'05 - International congress on information technology in agriculture, food and environment. 12-14 October 2005, Adana, Turkey

Guijarro, M., Pajares, G., Riomoros, I., Herrera, P., Burgos-Artizzu, X., Ribeiro, A., 2010. Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images. *Computers and Electronics in Agriculture* 75 (2011) 75-83.

Gunnula, W., Kosittrakun, M., Righetti, T., Weerathaworn, P., Prabpan, M., 2011. Normalized difference vegetation index relationships with rainfall patterns and yield in small plantings of rain-fed sugarcane. *Australian Journal of Crop Science, AJCS* 5(13):1845-1851 (2011)

Guo, T., Kujirai, T., Watanabe, T., 2012. Mapping crop status from an unmanned aerial vehicle for Precision Agriculture applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and spatial information sciences, Volume XXXIX-B1*, 2012.

Hellebrand, H., Umenda, M., 2004. Soil and plant sensing for precision agriculture. 1st Asian Conference on Precision Agriculture, Kuala Lumpur Malaysia, 11-13 May 2004

Horticulture & Tropical Products Division, 2006. World pear situation: Driven by growing output in China, Global production continues to increase. March 2006 USDA/FAS. Online. Available at: [http://www.fas.usda.gov/ftp/Hort\\_Circular/2006/03-06/World%20Pear%20Situation%202005-06.pdf](http://www.fas.usda.gov/ftp/Hort_Circular/2006/03-06/World%20Pear%20Situation%202005-06.pdf)

Hutton-Squire, D., 2010. Precision Farming in orchard crops. Nuffield Farming Scholarships Trust A Worshipful Company of Fruiterer's Award. Online. Available at: [http://www.nuffieldinternational.org/rep\\_pdf/1295448688Doug\\_Hutton\\_Squire\\_edited\\_report2.pdf](http://www.nuffieldinternational.org/rep_pdf/1295448688Doug_Hutton_Squire_edited_report2.pdf)

Lee, W., Alchanatis, V., Yang, C., Hirafuji, M., Moschou, D., Li, C., 2010. Sensing technologies for precision specialty crop production. *Computers and Electronics in Agriculture* 74 (2010) 2-33.

Markinos, A., Gemtos, T., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G., 2002. Yield mapping of cotton crop in Greece. Παρουσίαση στα πλαίσια του διεθνούς συνεδρίου της Ελληνικής εταιρίας εφαρμογών πληροφορικής στη γεωργία. 1<sup>st</sup> HAICTA conference, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 6-7 Ιουνίου 2002, pp. 133-143.

Markinos, A., Gemtos, T., Pateras, D., Toullos, L., Zerva, G., Papaeconomou, M., 2004. The influence of cotton variety in the calibration factor of a cotton yield monitor. 2<sup>nd</sup> HAICTA Conference Proceedings. Vol 2 p 65-73, Thessaloniki.

Markinos, A., Papageorgiou, E., Stylios, C., Gemtos, T., 2007. Introducing fuzzy cognitive maps for decision making in precision agriculture. *Precision agriculture '07*. Papers presented at the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, 3-6 June, 2007 2007 pp. 223-231

Meuleman, K., Coppin, P., Debacker, S., Debruyn, W., Nackaerts, K., Scheunders, P., Sterckx, S., 2003. Optimal hyperspectral indicators for stress detection in orchards. Presented at the 3<sup>rd</sup> EARSel Workshop on Imaging Spectroscopy, Herrsching, 13-16 May 2003.

Panda, S., Hoogenboom, G., Paz, J., 2010. Remote Sensing and geospatial technological applications for site-specific management of fruit and nut crops: A review. *Remote Sensing* 2010, 2, 1973-1997.

Papageorgiou, E., Markinos, A., Gemtos, T., 2010. Soft computing technique of Fuzzy Cognitive Maps to connect yield defining parameters with yield in cotton crop production in Central Greece as a basis for a decision support system for precision agriculture application. *Studies in Fuzziness and Soft Computing* Volume 247, 2010, pp 325-362.

Paris, J., 2005. Precision Remote Sensing and image processing for Precision Agriculture. Presented to Colorado State University, Fort Collins, CO, October 20, 2005.

Pear Bureau Northwest's-Pear Encyclopedia, 2011. A guide to the most common pear varieties grown around the world, sorted in alphabetical order by variety. Online. Available at:  
<http://www.usapears.com/~media/Files/Research%20Website%20Docs/Pear%20Encyclopedia/Pear%20Encyclopedia%2003-2011.ashx>

Perez, A., Lopez, F., Benlloch, J., Christensen, S., 2000. Color and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (2000) 197-212.

Perry, E., Dezzani, R., Seavert, C., Pierce, F., 2010. Spatial variation in tree characteristics and yield in a pear orchard. *Precision Agric* (2010) 11:42-60.

Pokrajac, D., Lazarevic, A., Vucetic, S., Fiez, T., Obradovic, Z., 1999. Image Processing in Precision Agriculture. *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, 1999. 4th International Conference on 13-15 Oct. 1999, pp. 616 - 619 vol.2.

Rees, S., McCarthy, C., Artizzu, X., Baillie, C., Dunn, M., 2009. Development of a prototype precision spot spray system using image analysis and plant identification technology. In: *SEAg 2009: Agricultural Technologies in a Changing Climate*, 13-16 Sep 2009, Brisbane, Australia.

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). Online. Available at:  
[http://www.itc.nl/library/papers\\_2003/msc/nrm/sawasawa.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2003/msc/nrm/sawasawa.pdf)

Schellberg, J., Hill, M., Gerhards, R., Rothmund, M., Braun, M., 2008. Precision Agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *Europ. J. Agronomy* 29 (2008) 59-71.

Singh, A. Precision Farming. Water technology center, New Delhi – 110012. Online. Available at: <http://www.iasri.res.in/ebook/EBADAT/6-Other%20Useful%20Techniques/14-Precision%20Farming%20Lecture.pdf>

Snyder, R.L., Spano, D., Cesaraccio, C., Duce, P. 2002. Phenological responses of pear trees to heat units. *Proc. of the 16th International Congress on Biometeorology, Kansas City, Missouri, USA, 28 October – 1 November 2002*, 384-385.

Sokefeld, M., Keller, M., Weis, M., Gutjahr, C., Gerhards, R., 2012. Using bi-spectral imaging technology for simulated online-weed control in winter wheat and maize. 25<sup>th</sup> German Conference on weed biology and weed control, March 13-15, 2012, Braunschweig, Germany.

Tellaeche, A., BurgosArtizzu, X., Pajares, G., Ribeiro, A., 2007. A vision-based classifier in Precision Agriculture combining Bayes and support vector machines. In *Proc. IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing (WISP07)*. In *Conf. Proc. Book (J. Ureña, J.J. García, Eds.)*, pp. 425-430, A. Henares, Madrid, Spain, 2007.

Tisseyre, B. and Taylor, J., 2005. An overview of methodologies and technologies for implementing Precision Agriculture in viticulture. *XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia-Anais*.

Toulios, L., Pateras, D., Zerva, G., Gemtos, T., Markinos, A., 2005. Combining satellite images and cotton yield maps to evaluate field variability in precision farming. Poster in 5<sup>th</sup> European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden, 9-12 June 2005.



Vardoulis, G., Markinos, A., Aggelopoulou, K., Fountas, S., Gertsis, A., Gemtos, T., 2006. Crop variability in cotton fields. 3rd HAICTA, International Conference on: Information Systems in Sustainable Agriculture, Agroenvironment and Food Technology, 20-23 September, Volos, Greece.

Veltman, R., Kho, R., van Schaik, ., Sanders, M., Oosterhaven, J., 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology* 19 (2000) 129 – 137

Verma, T., Satpathy, S., Sharma, L., 2011. A step towards Precision Farming of rice crop by estimating loss caused by leaf blast disease using digital image processing and fuzzy clustering. *International Journal of Computer trends and Technology* – May to June Issue 2011.

Yang, C., Prasher, S., Landry, J., Perret, J., Ramaswamy, H., 2000. Recognition of weeds with image processing and their use with fuzzy logic for Precision Farming. *Canadian Agriculture Engineering*, vol. 42, No. 4 November 2000.

Zhang, M., O'Neill, M., Hendley, P., Drost, D., Ustin, S., 1998. Corn and soybean yield indicators using remotely sensed vegetation index. *Proc. of the 4th International Conference on Precision Agriculture* 2: 1475-1481.

## Ελληνική

Αγοράκη, Φ., 2004. Εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης της νήσου Λέσβου με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών & Τηλεπισκόπησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστημίου Αιγαίου στην ιστοσελίδα <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=9345>

AgroPlan Εγχειρίδιο Επαγγελματικής Κατάρτισης. Ενότητα 3: Αειφορική Γεωργία & Περιβάλλον στην ιστοσελίδα [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:v8IdhtB3CyQJ:www.infoil.gr/it/digital-library/doc\\_download/66----+%CE%91%CE%B5%CE%B9%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE+%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1+%26+%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD.&hl=el&gl=gr&pid=bl&srcid=ADGEESj84ObUWpG1bf14QHUrWrYiyT5P2nSIT1qhHW0NI88P2PetOTJtZoAChfXiRdi06YOKkUIIO-3-YssHnUC QiCYoThg\\_aHOrJBLfNQvTWrE5RTc21mgBkUIFBpMuZiZiOf0N9y&sig=AHIEtbRJXs58wRzro5MxoQKDEqyDR5q5aw](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:v8IdhtB3CyQJ:www.infoil.gr/it/digital-library/doc_download/66----+%CE%91%CE%B5%CE%B9%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE+%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1+%26+%CE%A0%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD.&hl=el&gl=gr&pid=bl&srcid=ADGEESj84ObUWpG1bf14QHUrWrYiyT5P2nSIT1qhHW0NI88P2PetOTJtZoAChfXiRdi06YOKkUIIO-3-YssHnUC QiCYoThg_aHOrJBLfNQvTWrE5RTc21mgBkUIFBpMuZiZiOf0N9y&sig=AHIEtbRJXs58wRzro5MxoQKDEqyDR5q5aw)

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 applications of Informatics in agriculture and rural environment). Τόμος επιστημονικών εργασιών της ΕΠΕΓΕ-Παράρτημα Β. Ελλάδας, σελ 41-51.

Γέμτος, Θ., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Blackmore, S., 2003. Γεωργία Ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Μάιος 29-31, 2003.

Ευαγγέλου, Α. και Τσαντίλας, Χ., 2012. Γεωργία Ακριβείας: Αποτελέσματα πειραματικών εφαρμογών σε καλλιέργεια βάμβακος στη Θεσσαλία. Ημερίδα i-adapt, Νέες Τεχνολογίες για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας στον Πηνειό Αποτελέσματα

Ερευνητικού Προγράμματος, Αθήνα 4/5/2012 στην ιστοσελίδα <http://i-adapt.gr/downloads/i-adapt-precision-agriculture-nagref.pdf>

Καρυδάς, Χ. και Συλλαίος, Ν., 2000. Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές. 2ο ειδικό συνέδριο “Πληροφορικά συστήματα στον Αγροτικό Τομέα” της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών, Χανιά, 10/2000, Πρακτικά: σελ. 134-146.

Καρυδάς, Χ., και Συλλαίος, Ν., 2000. Πεδία και τρόποι καταγραφής της παραλλακτικότητας στη Γεωργία Ακριβείας στην ιστοσελίδα [http://users.auth.gr/silleos/new\\_page\\_6.htm](http://users.auth.gr/silleos/new_page_6.htm)

Μαρκινός, Α., Γέμτος, Θ., Τούλιος, Λ., Πατέρας, Δ., Ζερβά, Γ., Παπαοικονόμου, Μ., 2003. Γεωργία Ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλ. αγωγιμότητας. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Μάιος, 29-31, 2003.

Μαρκογιάννη, Β., 2010. Χωροχρονικές μεταβολές βλάστησης και χρήσεων γης σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης της τεχνητής Λ. Πλαστήρα με χρήση GIS και δεδομένων Τηλεπισκόπησης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Μηνοπούλου, Χ., 2007. Ανάπτυξη καρπών μηλιάς και αχλαδιάς και φυσικοχημικές μεταβολές τους. Πτυχιακή εργασία-Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας-Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, 2007.

Μιχαηλίδης Α, Σαμαθρακής Β, Χατζηθεοδωρίδης Φ, Λοΐζου Ε, 2010. Διάχυση – Υιοθέτηση της Γεωργίας Ακριβείας: Συγκριτική Ανάλυση μεταξύ των Περιφερειών της Ελλάδας, σελ. 123 -140. Στο Αραμπατζής Γ., Σαμαθρακής Β., Ματόπουλος Α., Μπουρνάρης Θ., (επιμ.), Καινοτόμες Εφαρμογές της Πληροφορικής στον Αγροτικό Τομέα και το Περιβάλλον, 3ος Τόμος Επιστημονικών Εργασιών, Ελληνική Εταιρεία Πληροφορικής και Επικοινωνιών στη Γεωργία, στα Τρόφιμα και στο Περιβάλλον (ΕΠΕΓΕ), Θεσσαλονίκη.

Μόσχος, Θ., 2012. Γεωργικές Προειδοποιήσεις – Περιοχή Κεντρικής Ελλάδας-Τεχνικό Δελτίο 2012.

Μπέλεσης, Α., 2012. Αναθεώρηση και τροποποίηση του γενικού πολεοδομικού σχεδίου δήμου Τύρναβου (Στάδιο Α Προκαταρκτική Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας) στην ιστοσελίδα [http://www.tirnavos.gr/images/pdf/tehniki/geologiki\\_meleti.pdf](http://www.tirnavos.gr/images/pdf/tehniki/geologiki_meleti.pdf)

Μυγδάκος, Ε., Γέμτος, Θ., Μαρκινός, Α., 2004. Εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού στην Ελλάδα: Κόστος εφαρμογής και οικονομικά αποτελέσματα. Συνέδριο της ΕΤΑΓΡΟ, Πρακτικά σε CD Θεσσαλονίκη.

Πιτσιλίδου, Ε., 2011. Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων κατά τα έτη 2007-2009 με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Modis. Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.

Σταματιάδης, Σ., 2011. Η Γεωργία Ακριβείας στην καλλιέργεια βάμβακος. Νέες τεχνικές καλλιέργειας. Μάρτιος 2011 στην ιστοσελίδα [www.agronews.gr](http://www.agronews.gr).

Σταματιάδης, Σ., 2010. Νέες τεχνολογίες στη γεωργία-Λίπανση αζώτου στην ιστοσελίδα [http://www.hydrosense.org/eDocuments/Lipansi\\_kaliergeiwn.pdf](http://www.hydrosense.org/eDocuments/Lipansi_kaliergeiwn.pdf)

Τσαντήλας, Χ. και Ευαγγέλου, Α. Εφαρμογή μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας Ινστιτούτο Χαρτογράφησης και Ταξινόμησης Εδαφών.

Τσελής, Δ. και Κυριακάρκος, Γ. 2011. Νέες τεχνολογίες στη γεωργία-Γεωργία Ακριβείας. Πρόγραμμα Γ.Γ.Ν.Γ.: Επιστημονική Υποστήριξη Νέων Αγροτών, Τ.Ε.Ι. Πειραιά.

Φτάκα, Α., 2006. Η Γεωργία Ακριβείας ως εργαλείο της γεωργικής πρακτικής για την αειφόρο ανάπτυξη. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

