

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

‘Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη διαχείριση οπωρώνων  
μηλιάς’

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Γ. ΛΙΑΚΟΣ

Βόλος, 2013

‘Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη διαχείριση οπωρώνων  
μηλιάς’

**Τριμελής Συμβουλευτική επιτροπή (αλφαβητική σειρά)**

ΓΕΜΤΟΣ Θ. (επιβλέπων)	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ
ΝΑΝΟΣ Γ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑ
ΦΟΥΝΤΑΣ Σ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝ/ΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ

**Επταμελής Εξεταστική επιτροπή (αλφαβητική σειρά)**

ΓΕΜΤΟΣ Θ. (επιβλέπων)	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ
ΓΡΑΒΑΛΟΣ Ι.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΙΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΜΠΑΡΤΖΑΝΑΣ Θ.	ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ Β΄
ΕΚΕΤΑ	ΙΕΤΕΘ
ΝΑΚΑΣ Χ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΒΙΟΜΕΤΡΙΑ
ΝΑΝΟΣ Γ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝ/ΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑ
ΠΑΤΕΡΑΣ Δ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΙΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΦΟΥΝΤΑΣ Σ.	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝ/ΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Βασίλειος Γ. Λιάκος, 2013. Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε καλλιέργειες μήλων, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία, Βόλος, Ελλάδα.**

Η καλλιέργεια μήλων είναι διαδεδομένη τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Η εμπορία των μήλων είναι πολύ ανταγωνιστική καθώς οι απαιτήσεις των καταναλωτών για προϊόντα υψηλής ποιότητας είναι πολύ μεγάλες. Παράλληλα οι παραγωγοί μήλων αναζητούν νέες καλλιεργητικές πρακτικές για να μειώσουν το κόστος παραγωγής το οποίο είναι πολύ αυξημένο λόγω του υψηλού κόστους εργασίας. Τέλος η ευρωπαϊκή ένωση ορίζει ολοένα και αυστηρότερους νόμους για τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της Γεωργίας στο περιβάλλον, ενώ υπάρχει μια γενική ευαισθησία της κοινωνίας στις μέρες μας για την προστασία του περιβάλλοντος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας βοήθησε στην ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας η οποία έχει ως βασικό στόχο τη διαχείριση της παραλλακτικότητας που εμφανίζουν τα αγροκτήματα για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και αύξηση της οικονομικότητας των αγροκτημάτων.

Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας ήταν η μελέτη και η διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας οπωρώνων μήλων με την εφαρμογή μεθόδων γεωργίας ακριβείας. Κύριος σκοπός της έρευνας ήταν η δημιουργία νέων μεθόδων πρόβλεψης της τελικής παραγωγής και ο διαχωρισμός ζωνών διαχείρισης εντός των οπωρώνων για τη δημιουργία διαφοροποιούμενης λίπανσης. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο εμπορικοί οπωρώνες στην περιοχή της Αγίας Λάρισας στους οποίους έγιναν πειράματα για τρία συνεχόμενα έτη.

Στη διάρκεια τριών ετών οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν: η χαρτογράφηση της παραγωγής, η χαρτογράφηση της ποιότητας των καρπών (βάρος καρπού, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά, οξύτητα του χυμού, pH χυμού), η χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών, η χαρτογράφηση της ανθοφορίας των δένδρων, η χαρτογράφηση του τοπογραφικού αναγλύφου των οπωρώνων, η χαρτογράφηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους (μηχανική σύσταση, περιεκτικότητα σε κάλιο, ασβέστιο και οργανική ουσία) και η χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Για την ανάλυση των δεδομένων αρχικά οι οπωρώνες χωρίστηκαν σε κελιά με σταθερό μέγεθος (κύριος 20m x 18m και δευτερεύον 15m x 4m). Για κάθε κελί εξετάστηκε η μέση τιμή

του κάθε χαρακτηριστικού που μετρήθηκε. Με βάση τη μέση τιμή, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες που επέτρεπαν την εύκολη σύγκριση των τιμών του κάθε κελιού για κάθε χαρακτηριστικό που μετρήθηκε.

Στη συνέχεια υπολογίζονταν για κάθε χάρτη τα περιγραφικά στατιστικά των υπό μελέτη χαρακτηριστικών όπως μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων, στη διαμόρφωση της κόμης και της άνθισης των δένδρων και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας επιτρέπει την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στους οπωρώνες και υποδηλώνει ότι θα υπάρξουν οφέλη από την εφαρμογή της.

Η παραλλακτικότητα της παραγωγής έδειξε ότι είναι σημαντική τόσο στον κύριο (60,9%) όσο και στον δευτερεύοντα οπωρώνα (50%). Η χωρική παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών ήταν σχετικά μικρή και στους δύο οπωρώνες (7% - 15%). Παρόμοια χωρική παραλλακτικότητα σημειώθηκε και από τις μετρήσεις της ευρωστίας της κόμης των δένδρων (2,8% - 18,3%). Όσον αφορά στη χωρική παραλλακτικότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών, η άργιλος, η άμμος, η ιλύς, η οργανική ουσία και το ασβέστιο παρουσίασαν μέτρια χωρική παραλλακτικότητα (15,9% - 20%) ενώ η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα και το κάλιο εμφάνισαν μεγαλύτερη παραλλακτικότητα (25,8% και 39,3% αντίστοιχα).

Για την πρόβλεψη της παραγωγής, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της ανθοφορίας και της ευρωστίας των δένδρων. Με βάση την χαρτογράφηση της ανθοφορίας μπόρεσε να γίνει πρόβλεψη της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής από τα μέσα Απριλίου. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό καθώς μπορεί να προσαρμόσει τις εισροές ανάλογα με την παραλλακτικότητα των ανθέων και να αυξήσει το κέρδος του. Με την χαρτογράφηση του δείκτη ευρωστίας των δένδρων (NDVI) έγινε πρόβλεψη της παραγωγής με βάση τις μετρήσεις των πρώτων ημερών του Ιουνίου.

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της ασαφούς λογικής από χρόνο σε χρόνο. Απεδείχθη ότι οι ζώνες διαχείρισης δεν ήταν σταθερές στη διάρκεια του χρόνου δηλαδή υπήρχε χρονική παραλλακτικότητα.

Με βάση τις πραγματικές ανάγκες των φυτών σε άζωτο έγινε εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Οι δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν στηρίχτηκαν στην ποσότητα του αζώτου που αφαιρείται με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Τα αποτελέσματα των εφαρμογών λίπανσης με μεταβλητές δόσεις έδειξαν ότι η μείωση του λιπάσματος την πρώτη χρονιά της εφαρμογής ήταν 32,4 % και το κέρδος του παραγωγού αυξήθηκε κατά 21%. Τη δεύτερη χρονιά η ποσότητα του λιπάσματος μειώθηκε κατά 56,6% και το κέρδος του παραγωγού αυξήθηκε κατά 9%. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ποιότητα των καρπών μετά την εφαρμογή της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις βελτιώθηκε σημαντικά σε σχέση με την ποιότητα των μήλων όπου είχε γίνει ομοιόμορφη εφαρμογή του λιπάσματος.

Η σημασία των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας είναι σημαντική καθώς μπορούν να δοθούν λύσεις στα προβλήματα που δημιουργούνται στον γεωργικό τομέα. Με την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις το κέρδος του παραγωγού αυξάνεται. Ακόμη οι καταναλωτές καλύπτουν την ανάγκη τους για υψηλής ποιότητας προϊόντα καθώς τα φρούτα που παράγονται είναι πολύ καλύτερης ποιότητας και πιο υγιεινά αφού χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερες ποσότητες λιπάσματος. Επίσης λόγω της χρήσης μικρότερης ποσότητας αγροχημικών ουσιών η ρύπανση του περιβάλλοντος περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης βασισμένες στην παραλλακτικότητα των ανθέων είναι πολύ σημαντική για τους παραγωγούς καθώς μπορούν να ξέρουν κάθε χρόνο ποιος τρόπος διαχείρισης των οπωρώνων τους είναι πιο αποδοτικός. Τέλος η θετική συσχέτιση της παραλλακτικότητας των ανθέων και της παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI με την τελική παραγωγή βοηθά τους παραγωγούς να κατανοήσουν και να προβλέψουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Η διαμόρφωση ζωνών διαχείρισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων και άλλων εισροών όπως η άρδευση και η εφαρμογή παρασιτοκτόνων αλλά και καλλιεργητικών πρακτικών όπως το αραίωμα των καρπών ή το κλάδεμα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής είναι σημαντικά τόσο για τους παραγωγούς, όσο και για τους καταναλωτές. Γι' αυτό το λόγο η έρευνα θα πρέπει να συνεχιστεί και στα επόμενα χρόνια. Μια ενδιαφέρουσα επέκταση της έρευνας είναι η μελέτη της επίδρασης της μεταβλητής λίπανσης, που εφαρμόστηκε τα δύο χρόνια, στα θρεπτικά συστατικά του εδάφους. Γι' αυτό θα πρέπει να γίνουν αναλύσεις εδάφους και να συσχετιστούν τα αποτελέσματα με τις ποσότητες λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να γίνουν περισσότερες εφαρμογές λίπανσης με μεταβλητές δόσεις για να εξακριβωθεί ποιο είναι ακριβώς το κέρδος του

παραγωγού και από ποιους παράγοντες επηρεάζεται. Αξίζει να σημειωθεί ότι θα πρέπει να αναπτυχθεί ένα αυτοματοποιημένο σύστημα εφαρμογής λιπάσματος έτσι ώστε η εφαρμογή να μη γίνεται με το χέρι. Η θετική συσχέτιση μεταξύ δείκτη NDVI και ανθοφορίας με την παραγωγή θα πρέπει να αξιολογηθεί. Συγκεκριμένα θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός ζωνών διαχείρισης στους οπωρώνες που να βασίζεται στις τιμές του NDVI ή στην ανθοφορία των δένδρων, να εφαρμοστεί μεταβλητή λίπανση σύμφωνα με τις ζώνες αυτές και να αξιολογηθεί η παραγωγή που θα προκύψει. Παράλληλα θα πρέπει να ανακαλυφθούν νέοι τρόποι ανάλυσης των δεδομένων που να εξασφαλίζουν απλότητα στην επεξεργασία των δεδομένων και αξιόπιστα αποτελέσματα. Επιπλέον θα πρέπει να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία χαρτογράφησης της ανθοφορίας. Μια πρόταση είναι η χρήση βιντεοκάμερας για την καταγραφή της κόμης των δένδρων όταν αυτά βρίσκονται σε πλήρη ανθοφορία και η ανάλυση των καρτέ του βίντεο. Τέλος θα πρέπει να γίνει χρήση τεχνολογίας LASER για να καταγραφεί ο όγκος της κόμης των δένδρων πριν και μετά το κλάδεμα και να εκτιμηθεί ο όγκος των κλαδιών που αφαιρούνται με το κλάδεμα. Η εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης στηριζόμενη στις απώλειες των θρεπτικών συστατικών που προκαλούνται τόσο από την συγκομιδή των καρπών όσο και από την απομάκρυνση των κλαδιών από τον οπωρώνα ίσως αποδειχθεί πολύ αποδοτική.

Λέξεις κλειδιά: οπωρώνες, NDVI, παραλλακτικότητα, λίπανση, πρόβλεψη παραγωγής.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Θεοφάνη Γέμτο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, ο οποίος στα τέλη του 2009 με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το ενδιαφέρον θέμα σχετικά με την γεωργία ακριβείας και στη συνέχεια με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε αμέριστα καθόλη τη διάρκεια της διατριβής. Τον ευχαριστώ με όλη μου την καρδιά για την εμπιστοσύνη και την αγάπη με την οποία με περιέβαλε και για την ιδανική συνεργασία μας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά:

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών και επιβλέποντα της διατριβής κ. Σπύρο Φουντά για την εμπιστοσύνη και την άριστη συνεργασία που είχαμε. Τον ευχαριστώ θερμά για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου έδωσε όλα αυτά τα χρόνια αλλά και για τον χρόνο που διέθεσε για να έρθει εις πέρας η διδακτορική διατριβή.

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας κ. Γεώργιο Νάνο, μέλος της τριμελούς επιτροπής, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε θέματα δενδροκομίας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της έρευνας και τις υποδείξεις του στη διαμόρφωση της διατριβής. Τον ευχαριστώ θερμά για το χρόνο που διέθεσε και για την καθοδήγηση και συμπαράσταση που μου προσέφερε.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Ερευνητή Β' κ. Μπαρτζάνα Θωμά, τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας κ. Νάκα Χρήστο και τους Καθηγητές του ΤΕΙ Λάρισας κ. Γράβαλο Ιωάννη και κ. Πατέρα Δημήτρη.

Τους φίλους και συνεργάτες στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, τον Δρ. Χρήστο Καβαλάρη, τον κ. Χρήστο Καραμούτη, την κ. Βατσανίδου Άννα, τον κ. Ταγαράκη Αριστοτέλη, τον κ. Τσιρόπουλο Ζήση, τον κ. Ντογκούλη Παναγιώτη και τον κ. Χατζηνίκο Θανάση για την υπέροχη συνεργασία που είχαμε αλλά και για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της έρευνας.



Την οικογένεια του κ. Χρήστου Παπαστεργίου που μας διέθεσαν τους οπωρώνες τους για τα τρία έτη για τη διεξαγωγή των πειραμάτων και για την άψογη συνεργασία μας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την κατανόηση που έδειξαν και την ηθική στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
Γενικά.....	1
Διαπίστωση του προβλήματος.....	7
Ερευνητική υπόθεση.....	7
Σκοπός της εργασίας.....	8
Επιμέρους στόχοι της εργασίας.....	8
Δομή της εργασίας.....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης.....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Εισαγωγή.....	12
2.1.2 Διάφορα συστήματα πάγκόσμιου εντοπισμού θέσης.....	13
2.1.3 Χρήση GNSS στη γεωργία.....	17
<b>2.2 Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης στη Γεωργία.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Χαρτογράφηση παραγωγής.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής.....	20
2.3.2 Χαρτογράφηση παραγωγής σε γραμμικές καλλιέργειες.....	23
2.3.3 Χαρτογράφηση παραγωγής σε δενδρώδεις καλλιέργειες.....	24
<b>2.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων.....</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους.....</b>	<b>27</b>
<b>2.6 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....</b>	<b>28</b>
2.6.1 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	30
2.6.2 Εφαρμογές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη γεωργία.....	32
<b>2.7 Τηλεπισκόπηση.....</b>	<b>34</b>
2.7.1 Γενικά.....	34
2.7.2 Χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία.....	35
2.7.3 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	36
2.7.4 Δείκτες βλάστησης.....	37
2.7.5 Χρήση του δείκτη NDVI στη γεωργία.....	39
<b>2.8 Ζώνες διαχείρισης.....</b>	<b>41</b>
<b>2.9 Εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών.....</b>	<b>44</b>
<b>2.10 Γενικά για τα μήλα.....</b>	<b>46</b>

2.10.1 Βοτανική ταξινόμηση και περιγραφή.....	47
2.10.2 Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος και νερό.....	48
2.10.3 Ο ρόλος των θρεπτικών συστατικών του εδάφους.....	49
2.10.4 Συγκομιδή.....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Περιγραφή των πειραμάτων.....</b>	<b>53</b>
3.1.1 Κύριος πειραματικός οπωρώνας.....	53
3.1.2 Δευτερεύον πειραματικός οπωρώνας.....	54
<b>3.2 Μετρήσεις.....</b>	<b>55</b>
3.2.1 Πρώτος πειραματικός οπωρώνας.....	55
3.2.1.1 Μέθοδος χαρτογράφησης των ιδιοτήτων που εξετάστηκαν.....	55
3.2.1.2 Χαρτογράφηση παραγωγής.....	55
3.2.1.3 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών.....	56
3.2.1.4 Χαρτογράφηση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους.....	58
3.2.1.5 Χαρτογράφηση ανθοφορίας.....	63
3.2.1.5.α Ανάλυση φωτογραφιών που ελήφθησαν με την απλή φωτογραφική μηχανή.....	66
3.2.1.5.β Ανάλυση πολυφασματικών εικόνων.....	68
3.2.1.6 Χαρτογράφηση ευρωστίας των φυτών.....	70
3.2.1.7 Χαρτογράφηση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.....	73
3.2.1.8 Χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου.....	76
3.2.1.9 Δημιουργία ζωνών διαχείρισης.....	78
3.2.2 Δεύτερος πειραματικός οπωρώνας.....	79
3.2.2.1 Χαρτογράφηση παραγωγής.....	79

3.2.2.2 Λίπανση με μεταβλητές δόσεις.....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>86</b>
4.1 Τοπογραφικό ανάγλυφο του κύριου οπωρώνα.....	86
4.2. Χαρτογράφηση εδαφικών χαρακτηριστικών.....	87
4.3 Χαρτογράφηση παραγωγής.....	96
4.4 Χαρτογράφηση ευρωστίας των φυτών.....	100
4.5 Χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών.....	115
4.6 Χαρτογράφηση ανθοφορίας – Σύγκριση ανθέων με παραγωγή.....	121
4.7 Συσχέτιση παραγωγής με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των φρούτων.....	128
4.8 Συσχέτιση παραγωγής με εδαφικά χαρακτηριστικά.....	130
4.9 Δημιουργία ζωνών διαχείρισης.....	132
4.10 Συσχέτιση παραγωγής και δείκτη NDVI.....	137
4.11 Χαρτογράφηση τοπογραφικού αναγλύφου του δευτερεύοντα οπωρώνα...	140
4.12 Χαρτογράφηση παραγωγής δευτερεύοντος οπωρώνα.....	142
4.13 Εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις.....	145
4.14 Επίδραση της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις στα ποιοτικά χαρακτηριστικά και την παραγωγή.....	148
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>152</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>167</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....</b>	<b>169</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>171</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1 Μεταβλητές δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν.....	83
Πίνακας 4.1. Περιγραφικά στατιστικά των εδαφικών χαρακτηριστικών.....	95
Πίνακας 4.2. Περιγραφικά χαρακτηριστικά της παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος .....	96
Πίνακας 4.3. Μετεωρολογικά στοιχεία Μαρτίου και Απριλίου για τα τρία έτη.....	98
Πίνακας 4.4. Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI.....	105
Πίνακας 4.5. Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI.....	110
Πίνακας 4.6. Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI.....	114
Πίνακας 4.7. Περιγραφικά στατιστικά των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φρούτων.....	121
Πίνακας 4.8. Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2010.....	129
Πίνακας 4.9. Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2011.....	129
Πίνακας 4.10. Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2012.....	130
Πίνακας 4.11. Συσχετίσεις εδαφικών χαρακτηριστικών και αναγλύφου με τις καταγεγραμμένες παραγωγές των τριών ετών.....	132
Πίνακας 4.12. Δείκτες FPI και NCE για τα δεδομένα παραγωγής και ανθέων.....	133
Πίνακας 4.13. Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2010.....	138
Πίνακας 4.14. Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2011.....	139
Πίνακας 4.15. Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2012.....	140
Πίνακας 4.16. Περιγραφικά στατιστικά της παραγωγής στα τρία έτη του πειράματος.....	142
Πίνακας 4.17. Οικονομική ανάλυση για το έτος 2011.....	147
Πίνακας 4.18. Οικονομική ανάλυση για το έτος 2012.....	148
Πίνακας 4.19. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και της παραγωγής στις περιοχές όπου έγινε ομοιόμορφη λίπανση.....	149

**Πίνακας 4.20.** Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και της παραγωγής στις περιοχές όπου έγινε μεταβλητή λίπανση.....**149**

**Πίνακας 4.21.** Μεταβολές που προκάλεσε η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση.....**150**

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> Ο παραγωγός οργώνει το χωράφι του με την βοήθεια των ζώων.....	<b>1</b>
<b>Εικόνα 1.2</b> Σύγχρονος γεωργικός ελκυστήρας.....	<b>3</b>
<b>Εικόνα 1.3.</b> Ο γεωργικός ελκυστήρας του μέλλοντος.....	<b>3</b>
<b>Εικόνα 2.1.</b> Αναπαράσταση της τεχνολογία.....	<b>15</b>
<b>Εικόνα 2.2.</b> Αναπαράσταση της επικοινωνίας των δεκτών με τη χρήση RTK τεχνολογίας.....	<b>16</b>
<b>Εικόνα 2.3.</b> Εμπορικό σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής.....	<b>21</b>
<b>Εικόνα 2.4.</b> Τρόπος λειτουργίας του Veris.....	<b>30</b>
<b>Εικόνα 2.5.</b> Τρόπος λειτουργίας συσκευών με την μέθοδο της επαγωγής.....	<b>31</b>
<b>Εικόνα 2.6.</b> Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα διάφορα φάσματα.....	<b>37</b>
<b>Εικόνα 3.1.</b> Κύριος πειραματικός οπωρώνας.....	<b>54</b>
<b>Εικόνα 3.2.</b> Ο δευτερεύον πειραματικός οπωρώνας.....	<b>54</b>
<b>Εικόνα 3.3.</b> Πλαστικά τελάρα, κατά μήκος των σειρών, γεμάτα με μήλα.....	<b>56</b>
<b>Εικόνα 3.4.</b> Η ζυγαριά που χρησιμοποιήθηκε.....	<b>57</b>
<b>Εικόνα 3.5.</b> Το ηλεκτρικό πενετρόμετρο.....	<b>58</b>
<b>Εικόνα 3.6.</b> Το ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο.....	<b>58</b>
<b>Εικόνα 3.7.</b> Κόσκινο 2mm.....	<b>59</b>
<b>Εικόνα 3.8.</b> Οι ηλεκτρικοί αναδευτήρες.....	<b>60</b>
<b>Εικόνα 3.9.</b> Οι φιάλες που χρησιμοποιήθηκαν γεμάτες με εδαφικό διάλυμα.....	<b>61</b>
<b>Εικόνα 3.10.</b> Εμπορική φωτογραφική μηχανή.....	<b>64</b>
<b>Εικόνα 3.11.</b> Η πολυφασματική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε.....	<b>64</b>
<b>Εικόνα 3.12.</b> Το σύστημα φωτογράφησης των ανθέων.....	<b>65</b>

<b>Εικόνα 3.13.</b> a) πρίν την ανάλυση, b) μετά την ανάλυση που περιγράφηκε παραπάνω, c1) and c2) τα αποτελέσματα της ανάλυσης.....	<b>68</b>
<b>Εικόνα 3.14.</b> a1) and a2) οι φωτογραφίες όπως καταγράφηκαν με την πολυφασματική κάμερα, b) η ένωση των δύο φωτογραφιών, c) τελική εικόνα δείχνοντας το NDVI των αντικειμένων.....	<b>70</b>
<b>Εικόνα 3.15.</b> Ο αισθητήρας CropCircle με τα παρελκόμενά του.....	<b>71</b>
<b>Εικόνα 3.16.</b> Στιγμιότυπο κατά την διάρκεια μετρήσεων με τον αισθητήρα CropCircle.....	<b>73</b>
<b>Εικόνα 3.17.</b> Ο αισθητήρας EM38.....	<b>74</b>
<b>Εικόνα 3.18.</b> Ο τρόπος λειτουργίας του αισθητήρα EM38.....	<b>74</b>
<b>Εικόνα 3.19.</b> Η κεραία βάσης μαζί με τον ραδιοπομπό.....	<b>77</b>
<b>Εικόνα 3.20.</b> Πληροφορίες διαθέσιμες στον χρήστη κατά την διάρκεια των μετρήσεων.....	<b>77</b>
<b>Εικόνα 3.21.</b> Η μορφή των καταγεγραμμένων πληροφοριών από το σύστημα RTK.....	<b>78</b>
<b>Εικόνα 3.22.</b> Συγκομιδή των μήλων.....	<b>80</b>
<b>Εικόνα 3.23.</b> Οι σημειακές μετρήσεις της παραγωγής.....	<b>81</b>
<b>Εικόνα 4.1.</b> Το τοπογραφικό ανάγλυφο του οπωρώνα.....	<b>86</b>
<b>Εικόνα 4.2.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας αργίλου.....	<b>88</b>
<b>Εικόνα 4.3.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας της άμμου.....	<b>89</b>
<b>Εικόνα 4.4.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας της ιλύως.....	<b>90</b>
<b>Εικόνα 4.5.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας.....	<b>91</b>
<b>Εικόνα 4.6.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας του ασβεστίου.....	<b>92</b>
<b>Εικόνα 4.7.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας του καλίου.....	<b>93</b>
<b>Εικόνα 4.8.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.....	<b>94</b>



<b>Εικόνα 4.9.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2010.....	<b>99</b>
<b>Εικόνα 4.10.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2011.....	<b>99</b>
<b>Εικόνα 4.11.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2012.....	<b>100</b>
<b>Εικόνα 4.12.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2010.....	<b>103</b>
<b>Εικόνα 4.13.</b> Καιρικές συνθήκες το 2010.....	<b>106</b>
<b>Εικόνα 4.14.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2011.....	<b>108</b>
<b>Εικόνα 4.15.</b> Καιρικές συνθήκες το 2011.....	<b>110</b>
<b>Εικόνα 4.16.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2012.....	<b>113</b>
<b>Εικόνα 4.17.</b> Καιρικές συνθήκες το 2012.....	<b>115</b>
<b>Εικόνα 4.18.</b> Χάρτες με την παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2010.....	<b>116</b>
<b>Εικόνα 4.19.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2011.....	<b>118</b>
<b>Εικόνα 4.20.</b> Χάρτες παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2012.....	<b>119</b>
<b>Εικόνα 4.21</b> Χάρτες παραλλακτικότητας των ανθέων όπως αποτυπώθηκαν με την ανάλυση των φωτογραφιών της απλής φωτογραφικής μηχανής και της πολυφασματικής.....	<b>122</b>
<b>Εικόνα 4.22.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2010.....	<b>122</b>
<b>Εικόνα 4.23.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας των ανθέων όπως αποτυπώθηκαν με την ανάλυση των φωτογραφιών της απλής φωτογραφικής μηχανής και της πολυφασματικής.....	<b>123</b>
<b>Εικόνα 4.24.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2011.....	<b>123</b>
<b>Εικόνα 4.25</b> Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2010 (απλή φωτογραφική μηχανή).....	<b>125</b>

<b>Εικόνα 4.26.</b> Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2011 (απλή φωτογραφική μηχανή).....	<b>125</b>
<b>Εικόνα 4.27.</b> Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2010 (πολυφασματική μηχανή).....	<b>126</b>
<b>Εικόνα 4.28.</b> Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2011 (πολυφασματική μηχανή).....	<b>126</b>
<b>Εικόνα 4.29</b> Χάρτης με δύο ζώνες διαχείρισης βασισμένος στην παραγωγή του έτους 2010.....	<b>134</b>
<b>Εικόνα 4.30.</b> Χάρτες με δύο ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα βασισμένος στο πλήθος των ανθέων.....	<b>135</b>
<b>Εικόνα 4.31.</b> Χάρτες με δύο ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα βασισμένοι στο πλήθος των ανθέων και στην παραγωγή αντίστοιχα.....	<b>135</b>
<b>Εικόνα 4.32.</b> Χάρτης με δύο ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα βασισμένος στην παραγωγή του 2011.....	<b>136</b>
<b>Εικόνα 4.33.</b> Ο χάρτης με το τοπογραφικό ανάγλυφο.....	<b>141</b>
<b>Εικόνα 4.34.</b> Βαριόγραμμα της χαρτογράφησης του υψομέτρου.....	<b>141</b>
<b>Εικόνα 4.35</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2010.....	<b>143</b>
<b>Εικόνα 4.36.</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2011.....	<b>144</b>
<b>Εικόνα 4.37</b> Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2012.....	<b>144</b>
<b>Εικόνα 4.38</b> Χάρτης εφαρμογής λιπάσματος το έτος 2011.....	<b>145</b>
<b>Εικόνα 4.39</b> Χάρτης εφαρμογής του λιπάσματος το έτος 2012.....	<b>146</b>



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### Γενικά

Από τα παλαιά χρόνια πριν ακόμη επέλθει η εκμηχάνιση των καλλιεργειών οι παραγωγοί γνώριζαν πολύ καλά το αγροκτήματα που διέθεταν. Αυτή η γνώση αφορούσε τα διάφορα χαρακτηριστικά των αγρών. Οι γνώσεις που αποκτώνται από τους παραγωγούς βασίζονταν στο γεγονός πως όλες οι καλλιεργητικές φροντίδες που εφαρμόζονταν στους αγρούς γινόταν από τους ίδιους τους παραγωγούς είτε με τα πόδια είτε με την βοήθεια κάποιου ζώου (Εικόνα 1.1). Οι πολλές ώρες που απαιτούνταν για τις γεωργικές εργασίες σε συνδυασμό με την παρατήρηση των παραγωγών συνετέλεσαν στο να γίνονται σωστά και αποδοτικά οι εργασίες. Για παράδειγμα, πριν την εμφάνιση των γεωργικών ελκυστήρων η σπορά γινόταν από τους παραγωγούς. Καθώς περπατούσαν οι παραγωγοί στον αγρό πετούσαν τον σπόρο με το χέρι. Δεν ήταν λίγες οι φορές όπου σε ορισμένες περιοχές των αγροκτημάτων τους πετούσαν λιγότερη ποσότητα σπόρου γιατί είχαν παρατηρήσει μειωμένη παραγωγή στο παρελθόν.



**Εικόνα 1.1** Ο παραγωγός οργώνει το χωράφι του με την βοήθεια των ζώων (ιστοσελίδα: [www.fthiotikos-tymfristos.blogspot.com](http://www.fthiotikos-tymfristos.blogspot.com))

Με την εκμηχάνιση των καλλιεργειών οι δυνατότητες των παραγωγών να καλλιεργήσουν περισσότερη γη ήταν πολύ μεγάλες καθώς σε μικρό χρονικό διάστημα μπορούσαν να ολοκληρώσουν πολλές γεωργικές εργασίες με σύγχρονα

μηχανήματα (Εικόνα 1.2 και 1.3). Αυτό οδήγησε στην αύξηση της παραγωγικότητας εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο οι γεωργοί έκαναν τις καλλιεργητικές φροντίδες με βάση κάποιους άτυπους κανόνες οι οποίοι δημιουργήθηκαν από τους ίδιους τους παραγωγούς αλλά δεν είχαν πραγματική ισχύ καθώς λάμβαναν υπ' όψιν μόνο τον μέσο όρο της παραγωγής του κάθε αγροκτήματος και όχι την παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων τους. Τα τελευταία χρόνια που ο ανταγωνισμός στα αγροτικά προϊόντα έχει αυξηθεί πολύ και παράλληλα οι καταναλωτές έχουν στραφεί σε πιο ποιοτική διατροφή, οι παραγωγοί έχουν αρχίσει πλέον να αναζητούν νέους τρόπους διαχείρισης των αγροκτημάτων τους. Η χρήση της τεχνολογίας είναι αυτή που θα βοηθήσει τους παραγωγούς να βελτιώσουν τη διαχείριση των αγρών τους σε συνδυασμό όμως με τη σωστή χρήση των μηχανημάτων. Ένα παράδειγμα εφαρμογής νέων τεχνολογιών στη γεωργία που βοήθησε τους παραγωγούς να κατανοήσουν τη χωρική και τη χρονική παραλλακτικότητα των στοιχείων που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή είναι η γεωργία ακριβείας που σημαίνει ακριβέστερη – λεπτομερέστερη διαχείριση των αγροκτημάτων. Οι Gemtos et al. (2002) όρισαν την Γεωργία Ακριβείας ως την διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας των αγροκτημάτων και την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την καλύτερη διαχείριση των εισροών. Με άλλα λόγια η πρακτική εφαρμογή των καλλιεργητικών φροντίδων σύμφωνα με τις αρχές της γεωργίας ακριβείας σε έναν αγρό δεν στηρίζεται μόνο στην παραγωγικότητά του και τη γονιμότητα του εδάφους, αλλά και στην παραλλακτικότητα των ιδιοτήτων που παρουσιάζεται κατά την πάροδο του χρόνου.



**Εικόνα 1.2** Σύγχρονος γεωργικός ελκυστήρας (ιστοσελίδα: [www.iol.co.za](http://www.iol.co.za))



**Εικόνα 1.3.** Ο γεωργικός ελκυστήρας του μέλλοντος (ιστοσελίδα: [www.agri-arena.com](http://www.agri-arena.com))

Η γεωργία ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο αποτελείται από διάφορα τμήματα τα οποία είναι αλληλένδετα μεταξύ τους. Τη συλλογή των δεδομένων, την επεξεργασία τους και την εξαγωγή αποτελεσμάτων (Markinos et al. 2002) καθώς επίσης και έναν μηχανισμό ελέγχου. Οι παραγωγοί οι οποίοι εφαρμόζουν τη γεωργία ακριβείας στα αγροκτήματά τους πρέπει να ακολουθούν πιστά τα παραπάνω στάδια του συστήματος έτσι ώστε να αυξήσουν

το κέρδος της γεωργικής επιχείρησής τους. Μερικά από τα σημαντικότερα στάδια της εφαρμογής γεωργίας ακριβείας είναι η χαρτογράφηση της παραγωγής, η δειγματοληψία εδάφους (με τη μέθοδο του πλέγματος ή η εντοπισμένη) και η ανάλυσή του για την εύρεση των εδαφικών χαρακτηριστικών, τη δημιουργία χαρτών οι οποίοι απεικονίζουν τα υπό μελέτη χαρακτηριστικά του αγρού καθώς επίσης και η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων των διαφόρων εισροών.

Η χρήση της γεωργίας ακριβείας επιτρέπει τους παραγωγούς να αξιοποιήσουν την παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στα αγροκτήματα τους προσαρμόζοντας τις καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εδάφους και τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Αυτό επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό των αγροκτημάτων σε περιοχές ή ζώνες με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά που επιδέχονται κοινή διαχείριση. Για την περιγραφή της παραπάνω δραστηριότητας, στην ξένη βιβλιογραφία έχει επικρατήσει ο όρος ‘site specific management’ (SSM). Ο όρος αυτός υποδηλώνει ότι σε έναν αγρό γίνονται σωστές καλλιεργητικές φροντίδες, την κατάλληλη στιγμή, στο κατάλληλο μέρος.

Η γεωργία ακριβείας βοηθά στο να συγκεντρωθούν πολλές πληροφορίες για την κατάσταση των καλλιεργειών και να βοηθήσει τους παραγωγούς να λαμβάνουν σωστές αποφάσεις όσον αφορά τις καλλιεργητικές φροντίδες. Το γεγονός αυτό καθιστά τους παραγωγούς πιο αποδοτικούς στη δουλειά τους, ενώ παράλληλα τους δίνεται η δυνατότητα να αυξήσουν το κέρδος της επιχείρησής τους μειώνοντας το συνολικό κόστος παραγωγής των προϊόντων. Παρά τη σημαντικότητα της γεωργίας ακριβείας για μια αγροτική επιχείρηση, οι γνώσεις σχετικά με την εφαρμογή της σε διάφορες καλλιέργειες και το αντίστοιχο κέρδος του παραγωγού είναι ακόμα πολύ λίγες.

Οι πρώτες εφαρμογές αισθητήρων έγιναν το 1980 για να χαρτογραφηθεί η παραγωγή σε σιτηρά. Στην ουσία μετριόνταν η ροή και η υγρασία των σπόρων ενώ ταυτόχρονα καταγράφονταν η ταχύτητα της μηχανής συγκομιδής και η τοποθεσία μέσω τεχνολογίας GPS.

Μετά από μια δεκαετία, το 1990, η προσπάθεια για ανάπτυξη των αισθητήρων ήταν πολύ μεγάλη. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η δημιουργία αισθητήρων εξειδικευμένων για κάθε καλλιέργεια σε εμπορικό επίπεδο και όχι μόνο σε πειραματικό. Οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές αισθητήρων εμφανίστηκαν στις αρχές του 1990 και αφορούσαν αρχικά την καλλιέργεια σιτηρών ενώ μετέπειτα

δημιουργήθηκαν εφαρμογές και για άλλες καλλιέργειες. Αυτού του είδους η χαρτογράφηση της παραγωγής εμφανίστηκε αρχικά στις ΗΠΑ και την Αγγλία και μετά στην Ευρώπη και την Αυστραλία.

Στις μέρες μας κυκλοφορούν πολλοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας. Εφαρμογές αισθητήρων εντοπίζονται πλέον και στα οπωροκηπευτικά καθώς υπάρχει παγκόσμια ζήτηση για φρούτα και λαχανικά. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα καταγραφής της παραγωγής για δενδρώδεις καλλιέργειες, για την εκτίμηση του όγκου της κόμης με χρήση laser scanner ή υπερήχους και για μεταβλητές δόσεις εισροών.

Στον ελλαδικό χώρο παρατηρείται μια καθυστέρηση στην εκμηχάνιση της γεωργίας και στην χρήση νέων τεχνολογιών. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως (Γέμος κ.α., 2003):

- Πολύ μικρά αγροκτήματα
- Κάθε παραγωγός έχει στη διάθεσή του λίγη καλλιεργήσιμη έκταση
- Οι γεωργοί είναι χαμηλού μορφωτικού επιπέδου
- Μη ύπαρξη ομάδων παραγωγών και συνεταιρισμών
- Οι παραγωγοί είναι προσκολλημένοι στις εφαρμογές παραδοσιακών καλλιεργητικών φροντίδων
- Η έλλειψη τεχνολογίας, τεχνογνωσίας και εφαρμογών Γεωργίας ακριβείας κυρίως στον τομέα των οπωροκηπευτικών

Λόγω της πλήρους εκμηχάνισης που παρατηρείται σε καλλιέργειες φυτών μεγάλης καλλιέργειας (σιτηρά) είναι πολύ πιο εύκολη η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας απ' ό,τι σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών για επιτραπέζια προϊόντα όπου η εκμηχάνιση είναι περιορισμένη για τα ελληνικά αλλά και παγκόσμια δεδομένα. Παρά την σημαντική συμβολή της καλλιέργειας των μήλων στην παγκόσμια οικονομία η εκμηχάνιση της δεν είναι πολύ μεγάλη με αποτέλεσμα να μην μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα γεωργία ακριβείας σε επαγγελματικό επίπεδο. Πριν 5 χρόνια έγινε στην Ελλάδα μια πρώτη προσπάθεια εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας σε οπωρώνα μήλων από το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Αγγελοπούλου, 2008).



Η καλλιέργεια μήλων είναι διαδεδομένη τόσο στην Ελλάδα όσο και στον υπόλοιπο κόσμο. Παγκοσμίως καταλαμβάνει την τρίτη θέση στα οπωροφόρα δέντρα με ετήσια παραγωγή να αγγίζει τους 80.000.000 τόνους (με 30 εκατ. τόν. να προέρχονται από την Κίνα). Αποτελεί για την Ελλάδα τη δεύτερη σπουδαιότερη δενδροκομική καλλιέργεια φυλλοβόλων οπωροφόρων μετά τη ροδακινιά με τον κύριο όγκο της παραγωγής να προέρχεται από τις ποικιλίες των κόκκινων μήλων.

Με την εμφάνιση της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα έχουν αρχίσει πλέον να γίνονται δειλά βήματα από την πλευρά των παραγωγών για υιοθέτηση νέων μεθόδων καλλιέργειας και πρακτικών. Η μελλοντική φορολόγηση των αγροκτημάτων θα έχει ως αποτέλεσμα την αναδιανομή του κλήρου ο οποίος θα φτάσει στην κατοχή 'μεγάλων' επιχειρησιακά παραγωγών ή τη δημιουργία ομάδων παραγωγών ή συνεταιρισμών που θα καλλιεργούν από κοινού τους αγρούς τους. Οι νέες εύρωστες μονάδες που θα δημιουργηθούν αναμένεται να υιοθετήσουν νέες καλλιεργητικές πρακτικές στην Ελλάδα όπως είναι η γεωργία ακριβείας.

Η σημερινή εποχή, όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη χρήση της σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας. Στη γεωργία και συγκεκριμένα στην καλλιέργεια μήλων υπάρχει η τάση της χρήσης νέων τεχνολογιών για την καλύτερη διαχείριση των οπωρώνων, για την αύξηση του κέρδους των παραγωγών και την προστασία του περιβάλλοντος. Με άλλα λόγια, στη γεωργία υπάρχει η τάση για εφαρμογή των σημαντικότερων αρχών πάνω στις οποίες βασίζεται η γεωργία ακριβείας.

Παγκοσμίως η τεχνογνωσία σχετικά με την γεωργία ακριβείας μετά από πορεία εξέλιξης είκοσι χρόνων μέσα από τις εφαρμογές και την έρευνα είναι πολύ μεγάλη. Παρόλα αυτά επειδή η γεωργία ακριβείας είναι επιστήμη και παραλληλίζεται ως ένας ζωντανός οργανισμός έχει την τάση ολοένα να ανακαλύπτει και να εξελίσσεται σε κάτι καλύτερο.

## **Διαπίστωση του προβλήματος**

Πολλά ερωτήματα δημιουργούνται σχετικά με την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργεια μήλων τα οποία θα πρέπει να απαντηθούν από τους επιστήμονες και τους αγρότες για να συμβάλλουν στην επωφελή εφαρμογή της.

Οι παραγωγοί στην Ελλάδα χρειάζονται απαντήσεις στα ερωτήματα όπως: Γιατί να χρησιμοποιήσω γεωργία ακριβείας; Τι εργαλεία θα πρέπει να αγοράσω για την εφαρμογή της; Τι κέρδος θα έχω αν εφαρμόσω γεωργία ακριβείας στην Ελλάδα; Τι δεδομένα πρέπει να συλλέξω για να πετύχω μεγαλύτερο κέρδος; Πάνω σε τέτοιου είδους ερωτήσεις βασίζεται η συγκεκριμένη εργασία.

Στα πιο πάνω ερωτήματα πρέπει να απαντήσει η επιστημονική έρευνα πειστικά και αποτελεσματικά. Θα πρέπει να αναπτύξει τις κατάλληλες μεθόδους συλλογής δεδομένων, να αναπτύξει τρόπους δημιουργίας ζωνών για καλύτερη διαχείριση των αγροκτημάτων, να βρει τρόπους για την αυτοματοποίηση της πρόβλεψης της παραγωγής και να εφαρμόσει λίπανση με μεταβλητές δόσεις με βάση τους χάρτες εφαρμογής. Επίσης θα πρέπει να αξιολογεί όλα τα αποτελέσματα και τέλος να μεταφέρει την παραγόμενη νέα γνώση στους παραγωγούς για να την εφαρμόσουν.

## **Ερευνητική υπόθεση**

Οι υποθέσεις πάνω στις οποίες στηρίχτηκε η παρούσα εργασία είναι ότι:

- Η ύπαρξη χωρικής παραλλακτικότητας στην παραγωγή, στα άνθη, στα εδαφικά χαρακτηριστικά, και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων, σε έναν οπωρώνα μπορεί να βοηθήσει τον παραγωγό να εφαρμόσει γεωργία ακριβείας, να μειώσει το κόστος παραγωγής και να αυξήσει το καθαρό κέρδος της επιχείρησής του.
- Η παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας στα δένδρα και των χαρακτηριστικών της βλάστησης των δένδρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση της πρόβλεψης της παραγωγής.

## **Σκοπός της εργασίας**

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας είναι να βασιστεί στα πειραματικά δεδομένα της διδακτορικής διατριβής της Αγγελουπούλου (2008), να συλλέξει περισσότερες πληροφορίες χρονικά και να αναπτύξει νέες τεχνολογικές εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας στην καλλιέργεια της μηλιάς. Η Αγγελουπούλου (2008) μελέτησε την χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής, των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και των χαρακτηριστικών του εδάφους, δημιούργησε χάρτες ανθοφορίας αναλύοντας φωτογραφίες που λήφθηκαν με μια φωτογραφική μηχανή ενώ υπολόγισε τη μείωση του λιπάσματος που μπορεί να επιφέρει η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Παρόλα αυτά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν νέοι αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας ενώ παράλληλα η εξέλιξη της επιστήμης της γεωπονίας ανέδειξε νέους τρόπους επεξεργασίας των δεδομένων που λαμβάνονται. Αυτό δημιούργησε την ανάγκη για τη δημιουργία έρευνας βασισμένη στη νέα τεχνολογία και στα νέα δεδομένα της επιστήμης. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, στην παρούσα έρευνα έγιναν για πρώτη φορά μετρήσεις του δείκτη NDVI σε οπωρώνα μήλων με στόχο την μελέτη της ευρωστίας των φυτών και την πρόβλεψη της τελικής παραγωγής. Ακόμη η προσπάθεια της αυτοματοποίησης της παραγωγής μήλων και ο διαχωρισμός ζωνών διαχείρισης του οπωρώνα με την μελέτη της παραλλακτικότητας των ανθέων συγκαταλέγονται στις καινοτομίες της συγκεκριμένης εργασίας. Τέλος μια άλλη σημαντική καινοτομία που έχει γίνει στην παρούσα έρευνα είναι η εφαρμογή λιπάσματος σε οπωρώνα μήλων με μεταβλητές δόσεις και η μελέτη των επιπτώσεων στα δένδρα, την παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων καθώς και των οικονομικών επιπτώσεων στον παραγωγό.

## **Επιμέρους στόχοι της εργασίας**

Για να πραγματοποιηθεί ο σκοπός της εργασίας, η έρευνα στηρίχθηκε στα παρακάτω σημεία:

- Η ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής, των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων, των εδαφικών χαρακτηριστικών, του δείκτη βλάστησης NDVI των δένδρων και του αριθμού των ανθέων με τελικό προϊόν τη δημιουργία χαρτών και ζωνών διαχείρισης του οπωρώνα.
- Εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων για την μείωση του κόστους παραγωγής και βελτιστοποίηση του τελικού προϊόντος μη επιβαρύνοντας το περιβάλλον με υψηλές ποσότητες χημικών.
- Αυτοματοποίηση της πρόβλεψης παραγωγής με την μέτρηση των ανθέων που βρίσκονται στα δέντρα.

Για την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας συνεργάστηκε με τον παραγωγό κ. Παπαστεργίου Αλέξανδρο ο οποίος παράγει μήλα διαφόρων ποικιλιών στην περιοχή της Αγίας του Νομού Λάρισας. Έγινε συλλογή διαφόρων στοιχείων του οπωρώνα για τρία έτη και μέσω των αποτελεσμάτων της ανάλυσής τους προτείνονται νέοι τρόποι για την καλύτερη διαχείριση των οπωρώνων.

### **Δομή της εργασίας**

Στο Κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία Ακριβείας όπως είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), την χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων και της παραγωγής, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), τον διαχωρισμό του αγρού σε ζώνες διαχείρισης (Management Zones) και την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών (Variable Rate Application).

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται η περιγραφή του πειράματος στο οποία βασίστηκε η εργασία. Συγκεκριμένα περιγράφεται η τοποθεσία του οπωρώνα και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση των μετρήσεων. Εκτενής αναφορά

γίνεται στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε καθώς επίσης και στις μεθόδους επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων που έγιναν στους οπωρώνες. Το κεφάλαιο αυτό αποτελείται από 14 ενότητες. Πιο συγκεκριμένα:

Στην Ενότητα 4.1 παρουσιάζεται το τοπογραφικό ανάγλυφο του οπωρώνα όπως αποτυπώθηκε με την χρήση συστήματος RTK GPS.

Στην Ενότητα 4.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που προέκυψαν από την χαρτογράφηση των εδαφικών χαρακτηριστικών των φυτών. Επιπροσθέτως παρατίθενται δυσδιάστατοι και τρισδιάστατοι χάρτες με την παραλλακτικότητα των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους.

Στην Ενότητα 4.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που προήλθαν από την χαρτογράφηση της παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος. Δίνονται χάρτες με την χωρική παραλλακτικότητα της παραγωγής και γίνεται προσπάθεια εξήγησής της.

Στην Ενότητα 4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που προέκυψαν από την χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών. Προβάλλονται χάρτες με την διαμόρφωση της χωρικής παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI των φυτών και γίνεται προσπάθεια αιτιολόγησής της με την βοήθεια των καιρικών συνθηκών της περιόδου των μετρήσεων.

Στην Ενότητα 4.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (βάρος, οξύτητα, pH, διαλυτά στερεά συστατικά και σκληρότητα σάρκας). Γίνεται στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων και δίνονται οι αντίστοιχοι χάρτες όπου φαίνεται η παραλλακτικότητά τους.

Στην Ενότητα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των φωτογραφιών που αποτύπωναν τα άνθη που βρίσκονταν επάνω στα δέντρα και δίνονται οι ανάλογοι χάρτες παραλλακτικότητας των ανθέων εντός του οπωρώνα. Επίσης γίνεται μια προσπάθεια συσχέτισης της παραλλακτικότητας της παραγωγής με την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας που καταγράφηκε με διαφορετικές μεθόδους φωτογράφισης.

Στην Ενότητα 4.7 και 4.8 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φρούτων και παραγωγής και εδαφικών χαρακτηριστικών και παραγωγής αντίστοιχα.

Στην Ενότητα 4.9 γίνεται διαχωρισμός του οπωρώνα σε ζώνες διαχείρισης με βάση τα άνθη και την παραγωγή με το λογισμικό MZA (Management Zone Analyst). Στη συνέχεια ακολουθεί αξιολόγηση των ζωνών διαχείρισης.

Στην Ενότητα 4.10 παρουσιάζεται η συσχέτιση της παραγωγής με τις τιμές του δείκτη NDVI των δένδρων. Ακόμη γίνεται προσπάθεια ερμηνείας της παραλλακτικότητας των τιμών του NDVI.

Στην Ενότητα 4.11 παρουσιάζεται το τοπογραφικό ανάγλυφο του δευτερεύοντα οπωρώνα όπως αποτυπώθηκε με την χρήση συστήματος RTK GPS.

Στην Ενότητα 4.12 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των στατιστικών αναλύσεων που προήλθαν από την χαρτογράφηση της παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος στον δευτερεύοντα οπωρώνα. Παρουσιάζονται επίσης οι χάρτες παραγωγής.

Στην ενότητα 4.13 παρουσιάζονται οι χάρτες εφαρμογής λιπάσματος του εφεδρικού οπωρώνα για τα δύο έτη εφαρμογής λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Δίνονται στατιστικά στοιχεία όπως παραγωγή που προήλθε από κάθε μεταχείριση, την μείωση του λιπάσματος που επήλθε με την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λιπάσματος αλλά και το καθαρό κέρδος του παραγωγού.

Στην ενότητα 4.14 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φρούτων και παραγωγής μετά από την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις στο δευτερεύοντα οπωρώνα..

Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται μια γενική συζήτηση των αποτελεσμάτων και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα.

Στο Κεφάλαιο 7 παρατίθενται κάποιες προτάσεις για την μελλοντική εξέλιξη της εργασίας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης

#### 2.1.1 Εισαγωγή

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS) αναπτύχθηκε στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα με σκοπό να δημιουργηθεί μια υπηρεσία για την εύρεση της θέσης διαφόρων αντικειμένων επάνω στη γη σε παγκόσμιο επίπεδο και για την πλοήγηση από το διάστημα. Το Global Positioning System (GPS), ήταν το πρώτο σύστημα που αναπτύχθηκε και είχε ξεκινήσει με τη χρήση ενός δορυφόρου, που εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978. Λίγο αργότερα, ο αριθμός των δορυφόρων αυξήθηκε σε τέσσερις. Αυτός ο αριθμός δορυφόρων είναι ο ελάχιστος για να έχουμε ικανοποιητική ακρίβεια σήματος. Στη σημερινή εποχή υπάρχουν 24 δορυφόροι που είναι σε τροχιά γύρω από τη γη με σκοπό να δίνουν τη μέγιστη ακρίβεια σήματος στους χρήστες του GPS (Weston και Schwiegen, 2010).

Οι πρώτοι εμπορικοί δέκτες GPS εμφανίστηκαν στην αγορά το 1982. Οι δέκτες είχαν μεγάλες και ογκώδεις κεραίες και μπορούσαν να παρακολουθούν μόνο τέσσερις δορυφόρους ταυτόχρονα. Τα ερευνητικά ιδρύματα και πανεπιστήμια ξόδευαν μέχρι και 250.000 € για ένα δέκτη. Σήμερα, οι σύγχρονοι δέκτες είναι πολύ πιο εξελιγμένοι και μπορούν να συνδέονται με δορυφόρους GPS και GLONASS ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας περισσότερα από 50 κανάλια. Μερικά από τα τελευταία μοντέλα δεκτών μπορούν επίσης να λαμβάνουν σήμα από το σύστημα GALILEO. Όλες οι λειτουργίες από την παρακολούθηση των δορυφόρων, τον συντονισμό και τον προσδιορισμό της θέσης υπολογίζονται αυτόματα, σε πραγματικό χρόνο. Το κόστος των νέων δεκτών είναι πολύ χαμηλό και συνεχίζει να μειώνεται. Ένας δέκτης υψηλής ακρίβειας κοστίζει 20.000 €. Αν ένας χρήστης περιορίζεται μόνο στον προσδιορισμό της θέσης με ακρίβεια περίπου τα 5 μέτρα τότε το κόστος είναι περίπου 70 €. Σε γενικές γραμμές αυτό δεν δημιουργεί πρόβλημα στις αναπτυγμένες χώρες, αλλά αυτό μπορεί να είναι ένα μειονέκτημα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου οι χρήστες του GPS χρειάζονται πολλούς δέκτες για εξειδικευμένες εργασίες (Weston και Schwiegen, 2010).

Κατά την τελευταία δεκαετία, ο αριθμός των χρηστών που χρησιμοποιούν παγκόσμια συστήματα δορυφορικής πλοήγησης (GNSS) έχει αυξηθεί σταθερά. Ίσως η πιο ορατή εκδήλωση αυτής της αλλαγής είναι η ανάπτυξη και η χρήση των τεχνολογιών ευρείας κατανάλωσης που βασίζονται στο GNSS. Για παράδειγμα, αυτές τις μέρες, δεν είναι ασυνήθιστο για τα αυτοκίνητα

ή τα κινητά τηλέφωνα να είναι εξοπλισμένα με ένα GPS σύστημα πλοήγησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω είναι λογικό να περιμένει κανείς ότι θα αναπτυχθούν περισσότερες εφαρμογές δορυφορικής πλοήγησης στο μέλλον (Gleason και Gebre - Egziabher, 2009).

### **2.1.2 Διάφορα συστήματα παγκόσμιου εντοπισμού θέσης**

#### **GNSS**

Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS) είναι ο γενικός όρος για δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που παρέχουν αυτόνομες γεω-χωρικές πληροφορίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Το σύστημα GNSS επιτρέπει στους δέκτες να καταγράψουν τη θέση τους (γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο), με ακρίβεια λίγων μέτρων.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες το σύστημα NAVSTAR Global Positioning System (GPS) είναι το μόνο πλήρως λειτουργικό GNSS σύστημα. Το ρωσικό σύστημα GLONASS αναπτύσσεται έχοντας σαν στόχο την πλήρη παγκόσμια κάλυψη. Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας είναι στη διαδικασία επέκτασης του περιφερειακού σύστημα πλοήγησης Beidou στο παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης Compass μέχρι το 2020. Το σύστημα Galileo της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναπτύσσεται ακόμη ενώ ήδη έχει μπει σε λειτουργία για να αντιμετωπιστούν πιθανά προβλήματα.

Τα συστήματα GNSS παρέχουν βελτιωμένη ακρίβεια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλοήγηση των πολιτών κάθε χώρας και ταξινομούνται ως εξής:

- GNSS-1 είναι το πρώτο σύστημα που παράχθηκε και συνδυάζουν δορυφορικά συστήματα πλοήγησης τύπου GPS και GLONASS.
- GNSS-2 είναι η δεύτερη γενιά των συστημάτων που παρέχει ένα πλήρες ανεξάρτητο σύστημα δορυφορικής πλοήγησης για πολιτική χρήση και χρησιμοποιεί το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo.
- Κεντρικά συστήματα δορυφορικής πλοήγησης, που χρησιμοποιούν συστήματα σαν το GPS, το Galileo και το Glonass.

#### **GPS**

Το GPS αποτελείται από τρία βασικά μέρη: το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρήσης.

Το δορυφορικό τμήμα μετά από πολλές προσπάθειες έχει καταλήξει στη σημερινή εποχή να αποτελείται από 24 δορυφόρους. Αυτοί βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη σε απόσταση



20200 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης. Συνολικά υπάρχουν 4 τροχιές δορυφόρων. Σε κάθε τροχιά υπάρχουν 6 δορυφόροι οι οποίοι κάνουν μια πλήρη περιστροφή γύρω από την γη σε 12 ώρες. Αυτή η διάταξη εξασφαλίζει ότι 24 ώρες το 24ώρο, τουλάχιστον 4 δορυφόροι θα στέλνουν σήμα σε ένα σημείο στη γη.

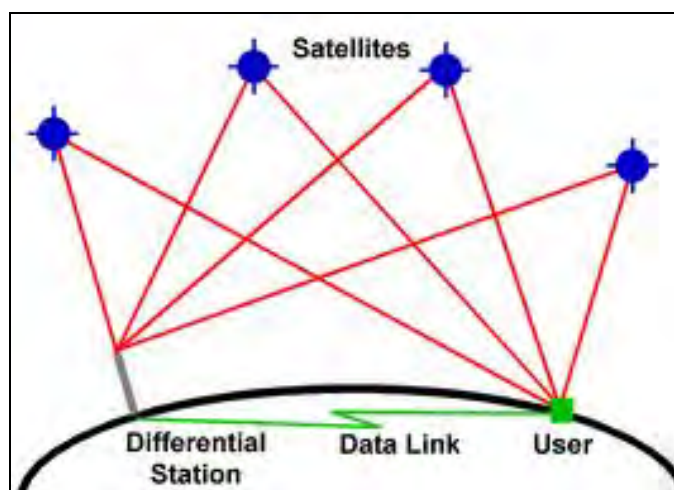
Ο τρόπος που στέλνουν οι δορυφόροι το σήμα στη γη για τον εντοπισμό μιας θέσης είναι πολύ απλός. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ραδιοκύματα στις συχνότητες  $L_1 = 1575.42$  MHz και  $L_2 = 1227.60$  MHz. Η επιλογή της χρήσης των ραδιοκυμάτων έγινε γιατί τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και με λίγο μικρότερη στην ατμόσφαιρα της γης. Αυτό προσδίδει αμεσότητα στην αποστολή των πληροφοριών από τους δορυφόρους προς στη γη. Το σήμα  $L_1$  φέρει έναν ακριβή κώδικα C/A (Coarsel/Acquisition Code) . Το σήμα  $L_2$  περιέχει μόνο τον κώδικα P (Precise Code) και χρησιμοποιείται για την εξάλειψη του προβλήματος που δημιουργείται λόγω μείωσης της ταχύτητας μεταφοράς του σήματος στην ιονόσφαιρα. Τέλος υπάρχει και ένα τρίτο σήμα το D (Data Code) το οποίο περιέχει πληροφορίες σχετικά με τη θέση των δορυφόρων. Οι κώδικες του  $L_1$  και  $L_2$  σήματος χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απόστασης των δορυφόρων από τον δέκτη (Δερμάνης 1999).

Ένα πρόβλημα το οποίο προκύπτει στην επικοινωνία δορυφόρων και δεκτών είναι ο συγχρονισμός. Κάθε δορυφόρος είναι εφοδιασμένος με 4 ρολόγια και σε κάθε σήμα που εκπέμπουν δηλώνουν την ακριβή ώρα αποστολής του σήματος. Όμως είναι πολύ δύσκολο να συγχρονιστούν επακριβώς τα ρολόγια των δορυφόρων μεταξύ τους και με αυτόν τον τρόπο προστίθεται ένα επιπλέον σφάλμα στη διαδικασία εντοπισμού μιας θέσης.

Το δεύτερο βασικό μέρος του GPS είναι το τμήμα ελέγχου. Αυτό αποτελείται από 5 επίγειους σταθμούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία στη γη. Αυτοί είναι εφοδιασμένοι με δέκτες για να λαμβάνουν τις πληροφορίες από τους δορυφόρους και μετά από την επεξεργασία τους τα στέλνουν στον κεντρικό σταθμό ελέγχου που βρίσκεται στο Colorado των ΗΠΑ. Στη συνέχεια ο κεντρικός σταθμός ελέγχου επεξεργάζεται περαιτέρω τις πληροφορίες για να υπολογίσει τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων και να ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης (Δερμάνης, 1999).

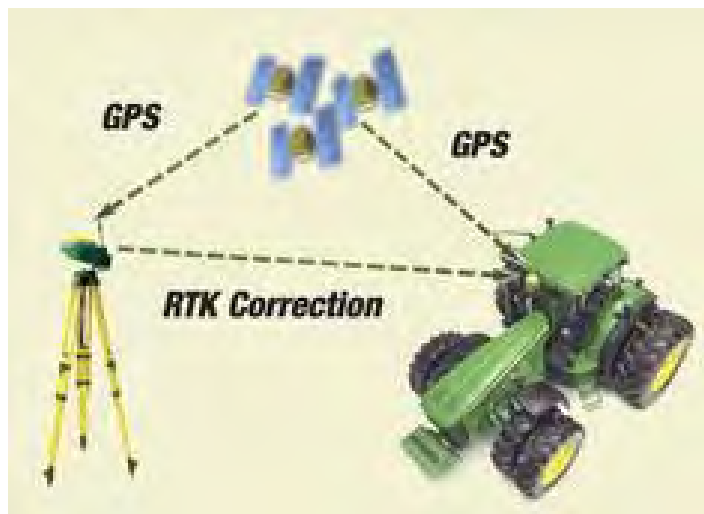
Το τρίτο βασικό μέρος του GPS είναι το τμήμα χρήσης και εκπροσωπείται από τους χρήστες του GPS που είναι κυρίως απλοί πολίτες σε όλο τον κόσμο οι οποίοι δεν χρειάζεται να έχουν κάποια ειδική άδεια λειτουργίας καθώς δεν έχουν το δικαίωμα να στέλνουν πληροφορίες παρά μόνο να δέχονται.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσεων με τη χρήση GPS έχει αναπτυχθεί ένας άλλος τύπος που ονομάζεται DGPS (Differential Geographic Information System). Στην ουσία λειτουργεί όπως το απλό GPS μόνο που το DGPS χρησιμοποιεί ένα σήμα από επίγειους δέκτες για να διορθώσει τα σφάλματα που υπάρχουν. Το σήμα αυτό προέρχεται από επίγειους δέκτες των οποίων η θέση είναι γνωστή και επικοινωνούν παράλληλα με τους δορυφόρους (Εικόνα 2.1). Η ακρίβεια του DGPS συστήματος έχει υπολογισθεί ότι είναι από 30 εκατοστά μέχρι 1 μέτρο.



Εικόνα 2.1. Αναπαράσταση της τεχνολογία DGPS (www.beacon-egypt.com)

Εάν η εργασία που πρέπει να γίνει απαιτεί ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα RTK GPS. Αυτό αποτελείται από έναν σταθερό σταθμό (base station) του οποίου η θέση είναι γνωστή και επικοινωνεί με τους δορυφόρους GPS και με έναν κινούμενο δέκτη (Εικόνα 2.2). Η ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων δέκτη και σταθμού βάσης δίνει τη δυνατότητα εξάλειψης του σφάλματος του GPS. Η ακρίβεια του συστήματος μπορεί να φτάσει μέχρι και 1 εκατοστό.



**Εικόνα 2.2.** Αναπαράσταση της επικοινωνίας των δεκτών με τη χρήση RTK τεχνολογίας  
([www.johndeere.kvalitne.cz](http://www.johndeere.kvalitne.cz))

## GLONASS

Το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης GLONASS είναι υπό τον έλεγχο της Ρωσίας. Η αρχική ανάπτυξη του GLONASS άρχισε το 1976 στην πρώην Σοβιετική Ένωση και είχε σχεδιαστεί σαν μια εναλλακτική λύση του συστήματος GPS που είχαν αναπτύξει οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Υπήρξαν πολλές γενιές δορυφόρων στο σύστημα GLONASS. Οι δύο πιο πρόσφατες, είναι το GLONASS-M και GLONASS-K, και έχουν εκτιμώμενη λειτουργική διάρκεια ζωής 7 και 12 έτη αντίστοιχα. Όλοι οι δορυφόροι έχουν ατομικά ρολόγια και παρέχουν σε πραγματικό χρόνο τη θέση και την ταχύτητα ενός δέκτη. Κατά τα πρώτα στάδια λειτουργίας, η οριζόντια ακρίβεια θέσης κυμαινόταν μεταξύ 50-70 μέτρων, ενώ η κατακόρυφη ακρίβεια ήταν πιο κοντά στο 70 μέτρα (Weston και Schwiegen, 2010).

## GALILEO

Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει προωθήσει την ανάπτυξη ενός ανεξάρτητου GNSS συστήματος για πολιτική χρήση, με το όνομα GALILEO. Η δομή του σήματος και ο κώδικας είναι πολύ πιο περίπλοκα από ότι του GPS (Hein et al., 2003). Παρόλα αυτά προβλέπεται το σύστημα GALILEO και GPS να συνδυάζουν τις πληροφορίες τους για μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό μιας θέσης.

## COMPASS

Οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Ρωσία και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα δεν είναι οι μόνες χώρες που έχουν αναπτύξει συστήματα GNSS. Η Κίνα επίσης αναπτύσσει ένα δικό της σύστημα έχοντας παγκόσμια κάλυψη. Το σύστημα είναι γνωστό ως Beidou-1 και αποτελείται από 4 γεωστατικούς δορυφόρους τοποθετημένους κυρίως επάνω από την Ασία. Δύο δορυφόροι εκτοξεύτηκαν στα τέλη του 2000, ο τρίτος το 2003 και ο τέταρτος το 2007. Το σύστημα παρέχει περιορισμένη κάλυψη που κυμαίνεται από  $70^{\circ}$  έως  $140^{\circ}$  E και από το  $5^{\circ}$  έως  $55^{\circ}$  B (Weston και Schwiegen, 2010).

Το νέο σύστημα της Κίνας είναι γνωστό ως Compass ή Beidou-2. Ο σχεδιασμός του συστήματος μαρτυρά την ύπαρξη 35 δορυφόρων. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι ο εντοπισμός θέσεων σε παγκόσμιο επίπεδο και η πλοήγηση. Πέντε δορυφόροι θα είναι γεωστατικοί ώστε το σύστημα να είναι συμβατό με Beidou-1, ενώ οι υπόλοιποι δορυφόροι θα βρίσκονται σε διάφορες τροχιές γύρω από τη γη (Weston και Schwiegen, 2010).

### **2.1.3 Χρήση GNSS στη γεωργία**

Σε ευρωπαϊκό επίπεδο τα GNSS συστήματα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκτάσεων των αγροκτημάτων. Πρακτική εφαρμογή βρίσκουν στις δηλώσεις που γίνονται από τους παραγωγούς για να λάβουν τις επιδοτήσεις που δίνονται από την ευρωπαϊκή ένωση. Η καταγραφή της θέσης δειγματοληψίας εδάφους και κατ' επέκταση η χαρτογράφηση των εδαφών είναι ένα πλεονέκτημα για τους παραγωγούς καθώς μπορούν να παρακολουθούν την παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του εδάφους. Η ανάπτυξη συστημάτων λήψης αποφάσεων όπου ο παραγωγός έχει όλη την εποπτεία των εργασιών μπορεί, με την τοποθέτηση δεκτών GPS στα γεωργικά μηχανήματα, να λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία τους και την κίνησή τους, την ταχύτητα, την κατανάλωση καυσίμου, δύναμη έλξης ή της απόδοσης.

Ο συνδυασμός δεδομένων απόδοσης παραγωγής και δεδομένων GPS μπορούν να βοηθήσουν τους παραγωγούς να καταλάβουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής και να προσπαθήσουν να βρουν τα αίτια της χαμηλής παραγωγής σε ορισμένες τοποθεσίες των αγροκτημάτων τους. Η χρήση τεχνολογίας RTK μπορεί να βοηθήσει στη χαρτογράφηση του τοπογραφικού αναγλύφου και να εξεταστούν οι περιπτώσεις όπου μπορεί να επέλθει έκπλυση των θρεπτικών συστατικών από το έδαφος.

Η γρήγορη υιοθέτηση του αυτόματου συστήματος πλοήγησης (auto-pilot) στους γεωργικούς ελκυστήρες έχει συντελέσει στο να υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός γεωργικών μηχανημάτων που είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και δέκτες GPS. Η χρήση του GPS στα γεωργικά μηχανήματα δεν εξυπηρετεί μόνο την καθοδήγησή τους στον αγρό, αλλά και την καταγραφή των πληροφοριών σχετικά με τη θέση του γεωργικού ελκυστήρα και των παρελκομένων μηχανημάτων τους. Αρκετοί κατασκευαστές ψεκαστών έχουν αρχίσει να αναπτύσσουν αυτόματα συστήματα ελέγχου της ποσότητας των εισροών χρησιμοποιώντας τεχνολογία GPS. Για παράδειγμα υπάρχουν αυτόματα συστήματα ελέγχου εισροών που μπορούν να αλλάξουν την παροχή σε ορισμένα ακροφύσια ενός ψεκαστικού ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε φυτού. Τέλος, ένας αυξανόμενος αριθμός των αγροτών και των συμβούλων υιοθετούν τεχνολογία μεταβλητών δόσεων (VRA), με βάση τους χάρτες μεταβλητών εισροών με την καθοδήγηση των γεωργικών μηχανημάτων με το GPS, όσον αφορά τη χρήση των σπόρων, των λιπασμάτων, των ζιζανιοκτόνων και του νερού άρδευσης σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών (Noack and Muhr , 2008).

## **2.2 Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης (ΓΣΠ) στη Γεωργία**

Η σπουδαιότητα και η αναγκαιότητα της γεωγραφικής πληροφορίας καθώς και η ύπαρξη της αντίστοιχης υποδομής χωρικών δεδομένων, η οποία υποστηρίζει την ανεύρεση της πληροφορίας, την πρόσβαση σε αυτήν και την χρήση της στην διαδικασία λήψης αποφάσεων σε τοπικό, περιφερειακό και παγκόσμιο επίπεδο έχει επισημανθεί σε διεθνές επίπεδο κατά την τελευταία δεκαετία. Στη χρήση των γεωγραφικών πληροφοριών συνέβαλε καθοριστικά η ανάπτυξη της τεχνολογίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια

Αποτέλεσμα της ανάπτυξης της τεχνολογίας είναι η δημιουργία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης (ΓΣΠ). Εξαιτίας της ευρείας εφαρμογής τους σε σχεδόν όλους τους επιστημονικούς κλάδους πολλοί επιστήμονες προσπάθησαν να δώσουν έναν γενικό αλλά ολοκληρωμένο ορισμό. Οι Dangermond (1983), Liebhold et al. (1993), Abbot & Argentati (1995) και Green (1999) όρισαν τα ΓΣΠ ως ένα εργαλείο που λειτουργεί σε υπολογιστές και χρησιμεύει στο να αποθηκεύει, να οργανώνει, να επεξεργάζεται, να αναλύει, να συσχετίζει και να παρουσιάζει χωρικές πληροφορίες, ενώ ο Lutz (1995) όρισε ότι ΓΣΠ είναι ένα εξελιγμένο λογισμικό το οποίο ενσωματώνει μια ευρύτατη ποικιλία τεχνολογιών σ' ένα σύστημα ανάπτυξης και πρόσβασης ψηφιακών βιβλιοθηκών. Η μετάβαση του πραγματικού κόσμου στον ψηφιακό, συνοδευόμενη από τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, έχει αλλάξει την αρχική μορφή των

λογισμικών. Στην αρχική τους μορφή τα ΓΣΠ δεν μπορούσαν να διαχειριστούν μεγάλο όγκο πληροφοριών. Το γεγονός αυτό δεν επέτρεπε τους επιστήμονες να δώσουν σαφείς απαντήσεις σε ερωτήματα που αφορούσαν τον χώρο. Όμως με την πάροδο του χρόνου και την εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών οι πληροφορίες που επεξεργάζονται είναι πάρα πολλές ενώ ο χρόνος που απαιτείται για την επεξεργασία είναι πολύ μικρός (Hamilton, 2003).

Χαρτογράφηση είναι η δημιουργία χαρτών των υπό μελέτη μεταβλητών. Τα ΓΣΠ παρέχουν στον χρήστη τη δυνατότητα χαρτογράφησης. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΓΠΣ έναντι των απλών χαρτών είναι ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά από την παρουσίαση των χαρτών. Αυτό είναι θετικό καθώς μπορούμε να αφαιρέσουμε, να τροποποιήσουμε ή να προσθέσουμε δεδομένα, να μεγεθύνουμε τον χάρτη και να εμφανίσουμε ορισμένα δεδομένα ανάλογα με τα κριτήρια τα οποία θα τεθούν. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι οποιαδήποτε αλλαγή συμβεί στα αρχικά δεδομένα τα αποτελέσματα είναι εμφανή άμεσα στο χάρτη.

Τα ΓΣΠ με την ευρύτερη τους έννοια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων σε πρακτικό και οικονομικό επίπεδο. Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούνται αποτελούν μια βάση δεδομένων η οποία συνήθως μπορεί να επεξεργαστεί σε κάποιο λογισμικό όπως το Microsoft Excel (Microsoft, USA). Οι πληροφορίες στη βάση δεδομένων είναι ταξινομημένες σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε αυτές που αφορούν τον χώρο και είναι υποχρεωτικές (πχ συντεταγμένες τοποθεσιών όπου έγιναν οι μετρήσεις) και τις υπόλοιπες οι οποίες αφορούν τις διάφορες μετρήσεις – παρατηρήσεις που μελετώνται (π.χ. η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε κάθε σημείο του αγρού που μελετήθηκε).

Τα δεδομένα οργανώνονται σε θεματικά επίπεδα που ονομάζονται layers. Κάθε επίπεδο αναπαριστά μια συγκεκριμένη μεταβλητή (π.χ. μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας). Η παράθεση πολλών επιπέδων το ένα πάνω στο άλλο δίνουν μια χωρική άποψη όλων των παραγόντων που εξετάζονται.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στα ΓΣΠ ονομάζονται χωρικά γιατί περιλαμβάνουν γεωγραφικές συντεταγμένες και τα συναντάμε σε δύο μορφές. Η μια είναι η μορφή του ψηφιδωτού (raster) και η άλλη είναι τα διανυσματικά δεδομένα (vector). Δεδομένα τύπου raster χρησιμοποιούνται σε δορυφορικές εικόνες και σε αεροφωτογραφίες όπου οι πληροφορίες συνδέονται με τα εικονοστοιχεία των εικόνων. Τα δεδομένα τύπου vector μπορούν να έχουν διάφορες μορφές όπως:

- Σημεία π.χ. ένα σημείο δειγματοληψίας εδάφους
- Γραμμή π.χ. ένας δρόμος
- Πολύγωνο π.χ. το περίγραμμα ενός χωραφιού

### **2.3 Χαρτογράφηση παραγωγής**

Ο βασικός στόχος κάθε παραγωγού είναι το κέρδος που θα αποκτήσει από την παραγωγή διαφόρων αγροτικών προϊόντων. Για αυτό το λόγο οι παραγωγοί ενδιαφέρονται να μάθουν την τελική παραγωγή που έχει πετύχει η καλλιέργεια. Όμως, η παραλλακτικότητα των διαφόρων χαρακτηριστικών που εμφανίζεται σε κάθε αγρόκτημα είναι μεγάλη και έχει αντίκτυπο στην τελική παραγωγή.

Τα συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής αναπτύχθηκαν με σκοπό να παρουσιάζουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής ενός αγρού. Αυτό προϋποθέτει την ταυτόχρονη καταγραφή της παραγωγής και της γεωγραφικής θέσης της μηχανής συγκομιδής. Οι τελικοί χάρτες παραγωγής μπορούν μετέπειτα να συνδυαστούν με εδαφολογικούς χάρτες, με τοπογραφικούς χάρτες και με μετεωρολογικά δεδομένα για να εξηγηθεί η παραλλακτικότητα της παραγωγής και να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για τη διαχείρισή της.

Μια από τις αρχικές δράσεις που πρέπει να κάνει ένας παραγωγός πριν εφαρμόσει τη γεωργία ακριβείας είναι να πραγματοποιήσει την χαρτογράφηση της παραγωγής του αγροκτήματός του. Σε περίπτωση που ένα αγρόκτημα δεν έχει παραλλακτικότητα στην παραγωγή η χρήση της γεωργίας ακριβείας είναι δύσκολο να δικαιολογηθεί. Από την άλλη πλευρά σε αγροκτήματα που παρουσιάζουν πολύ υψηλή παραλλακτικότητα τόσο στην παραγωγή όσο και στα εδαφικά χαρακτηριστικά, η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας κρίνεται απαραίτητη και προσοδοφόρα.

#### **2.3.1 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής**

Λόγω της μεγάλης εκμηχάνισης της παραγωγής φυτών μεγάλης καλλιέργειας είναι φυσικό να έχουν αναπτυχθεί πολλά συστήματα για την καταγραφή της παραγωγής τους. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα έχουν περάσει από το πειραματικό στάδιο, στο εμπορικό σημειώνοντας μεγάλη επιτυχία καθώς επιτυγχάνεται ακρίβεια στις μετρήσεις απαιτώντας πολύ λίγο χρόνο (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3. Εμπορικό σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής (www.ucanr.org)

Τα προϊόντα των φυτών μεγάλης καλλιέργειας είναι συνήθως σπόροι. Αυτό συνεπάγεται ότι για την μέτρηση της συγκομιζόμενης ποσότητας θα πρέπει να είναι γνωστά τρία πράγματα: η ταχύτητα εργασίας της μηχανής συγκομιδής, το πλάτος εργασίας της μηχανής συγκομιδής και η ροή του σπόρου.

Οι Morgan and Ess, (1997) περιέγραψαν τα 6 μέρη από το οποία συνήθως αποτελείται ένα σύστημα καταγραφής της παραγωγής όταν το συγκομιζόμενο προϊόν είναι σπόρος. Αυτά είναι:

#### **α) Αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας της μηχανής συγκομιδής.**

Οι αισθητήρες αυτοί μπορεί να χρησιμοποιούν τεχνολογία ραντάρ, υπερήχων ή GPS ενώ δεν είναι λίγες οι φορές που χρησιμοποιούνται και μαγνήτες τοποθετημένοι στον άξονα των τροχών σε συνδυασμό με ένα αισθητήρα προσέγγισης (proximity sensor). Αυτοί τοποθετούνται στους τροχούς της μηχανής συγκομιδής με σκοπό να μετρούν την ταχύτητα του οχήματος και την ολίσθηση σε ορισμένες εφαρμογές.

#### **β) Αισθητήρες μέτρησης της ροής του σπόρου.**

Οι αισθητήρες αυτοί τοποθετούνται σε κάποιο σημείο στη μηχανή συγκομιδής από όπου περνάει ο σπόρος. Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί αισθητήρες οι οποίοι λειτουργούν με



διαφορετικό τρόπο ο καθένας. Υπάρχουν αισθητήρες οι οποίοι μετρούν την πίεση που ασκεί ο σπόρος σε κάποιο σημείο του σωλήνα από όπου περνάει ο σπόρος καθώς και αισθητήρες που μετρούν την μετατόπιση που προκαλεί η ροή του σπόρου καθώς προσκρούει σε κάποιο σημείο στο σωλήνα μεταφοράς του σπόρου. Επίσης έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες που μετρούν το διερχόμενο όγκο του σπόρου μέσα από ένα σωλήνα καθώς και δυναμοκυψέλες οι οποίες μετρούν το βάρος του σπόρου καθώς αυτός περνά από τον κοιλία μεταφοράς στη μηχανή συγκομιδής. Στο βάρος του σπόρου μπορούν να συνδυαστούν περισσότερες πληροφορίες όπως υγρασία του σπόρου ή ταχύτητα συγκομιδής για να υπολογιστεί η παραγωγή ανά μονάδα συγκομιζόμενης έκτασης.

#### **γ) Αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας του σπόρου.**

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω οι μετρήσεις υγρασίας του σπόρου είναι πολύ σημαντικές για την χαρτογράφηση της παραγωγής. Οι αισθητήρες που μετρούν την υγρασία του σπόρου τοποθετούνται κοντά στους αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας στη μηχανή συγκομιδής. Αυτοί συνήθως είναι πυκνωτές οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό ρεύμα σε δύο μεταλλικούς οπλισμούς οι οποίοι χωρίζονται από ένα διηλεκτρικό. Ο σπόρος περνάει μέσα από τον πυκνωτή ανάμεσα από τους οπλισμούς και υπολογίζεται η διηλεκτρική σταθερά του η οποία είναι ανάλογη με την υγρασία του σπόρου.

#### **δ) Αισθητήρας θέσης μηχανισμού θερισμού μηχανής συγκομιδής.**

Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της έκτασης που συγκομίζεται. Σε περίπτωση που ο μηχανισμός θερισμού της μηχανής είναι σηκωμένος ψηλά, ο αισθητήρας σταματά να καταγράφει δεδομένα γιατί καταλαβαίνει ότι εκείνη τη στιγμή το μηχάνημα δεν συγκομίζει.

#### **ε) Κεραία GPS.**

Χρησιμοποιείται για την καταγραφή της γεωγραφικής θέσης της μηχανής συγκομιδής.

#### **στ) Κεντρική μονάδα με οθόνη.**

Είναι από τις σημαντικότερες συσκευές του συστήματος χαρτογράφησης παραγωγής. Η κεντρική μονάδα είναι αυτή που συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα που παράγονται από τα

επιμέρους μέρη του συστήματος. Ταυτόχρονα έχει την ιδιότητα να παρουσιάζει τα δεδομένα που καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο. Η τοποθέτησή της γίνεται μέσα στην καμπίνα του χειριστή του μηχανήματος για να μπορεί ο χρήστης να παρακολουθεί την πορεία των μετρήσεων της υγρασίας του σπόρου, την στιγμιαία και μέση παραγωγή, την ταχύτητα της μηχανής, την ποιότητα του σήματος του GPS και την έκταση που συγκομίστηκε.

### **2.3.2 Χαρτογράφηση παραγωγής σε γραμμικές καλλιέργειες**

Στο παρελθόν έχουν αναπτυχθεί διάφορα συστήματα καταγραφής της παραγωγής σε σιτηρά. Οι Baerdemaeker et al. (1985), ανέπτυξαν ένα αισθητήρα μέτρησης σπόρου που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα. Οι Wagner and Schrock (1989) ασχολήθηκαν με την ανάπτυξη ενός αισθητήρα σε έναν περιστρεφόμενο ατέρμονα κοχλία για τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής μάζας κόκκων σε μια θεριζοαλωνιστική μηχανή. Απέναντι από το περιστρεφόμενο άκρο του οριζόντιου κοχλία τοποθετήθηκε μια δυναμοκυψέλη για να καταγράψει τη διαφορά του ρυθμού ροής. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις πραγματικές αποδόσεις αποκάλυψε πως τα ποσοστά σφάλματος ήταν μικρότερα από τρία τοις εκατό. Ο Colvin (1990) ασχολήθηκε με την ανάπτυξη ενός συστήματος ζυγίσματος κάδων σε μια θεριζοαλωνιστική μηχανή. Όμως καμία ένδειξη της ακρίβειας του συστήματος δεν δημοσιεύτηκε. Οι Stafford et al. (1991) ανέλυσαν την απόδοση ενός συστήματος για τον προσδιορισμό του ρυθμού ροής. Επιπλέον, οι ίδιοι αναφέρθηκαν στην απόδοση μιας νουκλεονικής πρότυπης συσκευής. Η μέθοδος ανίχνευσης του ρυθμού ροής των κόκκων στηρίχθηκε στην αλλαγή της χωρητικότητας ενός μίγματος κόκκων με αέρα. Η ακρίβεια του συστήματος αυτού ήταν ικανοποιητική. Οι Strubbe et al. (1996) ανέφεραν την ανάπτυξη μιας οπτικής ογκομετρικής μεθόδου ανίχνευσης του ρυθμού ροής των σπόρων. Ένα σύστημα τεσσάρων οπτικών αισθητήρων ήταν τοποθετημένα εγκάρσια στο σωλήνα μεταφοράς των κόκκων. Οι διακοπές του φωτός που προκαλούνταν από το πέρασμα των κόκκων συσχετίστηκαν με την ογκομετρική ροή των κόκκων. Τα αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια του συστήματος ήταν ικανοποιητικά.

Οι Bae et al. (1987) συνδύασαν δεδομένα μέτρησης ροής όγκου κόκκων και καταγραφής της θέσης της μηχανής συγκομιδής για την χαρτογράφηση της παραγωγής στο σόργο. Οι ίδιοι κατέληξαν ότι το σύστημά τους είχε μέτρια ακρίβεια και ότι η παραγωγή σε περιοχές χαμηλής απόδοσης μπορούσαν να υπερεκτιμηθούν μέχρι και 25%.

Προσπάθειες έγιναν επίσης για την καλύτερη καταγραφή δεδομένων παραγωγής και το φιλτράρισμα αυτών για πιθανά λανθασμένα στοιχεία. Οι Stout et al. (1993) διερεύνησαν την υπόθεση της χρήσης μοντέλων και την ανάπτυξη τεχνικών για τη δημιουργία χαρτών παραγωγής.

Οι Birrell et al. (1995) εφηύραν διάφορα μοντέλα για τη στιγμιαία χαρτογράφηση της παραγωγής σιτηρών με δεδομένα που υπήρχαν σε μια κονσόλα. Αργότερα οι Perez-Munoz και Colvin (1996) ασχολήθηκαν με το συνδυασμό των μετρούμενων παραμέτρων όπως η υγρασία σπόρου, η ταχύτητα της μηχανής συγκομιδής, η ταχύτητα μεταφοράς του σπόρου, για την ακριβέστερη χαρτογράφηση της παραγωγής, τόσο υπό συνθήκες εργαστηρίου όσο και στον αγρό. Στο εργαστήριο η συσχέτιση των μετρημένης απόδοσης με την πραγματική απόδοση αναφέρθηκε ότι είναι 0,99 ενώ σε πειράματα στον αγρό ο συντελεστής συσχέτισης κυμάνθηκε μεταξύ 0,82 και 0,98.

Εκτός από το παραπάνω σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής έχουν αναπτυχθεί και άλλα συστήματα για διάφορες άλλες καλλιέργειες όπως στο βαμβάκι. Οι Vellidis et al. (2003) δοκίμασαν διάφορα συστήματα παρακολούθησης της συγκομιδής του βαμβακιού με σκοπό να διαπιστώσουν ποια ήταν πιο ακριβέστερα. Αυτοί κατέληξαν ότι η ακρίβεια των συστημάτων εξαρτάται από τη ρύθμιση των αισθητήρων. Ο Wallace (1999) μελέτησε την ακρίβεια ενός συστήματος χαρτογράφησης σε ένα μικρό αγρόκτημα. Για την μέτρηση της παραγωγής χρησιμοποίησαν ένα σύστημα οπτικών πομπών και ανιχνευτών που ανέπτυξαν οι Gvili (1998). Κατά τη διάρκεια του πειράματος η παραγόμενη ποσότητα του βαμβακιού από κάθε πειραματικό τεμάχιο τοποθετούνταν σε σάκους οι οποίοι ζυγίζονταν και το βάρος που προέκυπε συγκρίνονταν με το πραγματικό βάρος. Οι Markinos et al. (2003) έκαναν χαρτογράφηση του βαμβακιού προσαρμόζοντας ένα μόνιτορ της Farmscan και διάφορους αισθητήρες σε μια βαμβακοσυλλεκτική μηχανή. Οι Vellidis et al. (2001) επινόησαν μια μηχανή συλλογής της αραχίδας και χαρτογράφησης της παραγωγής. Το κύριο μέρος του συστήματος αποτελούνταν από δυναμοκυψέλες οι οποίες μετρούσαν το βάρος της συγκομιζόμενης αραχίδας.

### **2.3.3 Χαρτογράφηση παραγωγής σε δενδρώδεις καλλιέργειες**

Στις δενδρώδεις καλλιέργειες υπάρχουν αρκετά παραδείγματα χαρτογράφησης της παραγωγής. Οι Miller and Whitney (1999) και οι Whitney et al. (2001) προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής σε οπωρώνες

πορτοκαλιών. Τα φρούτα καθώς συγκομίζονταν τοποθετούνταν μέσα σε κάδους που ήταν κοντά στα δέντρα από όπου μάζευαν τα πορτοκάλια. Με ένα σύστημα που αποτελούνταν από δυναμοκυψέλες οι οποίες ήταν εγκατεστημένες σε ένα όχημα, ζύγιζαν τους κάδους με τα πορτοκάλια ενώ κατέγραφαν την γεωγραφική θέση ταυτόχρονα με το ζύγισμα. Οι Annamalai et al. (2003) χρησιμοποίησαν έναν δέκτη GPS για να καταγράψουν την πορεία ενός οχήματος το οποίο κινούνταν μέσα σε οπωρώνα με πορτοκάλια. Το όχημα ήταν εξοπλισμένο με μια φωτογραφική μηχανή η οποία λάμβανε φωτογραφίες από τα δέντρα του οπωρώνα. Η ανάλυση των φωτογραφιών που ελήφθησαν στηρίχτηκε στην καταμέτρηση των φρούτων που είχαν απότυπωθεί στις φωτογραφίες με την χρήση ενός αλγόριθμου. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισμένης ποσότητας φρούτων με τη χρήση φωτογραφιών και της πραγματικής παραγωγής ήταν σχετικά υψηλός (0.76). Παρόμοιο πείραμα σε πορτοκάλια έγινε από τους Chinchuluun et al. (2006). Αυτοί χρησιμοποίησαν δύο διαφορετικές κάμερες για την φωτογράφιση των δένδρων και διαφορετικό αλγόριθμο. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η χαρτογράφηση της παραγωγής με αυτή την μεθοδολογία είναι ακριβέστερη από ότι των Annamalai et al. (2003) καθώς ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισμένης ποσότητας φρούτων με τη χρήση φωτογραφιών και της πραγματικής παραγωγής ήταν σχετικά υψηλός (0.82). Οι Bulanon et al. (2002) ανέπτυξαν ένα σύστημα για την αυτοματοποιημένη αναγνώριση των μήλων ποικιλίας cv. Fuji. Αυτό επιτεύχθηκε με την λήψη φωτογραφιών και την ανάλυση τους με ένα μοντέλο το οποίο διέκρινε το κόκκινο χρώμα των μήλων. Παρόμοια εργασία έχει αναφερθεί από τους Wachs et al. (2010) οι οποίοι χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο προσπάθησαν να ξεχωρίσουν με επιτυχία τα μήλα ποικιλίας cv. Gala (δίχρωμη ποικιλία, δηλ. με μερικό μόνο επίχρωμα επί του φλοιού) από το υπόλοιπο περιβάλλον. Το 2012 οι Shin et al. (2012) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο που αναλύει φωτογραφίες των δένδρων και υπολογίζει το σύνολο των φρούτων που υπάρχουν σε αυτά. Τα πειράματα έγιναν σε οπωρώνα με πορτοκάλια και αποδείχθηκε ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της υπολογισμένης ποσότητας φρούτων με τη χρήση φωτογραφιών και της πραγματικής παραγωγής ήταν πάρα πολύ υψηλός (0.92). Σε οπωρώνα μήλων οι Alchanatis et al., (2007) έλαβαν υπερφασματικές φωτογραφίες των δένδρων και προσπάθησαν να χαρτογραφήσουν την παραγωγή σε διάφορα στάδια των δένδρων. Το σφάλμα που παρουσιάζονταν από την ανάλυση των φωτογραφιών ήταν 14.9%.

Εκτός από την χαρτογράφηση της παραγωγής έχουν γίνει προσπάθειες για την πρόβλεψη της παραγωγής. Στο ρύζι οι Swain et al. (2008) χρησιμοποίησαν πολυφασματικές φωτογραφίες

από καλλιέργεια ρυζιού στις αρχές τις βλαστικής του περιόδου. Σκοπός τους ήταν να υπολογίσουν τις τιμές του δείκτη NDVI της βλάστησης και να προβλέψουν την παραγωγή του ρυζιού και την περιεκτικότητά του σε πρωτεΐνες. Σε καλλιέργεια μήλων οι Aggeloroulou et al. (2009) μέτρησαν με τα χέρια τα λουλούδια που υπήρχαν στα δέντρα κατά την περίοδο της ανθοφορίας και βρήκαν υψηλή συσχέτιση μεταξύ παραλλακτικότητας παραγωγής και παραλλακτικότητας των ανθέων ( $r = 0.78$ ). Επιπλέον οι Aggeloroulou et al. (2011) φωτογράφησαν 250 δέντρα με μια απλή φωτογραφική μηχανή και ανέλυσαν 113 φωτογραφίες. Η συσχέτιση της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής με την χωρική παραλλακτικότητα των ανθέων ήταν σχετικά υψηλή ( $r = 0.85$ ).

#### **2.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων**

Η ύπαρξη παραλλακτικότητας στις εδαφικές ιδιότητες είναι κάτι που δυσκολεύει τόσο τους επιστήμονες όσο και τους παραγωγούς για την εξήγηση διαφόρων φαινομένων που παρουσιάζονται στα αγροκτήματα. Τα φυτά έχουν άμεση επαφή με το έδαφος καθώς από αυτό αντλούν τα θρεπτικά συστατικά με τις ρίζες τους για την ανάπτυξη τους. Γι' αυτό το λόγο θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η παραλλακτικότητα των εδαφικών ιδιοτήτων επηρεάζει άμεσα την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Η κατανόηση της παραλλακτικότητας των εδαφικών χαρακτηριστικών μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της παραγωγής και στην καλύτερη διαχείριση των αγροκτημάτων. Σύμφωνα με την Γκόλια (2003) έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικοί τρόποι δειγματοληψίας εδάφους και με την χρήση δεκτών GPS μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός της χωρικής παραλλακτικότητας των εδαφικών χαρακτηριστικών.

Τα βασικότερα εδαφικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών κατά τον Μήτσιο (2004) χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Στα κύρια στοιχεία όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Στα δευτερεύοντα στοιχεία όπως το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το θείο (S). Και στα ιχνοστοιχεία που είναι το βόριο (B), το χλώριο (Cl), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), και το μολυβδαίνιο (Mo).

Στις περισσότερες καλλιέργειες το σημαντικότερο στοιχείο είναι το άζωτο. Αυτό συμβάλει στη βλαστική ανάπτυξη των φυτών και στην αύξηση της παραγωγής. Για την καλύτερη χρήση του αζώτου θα πρέπει να γίνει σωστή διαχείριση του καθώς το άζωτο μπορεί να χαθεί από το έδαφος. Ο Μήτσιος (2004) αναφέρει συγκεκριμένα πως σε περίπτωση εφαρμογής του αζώτου σε ακατάλληλη εποχή μπορεί να προκληθεί απονιτροποίηση, έκπλυση ή εξαέρωση.

Για παράδειγμα όταν το έδαφος είναι ζεστό και υγρό οι μικροοργανισμοί του εδάφους μετατρέπουν τα νιτρικά του εδάφους σε αέριο άζωτο. Επίσης σε περίπτωση που μετά την εφαρμογή αζώτου στο έδαφος ακολουθήσει βροχή ή πότισμα το άζωτο μπορεί να εκπλυθεί στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Τέλος σε περίπτωση που το άζωτο εφαρμοσθεί στην επιφάνεια του εδάφους μπορεί να μετατραπεί σε αμμωνία και να εξαερωθεί.

Ο φώσφορος συγκρατείται πολύ ισχυρά από το έδαφος και δεν υπάρχουν μεγάλες απώλειες στο πέρασμα του χρόνου. Παρόλα αυτά μπορεί να υπάρξουν απώλειες φωσφόρου μόνο σε περίπτωση διάβρωσης του εδάφους. Ο φώσφορος συμβάλει στην ανάπτυξη των αναπαραγωγικών μερών των φυτών (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002).

Το κάλιο, σύμφωνα με τους Στυλιανίδη και άλλους, (2002), είναι σημαντικό για τα φυτά καθώς επιτρέπει την μετακίνηση διαφόρων ουσιών μέσα στα φυτά, την ενεργοποίηση κάποιων ενζύμων και βοηθά το φυτό να ανταπεξέλθει σε συνθήκες ξηρασίας. Ο Μήτσιος, (2004) αναφέρει ότι μόνο το 1-10% της συνολικής ποσότητας του καλίου του εδάφους είναι διαθέσιμο στα φυτά.

Οι Στυλιανίδης και άλλοι (2002) αναφέρουν τις παρακάτω λειτουργίες των δευτερευόντων στοιχείων. Το ασβέστιο βοηθά στην ανάπτυξη της ρίζας, των στελεχών και των φύλλων ενώ παράλληλα βελτιώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες. Στην παραγωγή χλωροφύλλης συμβάλει το μαγνήσιο ενώ το θείο βοηθά στην δημιουργία πρωτεϊνών και καθιστά τα φυτά ικανά να αντέχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τέλος η ποσότητα των ιχνοστοιχείων που απαιτούνται από τα φυτά είναι πάρα πολύ μικρή. Παρά το γεγονός αυτό, υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται εφαρμογή ιχνοστοιχείων στο έδαφος.

Εκτός από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν η παραγωγικότητα του εδάφους εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως η οργανική ουσία, η στράγγιση, η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, και η μηχανική σύσταση του εδάφους (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002).

## **2.5 Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους**

Για τη δειγματοληψία των εδαφών στη γεωργία έχουν υιοθετηθεί τρεις τρόποι. Ο πρώτος γίνεται εντελώς τυχαία. Συνήθως αυτός που κάνει τη δειγματοληψία διαγράφει ένα νοητό M ή Z στο χωράφι και στις γωνίες του γράμματος συλλέγει δείγμα εδάφους για να το αναλύσει. Συνήθως χρησιμοποιείται ο δεύτερος τρόπος που αφορά την δειγματοληψία εδάφους με βάση τον τύπο του ή άλλο χαρακτηριστικό (στοχευμένη δειγματοληψία). Για να γίνει αυτού του

είδους η δειγματοληψία θα πρέπει αυτός που θα την κάνει να συμβουλευτεί εδαφολογικούς χάρτες του αγρού ή να στηριχτεί σε διάφορες ζώνες διαχείρισης οι οποίες προήλθαν από μετρήσεις διαφόρων εδαφικών χαρακτηριστικών όπως πχ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ή άλλων παραμέτρων όπως πχ η παραγωγή. Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει δειγματοληψία πολλών δειγμάτων από κάθε περιοχή που έχει όμοια χαρακτηριστικά και κατόπιν αυτά τα μείγματα θα πρέπει να αναμειχθούν μεταξύ τους. Τέλος ο τρίτος τρόπος αφορά την δειγματοληψία εδάφους με την μορφή πλέγματος. Κάθε αγρόκτημα χωρίζεται σε μικρά κουτάκια ή αλλιώς κελιά. Το μέγεθος των κελιών πρέπει να είναι το ίδιο για κάθε ένα αγρόκτημα ξεχωριστά. Δείγματα εδάφους μπορούν να ληφθούν για κάθε ένα κελί ξεχωριστά. Σε περίπτωση που ληφθούν παραπάνω από ένα δείγμα για κάθε κελί τότε τα δείγματα που εκπροσωπούν το κάθε κελί μπορούν να αναμειχθούν για την δημιουργία ενός δείγματος αντιπροσωπευτικού για κάθε κελί.

Με τον πρώτο τρόπο που αναφέρθηκε τα δείγματα που συλλέγονται είναι λίγα και δεν είναι ικανά να περιγράψουν με ακρίβεια την παραλλακτικότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών. Η δεύτερη μέθοδος φαίνεται να περιγράφει καλά την παραλλακτικότητα ενώ ο όγκος των δειγμάτων για ανάλυση είναι λογικός. Τέλος, ο τρίτος τρόπος φαίνεται ότι βοηθά στην πιστότερη απεικόνιση της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του εδάφους αλλά με πολύ υψηλό κόστος που δεν μπορεί πάντα να αποσβεστεί. Σε περίπτωση που το μέγεθος του κελιού που θα χρησιμοποιηθεί είναι μικρό, τότε ο τελικός αριθμός των δειγμάτων θα είναι πολύ μεγάλος που συνεπάγεται και αυξημένο κόστος για τις αναλύσεις.

## **2.6 Χαρτογράφηση φαινόμενης ή φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας**

Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα ενός διαλύματος να επιτρέπει να περνάει ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τη μάζα του. Οι μονάδες μέτρησης είναι mmhos ανά cm ή ανά m ή decisiemens/m (Hanlon, 2012). Οι Kurtulus et al. (2009) διαπίστωσαν ότι η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα του εδάφους σε άλατα. Όμως, η συγκέντρωση των αλάτων σε ένα διάλυμα εξαρτάται και από την ποσότητα του νερού. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένας συνδυασμός συγκέντρωσης αλάτων, υγρασίας εδάφους και υφής εδάφους.

Σύμφωνα με τους Corwin and Lesch (2005) οι παράγοντες που επηρεάζουν την φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι:

- Η υφή του εδάφους. Όσο περισσότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο τόσο καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι (Sudduth et al., 2005).
- Το πορώδες του εδάφους. Όσο μεγαλύτερο πορώδες έχει ένα έδαφος τόσο χειρότερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι (Grisso, 2009).
- Η συγκέντρωση των αλάτων. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος αυξάνει την φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι στις ΗΠΑ έχουν κατατάξει τα εδάφη σε κατηγορίες ανάλογα με την αλατότητα που παρουσιάζουν (United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service):

<b>Επίπεδο αλατότητας</b>	<b>Ηλεκτρική αγωγιμότητα (mmhos /cm)</b>
Καθόλου	0 ως <2
Ελάχιστη	2 ως <4
Ελαφρώς	4 ως <8
Μέτρια	8 ως <16
Έντονη	$\geq 16$

- Η θερμοκρασία του εδάφους. Σχετίζεται θετικά με την φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Revil et al, 1998).
- Η οργανική ουσία. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους σχετίζεται θετικά με την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία (Zahra and Tahboub, 2008).
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων.
- Η περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος. Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υγρασίας του εδάφους καθώς το νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.



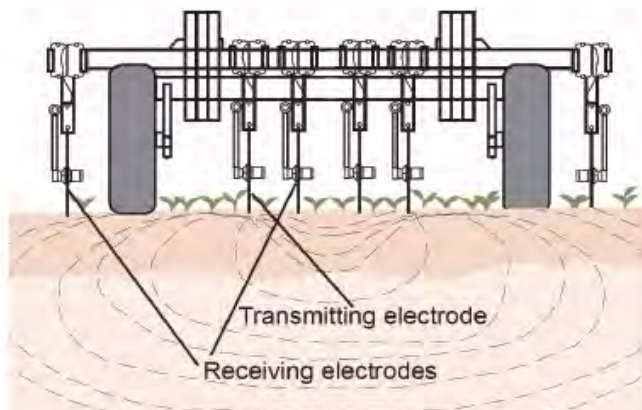
### 2.6.1 Μέτρηση φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Υπάρχουν δύο μέθοδοι άμεσης χαρτογράφησης της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας:

- Με επαφή
- Με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

#### Μέτρηση με επαφή

Για την μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με επαφή χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια εφαρμοσμένα σε ζεύγη δίσκων, οι οποίοι είναι προσαρτημένοι σε ένα πλαίσιο το οποίο έλκεται από το γεωργικό ελκυστήρα. Δύο δίσκοι με ηλεκτρόδια είναι οι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος, δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο στο έδαφος και οι υπόλοιποι δίσκοι με τα ηλεκτρόδια τους λαμβάνουν το ρεύμα που προκύπτει ανάλογα με την αντίσταση του εδάφους. Ανάλογα το βάθος της μέτρησης επιλέγεται και η απόσταση των δίσκων που εκπέμπουν ηλεκτρικό ρεύμα (Εικόνα 2.4). Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση των δίσκων-ηλεκτροδίων τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του ηλεκτρικού πεδίου και κατ' επέκταση και το βάθος του. Το πιο συνηθισμένο εμπορικό σύστημα αυτής της κατηγορίας είναι το VERIS (Veris Technologies, USA). Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις αυτού του συστήματος αναλόγως του βάθους που πρέπει να μετρηθεί η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα.



Εικόνα 2.4. Τρόπος λειτουργίας του Veris ([www.pubs.ext.vt.edu](http://www.pubs.ext.vt.edu))

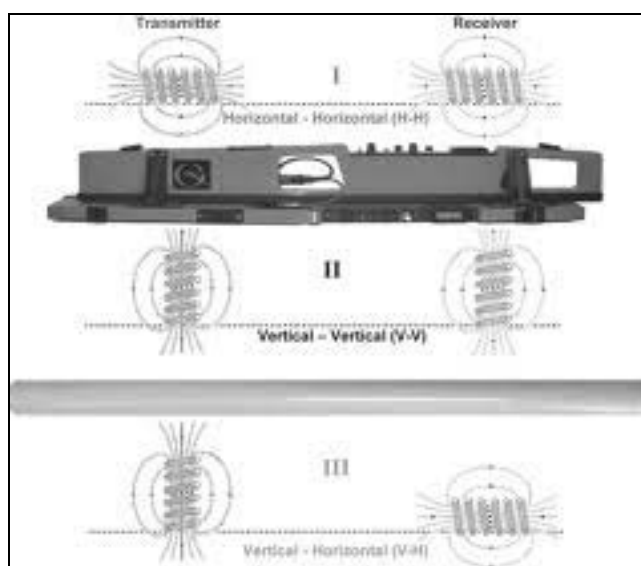
Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το μοντέλο Veris 3100. Έχει δημιουργηθεί για χρήση σε βαριά και συνεκτικά εδάφη καθώς η κατασκευή του είναι πολύ στιβαρή και ανθεκτική. Το πλάτος μέτρησης της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 235 cm ενώ μετράει σε δύο βάθη (0-30 cm και 0-90cm). Για τη λειτουργία του απαιτείται γεωργικός ελκυστήρας με

τουλάχιστον 30 ίππους ενώ το σύστημα μπορεί να κάνει μετρήσεις με ταχύτητα έως και 25 km/h.

Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι η τεχνολογία Veris συνδυάζει την ακρίβεια στις μετρήσεις της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τον λιγότερο χρόνο καθώς είναι παρελκόμενο το σύστημα και κάνει μετρήσεις ακόμη και σε υψηλές για τον ελκυστήρα ταχύτητες.

### Μέτρηση με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Κατά την μέθοδο αυτή μετριέται η επίδραση του εδάφους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο. Η συσκευή αποτελείται από ένα δίπολο που παράγει ηλεκτρικό φορτίο και ένα δέκτη (στην άλλη άκρη) που απορροφά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που προκύπτει ανάλογα με την ικανότητα του εδάφους να επιτρέπει την διόδο του ηλεκτρικού ρεύματος (Εικόνα 2.5). Η μέθοδος αυτή είναι δύσκολη στην εφαρμογή της καθώς απαιτεί συνεχώς βαθμονομήσεις κάτι που απαιτεί πολύ χρόνο. Επίσης οι μετρήσεις επηρεάζονται από τα μεταλλικά αντικείμενα που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση ενώ δεν μπορούν να γίνουν ταυτόχρονα μετρήσεις σε δύο βάθη. Τέλος το κόστος απόκτησης των μηχανημάτων συγκαταλέγεται στα θετικά αυτής της μεθόδου καθώς για την απόκτηση του συστήματος EM38 που χρησιμοποιεί την μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής απαιτούνται \$19000 ενώ για το σύστημα Veris χρειάζονται τα διπλάσια χρήματα.



Εικόνα 2.5. Τρόπος λειτουργίας συσκευών με την μέθοδο της επαγωγής (www.soils.org)

## EM38

Το σύστημα αποτελείται από δύο δίπολα. Το ένα δίπολο δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο (πομπός) και το άλλο λαμβάνει ή μετρά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ηλεκτρικό ρεύμα που περνά μέσα από το έδαφος (δέκτης). Αναλόγως με τον τρόπο χρήσης του συστήματος, η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη μπορεί να είναι 0,5 και 1 cm έτσι ώστε να μπορούν να γίνουν μετρήσεις σε βάθη 0,75 και 1,5 m. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στον χρήστη να μετρήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του επιφανειακού εδάφους ή των πιο βαθιών εδαφικών στρωμάτων. Σε περίπτωση χρήσης του αισθητήρα με οριζόντιο προσανατολισμό ο αισθητήρας μπορεί να μετρήσει την ηλεκτρική αγωγιμότητα σε βάθος 0,75 m ενώ η κατακόρυφη χρήση του μετράει σε βάθος 1.5 m. Είναι πρακτικό σύστημα καθώς μπορεί να τοποθετηθεί σε γεωργικό ελκυστήρα είτε να ληφθούν μετρήσεις κρατώντας τον αισθητήρα στα χέρια καθώς είναι ελαφρύς.

Ανεξάρτητα από την μέθοδο μέτρησης της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι Doegree et al. (2007) ανέφεραν ποιοι κανόνες πρέπει να διέπουν την μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Αυτοί είναι:

- Το έδαφος να μην είναι πολύ υγρό ούτε ξερό. Δύο ή τρεις μέρες μετά από βροχή είναι το ιδανικό χρονικό διάστημα για την μέτρηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας.
- Καλύτερη περίοδος για μέτρηση είναι μετά την συγκομιδή ή όταν είναι το έδαφος έτοιμο για σπορά.
- Οι μετρήσεις να γίνονται σε απόσταση τουλάχιστον 150 εκατοστά μακριά από μεταλλικά αντικείμενα στην περίπτωση των μεθόδων μη επαφής.
- Για να είναι σωστή η χαρτογράφηση της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις τουλάχιστον κάθε 12 μέτρα.

### 2.6.2 Εφαρμογές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στη γεωργία

#### Εύρεση της υφής του εδάφους

Η χρήση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με άλλα εδαφικά χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά είναι η υφή του εδάφους. Πολλοί ερευνητές μπόρεσαν να συσχετίσουν θετικά την φαινόμενη εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο (Moore and Walcott, 2001; Domsch and Giebel, 2004; Jung et al., 2005; Lesch et al., 2005; Mertens et al., 2008) και με την περιεκτικότητα του

εδάφους σε οργανική ουσία (Moore and Walcott, 2001). Παρόλα αυτά υπάρχουν έρευνες στις οποίες δεν βρέθηκε συσχέτιση μεταξύ υφής του εδάφους και φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Jayroe et al., 2003).

### **Κατανόηση των φυτών για τις θρεπτικές τους ανάγκες**

Εκτός από την υφή του εδάφους η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την λίπανση των καλλιεργειών με άζωτο καθώς έχει παρατηρηθεί ότι το διαθέσιμο άζωτο μεταβάλλεται δυναμικά σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Eigenberg, 2002). Βασιζόμενοι σε αυτό το γεγονός ορισμένοι ερευνητές πρότειναν εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης αζωτούχου λιπάσματος με βάση τις τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους έτσι ώστε να εξοικονομηθεί λίπασμα και να αυξηθεί το κέρδος των παραγωγών (Wiatrak et al., 2009; Aimrun et al., 2011).

### **Στοχευμένη δειγματοληψία εδάφους**

Αρκετοί επιστήμονες χρησιμοποίησαν τη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα σαν οδηγό για να κάνουν σωστή δειγματοληψία εδάφους (Li et al., 2008) . Αυτό διαπιστώνεται από τους Corwin et al. (2003) οι οποίοι έκαναν δειγματοληψία εδάφους βασιζόμενοι στην ηλεκτρική αγωγιμότητα και βρήκαν άμεση συσχέτιση αυτής με την αλατότητα και την οξύτητα του εδάφους.

### **Πρόβλεψη της παραγωγής**

Ίσως από τις πιο σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να ληφθούν από την παραλλακτικότητα της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι σχετικά με την παραγωγή. Σε αρκετά πειράματα έχει βρεθεί θετική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Fraisse et al., 2001; Sarec et al., 2002; Johnson et al. 2002; Flemming et al., 2004; Kitchen et al., 2005; Guo et al., 2012; Eshani et al., 2005) ενώ σε πειράματα καλαμποκιού (Jayroe et al., 2003) και μήλων (Tucker et al., 2011) δεν βρέθηκε θετική συσχέτιση.

## **2.7 Τηλεπισκόπηση**

### **2.7.1 Γενικά**

Ένα από τα αποτελέσματα της εξέλιξης της τεχνολογίας είναι η επιστήμη της τηλεπισκόπησης η οποία αναλύει και επεξεργάζεται δορυφορικά και επίγεια χωρικά δεδομένα με την βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλων λογισμικών. Από την εποχή που πρωτοεμφανίστηκε η τηλεπισκόπηση, οι επιστήμονες προσπάθησαν να δώσουν έναν ορισμό για το τι είναι τηλεπισκόπηση. Ο ορισμός που επικρατεί ακόμη και σήμερα είναι ότι: ‘Τηλεπισκόπηση είναι η διαδικασία καταγραφής της ενέργειας η οποία ανακλάται ή εκπέμπεται από ένα αντικείμενο’ (Lillesand et al., 1987; Lillesand et al., 1994; Lillesand et al., 2004) ενώ ο Sabins (1986) όρισε πως τηλεπισκόπηση σημαίνει συλλογή και καταγραφή πληροφοριών για αντικείμενα με τα οποία τα συστήματα καταγραφής δεν έχουν φυσική επαφή μεταξύ τους. Με βάση τους παραπάνω ορισμούς μπορεί να ειπωθεί πως εφαρμογή τηλεπισκόπησης γίνεται για παράδειγμα κατά τη διάρκεια μιας ακτινογραφίας ή κατά την μελέτη των φυτών με διάφορους αισθητήρες.

Σύμφωνα με τον Townshend (1981) τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης έναντι των άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων και κυρίως αυτών που χρησιμοποιούν σε εργασίες υπαίθρου είναι:

- Η μελέτη των επιφανειών που εξετάζονται γίνονται σχετικά γρήγορα και κατά συνέπεια είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ ίδιων δεδομένων από διαφορετικές όμως περιοχές λήψης.
- Η δυνατότητα των συνεχών μετρήσεων η οποία δίνει την ευκαιρία να μελετηθούν διάφορα χαρακτηριστικά και να γίνουν διαχρονικές συγκρίσεις αυτών.
- Η λήψη πληροφοριών σε πολλά μήκη κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ των βιοφυσικών στοιχείων της επιφάνειας που μελετάται, οι οποίες δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτές με το ανθρώπινο μάτι.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά μιας επιφάνειας που μπορούν να μελετηθούν με την τηλεπισκόπηση είναι:

- Η χωρική θέση ενός αντικειμένου
- Το υψόμετρο
- Το χρώμα
- Η φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης
- Η βιομάζα
- Το ποσοστό υγρασίας της βλάστησης
- Το ποσοστό υγρασίας του εδάφους
- Η θερμοκρασία
- Το μέγεθος και το σχήμα διαφόρων στοιχείων

### 2.7.2 Χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία

Η τηλεπισκόπηση άρχισε να χρησιμοποιείται έμμεσα στη γεωργία πριν από πολλά χρόνια. Η πρώτη εφαρμογή ήταν το 1929 και αφορούσε την χαρτογράφηση των εδαφών με χρήση αεροφωτογραφιών (Bauer, 1975). Με βάση τις φωτογραφίες που λήφθηκαν οι περιοχές που απεικονίζονταν χωρίστηκαν σε διάφορες ζώνες σύμφωνα με το χρώμα που είχε το έδαφος. Στη συνέχεια, η εξέλιξη της τεχνολογίας έδωσε την ευκαιρία στους επιστήμονες να χρησιμοποιήσουν νέα συστήματα φωτογράφισης στα οποία μπορούσαν να προσαρμοστούν φίλτρα. Τα φίλτρα άφηναν ένα ορισμένο μήκος κύματος να περάσει στο φακό της φωτογραφικής μηχανής. Η επινόηση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την μελέτη του φαινομένου της καταπόνησης (του 'στρες') των φυτών. Τέλος στη σημερινή εποχή όπου χρησιμοποιείται η δορυφορική τεχνολογία δίνεται η ευκαιρία στους επιστήμονες αλλά και στους παραγωγούς πλέον να εξετάζουν τις καλλιέργειές τους γρήγορα και εύκολα. Σύμφωνα με τους Dash and Curran (2007) η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του είδους των καλλιεργειών καθώς και της κατάστασης των φυτών. Παράλληλα, η συνεχής μελέτη των φυτών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου μπορεί να βοηθήσει τους παραγωγούς στο να προβλέψουν την τελική παραγωγή.

Σύμφωνα με τον Barnes et al. (2003) η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χαρτογράφηση των εδαφών και συγκεκριμένα στην αναγνώριση των αλατούχων εδαφών. Οι Hatfield and Pinter (1993) κατέληξαν ότι η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση προσβεβλημένων από αρρώστιες καλλιεργειών ενώ η μελέτη της επίδρασης των

φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες μπορεί να γίνει πιο γρήγορα και αποτελεσματικά (Hickman et al., 1991).

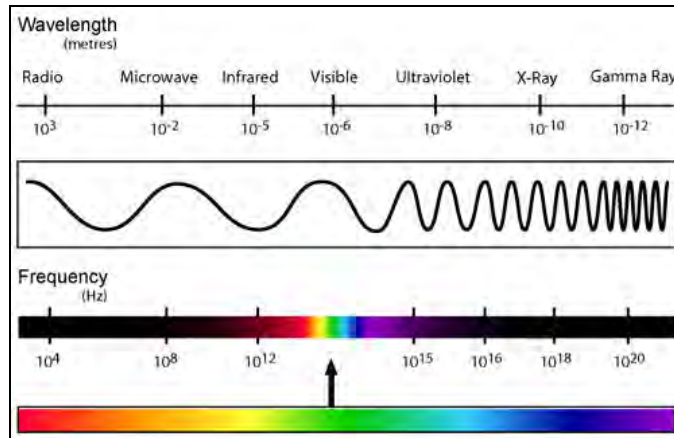
Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία έχει πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικότερο είναι ότι τα δεδομένα που συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται είναι σχετικά χαμηλού κόστους αν αναλογιστεί κανείς το πλήθος των αποτελεσμάτων που μπορούν να ληφθούν. Επίσης τα δεδομένα λαμβάνονται πολύ γρήγορα όλο το χρόνο. Στα θετικά της τηλεπισκόπησης επίσης συγκαταλέγεται και η δυνατότητα μελέτης περιοχών που είναι αδύνατο να εξετασθούν με επίγειες μετρήσεις ή που θα απαιτούσαν πολύ χρόνο, χρήματα και πολλές δειγματοληψίες.

Εκτός από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Το κυριότερο είναι ότι η ποιότητα των δεδομένων εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η σκόνη και ο φωτισμός. Επίσης στα αρνητικά της τηλεπισκόπησης συγκαταλέγονται η επεξεργασία των δεδομένων η οποία απαιτεί γνώσεις χρήσεως ηλεκτρονικού υπολογιστή και διαφόρων λογισμικών.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είναι πολλά υποσχόμενη όσον αφορά τις μελλοντικές εφαρμογές. Οι χωρικές και χρονικές πληροφορίες που αντλούνται από τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης είναι απαραίτητες για την χρήση διαφόρων μεθόδων διαχείρισης των καλλιεργειών όπως είναι η γεωργία ακριβείας.

### **2.7.3 Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία**

Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον δεν γίνονται άμεσα αντιληπτά από τον άνθρωπο γιατί το ανθρώπινο μάτι είναι ικανό να ευαισθητοποιείται μόνο σε ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 350 – 700 nm. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται από μήκος κύματος 0.01 Angstrom (γ ακτίνες) μέχρι  $3 \times 10^6$  μέτρα που χαρακτηρίζει την υψηλή και χαμηλή συχνότητα των ραδιοφωνικών κυμάτων (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με τα διάφορα φάσματα (ιστοσελίδα: [www.zebu.uoregon.edu](http://www.zebu.uoregon.edu))

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να πάρει διάφορες μορφές στο χώρο. Αυτές είναι:

- Διερχόμενη ακτινοβολία που είναι η ακτινοβολία που διέρχεται δια μέσου κάποιου υλικού.
- Απορροφούμενη ακτινοβολία που είναι η ακτινοβολία που μπορεί να απορροφηθεί από ένα υλικό και να αποδώσει την ενέργειά της κυρίως για την θέρμανση του υλικού.
- Εκπεμπόμενη ακτινοβολία η οποία ορίζεται σαν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα υλικό σαν αποτέλεσμα της δομής του.
- Διαχεόμενη ακτινοβολία η οποία είναι η ακτινοβολία που διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις και χάνεται είτε λόγω απορρόφησης είτε λόγω περαιτέρω διάχυσης.
- Ανακλώμενη ακτινοβολία η οποία εκφράζει την ακτινοβολία που την προσπίπτουσα ακτινοβολία που ανακλάται από την επιφάνεια του υλικού με γωνία ανάκλασης ίση και αντίθετη με τη γωνία πρόσπτωσης.

#### **2.7.4 Δείκτες βλάστησης**

Η χρήση της τηλεπισκόπησης είναι πολλά υποσχόμενη στον τομέα της γεωργίας. Η ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά συσχετίζεται με την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης σε αυτά ενώ η θερμική ανακλώμενη ακτινοβολία συσχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Έχει παρατηρηθεί ότι τα φυτά στην ορατή ζώνη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφούν την ακτινοβολία από την κόκκινη και μπλε περιοχή και ανακλούν την ακτινοβολία της πράσινης περιοχής. Αυτή η ιδιότητα οφείλεται στην χλωροφύλλη α και β των φύλλων και



έτσι εξηγείται γιατί το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται ως πράσινα τα φύλλα των φυτών (Συλλαίος κ.α.. 2007). Στο εγγύς υπέρυθρο η δομή των φύλλων παίζει καθοριστικό ρόλο στις οπτικές τους ιδιότητες. Οι χρωστικές ουσίες των φύλλων είναι διαφανείς στο εγγύς υπέρυθρο και παρουσιάζουν πολύ μικρή απορρόφηση ενώ η αντανάκλαση είναι πάρα πολύ μεγάλη (Συλλαίος et al. 2007). Με άλλα λόγια θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η βλάστηση παρουσιάζει χαμηλές τιμές ανάκλασης στο ορατό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ενώ η αντανάκλαση είναι πάρα πολύ μεγάλη στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Αυτήν η συμπεριφορά της βλάστησης είναι μοναδική στη φύση και γι' αυτό τα φυτά διαφέρουν από τα υπόλοιπα βιοφυσικά στοιχεία στη γη (Συλλαίος et al. 2007).

Για την ευκολότερη μελέτη της ευρωστίας των φυτών επινοήθηκαν διάφοροι δείκτες βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης δεν έχουν διάσταση και υπολογίζονται συνήθως με μια αναλογία καταγεγραμμένων πληροφοριών στην κόκκινη περιοχή και στο εγγύς υπέρυθρο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η καταγραφή των πληροφοριών μπορεί να γίνει είτε με δορυφορικές εικόνες είτε με επίγειες μετρήσεις με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων. Παρόλα αυτά δεν έχει αποδειχθεί ακόμη τι μετράνε οι δείκτες βλάστησης. Χρησιμοποιούνται όμως σαν δείκτες ανάπτυξης και ευρωστίας των φυτών (Wickland, 1989) ή για την διάγνωση διαφόρων βιοφυσικών παραμέτρων της βλάστησης όπως το δείκτη LAI. Επίσης οι δείκτες βλάστησης συμβάλουν στην εύρεση του ποσοστού φυτοκάλυψης, της πράσινης βιομάζας και της απορροφούμενης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση (Sellers et al., 1992; Arsar, 1989).

Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζονται οι δείκτες βλάστησης είναι η δραστηριότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα εκμεταλλεύονται την ιδιότητα της βλάστησης να ανακλά πολύ μικρή ακτινοβολία στο ορατό φάσμα και πολύ μεγάλη στο εγγύς υπέρυθρο, όπως ειπώθηκε παραπάνω.

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά των δεικτών βλάστησης θα πρέπει να είναι η ευαισθησία του στο πράσινο τμήμα του φυτού και όχι στα άλλα αντικείμενα αλλά αυτό είναι αδύνατο. Ο πιο γνωστός δείκτης είναι ο NDVI (Normalised Difference Vegetation Index, Rouse et al., 1973) και υπολογίζεται από το τη σχέση:

$$NDVI = (IR+R)/(IR-R)$$

Όπου: IR οι πληροφορίες που καταγράφηκαν στο εγγύς υπέρυθρο.

R οι πληροφορίες που καταγράφηκαν στην κόκκινη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι τιμές του δείκτη NDVI έχουν εύρος από -1 έως 1 και εκφράζουν πόσο πράσινο είναι ένα φυτό.

### **2.7.5 Χρήση του δείκτη NDVI στη γεωργία**

Μια από τις σπουδαιότερες χρήσεις του δείκτη NDVI είναι η εποπτεία των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα οι Wu et al. (2007) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες για να υπολογίσουν τον δείκτη LAI μέσω του δείκτη NDVI σε καλλιέργειες πατάτας και καλαμποκιού. Στην Κίνα οι Wang et al. (2009) χρησιμοποίησαν τον δείκτη NDVI για να υπολογίσουν τον δείκτη LAI σε καλλιέργειες ρυζιού. Στην Ισπανία οι Gilabert et al. (1996) σε πειράματα που έκαναν που αφορούσαν τη βιομάζα βρήκαν θετική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών LAI και NDVI.

Οι Cupertino Da Silva et al. (2006) εντόπισαν θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και της ποσότητας της ξερής βιομάζας καθώς και με την περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο. Οι περιοχές που εξετάστηκαν ήταν καλλιεργημένες με το φυτό *Brachiaria decumbens*. Παρόμοια έρευνα έγινε από τους Liu et al. (2006) οι οποίοι κατέληξαν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ φυτικής βιομάζας και του δείκτη NDVI. Οι Dalezios et al. (2001) χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες NOAA/AVHRR κατάφεραν να εξάγουν τους δείκτες NDVI από καλλιέργειες βαμβακιού σε έξι περιοχές της Ελλάδας. Αυτοί διαπίστωσαν ότι είναι δυνατή η χρήση του NDVI για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών καθώς και για τον υπολογισμό της τελικής παραγωγής.

Οι Cyr et al. (1995) χρησιμοποίησαν τον δείκτη NDVI για να υπολογίσουν την φυτοκάλυψη μιας περιοχής καθώς αυτή παίζει σπουδαίο ρόλο στη διάβρωση του εδάφους. Στο Ιράν, οι Amiri και Tabatabaie (2009) αν και αντιμετώπισαν κάποια προβλήματα με την ανακλώμενη ακτινοβολία μπόρεσαν να εντοπίσουν θετική συσχέτιση μεταξύ φυτοκάλυψης και του δείκτη NDVI. Στο Ιράν επίσης οι Bajgiran et al. (2008) χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες για να υπολογίσουν την ξηρασία σε μια περιοχή. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI και τα δεδομένα βροχόπτωσης μπόρεσαν να εντοπίσουν θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο.

Οι Genc et al. (2008) μπόρεσαν να εξάγουν δεδομένα NDVI από υπερφασματικές φωτογραφίες που είχαν ληφθεί από έναν αισθητήρα χειρός. Με τα δεδομένα του NDVI που είχαν εντόπισαν πόσο στρεσαρισμένα ήταν τα φυτά σταριού που προσβλήθηκαν από το έντομο *Eurygaster integriceps* Put. (Hemiptera: Scutelleridae).

Οι ίδιοι επισήμαναν ότι εκτός από το στρες των φυτών μπορούν να εντοπίσουν και το στάδιο της προσβολής σε ελεγχόμενα πειραματικά τεμάχια.

Με τη χρήση της τηλεπισκόπησης στις δενδρώδεις καλλιέργειες καθώς και με τις δορυφορικές εικόνες είναι δυνατό να διαχωριστούν οι οπωρώνες πορτοκαλιού (Shrivastava and Gebelein, 2006) ή οπωρώνες μήλων (Sharma and Panigrahy, 2007) ή καλλιέργειες μύρτιλου (Panda and Hoongnboom, 2009) από τις υπόλοιπες γεινιάζουσες καλλιέργειες.

Όπως προαναφέρθηκε, η μελέτη της ανάπτυξης των φυτών με την χρήση του NDVI είναι πολύ σημαντική καθώς έχει αποδειχθεί θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο παραμέτρων. Σε ορισμένες δενδρώδεις καλλιέργειες όμως όπως η μπανανιά, το μάνγκο και η καρύδα δεν ισχύει κάτι τέτοιο καθώς σε όλη τη διάρκεια της ανάπτυξής τους είναι συνεχώς πράσινα ενώ λίγες διαφορές έχουν παρατηρηθεί στη διακύμανση του πράσινου χρώματος. Σύμφωνα με τους Nageswara et al. (2004) είναι δύσκολο να ξεχωρίσει κανείς την μπανανιά από την καρύδα με βάση τις τιμές του NDVI όπως επίσης το μάνγκο από το ταμάρινθο.

Η χρήση του δείκτη NDVI φαίνεται να είναι πολύ χρήσιμη στην μελέτη της κόμης των δένδρων. Οι Thomas et al. (2008) δήλωσαν πως υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και του όγκου της κόμης των δένδρων ανεξαρτήτως της ωριμότητας των δένδρων και πως αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν οι ανάγκες των δένδρων σε νερό.

Σε μια εργασία των O'Connell et al. (2009) αφού βρέθηκε ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής των δένδρων πορτοκαλιού και αμυγδάλου χρησιμοποίησαν δεδομένα φυτοκάλυψης μέσω του δείκτη NDVI των δένδρων. Η συσχέτιση του NDVI των δένδρων με την εξατμισοδιαπνοή φάνηκε να έχει μεγάλη συσχέτιση. Αυτό δείχνει ότι ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την άρδευση των οπωρώνων σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών.

Οι Dalezios et al. (2002) μέτρησαν τον δείκτη του NDVI σε οπωρώνα μήλων και βρήκαν ότι ο δείκτης αυτός συσχετίζεται θετικά με τις μονάδες θερμότητας (heat units) κυρίως το μήνα Μάιο.

Μια άλλη χρήση του δείκτη NDVI σε οπωρώνες είναι η εύρεση της περιεκτικότητας των φύλλων σε άζωτο. Σύμφωνα με τους Perry and Davenport (2007) το NDVI σχετίζεται θετικά με την ποσότητα του αζώτου στα φύλλα. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν αφού πρώτα χώρισαν έναν οπωρώνα με μήλα σε πειραματικά τεμάχια όπου εφάρμοσαν διάφορες ποσότητες αζωτούχου λίπανσης. Οι μετρήσεις περιλάμβαναν μετρήσεις χλωροφύλλης των φύλλων με διάφορους αισθητήρες και χρήση δορυφορικών εικόνων για να βρεθεί το NDVI των δένδρων. Η συσχέτιση όλων των επίγειων μετρήσεων με τον δείκτη NDVI έδειξε ότι ο δείκτης αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την εφαρμογή λιπάσματος σε οπωρώνες μήλων.

Ένα άλλο πείραμα που έγινε σε δένδρα μήλων αφορούσε τον εντοπισμό του στρες των δένδρων που προκαλείται από την έλλειψη νερού. Συγκεκριμένα οι Kim et al. (2011) εφάρμοσαν 5 διαφορετικές διαχειρίσεις όσον αφορά την ποσότητα του νερού που χρησιμοποιήθηκε για άρδευση. Τα δέντρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα παρακολουθούνταν από μια υπερφασματική συσκευή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι τιμές του δείκτη NDVI σχετίζονταν με την ποσότητα άρδευσης των δένδρων.

Ο δείκτης NDVI εκτός από τις παραπάνω εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην αναγνώριση των προσβεβλημένων δένδρων από διάφορα έντομα. Οι Luedeling et al. (2009) κατέγραψαν τις τιμές του δείκτη NDVI από 1153 φύλλα σε 11 οπωρώνες με ροδάκινα στην Καλιφόρνια τα οποία ήταν προσβεβλημένα με ακάρεα. Η σύγκριση της ζημιάς στα φύλλα με τον δείκτη NDVI έδειξε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο και πως ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των προσβολών σε οπωρώνες. Οι Garcia et al. (2013) χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες από οπωρώνα με πορτοκάλια. Στη συνέχεια αφού ανέλυσαν τις φωτογραφίες υπολόγισαν ορισμένους δείκτες βλάστησης όπως και το NDVI. Το αποτέλεσμα ήταν ότι με την χρήση του NDVI μπόρεσαν να ξεχωρίσουν ποιά δέντρα ήταν προσβεβλημένα από την αρρώστια Huanglongbing ή αλλιώς πρασίνισμα των πορτοκαλιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι Sankaran and Ehsani (2011) σε πείραμα που έκαναν σε οπωρώνα με πορτοκάλια στη Φλόριντα.

## **2.8 Ζώνες διαχείρισης**

Σύμφωνα με τους Markinos et al. (2004) το τελευταίο στάδιο εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας είναι η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων των εισροών με βάση τα αποτελέσματα της

ανάλυσης όλων των δεδομένων που έχουν ληφθεί. Για να γίνει η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων θα πρέπει το αγρόκτημα να χωριστεί σε διάφορες ζώνες. Οι ζώνες διαχείρισης έχουν οριστεί από τους Kitchen et al. (2005) σαν υπομήματα εντός του αγρού όπου τα χαρακτηριστικά αυτών είναι ομοιογενή και μπορούν να λάβουν διαφορετικές δόσεις εισροών ομοιόμορφα όπως λίπασμα, νερό, σπόρο, κ.α.

Τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να πληρούν οι ζώνες διαχείρισης είναι:

- Να έχουν συσχέτιση με την παραγωγή καθώς ο βασικός στόχος των παραγωγών είναι η επίτευξη μιας ικανοποιητικής παραγωγής.
- Να οριοθετούνται εύκολα και να είναι πρακτικά δυνατή η εφαρμογή των μεταβλητών δόσεων εισροών.
- Να είναι σταθερές στο χρόνο.

Τα δεδομένα για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης μπορούν να προκύψουν από:

- Τοπογραφικούς χάρτες
- Εδαφικούς χάρτες
- Χάρτες παραγωγής
- Αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες
- Δείκτες βλάστησης

Ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης που θα πρέπει να δημιουργηθούν σε έναν αγρό εξαρτώνται από:

- Την παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών του αγρού π.χ. της ηλεκτρικής αγωγιμότητας
- Το μέγεθος του αγρού
- Την δυνατότητα της πρακτικής εφαρμογής των μεταβλητών εισροών π.χ. του λιπάσματος

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν καταγεγραμμένες αρκετές προσπάθειες δημιουργίας ζωνών διαχείρισης. Η διαφορά τους έγκειται στα διαφορετικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό των ζωνών. Έτσι, έχουν διαχωριστεί ζώνες διαχείρισης με βάση τα δεδομένα της

παραγωγής ενός αγρού (Blackmore et al., 2003; Diker et al., 2004; Ping and Dobermann, 2003; Dobermann et al., 2003; Jaynes et al., 2004; Xiang et al., 2007; Milne et al. 2011) ή με δεδομένα αναγλύφου που συλλέχτηκαν με τεχνολογία GPS (Lark and Stafford, 1997; Vitharana et al., 2007). Επίσης ζώνες διαχείρισης σε αγρούς έχουν δημιουργηθεί με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους καθώς βρήκαν ότι αυτή συσχετίζεται με την παραγωγή (Kitchen et al., 1999; Kitchen et al., 2003; Perry et al., 2007; Johnson et al., 2003; Yan et al. 2006; Morari et al., 2009; Sudduth et al., 1996; Fraisse et al., 2001b; Moral et al., 2010) ή με βάση τα εδαφολογικά στοιχεία που προέκυψαν από αναλύσεις των εδαφών (Qiang et al., 2009; Rodrigo et al., 2007; Davatgar et al. 2012). Οι Yan et al. (2007) έκαναν διαχωρισμό ζωνών διαχείρισης συνδυάζοντας δείκτη βλάστησης NDVI και εδαφολογικά χαρακτηριστικά ενώ οι Tagarakis et al. (2012) για να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης σε έναν αμπελώνα χρησιμοποίησαν δεδομένα του δείκτη NDVI, παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και εδαφικών ιδιοτήτων. Τέλος οι Fleming et al. (2000) χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες από γυμνό έδαφος μιας περιοχής και με βάση το χρώμα του εδάφους δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης. Αξίζει να σημειωθεί πως η μεθοδολογία αυτή είχε υποστηριχτεί στο παρελθόν από τους Long et al. (1994) οι οποίοι χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες μιας περιοχής με γυμνό έδαφος και εδαφικά χαρακτηριστικά για τον διαχωρισμό των ζωνών διαχείρισης.

Σε δενδρώδεις καλλιέργειες οι Zaman and Schuman (2006) δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα με πορτοκάλια χρησιμοποιώντας δεδομένα εδάφους και παραγωγής. Σε ελαιώνα οι Lopez Granados et al. (2004) βασιζόμενοι στην περιεκτικότητα των φύλλων σε θρεπτικά συστατικά δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης. Κάτι ανάλογο έκαναν και οι Fountas et al., (2010) οι οποίοι βασίστηκαν στα εδαφικά χαρακτηριστικά του ελαιώνα. Τέλος, οι Aggelopoulou et al. (2010) δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης σε οπωρώνα με μήλα για την εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης στηριζόμενοι στην παραγωγή καρπών της προηγούμενης χρονιάς.

Η στατιστική ανάλυση η οποία χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό των κλάσεων είναι η μέθοδος cluster analysis (Fraisse et al., 2001a; Stafford et al., 1998; Boydel, 1999). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα δεδομένα ταξινομούνται σε κλάσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η παραλλακτικότητα των δεδομένων εντός των κλάσεων και να μεγιστοποιείται μεταξύ των κλάσεων.

Υπάρχουν διάφορα λογισμικά για το διαχωρισμό των ζωνών των αγροκτημάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το λογισμικό FUZME και το MZA (Management Zone

Analyst). Η επιλογή του αριθμού των ζωνών σε αυτά τα προγράμματα στηρίζεται σε δύο δείκτες. Ο πρώτος δείκτης ονομάζεται FPI (Fuzziness Exponent Index). Το εύρος των τιμών που λαμβάνει είναι από 0 έως 1. Όταν η τιμή του δείκτη FPI πλησιάζει το 0 αυτό δείχνει ότι οι κλάσεις είναι ευδιάκριτες μεταξύ τους ενώ όταν έχει τιμή κοντά στο 1 σημαίνει ότι περιοχές του αγρού μπορεί να ανήκουν σε παραπάνω από μια κλάσεις. Ο δεύτερος δείκτης ονομάζεται MPE (Modified Partition Entropy) και δηλώνει το ποσοστό της ασάφειας. Οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι μεταξύ 0 και 1. Όταν λαμβάνει τιμές κοντά στο 1 δηλώνει ότι υπάρχει ασάφεια ενώ τιμές κοντά στο 0 φανερώνει μια οργάνωση στις κλάσεις. Για την επιλογή του ιδανικότερου αριθμού κλάσεων χρησιμοποιώντας μια σειρά από μετρήσεις θα πρέπει οι δύο δείκτες να έχουν την μικρότερη τιμή.

## **2.9 Εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών**

Μετά τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης το επόμενο βήμα είναι η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών. Οι εισροές μπορεί να είναι ο σπόρος, το λίπασμα, τα φυτοφάρμακα ή το αρδευτικό νερό. Γενικά υπάρχουν δύο μέθοδοι εφαρμογής δόσεων με μεταβλητές δόσεις. Στη μια μέθοδο χρησιμοποιούνται χάρτες εφαρμογής εισροών και στην άλλη χρησιμοποιούνται αισθητήρες με εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο (real time).

Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφορα λογισμικά GIS που απευθύνονται σε αγρότες όπως το λογισμικό Farmworks (Trimble, USA). Αυτά τα λογισμικά μπορούν να παράγουν χάρτες εφαρμογής διαφόρων εισροών. Δηλαδή ο χρήστης μπορεί να αποτυπώσει πάνω σε ένα χάρτη την ποσότητα κάθε εισροής, την οποία επιθυμεί να χρησιμοποιήσει σε κάθε σημείο του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής των χαρτών εφαρμογής σε τέτοια μορφή ώστε να μπορεί να διαβαστεί από συγκεκριμένες συστήματα (κονσόλες). Αυτά τα συστήματα (οι κονσόλες) είναι εξοπλισμός (hardware) και λογισμικό που μπορούν να ελέγχουν τα παρελκόμενα του ελκυστήρα που κάνουν την εφαρμογή. Παράλληλα με τη χρήση GPS έχουν την δυνατότητα να καθορίζουν τη θέση του ελκυστήρα στον αγρό και τη συσχετίζουν με την επιθυμητή δόση της εισροής που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τον χάρτη εφαρμογής.

Στη δεύτερη μέθοδο χρησιμοποιούνται δεδομένα από διάφορους αισθητήρες που άμεσα ρυθμίζουν το μηχάνημα εφαρμογής της εισροής. Οι αισθητήρες αυτοί εφαρμόζονται πάνω στον

ελκυστήρα ή σε κάποιο παρελκόμενο και κάνουν διάφορες μετρήσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ή τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Η ύπαρξη ενός συστήματος (μιας κονσόλας) ρύθμισης του μηχανήματος εφαρμογής της εισροής επιτρέπει την καταγραφή και επεξεργασία των δεδομένων, ενώ με τη βοήθεια ενός ελεγκτή μπορεί να ρυθμιστεί το παρελκόμενο να κάνει εφαρμογή της εισροής στην επιθυμητή δόση. Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι με αυτή τη μέθοδο γίνεται εφαρμογή των εισροών σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση δέκτη GPS δεν είναι απαραίτητη ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε περίπτωση που ο παραγωγός θα επιθυμούσε να καταγράψει την πορεία του οχήματος μέσα στον αγρό. Υπάρχουν διάφορα εμπορικά τέτοια συστήματα όπως είναι το Greenseeker (NTech Industries, USA) και το Weedseeker της ίδιας εταιρίας.

Το Greenseeker είναι ένα παρελκόμενο το οποίο τοποθετείται κυρίως σε ψεκαστικά. Χρησιμοποιεί διάφορους αισθητήρες οι οποίοι μέσω της αντανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μετρούν το δείκτη NDVI της επιφάνειας που σαρώνουν. Στη συνέχεια με βάση το δυναμικό παραγωγής της κάθε καλλιέργειας το σύστημα καθορίζει την ιδανικότερη ποσότητα του αζώτου και εφαρμόζει μεταβλητές δόσεις αζώτου.

Το Weedseeker κατασκευάστηκε για να ψεκάζει ζιζανιοκτόνα σε διαφορετικές δόσεις. Συγκεκριμένα χρησιμοποιώντας αισθητήρες ανιχνεύει το ανακλώμενο φως από την επιφάνεια που σαρώνει. Εάν ανιχνεύσει πράσινο χρώμα τότε ενεργοποιεί μια ηλεκτροβαλβίδα και ψεκάζει ζιζανιοκτόνο.

Πειράματα εφαρμογών εισροών με μεταβλητές δόσεις δεν υπάρχουν πάρα πολλά στη βιβλιογραφία. Στο βαμβάκι οι Ansari and Mahey (2003) αφού χρησιμοποίησαν διαφορετική λίπανση στο βαμβάκι κατέληξαν ότι υπάρχει αύξηση της παραγωγής βαμβακιού όταν οι δόσεις του αζωτούχου λιπάσματος είναι μεγαλύτερες από 80 kg/ha. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Saleem et al. (2010) και Bell et al. (2003) κάνοντας το ίδιο πείραμα. Οι Khalilian et al. (2008) και Porter et al. (2010) μετά από εφαρμογή αζωτούχου λίπανσης στο βαμβάκι διαπίστωσαν ότι η χρησιμοποιούμενη ποσότητα λιπάσματος μπορεί να μειωθεί κατά 30% χωρίς να σημειωθεί μείωση στην παραγωγή. Τέλος οι Vellidis et al. (2011) μετά από εφαρμογή λίπανσης με αζωτούχο λίπασμα κατέληξαν ότι η ποσότητα του λιπάσματος επηρεάζει άμεσα και γρήγορα την ευρωστία των φυτών.

Οι Fountas et al. (2010) εφάρμοσαν μεταβλητές δόσεις λιπάσματος σε ελαιώνα στην Ελλάδα. Οι δόσεις των λιπασμάτων προέκυψαν με βάση τις εδαφικές αναλύσεις που έγιναν.



Παρόλα αυτά χρειάστηκαν περισσότερα χρόνια πειραμάτων για να βρεθεί η επίδραση της εφαρμογής στην παραγωγή. Οι Aggeloroulou et al. (2010) με βάση την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς ενός οπωρώνα μήλων πρότειναν δόσεις για την εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος. Τα αποτελέσματα αν και θεωρητικά έδειξαν ότι μια τέτοια εφαρμογή μπορεί να επιφέρει 38% μείωση στην ποσότητα του λιπάσματος που θα χρησιμοποιηθεί. Στη Φλόριντα πειράματα εφαρμογής λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε καλλιέργεια πορτοκαλιών έδειξαν ότι στην πράξη η ποσότητα του λιπάσματος μπορεί να μειωθεί κατά 25 – 30% (Ehsani et al, 2009).

Οι Llorens et al. (2010) ανέπτυξαν ένα σύστημα ειδικά για αμπελώνες. Αυτό προσαρμόζεται σε ψεκαστικό μηχάνημα με σκοπό την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων κάποιου χημικού. Το σύστημα έχει αισθητήρες οι οποίοι ελέγχουν τον όγκο της κόμης των πρέμων. Ανάλογα με τον όγκο ενεργοποιούνται κάποιες ηλεκτροβαλβίδες και ψεκάζεται διαφορετική ποσότητα υγρού κάθε φορά. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μπορεί να επέλθει μείωση του ψεκαζόμενου υγρού έως και 58%. Παρόμοιο σύστημα αναπτύχθηκε από τους Escola et al., (2013) για εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών σε οπωρώνες μήλων. Αυτό αποτελούνταν από τρία μέρη. Το πρώτο χρησιμοποιούσε LiDAR αισθητήρες για να ‘διαβάσει’ την κόμη των δέντρων, το δεύτερο αποτελούνταν από έναν ελεγκτή οποίος ήταν υπεύθυνος για τη διαχείριση των δόσεων και το τρίτο μέρος αποτελούνταν από ελεγκτές βαλβίδων οι οποίοι ρύθμιζαν το άνοιγμα των βαλβίδων από όπου περνούσε η αγροχημική ουσία.

## **2.10 Γενικά για την μηλιά**

Η μηλιά είναι ένα από τα πιο γνωστά οπωροφόρα δέντρα και καλλιεργείται σε όλα σχεδόν τα μέρη της γης για τους θρεπτικούς και εύγευστους καρπούς της. Ήταν γνωστή στους Αρχαίους Έλληνες και Ρωμαίους. Το κύριο κέντρο εξάπλωσης του γένους *Malus* φαίνεται πως βρίσκεται κάπου ανάμεσα στην Ασία και δυτικά των επαρχιών της Κίνας (Janick et al., 1996, Juniper et al., 2001). Κέντρο καταγωγής της θεωρείται το Καζακστάν (Juniper et al., 2001), από όπου μετέπειτα διαδόθηκε από τον άνθρωπο σε όλα σχεδόν τα μέρη του κόσμου. Η μηλιά παρουσιάζει υψηλή γενετική παραλλακτικότητα, που επέτρεψε την επιλογή τύπων προσαρμοσμένων σε διάφορα περιβάλλοντα. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες για την δημιουργία νέων ποικιλιών με σκοπό την επέκταση της μηλοκαλλιέργειας σε ψυχρότερες περιοχές της γης.

Η μηλοκαλλιέργεια είναι διαδομένη στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ, στη Ν. Αμερική, την Αυστραλία, την Ασία, τον Καναδά, τη Νέα Ζηλανδία, τη Ν. Αφρική και την Ιαπωνία. Στην Ελλάδα, η μηλοκαλλιέργεια παρατηρείται στην κεντρική και δυτική Μακεδονία (Βέρμιο, Φλώρινα, Πιερία), στη Θεσσαλία και στην Πελοπόννησο. Τέλος η μηλοκαλλιέργεια είναι πολύ σημαντική για την ελληνική οικονομία καθώς είναι η τέταρτη σε σημασία δενδρώδης καλλιέργεια μετά από την ελιά, τα εσπεριδοειδή και τη ροδακινιά (Βασιλακάκης, 2004).

### **2.10.1 Βοτανική ταξινόμηση και περιγραφή**

Οι περισσότερες ποικιλίες προέρχονται από το είδος *Malus rumilla* και υπάρχουν πάρα πολλές. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται οι κόκκινες ποικιλίες (Red Delicious, Red Chief, Starkcimson), η Golden Delicious (μπανανόμηλα), η Granny Smith (πράσινο ξινόμηλο), το Φιρίκι, η Jonagold, η Jonagored καθώς και οι ποικιλίες Gala, Fuji και Pink Lady. Με βάση το χρώμα, την οξύτητα, την εποχή ωρίμανσης και τη γενετική σύσταση οι ποικιλίες της μηλιάς ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες (Βασιλακάκης, 2004 ):

- Ανάλογα με το χρώμα φλοιού

- Κόκκινα μήλα (Red Delicious)
- Κίτρινα μήλα (Golden Delicious)
- Πράσινα μήλα (Granny Smith)

- Ανάλογα με την οξύτητα χυμού

- Γλυκά μήλα (Red Delicious)
- Ξινά μήλα (Granny Smith)
- Ενδιάμεσα

- Ανάλογα με την εποχή ωρίμανσης
  - Θερινά μήλα
  - Σεπτεμβρίου (Red Delicious, Golden Delicious)
  - Φθινοπωρινά (Granny Smith)
  
- Ανάλογα με τη γενετική σύσταση
  - Διπλοειδείς (Red Delicious, Golden Delicious)
  - Τριπλοειδείς (Jonagold)

Οι δύο ποικιλίες (αποτελούμενες από πολλές παραλλαγές) που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή είναι η Fuji και η Granny Smith.

Στα μήλα της ποικιλίας Fuji ο καρπός είναι σφαιρικο-κωνικός, με ροζέ χρώμα το οποίο γίνεται περισσότερο έντονο στις ορεινές περιοχές. Η σάρκα του καρπού έχει χρώμα υποκίτρινο, έχει γλυκιά γεύση, είναι τραγανή, χυμώδης και συντηρείται για αρκετό διάστημα μετά την συγκομιδή (Marquina et al., 2004). Όταν το βασικό χρώμα φλοιού αλλάξει από σκούρο πράσινο σε πιο ανοιχτό σημαίνει ότι το μήλο έχει ωριμάσει και είναι έτοιμο για συγκομιδή. Έχει την τάση να παρηνιαυτοφορεί και δεν απαιτεί πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα μήλα της ποικιλίας Granny Smith προέρχονται από την Αυστραλία και έχουν εξαπλωθεί παγκοσμίως κυρίως λόγω των αγρονομικών χαρακτηριστικών τους. Ο καρπός των μήλων είναι μεγάλος, έχει πράσινο χρώμα και άσπρα φακίδια. Όταν η ποικιλία είναι εμβολιασμένη με υποκείμενο MM106 τότε συγκομίζεται στα μέσα Οκτωβρίου. Τα δένδρα της ποικιλίας αυτής είναι αρκετά ζωνηρά και παραγωγικά.

### **2.10.2 Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, και νερό**

Η μηλιά είναι δένδρο των ψυχρών και υγρών κλιμάτων. Απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες για την διακοπή του ληθάργου των οφθαλμών και δροσερό καλοκαίρι για παραγωγή μήλων

καλής ποιότητας. Οι περιοχές που γειτνιάζουν με υδάτινες επιφάνειες (θαλάσσης, λιμνών, ποταμών) προσφέρονται καλύτερα για την καλλιέργεια της μηλιάς, λόγω της μείωσης του κινδύνου να προκληθούν ζημιές από παγετό, καθώς η υδάτινη επιφάνεια συντελεί στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα. Στη χώρα μας καλής ποιότητας μήλα παράγονται στη Μακεδονία, στο Πήλιο, στην Τρίπολη και στα ορεινά της Κρήτης.

Όσον αφορά τις εδαφικές απαιτήσεις, ευδοκμεί σε γόνιμα, βαθιά εδάφη που στραγγίζουν καλά ενώ σημαντικό ρόλο παίζει και το pH του εδάφους το οποίο πρέπει να κυμαίνεται από 6,5-6,8 (Ποντίκης, 2003). Οι μεγαλύτερες αποδόσεις παίρνονται στις πεδινές περιοχές, όπου υπάρχει δυνατότητα εντατικής εκμετάλλευσης, αλλά καλύτερη ποιότητα επιτυγχάνεται σε ορεινές περιοχές όπου οι αποδόσεις είναι χαμηλότερες (Βασιλακάκης, 2004).

### **2.10.3 Ο ρόλος των θρεπτικών συστατικών του εδάφους**

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή των μήλων είναι τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία. Επειδή στην πραγματικότητα τα φυτά δεν προσλαμβάνουν πάντα τα απαιτούμενα θρεπτικά στοιχεία είτε λόγω έλλειψης ή μειωμένης διαθεσιμότητάς τους στο έδαφος είτε λόγω ανισορροπιών τους στο έδαφος, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για την εξέταση της θρεπτικής τους κατάστασης έτσι ώστε οι παραγωγοί να προβούν στις απαραίτητες ενέργειες. Αυτοί οι μέθοδοι εκπροσωπούνται από μια σειρά αναλύσεων όπως ανάλυση του εδάφους, των καρπών, των ριζών των δένδρων καθώς και φυλλοδιαγνωστική. Παρακάτω παρουσιάζεται η αναγκαιότητα και ο ρόλος των θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια των μήλων σύμφωνα με τους Στυλιανίδης και άλλοι, (2002).

Το άζωτο αποτελεί κλειδί για τον έλεγχο της βλάστησης και της καρποφορίας. Χρειάζεται όμως προσοχή στη χρησιμοποίησή του, ώστε να μη γίνει κατάχρηση η οποία μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά και στο περιβάλλον. Με την υπερβολική ποσότητα αζωτούχου λίπανσης τα δένδρα γίνονται ευαίσθητα σε ασθένειες και στις χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης προκαλείται υποβάθμιση της ποιότητας και της συντηρησιμότητας των καρπών και ελαττώνεται το κόκκινο χρώμα των καρπών. Από την περίσσεια αζώτου επηρεάζεται το ασβέστιο που είναι βασικό για την ποιότητα και τη συντηρησιμότητα των καρπών με αποτέλεσμα να εκδηλώνονται οι φυσιολογικές ασθένειες «Πικρή κηλίδωση» και «εσωτερική υποβάθμιση της σάρκας». Η εφαρμογή του αζώτου σε οπωρώνες μήλων γίνεται

βάσει της φυλλοδιαγνωστικής εξέτασης που πρέπει να γίνει, της προβλεπόμενης παραγωγής και των μακροσκοπικών παρατηρήσεων των δένδρων (Νάνος, 2003).

Η φωσφορική λίπανση είναι αναγκαία στα μικρά δένδρα για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Στα μεγάλης ηλικίας δένδρα η θετική του δράση εντοπίζεται στους καρπούς και στα σπέρματα. Φτωχοί σε φωσφόρο καρποί είναι επιρρεπείς στο μαλάκωμα και στο εσωτερικό καφέτισμα. Όταν υπάρχουν μεγάλες συγκεντρώσεις φωσφόρου στο έδαφος είναι δυνατόν να δεσμεύονται ή να αδρανοποιούνται άλλα στοιχεία όπως το άζωτο, ο ψευδάργυρος, ο σίδηρος και ο χαλκός.

Το κάλιο είναι πολύ σημαντικό στοιχείο καθώς συμβάλλει στη βελτίωση της ποιότητας των καρπών. Η χορήγηση καλίου σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να προκαλέσει έλλειψη ασβεστίου και την εκδήλωση της φυσιολογικής ασθένειας πικρή στιγμάτωση. Η ασθένεια αυτή χαρακτηρίζεται από στίγματα και καθιζάνουσες κηλίδες στο φλοιό του καρπού κυρίως στην περιοχή του κάλυκα μέχρι το μέσο του καρπού.

Το ασβέστιο συμβάλει στη συντήρηση των καρπών. Οι σχέσεις K/Ca και N/Ca χρησιμοποιούνται κατά τις αναλύσεις των καρπών για την πρόβλεψη της ποιότητας και της συντηρησιμότητάς τους. Η σχέση K/Ca σχετίζεται θετικά με την οξύτητα, την περιεκτικότητα σε σάκχαρα, το ποσοστό ξηρής ουσίας, τα διαλυτά στερεά, την εμφάνιση φυσιολογικών ανωμαλιών, την έκταση του κόκκινου χρώματος και την μεταβολή του πράσινου χρώματος σε κίτρινο. Σχετίζεται αρνητικά με τη συνεκτικότητα του καρπού.

Ο ψευδάργυρος είναι πολύ σημαντικός για τα δένδρα μηλιάς καθώς βοηθάει στην καρπόδεση, στο σχηματισμό των φύλλων και στη δημιουργία μεγάλων καρπών. Η έλλειψη ψευδαργύρου αντιμετωπίζεται με χειμερινούς ψεκασμούς με σκευάσματα ψευδαργύρου και κυρίως με θειικό ψευδάργυρο.

Το μαγγάνιο χρειάζεται πολύ προσοχή καθώς η ύπαρξη μικρής ή μεγάλης περιεκτικότητας του εδάφους με αυτό δημιουργεί προβλήματα στα δένδρα. Η αντιμετώπιση της ανεπάρκειας επιτυγχάνεται είτε με χειμερινούς ψεκασμούς με θειικό μαγγάνιο σε συγκέντρωση 3%, είτε με ανοιξιάτικους διαφυλλικούς ψεκασμούς με συγκέντρωση 1 %, εξουδετερωμένο με ασβέστη. Για την αντιμετώπιση της τοξικότητας του μαγγανίου, το ασβέστομα του εδάφους, η αποστράγγιση, η απομάκρυνση των οργανικών υλικών και η μείωση της αζωτούχου λίπανσης αποτελούν τα κυριότερα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται.

Το βόριο επηρεάζει την ποιότητα των καρπών. Η έλλειψη βορίου εμφανίζεται κυρίως στα όξινα εδάφη και όταν γίνεται κατάχρηση αζώτου. Τα συμπτώματα έλλειψης βορίου είναι βυθισμένες κηλίδες στην επιφάνεια των καρπών, φελλώδεις κηλίδες μέσα στη σάρκα ή κάτω από την επιδερμίδα του καρπού και παραμορφώσεις καρπών. Η αντιμετώπιση της έλλειψης βορίου γίνεται με εφαρμογή βόρακα στο έδαφος ή με ανοιξιάτικους ψεκασμούς; με σκευάσματα που περιέχουν βόριο.

Ο σίδηρος δεν αποτελεί πρόβλημα για την καλλιέργεια των μήλων. Η έλλειψη σιδήρου εκδηλώνεται με χλώρωση στα φύλλα. Η καλλιέργεια των μήλων στις ορεινές περιοχές περιορίσει το πρόβλημα της έλλειψης σιδήρου καθώς τα εδάφη εκεί έχουν χαμηλό pH. Κύρια αιτία της έλλειψης σιδήρου είναι η υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβέστιο και το υψηλό pH. Τροφοπενίες σιδήρου έχουν εκδηλωθεί σε εδάφη με μεγάλη συγκέντρωση φωσφόρου, λόγω ανταγωνισμού με το σίδηρο.

#### **2.10.4 Συγκομιδή**

Η χρονική στιγμή κατά την οποία θα γίνει η συγκομιδή παίζει σπουδαίο ρόλο στην ποιότητα και στην συντήρηση των μήλων. Σύμφωνα με τον Βασιλακάκη, (2004) εάν η συγκομιδή γίνει νωρίτερα από την κανονική εποχή αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή ποιότητα, τη συρρίκνωση του καρπού και την εμφάνιση επιφανειακού εγκαύματος κατά τη συντήρηση. Αντιθέτως, εάν η συγκομιδή πραγματοποιηθεί αργότερα από την κανονική εποχή τότε οι καρποί θα έχουν μειωμένη αντοχή στους μικροοργανισμούς, παρατηρείται το φαινόμενο του αλευρώματος των καρπών καθώς και εσωτερικό καφέτιασμα. Ο Βασιλακάκης, (2004) ανέφερε ορισμένα κριτήρια για την κατανόηση της ωρίμανσης των καρπών έτσι ώστε να συγκομιστούν.

Ένα από τα σπουδαιότερα είναι η σκληρότητα. Προκειμένου να συντηρηθούν οι καρποί στα ψυγεία για μεγάλο χρονικό διάστημα πρέπει κατά τη συγκομιδή να έχουν την κατάλληλη σκληρότητα σάρκας. Η σκληρότητα σάρκας μετράται με τα διεισδυσιόμετρα (πενετρόμετρα), τα οποία μετρούν την αντίσταση της σάρκας στην πίεση με την είσοδο εμβόλου ορισμένης διαμέτρου σε ορισμένο βάθος.

Η υδρόλυση του αμύλου κατά την ωρίμανση και η μέτρησή του αποτελεί καλό κριτήριο ωρίμανσης των μήλων και των αχλαδιών.

Η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά είναι επίσης σημαντικό κριτήριο ωριμότητας των καρπών. Τα διαλυτά στερεά των οποίων το μεγαλύτερο μέρος είναι τα σάκχαρα αυξάνονται κατά την ωρίμανση των καρπών.

Η εσωτερική συγκέντρωση αιθυλενίου αποτελεί καλό κριτήριο ωρίμανσης των μήλων αλλά η μέτρησή του απαιτεί αέριο χρωματογράφο ο οποίος είναι ακριβός.

Τέλος το βασικό χρώμα του φλοιού των καρπών αποτελεί επίσης κριτήριο ωριμότητας των καρπών. Το χρώμα των καρπών μπορεί να μετρηθεί με ειδικά όργανα που ονομάζονται χρωματόμετρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.1 Περιγραφή των πειραμάτων

Για την εκπόνηση της διδακτορικής διατριβής το εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας συνεργάστηκε με τον παραγωγό κ. Παπαστεργίου Αλέξανδρο ο οποίος παράγει μήλα διαφόρων ποικιλιών στην περιοχή της Αγιάς του Νομού Λάρισας. Επιλέχθηκαν δύο γειτονικοί αλλά διαφορετικοί οπωρώνες όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους. Αποφασίστηκε στον πρώτο οπωρώνα, να γίνει το κύριο πείραμα μελέτης της παραλλακτικότητας των χαρακτηριστικών όπου θα εφαρμοστούν οι καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις συνήθειες του παραγωγού. Η επιλογή του δεύτερου οπωρώνα έγινε για να εξασφαλιστεί η συνέχεια των πειραμάτων σε περίπτωση που υπήρχε κάποιο πρόβλημα στα δέντρα κατά την διάρκεια των πειραμάτων αλλά και να εφαρμοστούν μεταβλητές δόσεις λιπάσματος. Αξίζει να σημειωθεί ότι η περιοχή της Αγιάς είναι από τις ελάχιστες περιοχές του Νομού Λάρισας όπου τα κλιματικά χαρακτηριστικά επιτρέπουν την καλλιέργεια κόκκινων μήλων για παραγωγή καρπών υψηλής ποιότητας.

#### 3.1.1 Κύριος πειραματικός οπωρώνας

Ο πειραματικός οπωρώνας βρίσκονταν στην περιοχή του Αετόλοφου Αγιάς ( $22^{\circ} 44'14.28''$  E,  $39^{\circ}39'53.20''$  N ) και είχε έκταση 1 εκτάριο (Εικόνα 3.1). Το υψόμετρο του οπωρώνα ήταν περίπου 95 μέτρα επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η κύρια ποικιλία ήταν η Fuji (με μερικό κόκκινο επίχρωμα), ενώ επικονιάστρια ποικιλία ήταν η Red Chief (με κόκκινο φλοιό στη συγκομιδή). Η διάταξη των σειρών ήταν μια σειρά επικονιάστριας ποικιλίας ανά 5 σειρές της κύριας. Το υποκείμενο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το νάνο EM9. Οι αποστάσεις φύτευσης των δένδρων επάνω στη γραμμή ήταν 0.6 μέτρα ενώ η απόσταση μεταξύ των σειρών ήταν 3 μέτρα. Η μορφή κλαδέματος που εφαρμόζονταν ήταν αυτό της ελεύθερης παλμέτας. Στο νότιο τμήμα του οπωρώνα υπήρχαν άγρια θαμνώδη φυτά, στα ανατολικά υπήρχε ένα χωράφι στο οποίο εναλλάσσονταν καλλιέργειες βαμβακιού και καλαμποκιού, στα δυτικά και βόρεια εκτείνονταν άλλοι οπωρώνες μήλων διαφορετικής ποικιλίας. Στον οπωρώνα αυτό λήφθηκαν δεδομένα τριών συνεχόμενων ετών: 2010, 2011, 2012.





**Εικόνα 3.1.** Κύριος πειραματικός οπωρώνας

### 3.1.2 Δευτερεύον πειραματικός οπωρώνας

Ο πειραματικός οπωρώνας βρίσκονταν στην περιοχή του Αετόλοφου Αγιάς ( $22^{\circ} 44'04.80''$  E,  $39^{\circ}39'54.33''$  N ) και είχε έκταση 2 εκτάρια (Εικόνα 3.2). Το υψόμετρο του οπωρώνα ήταν 95 μέτρα περίπου επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η κύρια ποικιλία ήταν η Granny Smith, ενώ επικονιάστρια ποικιλία ήταν η Red Chief. Υποκείμενο εδώ ήταν το MM106. Τα δέντρα της επικονιάστριας ποικιλίας βρίσκονταν τοποθετημένα ανάμεσα στα δέντρα της κύριας ακανόνιστα. Η απόσταση των δέντρων επάνω στις σειρές ήταν ένα μέτρο ενώ η απόσταση μεταξύ των σειρών ήταν τέσσερα μέτρα. Η μορφή κλαδέματος που εφαρμόζονταν ήταν αυτό της ελεύθερης παλμέτας. Στα βόρεια και δυτικά του οπωρώνα υπήρχαν άγρια θαμνώδη φυτά ενώ στα ανατολικά και βόρεια υπήρχαν άλλοι οπωρώνες με διαφορετικές ποικιλίες. Στον οπωρώνα αυτό συνελέγησαν δεδομένα τριών συνεχόμενων ετών: 2010, 2011, 2012.



**Εικόνα 3.2.** Ο δευτερεύον πειραματικός οπωρώνας

## 3.2 Μετρήσεις

### 3.2.1 Πρώτος πειραματικός οπωρώνας

#### 3.2.1.1 Μέθοδος χαρτογράφησης των ιδιοτήτων που εξετάστηκαν

Για την ανάλυση των δεδομένων που εξετάστηκαν στον κύριο πειραματικό οπωρώνα χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis 9.3 (ESRI, USA). Αρχικά για την παρουσίαση όλων των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος πλέγματος. Δηλαδή ο οπωρώνας χωρίστηκε σε μικρές περιοχές που είχαν μέγεθος 20 μέτρα x 18 μέτρα. Η επιλογή αυτού του μεγέθους έγινε με βάση την απόσταση δειγματοληψίας των καρπών που προορίζονταν για ανάλυση της ποιότητάς τους. Με αυτόν τον τρόπο όλες οι μετρήσεις έπρεπε να μεταφερθούν σε πλέγμα 20x18. Με την βοήθεια του λογισμικού δημιουργήθηκε ένα επίπεδο το οποίο αποτελούνταν από 45 πολύγωνα. Τα δεδομένα που λήφθηκαν από κάθε μέτρηση ενώθηκαν στο νέο επίπεδο με τα 45 πολύγωνα χρησιμοποιώντας την επιλογή 'join' του λογισμικού. Στην ουσία δημιουργήθηκε μια νέα βάση δεδομένων όπου για κάθε πολύγωνο αντιστοιχούσαν ορισμένες μετρήσεις. Αυτή η επιλογή στην ουσία ομαδοποιεί τα δεδομένα ανάλογα με τη θέση τους εντός των πολυγώνων. Επίσης δίνει τη δυνατότητα να υπολογιστεί ο μέσος όρος των μετρήσεων του κάθε πολύγωνα.

Όλοι οι χάρτες που δημιουργήθηκαν αποτελούνταν από τρεις κλάσεις και ο χρωματισμός των κλάσεων διατηρήθηκε ο ίδιος σε κάθε χάρτη για να μπορεί να γίνει εύκολα διακριτή η παραλλακτικότητα των μετρήσεων. Για να μη γίνει η ταξινόμηση των δεδομένων τυχαία επιλέχθηκε η μέθοδος των τεταρτημορίων (quantile). Η μέθοδος αυτή ταξινομεί τα δεδομένα στις κλάσεις, οι οποίες ορίζονται από τον χρήστη, έτσι ώστε αυτές να έχουν τον ίδιο αριθμό δεδομένων. Τέλος έγινε εξαγωγή όλων των αποτελεσμάτων σε αρχείο .xls έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω ανάλυση.

#### 3.2.1.2 Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε κατά την περίοδο της συγκομιδής των καρπών τον Οκτώβριο των ετών 2010, 2011, και 2012. Η μέθοδος που επιλέχθηκε βασίστηκε στην βιβλιογραφία και στην εμπειρία των συνεργατών του Εργαστήριου

Γεωργικής Μηχανολογίας στην χαρτογράφηση διαφόρων παραμέτρων. Συγκεκριμένα, η κάθε σειρά του οπωρώνα είχε χωριστεί σε τμήματα των δέκα μέτρων. Σε αυτό βοήθησαν τα σιδερένια στηρίγματα του οπωρώνα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σαν όρια των μικρών τμημάτων των δέκα μέτρων. Κατά την περίοδο της συγκομιδής τα τελάρα τοποθετούνταν κατά μήκος της γραμμής των δένδρων (Εικόνα 3.3). Τα μήλα όταν συλλέγονταν τοποθετούνταν μέσα στα πλαστικά τελάρα. Το βάρος ενός πλήρως γεμάτου με μήλα τελάρου ήταν 18.5 κιλά κατά μέσο όρο. Μετά από την καταγραφή και το ζύγισμα του πλήθους των τελάρων που συμπληρώνονταν με μήλα σε κάθε τμήμα των δέκα μέτρων, με τη βοήθεια του GPS καταγράφονταν και οι συντεταγμένες του μέσου κάθε διαστήματος των δέκα μέτρων. Με αυτόν τον τρόπο σε κάθε χάρτη παραγωγής που δημιουργήθηκε στην πορεία υπήρχε ένα σημείο για κάθε δέκα μέτρα όπου αντιστοιχούσε όλη η παραγωγή των δέκα μέτρων. Επομένως η παραγωγή καταγράφηκε σε κελιά 10 x 3 μέτρων.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε μόνο για την ποικιλία Fuji και όχι για την επικονιάστρια ποικιλία.



**Εικόνα 3.3.** Πλαστικά τελάρα, κατά μήκος των σειρών, γεμάτα με μήλα

### 3.2.1.3 Χαρτογράφηση ποιότητας των καρπών

Την ημέρα της συγκομιδής πριν αρχίσει η διαδικασία του συγκομιδής των μήλων, ελήφθησαν δείγματα καρπών για την εκτίμηση της ποιότητας των φρούτων. Συνολικά

ελήφθησαν 45 δείγματα. Το κάθε δείγμα είχε δέκα καρπούς. Για να γίνει δυνατή η χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων έγινε καταγραφή της γεωγραφικής θέσης των σημείων δειγματοληψίας. Οι αναλύσεις των καρπών οι οποίες έγιναν αργότερα αφορούσαν τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά:

- 1) Το βάρος του καρπού. Για να βρεθεί το βάρος του καρπού όλα τα μήλα ζυγίζονταν σε μια ζυγαριά (Kern, model EW 600-ZM, Balingen, Germany) ( Εικόνα 3.4).



**Εικόνα 3.4.** Η ζυγαριά που χρησιμοποιήθηκε

- 2) Τη σκληρότητα της σάρκας των καρπών (firmness). Η μέτρηση έγινε με τη συμπίεση του φλοιού των καρπών σε δύο σημεία (firmness 1 και 2) χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρονικό πενετρόμετρο με έμβολο συμπίεσης 11 χιλιοστών (Turoni, 53205 Digital Fruit Pressure Tester, Forli, Italy) ( Εικόνα 3.5).



**Εικόνα 3.5.** Το ηλεκτρικό πεντρομέτρο

- 3) Τα διαλυτά στερεά του χυμού των φρούτων. Για την μέτρηση αυτής της παραμέτρου χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο (ATAGO, Pocket Refractometer Pal-1, Tokyo, Japan) ( Εικόνα 3.6).



**Εικόνα 3.6.** Το ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο

- 4) Το pH του χυμού χρησιμοποιώντας ένα πεχάμετρο (Hama Instruments, HI 9024 microcomputer pH meter, Woonsocket, Rhode Island, USA).
- 5) Την οξύτητα του χυμού. Για την μέτρηση αυτή τιτλοδοτήθηκε ο χυμός του κάθε δείγματος καρπού με 0.1N NaOH μέχρι το pH του χυμού να γίνει 8.2.

#### 3.2.1.4 Χαρτογράφηση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους

Τον Φεβρουάριο του 2010 πριν ακόμη μελετηθούν τα χαρακτηριστικά του οπωρώνα όπως το τοπογραφικό ανάγλυφο, συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους από βάθος 0-30cm για να προσδιοριστούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Ακόμη για να μπορεί να γίνει η χαρτογράφηση των εδαφικών χαρακτηριστικών έγινε καταγραφή της γεωγραφικής θέσης των σημείων δειγματοληψίας. Ο συνολικός

αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν ήταν 90. Η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε ήταν αυτή του πλέγματος. Συγκεκριμένα ο οπωρώνας χωρίστηκε σε μικρότερα ομοιόμορφα τμήματα που το μέγεθός τους ήταν 10 μέτρα x 9 μέτρα.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες όπου τοποθετήθηκαν καρτελάκια με την ονομασία του σημείου δειγματοληψίας. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας όπου και αφέθηκαν για μερικές ημέρες έτσι ώστε να ξεραθούν. Στη συνέχεια αφού τρίφτηκαν απαλά με το χέρι κοσκινίστηκαν τα δείγματα με κόσκινο 2 χιλιοστών ( Εικόνα 3.7).



**Εικόνα 3.7.** Κόσκινο 2mm

Οι αναλύσεις εδάφους που έγιναν είχαν σκοπό την εύρεση της μηχανικής σύστασης του εδάφους, το ποσοστό της οργανικής ουσίας, την ποσότητα του ασβεστίου και του καλίου. Η πρώτη ανάλυση εδάφους που έγινε ήταν η εύρεση της μηχανικής σύστασης του εδάφους. Η μηχανική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων από την οποία καθορίζεται η κοκκομετρική τους σύσταση, έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου. Κατά τη μέθοδο αυτή, το εδαφικό δείγμα, γνωστού ξηρού βάρους, διασπείρεται σε μια στήλη ύδατος και η πυκνότητα του αιωρήματος μετράται σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Η μέθοδος αυτή αποτελεί εφαρμογή του νόμου του Stokes μέσω του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα με την οποία πέφτουν τα σωματίδια της λεπτής γης σε ένα ιζώδες υγρό.

Για τον προσδιορισμό των κλασμάτων της μηχανικής σύστασης του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά και όργανα:

- Ζυγός ακριβείας 0,0001g
- Ηλεκτρικοί αναδευτήρες (μίξερ), ( Εικόνα 3.8)

- Φιάλες ανακινήσεως 300
- Γυάλινοι κύλινδροι ύψους 47 cm και εσωτερικής διαμέτρου 6,5 cm με χαραγή στα 1000 ml και στα 1130 ml ( Εικόνα 3.9)
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 50 ml και 250 ml
- Πυκνόμετρο Βουγιούκου
- Μεταλλική ράβδος ανατάραξης χειρός του δείγματος εντός του κυλίνδρου
- Θερμόμετρο υδραργύρου
- Χρονόμετραο
- Μεταφωσφορικό νάτριο ( $\text{Na}_3\text{PO}_3$  1%)



Εικόνα 3.8. Οι ηλεκτρικοί αναδευτήρες



**Εικόνα 3.9.** Οι φιάλες που χρησιμοποιήθηκαν γεμάτες με εδαφικό διάλυμα

Η διαδικασία εκτέλεσης του προσδιορισμού της κοκομετρικής σύστασης του εδάφους έχει ως εξής:

Ζυγίζονται 50 γραμμάρια εδάφους και τοποθετούνται στο δοχείο ανακίνησης. Σε αυτό προσθέτουμε 50ml μεταφωσφορικό νάτριο ( $\text{Na}_3\text{PO}_3$  1%) και 150 ml απιονισμένου νερού. Τοποθετούμε το δοχείο στην συσκευή ανακίνησης για 5 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, μεταφέρουμε το εδαφικό αιώρημα σε κύλινδρο Βογιούκου και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή του (1130ml), αφού έχουμε τοποθετήσει εντός του κυλίνδρου το πυκνόμετρο Βογιούκου. Κατόπιν απομακρύνουμε το πυκνόμετρο και με την μεταλλική ράβδο ανακίνησης αναταράσσουμε το εδαφικό αιώρημα 10 με 15 φορές. Η πρώτη μέτρηση λαμβάνεται 40 δευτερόλεπτα μετά το τέλος της ανατάραξης με το πυκνόμετρο Βογιούκου (ένδειξη Α). Αμέσως μετά με το θερμομέτρο λαμβάνουμε και την ένδειξη της θερμοκρασίας ( $\Delta 1$ ) στο αιώρημα. Μετά την πάροδο 2 ωρών λαμβάνουμε πάλι ένδειξη με το πυκνόμετρο και με το θερμομέτρο (ένδειξη Β και  $\Delta 2$  αντίστοιχα).

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο, ιλύ, άργιλο χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μαθηματικές εξισώσεις:



$$\text{Άμμος (\%)}=100-2(\text{A}+\Delta 1)$$

$$\text{Άργιλος (\%)}=100-2(\text{B}+\Delta 2)$$

$$\text{Ίλύς (\%)} = 100-\text{Άμμος(\%)}-\text{Άργιλος(\%)}$$

Όπου  $\Delta 1$  και  $\Delta 2$  είναι οι συντελεστές διόρθωσης της θερμοκρασίας και οι οποίοι λαμβάνουν και αρνητικές τιμές.

Η οργανική ουσία μετρήθηκε με τη μέθοδο Walkley-Black, η οποία στηρίζεται στην οξείδωση της οργανικής ουσίας με ένα οξειδωτικό μέσο. Το οξειδωτικό μέσο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το διχρωμικό κάλιο ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N). Ο προσδιορισμός έγινε σε αιώρημα εδάφους - ύδατος 1:1 με ηλεκτρικό πεχάμετρο, αφού προηγουμένως το αιώρημα είχε αφεθεί για εξισορρόπηση επί μια ώρα. Το όργανο ρυθμίστηκε με τη βοήθεια ρυθμιστικών διαλυμάτων γνωστού pH.

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα παρακάτω:

- Διχρωμικό κάλιο ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) 1N
- Πυκνό θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 95%
- Πυκνό φωσφορικό οξύ ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 85%
- Διφαινυλαμινοσουλφονικό βάριο (δείκτης)
- Δισθενής θειικός σίδηρος ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 0,5N

Αρχικά τοποθετήθηκε 1 γραμμάριο εδάφους σε φιάλη των 500ml και 10ml διαλύματος  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  με την βοήθεια μιας προχοίδας. Στη συνέχεια το μείγμα αναδεύτηκε έτσι ώστε να αναμιχθεί το αντιδραστήριο με το έδαφος. Έπειτα προστέθηκαν 20ml πυκνού  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (95%) και αφού το αναδεύσαμε το μείγμα το αφήσαμε σε ηρεμία για 20 λεπτά της ώρας. Μετά προστέθηκαν 200ml απιονισμένου νερού και 100ml  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%) και αφέθηκε σε ηρεμία για 5 λεπτά της ώρας. Τέλος προστέθηκαν 10-12 σταγόνες δείκτη οργανικής ουσίας και τιτλοδοτήσαμε την περίσσεια του  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  με την προσθήκη  $\text{FeSO}_4$  (0,5N). Στο σημείο εξουδετέρωσής του το χρώμα μεταβάλλεται απότομα σε πράσινο.

Για την εύρεση της περιεκτικότητας του εδάφους σε κάλιο και ασβέστιο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του οξικού αμμωνίου ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1N. Η εκχύλιση

των ανταλλάξιμων κατιόντων με το οξικό αμμώνιο, βασίζεται στην εναλλαγή (εκτόπιση) αυτών από κατιόντα αμμωνίου.

Για την ανάλυση του εδάφους χρησιμοποιήθηκαν:

- Φλογοφωτόμετρο
- Φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης
- Οξικό αμμώνιο ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ) 1N

Για την εκτέλεση της ανάλυσης προστέθηκαν 5 γραμμάρια ξηρού εδάφους σε φιάλες των 100 ml και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν. Έπειτα προστέθηκαν 33 ml οξικού αμμωνίου και ανακινήθηκαν τα δείγματα για 5 λεπτά. Μετά έγινε φυγοκέντρηση των δειγμάτων μέχρι το υγρό να γίνει διαυγές και λήφθηκε από το φιαλίδιο το υπερκείμενο το οποίο πριν συλλεχθεί σε μια φιάλη των 100 ml, διηθήθηκε. Τέλος στη φιάλη των 100 ml τοποθετήθηκε οξικό αμμώνιο μέχρι την ειδική χαραγή. Για τις μετρήσεις του καλίου χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο ενώ για τις μετρήσεις του ασβεστίου το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

### 3.2.1.5 Χαρτογράφηση ανθοφορίας

Η συγκέντρωση στοιχείων κάθε χρόνο επιτρέπει τη δημιουργία μιας βάσης δεδομένων ιστορικών στοιχείων. Τα ιστορικά στοιχεία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη της παραλλακτικότητας της παραγωγής για τα επόμενα έτη. Αυτό απεδείχθη ότι δεν είναι πάντα δυνατό. Παρ' όλο που φαίνεται ότι στις δενδρώδεις καλλιέργειες η διατήρηση των ζωνών διαχείρισης από χρόνο σε χρόνο είναι πιο πιθανή τα ιστορικά στοιχεία παραμένουν ανασφαλή. Γι' αυτό η εύρεση μεθόδων οι οποίες μπορούν να προβλέψουν την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής με μεγαλύτερη ασφάλεια είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της γεωπονικής επιστήμης. Όταν η πρόβλεψη γίνεται σε πολύ πρώιμο στάδιο της καλλιέργειας στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου τότε αυτή αποδεικνύεται καθοριστικής σημασίας για τις αποφάσεις που θα λάβει ο παραγωγός σχετικά με τη διαχείριση των αγροκτημάτων του.

Βασιζόμενοι στο γεγονός ότι από τα άνθη βγαίνουν οι καρποί των μήλων έγινε μια προσπάθεια καταγραφής της παραλλακτικότητας των ανθέων. Υπάρχει προηγούμενη δουλειά που προσπαθούμε να επιβεβαιώσουμε και να αξιοποιήσουμε.

Τον Απρίλιο του 2010 και 2011 έγινε χαρτογράφηση της πυκνότητας των ανθέων που βρίσκονταν επάνω στα δέντρα χρησιμοποιώντας δύο φωτογραφικές μηχανές. Η μία ήταν μια φωτογραφική μηχανή του εμπορίου (Olympus E – 420, Εικόνα 3.10) ενώ η άλλη ήταν μια πολυφασματική φωτογραφική μηχανή (custom model, Quest Innovations, the Netherlands, Εικόνα 3.11) που κατέγραφε τα δεδομένα σε τρία μήκη κύματος (590-680nm, 690-830nm, 830-1000nm) της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο και υπέρυθρο).



**Εικόνα 3.10.** Εμπορική φωτογραφική μηχανή



**Εικόνα 3.11.** Η πολυφασματική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε

Η χρήση της πολυφασματικής κάμερας απαιτούσε την χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή για την καταγραφή των δεδομένων. Για τη σύνδεση του υπολογιστή με την πολυφασματική κάμερα χρησιμοποιήθηκε μια κάρτα σύνδεσης τύπου PCI (FrameLink Express, Imperx, USA) ενώ το λογισμικό που επικοινωνούσε με την κάμερα κατά την διάρκεια της φωτογράφισης ήταν της ίδιας εταιρίας (FrameLink

Express Application, Imperx, USA). Την πρώτη χρονιά του πειράματος οι απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα τόσο της πολυφασματικής κάμερας όσο και του υπολογιστή καλύφθηκαν με τη χρήση μπαλαντέζας η οποία έπαιρνε ρεύμα από την μπαταρία του αυτοκινήτου που βρίσκονταν στην άκρη του οπωρώνα. Το εγχείρημα αυτό ήταν πολύ χρονοβόρο αφού κάθε φορά που τελείωνε η φωτογράφιση μιας σειράς έπρεπε να μεταφερθεί όλο το καλώδιο στην άλλη. Την δεύτερη χρονιά αντί για μπαλαντέζα χρησιμοποιήθηκε ένα μεγάλο τροφοδοτικό το οποίο είχε τοποθετηθεί επάνω σε ένα αυτοσχέδιο καροτσάκι (Εικόνα 3.12). Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομήθηκε πολύτιμος χρόνος και η φωτογράφιση έγινε με λιγότερο κόπο.



**Εικόνα 3.12.** Το σύστημα φωτογράφισης των ανθέων

Ένα δέντρο ανά πέντε φωτογραφίζονταν και με τις δύο φωτογραφικές μηχανές από σταθερή απόσταση 2 μέτρων. Επειδή στην πολυφασματική φωτογραφική μηχανή ο φακός είχε σταθερή μεγέθυνση ήταν αδύνατο να

φωτογραφηθούν ολόκληρα τα δένδρα. Γι' αυτό φωτογραφίζονταν μόνο ορισμένα μέρη του φυτού (δεξιά και αριστερά από τον κορμό σε ύψος 1.2 μέτρα από το έδαφος). Με την απλή φωτογραφική μηχανή φωτογραφίζονταν ολόκληρα τα δένδρα. Και στις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε μαύρο πανί στο πίσω μέρος των δένδρων για να αυξήσει την αντίθεση των ανθέων (άσπρο χρώμα) σε σχέση με το υπόλοιπο περιβάλλον και να κρύψει τις άλλες σειρές των δέντρων που βρίσκονταν πίσω από το δέντρο που εξετάζονταν.

#### 3.2.1.5.α. Ανάλυση φωτογραφιών που ελήφθησαν με την απλή φωτογραφική μηχανή

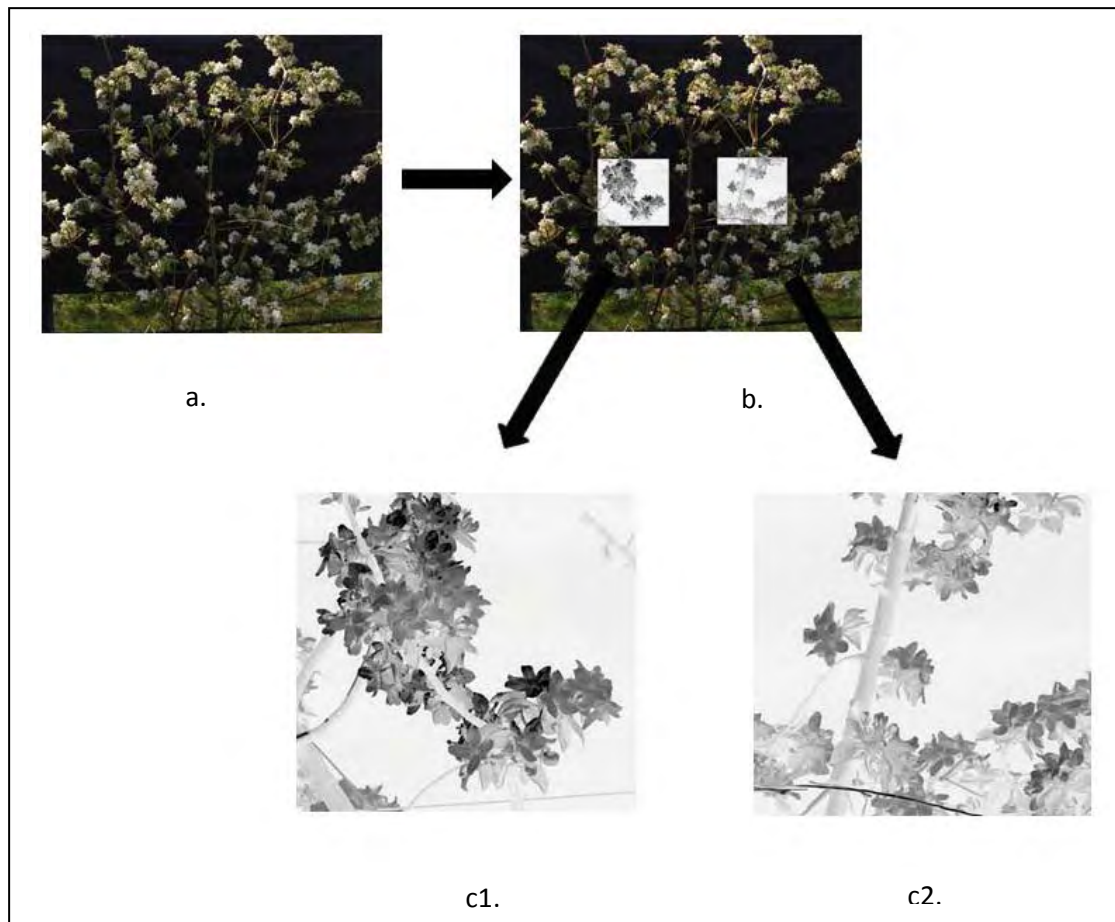
Συνολικά ελήφθησαν 370 φωτογραφίες και τις δύο χρονιές με την απλή φωτογραφική μηχανή. Παρόλα αυτά για ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 182 φωτογραφίες το 2010 ενώ το 2011, 224. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένας μεγάλος αριθμός φωτογραφιών που ελήφθησαν, δεν χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική ανάλυση καθώς υπήρχαν διάφορα προβλήματα με το φως του ηλίου κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης. Η επιλογή των φωτογραφιών για τη στατιστική ανάλυση έγινε μετά την ανάλυση των φωτογραφιών καθώς υπήρχαν φωτογραφίες όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων του κορμού και των κλαδιών είχαν τις ίδιες τιμές με τα εικονοστοιχεία που εκπροσωπούσαν τα άνθη. Αυτό δεν επέτρεπε τον διαχωρισμό των ανθέων από τα υπόλοιπα μέρη του φυτού και για αυτό το λόγο οι φωτογραφίες δεν λαμβάνονταν υπόψη στην συσχέτιση της παραλλακτικότητας των ανθέων με την παραγωγή. Τη δεύτερη χρονιά των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική ανάλυση περισσότερες φωτογραφίες καθώς λήφθηκε, όσο ήταν δυνατό υπόψη, η τοποθεσία του ήλιου κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης. Συγκεκριμένα οι φωτογράφιση άρχισε όταν ο ήλιος βρισκόταν σε κατακόρυφη θέση ως προς τη γη. Οι φωτογραφίες που αναλύθηκαν ήταν σε μορφή .JPG. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ήταν το GIMP 2.6.8 (GNU, USA).

Στην αρχή της ανάλυσης των εικόνων και στις δύο χρονιές επιλέχθηκαν τυχαία 20 φωτογραφίες έτσι ώστε μέσα από την ανάλυση τους να βρεθούν οι τιμές των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν τα άνθη στις φωτογραφίες. Παρόλο που οι φωτογραφίες παρουσίαζαν ολόκληρα τα δέντρα η ανάλυση των εικόνων επικεντρώθηκε στις αντίστοιχες περιοχές οι οποίες είχαν καταγραφεί από την πολυφασματική κάμερα (δεξιά και αριστερά από τον κορμό σε ύψος 1.2 μέτρα από το

έδαφος) για κάθε φωτογραφία ξεχωριστά. Αυτό έγινε με τη χρήση της λειτουργίας ‘επιλογή’ του λογισμικού το οποίο επιτρέπει το χρήστη να επεξεργάζεται τα μέρη της εικόνας που επιθυμεί ο ίδιος.

Η διαδικασία επεξεργασίας των εικόνων αποτελούνταν από ορισμένα βήματα. Αρχικά επιλέγονταν η περιοχή του δέντρου που έπρεπε να αναλυθεί. Στη συνέχεια τα χρώματα της υπό ανάλυσης περιοχής μετατρέπονταν σε γκριζα κλίμακα με την επιλογή της λειτουργίας του ‘αποκορεσμού’ που βρίσκονταν στην εργαλειοθήκη του λογισμικού. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει τους χρήστες να μετατρέψουν τα χρώματα των φωτογραφιών σε γκριζο τόνο ανάλογα με το ποσοστό της ανακλώμενης ακτινοβολίας που προέρχεται από την μελετώμενη επιφάνεια. Αυτό το βήμα επιτρέπει να ξεχωρίσουν τα άνθη (άσπρο χρώμα) από τα υπόλοιπα αντικείμενα που βρίσκονταν στο πλάνο της εικόνας. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές των εικονοστοιχείων κυμαίνονταν από 0 (μαύρο χρώμα) μέχρι 255 (άσπρο χρώμα). Κατόπιν, επιλέχτηκε η λειτουργία ‘αντιστροφή’ η οποία αντιστρέφει τις τιμές των εικονοστοιχείων και της φωτεινότητας σε μια εικόνα. Αυτή η λειτουργία βοηθά στο να εμφανιστεί μια εικόνα με αρνητικά χρώματα. Το στάδιο αυτό αν και βελτιώνει την αντίθεση των αντικειμένων σε μια εικόνα μπορεί να παραληφθεί. Τέλος, επιλέγονταν η επιλογή ‘πληροφορίες’ από την εργαλειοθήκη του λογισμικού για να βρεθεί το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων που αντιπροσώπευαν τα άνθη.

Η ανάλυση των 20 φωτογραφιών που επιλέχτηκαν τυχαία για να βρεθεί το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων που αντιπροσώπευαν τα άνθη έδειξε ότι το εύρος των τιμών ήταν μεταξύ 0 και 100. Με τον ίδιο τρόπο αναλύθηκαν όλες οι φωτογραφίες χωρίς να χρησιμοποιηθεί το τελευταίο βήμα (Εικόνα 3.13). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία ‘πληροφορίες’ για να γίνει γνωστό το ποσοστό των εικονοστοιχείων που αντιπροσώπευαν τα άνθη μέσα σε κάθε φωτογραφία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης κάθε ζεύγους φωτογραφιών που προέρχονταν από κάθε δέντρο αθροίζονταν και διαιρούνταν δια δύο για να βρεθεί το ποσοστό των εικονοστοιχείων των ανθέων σε κάθε δέντρο.



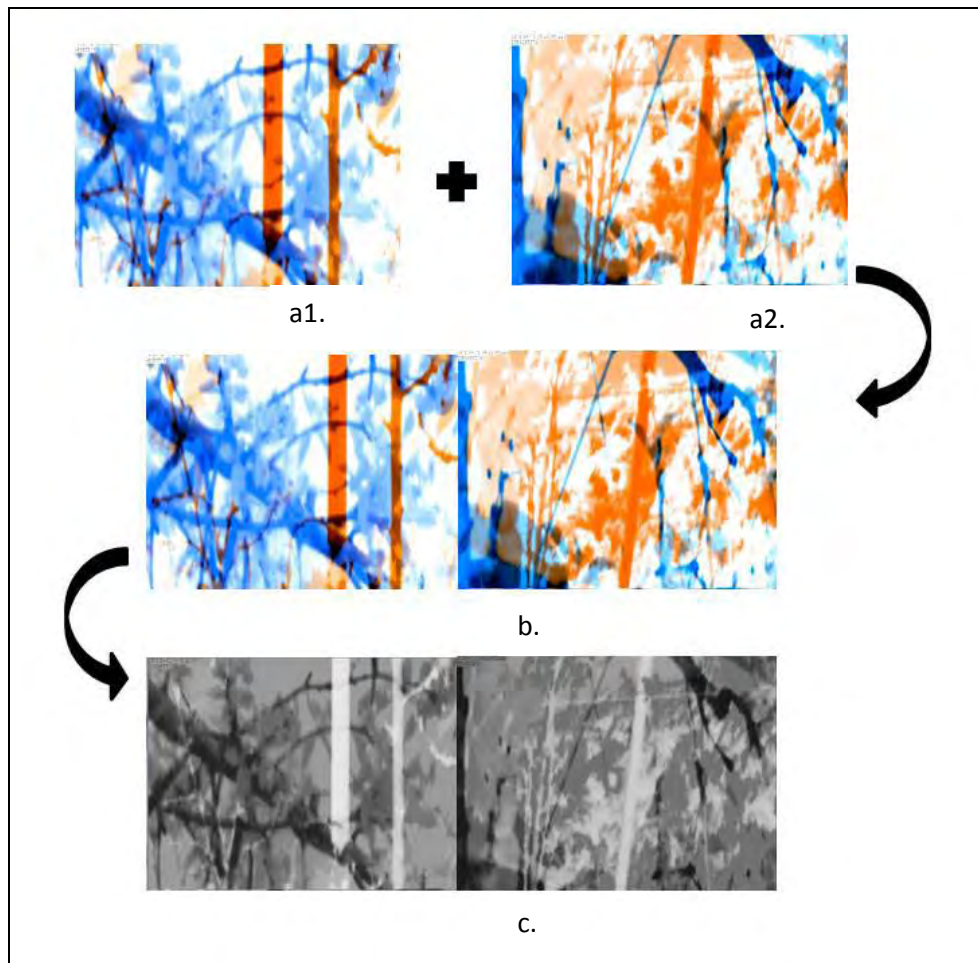
**Εικόνα 3.13.** α) πρίν την ανάλυση, β) μετά την ανάλυση που περιγράφηκε παραπάνω, c1) and c2) τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

### 3.2.1.5.β Ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων

Ο αριθμός των φωτογραφιών που ελήφθησαν τα δύο χρόνια του πειράματος με τη πολυφασματική κάμερα ήταν 740. Το 2010 αναλύθηκαν 364 φωτογραφίες ενώ το 2011 448. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένας μεγάλος αριθμός φωτογραφιών που ελήφθησαν, δεν χρησιμοποιήθηκαν στην στατιστική ανάλυση καθώς υπήρχαν διάφορα προβλήματα με το φως του ηλίου κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης. Η επιλογή των φωτογραφιών για τη στατιστική ανάλυση έγινε μετά την ανάλυση των φωτογραφιών συγκρίνοντας τις τιμές των εικονοστοιχείων που αντιπροσώπευαν τα άνθη και τα άλλα τμήματα του δέντρου. Φωτογραφίες όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων του κορμού και των κλαδιών είχαν τις ίδιες τιμές με τα εικονοστοιχεία που εκπροσωπούσαν τα άνθη αφαιρούνταν και δεν χρησιμοποιούνταν στη συσχέτιση ανθέων και παραγωγής. Την δεύτερη χρονιά των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική ανάλυση περισσότερες φωτογραφίες καθώς λήφθηκε, όσο ήταν δυνατό υπόψη, η τοποθεσία του ήλιου κατά τη διάρκεια της

φωτογράφισης. Συγκεκριμένα η φωτογράφιση έγινε όταν ο ήλιος ήταν σε κατακόρυφη θέση ως προς τη γη. Η πολυφασματική φωτογραφική μηχανή ήταν συνδεδεμένη με φορητό υπολογιστή. Η σύνδεση μεταξύ τους επιτεύχθηκε με την χρήση μιας PCI κάρτας (FrameLink Express, Imperx, USA) και ενός λογισμικού (FrameLink Express Application, Imperx, USA). Οι φωτογραφίες καταγράφονταν στον υπολογιστή σε μορφή .TIFF η οποία επιτρέπει την αποθήκευση όλων των δεδομένων από τα διαφορετικά κανάλια της πολυφασματικής κάμερας. Επειδή ο αριθμός των φωτογραφιών ήταν πολύ μεγάλος οι δύο φωτογραφίες που αντιστοιχούσαν σε κάθε δέντρο ενώθηκαν μεταξύ τους. Για την εκτέλεση αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Erdas Imagine 8.5 (Leica Geosystems GIS & Mapping, LLC., Atlanta, Georgia, USA). Επειδή ήταν αδύνατη η στοίχιση των φωτογραφιών μεταξύ τους η μορφή των φωτογραφιών άλλαξε από .TIFF σε .IMG. Μετά το στάδιο της ένωσης των εικόνων δημιουργήθηκαν 370 εικόνες. Η επεξεργασία αυτών των εικόνων (Εικόνα 3.14) έγινε με την χρήση του λογισμικού ENVI 4.7 (Research Systems, United States). Αρχικά επιλέχθηκαν 20 φωτογραφίες για να αναλυθούν έτσι ώστε να βρεθούν οι τιμές NDVI των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν τα άνθη. Η ανάλυση των φωτογραφιών έγινε με βάση το NDVI καθώς οι Marino et al., (2009) χρησιμοποιώντας φωτογραφίες μπόρεσαν να ξεχωρίσουν τη βλάστηση και τα άλλα αντικείμενα που αποτυπώνονταν σε αυτές με βάση τις τιμές του NDVI, ενώ οι Tanaka et al., (2004) αφού ανέλυσαν φωτογραφίες δέντρων, μπόρεσαν να διαχωρίσουν, τους κορμούς, τα φύλλα και τα κλαδιά με βάση τις τιμές του NDVI που είχαν αυτά. Με την επιλογή της λειτουργίας ‘μετατροπή’ και στη συνέχεια ‘NDVI’ από την εργαλειοθήκη του λογισμικού τα εικονοστοιχεία των 20 τυχαίων φωτογραφιών πήραν τιμές ανάλογες με τον δείκτη NDVI που είχε η επιφάνεια των αντικειμένων. Το εύρος των τιμών NDVI των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν τα άνθη βρέθηκε ότι είναι από 0 μέχρι 0.007. Με τον ίδιο τρόπο αναλύθηκαν όλες οι φωτογραφίες που ελήφθησαν. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το λογισμικό ERDAS Imagine 8.5 υπολογίστηκε το ποσοστό των εικονοστοιχείων που αντιπροσώπευαν τα άνθη σε κάθε φωτογραφία.





**Εικόνα 3.14.** a1) and a2) οι φωτογραφίες όπως καταγράφηκαν με την πολυφασματική κάμερα, b) η ένωση των δύο φωτογραφιών, c) τελική εικόνα δείχνοντας το NDVI των αντικειμένων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των φωτογραφιών συσχετίστηκαν με την τελική παραγωγή των αντίστοιχων ετών για να βρεθεί το ποσοστό ταύτισης της παραλλακτικότητας του πλήθους των ανθέων με την παραλλακτικότητα της παραγωγής.

Για την στατιστική ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS 16.0 Winwrap Basic (IBM Corporation, New York). Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Pearson για να βρεθεί η συσχέτιση μεταξύ πλήθους ανθέων και παραγωγής. Τέλος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Microsoft Excel 2007 για να δημιουργηθούν τα σχεδιαγράμματα διασποράς των δεδομένων.

### 3.2.1.6 Χαρτογράφηση ευρωστίας των φυτών.

Για τη χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Cropcircle ACS-210 (Holland Scientific, USA, Εικόνα 3.2.1.5.1). Ο

αισθητήρας αυτός συγκαταλέγεται στην κατηγορία των ενεργών αισθητήρων γιατί χρησιμοποιεί δική του πηγή φως. Από τον αισθητήρα εκπέμπεται φως (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) που προσομοιάζει τη φωτεινότητα του ηλίου. Καθώς η ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στη μελετώμενη επιφάνεια, μέρος αυτής απορροφάται από το αντικείμενο, άλλο μέρος της διέρχεται διαμέσου της επιφάνειας και το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται. Ο αισθητήρας έχει τοποθετημένους δυο δέκτες οι οποίοι μετράνε την ανακλώμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία. Ο κάθε δέκτης μετράει ένα σταθερό εύρος μήκους κύματος από την ανακλώμενη ακτινοβολία χρησιμοποιώντας φίλτρα ακτινοβολίας. Για την ακρίβεια μετρά την ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην κόκκινη περιοχή (584-600nm) και στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (870-890nm).



Εικόνα 3.15. Ο αισθητήρας CropCircle με τα παρελκόμενά του

Ο αισθητήρας Cropcircle λειτουργεί με δική του επαναφορτιζόμενη μπαταρία ενώ μπορεί να συνδεθεί με κεραία GPS για καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων των σημείων όπου έχουν γίνει οι μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αισθητήρας έχει δικό του επεξεργαστή ο οποίος κάνει διάφορους υπολογισμούς. Δέχεται επίσης κάρτα αποθήκευσης τύπου SD για την άμεση αποθήκευση των μετρήσεων.

Το αρχείο το οποίο δημιουργεί ο υπολογιστής του αισθητήρα έχει επέκταση .xls και μπορεί να διαβαστεί στο λογισμικό Microsoft Excel. Οι πιο σημαντικές πληροφορίες οι οποίες καταγράφονται στο αρχείο είναι:

- Συντεταγμένες

- Ποιότητα σήματος GPS
- Ωρα δειγματοληψίας
- Δείκτης NDVI
- Ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην κόκκινη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Από τις μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων τα 3 χρόνια χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων και τα δεδομένα του δείκτη NDVI. Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο ο δείκτης NDVI δείχνει την ευρωστία των φυτών. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών του οπωρώνα.

Οι μετρήσεις οι οποίες ολοκληρώθηκαν τα τρία χρόνια του πειράματος λαμβάνονταν 2 φορές τον μήνα (ανά 15 ημέρες) από τον μήνα Μάιο μέχρι τον Αύγουστο. Οι μήνες αυτοί επιλέχθηκαν καθώς τότε υπάρχουν φύλλα με ικανοποιητικό μέγεθος στα δέντρα. Σε περίπτωση μέτρησης της ευρωστίας των δέντρων σε πιο πρώιμο στάδιο τότε η κόμη των δέντρων δεν θα ήταν πυκνή με αποτέλεσμα ο αισθητήρας να μετρά και το περιβάλλον πίσω από τα δέντρα. Ο αισθητήρας CropCircle κρατιόνταν είτε στο χέρι όταν έπρεπε να σαρωθεί η μεσαία περιοχή της κόμης των δένδρων (~2 μέτρα) είτε προσαρμόζονταν σε αλουμινένιο κοντάρι για την σάρωση της άνω κόμης (~4 μέτρα, Εικόνα 3.16). Ενώ αρχικά στην οργάνωση των μετρήσεων είχε προγραμματιστεί να γίνεται μέτρηση και στην κάτω κόμης (60 εκατοστά) αποδείχτηκε ότι δεν ήταν εφικτό μιας και η πυκνή βλάστηση και φύτευση των δέντρων δεν επέτρεπε την λήψη σήματος GPS καθώς η κεραία GPS βρίσκονταν πολύ χαμηλά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Η μέτρηση της ευρωστίας των φυτών σε διαφορετικά μέρη των δέντρων (επάνω και πλάγια) έγινε για να εξεταστεί η επίδραση της νέας βλάστησης (άνω κόμη) και της παλαιάς βλάστησης (μέση κόμη), μιας δεδομένης χρονικής στιγμής, στην τελική παραγωγή.



**Εικόνα 3.16.** Στιγμιότυπο κατά την διάρκεια μετρήσεων με τον αισθητήρα CropCircle

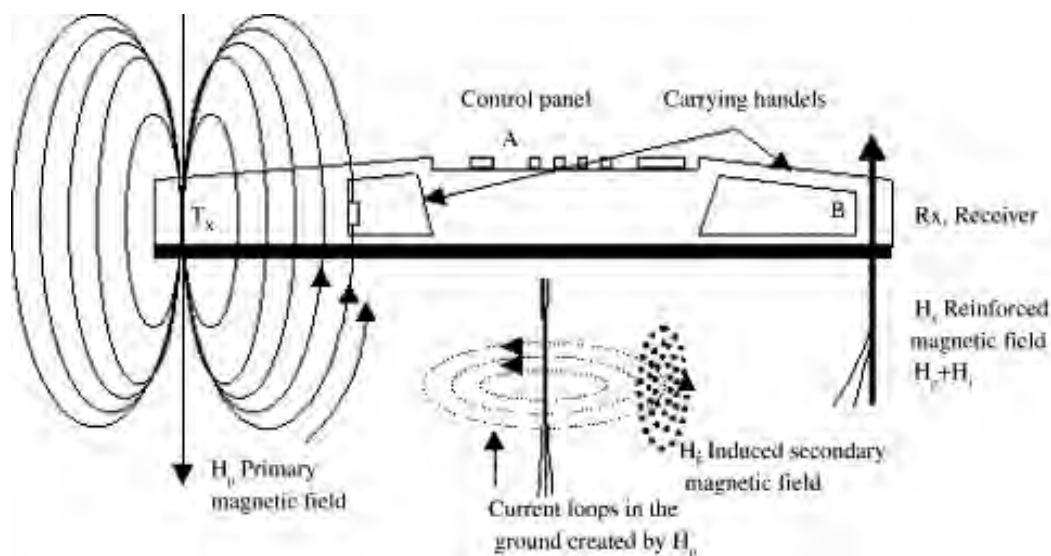
#### 3.2.1.7 Χαρτογράφηση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Η μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγινε αμέσως μετά την δειγματοληψία του εδάφους. Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο EM38 της εταιρίας Geonics, USA ο οποίος μετρά την φαινομενική εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη μέθοδο της επαγωγής ( Εικόνα 3.17). Ο αισθητήρας αποτελείται από δύο δίπολα. Το ένα βρίσκεται στο μπροστινό τμήμα και το άλλο στο πίσω. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων το ένα δίπολο παράγει μαγνητικό πεδίο που προκαλεί ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο έδαφος δημιουργώντας δεύτερο πεδίο και ροή ηλεκτρικού ρεύματος στο άλλο πηνίο. Όταν υπάρχει υγρασία στο έδαφος διέρχεται περισσότερο ρεύμα στο δεύτερο δίπολο καθώς το νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξακριβωθεί το ποσοστό της υγρασίας του εδάφους και κατ' επέκταση πόσο νερό συγκρατούν τα εδάφη. Με αυτή την πληροφορία μπορούν να διεξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την υφή του εδάφους, το πορώδες του και τη συγκέντρωση των αλάτων. Η σχηματική παράσταση του αισθητήρα βρίσκεται στην Εικόνα 3.18. Το βάθος εξέτασης του εδάφους

εξαρτάται από την τοποθέτηση του αισθητήρα. Εάν ο αισθητήρας τοποθετηθεί σε κατακόρυφη θέση με το έδαφος τότε το βάθος σάρωσης είναι 1.5 μέτρα ενώ εάν τοποθετηθεί σε οριζόντιο άξονα με το έδαφος τότε το βάθος είναι μόλις 0.7 μέτρα.



Εικόνα 3.17. Ο αισθητήρας EM38



Εικόνα 3.18. Ο τρόπος λειτουργίας του αισθητήρα EM38

Η κατάλληλη στιγμή για μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 2-3 ημέρες μετά από βροχή έτσι ώστε να υπάρχει κατά το δυνατό ομοιόμορφη υγρασία στο έδαφος. Ο αισθητήρας μπορεί να κρατηθεί στο χέρι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ή να τοποθετηθεί σε ειδικό πλαστικό ή ξύλινο έλκυθρο και να χρησιμοποιηθεί σαν παρελκόμενο. Έχει ξεχωριστό υπολογιστή με την ονομασία Allegro CX (Juniper Systems, USA) ο οποίος έχει λειτουργικό Microsoft Windows Mobile (Microsoft, USA) και μπορεί να συνδεθεί με κεραία GPS είτε με θύρα RS322

είτε ασύρματα με τεχνολογία Bluetooth. Ο αισθητήρας λειτουργεί με μπαταρία 9 volt ενώ ο υπολογιστής έχει δική του επαναφορτιζόμενη.

Παρά τις αξιόπιστες μετρήσεις που καταγράφει ο αισθητήρας έχει ένα μειονέκτημα. Είναι πολύ ευαίσθητος σε μεταλλικά αντικείμενα γι' αυτό και χρειάζεται μετά από τακτά χρονικά διαστήματα μηδένισμα. Το μηδένισμα του αισθητήρα είναι χρονοβόρα διαδικασία και επιβάλλεται η παρουσία δυο ατόμων καθώς ο αισθητήρας θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα σε σταθερό ύψος 1.5 μέτρο από το έδαφος. Επίσης ένα άλλο χαρακτηριστικό που συγκαταλέγεται στα αρνητικά του συστήματος είναι ότι το αρχείο το οποίο δημιουργείται χρειάζεται 2 φορές μετατροπή σε ειδικό λογισμικό για να μπορεί να επεξεργαστούν οι πληροφορίες σαν μια ενιαία βάση δεδομένων.

Πριν την έναρξη των μετρήσεων ελέγχονταν το ποσοστό φόρτισης της μπαταρίας γιατί αν αυτό είναι χαμηλότερο από κάποια όρια οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν είναι αξιόπιστες. Επίσης ακολουθούνταν πάντα κάποια βήματα για τον μηδενισμό του αισθητήρα σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης του κατασκευαστή όπως περιγράφεται παρακάτω. Έχοντας τον αισθητήρα στο έδαφος σε κατακόρυφη θέση μηδενίζονταν η ένδειξη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τη χρήση ενός περιστροφικού διακόπτη. Στη συνέχεια μηδενίζονταν η ένδειξη της μαγνητικής ευαισθησίας με τη χρήση ενός άλλου περιστροφικού διακόπτη. Σε περίπτωση που η ένδειξη της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είχε τιμή διαφορετική του μηδενός ρυθμίζονταν ξανά ώστε να δείχνει μηδέν (βήμα 1). Έπειτα σημειώνονταν η θέση του διακόπτη που ρυθμίζει την μαγνητική ευαισθησία. Περιστρέφοντας τον διακόπτη της μαγνητικής ευαισθησίας κατά μια θέση δεν έπρεπε να αλλάξει η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Σε περίπτωση που άλλαζε μηδενίζονταν με έναν άλλο διακόπτη. Στη συνέχεια ο αισθητήρας ανυψώνονταν σε ύψος 1.5 μέτρου από το έδαφος σε οριζόντια θέση ως προς το έδαφος και ακολουθούνταν τα ίδια βήματα όπως πριν. Το τελικό στάδιο του μηδενισμού του αισθητήρα περιελάμβανε τον έλεγχο των μετρήσεων. Γι' αυτό ρυθμίζονταν έτσι ώστε να δείχνει μια τυχαία τιμή σε οριζόντιο επίπεδο και ελέγχονταν η τιμή που κατέγραφε σε κατακόρυφο επίπεδο. Εάν η τιμή της κατακόρυφης μέτρησης ήταν διπλάσια της οριζόντιας τότε ο αισθητήρας είχε μηδενιστεί σωστά.

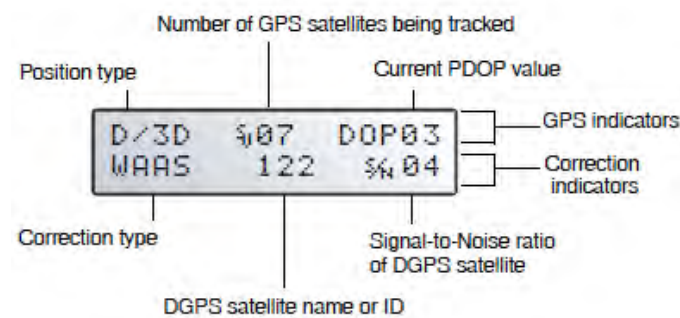
Οι μετρήσεις της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που λαμβάνονταν αφορούσαν όλες τις σειρές του οπωρώνα και ήταν συνεχόμενες εντός των σειρών.

### 3.2.1.8 Χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου

Κατά τον πρώτο χρόνο του πειράματος έγινε χαρτογράφηση του υψομέτρου με σύστημα γεωγραφικού εντοπισμού θέσης (GPS) τεχνολογίας RTK (Real Time Kinematic). Το σύστημα ήταν της εταιρίας Trimble, USA, και αποτελούνταν από μια κεραία η οποία παρέμενε σε σταθερό σημείο στην ψηλότερη περιοχή του τόπου μελέτης και έναν ραδιοπομπό (Εικόνα 3.19). Οι δύο αυτές συσκευές επικοινωνούσαν μεταξύ τους μέσω καλωδίων ενώ η κεραία βάσης επικοινωνούσε ασύρματα με μια άλλη κεραία (A 262) της ίδια εταιρίας η οποία τοποθετήθηκε σε ένα αυτοσχέδιο καροτσάκι. Η κεραία (A 262) συνδέθηκε με έναν φορητό υπολογιστή για την αποθήκευση των δεδομένων. Το καλώδιο επικοινωνίας της κεραίας με τον φορητό υπολογιστή ήταν τύπου RS322 αλλά ο υπολογιστής δεν υποστήριζε τέτοια θύρα. Η σύνδεσή τους επετεύχθη με την χρήση μετατροπέα από RS322 σε USB και με την χρήση του κατάλληλου λογισμικού (AgRemote, Trimble, USA) που προτείνει η εταιρία. Μέσω του λογισμικού αυτού γίνονται οι διάφορες ρυθμίσεις των κεραιών, όπως η ταχύτητα αποστολής δεδομένων και η διόρθωση του σήματος. Επίσης κατά τη λειτουργία του λογισμικού παρουσιάζονται στην οθόνη του υπολογιστή διάφορες πληροφορίες, όπως η ποιότητα του σήματος, ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων και ο τύπος διόρθωσης του σήματος ( Εικόνα 3.20). Η τροφοδότηση τόσο του φορητού υπολογιστή όσο και της κινητής κεραίας έγινε με μπαταρίες 12V που χρησιμοποιούνται στις μοτοσυκλέτες.



**Εικόνα 3.19.** Η κεραία βάσης μαζί με τον ραδιοπομπό



**Εικόνα 3.20.** Πληροφορίες διαθέσιμες στον χρήστη κατά την διάρκεια των μετρήσεων

Τα δεδομένα που αποθηκεύτηκαν στον υπολογιστή ήταν σε αρχεία μορφής .log τα οποία επεξεργάστηκαν στο λογισμικό Excel (Microsoft, USA). Η μορφή των δεδομένων που καταγράφηκαν ήταν όπως στην Εικόνα 3.21. Στη στήλη Α οι εγγραφές που είχαν το γράμμα P (Position) περιείχαν τις συντεταγμένες και τα δεδομένα υψομέτρου.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
241	#	L2	26	0x01	-2.389	242.404.195	26.7		
242	P	28106	39.664.926.730	22.736.564.341	103.077	AD	OF	#####	
243	V	28106	0.0125	236.4	25.954				
244	#	L1	3	0xC9	19.996.618.206	115.683.000	50		
245	#	L1	6	0xC9	20.175.427.246	64.836.000	51.8		
246	#	L1	14	0xC9	23.794.405.716	158.268.000	43		
247	#	L1	16	0xC1	22.884.327.211	-377.682.000	45		
248	#	L1	18	0xC9	21.976.218.286	-266.178.000	42.3		
249	#	L1	19	0xC1	21.755.747.736	325.130.000	48.8		
250	#	L1	21	0xC1	23.032.087.739	-275.031.000	37.5		
251	#	L1	22	0xC9	20.287.308.149	-19.011.000	51.5		
252	#	L1	26	0xC1	22.579.710.750	321.772.000	43.5		
253	#	L2	3	0x01	-5.282	89.289.070	42.3		
254	#	L2	6	0x01	-5.505	52.010.000	42.7		
255	#	L2	14	0x01	-2.955	180.493.871	29.9		
256	#	L2	16	0x01	-5.353	-265.537.754	33.2		
257	#	L2	18	0x01	-5.795	-191.005.504	27.8		
258	#	L2	19	0x01	-7.700	243.891.672	36.5		
259	#	L2	21	0x01	-6.535	-198.396.887	19.9		
260	#	L2	22	0x01	-6.916	-9.756.578	45.4		
261	#	L2	26	0x01	-2.720	244.400.082	26.7		
262	P	28107	39.664.926.572	22.736.564.239	103.094	AD	OF	#####	
263	V	28107	0.0154	250.9	25.985				

Εικόνα 3.21. Η μορφή των καταγεγραμμένων πληροφοριών από το σύστημα RTK

### 3.2.1.9 Δημιουργία ζωνών διαχείρισης

Από την ανάλυση της βιβλιογραφίας γίνεται αντιληπτό ότι πολλοί επιστήμονες έχουν δημιουργήσει ζώνες διαχείρισης σε αγροκτήματα έχοντας σαν βάση κυρίως τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά. Λίγα πειράματα έχουν εκπονηθεί για την αξιολόγηση ζωνών διαχείρισης αγροκτημάτων βασιζόμενες σε φυτικά χαρακτηριστικά (π.χ. ανθοφορία, δείκτες βλάστησης).

Με αφορμή τη συλλογή φωτογραφιών των ανθέων σε περίοδο πλήρους άνθησης έγινε μια προσπάθεια δημιουργίας ζωνών διαχείρισης. Ειδικότερα τα δεδομένα παραγωγής και ποσοστού των ανθέων από τους αντίστοιχους χάρτες παραλλακτικότητας εισήχθησαν στο λογισμικό Management Zone Analyst v. 1.0.1 (Agricultural Research Service, University of Missouri - Columbia) για να δημιουργηθούν ομοιογενείς ζώνες εντός του οπωρώνα. Το συγκεκριμένο λογισμικό χρησιμοποιεί αλγόριθμους ασαφούς λογικής (fuzzy clustering c means) για την δημιουργία σωστών ζωνών διαχείρισης.

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό επιλέχτηκαν οι ρυθμίσεις για να είναι τα αποτελέσματα πιο αξιόπιστα. Αυτές ήταν:

Measure of similarity: Euclidean.

Fuzziness exponent: 1.3

Fuzzy c-means: - Maximum Number of Iterations: 300

-Convergence criterion: 0.0001

-Minimum number of zones: 2

-Maximum number of zones: 6

Στις παραπάνω παραμέτρους επιλέχθηκε η μέθοδος Euclidean καθώς για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιούνταν μόνο μια μεταβλητή (αριθμός ανθέων ή παραγωγή). Η επιλογή Fuzziness exponent επιλέγεται από το χρήστη αναλόγως πόσο διακριτές θέλει να είναι οι ζώνες διαχείρισης. Στη παρούσα έρευνα ο συντελεστής παρέμεινε 1.3 όπως είναι προεπιλεγμένος από τον κατασκευαστή του λογισμικού. Οι υπόλοιπες επιλογές παρέμειναν σύμφωνα με τις τιμές που έδωσε ο κατασκευαστής του λογισμικού ενώ στο τέλος επιλέχτηκε να εξεταστεί το σενάριο δημιουργίας από δύο έως έξι ζώνες διαχείρισης (minimum και maximum number of zones).

Τα αποτελέσματα του λογισμικού MZA εισήχθησαν στο λογισμικό Arcmap 9.3. και ενσωματώθηκαν στο ίδιο επίπεδο των 45 κελιών που χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση όλων των ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Κάθε κελί πήρε τον αριθμό 1 ή 2 αναλόγως σε ποιά ζώνη ανήκε σύμφωνα με το λογισμικό MZA και χρωματίστηκε με το ανάλογο χρώμα. Η ύπαρξη πολυγώνων μεταξύ των χαρτών παραγωγής και ανθέων που ανήκαν στην ίδια ζώνη καταμετρούνταν έτσι ώστε να γίνει η σύγκριση της ομοιότητας των χαρτών.

### **3.2.2 Δεύτερος πειραματικός οπωρώνας**

#### **3.2.2.1 Χαρτογράφηση παραγωγής**

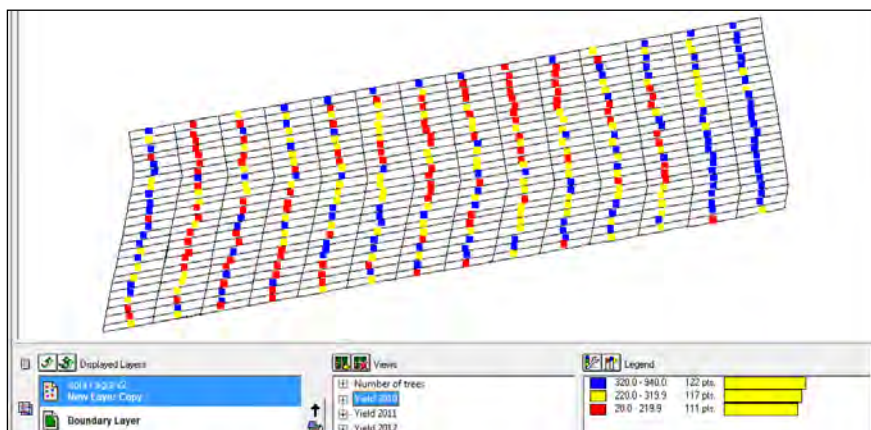
Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε κατά την περίοδο της συγκομιδής των καρπών τον Οκτώβριο του 2010, 2011, και 2012. Χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος με τον κύριο οπωρώνα με τη διαφορά ότι η κάθε σειρά του οπωρώνα χωρίστηκε σε τμήματα των δεκαπέντε μέτρων. Σε αυτό βοήθησαν τα σιδερένια υποστηρίγματα του οπωρώνα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σαν όρια των μικρών τμημάτων των δεκαπέντε μέτρων. Κατά την περίοδο της συγκομιδής τα τελάρα τοποθετούνταν κατά μήκος της γραμμής των δένδρων. Τα μήλα όταν συλλέγονταν τοποθετούνταν μέσα σε πλαστικά τελάρα (Εικόνα 3.22). Το βάρος ενός πλήρως γεμάτου με μήλα τελάρου ήταν 18.5

κιλά κατά μέσο όρο. Μετά από μέτρηση του πλήθους των τελάρων που συμπληρώνονταν με μήλα από κάθε τμήμα των δεκαπέντε μέτρων, με τη βοήθεια του GPS καταγράφονταν οι συντεταγμένες του μέσου κάθε διαστήματος των δέκα μέτρων. Με αυτόν τον τρόπο σε κάθε χάρτη παραγωγής που δημιουργήθηκε στην πορεία υπήρχε ένα σημείο για κάθε δεκαπέντε μέτρα όπου αντιστοιχούσε όλη η παραγωγή των δεκαπέντε μέτρων.



**Εικόνα 3.22.** Συγκομιδή των μήλων

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε μόνο για την ποικιλία Granny Smith και όχι για την επικονιάστρια ποικιλία. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων της παραγωγής ήταν το Farmworks (Trimble, USA) καθώς αυτό δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας χαρτών εφαρμογής λιπάσματος που θα αναπτυχθεί παρακάτω. Αρχικά αφού δημιουργήθηκε το περίγραμμα του οπωρώνα, έγινε ο διαχωρισμός του χώρου σε μικρά πολύγωνα μεγέθους 15 x 4 μέτρα. Επιλέχθηκαν τα 15 μέτρα γιατί τόση ήταν η απόσταση των μετρήσεων της παραγωγής και 4 μέτρα γιατί τόση ήταν η απόσταση μεταξύ των γραμμών. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα επίπεδο όπου καταχωρήθηκαν οι σημειακές μετρήσεις της παραγωγής σύμφωνα με τις συντεταγμένες τους ( Εικόνα 3.23).



Εικόνα 3.23. Οι σημειακές μετρήσεις της παραγωγής

### 3.2.2.2 Λίπανση με μεταβλητές δόσεις

Στους οπωρώνες μήλων εφαρμόζονται κάθε χρόνο διάφορες εισροές. Μια από τις κυριότερες είναι το λίπασμα. Συνήθως σε τέτοιου είδους οπωρώνες χρησιμοποιούνται λιπάσματα που περιέχουν κυρίως άζωτο (N), φώσφορο (P) και κάλιο (K). Περιέχουν επίσης και διάφορα ιχνοστοιχεία όπως (Fe, Mg, Mn, Zn, B) αλλά σε μικρότερες ποσότητες μιας και μεγάλη περιεκτικότητα εδάφους σε αυτά τα ιχνοστοιχεία είναι προβληματική. Η εφαρμογή των λιπασμάτων στην Ελλάδα γίνεται ομοιόμορφα και δεν είναι λίγοι οι παραγωγοί που τα εφαρμόζουν με το χέρι. Σε αυτό συμβάλει η μη εκμηχάνιση της παραγωγής σε οπωρώνες. Επίσης οι μικρές αποστάσεις μεταξύ των σειρών στους οπωρώνες δεν επιτρέπουν την χρήση ογκωδών λιπασματοδιανομέων. Πρόβλημα επίσης δημιουργούν τα σημεία όπου θα πέσει το λίπασμα. Για να γίνει σωστή η λίπανση θα πρέπει το λίπασμα να πέσει γύρω από τον κορμό σε μικρή ακτίνα και όχι επάνω του. Σε περίπτωση που πέσει επάνω του μπορεί να προκαλέσει ζημιές τόσο στον κορμό όσο και στη ρίζα που βρίσκεται κοντά του. Τέτοια διανομή του λιπάσματος δεν μπορεί να επιτευχθεί με τους απλούς λιπασματοδιανομείς ακόμη κι αν η λίπανση γίνει με ελκυστήρα που διαθέτει σύστημα αυτόματης πλοήγησης.

Για να γίνει η εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών και όχι ενιαία όπως συνηθίζεται υπολογίστηκαν τα θρεπτικά συστατικά που απομακρύνονται από την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς με σκοπό να εφαρμοστούν την επόμενη χρονιά. Από δεδομένα των

προηγούμενων ετών διαπιστώθηκε ότι ο συγκεκριμένος οπωρώνας δεν παρουσιάζει παρενυαυτοφορία. Με τον τρόπο αυτό αντικαθίστανται τα συστατικά που απομακρύνθηκαν με την παραγωγή και δεν χρησιμοποιούνται παραπάνω ποσότητες λιπάσματος. Αυτό μπορεί να επιφέρει κέρδος στον παραγωγό και παράλληλα προστατεύει το περιβάλλον αφού γίνεται χρήση μικρότερης ποσότητας λιπάσματος.

Μετά τη χαρτογράφηση της παραγωγής δημιουργήθηκαν οι χάρτες εφαρμογής λιπάσματος οι οποίοι δηλώνουν πόση ποσότητα λιπάσματος θα πρέπει να πέσει σε κάθε σημείο του οπωρώνα έχοντας σαν βάση τις πραγματικές απαιτήσεις των φυτών. Σύμφωνα με τον Βασιλακάκη (2004) για παραγωγή 3500 Kg/στρέμμα πρέπει να εφαρμόζονται 18 Kg/στρέμμα άζωτο και 21 Kg/στρέμμα κάλιο. Από την άλλη μεριά η βιβλιογραφία (IFA, 1992) αναφέρει ότι για παραγωγή 4480 Kg/στρέμμα απομακρύνονται από το έδαφος 5.1 Kg/στρέμμα άζωτο και 8.9 Kg/στρέμμα κάλιο σε περίπτωση που τα κλαδιά των δέντρων δεν ενσωματώνονται στο έδαφος. Από την παραπάνω βιβλιογραφία διαπιστώνεται ότι η ποσότητα των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται από τα δένδρα για να καλύψουν τις ανάγκες τους διαφέρουν σημαντικά. Αυτό μπορεί να στηρίζεται στο γεγονός πως σε κάθε χώρα οι κλιματικές συνθήκες και τα εδαφικά χαρακτηριστικά διαφέρουν πάρα πολύ με αποτέλεσμα τα δένδρα να συμπεριφέρονται με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα περιβάλλοντα.

Το πειραματικό σχέδιο αποτελούνταν από μια σειρά όπου εφαρμόζονταν η στρατηγική μεταβλητών δόσεων λιπάσματος και μια άλλη σειρά που χρησιμοποιούνταν σαν μάρτυρας. Οι δόσεις στις σειρές του μάρτυρα ήταν οι ίδιες με αυτές του παραγωγού που εφάρμοζε όλα τα χρόνια. Ο πειραματικός οπωρώνας αποτελούνταν από 25 σειρές δένδρων. Αυτό έδινε την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν 13 επαναλήψεις με εφαρμογή μεταβλητών δόσεων και 12 επαναλήψεις των σειρών μάρτυρα. Το λίπασμα που χρησιμοποιήθηκε την πρώτη χρονιά της εφαρμογής (2011) ήταν 11-15-15 (N-P-K) ενώ το 2012 ήταν 12-11-18 (N-P-K). Επειδή ο παραγωγός χρησιμοποιούσε σύνθετο λίπασμα ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί λίπασμα σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών και για τα τρία στοιχεία. Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα βασίστηκαν στην ποσότητα του αζώτου που απομακρύνθηκε με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς σύμφωνα με το IFA (1992). Αυτό το γεγονός στηρίχτηκε στη λογική ότι το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τα φυτά και συμβάλει στην βλάστηση των δέντρων και στην καρποφορία τους. Επειδή η κλίση του εδάφους ήταν αρκετή προστέθηκε 20%

επιπλέον ποσότητα λιπάσματος επί της προτεινόμενης δόσης για να ληφθούν υπόψιν οι απώλειες λόγω έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών (Driscoll et al., 2003). Επίσης, καθώς το έδαφος της περιοχής όπου υπήρχε ο οπωρώνας ήταν φτωχό σε κάλιο προστέθηκε επιπλέον 30% ποσότητα λιπάσματος επί της προτεινόμενης δόσης.

Το σύνολο των δόσεων που εφαρμόστηκαν ήταν 4 κάθε φορά (Πίνακας 3.1). Η μια δόση ήταν όμοια με αυτή που χρησιμοποιεί ο παραγωγός (Control) και οι άλλες τρεις βασιζόνταν στον χάρτη παραγωγής κάθε προηγούμενου έτους (VRA). Για να δημιουργηθεί για παράδειγμα ο χάρτης εφαρμογής λιπάσματος για το έτος 2011 χρησιμοποιήθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές κάθε κλάσης του χάρτη παραγωγής 2010.

Για τη δημιουργία των χαρτών εφαρμογής του λιπάσματος χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Farmworks (Trimble, USA) γιατί έχει την ιδιότητα δημιουργεί τέτοιου είδους χάρτες. Αρχικά ορίζονταν στο λογισμικό οι επιθυμητές δόσεις λιπάσματος που θα χρησιμοποιούνταν. Στη συνέχεια για κάθε ένα κελί του χωραφιού που δημιουργήθηκε κατά τη χαρτογράφηση της παραγωγής επιλέγονταν η επιθυμητή δόση. Τα κελιά με τις ίδιες δόσεις λάμβαναν τον ίδιο χρωματισμό για να ξεχωρίζουν από τα υπόλοιπα. Τέλος, ο χάρτης εκτυπώνονταν σε χαρτί και γινόταν η εφαρμογή του λιπάσματος στον οπωρώνα.

Για την εφαρμογή του λιπάσματος χρησιμοποιούνταν μια σέσουλα η οποία βαθμονομούνταν κάθε χρονιά έτσι ώστε φαίνεται ότι φέρει λίπασμα 0.1kg, 0.5kg και 1kg. Οι δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 3.1.

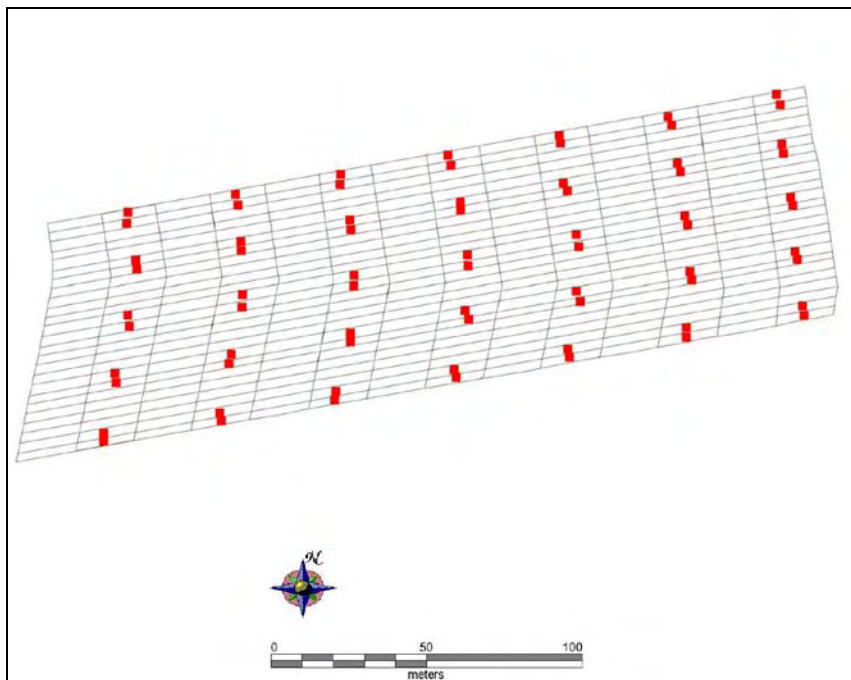
**Πίνακας 3.1.** Μεταβλητές δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν.

Μεταχείριση	Εφαρμογή λιπάσματος (kg/στεμ.)			Μονάδες N (kg/στεμ.)			Μονάδες K (kg/στεμ.)		
	Παραγωγή			Παραγωγή			Παραγωγή		
	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή
VRA (2011)	70.3	109.3	326.5	7.7	12	35.8	10.5	16.3	48.9
Control (2011)	250			27.5			37.5		
VRA (2012)	43.7	62.5	195.3	5.2	7.5	23.4	7.8	11.2	35.1
Control (2012)	218.7			26.2			39.3		

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της παραγωγής σε συνάρτηση με την ποσότητα του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε έγιναν στο λογισμικό Excel (Microsoft, USA). Για τον υπολογισμό του κέρδους που επιφέρει κάθε εφαρμογή θεωρήθηκε ότι η τιμή πώλησης των μήλων είναι 0.30 ευρώ/ κιλό που είναι η μέση τιμή των τριών ετών ενώ η τιμή του λιπάσματος ήταν 0.70 ευρώ/κιλό που είναι η μέση τιμή των τριών ετών. Αρχικά εκτιμήθηκε η παραγωγή κάθε πειραματικού τεμαχίου (plot) καθώς και η ποσότητα του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε. Στη συνέχεια η παραγωγή κάθε πειραματικού τεμαχίου πολλαπλασιάστηκε με την τιμή πώλησης των μήλων για να βρεθεί το εισόδημα του παραγωγού από κάθε τεμάχιο (plot) ενώ η ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε στο καθένα πολλαπλασιάστηκε με την τιμή αγοράς του λιπάσματος. Αφαιρώντας τα χρήματα που ξοδεύτηκαν για λίπασμα για κάθε τεμάχιο από τα έσοδα που είχε ο παραγωγός λόγω της παραγωγής κάθε τεμαχίου, έδωσε το καθαρό κέρδος του παραγωγού για κάθε μια περιοχή του οπωρώνα. Για να υπάρχει καλύτερη ποσοτική άποψη του κέρδους που προκύπτει από την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων, έγινε αναγωγή επί τις εκατό του κόστους λιπάσματος σε σχέση με το κέρδος από την πώληση των μήλων και για τις δύο μεθόδους. Στη συνέχεια προσθέτοντας το κέρδος και την ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε για κάθε μια περιοχή του οπωρώνα όπου έγινε εφαρμογή ομοιόμορφης λίπανσης και μεταβλητής αντίστοιχα, υπολογίστηκε το συνολικό κέρδος και η συνολική ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε σειρά εφαρμογής. Τέλος το συνολικό κέρδος που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου μεταβλητής λίπανσης αφαιρέθηκε από το κέρδος που προέκυψε από την ομοιόμορφη λίπανση. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίστηκε το κέρδος που προέκυψε από την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης έναντι της ομοιόμορφης.

Στον δευτερεύοντα οπωρώνα εκτός από τη μελέτη της παραγωγής και της οικονομικής ανάλυσης της εφαρμογής της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις η παρούσα εργασία ασχολήθηκε και με την ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων. Αυτό έγινε για να εξακριβωθεί αν και κατά πόσο επηρεάζεται η ποιότητα των μήλων με την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος. Γι' αυτό το λόγο κατά τη συγκομιδή των μήλων επιλέγονταν 7 δείγματα επί των σειρών σε συγκεκριμένες σειρές δέντρων του οπωρώνα. Κάθε δείγμα αποτελούνταν από 5 μήλα. Η επιλογή της τοποθεσίας δειγματοληψίας των μήλων έγινε με βάση τη λίπανση. Αρχικά επιλέγονταν η σειρά όπου εφαρμόζονταν

μεταβλητή δόση λιπάσματος και στη συνέχεια γίνονταν δειγματοληψία των μήλων στη συγκεκριμένη σειρά αλλά και στην διπλανή της όπου εφαρμόζονταν ομοιόμορφες ποσότητες λιπάσματος (Εικόνα 3.24). Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν το βάρος του καρπού, η οξύτητα, τα διαλυτά στερεά συστατικά, το pH και η σκληρότητα της σάρκας. Μετά την ποιοτική ανάλυση υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά όπως μέση τιμή, μέγιστη τιμή, ελάχιστη τιμή και ο συντελεστής μεταβλητότητας για κάθε μια χρονιά ξεχωριστά. Για να βρεθεί η επίδραση των δύο μεθόδων λίπανσης, που χρησιμοποιήθηκαν, στην ποιότητα των μήλων υπολογίστηκε η μέση τιμή και ο συντελεστής μεταβλητότητας για κάθε ένα χαρακτηριστικό που εξετάστηκε τα έτη 2011 και 2012, όταν δηλαδή έγινε το πείραμα με τη διαφοροποιημένη λίπανση.



**Εικόνα 3.24.** Σημεία δειγματοληψίας μήλων



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΟΠΩΡΩΝΑ

Στην Εικόνα 4.1 παρουσιάζεται ο χάρτης με το τοπογραφικό ανάγλυφο του κύριου οπωρώνα. Το πλέγμα το οποίο έχει δημιουργηθεί έχει μέγεθος 20x18 γιατί το ίδιο πλέγμα χρησιμοποιήθηκε για όλες τις μετρήσεις. Με τη δημιουργία πλέγματος ο οπωρώνας χωρίζεται σε 45 όμοια πολύγωνα με διαφορετικές ιδιότητες.



**Εικόνα 4.1.** Το τοπογραφικό ανάγλυφο του οπωρώνα

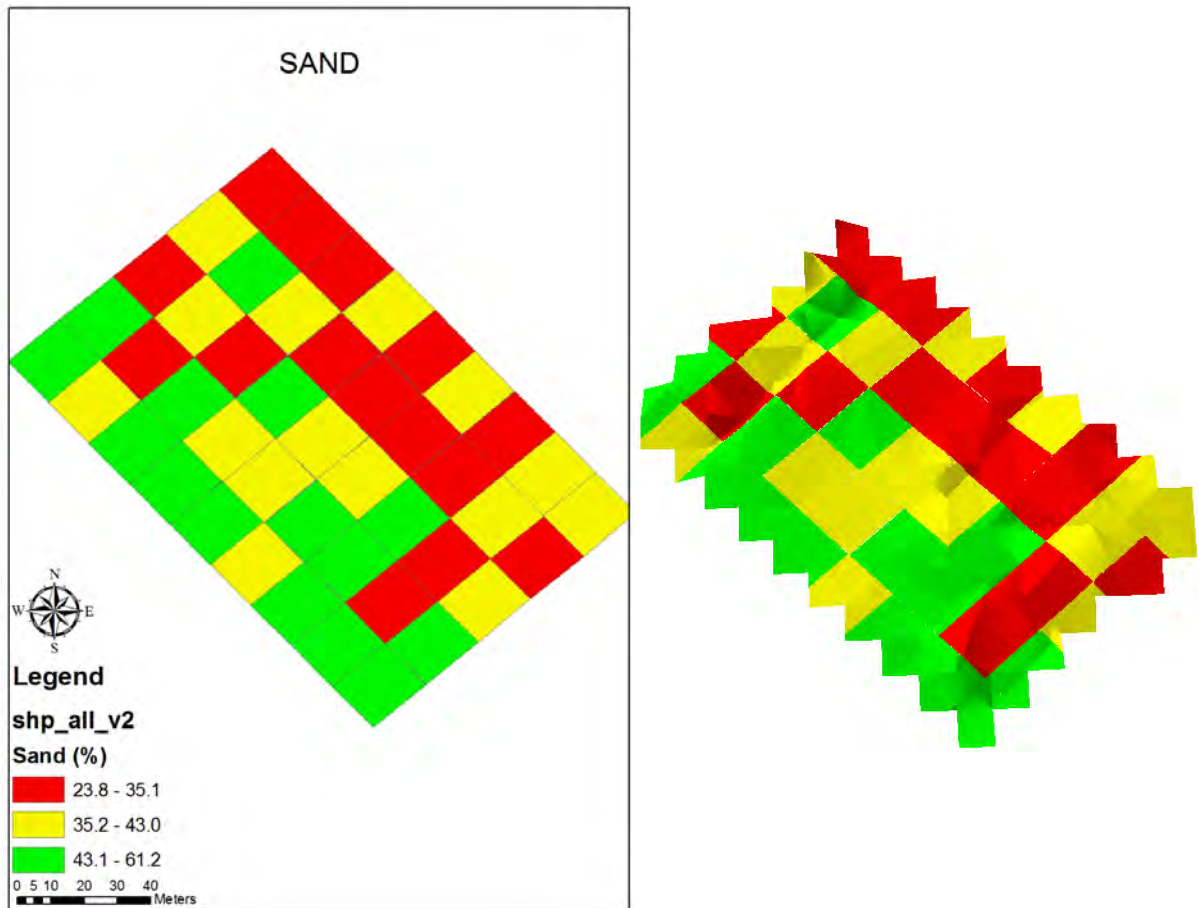
Παρατηρώντας τον χάρτη (Εικόνα 4.1) είναι φανερό ότι στη νότια πλευρά του οπωρώνα το υψόμετρο είναι μεγάλο. Με κατεύθυνση προς το βορρά το υψόμετρο μειώνεται σημαντικά. Σύμφωνα με το υπόμνημα του χάρτη είναι φανερό ότι η διαφορά του υψομέτρου εντός του οπωρώνα φτάνει τα 15 μέτρα, πράγμα που δηλώνει σημαντική υψομετρική διαφορά από το κατώτερο τμήμα του οπωρώνα μέχρι το ανώτερο. Η ύπαρξη μεγάλης υψομετρικής διαφοράς μπορεί να προκαλέσει έκπλυση των θρεπτικών συστατικών και διάβρωση του εδάφους. Τα φαινόμενα αυτά εμφανίζονται αργά στο χρόνο και επιβάλλουν τη συνεχή μελέτη της κατάστασης του εδάφους στο πέρασμα του χρόνου.

## 4.2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

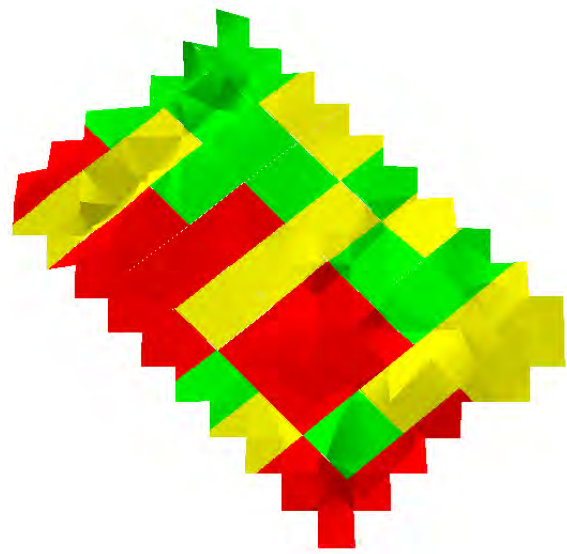
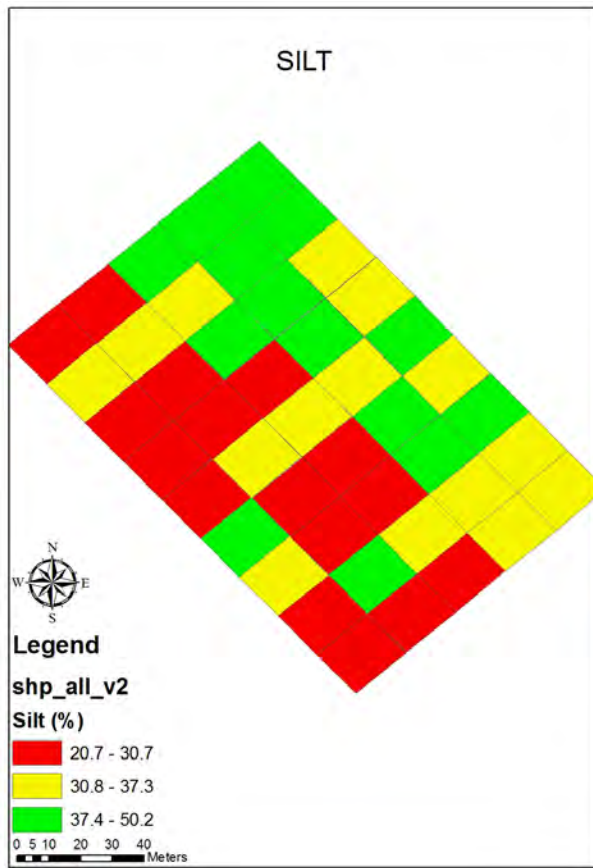
Στις 13 Φεβρουαρίου του 2010 λίγο πριν γίνει η λίπανση στο χωράφι έγινε η δειγματοληψία του εδάφους από βάθος 0-30 εκατοστά για να αναλυθούν τα δείγματα στο εργαστήριο. Η ανάλυση του εδάφους αφορούσε εδαφικά χαρακτηριστικά όπως το K, το Ca, την οργανική ουσία καθώς και την μηχανική του σύσταση. Η επιλογή αυτών των χαρακτηριστικών έγινε με βάση τα αποτελέσματα προηγούμενων πειραμάτων καθώς αυτά τα χαρακτηριστικά έδωσαν αξιόλογα αποτελέσματα σε σχέση με την παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μήλων. Ανάλυση εδάφους για την εύρεση της περιεκτικότητάς του σε άζωτο δεν έγινε καθώς οι ανάγκες της καλλιέργειας σε άζωτο εξαρτάται από την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς. Σύμφωνα με το IFA (1992) εάν η παραγωγή σε μήλα είναι 44,8 τόνοι ανά εκτάριο τότε αφαιρούνται 110 κιλά αζώτου ανά εκτάριο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες (Εικόνες 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8) όπως προέκυψαν από την εδαφολογική ανάλυση των δειγμάτων. Εκτός από τους δισδιάστατους χάρτες παρουσιάζονται και τρισδιάστατοι έχοντας σαν βάση το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε εξομοιώσουμε τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά που μελετώνται σε συνάρτηση με την μορφή του επιπέδου του εδάφους.



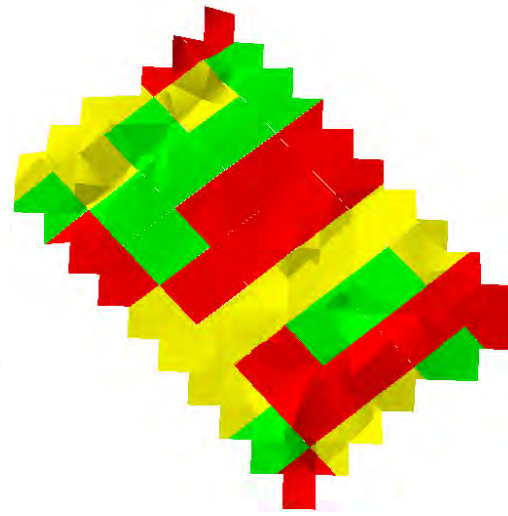
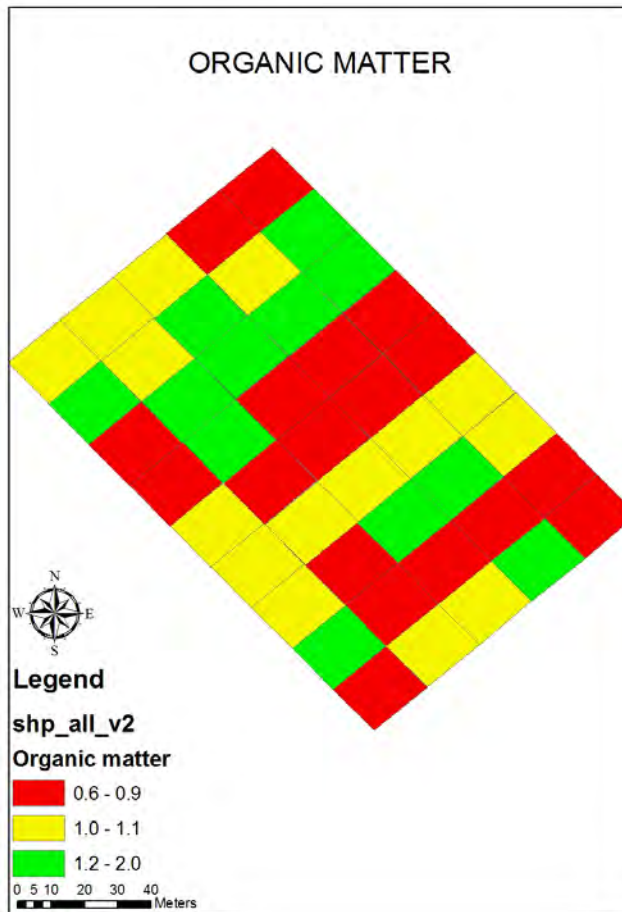
Εικόνα 4.2. Χάρτες παραλλακτικότητας αργίλου



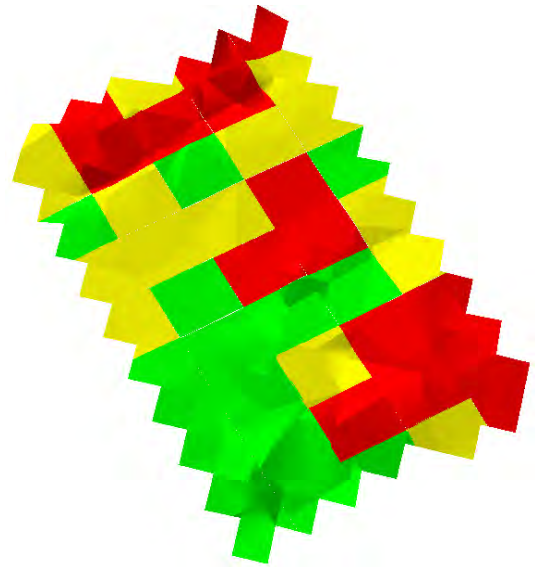
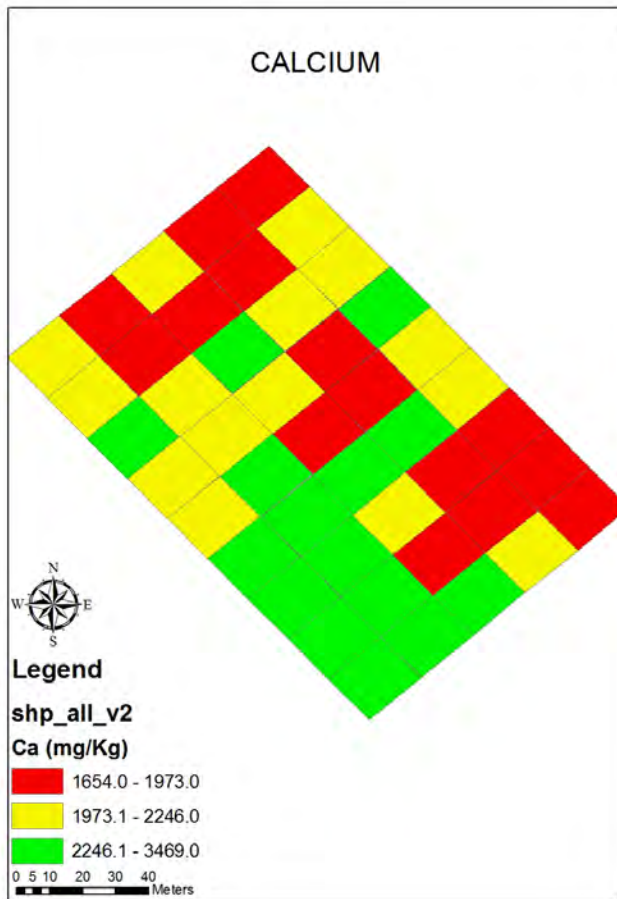
Εικόνα 4.3. Χάρτες παραλλακτικότητας της άμμου



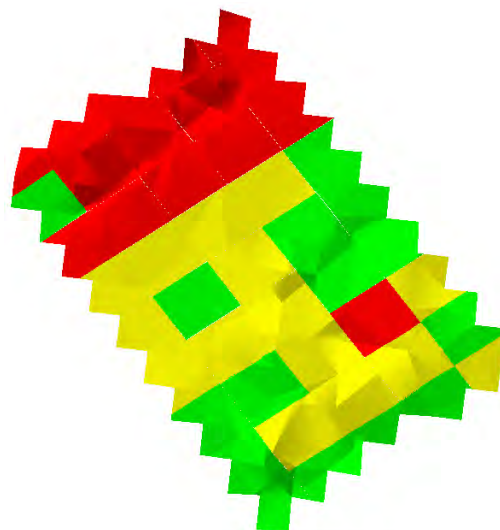
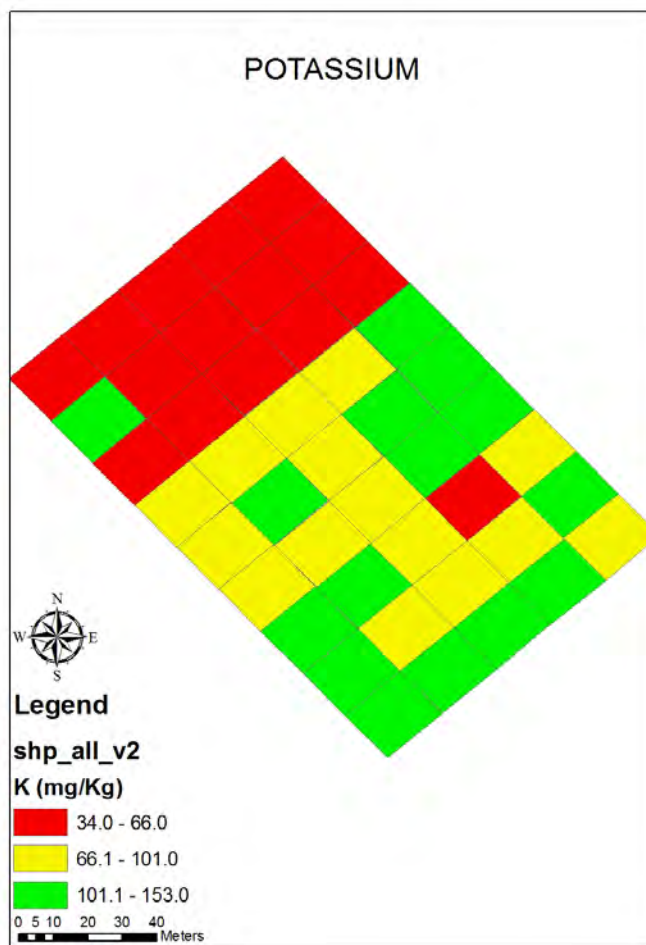
**Εικόνα 4.4.** Χάρτες παραλλακτικότητας της ιλύως



**Εικόνα 4.5.** Χάρτες παραλλακτικότητας της οργανικής ουσίας

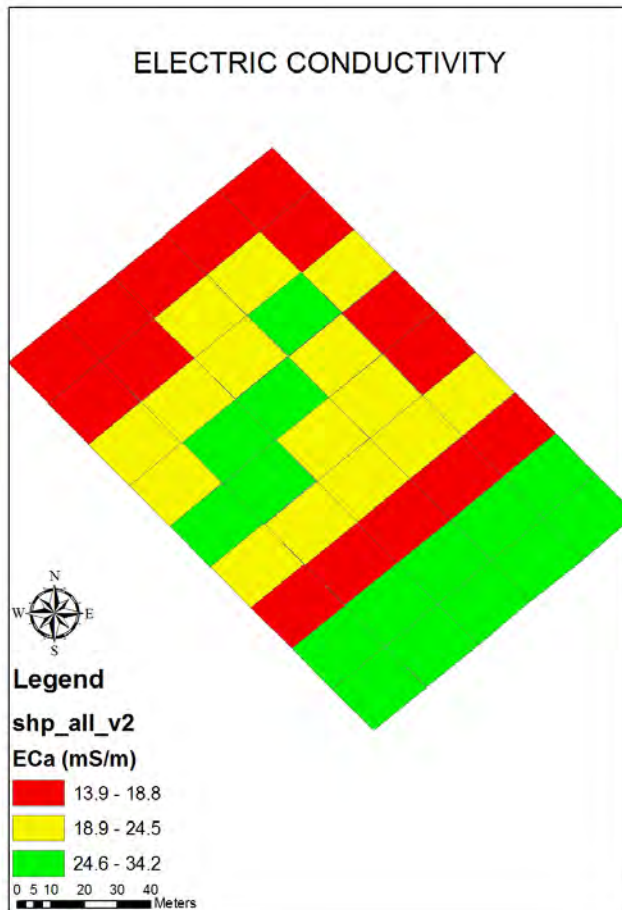


**Εικόνα 4.6.** Χάρτες παραλλακτικότητας του ασβεστίου



**Εικόνα 4.7.** Χάρτες παραλλακτικότητας του καλίου





**Εικόνα 4.8.** Χάρτες παραλλακτικότητας της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες εδαφικών χαρακτηριστικών είναι ξεκάθαρο ότι στο νοτιοδυτικό τμήμα του οπωρώνα η άργιλος του εδάφους είναι λίγη ενώ στα νοτιοανατολικά είναι περισσότερη. Το μεγαλύτερο ποσοστό της άμμου συναντάται στη νότια και δυτική πλευρά του οπωρώνα ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο βόρειο και ανατολικό τμήμα. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει με το ποσοστό της ιλύως στο έδαφος. Συγκεκριμένα στη νότια και δυτική πλευρά του οπωρώνα η ιλύς είναι λίγη ενώ στη βόρεια και βόρειο ανατολική πλευρά είναι αρκετή. Όσον αφορά την περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβέστιο, αυτήν είναι μεγαλύτερη στο νότιο δυτικό τμήμα του οπωρώνα σε σχέση με το βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα. Για το κάλιο είναι ξεκάθαρο ότι βρίσκεται σε μικρή ποσότητα στο βορειοδυτικό τμήμα ενώ στο νότιο, ανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα η ποσότητα είναι μεγαλύτερη. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι υψηλότερη στο νότιο

και νοτιοανατολικό μέρος του οπωρώνα, ενώ στο βόρειο και βορειοδυτικό μέρος είναι χαμηλότερη. Τέλος από τον χάρτη της οργανικής ουσίας δεν μπορεί να βγει κάποιο συμπέρασμα.

Στον Πίνακα 4.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστο, μέγιστο, τυπική απόκλιση, συντελεστής παραλλακτικότητας, ασυμμετρία και κύρτωση) για τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Παρατηρώντας αρχικά την ασυμμετρία γίνεται αντιληπτό ότι όλες οι παράμετροι που εξετάστηκαν ακολουθούν κανονική κατανομή (ασυμμετρία μεταξύ -1 και +1).

Η άργιλος, η άμμος, η ιλύς, η οργανική ουσία και το ασβέστιο παρουσίασαν μέτρια χωρική παραλλακτικότητα (15,9% - 20%) ενώ η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα και το κάλιο εμφάνισαν μεγαλύτερη (25,8% και 39,3% αντίστοιχα).

Όσον αφορά την μηχανική σύσταση του εδάφους, εμφανίζεται να αποτελείται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από άμμο και ιλύ και λιγότερο από άργιλο. Συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε άργιλο κυμάνθηκε από 12,2 μέχρι 34,2%, σε άμμο από 23,8 μέχρι 61,8% και σε ιλύ από 20,7 μέχρι 50,2%. Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι σε επιθυμητά επίπεδα καθώς η καλλιέργεια μήλων απαιτεί καλά στραγγιζόμενα εδάφη. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία κυμάνθηκε μεταξύ 0,6 και 2 η οποία θεωρείται μέτρια έως υψηλή (Κουκουλάκης, 1995). Τέλος σύμφωνα με τον Κουκουλάκη (1995) η περιεκτικότητα του εδάφους σε κάλιο πρέπει να είναι μεταξύ 150 και 250 mg/kg ενώ στον υπό μελέτη οπωρώνα τα όρια ήταν μεταξύ 34 και 153 mg/kg που δηλώνει ότι υπάρχει σημαντική έλλειψη καλίου στο έδαφος.

**Πίνακας 4.1.** Περιγραφικά στατιστικά των εδαφικών χαρακτηριστικών

	Μέση τιμή	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπική απόκλιση	CV %	Ασυμμετρία	Κύρτωση
Άργιλος	26	12,2	34,2	4,6	17,6	-0,73	0,864
Άμμος	39	23,8	61,8	7,8	20	0,362	0,429
Ιλύς	34,2	20,7	50,2	6,8	19,8	0,198	-0,284
Οργανική ουσία	1	0,6	2	0,2	20	1	2,1
Κάλιο	88,6	34	153	34,9	39,3	0,29	-0,834
Ασβέστιο	2162	1654	3469	344	15,9	0,9	4
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	22,8	13,9	34,2	5,9	25,8	0,4	-0,949

### 4.3 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας και ασυμμετρία) για την παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος καθώς και η μέση τιμή των τριών ετών.

**Πίνακας 4.2.** Περιγραφικά χαρακτηριστικά της παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος.

Έτος	Ελάχιστη - Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	CV%	Ασυμμετρία	Κύρτωση
2010 (kg/δέντρο)	3,2-17,5	10,4	33,6	-0,22	-0,6
2011 (kg/δέντρο)	0,7 - 9,6	3,1	61,2	1,2	2
2012 (kg/δέντρο)	0 - 9,4	2,5	88	1,5	2,1
Μέση τιμή τριών ετών	-	5,3	60,9	-	-

Από τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι η παραγωγή ανά δέντρο στον οπωρώνα για τα τρία χρόνια του πειράματος ήταν κατά μέσο όρο 5.3 kg/δέντρο, δηλ. παραγωγή μήλων ίση με 2940 kg/στρέμμα. Αυτή ήταν και η έκτη χρονιά από τη φύτευση. Η παραγωγή το 2011 και 2012 ήταν πολύ χαμηλή σε σχέση με την παραγωγή του 2010. Συγκεκριμένα το 2010 η παραγωγή (μέγιστη, ελάχιστη και μέση) ήταν παραπάνω από το διπλάσιο σε σχέση με τις επόμενες δύο χρονιές. Σε αυτό συνέβαλε και το είδος της ποικιλίας των δέντρων η οποία είναι έντονης βλαστικής ανάπτυξης και επιρρεπής στην παρενιαυτοφορία. Με τον όρο παρενιαυτοφορία περιγράφεται το φαινόμενο όπου, ενώ τη μία χρονιά το δέντρο βρίσκεται σε πλήρη καρποφορία και παράγει ικανοποιητικά, διαμορφώνει ελάχιστους ανθοφόρους οφθαλμούς για την επόμενη χρονιά ώστε να έχει χαμηλή παραγωγή, που δεν οφείλεται σε παθολογικά ή κλιματολογικά αίτια, αλλά οφείλεται στην ανισορροπία ‘καταναλωτών’ (φρούτα, βλαστοί) και ‘παραγωγών’ (φύλλα) μερών του δέντρου.

Η μειωμένη παραγωγή κατά το έτος 2011 δεν φαίνεται όμως να οφείλεται μόνο στην παρενιαυτοφορία των δέντρων, αλλά οφείλεται και στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες (Πίνακας 4.3) κατά τη διάρκεια της επικονίασης των ανθέων. Σύμφωνα με τους Childers et al. (1995), όταν η σχετική υγρασία και οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές και η θερμοκρασία του αέρα ίση ή μικρότερη των 15 °C κατά την

περίοδο της επικονίασης, τότε τα έντομα που συμβάλουν στη μεταφορά της γύρης (κυρίως οι μέλισσες στους οπωρώνες των μήλων) από δέντρο σε δέντρο πετάνε λιγότερες φορές και σε μικρές αποστάσεις μακριά από τις κυψέλες τους. Επίσης κατά την επικονίαση, η υψηλή σχετική υγρασία σε συνδυασμό με τις αυξημένες νεφώσεις και τις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (όπως συνέβη τον Απρίλιο και αρχές Μαΐου 2011 και 2012) καθυστερούν την ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την μη αποτελεσματική γονιμοποίηση της ωοθήκης και τη χαμηλή καρπόδεση.

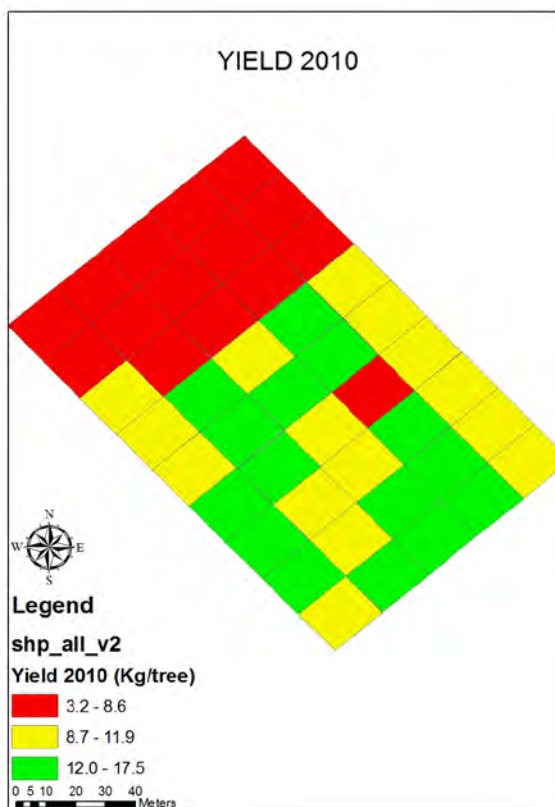
Το έτος 2012 η παραγωγή πάλι βρέθηκε χαμηλή. Σε αυτό συνέβαλαν τόσο οι κλιματικές συνθήκες οι οποίες δεν ήταν οι ιδανικότερες κατά τη διάρκεια της επικονίασης (Πίνακας 4.3), όσο και η πυκνή φύτευση των δένδρων. Κατά το 2011 τα φυτά είχαν αναπτυχθεί βλαστικά πολύ έντονα, λόγω της μειωμένης καρποφορίας και της έντονης βλάστησης, ώστε να προκαλείται εντονότατη σκίαση και επομένως μειωμένη διαφοροποίηση ανθοφόρων οφθαλμών για την άνθιση του 2012. Αυτό φαίνεται να είχε ως συνέπεια τη μειωμένη καρποφορία και το 2012. Αυτή η έντονη βλάστηση παρουσιάζεται με τις υψηλές τιμές του δείκτη NDVI που περιγράφονται σε άλλη ενότητα.

Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα κατά την περίοδο της επικονίασης των δέντρων στα τρία χρόνια του πειράματος με δεδομένο ότι η πλήρης άνθιση των δένδρων εμφανίζονταν στις 15 – 20 Απριλίου και τα τρία χρόνια του πειράματος. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε ανά πέντε ημέρες για να φανεί καλύτερα η παραλλακτικότητα των καιρικών συνθηκών εντός κάθε μηνός. Από τον Πίνακα 4.3 προκύπτει ότι το 2012 και 2011 οι βροχοπτώσεις ήταν αυξημένες την κρίσιμη περίοδο της επικονίασης σε σχέση με τις βροχοπτώσεις του 2010. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούσαν εκείνο το διάστημα τα έτη 2011 και 2012 φαίνεται ότι επέτεινε το πρόβλημα της επικονίασης των ανθέων.

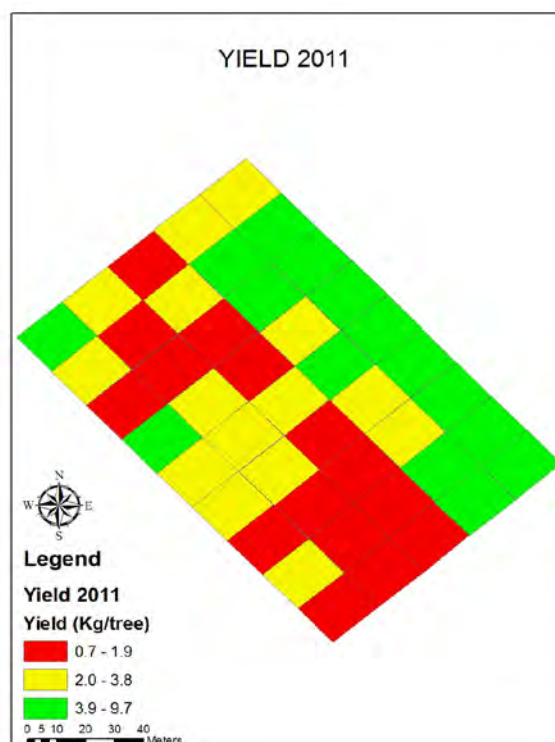
**Πίνακας 4.3.** Μετεωρολογικά στοιχεία Μαρτίου και Απριλίου για τα τρία έτη.

ΗΜΕΡΕΣ	ΜΕΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ(%)			ΜΕΣΗ ΘΕΡ/ΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)			ΜΕΣΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
1 - 5 / 4	71,3	78,6	82	13,3	12,8	11,7	0,04	0,88	3,48
6 - 10 / 4	61,3	60,8	80	12,6	15,5	12,8	0	0,04	2,24
11 - 15 / 4	75,0	62	78,6	13,0	13,2	12,6	0,28	0,44	1,2
16 - 20 / 4	77,6	80	73,5	15,6	10,3	10,1	1,48	2	2,64
21 - 25 / 4	64,3	73,2	55,5	16,2	11,8	13	0	0	0
26 - 30 / 4	56,3	88,2	60,5	15,3	12,9	13,3	0,04	1,76	0,76
1 - 5 / 5	61,4	87,8	73	18,7	16,4	20,4	0	1,16	1,44
6 - 10 / 5	58,2	74,4	56	18,9	13,6	20,5	0	0,64	0,08
11 - 15 / 5	55,1	62,4	75,9	22,3	16,9	17,8	0,46	0,04	3,12

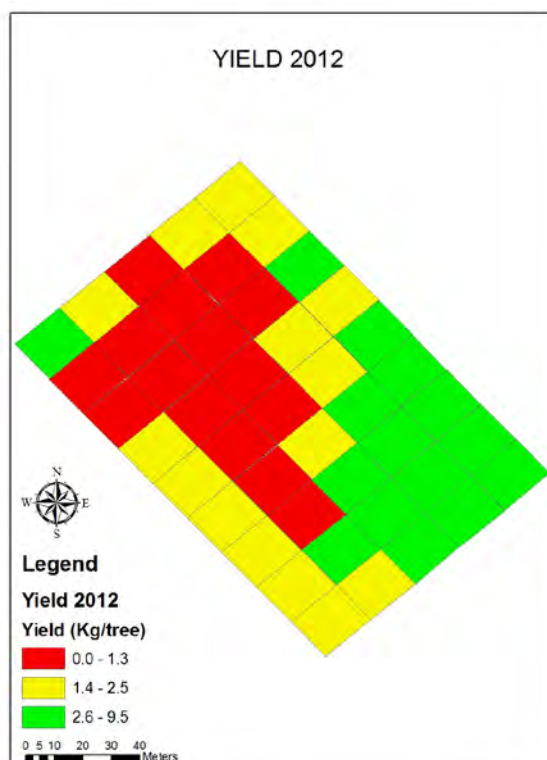
Στις Εικόνες 4.9, 4.10 και 4.11 παρουσιάζονται οι χάρτες παραγωγής όπως διαμορφώθηκαν κατά τα τρία έτη του πειράματος. Παρατηρώντας τους χάρτες γίνεται σαφές ότι η παραλλακτικότητα της παραγωγής αλλάζει και δεν μένει σταθερή στο χρόνο. Αυτό έχει σαν αντίκτυπο να μην μπορούν να δημιουργηθούν σταθερές ζώνες διαχείρισης όπως συμβαίνει με άλλες καλλιέργειες. Το 2010 η παραγωγή ήταν μειωμένη στη βόρεια πλευρά του οπωρώνα και αυξημένη στο νότιο και ανατολικό τμήμα του. Το 2011 η ανατολική πλευρά του οπωρώνα έδωσε μεγάλη παραγωγή, ενώ η νότια και δυτική μικρότερη. Τέλος, το 2012 η νότια πλευρά του οπωρώνα είχε τη μεγαλύτερη παραγωγή, ενώ η μικρότερη βρίσκονταν στο κέντρο του και προς τα βορειοδυτικά.



**Εικόνα 4.9.** Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2010



**Εικόνα 4.10.** Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2011

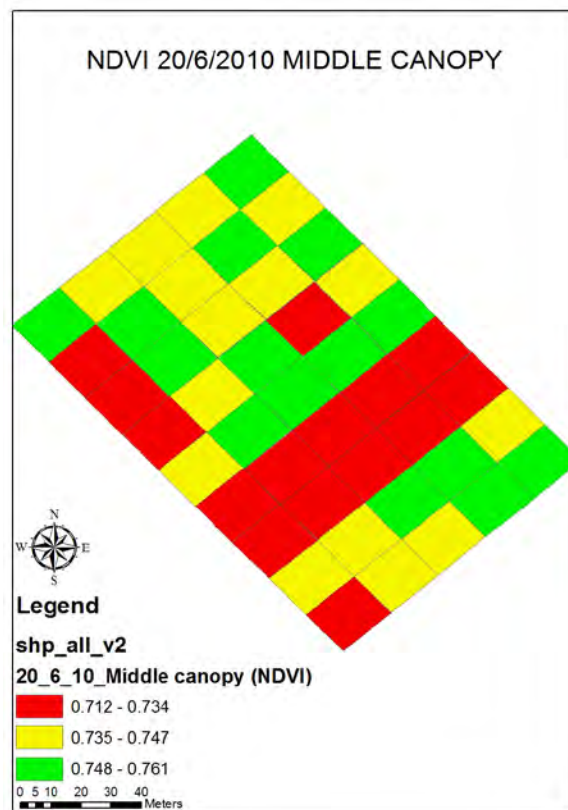
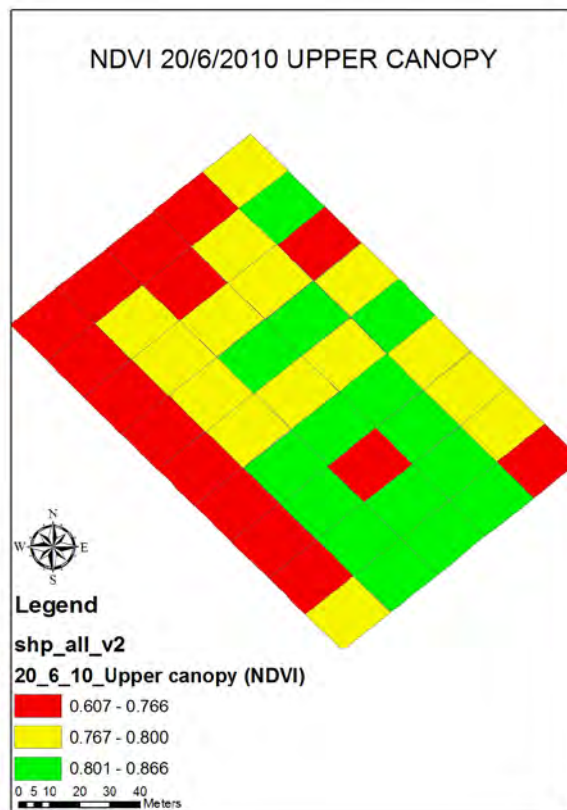
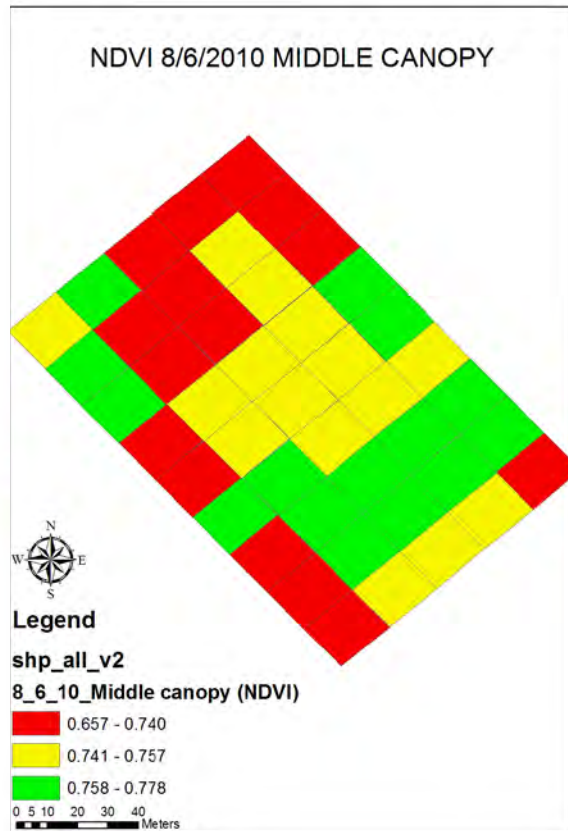
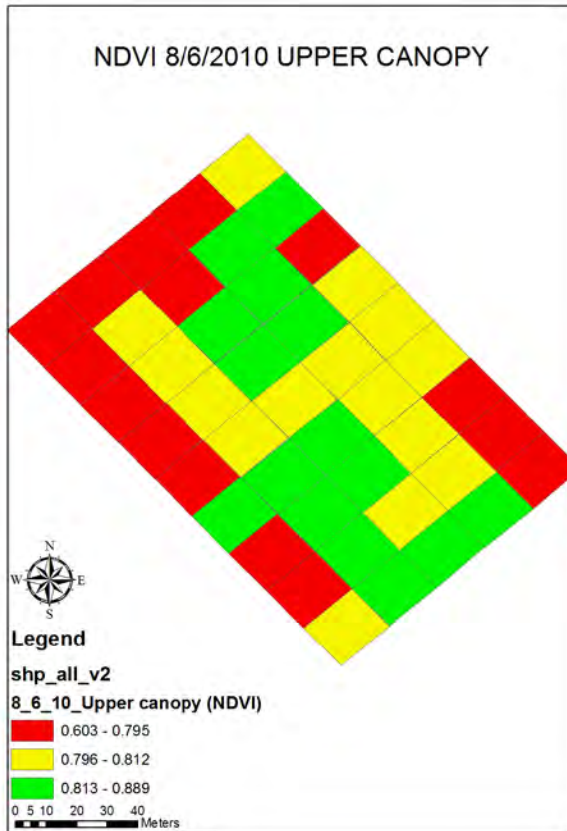


Εικόνα 4.11. Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2012

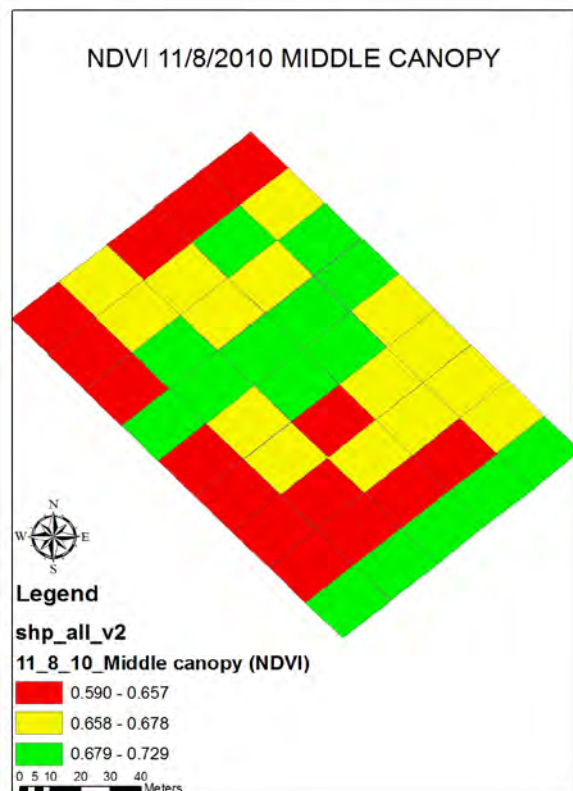
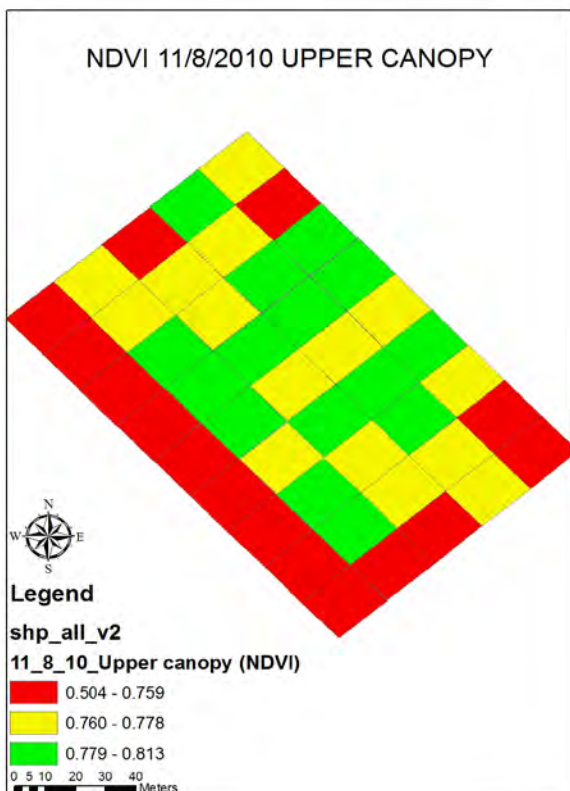
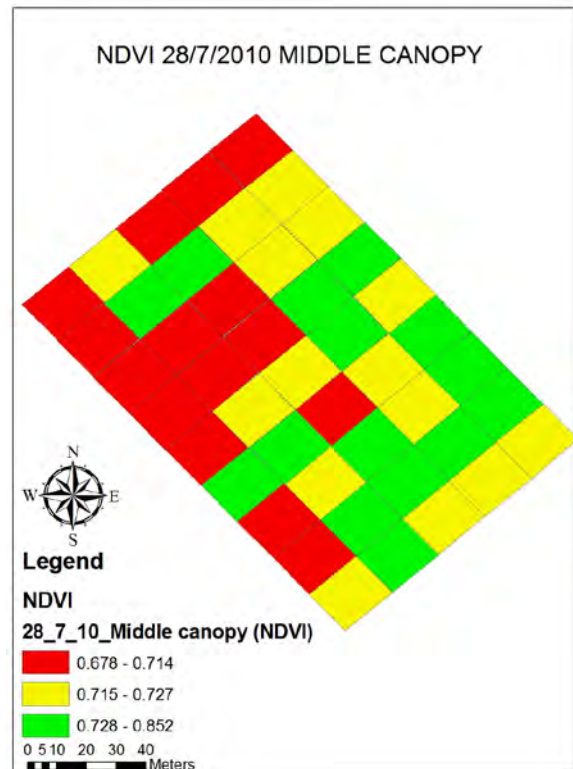
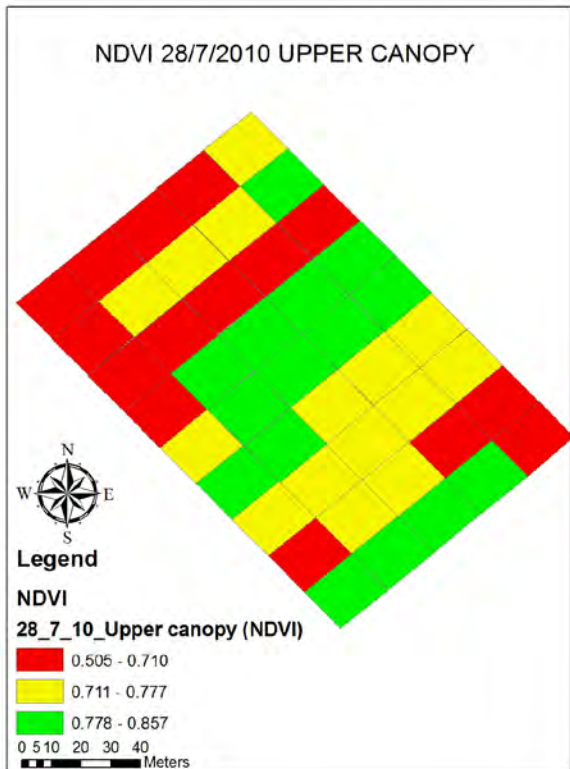
#### 4.4 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

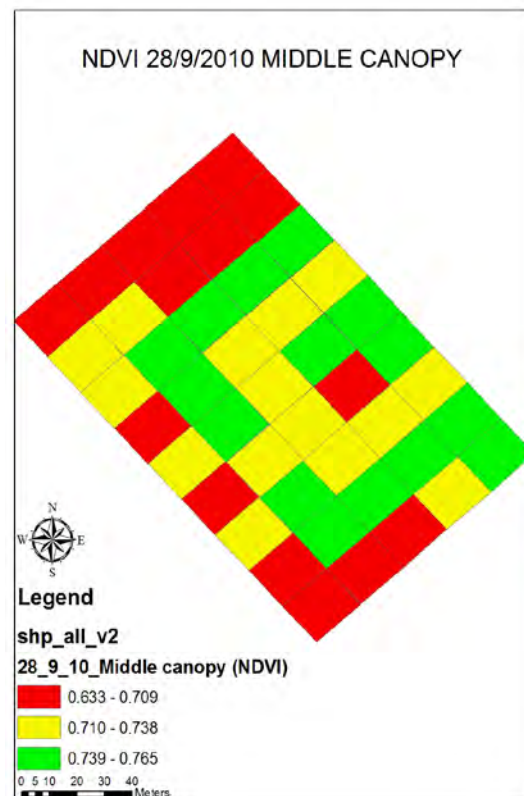
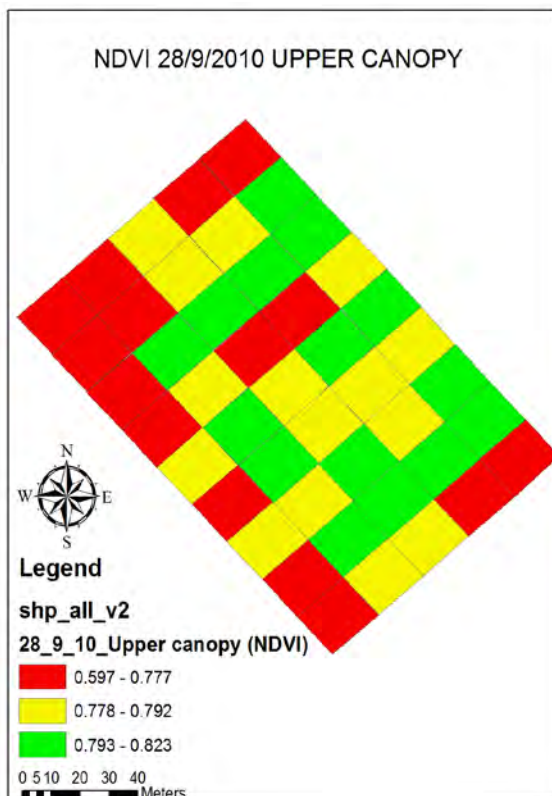
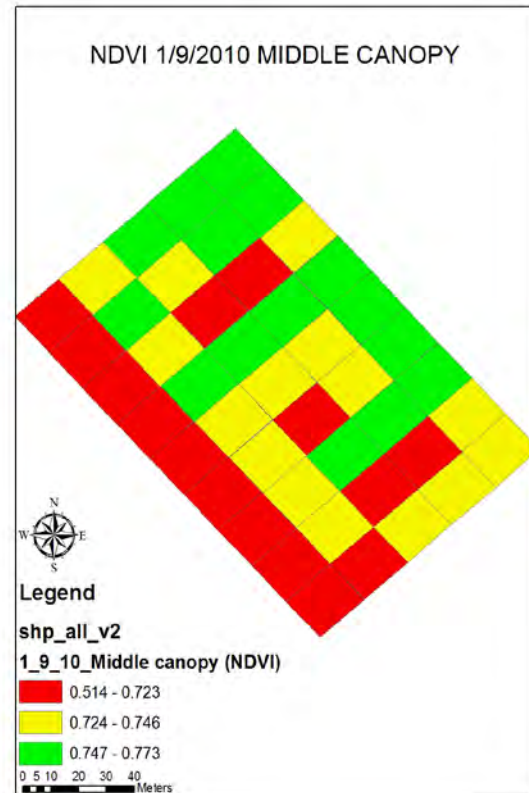
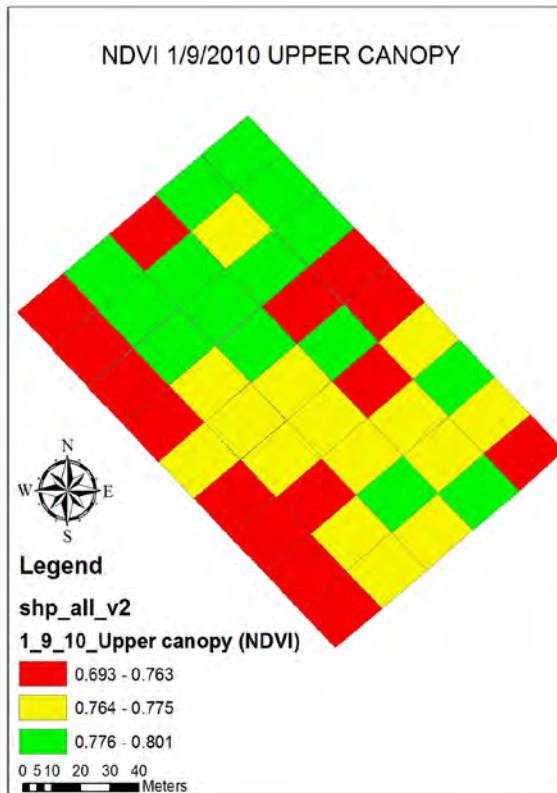
Οι μετρήσεις της ευρωστίας των φυτών ήταν απαραίτητες να πραγματοποιηθούν ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά την περίοδο του καλοκαιριού και αρχές φθινοπώρου και τις τρεις χρονιές. Όπως αναφέρθηκε ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο CropCircle. Σκοπός της χρήσης αυτού του αισθητήρα ήταν η σάρωση της κόμης των δένδρων σε ορισμένα μέρη για να υπολογισθεί ο δείκτης NDVI του κάθε φυτού. Ο δείκτης αυτός δείχνει πόσο πράσινο είναι και κατ' επέκταση πόσο χλωροφύλλη έχει ένα φυτό. Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης αυτός είναι από 0 έως 1. Η τιμή κοντά στο 1 υποδηλώνει ότι αυτά είναι πολύ πράσινα και επομένως υγιή. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με τα δεδομένα που ελήφθησαν χρησιμοποιώντας τον αισθητήρα και μια κεραία GPS.

2010









Εικόνα 4.12. Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2010

Παρατηρώντας τους παραπάνω χάρτες (Εικόνα 4.12) γίνεται αντιληπτό πως υπάρχουν κάποιες σταθερές τοποθεσίες στον οπωρώνα που οι τιμές του NDVI είναι χαμηλότερες ή υψηλότερες σε σχέση με τις υπόλοιπες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται συνήθως στο βορειότερο τμήμα του οπωρώνα και στο δυτικό. Από την άλλη μεριά υψηλή ευρωστία παρουσιάζεται στο μέσον του οπωρώνα και στο ανατολικό μέρος. Αυτό το γεγονός ίσως να οφείλεται στον προσανατολισμό του οπωρώνα και την κατεύθυνση των πυκνών γραμμών από βορρά προς νότο. Συγκεκριμένα στην ανατολική πλευρά ο οπωρώνας επηρεάζεται από θαλάσσια αύρα. Αυτή η αύρα πιθανόν δροσίζει το ανατολικό κομμάτι του οπωρώνα και η κατεύθυνση των γραμμών εμποδίζει το δροσισμό του δυτικού και βόρειου τμήματος του οπωρώνα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες σε αυτά τα τμήματα είναι δυνατόν να επηρέασαν αρνητικά τη συγκέντρωση χλωροφύλλης που εκτιμήθηκε με τις χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI. Επιπλέον είναι εμφανές ότι στο ανώτερο τμήμα της κόμης ο δείκτης NDVI συχνά είχε υψηλότερες τιμές από αυτές στο μεσαίο τμήμα της κόμης, καθώς στο μεσαίο τμήμα η σκίαση μειώνει το πόσο πράσινη είναι αλλάζοντας τη σχέση χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β υπέρ της δεύτερης και λόγω της γήρανσης των φύλλων που προκαλείται από τη σκίαση της πυκνής κόμης.

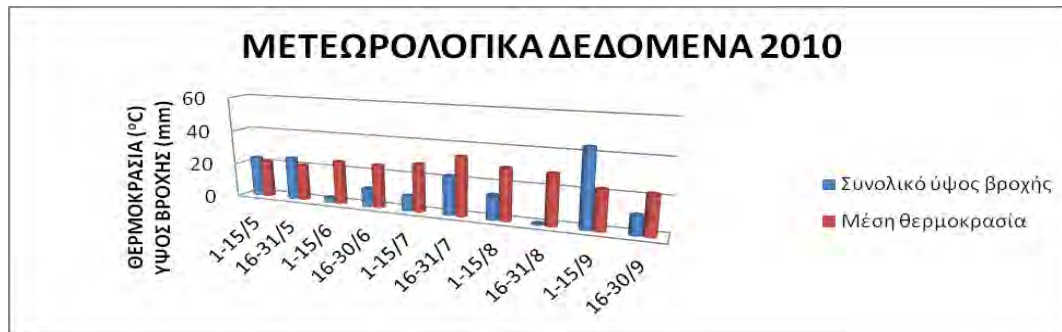
Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) του δείκτη NDVI στις διάφορες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Οι τιμές του δείκτη παραλλακτικότητας (CV) είναι πολύ χαμηλές μιας και η διαφοροποίηση των τιμών του NDVI είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού εύρους τιμών του δείκτη (0 έως 1). Στην Εικόνα 4.13 παρουσιάζονται οι καιρικές συνθήκες (μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση) ανά 15μέρες από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο του 2010.

Η μέση θερμοκρασία καθ' όλη την περίοδο μελέτης το 2010 διατηρήθηκε σε χαμηλά σχετικά επίπεδα. Αυτό το γεγονός ήταν υπέρ της βλάστησης των δέντρων καθώς οι μηλιές χρειάζονται δροσερά καλοκαίρια. Συγκρίνοντας τα δεδομένα του δείκτη NDVI και των καιρικών συνθηκών μπορεί να ειπωθεί ότι στις αρχές του καλοκαιριού η κόμη φαίνεται να είναι υγιής έχοντας τιμές NDVI ~ 0,78. Αυτό ίσως οφείλεται στις βροχοπτώσεις του Μαΐου και στις δροσερές θερμοκρασίες. Από τα μέσα Ιουλίου η ευρωστία των φυτών μειώνονταν καθώς η θερμοκρασία ήταν υψηλή παρόλο που οι βροχοπτώσεις ήταν αρκετές και η άρδευση γίνονταν συστηματικά, καθώς οι απαιτήσεις της πυκνής κόμης για διαπνοή είναι πολύ μεγαλύτερες από τη

φέρουσα ικανότητα των αγγείων του ξύλου και των ριζών. Η μέση τιμή του NDVI αυξήθηκε το Σεπτέμβριο λόγω των βροχοπτώσεων και των δροσερών θερμοκρασιών, χωρίς να μπορεί να φτάσει τα επίπεδα ευρωστίας που είχε νωρίς το καλοκαίρι. Στα μέσα Οκτωβρίου η μέση τιμή του NDVI μειώθηκε μέχρι και 0,66 εξαιτίας της γήρανσης των φύλλων με τη μείωση των απαιτήσεων των καρπών σε θρεπτικά (καθώς αυτοί ωρίμασαν) και την έλευση των φθινοπώρου (και την προετοιμασία των φυτών για το χειμερινό λήθαργο). Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί ότι ο οπωρώνας έχει έδαφος με σημαντικό ποσοστό άμμου, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συγκρατήσει αρκετή υγρασία παρά τη συχνή άρδευση.

**Πίνακας 4.4.** Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI

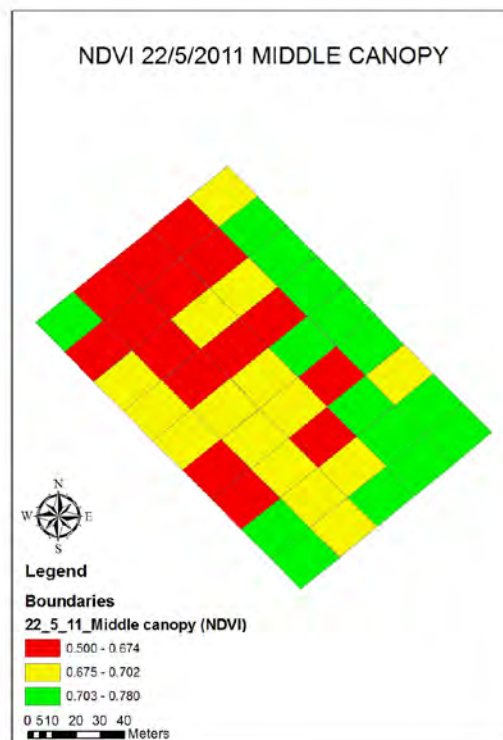
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπική απόκλιση	CV %
8/6/10 άνω	0,78	0,6	0,88	0,05	6,4
8/6/10 μέση	0,74	0,65	0,77	0,02	2,7
20/6/10 άνω	0,76	0,6	0,86	0,05	6,5
20/6/10 μέση	0,73	0,71	0,76	0,01	1,3
9/7/10 άνω	0,78	0,65	0,82	0,034	4,3
28/7/10 άνω	0,73	0,5	0,85	0,13	18,3
28/7/10 μέση	0,7	0,67	0,85	0,11	15,7
11/8/10 άνω	0,73	0,5	0,81	0,07	9,5
11/8/10 μέση	0,66	0,58	0,72	0,03	4,5
1/9/10 άνω	0,76	0,69	0,8	0,11	14,8
1/9/10 μέση	0,71	0,51	0,77	0,05	7
28/9/10 άνω	0,77	0,59	0,82	0,12	16
28/9/10 μέση	0,71	0,68	0,76	0,03	4,2

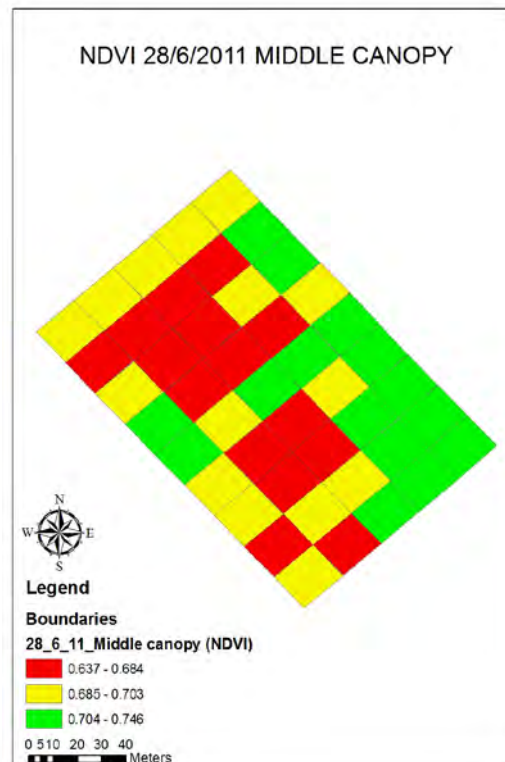
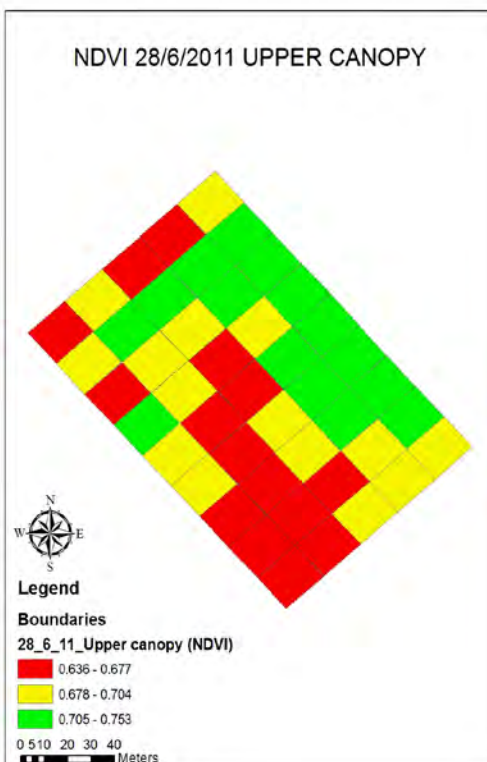
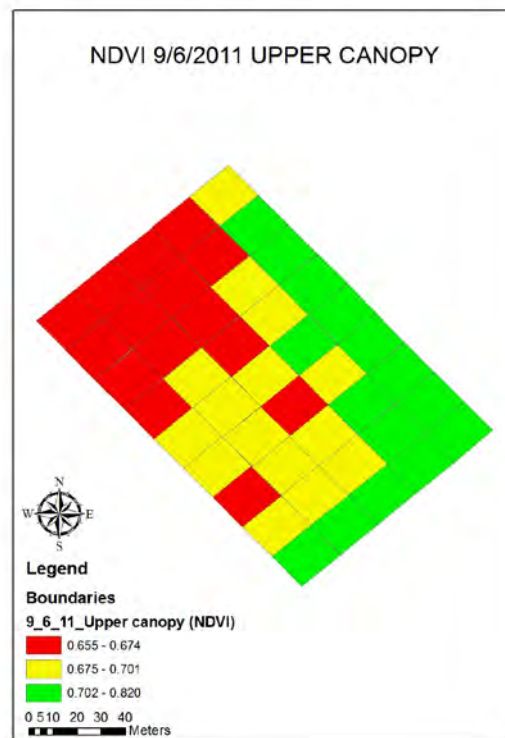
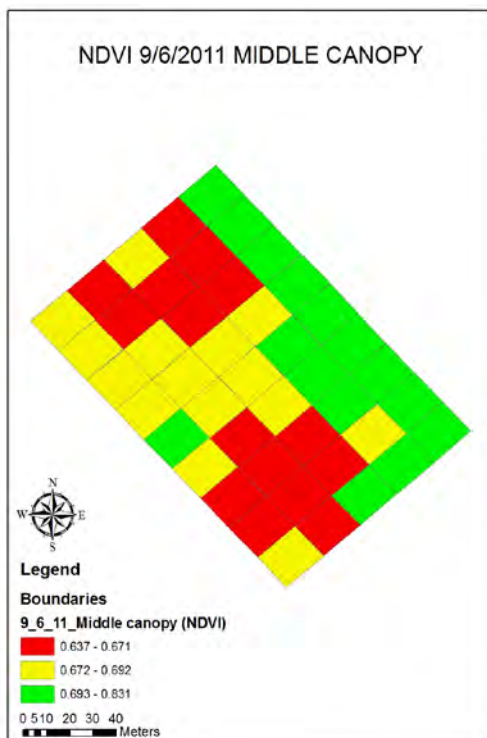


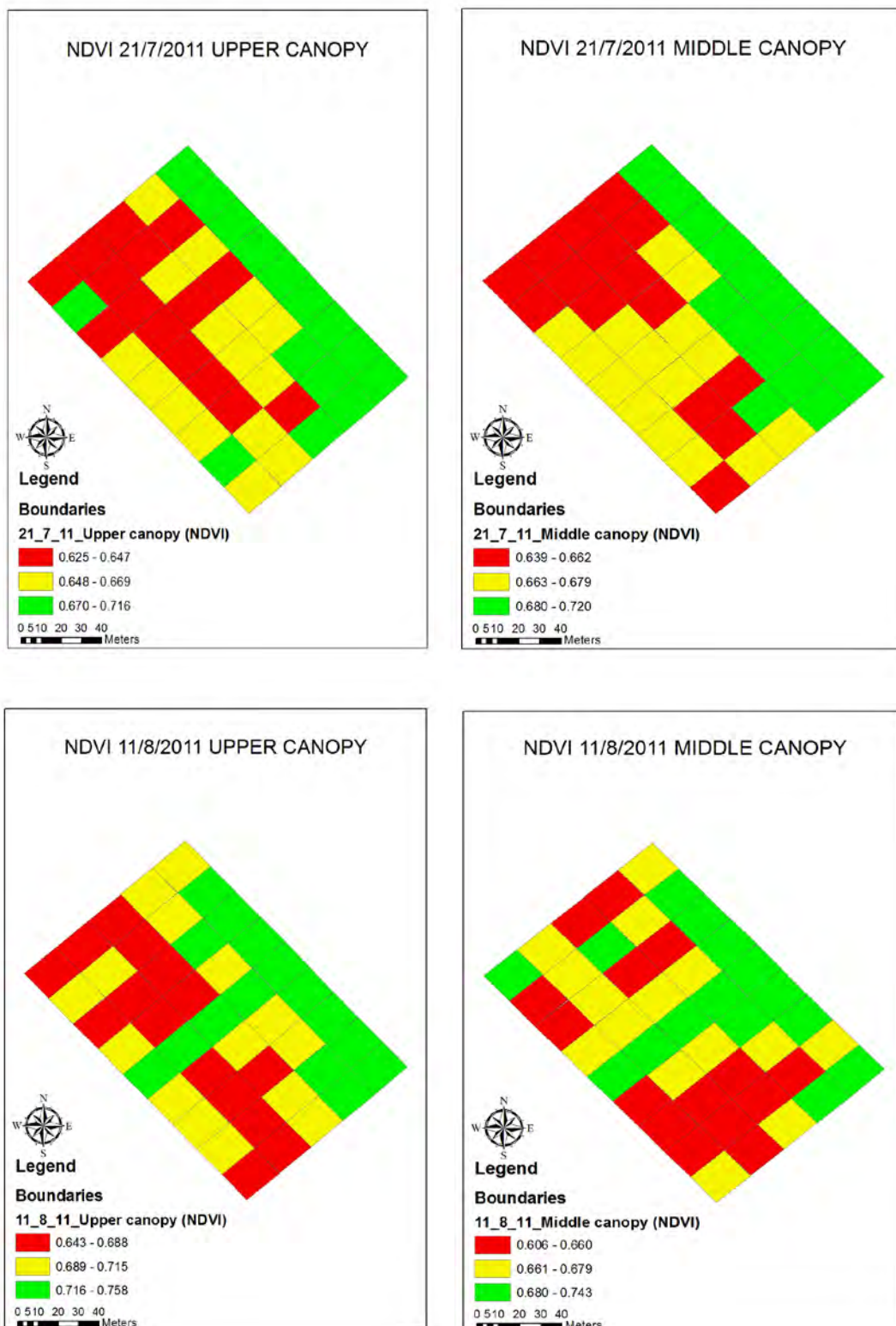
Εικόνα 4.13. Καιρικές συνθήκες το 2010

## 2011

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για την μελέτη της παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI κατά τους καλοκαιρινούς μήνες του 2011 (Εικόνα 4.14).







Εικόνα 4.14. Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2011

Παρατηρώντας τους χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI (Εικόνα 4.14) μπορεί να ειπωθεί ότι η ευρωστία των δένδρων στο ανατολικό και νότιο τμήμα του οπωρώνα παρουσιάζεται να είναι υψηλή, και παραμένει σταθερή στο πέρασμα του χρόνου. Από την άλλη μεριά η δυτική, η βόρεια και μερικές φορές η νοτιοδυτική πλευρά παρουσιάζει χαμηλή ευρωστία. Αυτό το γεγονός ίσως να οφείλεται στον προσανατολισμό του οπωρώνα όπως εξηγήθηκε προηγουμένως για το έτος 2010.

Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) του δείκτη NDVI στις διάφορες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Η τυπική απόκλιση των τιμών είναι πολύ χαμηλή μιας και η διαφοροποίηση των τιμών του δείκτη NDVI είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού εύρους τιμών του δείκτη (0 έως 1). Στην Εικόνα 4.15 παρουσιάζονται οι καιρικές συνθήκες (μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση) ανά 15 ημέρες από το Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο του 2011. Η μέση θερμοκρασία καθ' όλη την περίοδο μελέτης είχε διατηρηθεί σε υψηλά επίπεδα κάτι το οποίο δεν ευνοεί την ανάπτυξη των δέντρων, καθώς οι μηλιές αναπτύσσονται καλά σε περιοχές με δροσερά καλοκαίρια. Αντίστοιχα, οι τιμές του δείκτη NDVI ήταν χαμηλές από τα τέλη του Μαΐου μέχρι τα μέσα Αυγούστου χωρίς να αλλάζουν σημαντικά όλη την περίοδο. Αυτό οφείλεται στις υψηλές σχετικά θερμοκρασίες, τις χαμηλές σχετικά βροχοπτώσεις έως και τον Ιούλιο και την πυκνή βλάστηση της κόμης που λόγω σκίασης μειώθηκε το πράσινο χρώμα της. Μόνο τον Αύγουστο πιθανόν ο συνδυασμός ικανοποιητικών βροχοπτώσεων με τις υψηλές θερμοκρασίες και συχνή άρδευση κατάφεραν να διατηρήσουν τις τιμές του NDVI σχετικά σταθερές.

Τέλος, συγκρίνοντας τις μέσες τιμές του δείκτη NDVI των δέντρων το 2011 με τις μέσες τιμές του 2010 παρατηρείται ότι αυτές ήταν αισθητά μειωμένες το 2011. Αυτό οφείλεται στην παρεννιαυτοφορία, καθώς το 2011 η καρποφορία ήταν μειωμένη σε σχέση με το 2010, που είχε σαν αποτέλεσμα την εντονότερη βλάστηση και σκίαση, σε συνδυασμό με τις ξηροθερμικές συνθήκες του 2011.



**Πίνακας 4.5.** Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI

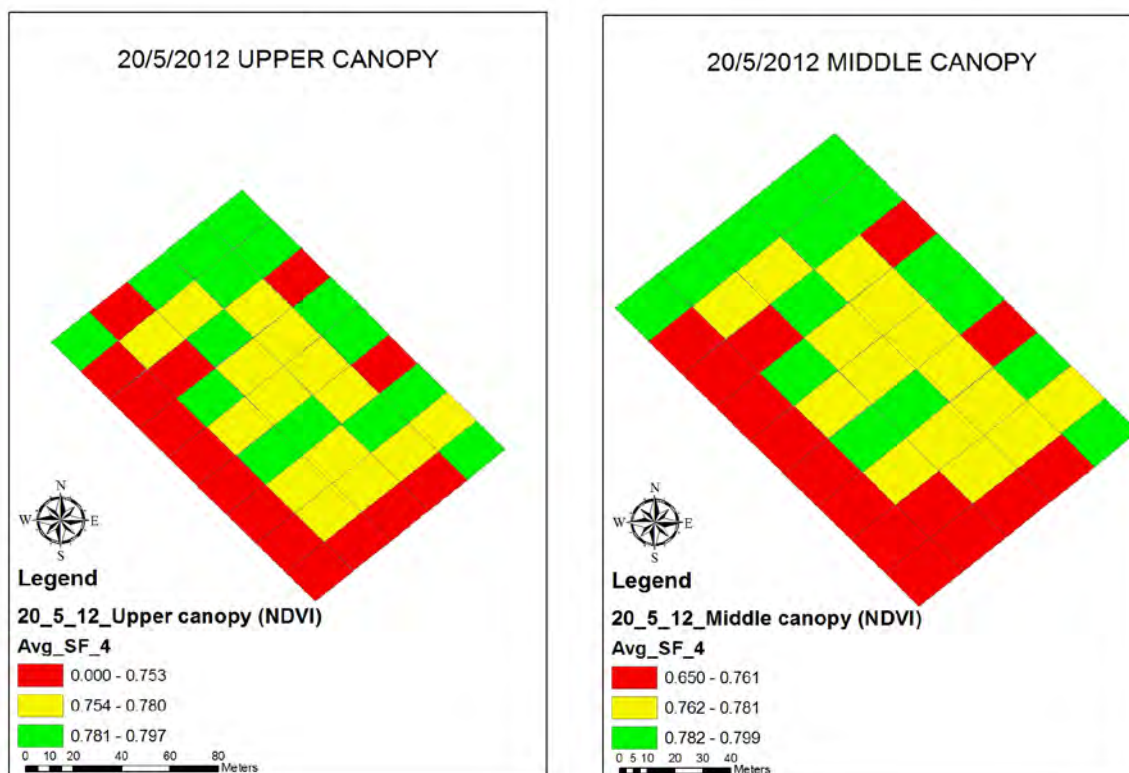
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπική απόκλιση	CV %
22/5/11 άνω	0,68	0,5	0,78	0,04	5,8
9/6/11 άνω	0,69	0,65	0,81	0,03	4,3
9/6/11 μέση	0,68	0,63	0,83	0,03	4,4
28/6/11 άνω	0,69	0,63	0,75	0,02	2,8
28/6/11 μέση	0,69	0,63	0,74	0,02	2,8
21/7/11 άνω	0,66	0,62	0,71	0,02	3
21/7/11 μέση	0,67	0,63	0,72	0,02	2,9
11/8/11 άνω	0,7	0,64	0,75	0,02	2,8
11/8/11 μέση	0,67	0,6	0,74	0,02	2,9

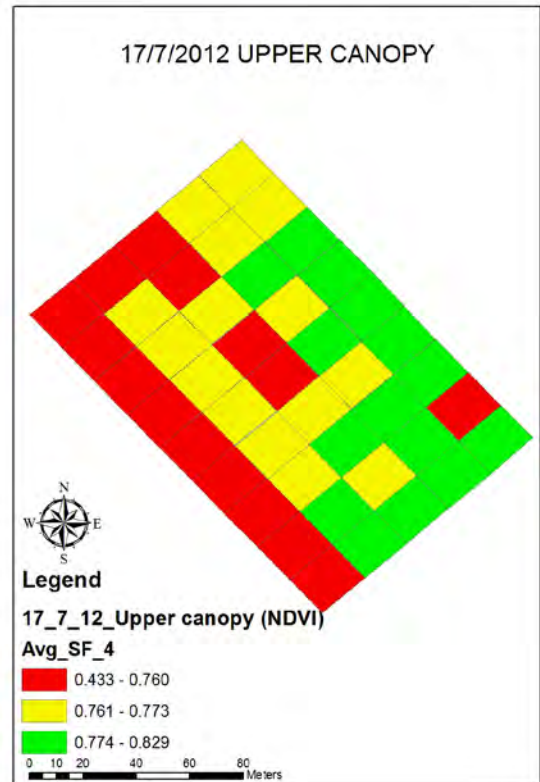
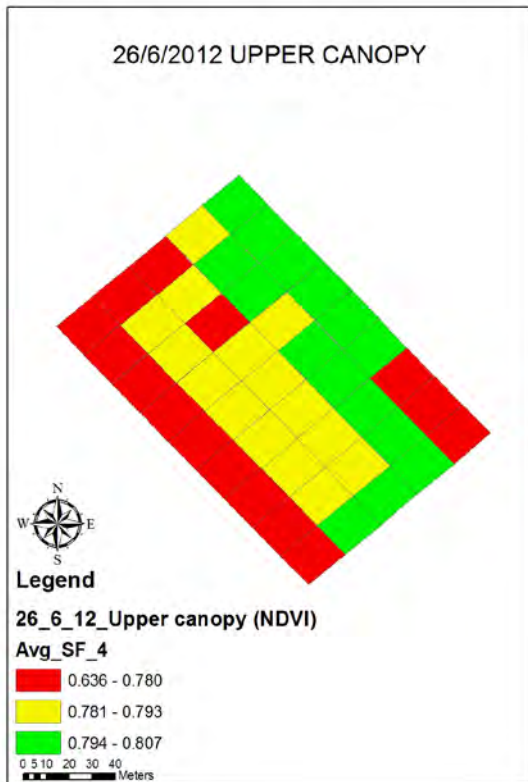
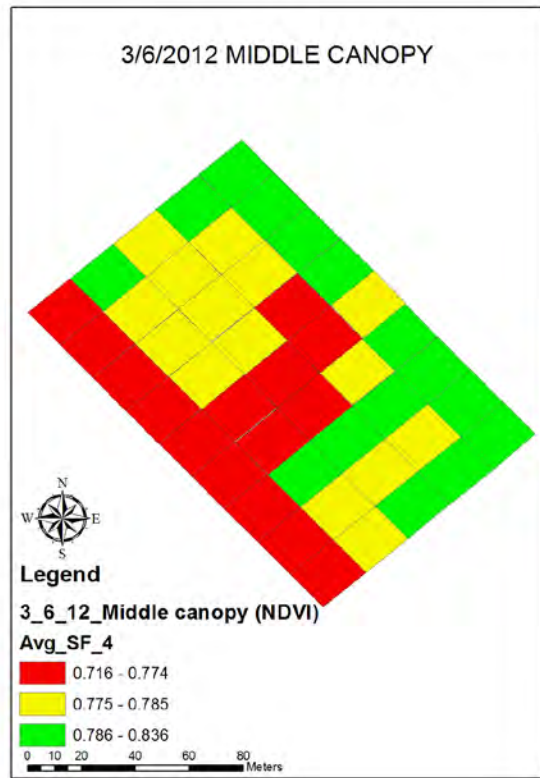
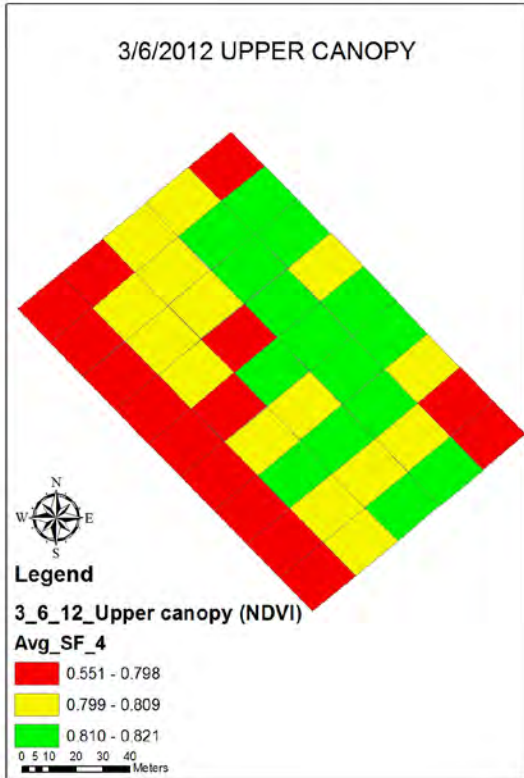


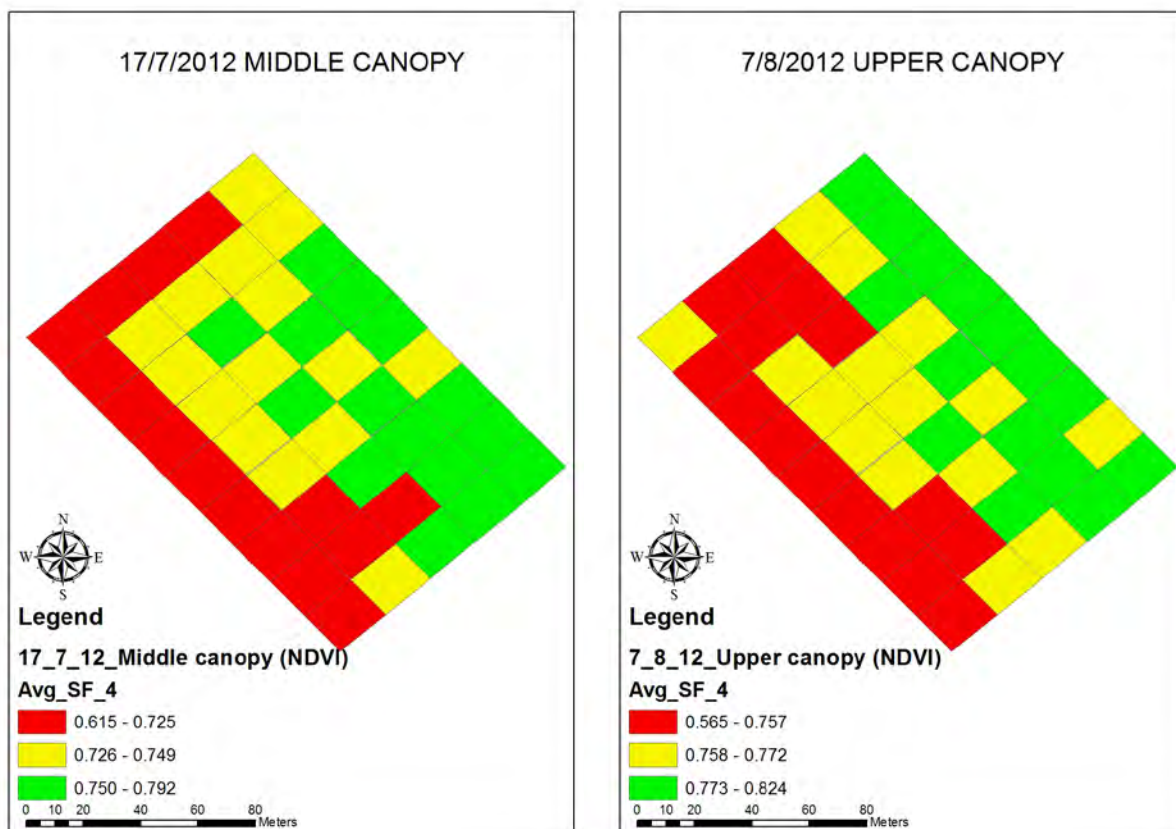
**Εικόνα 4.15.** Καιρικές συνθήκες το 2011

2012

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για να αποτυπώσουν την παραλλακτικότητα της ευρωστίας των δένδρων το έτος 2012 (Εικόνα 4.16)







Εικόνα 4.16. Χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI το έτος 2012

Η μελέτη της παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI με τους παραπάνω χάρτες (Εικόνα 4.16) για το 2012 μαρτυρά την ύπαρξη εύρωστων δέντρων στο νότιο και ανατολικό τμήμα του οπωρώνα και λιγότερο εύρωστων στο βόρειο και δυτικό μέρος. Ανάλογα συμπεράσματα προέκυψαν και με τις μετρήσεις του δείκτη NDVI το 2011. Για τις υψηλές τιμές στα ανατολικά του οπωρώνα ισχύει η ίδια εξήγηση που δόθηκε για το 2010 σχετικά με τον προσανατολισμό του οπωρώνα.

Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) του δείκτη NDVI στις διάφορες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Η τυπική απόκλιση των τιμών είναι πολύ χαμηλή μιας και η διαφοροποίηση των τιμών του NDVI είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού εύρους τιμών του δείκτη (0 έως 1). Στην Εικόνα 4.17 παρουσιάζονται οι καιρικές συνθήκες (μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση) ανά 15μέρες από το Μάιο μέχρι τον Αύγουστο του 2012. Οι τιμές του NDVI φαίνεται να είναι κανονικές στα τέλη του Μαΐου καθώς οι βροχοπτώσεις ήταν σημαντικές και οι θερμοκρασίες δροσερές. Τον Ιούνιο διατηρήθηκαν παρόμοιες τιμές του δείκτη

NDVI, ενώ μειώθηκαν τον Ιούλιο και Αύγουστο λόγω των υψηλών θερινών θερμοκρασιών και της ανομβρίας. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα η άρδευση, όσο ικανοποιητική και να είναι σε συνδυασμό με το αμμώδες έδαφος και την πυκνή σκιαζόμενη κόμη, δεν είναι ικανή να τροφοδοτήσει μέσω των ριζών και αγγείων του ξύλου ικανές ποσότητες νερού στην κόμη, με αποτέλεσμα αυτή να χάνει την ευρωστία της κατά τη θερμή περίοδο του θέρους.

Συγκρίνοντας τις μέσες τιμές του δείκτη NDVI των δέντρων το 2012 με τις μέσες τιμές του 2010 και 2011 παρατηρείται ότι αυτές είναι μειωμένες αισθητά μόνο το 2011.

Τέλος, συγκρίνοντας οπτικά τις μέσες τιμές της άνω και κάτω κόμης και για το 2011 και 2012 είναι φανερό πως ο δείκτης NDVI της άνω κόμης είναι συχνά μεγαλύτερος από αυτόν της μέσης κόμης (όπως βρέθηκε και για το 2010) και αυτό οφείλεται στη σκίαση της κόμης που προκαλείται στα κατώτερα στρώματα βλάστησης και την αναπόφευκτη γήρανση των φύλλων της περιοχής. Το γεγονός αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν απόδειξη ότι οι μετρήσεις του δείκτη NDVI που έγιναν έδωσαν λογικά αποτελέσματα.

**Πίνακας 4.6.** Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI

	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τυπική απόκλιση	CV%
20/5/12 άνω	0,759	0,649	0,797	0,03	4,7
20/5/12 μέση	0,759	0,649	0,798	0,03	4,7
3/6/12 άνω	0,78	0,55	0,82	0,05	6,7
3/6/12 μέση	0,77	0,71	0,83	0,02	3,5
26/6/12 άνω	0,77	0,63	0,80	0,04	5,1
17/7/12 άνω	0,73	0,43	0,82	0,07	9,5
17/7/12 μέση	0,72	0,61	0,79	0,03	4,1
7/8/12 άνω	0,74	0,56	0,82	0,05	6,7



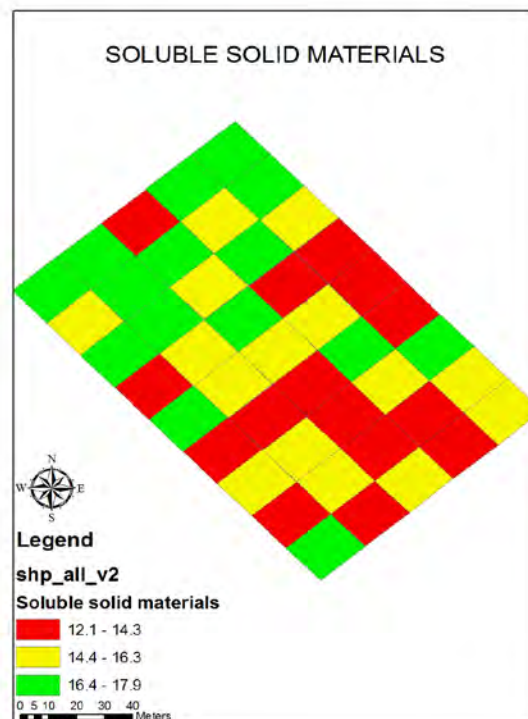
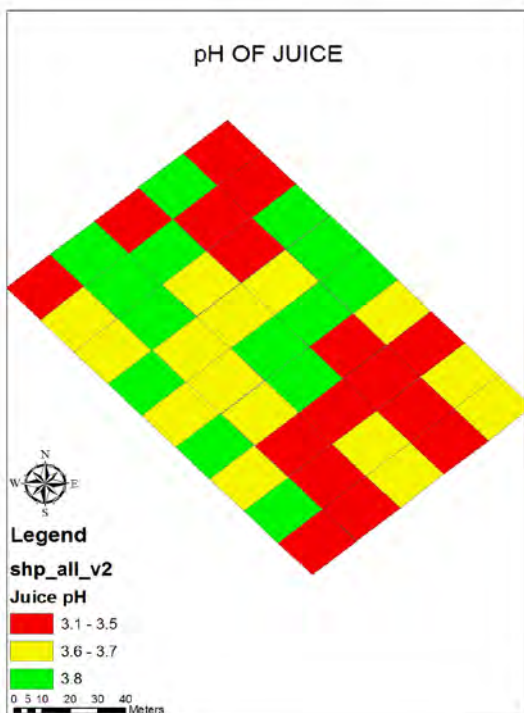
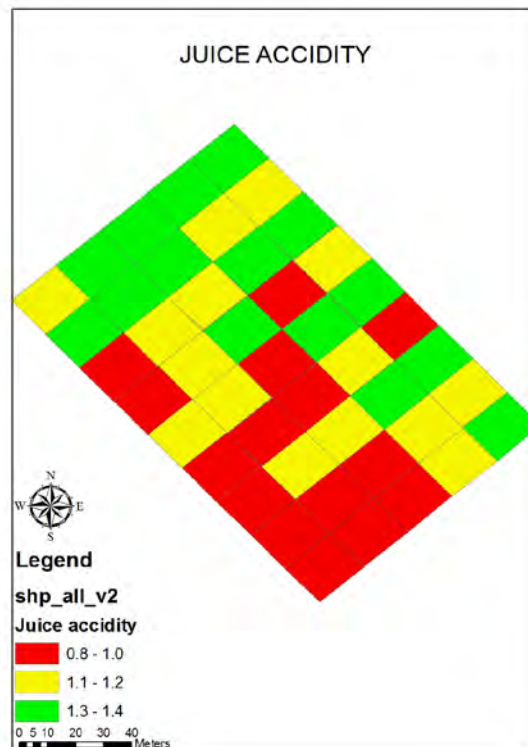
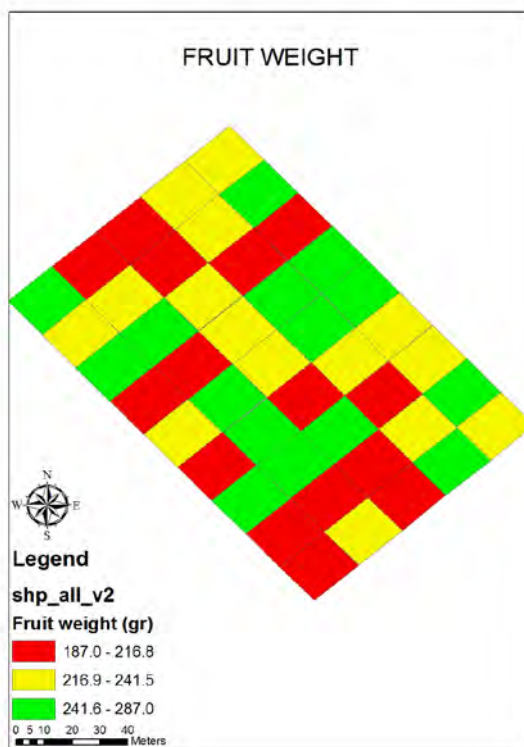
Εικόνα 4.17. Καιρικές συνθήκες το 2012

#### 4.5 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΟΙΟΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην καλλιέργεια μήλων είναι η ποιότητα των παραγόμενων καρπών καθώς αυτή συμβάλει στην διαμόρφωση του κέρδους του παραγωγού. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες παραλλακτικότητας της σκληρότητας (firmness 1 και 2), του βάρους των καρπών, καθώς και της οξύτητας, του pH, και των διαλυτών στερεών του χυμού των μήλων όπως καταγράφηκαν κατά τα τρία έτη (Εικόνες 4.18, 4.19, 4.20).

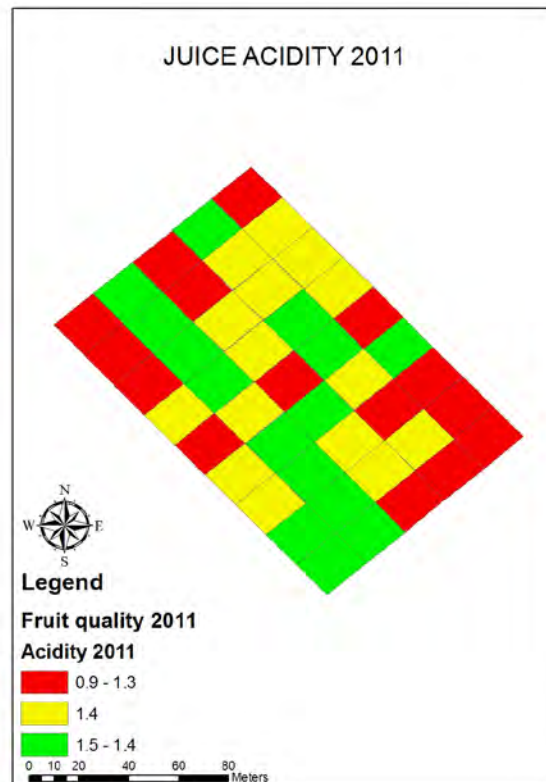
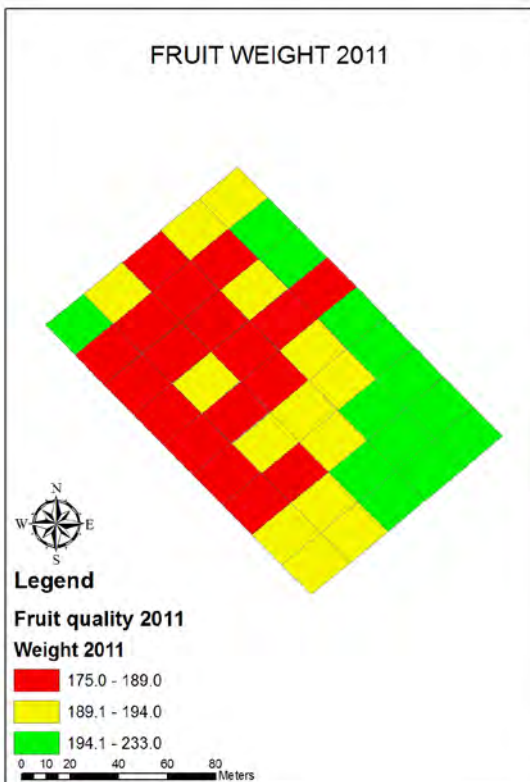
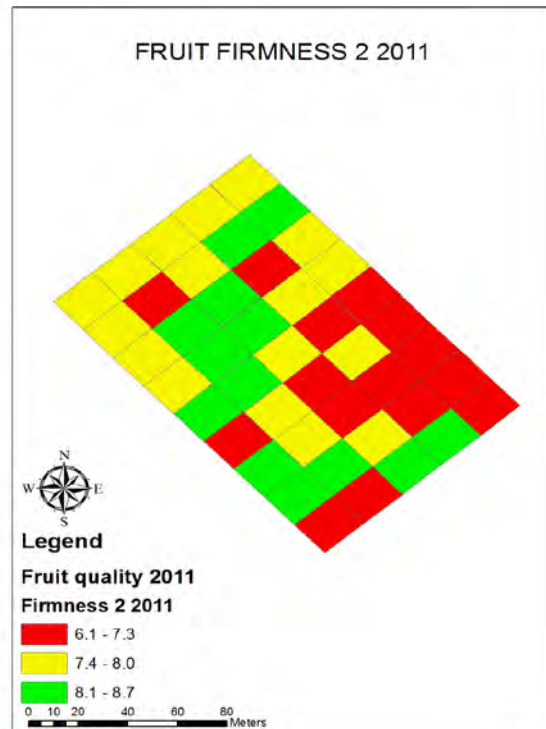
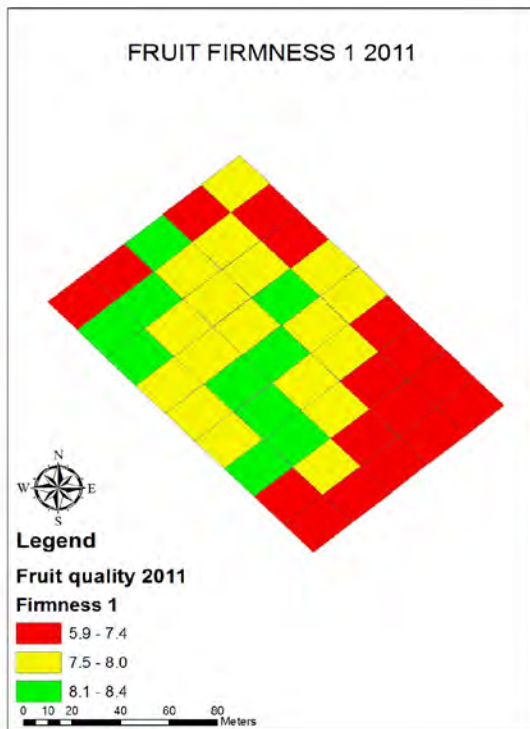
**2010**



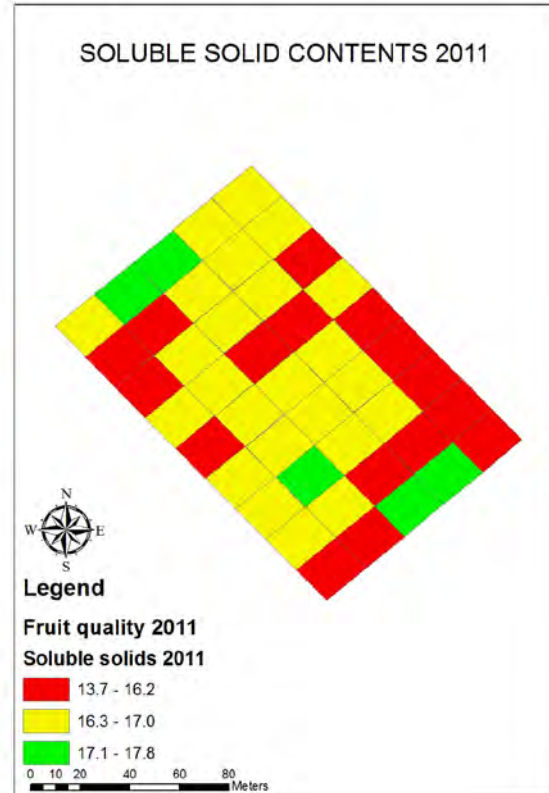
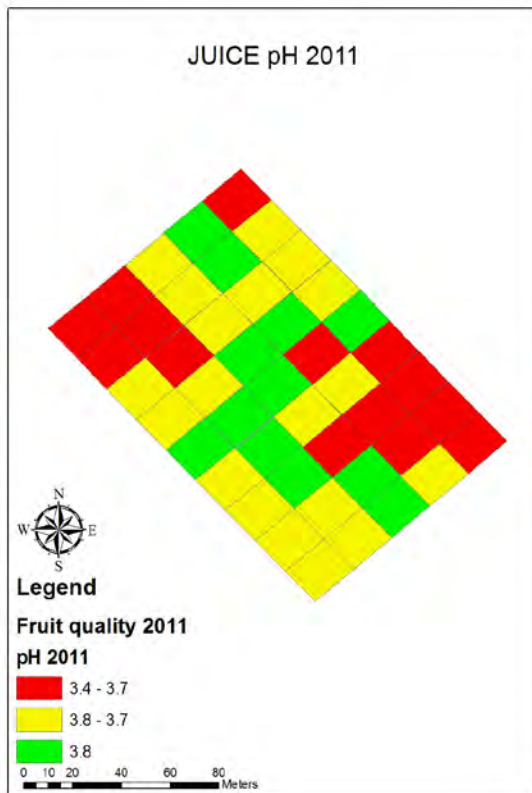


**Εικόνα 4.18.** Χάρτες με την παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2010

2011

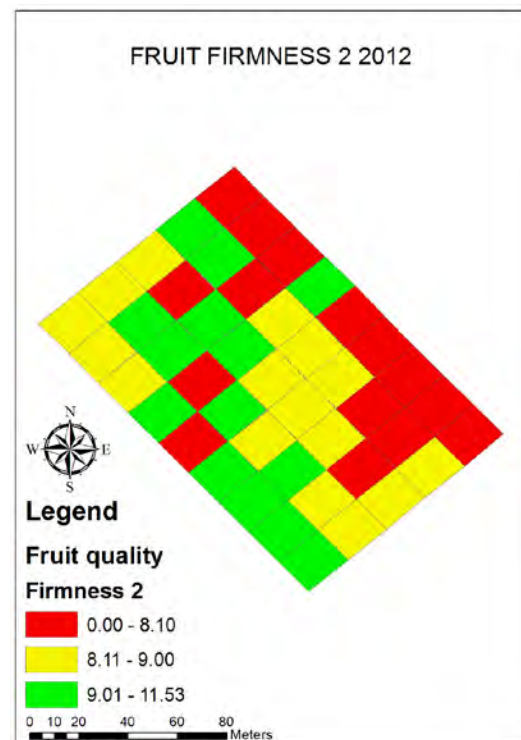
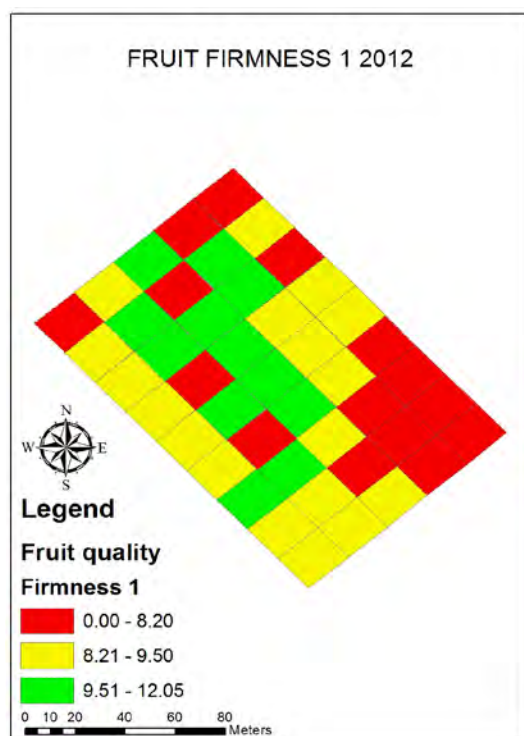


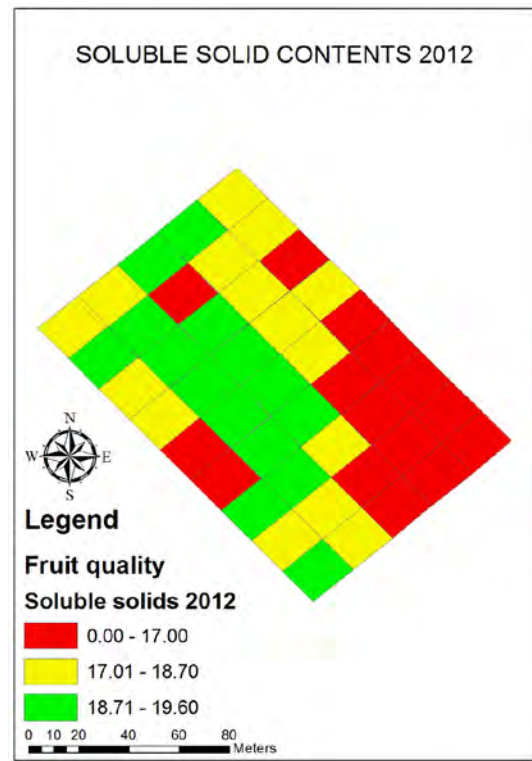
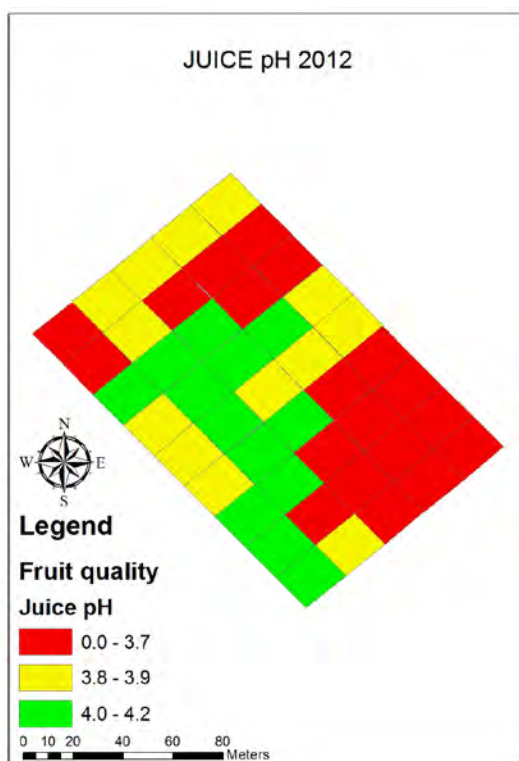
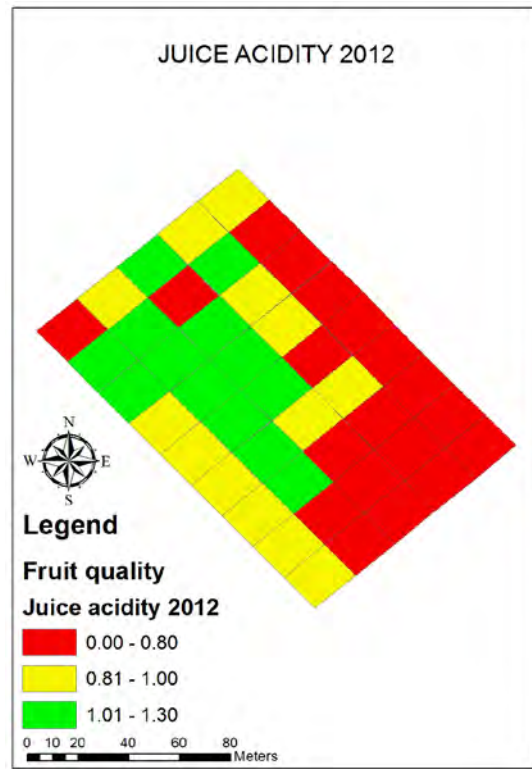
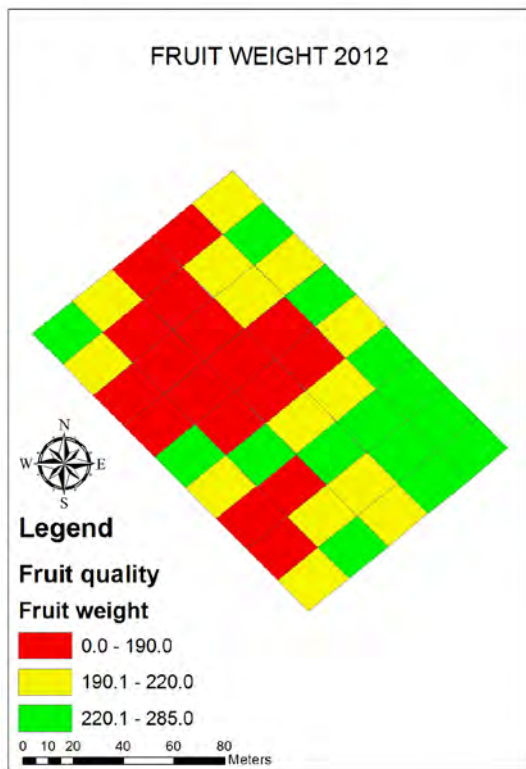




Εικόνα 4.19. Χάρτες παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2011

2012





**Εικόνα 4.20.** Χάρτες παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών το 2012

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση και CV%) των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων για τα τρία έτη του πειράματος. Κατά τη συγκομιδή, το μέσο βάρος του καρπού για την περίοδο των τριών ετών ήταν 211.6 γραμμάρια, η σκληρότητα της σάρκας 7,6 kgF, η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά 16,2 %, το pH του χυμού 3,6 και η οξύτητα του 1,1 %. Αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά σημαίνουν ένα υψηλής εμπορικής ποιότητας (καλό βάρος καρπού) και οργανοληπτικής ποιότητας (υψηλή τραγανότητα και πολύ καλή ποσότητα και σχέση διαλυτών στερεών συστατικών με τα οξέα). Το μεγάλο μειονέκτημα των εν λόγω μήλων είναι το περιορισμένο επίχρωμα των καρπών λόγω του σχετικά ξηροθερμικού κλίματος της περιοχής της Αγιάς γενικότερα, αλλά δεν μετρήθηκε στην παρούσα μελέτη.

Χωρική παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών οφείλεται στην ανομοιομορφία των ιδιοτήτων των φρούτων σε διάφορα σημεία του οπωρώνα. Το μέγεθος της χωρικής παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών μπορεί να εκφραστεί με το συντελεστή παραλλακτικότητας που είναι το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς το μέσο όρο. Από τον Πίνακα 4.7 γίνεται κατανοητό ότι μεγαλύτερη παραλλακτικότητα εμφανίστηκε στο βάρος του καρπού (15 %), στην οξύτητα του χυμού (14,2%), και στην σκληρότητα της σάρκας (13,7 και 14,8 %). Ακολούθησαν τα διαλυτά στερεά συστατικά (11,1%) και το pH του χυμού (7,2%). Αξίζει να σημειωθεί πως στην εργασία της Αγγελοπούλου (2008) παρουσιάζονται περίπου οι ίδιες μέσες τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών με τη διαφορά ότι αυτά παρουσίαζαν μικρή παραλλακτικότητα μέσα στον οπωρώνα. Βέβαια η Αγγελοπούλου μελέτησε την ποικιλία κόκκινων μήλων Red Chief που είναι αδύναμης βλαστικής ανάπτυξης, με αποτέλεσμα η κόμη να είναι σχετικά αραιή και ο φωτισμός των καρπών ικανοποιητικός ώστε η παραλλακτικότητα μεταξύ των καρπών να είναι περιορισμένη. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι η μέση τιμή τριών χρόνων του βάρους των καρπών ήταν 232 γραμμάρια με παραλλακτικότητα 8%, της σκληρότητα της σάρκας ήταν 7,6 kgF με παραλλακτικότητα 3,5%, των διαλυτών στερεών ήταν 15,9 % με παραλλακτικότητα 3,6%, του pH του χυμού ήταν 3,57 με παραλλακτικότητα 2,47% και τέλος της οξύτητας του χυμού ήταν 0,4 με παραλλακτικότητα 8,4%.

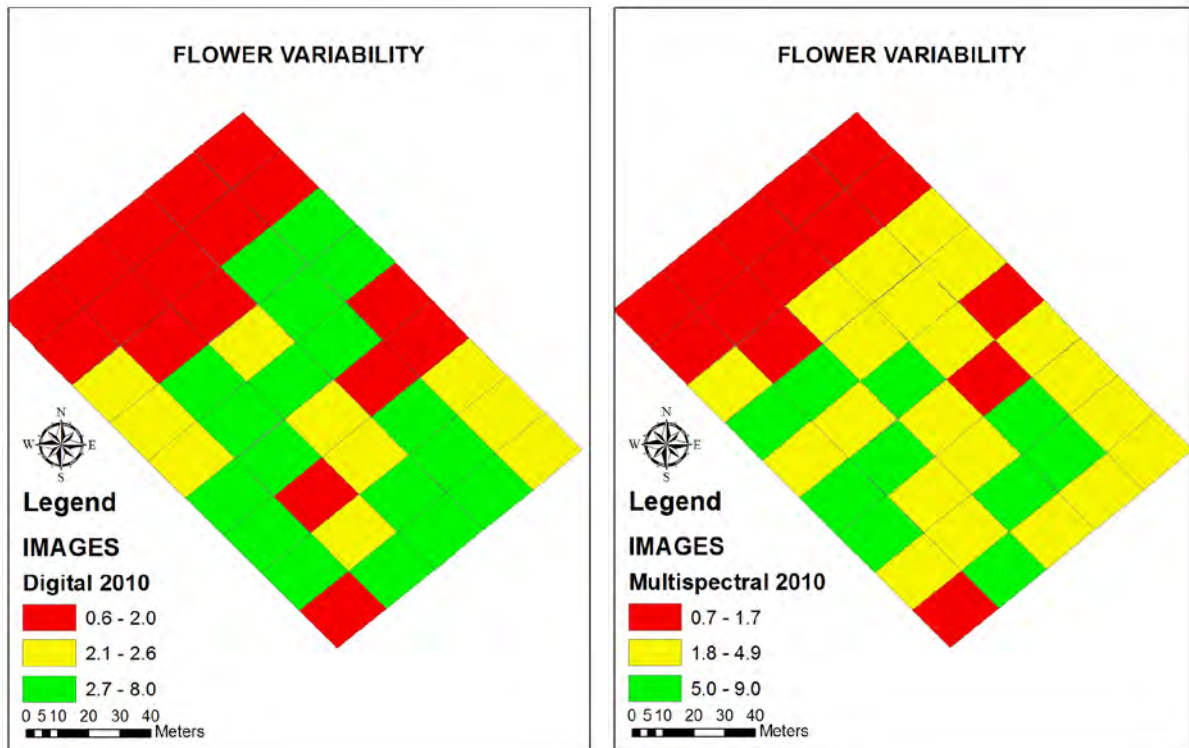
**Πίνακας 4.7.** Περιγραφικά στατιστικά των ποιοτικών χαρακτηριστικών των φρούτων

	2010				2011				2012				Μέση τιμή τριών ετών	
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV %	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV %	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV %	Μέση τιμή	CV %
Βάρος καρπού (gr)	234	187	287	12,1	196,4	175	233	8,9	204,5	0	285	24,1	211,6	15,0
Σκληρότητα 1 (kgF)	6,6	5,3	8,8	13,7	7,6	5,9	8,4	7,1	8,5	0	12	23,5	7,6	14,8
Σκληρότητα 2 (KgF)	6,7	5,7	8,9	11,9	7,58	6,1	8,7	7,9	8,4	0	11,5	21,4	7,6	13,7
Διαλυτά στερεά (%)	15,4	12,1	17,9	9,7	16,3	13,7	17,8	5,5	17	0	19,6	18,2	16,2	11,1
pH χυμού	3,5	3,1	3,8	2,8	3,6	3,4	3,8	2,2	3,6	0	4,2	16,7	3,6	7,2
Οξύτητα χυμού (%)	1,1	0,8	1,4	13,6	1,3	0,9	1,4	6,9	0,9	0	1,3	22,2	1,1	14,2

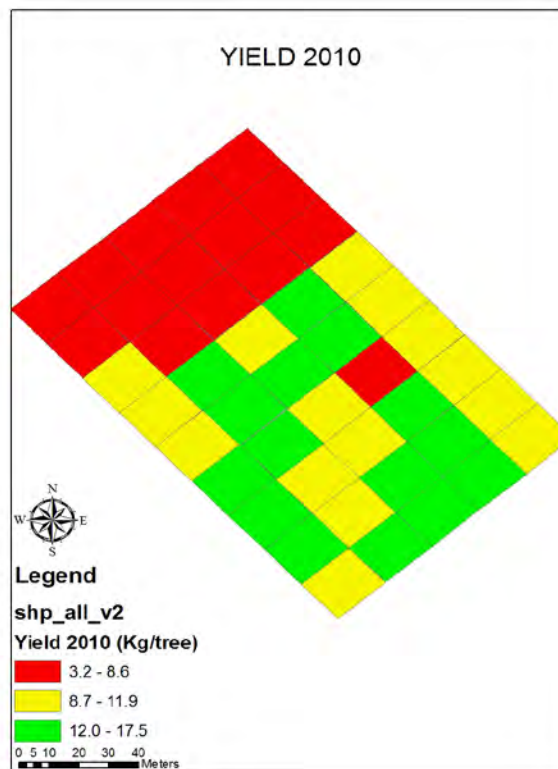
#### 4.6 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΘΕΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η ανάλυση των φωτογραφιών που ελήφθησαν κατά την εαρινή περίοδο είχε σαν αποτέλεσμα την εξαγωγή πληροφοριών όσον αφορά την χωρική παραλλακτικότητα των ανθέων εντός του οπωρώνα κατά τη διάρκεια των ετών 2010 και 2011. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες παραλλακτικότητας της παραγωγής και των ανθέων όπως αποτυπώθηκαν με την χρήση πολυφασματικής κάμερας και απλής φωτογραφικής μηχανής (Εικόνες 4.21 – 4.24).

2010

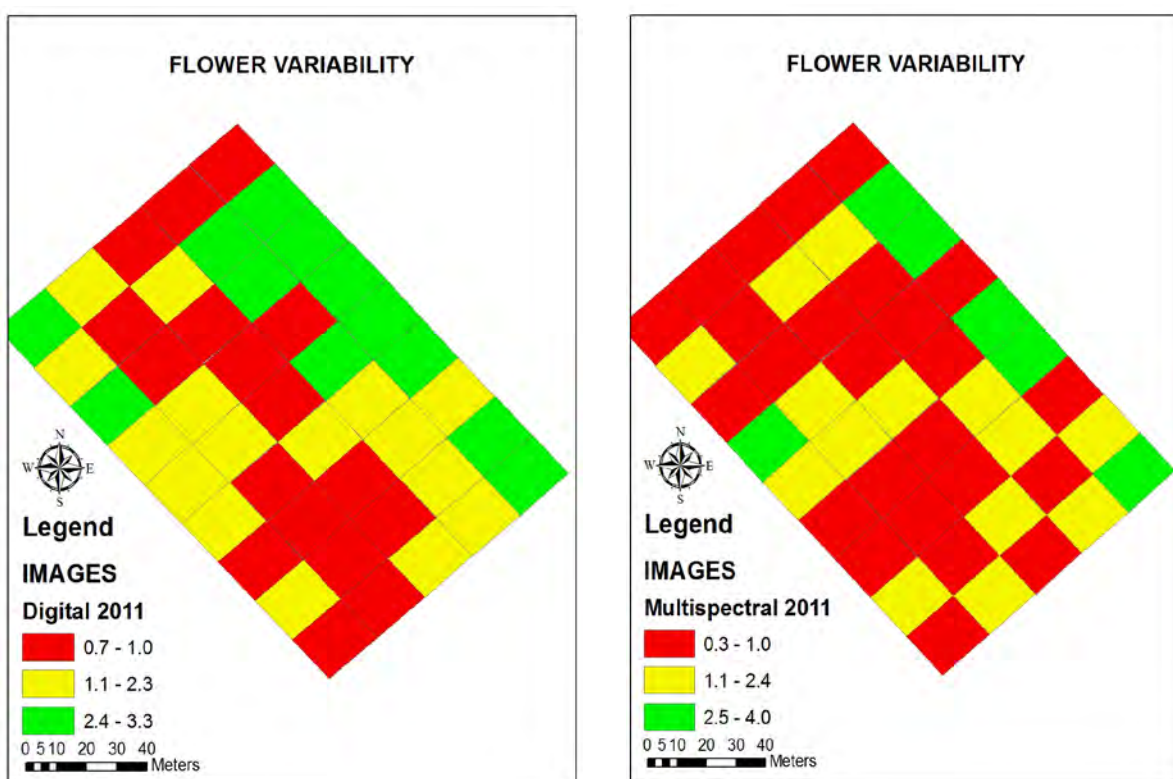


Εικόνα 4.21 Χάρτες παραλλακτικότητας των ανθέων όπως αποτυπώθηκαν με την ανάλυση των φωτογραφιών της απλής φωτογραφικής μηχανής και της πολυφασματικής

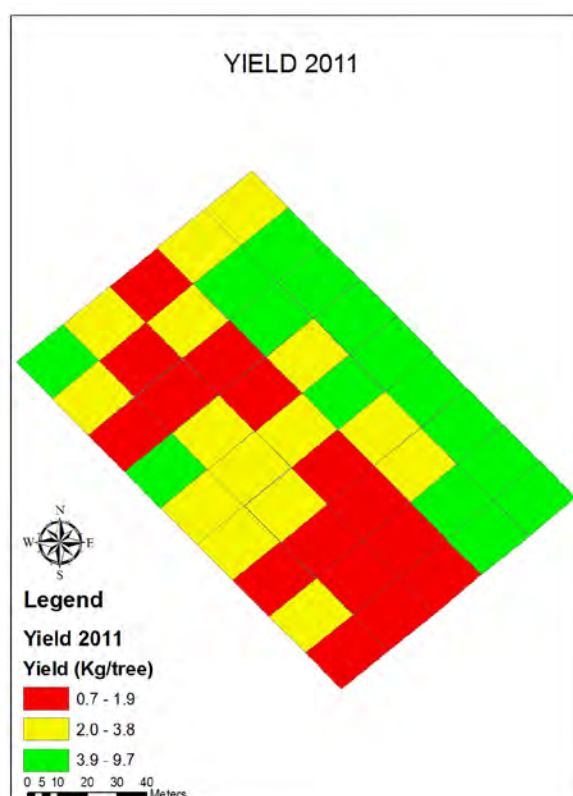


Εικόνα 4.22. Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2010

2011



Εικόνα 4.23. Χάρτης παραλλακτικότητας των ανθέων όπως αποτυπώθηκαν με την ανάλυση των φωτογραφιών της απλής φωτογραφικής μηχανής και της πολυφασματικής



**Εικόνα 4.24.** Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το 2011

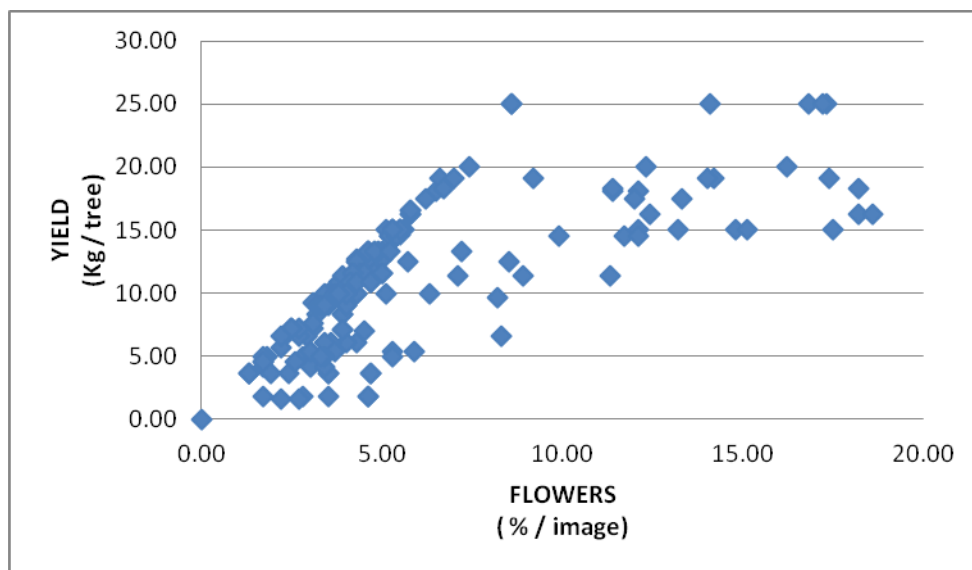
Παρατηρώντας το πλήθος των ανθέων κάθε κλάσης στους χάρτες παραλλακτικότητας των ανθέων γίνεται φανερό ότι το πλήθος των ανθέων την χρονιά 2011 ήταν πολύ μικρότερο απ' ό τι ήταν το 2010. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της παρεννιαυτοφορίας που παρουσιάστηκε στον οπωρώνα το έτος 2011 ενώ η μειωμένη παραγωγή το ίδιο έτος ενισχύθηκε πολύ από τις μη ιδανικές καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της επικονίασης των ανθέων.

Η Εικόνα 4.22 δείχνει τον χάρτη παραγωγής για το έτος 2010. Στο βορειότερο τμήμα του οπωρώνα, η παραγωγή ήταν χαμηλή ενώ στο νοτιότερο τμήμα υψηλή. Η Εικόνα 4.21 δείχνει την παραλλακτικότητα των ανθέων όπως καταγράφηκαν με την απλή φωτογραφική μηχανή και την πολυφασματική το έτος 2010. Αυτές οι δύο εικόνες είναι περίπου όμοιες και δείχνουν ξεκάθαρα όμοια παραλλακτικότητα με τον χάρτη παραγωγής. Η σύγκριση του χάρτη παραγωγής με τον χάρτη παραλλακτικότητας ανθέων όπως καταγράφηκε με την πολυφασματική κάμερα έδειξε ότι 33 κελιά από τα 45 βρίσκονται στην ίδια κλάση και στους δύο χάρτες, ενώ η σύγκρισή του με τα αποτελεσματα της απλής φωτογραφικής μηχανής έδειξαν 38 από τα 45 κελιά σε όμοιες κλάσεις.

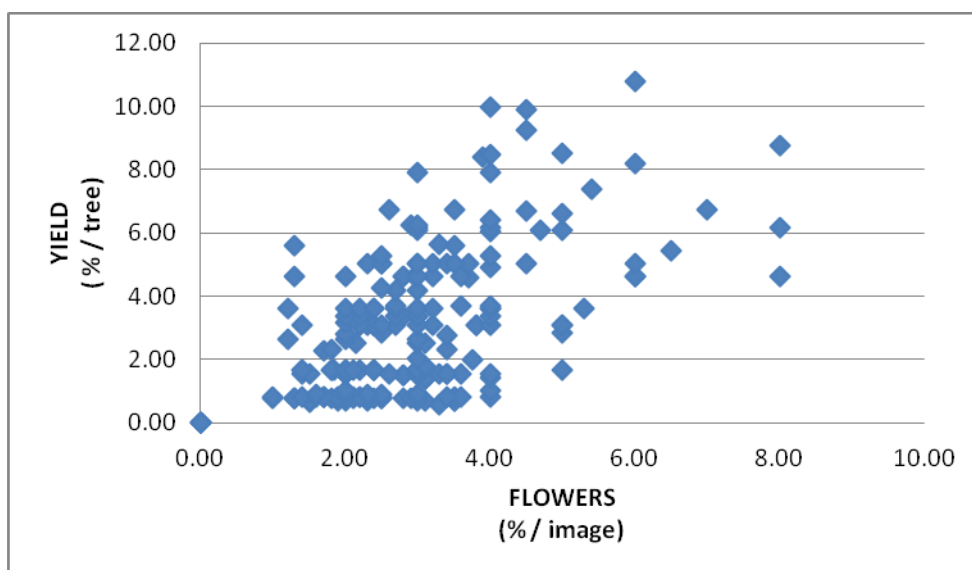
Η Εικόνα 4.24 δείχνει τον χάρτη παραγωγής. Το 2011 υπήρχαν μόνο δύο περιοχές στον οπωρώνα όπου η παραγωγή ήταν χαμηλή και στο ανατολικότερο τμήμα του οπωρώνα η παραγωγή ήταν αυξημένη. Η Εικόνα 4.23 παρουσιάζει την παραλλακτικότητα των ανθέων όπως προέκυψε με την χρήση απλής φωτογραφικής μηχανής και πολυφασματικής αντίστοιχα το έτος 2011. Ο χάρτης παραλλακτικότητας των ανθέων όπως προέκυψε με την χρήση της πολυφασματικής κάμερας έδειξε ότι έχει 28 κελιά από τα 45 στην ίδια κλάση με τον χάρτη παραγωγής. Επιπλέον 32 κελιά ήταν στην ίδια κλάση στον χάρτη παραγωγής και στον χάρτη παραλλακτικότητας των ανθέων όπως προέκυψε με την απλή φωτογραφική μηχανή.

Για τα δύο χρόνια της έρευνας έγινε στατιστική ανάλυση μεταξύ πλήθους ανθέων όπως καταγράφηκαν με την απλή φωτογραφική μηχανή και της παραγωγής. Οι Εικόνες 4.25 και 4.26 δείχνουν τα σημεία όπου τα ποσοστά των ανθέων σε κάθε φωτογραφία της απλής φωτογραφικής μηχανής σχετίζονται με την παραγωγή στην ίδια τοποθεσία δειγματοληψίας για τα έτη 2010 και 2011. Ο συντελεστής συσχέτισης

(Pearson) υπολογίστηκε ότι είναι 0,716 και 0,589 αντίστοιχα τα οποία είναι στατιστικώς σημαντικά για  $p < 0,01$ .



**Εικόνα 4.25** Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2010 (απλή φωτογραφική μηχανή)

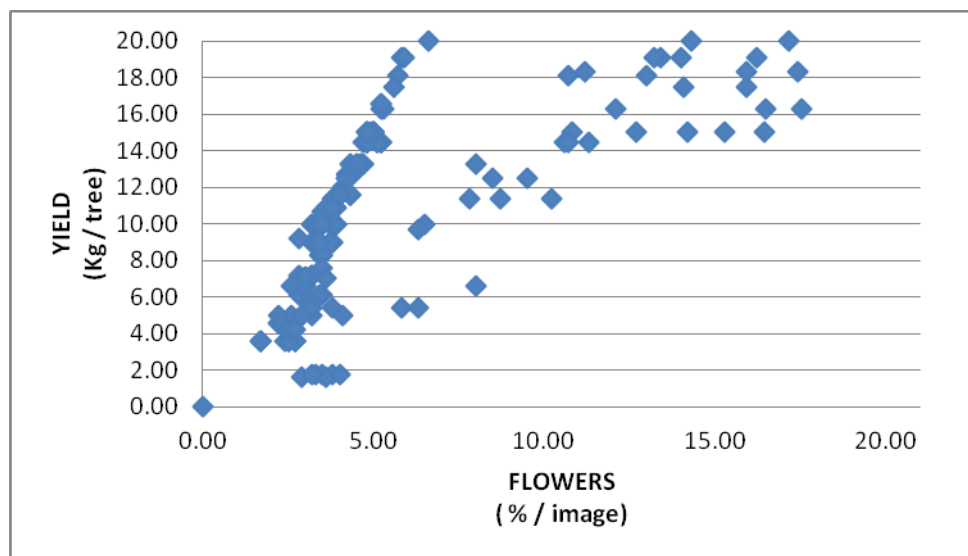


**Εικόνα 4.26.** Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2011 (απλή φωτογραφική μηχανή)

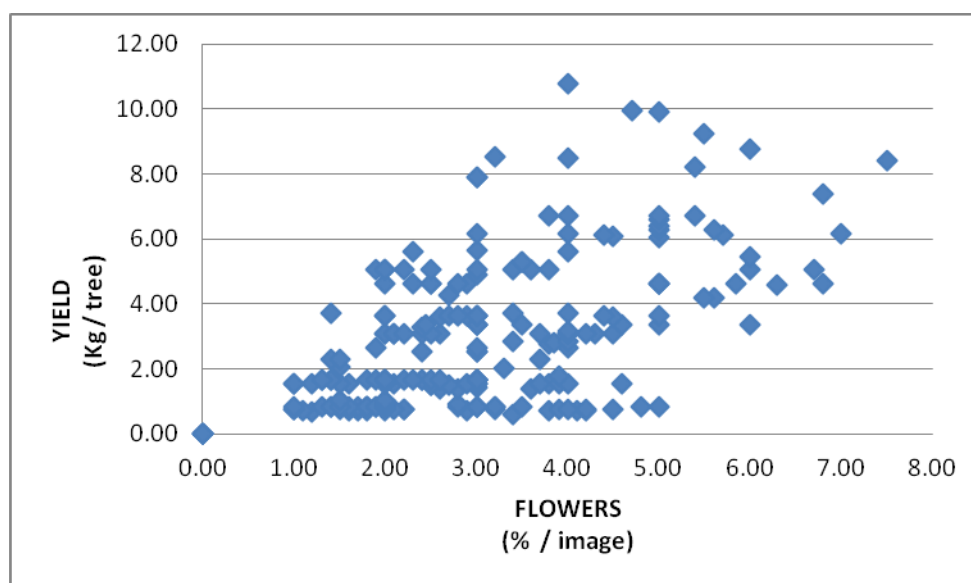
Οι Εικόνες 4.27 και 4.28 δείχνουν τα σημεία τα οποία αντιπροσωπεύουν το ποσοστό των ανθέων σε κάθε φωτογραφία που λήφθηκε με την πολυφασματική μηχανή σε σχέση με την παραγωγή τα έτη 2010 και 2011 αντίστοιχα. Ο συντελεστής



συσχέτισης μεταξύ πλήθους ανθέων και παραγωγής ήταν 0,727 το 2010 και 0,6 το 2011, το οποία ήταν στατιστικώς σημαντικά για  $p < 0,01$ .



**Εικόνα 4.27** Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2010 (πολυφασματική μηχανή)



**Εικόνα 4.28.** Συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποσοστού ανθέων το 2011 (πολυφασματική μηχανή)

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι το 2010 τα σημεία ήταν λιγότερο διασκορπισμένα και με τις δύο φωτογραφικές μηχανές εκτός από μια μικρή ομάδα σημείων στις εικόνες. Εάν εξαιρούσαμε αυτήν την μικρή ομάδα από την ανάλυση, η συσχέτιση παραγωγής και ποσοστού των ανθέων θα ήταν πιο μεγάλη. Η ομάδα των διασκορπισμένων σημείων αντιπροσωπεύουν τις εικόνες οι οποίες δεν έχουν καλή

αντίθεση εξαιτίας της έντασης του ηλιακού φωτός κατά τη διάρκεια της φωτογράφισης. Παρόλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση για να αυξηθεί ο αριθμός των δειγμάτων καθώς η ποιότητα των φωτογραφιών ήταν λίγο καλύτερη από τις άλλες που δεν χρησιμοποιήθηκαν. Και στις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν, στις φωτογραφίες με κακή αντίθεση τα μέρη του κορμού και τα κλαδιά ήταν πολύ φωτεινά και γι' αυτό το λόγο τα εικονοστοιχεία είχαν τις ίδιες τιμές με τα άνθη.

Το 2011 σύμφωνα με τις Εικόνες 4.27 και 4.28 φαίνεται ότι τα σημεία είναι περισσότερο εξαπλωμένα απ' ό,τι το 2010 που σημαίνει ότι υπήρχαν περιοχές στον οπωρώνα στις οποίες υπήρχε ικανοποιητικός αριθμός ανθέων αλλά η παραγωγή ήταν μειωμένη. Αυτό πρέπει να αποδοθεί στις μη ικανοποιητικές καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο της γονιμοποίησης των ανθέων όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ παραλλακτικότητας των ανθέων και παραλλακτικότητας της παραγωγής. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν οι Aggeloroulou et al., (2009) βρίσκοντας συντελεστή συσχέτισης  $r=0,78$  όταν μέτρησαν τα άνθη των δέντρων με το χέρι και οι Aggeloroulou et al., (2011) βρίσκοντας συντελεστή συσχέτισης  $r=0,85$  όταν μέτρησαν τα άνθη των δέντρων σε οπωρώνα μήλων με απλή φωτογραφική μηχανή. Παρόλα αυτά το μέγεθος της συσχέτισης δεν εξαρτάται μόνο από την παραγωγικότητα των δέντρων αλλά και από τις κλιματικές συνθήκες (σχετική υγρασία και θερμοκρασία) συγκεκριμένα την περίοδο της επικονίασης των ανθέων (Lakso and Robinson 1997).

Το εγχείρημα για την πρόβλεψη της παραγωγής, βασιζόμενοι στο πλήθος των ανθέων έχει πολλά πλεονεκτήματα. Και στις δύο χρονιές της έρευνας όταν τα δένδρα ήταν σε πλήρη άνθιση είχαν άσπρο χρώμα, τα κλαδιά καφέ ενώ υπήρχε ένα ελάχιστο ποσοστό πράσινων φύλλων. Αυτό είναι θετικό για την εξέλιξη της έρευνας καθώς τα αντικείμενα στις εικόνες είναι εύκολο να ξεχωρίσουν. Διαχωρισμός φυτικών μερών με χρήση του δείκτη NDVI έγινε από τους Marino et al. (1999). Αυτοί χρησιμοποίησαν μια CCD κάμερα και φωτογράφησαν τα κατώτερα μέρη θαμνώδους βλάστησης. Αφού βρήκαν τις τιμές του NDVI των διαφόρων αντικειμένων στις εικόνες, διαχώρισαν τα φυτά από τα άλλα αντικείμενα. Επιπλέον οι Tanaka et al., (2004) χρησιμοποίησαν μια CCD κάμερα και τράβηξαν φωτογραφίες ολόκληρων δέντρων. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του NDVI των κορμών, των κλαδιών και των

φύλλων μπόρεσαν να τα ξεχωρίσουν μεταξύ τους. Στην παρούσα έρευνα η χρήση του δείκτη NDVI δούλεψε καλά για τον διαχωρισμό των ανθέων από τα υπόλοιπα αντικείμενα που βρίσκονταν στις φωτογραφίες. Ο υπολογισμός των ανθέων πολύ νωρίς στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου μπορεί να αποδειχτεί πολύ καλό εργαλείο για τον παραγωγό και τη βιομηχανία. Προβλέποντας την παραλλακτικότητα της παραγωγής με βάση τα άνθη οι παραγωγοί μπορούν να μειώσουν το κόστος παραγωγής εφαρμόζοντας τεχνικές μεταβλητών δόσεων εισροών. Τέλος οι παραγωγοί και η βιομηχανία μπορούν να διαχειριστούν την επιχείρησή τους πιο αποδοτικά καθώς μπορούν να κάνουν πλάνα διάθεσης των προϊόντων βασισμένοι στην αναμενόμενη παραγωγή.

#### **4.7 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΡΟΥΤΩΝ**

Για τη συσχέτιση της παραγωγής και της ποιότητας υπολογίστηκε η παραγωγή και η ποιότητα των καρπών σε συγκεκριμένες θέσεις εντός του οπωρώνα, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο υλικά και μέθοδοι. Οι συσχετίσεις φαίνονται στους Πίνακες 4.8, 4.9, και 4.10 για τα χρόνια 2010, 2011 και 2012 αντίστοιχα.

Στα τρία χρόνια του πειράματος όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκτός από το βάρος των καρπών είχαν αρνητική συσχέτιση με την παραγωγή. Από τις πιο σημαντικές παρατηρήσεις μπορεί να χαρακτηριστεί η συσχέτιση διαλυτών στερεών με την παραγωγή. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν αρνητικός και στις τρεις χρονιές ( $r = -0,5$ ,  $r = -0,54$ ,  $r = -0,39$ ). Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ποσότητα της παραγωγής τόσο μειώνεται η ποιότητα των μήλων. Ακόμη βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ βάρους των καρπών και σκληρότητας στις σάρκας. Αυτό σημαίνει πως όταν γίνονται μεγάλοι καρποί είναι και μαλακοί. Οι συντελεστές συσχέτισης για το έτος 2010 ήταν  $r_1 = -0,140$  και  $r_2 = -0,193$ , το 2011 ήταν  $r_1 = -0,75$  και  $r_2 = -0,39$  και το 2012 ήταν  $r_1 = -0,23$  και  $r_2 = -0,2$  (στατιστικά σημαντικοί για  $p < 0,01$ ).

Η οξύτητα του χυμού είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για την ποιότητα των μήλων καθώς εκφράζει την περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Το μηλικό οξύ είναι το κυριότερο οξύ των μήλων και δίνει σε συνδυασμό με τα σάκχαρα την χαρακτηριστική γεύση των καρπών. Η συσχέτιση της παραγωγής με την οξύτητα του χυμού εμφανίζεται να είναι αρνητική και τα τρία χρόνια του πειράματος. Ο συντελεστής συσχέτισης για το έτος 2010 ήταν  $r = -0,5$  ενώ το 2011 και 2012 ήταν

$r = -0,62$ . Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την αρνητική συσχέτιση παραγωγής μήλων και διαλυτών στερεών συστατικών δείχνει ότι όσο αυξάνεται η παραγωγή τόσο υποβαθμίζεται η ποιότητα των μήλων. Τέλος, η συσχέτιση οξύτητας του χυμού και των διαλυτών στερεών αποδεικνύεται ότι είναι θετική και τις τρεις χρονιές. Το 2010 ο συντελεστής συσχέτισης ήταν  $r = 0,37$ , το 2011 ήταν  $r = 0,49$  και το 2012 ήταν  $r = 0,86$ . Αυτό σημαίνει πως όταν αυξάνονται τα σάκχαρα αυξάνεται η περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Η συνύπαρξη γλυκιάς γεύσης λόγω των σακχάρων και ξινής γεύσης λόγω της οξύτητας του χυμού δίνουν την μοναδική γεύση στην ποικιλία Fuji.

**Πίνακας 4.8.** Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2010

	Yield	Firmness 1	Firmness 2	Soluble solids	pH	Acidity	Fruit weight
Yield	1						
Firmness 1	-,599**	1					
Firmness 2	-,571**	,725**	1				
Soluble solids	-,502**	,191	,275	1			
pH	-,029	-,097	-,057	-,074	1		
Acidity	-,508**	,325*	,351*	,370*	,084	1	
Fruit weight	,320*	-,140	-,193	-,087	-,072	-,064	1

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level.

\* . Correlation is significant at the 0,05 level.

**Πίνακας 4.9.** Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2011

	Yield	Firmness 1	Firmness 2	Soluble solids	Acidity	pH	Fruit weight
Yield	1						
Firmness 1	-,829**	1					
Firmness 2	-,499**	,432**	1				
Soluble solids	-,541**	,528**	,669**	1			
Acidity	-,622**	,551**	,309*	,498**	1		
pH	-,577**	,488**	,482**	,345*	,380*	1	
Fruit weight	,895**	-,755**	-,391**	-,395**	-,435**	-,480**	1

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level.

\* . Correlation is significant at the 0.05 level.

**Πίνακας 4.10.** Συσχετίσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή του 2012

	Firmness 1	Firmness 2	Soluble_ solids	pH	Acidity	Weight	Yield
Firmness_1	1.000						
Firmness_2	0,927**	1,000					
Soluble solids	0,854**	0,886**	1,000				
pH	0,852**	0,860**	0,955	1,000			
Acidity	0,803**	0,789**	0,860**	0,816**	1,000		
Weight	-0,233**	-0,204**	-0,220**	-0,238**	-0,190	1,000	
Yield	-0,480**	-0,398**	-0,397**	-0,357**	-0,629**	0,624**	1,000

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level.

\* . Correlation is significant at the 0,05 level.

#### 4.8 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΕΔΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα εδαφικά χαρακτηριστικά παίζουν σπουδαίο ρόλο στην απόδοση της καλλιέργειας καθώς τα φυτά μεγαλώνουν έχοντας τις ρίζες τους μέσα στο έδαφος από όπου αντλούν τα θρεπτικά συστατικά και το νερό που χρειάζονται. Εκτός όμως από τα εδαφικά χαρακτηριστικά σημασία έχει και η τοπολογία του οπωρώνα. Λόγω αυτής της μεγάλης επιρροής των εδαφικών χαρακτηριστικών και του γεωγραφικού ανάγλυφου έγιναν συσχετίσεις αυτών με την παραγωγή αλλά και μεταξύ τους.

Παρατηρώντας αρχικά τις συσχετίσεις παραγωγής και εδαφικών χαρακτηριστικών (Πίνακας 4.11) γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει μεγάλη επιρροή της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του καλίου και του ασβεστίου στην παραγωγή του 2010, ενώ μικρότερη υπήρξε η επίδραση της άμμου. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν  $r=0,455$  (στατιστικώς σημαντικά για  $p<0,01$ ),  $r=0,638$ ,  $r=0,308455$  (στατιστικώς σημαντικά για  $p<0,05$ ) και  $r=0,171$  αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί πως η ιλύς του εδάφους και η οργανική ουσία επέδρασαν αρνητικά στην παραγωγή ( $r=-0,168$  και  $r=-0,218$ ). Η παραγωγή του 2011 φαίνεται να επηρεάστηκε θετικά από την ιλύ ( $r=0,387$ ) και την άργιλο ( $r=0,173$ ). Αντίθετα περιοριστικοί παράγοντες της παραγωγής υπήρξαν η άμμος του εδάφους ( $r=-0,442$ ) και το ασβέστιο ( $r=-0,365$ ). Τέλος στην διαμόρφωση της παραγωγής του 2012 συνέβαλε η άργιλος του εδάφους ( $r=0,164$ ), η ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $r=0,121$ ) και το κάλιο του εδάφους ( $r=0,233$ ).

Αρνητική επίπτωση στην παραγωγή είχε η άμμος του εδάφους ( $r = -0,175$ ) και το ασβέστιο ( $r = -0,201$ ).

Από τον Πίνακα 4.11 φαίνεται ότι το τοπογραφικό ανάγλυφο επηρέασε την παραγωγή και τις τρεις χρονιές του πειράματος, αλλά όχι με σταθερή τάση. Το 2010 παρουσιάζεται πολύ ισχυρή συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και υψόμετρου ( $r = 0,657$ ) η οποία μειώνεται το 2012 ( $r = 0,372$ ). Εκτός από την θετική συσχέτιση, το υψόμετρο φαίνεται να λειτουργεί αρνητικά στην παραγωγή του 2011 ( $r = -0,293$ ).

Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα φαίνεται να λειτουργεί αντίθετα από την φιλοσοφία των μετρήσεων. Εμφανίζεται να έχει ισχυρή θετική συσχέτιση με το υψόμετρο ( $r = 0,606$ , στατιστικώς σημαντικά για  $p < 0,01$ ). Ακόμη παρουσιάζεται ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής του 2010 και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στα επόμενα δύο χρόνια η συσχέτιση αυτή χάνεται. Σε ανάλογα συμπεράσματα είχαν καταλήξει και οι Moore and Walcott (2001) οι οποίοι σε ένα τετραετές πείραμα που έκαναν σε καλαμπόκι και σόγια κατέληγαν άλλες χρονιές σε θετική και άλλες χρονιές σε αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό ότι το έδαφος είναι καλά στραγγιζόμενο καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του είναι άμμος. Η αρνητική συσχέτιση της αργίλου και της ιλύως με την παραγωγή υποδηλώνει ότι εκεί όπου αυτά τα εδαφικά χαρακτηριστικά ήταν σε μεγάλες ποσότητες το έδαφος νεροκρατούσε ενώ παράλληλα ήταν πολύ γόνιμο με αποτέλεσμα τα δένδρα να διαμορφώνουν μεγάλη βλάστηση εις βάρος της παραγωγής. Το γεγονός ότι η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είχε υψηλές τιμές στο υψηλότερο σημείο του οπωρώνα ίσως να οφείλεται σε ιδιότητες του μητρικού πετρώματος οι οποίες δεν αλλάζουν στο χρόνο. Τέλος στα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι εδαφικοί παράγοντες που εξετάστηκαν δεν συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο στην διαμόρφωση της παραγωγής από χρόνο σε χρόνο. Αυτό ίσως να οφείλεται σε διάφορους κλιματικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό την παραγωγή από ότι τα εδαφικά χαρακτηριστικά.

**Πίνακας 4.11.** Συσχετίσεις εδαφικών χαρακτηριστικών και αναγλύφου με τις καταγεγραμμένες παραγωγές των τριών ετών

	EC	Sand	Clay	Silt	Organic matter	K	Ca	YIELD 2010	YIELD 2011	YIELD 2012	Elevation
EC	1										
Sand	0,330*	1									
Clay	-0,180	-0,494**	1								
Silt	-0,255	-0,806**	-0,116	1							
Organic matter	-0,029	0,100	0,068	-0,160	1						
K	0,395**	0,268	-0,043	-0,279	-,127	1					
Ca	0,285	0,463**	-0,252	-0,357*	0,135	0,423**	1				
YIELD 2010	0,455**	0,171	-0,044	-0,168	-0,218	0,638**	0,308*	1			
YIELD 2011	-0,101	-0,442**	0,173	0,387**	-0,062	-0,110	-0,365*	-0,124	1		
YIELD 2012	0,121	-0,175	0,164	0,088	-0,072	0,233	-0,201	0,221	0,340*	1	
Elevation	0,606**	0,277	-0,172	-0,201	-0,017	0,621**	0,452**	0,657**	-0,293	0,372**	1

#### 4.9 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΖΩΝΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης παραγωγής και εδαφικών χαρακτηριστικών έδειξαν ότι δεν υπάρχει μια σταθερή συμπεριφορά του εδάφους όσον αφορά την επιρροή του στην παραγωγή. Αυτό συμπληρώνει το γεγονός ότι τα τμήματα του οπωρώνα που έχουν υψηλή παραγωγή δεν μένουν σταθερά στο χρόνο αλλά διαφέρουν κάθε χρονιά.

Το γεγονός αυτό λειτουργεί αρνητικά στη δημιουργία σταθερών ζωνών διαχείρισης. Στο παρελθόν έχουν δημιουργηθεί ζώνες διαχείρισης βασισμένες στην παραγωγή χρησιμοποιώντας διάφορους αλγορίθμους. Παρόλα αυτά σύμφωνα με τους Martin et al. (2005) πρέπει να βρεθούν τρόποι για την εκτίμηση της παραγωγής βασισμένοι στα χαρακτηριστικά των φυτών. Στη παρούσα εργασία επειδή αποδείχτηκε ότι η παραλλακτικότητα της παραγωγής έχει άμεση σχέση με την παραλλακτικότητα των ανθέων, δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης σύμφωνα με το πλήθος των ανθέων. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των ζωνών αξιολογήθηκαν με τις ζώνες διαχείρισης που δημιουργήθηκαν με βάση την παραγωγή.

Τα αποτελέσματα του ποσοστού των ανθέων σε κάθε φωτογραφία που λήφθηκε και τα αποτελέσματα της παραγωγής για τα έτη 2010 και 2011 εισήχθησαν στο λογισμικό MZA για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Μετά την επεξεργασία

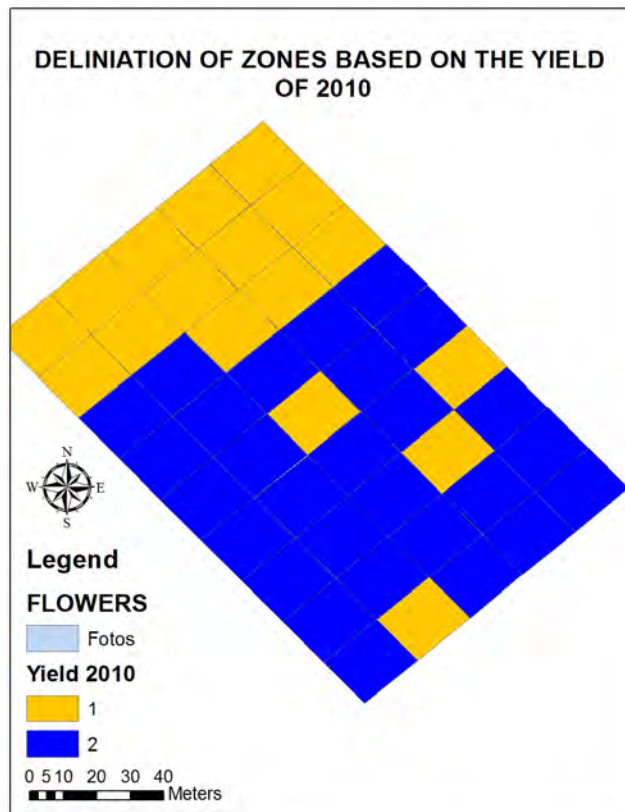
των δεδομένων το λογισμικό έβγαλε πιθανές ζώνες διαχείρισης (από 2 έως 6). Οι δείκτες οι οποίοι καθορίζουν τον ιδανικό αριθμό ζωνών διαχείρισης (FPI και NCE) παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.12. Ο δείκτης FPI μετρά τον βαθμό του διαχωρισμού μεταξύ των ασαφών κλάσεων και οι τιμές που μπορεί να λάβει είναι από 0 έως 1. Όταν η τιμή του πλησιάζει στο 0 τότε οι ζώνες διαφέρουν πολύ (Fridgen et al. 2004). Ο δείκτης NCE εκφράζει το ποσό της διαφορετικότητας των ζωνών μεταξύ τους (Lark and Stafford 1997). Ο ιδανικότερος αριθμός ζωνών διαχείρισης για κάθε βάση δεδομένων που εξετάζεται είναι στην περίπτωση που οι δύο παραπάνω δείκτες έχουν την μικρότερη τιμή.

**Πίνακας 4.12.** Δείκτες FPI και NCE για τα δεδομένα παραγωγής και ανθέων.

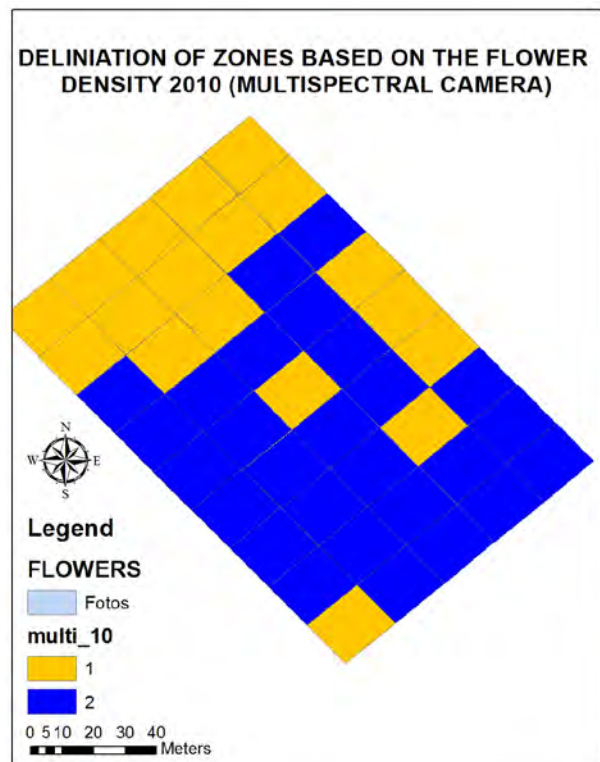
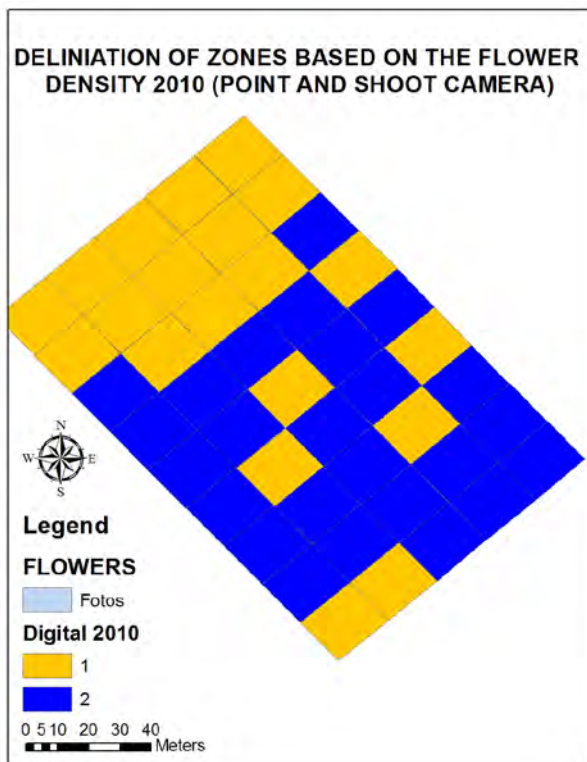
Year	Number of zones	FPI	NCE
2010	2	0,0328	0,02
	4	0,0363	0,0203
	6	0,0332	0,0226
2011	2	0,06	0,0248
	4	0,075	0,0411
	6	0,0654	0,03

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.12 ο καταλληλότερος αριθμός ζωνών διαχείρισης είναι ο δύο καθώς αυτό παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές FPI και NCE στις δύο χρονιές. Ο διαχωρισμός των ζωνών εντός του οπωρώνα διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 4.29, 4.30, 4.31 και 4.32).

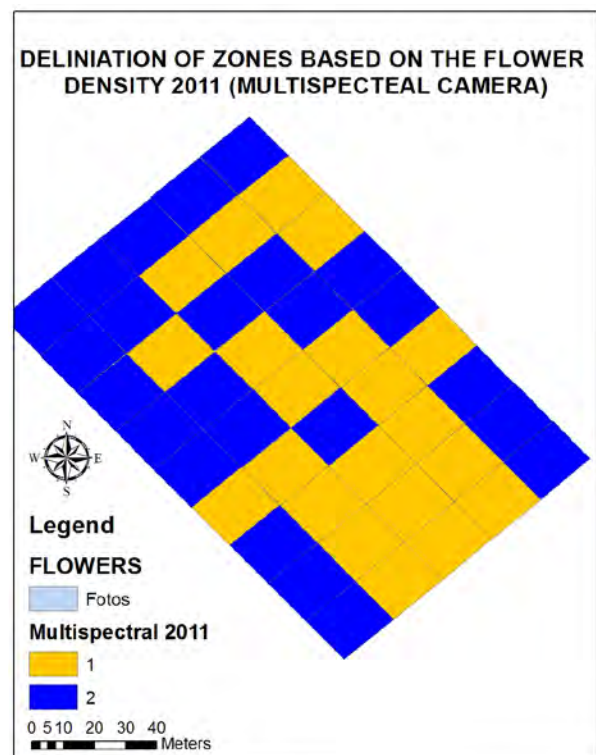
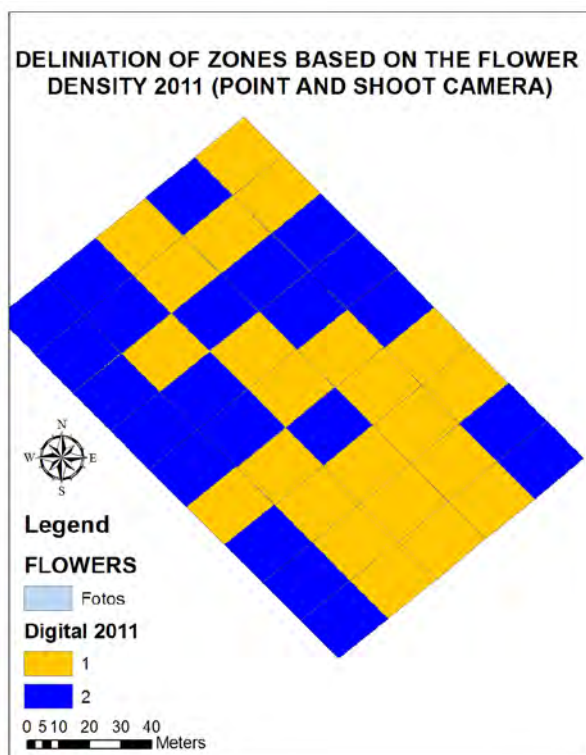




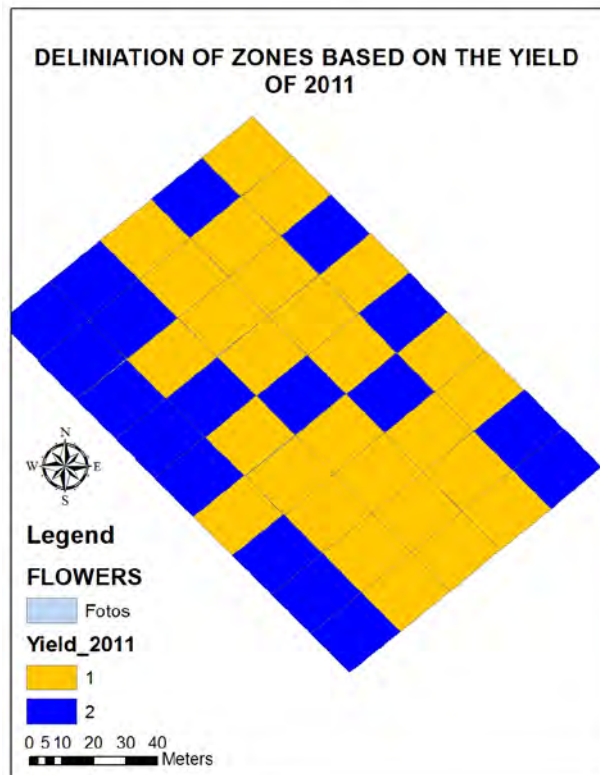
**Εικόνα 4.29** Χάρτης με δύο ζώνες διαχείρισης βασισμένος στην παραγωγή του έτους 2010



**Εικόνα 4.30.** Χάρτες με δύο ζώνες διαχείρισης του σπορώνα βασισμένος στο πλήθος των ανθέων



**Εικόνα 4.31.** Χάρτες με δύο ζώνες διαχείρισης του σπορώνα βασισμένοι στο πλήθος των ανθέων και στην παραγωγή αντίστοιχα



**Εικόνα 4.32.** Χάρτης με δύο ζώνες διαχείρισης του οπωρώνα βασισμένος στην παραγωγή του 2011

Η σύγκριση των ζωνών διαχείρισης που προέκυψαν από τα δεδομένα της παραγωγής και των πληροφοριών που αποσπάστηκαν από τις φωτογραφίες της απλής φωτογραφικής μηχανής έδειξαν ότι είναι παρόμοιες στους δύο χάρτες για τα δύο έτη. Συγκεκριμένα το 2010 40 από τα 45 πολύγωνα στον χάρτη παραγωγής και στον χάρτη με την παραλλακτικότητα των ανθέων ανήκαν στην ίδια ζώνη. Το 2011 ο αριθμός αυτός μειώθηκε (35 από τα 45). Αυτό συνέβη λόγω του ότι ενώ το 2011 είχαν δημιουργηθεί άνθη στα δέντρα δεν μπόρεσε να γίνει σωστή επικονίαση αυτών λόγω μη ιδανικών καιρικών συνθηκών. Συγκεκριμένα οι βροχοπτώσεις την κρίσιμη περίοδο της επικονίασης ήταν αυξημένες με αποτέλεσμα οι επικονιαστές (μέλισσες) να μην μπορούν να πετάξουν μακριά από τις κυψέλες τους ενώ η ύπαρξη υψηλής σχετικής υγρασίας σε συνδυασμό με τις αυξημένες νεφώσεις και τις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (όπως συνέβη τον Απρίλιο και αρχές Μαΐου 2011) καθυστέρησαν την ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα την μη αποτελεσματική γονιμοποίηση της ωοθήκης και τη χαμηλή καρπώδεση. Ακόμη θα

έπρεπε να τονιστεί ο αριθμός ταύτισης των πολυγώνων στους χάρτες (35 όμοια πολύγωνα στα 45) είναι υψηλός και μπορεί να στηρίζει αποφάσεις διαχείρισης.

Αντίστοιχα αποτελέσματα έδειξε και η συσχέτιση χαρτών παραγωγής και χαρτών παραλλακτικότητας των ανθέων όπως προέκυψε από την ανάλυση των πολυφασματικών φωτογραφιών. Το 2010 υπήρχαν 38 από τα 45 πολύγωνα στην ίδια ζώνη στον αντίστοιχο χάρτη παραγωγής και ανθέων. Το 2011 πάλι αριθμός των όμοιων πολυγώνων μειώθηκε (32 από τα 45 πολύγωνα) λόγω μη ιδανικών καιρικών συνθηκών κατά την περίοδο της επικονίασης.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα μπορεί να ειπωθεί ότι η παραλλακτικότητα των ανθέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για τον παραγωγό για να κάνει διαχωρισμό του οπωρώνα σε διαφορετικές ζώνες διαχείρισης. Με αυτόν τον τρόπο ο παραγωγός θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τεχνικές διαφοροποιημένης δόσης εισροών. Έτσι θα μπορεί να κάνει πιο αποδοτικές καλλιεργητικές φροντίδες στον οπωρώνα, προστατεύοντας το περιβάλλον και ταυτόχρονα αυξάνοντας το κέρδος της επιχείρησής του αφού με την εφαρμογή των διαφοροποιημένων δόσεων εισροών θα είναι ικανός να μειώσει το κόστος παραγωγής.

#### **4.10 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗ NDVI**

Σύμφωνα με τους Martin et al. (2005) η εύρεση κάποιων χαρακτηριστικών των φυτών που να προβλέπουν την μελλοντική παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι πολύ σημαντική. Με αφορμή αυτή τη διαπίστωση έγινε συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI με την αντίστοιχη παραγωγή του ίδιου έτους. Στον Πίνακα 4.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτής της συσχέτισης για το έτος 2010.

Η παραγωγή αποδεικνύεται στον Πίνακα 4.13 ότι έχει υψηλή συσχέτιση με το NDVI του Ιουνίου η οποία συνεχίζει να υπάρχει μέχρι τις αρχές του Ιουλίου. Μετά παύει να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών. Αυτό το γεγονός είναι αναμενόμενο καθώς στις αρχές του καλοκαιριού όπου τα δέντρα αρχίζουν να διαμορφώνουν τη νέα κόμη μπορούν να ξεχωρίσουν τα πιο δραστήρια φυτά (πιο πράσινα φυτά και πιο υγιή) από τα υπόλοιπα.

**Πίνακας 4.13.** Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2010

	8_6 άνω	8_6 μέση	20_6 άνω	20_6 μέση	9_7 άνω	28_7 άνω	28_7 μέση	11_8 άνω	11_8 μέση	1_9 άνω	1_9 μέση	28_9 άνω	28_9 μέση	Yield 2010
8_6 άνω	1													
8_6 μέση	,477**	1												
20_6 άνω	,737**	,268	1											
20_6 μέση	-,036	-,137	,045	1										
9_7 άνω	,553**	,243	,725**	,195	1									
28_7 άνω	,255	-,006	,250	-,302*	,192	1								
28_7 μέση	-,160	-,029	-,209	,261	,000	-,108	1							
11_8 άνω	,229	,019	,470**	,375*	,503**	,072	-,045	1						
11_8 μέση	,286	,020	,343*	,272	,351*	,124	-,021	,433**	1					
1_9 άνω	-,059	-,137	-,053	-,192	-,012	,836**	-,016	,004	-,011	1				
1_9 μέση	,256	-,102	,521**	,415**	,615**	,132	,043	,855**	,495**	-,020	1			
28_9 άνω	,009	-,050	,121	-,070	,047	-,052	-,013	,151	-,079	-,048	,187	1		
28_9 μέση	,134	,345*	,269	,360*	,088	-,109	,034	,348*	-,006	-,021	,234	,187	1	
Yield 2010	,661**	,558**	,490**	-,163	,284	,191	-,209	-,097	,191	-,086	-,081	-,186	,044	1

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level.

\* . Correlation is significant at the 0,05 level.

Τα αποτελέσματα της συσχέτισης της παραγωγής του 2011 με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη NDVI των φυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα αποδεικνύεται ότι υπάρχει πολύ μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών που εξετάζονται. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις του δείκτη NDVI των δένδρων έχουν συσχέτιση με την παραγωγή καθ' όλη την διάρκεια του καλοκαιριού με τον συντελεστή συσχέτισης να κυμαίνεται μεταξύ 0,619 και 0,810. Αυτό το γεγονός έρχεται κατά κάποιον τρόπο σε αντίθεση με την άποψη που υπάρχει πως όταν γίνονται οι μετρήσεις του δείκτη NDVI σε πρώιμο στάδιο (Μάιο – Ιούνιο) μπορεί η χαρτογράφηση του να υποδεικνύει την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής. Φαίνεται ότι σε συνθήκες έντονης σκίασης λόγω υψηλής πυκνότητας φύτευσης διαχωρίζονται και τους θερινούς μήνες οι περιοχές με καλή υγιή βλάστηση και καλή

καρποφορία από τις περιοχές με λιγότερο πράσινη (λόγω σκίασης και όχι λόγω αδύναμου εδάφους κ.λπ.) βλάστηση και μικρότερη καρποφορία.

**Πίνακας 4.14.** Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2011

	22_5 μέση	9_6 άνω	9_6 μέση	28_6 άνω	28_6 μέση	21_7 άνω	21_7 μέση	11_8 άνω	11_8 μέση	Yield 2011
22_5 μέση	1									
9_6 άνω	,715**	1								
9_6 μέση	,570**	,813**	1							
28_6 άνω	,345*	,509**	,662**	1						
28_6 μέση	,642**	,767**	,680**	,350*	1					
21_7 άνω	,672**	,837**	,699**	,535**	,705**	1				
21_7 μέση	,678**	,812**	,707**	,502**	,791**	,829**	1			
11_8 άνω	,564**	,713**	,681**	,578**	,704**	,722**	,839**	1		
11_8 μέση	,395**	,581**	,698**	,591**	,410**	,526**	,534**	,555**	1	
Yield 2011	,631**	,711**	,810**	,676**	,619**	,642**	,671**	,713**	,682**	1

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level.

\* . Correlation is significant at the 0,05 level.

Ανάλογα αποτελέσματα με την χρονιά 2010 προκύπτουν από τη σύγκριση των μεταβλητών παραγωγής και δείκτη NDVI των δένδρων για το έτος 2012 (Πίνακας 4.15). Παρατηρείται ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ αυτών των δύο μεταβλητών κατά τον μήνα Ιούνιο (μέση κόμη) και στα μέσα Ιουλίου (άνω και μέση κόμη). Αυτό επιβεβαιώνει την άποψη πως μετρήσεις του δείκτη NDVI σε πρώιμο στάδιο της καλλιέργειας μπορούν να υποδείξουν την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής.

**Πίνακας 4.15.** Συσχέτιση δείκτη NDVI με την παραγωγή για το έτος 2012

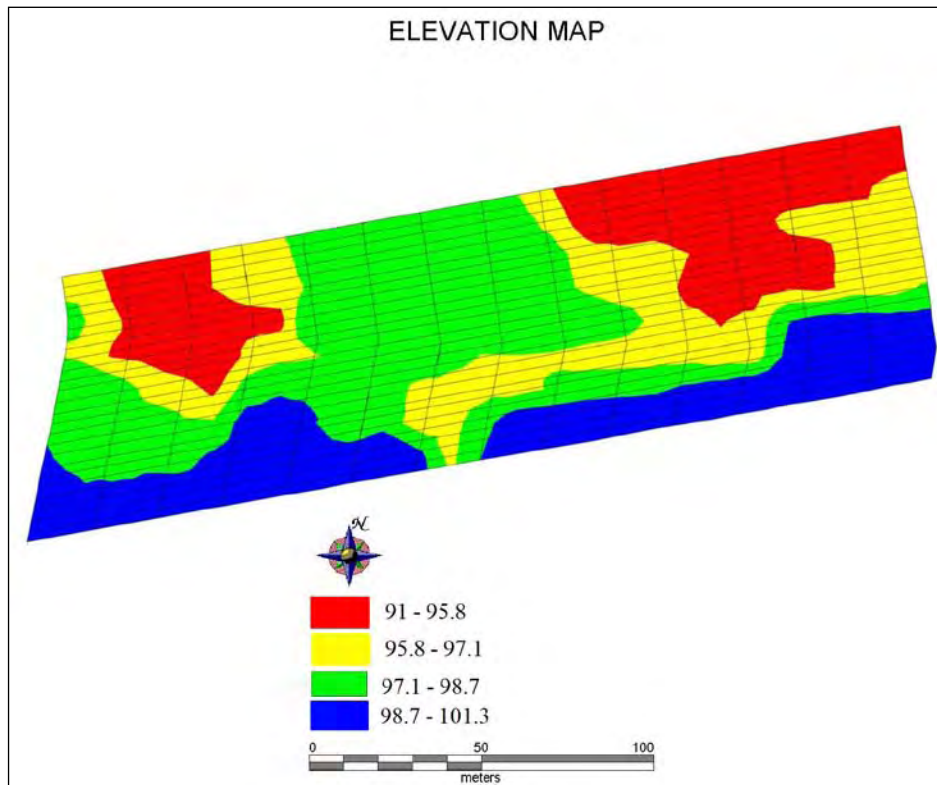
	20_5 άνω	20_5 μέση	3_6 άνω	3_6 μέση	26_6 άνω	17_7 άνω	17_7 μέση	7_8 άνω	YIELD
20_5 άνω	1								
20_5 μέση	,994**	1							
3_6 άνω	,336*	,354*	1						
3_6 μέση	,490**	,475**	,563**	1					
26_6 άνω	,396**	,409**	,844**	,607**	1				
17_7 άνω	,432**	,424**	,768**	,703**	,638**	1			
17_7 μέση	,502**	,474**	,593**	,844**	,727**	,672**	1		
7_8 άνω	,577**	,544**	,502**	,833**	,750**	,614**	,884**	1	
YIELD	,057	,036	,070	,521**	,057	,319*	,521**	,038*	1

\*\* . Correlation is significant at the 0,01 level.

\* . Correlation is significant at the 0,05 level.

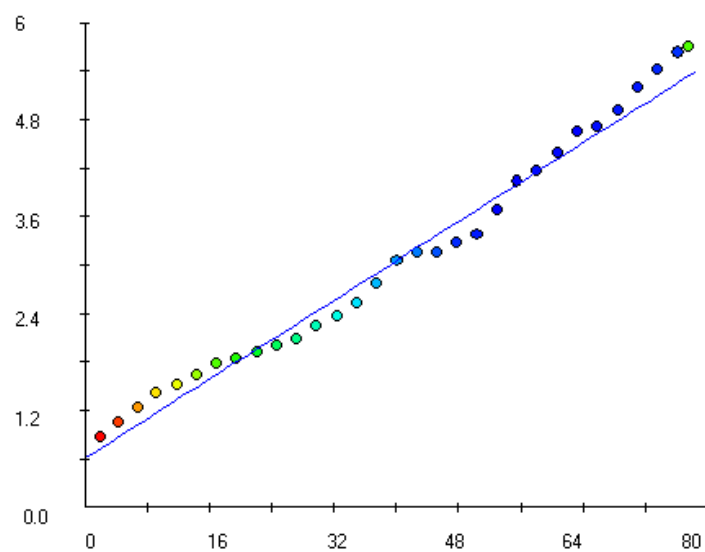
#### 4.11 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΟΥ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΟΠΩΡΩΝΑ

Στην Εικόνα 4.33 παρουσιάζεται ο χάρτης με το τοπογραφικό ανάγλυφο του δευτερεύοντα οπωρώνα. Για την δημιουργία του χρησιμοποιήθηκαν οι σημειακές μετρήσεις υψομέτρου που καταγράφηκαν με συσκευή RTK όπως έχει περιγραφεί στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Farmworks (Trimble, USA) για τη δημιουργία του αντίστοιχου χάρτη. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Inverse distance για την πρόβλεψη του υψομέτρου στις περιοχές ανάμεσα από τις σημειακές μετρήσεις. Η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου έγινε γιατί αυτήν διαθέσιμη στο λογισμικό. Η επιλογή του συγκεκριμένου λογισμικού έγινε λόγω της δυνατότητας που παρέχει στο χρήστη να δημιουργήσει χάρτες εφαρμογής όπως περιγράφεται παρακάτω.



**Εικόνα 4.33.** Ο χάρτης με το τοπογραφικό ανάγλυφο

Στην Εικόνα 4.34 παρουσιάζεται το βαριόγραμμα του χάρτη του υψομέτρου. Στην ουσία το βαριόγραμμα περιγράφει σε πόση απόσταση μεταβάλλεται το υψόμετρο. Για τη δημιουργία του χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Vesper 1.6 (University of Sydney, Sydney). Το μοντέλο που ταιριάζει καλύτερα στο βαριόγραμμα είναι το εκθετικό.



**Εικόνα 4.34.** Βαριόγραμμα της χαρτογράφησης του υψομέτρου



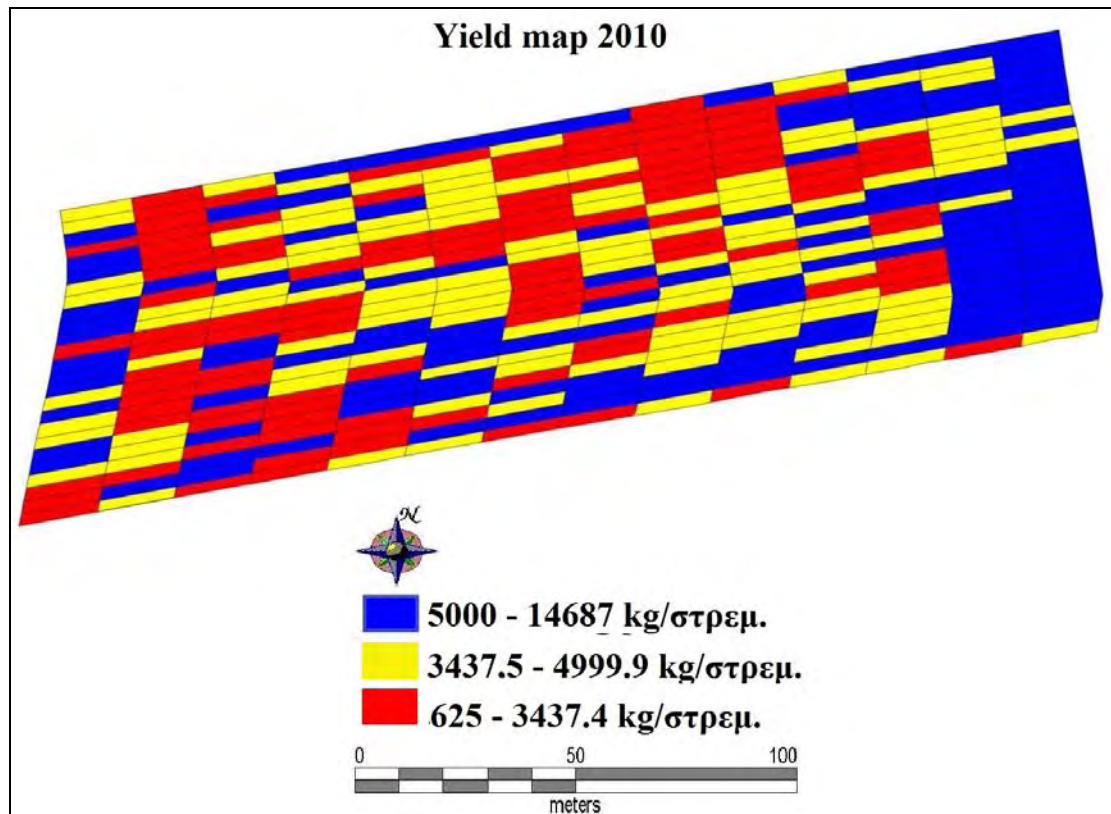
#### 4.12 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΟΣ ΟΠΩΡΩΝΑ

Στον Πίνακα 4.16 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας και ασυμμετρία) για την παραγωγή των τριών ετών του πειράματος. Από τον Πίνακα 4.16 γίνεται κατανοητό ότι η χαμηλότερη παραγωγή τα έτη 2010 και 2012 ήταν 625 kg/στρεμ. ενώ το έτος 2011 ήταν 312.5 kg/στρεμ. Η μέση παραγωγή το 2010 ήταν 4342 kg/στρεμ. η οποία ήταν και η μεγαλύτερη των τριών χρόνων. Στη συνέχεια η μέση παραγωγή το 2011 κυμάνθηκε στα 2904.6 kg/στρεμ. η οποία ήταν και η χειρότερη των τριών χρόνων. Τέλος το έτος 2012 η μέση παραγωγή κυμάνθηκε στα 3153.1 kg/στρεμ. Το γεγονός ότι της δύο τελευταίες χρονιές του πειράματος η παραγωγή ήταν μικρότερη από την πρώτη χρονιά οφείλεται στις μη ιδανικές καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή την περίοδο της επικονίασης. Η παραλλακτικότητα της παραγωγής εμφανίζεται να είναι μεγάλη σε όλες τις χρονιές λίγο μεγαλύτερη το έτος 2012 (CV% ~ 52) ενώ το 2010 και 2011 είναι περίπου η ίδια (CV% ~ 49). Η παραγωγή επίσης φαίνεται να ακολουθεί κανονική κατανομή και τις τρεις χρονιές. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι και στον κύριο οπωρώνα η παραγωγή του 2011 και 2012 ήταν μειωμένη εξαιτίας των καιρικών συνθηκών εν μέρη.

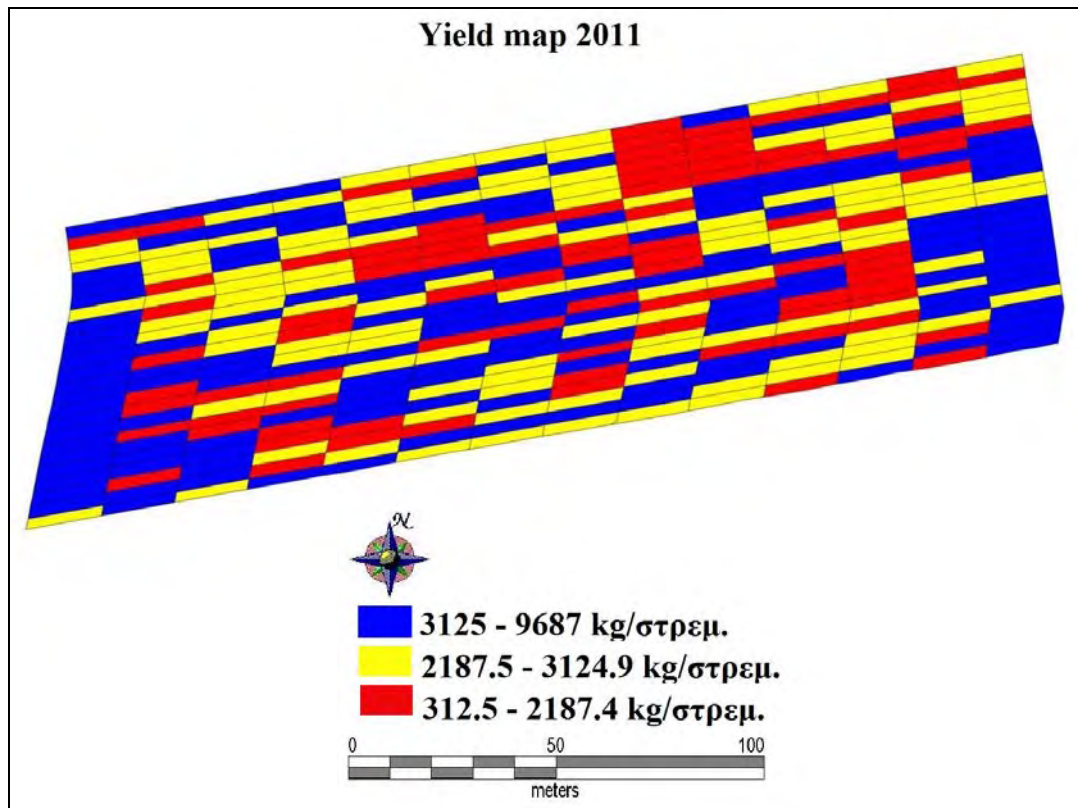
**Πίνακας 4.16.** Περιγραφικά στατιστικά της παραγωγής στα τρία έτη του πειράματος

	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	CV%	Ασυμμετρία	Κύρτωση
Παραγωγή 2010 (kg/στρεμ.)	625	14687	4342.1	49	0.91	2.2
Παραγωγή 2011 (kg/στρεμ.)	312.5	9687.5	2904.6	47.1	0.95	3.2
Παραγωγή 2012 (kg/στρεμ.)	625	8437	3153.1	52.3	0.8	0.3

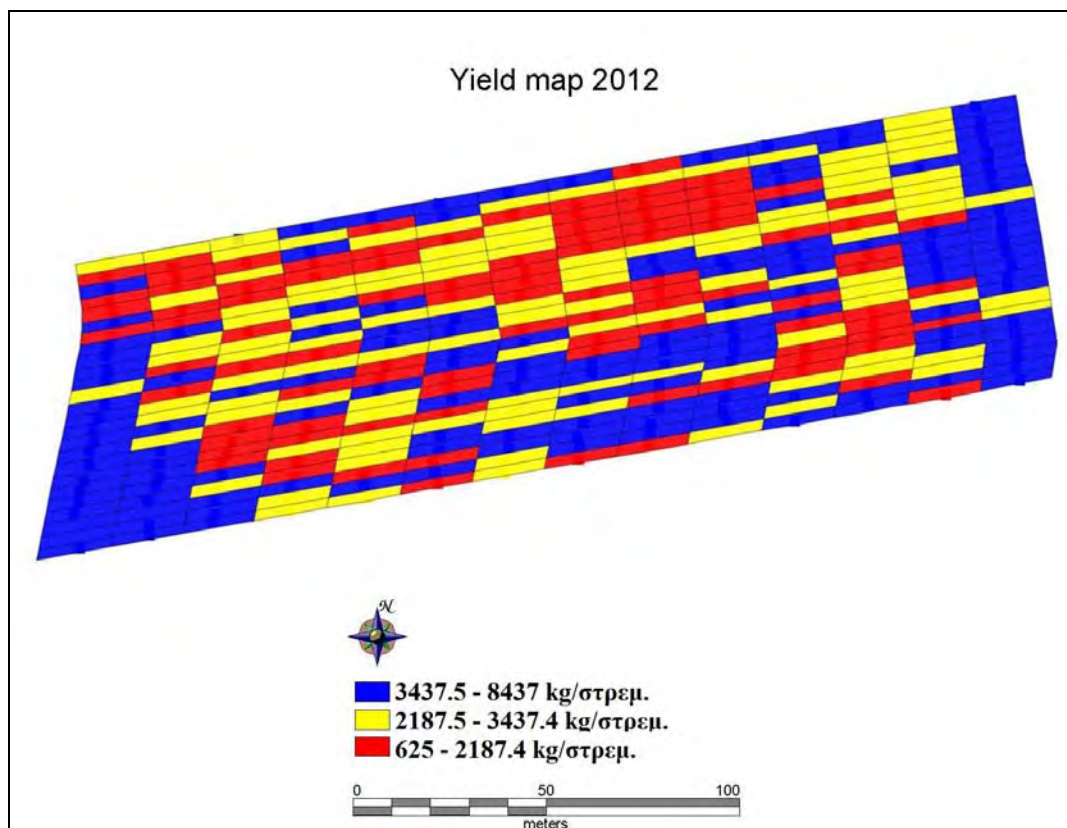
Στις παρακάτω εικόνες (Εικόνες 4.35, 4.36, 4.37) παρουσιάζονται οι χάρτες δείχνοντας την ποσότητα της παραγωγής που καταγράφηκε κατά την συγκομιδή τα τρία έτη του πειράματος.



**Εικόνα 4.35** Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2010



Εικόνα 4.36. Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2011

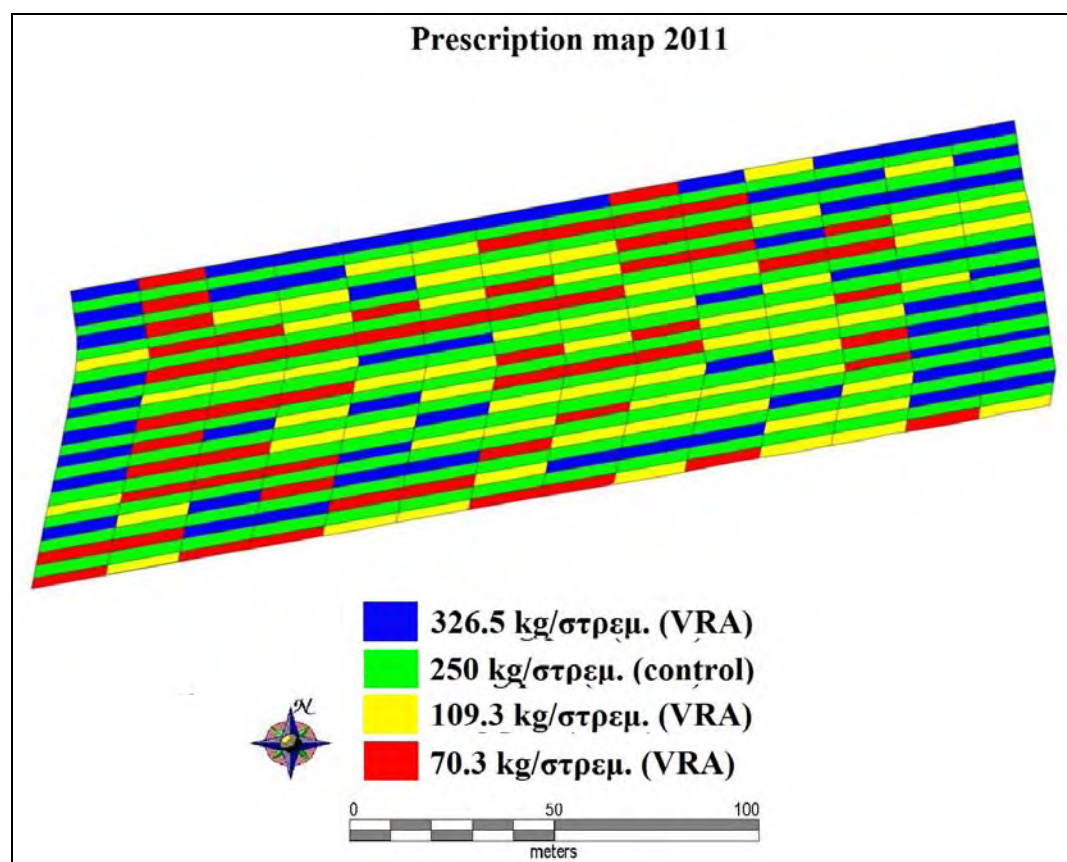


Εικόνα 4.37 Χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής το έτος 2012

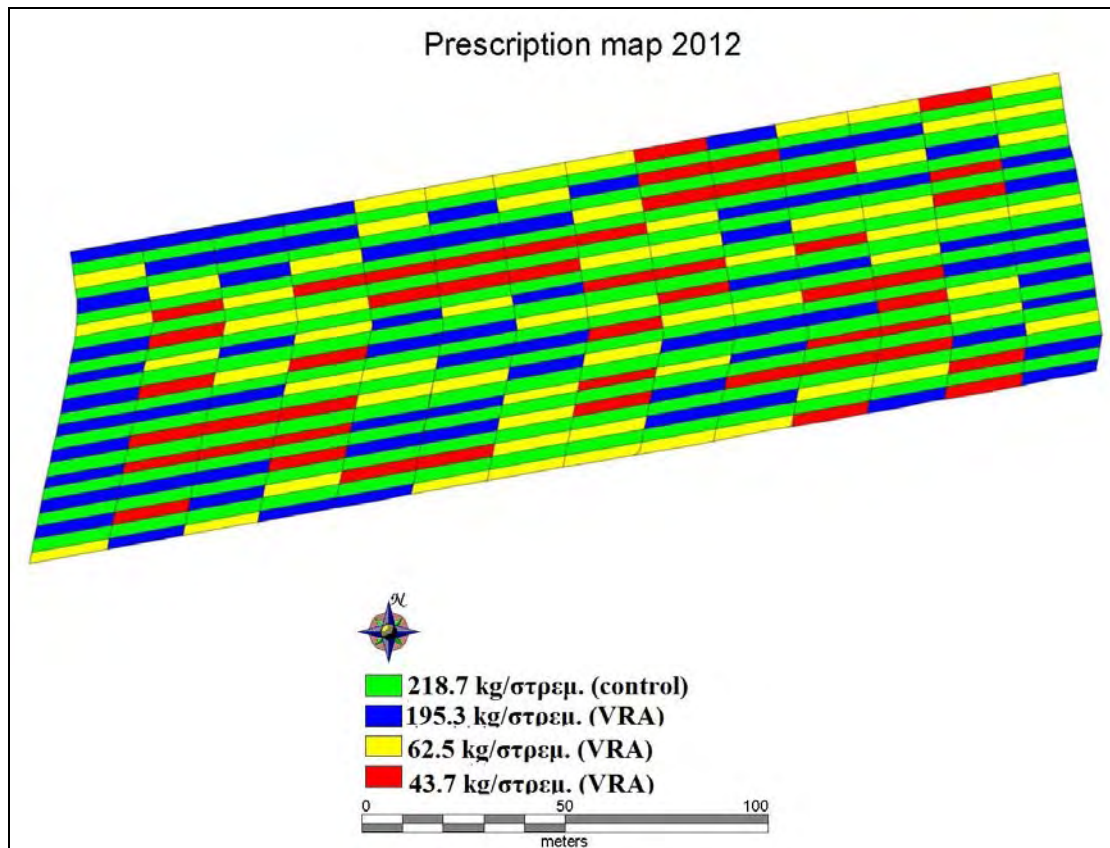
Από τους τρεις χάρτες παραγωγής γίνεται αντιληπτό ότι η παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι πάρα πολύ μεγάλη ιδίως στο κέντρο του οπωρώνα. Σε αυτό ίσως συνέβαλε και το πείραμα της μεταβλητών δόσεων λιπάσματος που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες περιοχές εντός του οπωρώνα που συμπεριφέρονται το ίδιο στα δύο ή τρία χρόνια του πειράματος όπως οι περιοχές κοντά στα όρια του οπωρώνα οι οποίες εμφανίζονται να παράγουν μεγάλες ποσότητες μήλων κάθε χρόνο.

#### 4.13 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες εφαρμογής λιπάσματος για τις χρονιές 2011 και 2012 (Εικόνες 4.38, 4.39). Όπως αναφέρθηκε και στην περιγραφή του πειράματος, οι δόσεις λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στην παραγωγή του 2010 και 2011 αντίστοιχα.



Εικόνα 4.38 Χάρτης εφαρμογής λιπάσματος το έτος 2011



**Εικόνα 4.39** Χάρτης εφαρμογής του λιπάσματος το έτος 2012

Η σύγκριση της ποσότητας του λιπάσματος που χρησιμοποίησε ο παραγωγός με την ποσότητα του λιπάσματος που εφαρμόστηκε με τη μέθοδο των μεταβλητών δόσεων εισροών θεωρήθηκε πολύ σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Επίσης η απόδοση κάθε σειράς καθώς και η οικονομικότητα της κάθε εφαρμογής παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.17 και 4.18. Σύμφωνα με την ανάλυση το κέρδος του παραγωγού από την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων του λιπάσματος είναι σημαντικό και τις δύο χρονιές της έρευνας. Αν θεωρηθεί ότι η τιμή πώλησης των μήλων είναι 0,30 ευρώ/κιλό και ότι η τιμή του λιπάσματος ήταν 0,70 ευρώ/κιλό και για τις δύο χρονιές τότε το 2011 η ποσότητα του λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε με την μεταβλητή λίπανση μειώθηκε κατά 32,4% σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή και το κέρδος του παραγωγού αυξήθηκε κατά 21% (profit %). Το 2012 αντίστοιχα η μείωση της ποσότητας του λιπάσματος με την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας ήταν της τάξης του 56,6% και το κέρδος του παραγωγού αυξήθηκε κατά 9%. Παρατηρώντας την παραγόμενη ποσότητα μήλων και στις δύο χρονιές διαπιστώνει κανείς ότι οι γραμμές όπου εφαρμόστηκαν μεταβλητές δόσεις

λιπάσματος είχαν μικρότερη παραγωγή σε σχέση με τις υπόλοιπες σειρές. Αυτό είναι λογικό καθώς χρησιμοποιήθηκε πολύ λιγότερο λίπασμα από ότι θα χρησιμοποιούνταν με την ομοιόμορφη εφαρμογή. Παρά την μειωμένη παραγωγή η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων λιπάσματος αποδεικνύεται πολύτιμη καθώς με την χρήση μικρότερης ποσότητας λιπάσματος το καθαρό κέρδος του παραγωγού είναι πολύ μεγάλο.

**Πίνακας 4.17.** Οικονομική ανάλυση για το έτος 2011

<b>2011</b>		Yield 2011	Fertilizer	Profit	Reduction of fertiliser	Increase of profit (VRA – Ref.)
Row	Treatment	(Kg/row)	(Kg/row)	(%)	(%)	(%)
1	VRA	2620	83	91,8	-62,9	8,6
2	Reference	4240	224	84,5		
3	VRA	2710	185,3	79,2	-17,3	2,1
4	Reference	2700	224	77,6		
5	VRA	2380	190,3	80,9	-15,0	0,1
6	Reference	3140	224	80,8		
7	VRA	2330	127,2	86	-43,2	9,8
8	Reference	2800	224	78,3		
9	VRA	2420	139,1	85,1	-37,9	15,9
10	Reference	2530	224	73,4		
11	VRA	2940	173,9	85,1	-22,4	2,7
12	Reference	3320	224	82,9		
13	VRA	2900	110,8	91	-50,5	46,5
14	Reference	2040	224	62,1		
15	VRA	2540	195,3	81,4	-12,8	0,1
16	Reference	3000	224	81,3		
17	VRA	2180	105,8	88,4	-52,8	17,2
18	Reference	2660	224	75,4		
19	VRA	2020	96,9	78,8	-56,7	36,3
20	Reference	2040	224	57,8		
21	VRA	2740	160	85,2	-28,6	30,5
22	Reference	1920	224	65,3		
23	VRA	2660	168,9	85,5	-24,6	33,0
24	Reference	1680	224	64,3		
25	VRA	2420	232	76,9	3,6	19,6
Average					-32,4	21,0

**Πίνακας 4.18.** Οικονομική ανάλυση για το έτος 2012

<b>2012</b>		Yield 2012	Fertilizer	Profit	Reduction of fertiliser	Increase of profit (VRA – Ref.)
Row	Treatment	(Kg/row)	(Kg/row)	(%)	(%)	(%)
1	VRA	2800	92,6	92,28	-58,7	4,4
2	Reference	3940	196	88,39		
3	VRA	2860	94,2	92,31	-57,9	4,5
4	Reference	3920	196	88,33		
5	VRA	2800	110,2	90,82	-50,8	7,4
6	Reference	2960	196	84,55		
7	VRA	2360	91,8	90,92	-59,0	5,0
8	Reference	3420	196	86,63		
9	VRA	2820	102,8	91,49	-54,1	5,4
10	Reference	3460	196	86,78		
11	VRA	2560	112,6	89,74	-49,7	3,7
12	Reference	3400	196	86,55		
13	VRA	2620	112,6	89,97	-49,7	8,2
14	Reference	2720	196	83,19		
15	VRA	3000	86,8	93,25	-61,3	11,8
16	Reference	2760	196	83,43		
17	VRA	2260	75,8	92,17	-66,2	12,1
18	Reference	2570	196	82,20		
19	VRA	1800	82	89,37	-63,4	10,6
20	Reference	2380	196	80,78		
21	VRA	2140	104	88,66	-53,6	20,3
22	Reference	1740	196	73,72		
23	VRA	2460	113,8	89,21	-49,2	9,0
24	Reference	2520	196	81,85		
25	VRA	3680	84	94,67	-62,5	15,7
Average					-56,6	9,0

#### **4.14. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΙΠΑΝΣΗΣ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑ ΠΟΙΟΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

Παρακάτω παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της παραγωγής στις περιοχές όπου έγινε η λίπανση ομοιόμορφα (Πίνακας 4.19) και με μεταβλητές δόσεις (Πίνακας 4.20). Ακόμη στον Πίνακα 4.21 παρουσιάζεται η σύγκριση των μέσων όρων της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών για τα δυο χρόνια του πειράματος. Συγκεκριμένα για κάθε χαρακτηριστικό που μελετήθηκε αφαιρέθηκε ο μέσος όρος των τιμών που

παρουσίασε στην εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης από τον μέσο όρο που παρουσίασε στην εφαρμογή της ομοιόμορφης λίπανσης. Με αυτόν τον τρόπο κατέστη δυνατή η κατανόηση της επίδρασης της μεταβλητής λίπανσης στην παραγωγή και στα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση.

**Πίνακας 4.19.** Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και της παραγωγής στις περιοχές όπου έγινε ομοιόμορφη λίπανση.

UNIFORM APPLICATION	2010				2011				2012			
	Min	Max	Mean	CV%	Min	Max	Mean	CV%	Min	Max	Mean	CV%
Yield (kg/στρεμ.)	1562	14275	5272	55,3	312,5	9687	3062	53,2	625	8437	3517	55,7
Firmness (KgF)	2	8	5,5	32,8	5,1	7,9	6,7	9,0	5,8	8,4	7,0	8,6
Soluble (%)	6,4	16	11,3	24,9	8,9	15,6	12,8	14,1	8,2	16,1	12,6	17,4
pH	2,9	3,4	3,1	3,3	2,9	3,4	3,1	3,2	2,8	3,3	3,0	3,3
Acidity (%)	1,3	2	1,7	12,0	1,2	2,2	1,7	12,0	1,4	1,9	1,6	6,1
Weight (gr)	189	258	225,2	9,1	178	241	215,5	7,7	192	260	228,1	7,6

**Πίνακας 4.20.** Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και της παραγωγής στις περιοχές όπου έγινε μεταβλητή λίπανση.

VRA APPLICATION	2010				2011				2012			
	Min	Max	Mean	CV%	Min	Max	Mean	CV%	Min	Max	Mean	CV%
Yield (kg/στρεμ.)	625	6875	3326	42,3	312,5	5000	2603	42,7	625	6250	2785	55,4
Firmness (KgF)	2	8	6,8	17,6	5,5	8,8	7,6	6,6	5,8	8,6	7,3	9,4
Soluble (%)	9,7	16,2	14,8	8,8	8,9	16,5	14,7	10,2	13,1	18	15,8	8,1
pH	3	3,4	3,2	9,5	2,9	3,3	3,1	3,2	2,8	3,2	3,1	4,0
Acidity (%)	1,4	2	1,7	11,7	1,6	2,2	1,9	5,3	1,4	3	2,2	20,9
Weight (gr)	160	260	236,7	8,8	195	247	219,7	6,7	192	267	219,3	8,6



**Πίνακας 4.21.** Μεταβολές που προκάλεσε η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε σχέση με την ομοιόμορφη λίπανση.

	UNIFORM APPLICATION		VRA		Changes at the VRA areas compared to the uniform application	
	Mean values of 2011 and 2012		Mean values of 2011 and 2012			
	Mean	CV%	Mean	CV%	MEAN (%)	CV%
Yield	3289.5	54,4	2694	46,8	-18,1	-10
Firmness	6,8	8,8	7,2	11,2	5,9	27
Soluble	12,7	15,7	15,1	9,0	18.9	-42.7
pH	3,1	3,3	3,1	5,6	0,0	69.7
Acidity	1,7	9,0	1,9	12,7	11.8	41.1
Weight	221,8	7,7	225,2	8,0	1,5	3.9

Στον πίνακα 4.21 είναι φανερό πως η παραγωγή στα 2 χρόνια του πειράματος μειώθηκε κατά 18.1 % στις περιοχές όπου έγινε εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης σε σχέση με τις περιοχές όπου η λίπανση έγινε ομοιόμορφα. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τη χρονιά πριν την εφαρμογή της λίπανσης η μέση παραγωγή στις περιοχές που είχαν επιλεγεί για εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης ήταν μειωμένη κατά 37%. Πρακτική ερμηνεία αυτού του φαινομένου δεν μπορεί να αποδοθεί. Παρόλα αυτά η εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης μπόρεσε να ελαχιστοποιήσει τη μείωση της παραγωγής στις συγκεκριμένες σειρές μήλων. Ένα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να τονιστεί είναι ότι με τη μεταβλητή λίπανση η παραλλακτικότητα της παραγωγής έχει μειωθεί κατά 10 % κάτι που σημαίνει ότι η παραγωγή των δένδρων δεν έχει μεγάλες διακυμάνσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως στη μεταβλητή λίπανση χρησιμοποιείται τόσο λίπασμα όσο είναι αναγκαίο από τα δέντρα. Ένα πλεονέκτημα της εφαρμογής μεταβλητής λίπανσης που προκύπτει από τον Πίνακα 4.21 είναι η βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων. Στο εμπόριο για να είναι ένα μήλο καλό ποιοτικά θα πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα σάρκας, μεγάλη οξύτητα χυμού και μεγάλη περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά. Με την εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης φαίνεται ότι αυξάνεται η σκληρότητα της σάρκας κατά 5,9%, τα διαλυτά στερεά συστατικά κατά 18.9%, η οξύτητα του χυμού κατά 11.8% και το βάρος των καρπών κατά 1,5%. Το pH του χυμού παραμένει το ίδιο και στις δύο μεθόδους λίπανσης. Παρόλα αυτά η παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών φαίνεται να αυξάνεται με την εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης εκτός από το βάρος του καρπού όπου η παραλλακτικότητα παραμένει σχεδόν η ίδια

ενώ στα διαλυτά στερεά συστατικά αυτή εμφανίζεται μειωμένη κατά 42.7%. Η μεγάλη παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά ίσως να οφείλεται στις διαφορετικές ποσότητες λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης. Η πιο σημαντική παρατήρηση αφορά την ποιότητα των καρπών η οποία εμφανίζεται να είναι καλύτερη στις περιοχές του οπωρώνα όπου εφαρμόστηκε λίπανση με μεταβλητές δόσεις. Αυτό μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της εμπορικής αξίας των φρούτων και κατ' επέκταση στην αύξηση του κέρδους του παραγωγού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### Μελέτη παραλλακτικότητας

#### Τοπογραφικό ανάγλυφο

Η καλλιέργεια των μήλων γενικά απαιτεί ψυχρό και υγρό κλίμα, ενώ είναι απαραίτητες οι χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες για την διακοπή του ληθάργου των οφθαλμών. Επίσης είναι αναγκαία η ύπαρξη δροσερών καλοκαιριών καθώς τότε τα δέντρα παράγουν υψηλής ποιότητας μήλα. Το κλίμα που περιγράφεται παραπάνω παρατηρείται κυρίως σε ορεινές περιοχές στη χώρα μας. Σύμφωνα με τη χαρτογράφηση του τοπογραφικού αναγλύφου που έγινε και στους δύο πειραματικούς οπωρώνες χρησιμοποιώντας συσκευή υψηλής ακρίβειας RTK το ψηλότερο τμήμα που καταγράφηκε ήταν 103 μέτρα, ενώ το χαμηλότερο 89,7 μέτρα πάνω από τη θάλασσα. Αυτό δηλώνει πως η τοποθεσία όπου υπήρχαν οι οπωρώνες δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν ορεινή. Γενικότερα στην περιοχή της Αγιάς λόγω του χαμηλού υψομέτρου η ποιότητα των μήλων είναι χαμηλή με περιορισμένο ερυθρό επίχρωμα και μειωμένη γευστική ποιότητα σε σύγκριση με αντίστοιχα ορεινά μήλα. Αλλά συνήθως οι επίπεδοι οπωρώνες της περιοχής είναι υψηλής παραγωγικότητας και ενδείκνυνται για πυκνές φυτεύσεις και την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας.

Το πλεονέκτημα που παρουσιάζει αυτή η περιοχή είναι ότι επηρεάζεται από τη θαλάσσια αύρα του Αιγαίου πελάγους. Η παρουσία του πελάγους σε μικρή απόσταση από τον οπωρώνα υποδηλώνει μείωση του εύρους θερμοκρασιών με πιο ήπιες χειμερινές και θερινές θερμοκρασίες. Η ύπαρξη της θαλάσσιας αύρας μπορεί λοιπόν να μειώσει τη θερμική καταπόνηση τους θερινούς μήνες και να βελτιώσει τον αερισμό του οπωρώνα.

Το μειονέκτημα της τοποθεσίας των οπωρώνων είναι ότι βρίσκονται στην πλαγιά ενός μικρού λοφίσκου. Αυτό σημαίνει, όπως έδειξε και η χαρτογράφηση του τοπογραφικού αναγλύφου, πως υπάρχει μεγάλη υψομετρική διαφορά εντός των οπωρώνων. Στον κύριο οπωρώνα η υψομετρική διαφορά ήταν 13 μέτρα, ενώ στον δευτερεύοντα ήταν 10 μέτρα. Αυτό το γεγονός μαρτυρά πως υπάρχει κίνδυνος έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών του εδάφους ή ακόμη και υποβάθμισης του εδάφους σε διάφορες περιοχές καθώς είναι πιθανό να αλλάξει η δομή του. Ο παραγωγός κατά τη διάρκεια των πειραμάτων άφηνε τα ζιζάνια να αναπτυχθούν

μεταξύ των σειρών των δέντρων και δεν αναμόχλευε έτσι ώστε να μειωθεί η τυχόν υποβάθμιση του εδάφους που μπορεί να προκληθεί κυρίως από έντονες βροχές. Αυτός είναι και ο τρόπος διαχείρισης του εδάφους και των ζιζανίων που ενδείκνυται διεθνώς για επίπεδους ή επικλινείς οπωρώνες.

### Εδαφικά χαρακτηριστικά

Εκτός από τη μεγάλη παραλλακτικότητα που παρουσιάζει το υψομετρικό ανάγλυφο των δύο πειραματικών οπωρώνων, μεγάλη παραλλακτικότητα εντοπίστηκε και σε άλλα χαρακτηριστικά τους. Ειδικότερα βρέθηκε πως τα εδαφικά χαρακτηριστικά του κύριου οπωρώνα είχαν μεγάλη χωρική διαφοροποίηση. Τη μεγαλύτερη χωρική παραλλακτικότητα εντός του εδάφους του οπωρώνα εμφάνισε το κάλιο καθώς αυτή έφτασε το 39.3%. Πρέπει να σημειωθεί πως η εδαφική περιεκτικότητα σε κάλιο ήταν πολύ χαμηλή σε σχέση με τις ανάγκες των φυτών και αυτό αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την παραγωγή των μήλων. Το κάλιο είναι πολύ σημαντικό συστατικό για τα δένδρα καθώς βοηθά στη φωτοσύνθεση, στη μεταφορά των σακχάρων, του νερού και των θρεπτικών μέσα στα δένδρα, ενώ συμβάλει επίσης στη σύνθεση των πρωτεϊνών (Osmond and Kang, 2008). Σε περίπτωση έλλειψης καλίου σε καλλιέργεια μήλων το περίγραμμα των φύλλων αποκτά καφέ χρώμα το οποίο στη συνέχεια γίνεται κοκκινωπό (Shear and Faust, 1980), ενώ το μέγεθος του καρπού, τα σάκχαρα και το χρώμα των καρπών υποβαθμίζονται (Tagliavini and Marangoni, 2002). Δεύτερη μεγαλύτερη χωρική παραλλακτικότητα εμφανίστηκε στις μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι τιμές που μετρήθηκαν κυμάνθηκαν από 13.9 mS/m μέχρι 34.2 mS/m. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service, 2011) οι τιμές αυτές υποδηλώνουν ελάχιστη έως καθόλου εδαφική αλατότητα. Αυτό μαρτυρά πως τα εδάφη είναι καλά στραγγιζόμενα, δηλ. το κατάλληλο έδαφος που απαιτεί η μηλοκαλλιέργεια. Η καλή στραγγιστική ιδιότητα του εδάφους επιβεβαιώνεται επίσης από τη μηχανική του σύσταση, σύμφωνα με την οποία το μέσο ποσοστό της άμμου είναι το μεγαλύτερο (39%), μετά ακολουθεί η ιλύς (34.2%) και μετά η άργιλος (26%). Τέλος βρέθηκε ότι η οργανική ουσία στο έδαφος βρίσκεται σε ικανοποιητική ποσότητα. Η ύπαρξη αρκετής οργανικής ουσίας στο

έδαφος ευνοεί την ανάπτυξη των δέντρων, αλλά δεν σχετίστηκε θετικά με την ποιότητα.

### Παραγωγή

Παρά το μικρό μέγεθος του κύριου οπωρώνα, υπάρχει σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα. Οι μετρήσεις για χωρική και χρονική παραλλακτικότητα αφορούσαν την παραγωγή, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, το δείκτη βλάστησης NDVI και την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας. Στο δευτερεύοντα οπωρώνα που ήταν αρκετά μεγάλος είχε παρατηρηθεί επίσης μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Αυτό το γεγονός υποδηλώνει ότι ο παραγωγός μπορεί να εφαρμόσει μεθόδους γεωργίας ακριβείας στους οπωρώνες του έτσι ώστε να μειώσει το κόστος παραγωγής.

Η παραγωγή του κύριου οπωρώνα φάνηκε να έχει μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα το έτος 2012 (88%), το 2011 ήταν ελαφρώς μειωμένη (61.2%) ενώ το 2010 η χωρική παραλλακτικότητα ήταν μειωμένη σχεδόν στο μισό της προηγούμενης χρονιάς (33.6%). Η ύπαρξη μεγάλης χώρο-χρονικής παραλλακτικότητας είναι εμφανής στο συγκεκριμένο οπωρώνα. Την πρώτη χρονιά του πειράματος η μέση τιμή της παραγωγής ήταν 10.4 kg/δέντρο, τη δεύτερη χρονιά 3.1 kg/δέντρο και την τελευταία 2.5 kg/δέντρο. Η σταδιακή μείωση της μέσης παραγωγής οφείλεται σε τρεις τουλάχιστον παράγοντες.

Ο πρώτος και βασικότερος είναι η εμφάνιση του φαινομένου της παρениαντοφορίας κατά το 2<sup>ο</sup> έτος των πειραμάτων (2011). Η ποικιλία Fuji είναι ιδιαίτερα επιρρεπής στην εμφάνιση αυτού του φαινομένου. Δηλαδή τη μια χρονιά παράγει μεγάλη ποσότητα μήλων, ενώ την επόμενη χρονιά αυτή εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη. Στην ουσία τη μια χρονιά τα δέντρα καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα θρεπτικών για τη δημιουργία καρπών και δεν δημιουργούν αρκετούς ανθοφόρους οφθαλμούς για την καρποφορία της επόμενης χρονιάς (Monselise and Goldschmidt, 1982). Επίσης η υγεία της κόμης υποβαθμίζεται ενώ παράλληλα δεν γίνεται αποτελεσματική αφομοίωση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης (Wood et al., 2003). Πράγματι το 2011 η ανθοφορία υπολείπονταν αυτής του 2010, όπως εκτιμήθηκε με τις φωτογραφικές κάμερες. Αλλά και τον τρίτο χρόνο (2012) στον κύριο πειραματικό οπωρώνα η παραγωγή ήταν ακόμη περισσότερο μειωμένη σε

σχέση με την προηγούμενη χρονιά που παρουσιάστηκε παρεννιαυτοφορία. Η εξήγηση αυτής της κατάστασης δίνεται παρακάτω. Το 2011 οι καιρικές συνθήκες ήταν σχετικά άσχημες στην άνθιση και αρχική ανάπτυξη καρπού (επόμενες της άνθισης εβδομάδες) με χαμηλές θερμοκρασίες και αρκετές βροχοπτώσεις που υποδηλώνουν συχνή νέφωση. Σύμφωνα και με τους Childers et al. (1995) όταν η σχετική υγρασία και οι βροχοπτώσεις είναι υψηλές και η θερμοκρασία του αέρα ίση ή μικρότερη των 15°C κατά την περίοδο της επικονίασης τότε τα έντομα που συμβάλουν στη μεταφορά της γύρης (κυρίως οι μέλισσες στους οπωρώνες των μήλων) από δέντρο σε δέντρο πετάνε λιγότερες φορές και σε μικρές αποστάσεις μακριά από τις φωλιές τους. Έτσι μειώνονται τα επικονιαζόμενα άνθη και μπορεί να έχουμε ανθόπτωση των αγονιμοποίητων ανθέων. Επίσης μετά την επικονίαση, η υψηλή σχετική υγρασία σε συνδυασμό με τις αυξημένες νεφώσεις και τις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (όπως συνέβη τον Απρίλιο και αρχές Μαΐου 2011 και 2012) καθυστερούν την ανάπτυξη του γυρεοσωλήνα με αποτέλεσμα την μη αποτελεσματική γονιμοποίηση των ωαρίων στις σπερμοβλάστες και τη μειωμένη καρπόδεση. Οι χαμηλές θερμοκρασίες τις επόμενες της άνθισης εβδομάδες επίσης καθυστερούν τις κυτταροδιαιρέσεις εντός των καρπιδίων μειώνοντας την παραγόμενη αυξίνη και αυξάνοντας την πτώση καρπιδίων αυτή την περίοδο. Οι δυσμενείς λοιπόν καιρικές συνθήκες τον Απρίλιο και νωρίς το Μάιο φαίνεται ότι μείωσαν την καρπόδεση τα έτη 2011 και 2012 σε σχέση με το 2010.

Αποτέλεσμα των ανωτέρω ήταν το 2011 η μειωμένη παραγωγή που με τη σειρά της προκάλεσε έντονη βλάστηση λόγω της δύναμης που διέθεταν τα δέντρα (λόγω έλλειψης 'καταναλωτών' φρούτων) αλλά και λόγω ανταγωνισμού των φυτών. Ο ανταγωνισμός αυτός οφείλονταν στον πολύ πυκνό φυτευτικό σύνδεσμο με αποτέλεσμα να αλληλοσκιάζονται τα δέντρα και να προκαλείται ανταγωνισμός με ζωηρή βλάστηση προς το φως. Η σκίαση όμως αυτή βρέθηκε να προκαλεί μείωση του πράσινου χρώματος (ζωηρότητας) των φύλλων με τις χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI το καλοκαίρι του 2011. Αυτό έχει τεκμηριωθεί από τη βιβλιογραφία καθώς σε περιπτώσεις σκίασης των δένδρων έχει βρεθεί ότι μειώνεται η περιεκτικότητα του αζώτου στα φύλλα και η αναλογία Chl a/ Chl b. Αυτό συμβαίνει γιατί αυξάνεται η Chl b με αποτέλεσμα να επηρεάζεται το πράσινο χρώμα των φύλλων καθώς αυτή έχει χρώμα κίτρινο (Hallik et al., 2012). Το 2012 πέραν των κακών καιρικών συνθηκών στην άνθιση και τις επόμενες εβδομάδες, η καρποφορία ήταν περιορισμένη και η

έντονη βλάστηση από νωρίς προκάλεσε σκίαση στην κόμη χωρίς όμως να μειώνεται ο δείκτης NDVI. Αξίζει να σημειωθεί πως η έντονη σκίαση των δένδρων μπορεί να προκαλέσει αύξηση του μήκους των κλαδιών και κατ' επέκταση της κόμης (Barden, 1977). Σε όλη αυτή την κατάσταση 'βοήθησε' και ο παραγωγός που, φοβούμενος την έντονη σκίαση, είχε κλαδέψει έντονα τα δέντρα ώστε να προκαλέσει ακόμα εντονότερη βλάστηση από αυτή που θα αναμένονταν και φυσικά περισσότερη σκίαση. Η λίπανση του οπωρώνα ήταν ελάχιστη το 2011 και 2012, γιατί τα δέντρα είχαν την τάση για βλαστομανία και περιορισμένη καρποφορία. Αποτέλεσμα ήταν τα δέντρα το 2011 να αναπτύξουν πολύ βλάστηση αλλά περιορισμένου πράσινου χρώματος το καλοκαίρι (χαμηλό NDVI) και το 2012 να αναπτύξουν πλούσια υγιή (έντονα πράσινη, πιο 'λαίμαργη') κόμη (υψηλό NDVI) παρότι ο αερισμός του οπωρώνα μειώθηκε και η σκίαση των δένδρων ήταν έντονη περισσότερο το 2012 από το 2011. Παρόμοιο πείραμα μέτρησης NDVI σε οπωρώνα μήλων δεν έχει περιγραφεί στη βιβλιογραφία και τα αποτελέσματα δεν μπορούν να συγκριθούν.

Μία ακόμη πιθανή εξήγηση των αποτελεσμάτων του δείκτη NDVI είναι ότι η σκίαση αλλάζει τη σχέση χλωροφύλλης α προς χλωροφύλλη β υπέρ της δεύτερης με αποτέλεσμα το φύλλο να φαίνεται λιγότερο πράσινο, καθώς η χλωροφύλλη α είναι το πιο πράσινο συστατικό του χλωροπλάστη (Hallik et al., 2012). Αυτό που είναι γνωστό στη βιβλιογραφία είναι ότι ο δείκτης NDVI συσχετίζεται θετικά με την περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο (Yin et al., 2010) και το δέντρο δύναται να απορροφήσει περισσότερο N τη χρονιά καρποφορίας από ότι τη χρονιά μειωμένης καρποφορίας. Έχοντας αυτή την πληροφορία σαν δεδομένο μπορεί να ειπωθεί ότι οι χαμηλές τιμές του δείκτη NDVI το 2011 (έτος παρενιαυτοφορίας) ίσως να οφείλονται στη μειωμένη περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο, που και αυτό σχετίζεται άμεσα και θετικά με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης σε συνθήκες επάρκειας φωτός. Το 2012 καθώς η μειωμένη καρποφορία δεν απαίτησε αρκετά θρεπτικά, τα δέντρα μπορούσαν να αποθηκεύσουν από το 2011 αρκετά θρεπτικά και N για τη βλάστηση του 2012 και τα δέντρα κλαδεύτηκαν έντονα το χειμώνα του 2012, είχαμε σαν αποτέλεσμα την έντονη βλαστική ανάπτυξη (βλαστομανία) χωρίς μείωση της ζωνρότητας της βλάστησης τους θερινούς μήνες (υψηλές τιμές δείκτη NDVI) του 2012.

Ο δεύτερος πιθανός λόγος μειωμένης καρποφορίας είναι η σημαντική έλλειψη διαθέσιμου καλίου στο έδαφος, καθώς η μεγαλύτερη ποσότητα που βρέθηκε ήταν 153 mg/kg, ενώ σύμφωνα με τον Κουκουλάκη (1995) το εύρος της περιεκτικότητας του

εδάφους σε διαθέσιμο κάλιο πρέπει να είναι μεταξύ 150 και 250 mg/kg. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως το κάλιο είναι πολύ σημαντικό συστατικό για τα δένδρα καθώς βοηθά στη φωτοσύνθεση, στη μεταφορά των σακχάρων, του νερού και των θρεπτικών μέσα στα δένδρα, ενώ συμβάλει επίσης στη σύνθεση των πρωτεϊνών (Osmond and Kang, 2008). Σε περίπτωση έλλειψης καλίου σε καλλιέργεια μήλων το περίγραμμα των φύλλων αποκτά καφέ χρώμα το οποίο στη συνέχεια γίνεται κοκκινωπό (Shear and Faust, 1980), ενώ το μέγεθος του καρπού, τα σάκχαρα και το χρώμα των καρπών υποβαθμίζονται (Tagliavini and Marangoni, 2002).

### Δείκτης βλάστησης NDVI

Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI έδειξαν ότι δεν υπάρχει μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα. Αυτό ίσως να οφείλεται στο μικρό εύρος τιμών που λαμβάνει ο δείκτης. Η σύγκριση της μέσης τιμής του δείκτη NDVI της άνω και μέσης κόμης έδειξε ότι σε κάθε μέτρηση η άνω κόμη είχε πάντα μεγαλύτερες τιμές από τη μέση κόμη. Αυτό είναι λογικό καθώς αυτή είναι πιο νέα της μέσης και πιο πράσινη αφού δε σκιάζεται από τα άλλα δέντρα και φωτοσυνθέτει εντονότερα. Ο δείκτης NDVI των δέντρων έδειξε ότι μπορεί να προβλέψει την παραλλακτικότητα της παραγωγής όταν αυτός μετράται σε κάποιες χρονικές στιγμές και αυτή η χρονική στιγμή φαίνεται ότι είναι ο Ιούνιος. Ειδικότερα, το έτος 2010 φάνηκε ότι η χαρτογράφηση αυτού του δείκτη κατά τις αρχές του καλοκαιριού μπορεί να προβλέψει την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής. Αντίθετα το έτος 2011 η χαρτογράφηση του δείκτη NDVI κατά τη διάρκεια όλου του καλοκαιριού μπορούσε να την προβλέψει, ενώ το 2012 μόνο οι μετρήσεις που έγιναν κατά τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο μπορούσαν να υποδείξουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα οι μετρήσεις του δείκτη NDVI της μέσης κόμης στις 8/6/2010, 9/6/2011 και 3/6/2012 είχαν μεγάλη συσχέτιση με την ετήσια παραγωγή του αντίστοιχου έτους ( $r_{2010} = 0.558$ ,  $r_{2011} = 0.810$  και  $r_{2012} = 0.521$ ), ενώ και τις τρεις χρονιές οι συσχετίσεις ήταν στατιστικώς σημαντικές για  $p = 0.01$ . Αυτό σημαίνει πως εάν οι παραγωγοί μετρήσουν τον δείκτη NDVI της μέσης κόμης των δέντρων κατά τις πρώτες ημέρες του Ιουνίου ίσως να μπορέσουν να προβλέψουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής εντός του οπωρώνα.



Έρευνες έχουν δείξει πως ο ρυθμός φωτοσύνθεσης των δένδρων μηλιάς είναι υψηλός κατά την άνθισή τους και μειώνεται σταδιακά μέχρι τον Ιούνιο ενώ από τον Ιούλιο ξανά αυξάνεται μέχρι τον Οκτώβριο (Fujii et al., 1985). Αυτό το γεγονός ίσως να μπορεί να εξηγήσει τη συσχέτιση παραγωγής και μετρήσεων NDVI στις αρχές Ιουνίου. Συγκεκριμένα επειδή τον Ιούλιο η φωτοσύνθεση είναι μειωμένη, η μέτρηση του δείκτη NDVI μπορεί να αναδείξει ποια δένδρα ήταν ζωνρά μέχρι την περίοδο της μέτρησης και συνεχίζουν να φωτοσυνθέτουν περισσότερο από τα υπόλοιπα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης δεν εξαρτάται μόνο από το δέντρο αλλά και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο ρυθμός φωτοσύνθεσης σε καλλιέργειες μήλων είναι ιδανικός σε θερμοκρασίες μέχρι 30 °C. Εάν η θερμοκρασία ξεπεράσει κατά πολύ αυτό το όριο τότε η φωτοσύνθεση μειώνεται ή μπορεί να σταματήσει λόγω καταστροφής των ενζύμων (Fan et al., 2009).

### Ποιοτικά χαρακτηριστικά

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και στους δύο οπωρώνες αποδείχτηκε ότι εμφανίζουν παραλλακτικότητα μεταξύ τους αλλά μικρή σχετικά με τις άλλες παραμέτρους όπως του εδάφους και υψομέτρου. Η παραλλακτικότητα στο δευτερεύοντα οπωρώνα ίσως να οφείλεται εν μέρει στη λίπανση με μεταβλητές δόσεις που εφαρμόστηκε τα δύο από τα τρία έτη. Στα τρία χρόνια του πειράματος στον κύριο οπωρώνα η μέση παραλλακτικότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών ήταν σχετικά υψηλή. Μεγαλύτερη παραλλακτικότητα εμφάνισε το βάρος των καρπών και η οξύτητα του χυμού (~ 15%). Λίγο μικρότερη διακύμανση παρουσιάστηκε στη σκληρότητα της σάρκας και στα διαλυτά στερεά συστατικά του χυμού. Τέλος τη μικρότερη παραλλακτικότητα την εμφάνισε το pH του χυμού (7%). Η σύγκριση των ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή έδειξε ότι υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους εκτός από το βάρος των καρπών. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της παραγωγής δεν οφείλονταν μόνο στην αύξηση του αριθμού των καρπών αλλά και στην αύξηση του βάρους κάθε μήλου. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξε η Αγγελοπούλου (2008). Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχουν άλλες έρευνες που να συγκρίνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά με την παραγωγή έτσι ώστε να γίνει μια αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί πως η συσχέτιση της οξύτητας του χυμού και των διαλυτών στερεών βρέθηκε ότι είναι θετική και τις τρεις

χρονιές. Το 2010 ο συντελεστής συσχέτισης ήταν  $r = 0.37$ , το 2011 ήταν  $r = 0.49$  και το 2012 ήταν  $r = 0.86$ . Αυτό σημαίνει πως όταν αυξάνονται τα σάκχαρα αυξάνεται και η περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Η συνύπαρξη γλυκιάς γεύσης λόγω των σακχάρων και ξινή γεύσης λόγω της οξύτητας του χυμού δίνουν την μοναδική γεύση και υψηλή οργανοληπτική ποιότητα στην ποικιλία Fuji.

### **Αυτοματοποίηση της πρόβλεψη παραγωγής**

Η τάση που επικρατεί στο γεωργικό τομέα είναι η πρόβλεψη της παραγωγής σε πρώιμο στάδιο. Σε αυτή την τάση στηρίχτηκε ένα κομμάτι της παρούσας εργασίας. Ειδικότερα αναλύθηκαν φωτογραφίες των δέντρων που φωτογραφήθηκαν την περίοδο της πλήρους άνθησης τους. Η ανάλυση των φωτογραφιών έδωσε το πλεονέκτημα για τη δημιουργία χαρτών που παρουσίαζαν την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας. Χρησιμοποιώντας την παραλλακτικότητα των ανθέων προβλέφθηκε η παραλλακτικότητα της παραγωγής ( $r = 0.58$  μέχρι  $r = 0.72$ ). Αξιίζει να σημειωθεί ότι η πρόβλεψη της παραγωγής έγινε το μήνα Απρίλιο, ενώ η συγκομιδή έγινε τον επόμενο Οκτώβριο. Γνωρίζοντας οι παραγωγοί την παραλλακτικότητα της παραγωγής από πολύ νωρίς μπορούν να προσαρμόσουν τις καλλιεργητικές εργασίες σύμφωνα με αυτή. Μέσα από τις προσαρμοσμένες καλλιεργητικές εργασίες ο παραγωγός μπορεί να μειώσει το κόστος παραγωγής αφού θα κάνει τις εφαρμογές στοχευμένα και όχι ομοιόμορφα χώρο-χρονικά. Παρόλα αυτά θα πρέπει να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι φωτογράφισης των δέντρων έτσι ώστε να εξαλειφθούν τα προβλήματα φωτισμού που παρουσιάστηκαν κατά τη διάρκεια των φωτογραφήσεων. Μια λύση ίσως θα ήταν η φωτογράφιση να γίνει κατά τη διάρκεια της νύχτας με τεχνητό φωτισμό σταθερής έντασης. Αυτό όμως δεν φαίνεται πρακτικό για εφαρμογή σε εμπορικούς οπωρώνες. Μια άλλη λύση για την καταγραφή της πυκνότητας ανθοφορία με την καταγραφή των ταξιανθιών είναι η βιντεοσκόπηση των δένδρων κατά την περίοδο της πλήρους άνθησης και η ανάλυση των καρτέ του βίντεο. Παρόλο που έγινε μια τέτοια προσπάθεια κατά το έτος 2012 οι αναταράξεις της βιντεοκάμερας λόγω βαδίσματος του χρήστη δεν επέτρεψαν την ανάλυση των ανθέων καθώς αυτά φαίνονται θολά.

Η μη ύπαρξη σταθερής παραλλακτικότητας της παραγωγής κατά τη διάρκεια των τριών χρόνων του πειράματος και η επιτυχημένη πρόβλεψη της

παραλλακτικότητας της παραγωγής σύμφωνα με την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας οδήγησε την έρευνα στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας. Η σύγκριση των ζωνών που δημιουργήθηκαν από την παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας με τις ζώνες που δημιουργήθηκαν με βάση την παραγωγή και για τα δύο χρόνια έδειξε ότι υπάρχει μεγάλη χωρική ομοιότητα μεταξύ αυτών. Το γεγονός αυτό ενισχύει τη χρήση ζωνών διαχείρισης στηριζόμενες στην παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας. Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει δημοσιευμένη παρόμοια έρευνα. Μέχρι τώρα ο διαχωρισμός των ζωνών διαχείρισης γινόταν με βάση την παραγωγή ενός αγρού (Blackmore et al., 2003; Diker et al., 2004; Ping and Dobermann, 2003; Dobermann et al., 2003; Jaynes et al., 2004; Xiang et al., 2007; Milne et al. 2011), με δεδομένα αναγλύφου που συλλέγονταν με τεχνολογία GPS (Lark and Stafford, 1997; Vitharana et al., 2007) ή με βάση τα εδαφολογικά στοιχεία που προέκυπταν από αναλύσεις των εδαφών (Qiang et al., 2009; Rodrigo et al., 2006; Davatgar et al. 2011; Zhong et al. 2008). Οι Yan et al. (2007) κατάφεραν να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης συνδυάζοντας δείκτη βλάστησης NDVI και εδαφολογικά χαρακτηριστικά, ενώ οι Tagarakis et al. (2012) για να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης σε έναν αμπελώνα χρησιμοποίησαν δεδομένα του δείκτη NDVI, παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και εδαφικών ιδιοτήτων. Τέλος πολλοί είναι αυτοί που δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους καθώς βρήκαν ότι αυτή συσχετίζεται με την παραγωγή σε διάφορες καλλιέργειες (Kitchen et al., 1999; Kitchen et al., 2003; Perry et al., 2007; Johnson et al., 2003; Yan et al. 2006; Morari et al., 2009; Sudduth et al., 1996; Fraisse et al., 2001b; Moral et al., 2010). Αυτό έρχεται σε αντιπαράθεση με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας καθώς βρέθηκε άλλοτε θετική και άλλοτε αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και παραγωγής μήλων υποδηλώνοντας πως η εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη μέθοδο που μετρήθηκε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Σε ανάλογα συμπεράσματα είχαν καταλήξει οι Moore and Walcott (2001) σε τετραετές πείραμα καλαμποκιού και σόγιας και οι Tucker et al. (2011) σε καλλιέργεια μήλων. Αυτοί έβρισκαν άλλοτε θετική και άλλοτε αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Επιπροσθέτως σε όμοια συμπεράσματα είχαν καταλήξει οι Kravchenko et al. (2003) οι οποίοι στην προσπάθειά τους να

δημιουργήσουν ένα μοντέλο εκτίμησης της παραγωγής σε καλλιέργεια καλαμποκιού και σόγιας διαπίστωσαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

## **Εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις**

### Παραγωγή

Η πρακτική εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας έγινε με τη μέθοδο της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις στον δευτερεύοντα οπωρώνα. Επειδή ο παραγωγός χρησιμοποιούσε σύνθετο λίπασμα ήταν αδύνατο να εφαρμοστεί λίπασμα σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών και για τα τρία στοιχεία. Οι δόσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα βασίστηκαν στην ποσότητα του άζωτου που απομακρύνθηκε με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς σύμφωνα με το IFA (1992). Αυτό το γεγονός στηρίχτηκε στη λογική ότι το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τα φυτά και συμβάλει στη βλάστηση των δέντρων και στην καρποφορία τους. Επειδή η κλίση του εδάφους ήταν αρκετή προστέθηκε 20% επιπλέον ποσότητα λιπάσματος επί της προτεινόμενης δόσης για να ληφθούν υπόψιν οι απώλειες λόγω έκπλυσης των θρεπτικών συστατικών (Driscoll et al., 2003). Επίσης, καθώς το έδαφος της περιοχής όπου υπήρχε ο οπωρώνας ήταν φτωχό σε κάλιο προστέθηκε επιπλέον 30% ποσότητα λιπάσματος επί της προτεινόμενης δόσης με σκοπό να καλυφθούν οι ανάγκες των φυτών σε κάλιο και να αυξηθεί η περιεκτικότητα του καλίου στο έδαφος. Συνολικά δηλαδή, σε κάθε εφαρμογή, προστέθηκαν 50% μεγαλύτερες ποσότητες λιπάσματος από τις πραγματικές ανάγκες των φυτών σε άζωτο και κάλιο. Αυτή η δοσολογία μπορεί να επιφέρει βελτίωση της παραγωγής αλλά και των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών. Το άζωτο μπορεί να βοηθήσει στην καρποφορία και στο σχηματισμό μεγαλύτερων καρπών (Shear and Faust, 1980; Hanson, 1996), ενώ το κάλιο μπορεί επίσης να αυξήσει το μέγεθος των καρπών, να βελτιώσει τα σάκχαρα του χυμού και να βελτιώσει το χρώμα του καρπού (Tagliavini and Marangoni, 2002).

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ ομοιόμορφης λίπανσης και λίπανσης με μεταβλητές δόσεις έδειξε πολύτιμα συμπεράσματα. Την πρώτη χρονιά που έγινε η

χαρτογράφηση της παραγωγής διαπιστώθηκε ότι η μέση παραγωγή των σειρών στις οποίες την επόμενη χρονιά έγινε εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης ήταν κατά 37% μειωμένη σε σχέση με τη μέση παραγωγή των άλλων σειρών χωρίς να μπορεί να εξηγηθεί αυτή η διαφορά. Αυτό παρατηρήθηκε και τις επόμενες χρονιές καθώς η συνολική παραγωγή στις περιοχές όπου έγινε εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις ήταν μειωμένη σε σχέση με τις άλλες περιοχές όπου έγινε ομοιόμορφη λίπανση. Το ποσοστό αυτής της μείωσης στα δύο χρόνια του πειράματος ήταν 18.1%. Παρόλα αυτά το ποσοστό μείωσης της παραγωγής (18.1%), στα δύο χρόνια που έγινε η μεταβλητή λίπανση, σε σχέση με την μείωση της παραγωγής που είχε παρουσιαστεί πριν την εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης (37%) είναι πολύ μικρό. Αυτό δείχνει πως η μέθοδος μεταβλητής λίπανσης μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή. Παρά τη μειωμένη παραγωγή στις περιπτώσεις της μεταβλητής λίπανσης το κέρδος του παραγωγού ήταν αυξημένο κατά 21% το 2011 με συνολική μείωση της ποσότητας του λιπάσματος κατά 32.4% σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή. Αντίστοιχα για το έτος 2012 το κέρδος του παραγωγού από την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις ήταν 9% ενώ η ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν μειωμένη κατά 56.6%. Και στις δύο χρονιές το μεγάλο κέρδος του παραγωγού οφείλεται στη μικρότερη ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε. Τη δεύτερη χρονιά παρά τη μεγάλη μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας λιπάσματος στις περιοχές όπου έγινε μεταβλητή λίπανση (56.6%) το κέρδος του παραγωγού (9%) ήταν μικρότερο σε σχέση με την πρώτη χρονιά εφαρμογής της μεταβλητής λίπανσης (32.4%). Αυτό συνέβη γιατί τη δεύτερη χρονιά η δόση του λιπάσματος που χρησιμοποίησε ο παραγωγός ήταν η μεγαλύτερη από όλες τις άλλες δόσεις που εφαρμόστηκαν στη μεταβλητή λίπανση. Αυτό συνετέλεσε στη μεγάλη αύξηση της παραγωγής στις περιοχές όπου εφαρμόστηκε αυτήν η δόση. Παρόλα αυτά το καθαρό κέρδος του παραγωγού ήταν μεγαλύτερο στις σειρές όπου εφαρμόστηκε μεταβλητή λίπανση. Αξίζει να σημειωθεί πως οι Aggelopoulou et al. (2010) μετά από θεωρητικούς υπολογισμούς κατέληξαν ότι με την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε οπωρώνα μήλων μπορεί να επιτευχθεί μείωση της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου λιπάσματος κατά 38% ενώ οι Khalilian et al. (2008) και Porter et al. (2010) κατέληξαν ότι μια τέτοια εφαρμογή στο βαμβάκι μπορεί να μειώσει την ποσότητα του λιπάσματος κατά 30%. Κατά τη δημιουργία των χαρτών εφαρμογής λιπάσματος δόθηκε μεγάλη έμφαση στους χάρτες παραγωγής των προηγούμενων χρόνων έτσι

ώστε να διερευνηθεί εάν υπάρχει παρεναιτοφορία στον οπωρώνα. Η παρατήρηση των χαρτών παραγωγής έδειξαν ότι δεν υπάρχει παρεναιτοφορία κατά τα τρία έτη του πειράματος. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι η ποικιλία Granny Smith δεν είναι επιρρεπής στην παρεναιτοφορία.

Τέλος η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις είναι πρακτικά δυνατό να γίνει σε οπωρώνες μήλων χωρίς τη χρήση ακριβών παρελκόμενων. Στη συγκεκριμένη εργασία η μεταβλητή λίπανση έγινε με μια βαθμονομημένη σέσουλα και η όλη εφαρμογή διήρκησε πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

### Ποιότητα καρπών

Η ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών στις περιοχές του δευτερεύοντα οπωρώνα όπου έγινε το πείραμα της λίπανσης έδειξε χρήσιμα συμπεράσματα. Στα δύο χρόνια του πειράματος, στις περιοχές όπου έγινε λίπανση με μεταβλητές δόσεις παρατηρήθηκε αύξηση της σκληρότητας του καρπών (5.7%), των διαλυτών στερεών συστατικών (16%), της οξύτητας του χυμού (13.3%) και του βάρους των καρπών (1.5%), ενώ παρέμεινε αμετάβλητο το pH του χυμού. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι καλύπτονταν οι ανάγκες των φυτών σε θρεπτικά συστατικά και δεν υπήρχε επάρκεια αυτών για τη δημιουργία πολλών βλαστών οι οποίοι θα λειτουργούσαν περιοριστικά (με τη σκίαση που θα προκαλούσαν) στην ποιότητα των μήλων. Από τα παραπάνω ποιοτικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν αυτά που παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της τιμής πώλησης των μήλων είναι η σκληρότητα της σάρκας, η οξύτητα και τα διαλυτά στερεά συστατικά - όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές αυτών, τόσο καλύτερη είναι η τιμή πώλησης. Άλλες αναφορές σχετικά με την ποιότητα των μήλων μετά από εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης δεν έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία για να γίνει ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων της έρευνας. Η χρήση αζωτούχου λιπάσματος σε καλλιέργεια μήλων είναι απαραίτητη καθώς τροφοπενίες αζώτου μπορεί να προκαλέσουν την ύπαρξη νεκροτικών φύλλων, μικρών καρπών και πρόωρη ωρίμανση των καρπών (Shear and Faust, 1980; Hanson, 1996). Επίσης θα πρέπει να γίνεται χρήση καλίου όταν η περιεκτικότητα του εδάφους σε αυτό είναι χαμηλή. Σε περιπτώσεις έλλειψης καλίου σε καλλιέργειας μήλων έχει παρατηρηθεί ότι το περίγραμμα των φύλλων αποκτά καφέ χρώμα το οποίο στη συνέχεια γίνεται

κοκκινωπό (Shear and Faust, 1980), ενώ το μέγεθος του καρπού, τα σάκχαρα και το χρώμα των καρπών υποβαθμίζονται (Tagliavini and Marangoni, 2002).

### **Πληροφορίες για τους παραγωγούς**

Από όσα ειπώθηκαν παραπάνω είναι εμφανές πως η πρακτική εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας σε οπωρώνες μήλων δεν είναι πολύ δύσκολη υπόθεση για να την εφαρμόσουν οι παραγωγοί. Αυτό στηρίζεται στο γεγονός πως οι μετρήσεις του δείκτη NDVI νωρίς το καλοκαίρι, η χαρτογράφηση της παραγωγής κατά τη συγκομιδή των μήλων και η εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης μπορούν να γίνουν χωρίς πολύ κόπο από τους παραγωγούς. Παρόλα αυτά η εφαρμογή γεωργίας ακριβείας προϋποθέτει κάποιες γνώσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα οι παραγωγοί θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις διάφορες παραμέτρους ακόμη και πριν την εγκατάσταση του οπωρώνα. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η τοποθεσία του οπωρώνα αλλά και η εδαφική σύσταση. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνει μελέτη πριν την εγκατάσταση του οπωρώνα καθώς και εδαφολογικές αναλύσεις για να βεβαιωθεί ο παραγωγός ότι το έδαφος είναι κατάλληλο για την εγκατάσταση του οπωρώνα. Έλλειψη κάποιου στοιχείου στο έδαφος μπορεί να μειώσει την παραγωγή των μήλων, οι διορθώσεις είναι απαραίτητες πριν την εγκατάσταση του νέου οπωρώνα, και θα πρέπει να γίνονται τακτικά εδαφικές αναλύσεις και μετά την εγκατάσταση του οπωρώνα και να διορθώνεται κάθε έλλειψη με ορθολογική λίπανση. Ακόμη οι αγρότες θα πρέπει να χαρτογραφούν την παραγωγή κάθε χρόνο για να γνωρίζουν τις περιοχές που δίνουν περισσότερη παραγωγή και έτσι θα μπορούν να γνωρίζουν πότε ο οπωρώνας παρениαυτοφορεί. Η γνώση αυτών των δύο πληροφοριών είναι πολύτιμη καθώς πάνω σε αυτή θα πρέπει να στηριχτεί η λίπανση του οπωρώνα. Επίσης με τη χαρτογράφηση του δείκτη NDVI των δέντρων στις αρχές Ιουνίου μπορεί ο παραγωγός να προβλέψει ικανοποιητικά την παραλλακτικότητα της παραγωγής. Η χαρτογράφηση μπορεί να γίνει πολύ εύκολα καθώς ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη έρευνα μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε όχημα. Τέλος η λίπανση με μεταβλητές δόσεις είναι πρακτικά εύκολο να γίνει με τα χέρια. Άλλωστε οι περισσότεροι δενδροκαλλιεργητές στην Ελλάδα ρίχνουν το λίπασμα με αυτό τον τρόπο. Από την εφαρμογή της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις ο παραγωγός θα έχει

κέρδος καθώς τόσο η παρούσα εργασία όσο και άλλες εργασίες έχουν καταλήξει στο ίδιο συμπέρασμα.

### **Πρόοδος στις γνώσεις του ανθρώπου και καινοτομίες από την παρούσα έρευνα**

Πριν την εκπόνηση της συγκεκριμένης έρευνας ήταν γνωστό από άλλες έρευνες πως η παραλλακτικότητα των χαρακτηριστικών σε έναν αγρό είναι μεγάλη τόσο χρονικά όσο και χωρικά (Gemtos et al., 2002; Aggeloroulou et al., 2009). Είχε αποδειχτεί επίσης πως με τη μέτρηση του αριθμού των ανθέων όταν τα δέντρα βρίσκονται σε πλήρη ανθοφορία οι παραγωγοί μπορούν να προβλέψουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής (Aggeloroulou et al. 2011). Επίσης η χρήση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους για την πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι αμφιλεγόμενη στη βιβλιογραφία καθώς άλλοι υποστηρίζουν ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ αυτής και της παραγωγής (Kitchen et al., 1999; Kitchen et al., 2003; Perry et al., 2007; Johnson et al., 2003; Yan et al. 2006; Morari et al., 2009; Sudduth et al., 1996; Fraisse et al., 2001b; Moral et al., 2010) και άλλοι υποστηρίζουν το αντίθετο (Moore and Walcott, 2001; Tucker et al., 2011; Kravchenko et al., 2003; Rysan and Sarec, 2008). Πειράματα με χρήση του δείκτη NDVI για την πρόβλεψη της παραγωγής δεν έχουν γίνει σε οπωρώνες μήλων καθώς επίσης και πρακτική εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Οι Aggeloroulou et al. (2010) είχαν δημιουργήσει χάρτες εφαρμογής λιπάσματος για την εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις και είχαν υπολογίσει θεωρητικά ότι η μείωση του λιπάσματος είναι της τάξης του 38% με τη μέθοδο αυτή.

Καθώς η έρευνα βοηθά την εξέλιξη της επιστήμης τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έχουν ενδιαφέρον από επιστημονικής άποψης.

Μέσα από την έρευνα αυτή φαίνεται πως διαμορφώνονται οι τιμές του δείκτη NDVI εντός του οπωρώνα με την πάροδο του χρόνου αλλά μπορεί επίσης να εξηγηθεί εάν ο οπωρώνας παρενιαυτοφορεί αλλά και πως επηρεάζεται από καλλιεργητικές πρακτικές (όπως το κλάδεμα και διαμόρφωση, πυκνότητα φύτευσης) και από κλιματικές συνθήκες ειδικότερα του θέρους. Μια επιπλέον νέα διαπίστωση είναι πως με τη μέτρηση της ευρωστίας της μέσης κόμης των δέντρων στις αρχές Ιουνίου μπορεί να προβλεφθεί ικανοποιητικά η τελική παραγωγή. Ανάλογο πείραμα δεν υπάρχει στη βιβλιογραφία και θα πρέπει να υπάρξουν και άλλα στο μέλλον για



την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Επιπροσθέτως περιγράφεται στην εργασία μια μέθοδος καταγραφής των ανθέων των δέντρων χρησιμοποιώντας μια απλή εμπορική φωτογραφική μηχανή και ένα λογισμικό το οποίο είναι διαθέσιμο δωρεάν στο διαδίκτυο. Αυτό επιτρέπει στους ίδιους τους παραγωγούς να κάνουν χαρτογράφηση ανθέων καθώς η ανάλυση των εικόνων είναι εύκολη υπόθεση. Επίσης η χρήση πολυφασματικής κάμερας για την καταγραφή των ανθέων είναι κάτι καινούργιο για την επιστήμη της γεωπονίας όπως επίσης και η δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση την παραλλακτικότητα τους. Ακόμη η συγκεκριμένη μελέτη δεν υποστηρίζει τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως υποστηρίζουν άλλες έρευνες στη βιβλιογραφία. Τέλος με την πρακτική εφαρμογή της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις επιβεβαιώνονται οι θεωρητικοί υπολογισμοί των Aggeloroulou et al. (2010) σχετικά με τη μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας λιπάσματος. Παράλληλα αποδεικνύεται ότι η εφαρμογή μεταβλητής δόσης λιπάσματος σε οπωρώνες μπορεί να μειώσει την τελική παραγωγή των μήλων αλλά και να βελτιώσει την ποιότητα των καρπών. Επειδή δεν υπάρχουν σχετικές έρευνες πάνω στο θέμα της μεταβλητής λίπανσης θα πρέπει να γίνουν περισσότερα πειράματα για την διασφάλιση των αποτελεσμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τους στόχους της έρευνας τα κυριότερα συμπεράσματα μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα:

**Στόχος 1:** Ανάλυση χρονικής και χωρικής παραλλακτικότητας.

- Παρόλο που η έκταση του κύριου οπωρώνα ήταν μικρή, η παραλλακτικότητα των διαφόρων χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν ήταν μεγάλη.
- Η παραλλακτικότητα της παραγωγής δεν είναι σταθερή στο χρόνο αλλά αλλάζει από χρόνο σε χρόνο.
- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, εκτός του βάρους των καρπών, εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με την ποσότητα της παραγωγής.
- Ο δείκτης βλάστησης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο για την πρόβλεψη της παραγωγής. Συγκεκριμένα αυτή η χρονική στιγμή είναι τις πρώτες ημέρες του Ιουνίου και αφορά τη μέτρηση της ευρωστίας της μέσης κόμης των δέντρων.
- Η παραλλακτικότητα των ανθέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για το διαχωρισμό των ζωνών διαχείρισης σε οπωρώνες μήλων.
- Η ηλεκτρική αγωγιμότητα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης.

**Στόχος 2:** Εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις.

- Είναι δύσκολη η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις σε οπωρώνες κυρίως όπου η φύτευση είναι πυκνή.

- Με την εφαρμογή της λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να γίνει μια σημαντική μείωση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας του λιπάσματος. Συγκεκριμένα τον 1<sup>ο</sup> χρόνο της εφαρμογής μεταβλητής λίπανσης η ποσότητα λιπάσματος που χρησιμοποιήθηκε ήταν κατά 32.4% μειωμένη σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή του λιπάσματος, ενώ τον 2<sup>ο</sup> χρόνο μειώθηκε κατά 56.6%.
- Η εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης μπορεί να αυξήσει το καθαρό κέρδος του παραγωγού. Ειδικότερα τον 1<sup>ο</sup> χρόνο εφαρμογής λίπανσης με μεταβλητές δόσεις το κέρδος του παραγωγού αυξήθηκε κατά 21% σε σχέση με το κέρδος που προήλθε από την ομοιόμορφη εφαρμογή ενώ τον 2<sup>ο</sup> χρόνο η αύξηση του κέρδους ήταν 9%.
- Η εφαρμογή λίπανσης με μεταβλητές δόσεις μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των καρπών αλλά και να βελτιώσει αισθητά την παραγωγή.

### **Στόχος 3:** Αυτοματοποίηση της πρόβλεψης παραγωγής.

- Η παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας μπορεί να χαρτογραφηθεί με πολυφασματική κάμερα και με απλή φωτογραφική μηχανή χρησιμοποιώντας εύκολα ως προς τη χρήση τους λογισμικά.
- Η παραλλακτικότητα της πυκνότητας ανθοφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της παραλλακτικότητας της τελικής παραγωγής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη της παραλλακτικότητας της παραγωγής, των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων και των εδαφικών ιδιοτήτων με σκοπό την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας δημιουργώντας ζώνες διαχείρισης ώστε να μπορούν να παραχθούν χάρτες εφαρμογής εισροών. Το τελικό στάδιο της γεωργίας ακριβείας επετεύχθη στη συγκεκριμένη έρευνα με την εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις. Παρόλα αυτά η γεωργία ακριβείας είναι ακόμη κάτι καινούργιο για τα ελληνικά δεδομένα ενώ όσοι παραγωγοί γνωρίζουν τι είναι θεωρούν αδύνατο να εφαρμοστεί στην Ελλάδα. Η επιστήμονες που ασχολούνται με την έρευνα πάνω στη γεωργία ακριβείας θα πρέπει να συνεχίσουν τα πειράματα στον ελλαδικό χώρο για να αποδειχτεί ότι η εφαρμογή της έχει θετικά αποτελέσματα για τους έλληνες παραγωγούς. Έτσι και το συγκεκριμένο πείραμα θα πρέπει να συνεχιστεί τα επόμενα χρόνια για την εξαγωγή επιβεβαιωμένων αποτελεσμάτων. Αναγνωρίζοντας τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την διάρκεια των τριών χρόνων της έρευνας παρακάτω προτείνονται κάποιες ιδέες για την επέκταση της έρευνας.

- Συνέχιση της χαρτογράφησης της παραγωγής στους ίδιους οπωρώνες αλλά και σε άλλους οπωρώνες και ανάπτυξη μεθόδων για καλύτερη χαρτογράφηση της παραγωγής.
- Αυτοματοποίηση της χαρτογράφησης της παραγωγής χρησιμοποιώντας αυτόματα συστήματα καταγραφής του βάρους των τελάρων και της γεωγραφικής θέσης τους. Αυτό είναι σχετικά δύσκολο να εφαρμοστεί σε εμπορικό οπωρώνα όπου ο παραγωγός και οι εργάτες προσπαθούν να τελειώσουν τη συγκομιδή όσο πιο γρήγορα γίνεται λόγω των μη καλών καιρικών συνθηκών που επικρατούν συνήθως την περίοδο της συγκομιδής.
- Ανάπτυξη νέων μεθόδων για τη χαρτογράφηση του πλήθους των ανθέων ή βελτίωση της υπάρχουσας μεθόδου. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία επιδέχεται τροποποιήσεις καθώς ένα μέρος των φωτογραφιών που ελήφθησαν δεν χρησιμοποιήθηκαν στη στατιστική επεξεργασία επειδή υπήρχαν προβλήματα με τη φωτεινότητα των εικόνων. Η λήψη φωτογραφιών κατά τη διάρκεια της νύχτας με τεχνητό φως σταθερής έντασης ίσως είναι μια λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα.
- Χρήση δορυφορικών εικόνων για τη μελέτη διαφόρων χαρακτηριστικών των φυτών όπως ο δείκτης NDVI. Το αρνητικό σε αυτό το εγχείρημα είναι ότι το κόστος των δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης είναι υψηλό. Καλό θα είναι να δοκιμασθούν και άλλοι δείκτες βλάστησης για αποδειχτεί εάν αυτοί είναι ικανοί να προβλέψουν την παραλλακτικότητα της παραγωγής σε πρώιμο στάδιο της καλλιεργητικής περιόδου.

- Μακροχρόνια εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις για να διαπιστωθεί τι αποτελέσματα έχουν οι μεταβλητές δόσεις στα χαρακτηριστικά του εδάφους. Επίσης εφαρμογές μεταβλητών δόσεων μπορούν να γίνουν και με το αρδευτικό νερό. Θα πρέπει όμως να διαπιστώνεται σε κάθε περίπτωση το επίπεδο του 'στρες' των φυτών καταγράφοντας τον δείκτη NDVI των δένδρων.
- Στη σημερινή εποχή αν και αναπτύσσονται συστήματα υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support System) θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα νέο σύστημα για οπωρώνες μήλων που να καταγράφει όλα τα δεδομένα των μετρήσεων και να προτείνει στον παραγωγό την καλύτερη μέθοδο διαχείρισης του οπωρώνα.
- Να εξετασθεί στα επόμενα χρόνια η συμπεριφορά του δείκτη NDVI σε περιπτώσεις όπου ένας οπωρώνας παρενιαυτοφορεί αλλά και σε ειδικές περιπτώσεις όπου στον οπωρώνα παρατηρείται έλλειψη ή περίσσεια νερού.
- Ανάπτυξη νέων μεθόδων διαχωρισμού ζωνών διαχείρισης εντός των οπωρώνων.

## ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abbott, L.T. and Argenati, C.D. 1995. GIS: a new component of public services. *The Journal of Academic Librarianship*, pp. 251-256.

Aggelopoulou, K., Wulfsohn, D., Fountas, S., Gemtos, T., Nanos, G., and Blackmore, S. 2009. Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. *Precision Agriculture*, 11: 538-556.

Aggelopoulou, K., Pateras, D., Fountas, S., Gemtos, T., Nanos, G. 2010. Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. *Precision Agriculture*. 12: 118–129.

Aggelopoulou, K., Bochtis, D., Fountas, S., Swain, K., Gemtos, T., Nanos, G. 2011. Yield prediction in apple orchards based on image processing. *Precision Agriculture*, 12: 448-456.

Aimrun, W.M., Amin, S.M., Ezrin M. H., and Mastura M. 2011. Paddy soil properties and yield characteristics based on apparent electrical conductivity zone delineation for a humid tropical rice farm. *African Journal of Agricultural Research*, 6(23): 5339-5350.

Alchanatis, V., Ostrovsky, V., and Levi, O. 2007. Detection of green apples in hyperspectral images of apple-tree foliage using machine vision. *Transactions of the ASABE*, 50(6): 2303-2313.

Amiri, F., Tabatabaie, T. 2009. Operational monitoring of vegetative cover by remote sensing in semi-arid lands of Iran. 7<sup>th</sup> FIG regional conference spatial data serv. People.

Annamalai, P and Lee, W.S. 2003. Citrus yield mapping system using machine vision. ASAE paper number 031002.

Asrar, G. 1989. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*, New York, USA, John Wiley and Sons.

Bae, Y.H., Borglet, S.C., Searcy, S.W., Schueller, J.K., and Stout, B.A. 1987. Determination of spatially variable yield maps. ASAE Paper No. 87-1533. St. Joseph, Michigan: ASAE.

Baerdemaeker, J., Delcroix, R. and Lindemans, P. 1985. Monitoring the grain flow on combines. *Proceedings of Agrimation I*. Chicago. February 25-28. pp. 329-338.

Bajgiran, P.R., Darvishsefat, A., Khalili, A., Makhdoum, M. 2008. Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring I the NW of Iran. *Journal of arid environments* 72: 1086-1096.

Barden J.A. 1977. Apple tree growth, net photosynthesis, dark respiration and specific leaf weight as affected by continuous and intermittent shade. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 102: 391-394.

Barnes, E.M., Sudduth, K.A., Hummel, J.W., Lesch, S.M., Corwin, D.L., Yang, C., Daughtry, C.S.T., Bausch, W.C. 2003. Remote and Ground Based Sens or Techniques to Map Soil Properties. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6): 619-630.

Bauer, M.E. 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. *Advances in Agronomy* 27: 271-304.

Bell, P., Boquet, D., Millhollon, E., Moore, S., Ebelhar, W., Mitchell, C., Varco, J., Funderburg, E., Kennedy, C., Breitenbeck, G., Craig, C., Holman, M., Baker, W., McConnell, J. 2003. Relationships between leaf-blade nitrogen and relative seed cotton yields. *Crop Science*, 43: 1367–1374.

Birrell, S.J. and Borgelt, S.C. 1995. Crop yield mapping: comparison of yield monitors and mapping techniques. p 15-3 1. In: P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson (ed.). *Site-specific management for agricultural systems*. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA

Blackmore S., Godwin R.J., Fountas S. 2003. The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering* 84(4): 455-466.

Boydell, B. and McBratne, A.B. 1999. Identifying potential withinfield management zones from cotton yield estimates. p. 331 In *Proceedings of 2<sup>nd</sup> European Conference of Precision Agriculture*, 11-15 July 1999. SCI, London, pp. 331-341.

Bulanon, D.M., Kataoka, T., Ota, Y. and Hiroma, T. (2002). A segmentation algorithm for the automatic recognition of fuji apples. *Biosystems Engineering*, 83: 405–412.

Childers, N.F., Morris, J.R. and Sibbett, G.S. 1995. *Modern Fruit Science Horticultural Publications*, Gainesville, Florida, Chapter VI.

Chinchuluun, R. and Lee, W.S. 2006. Citrus yield mapping system in natural outdoor scenes using the watershed transform. Paper No. 063010, ASABE. St. Joseph,

Michigan, USA.

Colvin, T.S. 1990. Automated weighing and moisture sampling for a field-plot combine. *Applied Engineering in Agriculture* 6(6): 713-714.

Corwin, D.L., Lesch, S.M., Shouse, P.J., Soppe, R., Ayars, J.E. 2003. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Journal of Agronomy*, 95(2): 352–364.

Corwin, D.L., Lesch, S.M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*. 46: 11–43.

Cupertino Da Silva, M., De Carvalho Pinto, F., De Queiroz, D.M., Alves, E.A., Navas, L.M., Gracia, G.J. 2006. Correlation between vegetation indices and nitrogen leaf content and dry matter production in *Brachiaria decumbens*. *Image analysis for agricultural products and processes*.

Cyr, L., Bonn, F., Pesant, A. 1995 Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological modeling*, 79: 277-285.

Dalezios, N., Domenikiotis, R., Loukas, A., Tziortzios, S. and Kalaitzidis, C. 2001. Cotton yield estimation based on NOAA/AVHRR produced NDVI. *Physics and Chemistry of Earth*, 26: 247-251.

Dalezios N., Loukas, A., Bampzelis, D. 2002. Assessment of NDVI and agrometeorological indices for major crops in central Greece. *Physics and chemistry of earth*, 27: 1025-1029.

Dangermond, J. 1983. A classification of software components commonly used in geographic information systems. *Design and Implementation of Computer-Based Geographic Information Systems*, ed. D. J. Peuquet and J. O'Callaghan, pp. 70-91.

Dash, J., Curran, P.J. 2007. Relationship between the Meris Vegetation Indices and crop yield for the state of South Dakota, USA. *Proceedings of Envisat Symposium, Switzerland*, 23-27 April 2007.

Davatgar, N., Neishabouri, M., Sepaskhah, A. 2012. Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, 173: 111-118.

Diker K., Heermann D.F., Brodahl M.K. 2004. Frequency analysis of yield for delineating yield management zones. *Precision Agriculture* 5: 435-444.



Discrol, C., Whittall, D., Aber, J., Boyer, E., Castro, M., Cronan, C., Goodale, C., Hopkinson, C., Lambert, K.F., Lawrence, G., Ollinger, S. 2003. Nitrogen pollution. From the sources to the sea. Hubbard Brook Research Foundation. Science Links, 1(2).

Dobermann, A., Ping, J.L., Adamchuk, V.I., Simbahan, G.C. and Ferguson, R.B. 2003. Classification of crop yield variability in irrigated production fields. *Agronomy Journal* 95: 1105–1120

Doerge T., Kitchen, N.R. and Land, E.D. 2007. Soil Electrical Conductivity Mapping. Potash & Phosphate Institute.

Domsch, H., Giebel, A. 2004. Estimation of soil textural features from soil electrical conductivity recorded using the EM38. *Precision Agriculture* 5: 389–409.

Eigenberg, R.A., Doran, J.W., Nienaber, J.A., Ferguson, R.B., Woodbury, B.L. 2002. Electrical conductivity monitoring of soil condition and available N with animal manure and a cover crop. *Agricultural Ecosystem and Environment*. 88: 183–193.

Ehsani M.R., Durairaj, C.D., Woods, S. and Sullivan, M. 2005. Potential Application of Electrical Conductivity (EC) Map for Variable Rate Seeding. *Agricultural Engineering International: Manuscript IT 05 006*. Vol. VII.

Ehsani, R., Schuman, A., Salyani, M. 2009. Variable rate application for Florida citrus. University of Florida. Agricultural and Biological Engineering Department. AE444.

Escola, A., Rosell-Polo, J.R., Planas, S., Gil, E., Pomar, F., Camp, F., Llorens, J., Solanelles, F. 2013. Variable rate sprayer. Part 1- Orchard prototype: Design, implementation and validation. *Computers and Electronics in Agriculture*. In Press, Corrected Proof.

Fan, P.G., Li, L.S., Duan, W., Li, W.D., Li, S.H. 2009. Photosynthesis of young apple trees in response to low sink demand under different air temperatures. *Tree Physiology*, 30: 313-325.

Fleming, L., Westfall, D.G., Wiens, D.W. and Brodah, M.C. 2000. Evaluating farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture*. 2:201-215.

Fleming, K.L., Heermann, D.F., Westfall, D.G. 2004. Evaluating soil color with farmer input and apparent soil electrical conductivity for management zone delineation. *Agronomy Journal*, 96: 1581–1587.

Fountas, S., Aggelopoulou, K., Bouloulis, C., Nanos, G., Wulfsohn, D., Gemtos, T., Paraskevopoulos, A., Galanis, M. 2011. Site-specific management in an olive tree plantation. *Precision agriculture*, 12(2): 179-195.

Fraisse, C.W., Sudduth, A. and Kitchen, N.R. 2001 a. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. *Transactions of the ASAE*, 44(1): 155-166.

Fraisse, C.W., Sudduth, A. and Kitchen, N.R. 2001b. Calibration of the maze model for simulating site-specific crop development and yield at clay pan soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4): 547-556.

Fridgen, I., Kitchen, N.K., Sudduth, A., Drummond, S.T., Wiebold, W.J., Fraisse, C.W. 2005. Management Zone Analyst (MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agronomy Journal*, 96: 100-108.

Fujii, J.A., Kennedy, R.A. 1985. Seasonal changes in the photosynthetic rate in apple trees. *Plant Physiology*, 78: 519-524.

Garcia, F., Sankaran, S., Maja, J., Lee, W., Rasmussen, J., Ehsani, R. 2013. Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing infected citrus trees. *Computers and Electronics in agriculture*, 91: 106-115.

Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore, S., Greipentrog, H.W. 2002. Precision farming experience in Europe and the Greek potential. *HAICTA Conference*, Athens, June 2002.

Genc, H., Genc, L., Turhan, H., Smith, S., Nation, L. 2008. Vegetation indices as indicators of damage by the sunn pest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat. *African Journal of biotechnology*, 7: 173-180.

Gilbert, M.A., Gandia, S., and Melia, J. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. *Remote sensing of environment*, 55: 11-20.

Gleason, S. and Gebre – Egziabher, D. 2009. *GNSS Applications and Methods*. Artech House, Norwood, pp.1 – 528.

Green, K. 1999. Development of the spatial domain in resource management. In Morain, S. (eds). GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation. On Word Press, Santa Fe, NM, pp. 5-15.

Grisso, R.B., Alley, M., Holschouser, D., Thomason, W. 2009. Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia State University.

Guo, W.S., Maas, J., Bronson, K.F. 2012. Relationship between cotton yield and soil electrical conductivity, topography, and Landsat imagery. Precision Agriculture, 13 (6): 678-692.

Gvili, M. 1998. Cotton yield sensor produces yield maps. In Proceedings of Beltwide Cotton Conference, Memphis, pp. 1655-1657.

Hallik L., Niinemets U., and Kull O. 2012. Photosynthetic acclimation to light in woody and herbaceous species: a comparison of leaf structure, pigment content and chlorophyll fluorescence characteristics measured in the field. Plant Biology 14(1):88-99.

Hamilton, R.M. 2003. Remote Sensing and GIS studies on the Spatial Distribution and management of Japanese Beetle Adults and Grubs. PhD. dissertation, Purdue University, West Lafayette, IN.

Hanlon, E.A. 1993. Soil pH and Electrical Conductivity: A County Extension Soil Laboratory Manual. University of Florida

Hatfield, J.L., Pinter, J. 1993. Remote sensing for crop protection. Crop Protection, 12(6): 403-413.

Hein, G.W., Godet, J., Issler, J.L., Martin, J.C., Erhard, P., Lucas-Rodriguez, R., Pratt, T. 2003. Galileo frequency & signal design, GPS World, 14(6): 30 - 37.

Hickman, M., Everitt, V., Escobar, D., Richardson, A. 1991. Aerial photography and videography for detecting and mapping Dicamba injury patterns, Weed Technology, 5(4): 700-706.

IFA. 1992. International Fertilizer Association. World Fertilizer Use Manual. Available at <http://www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/World-Fertilizer-Use-Manual/by-common-names>, [Accessed date: September 2012].

Janick, J., Cummins, J.N., Brown, S.K. and Hemmat, M. 1996. Apples. In Fruit Breeding, Vol.1. Tree and Tropical Fruits, ed. J. Janick and J.N.Moore, pp. 1-97.

Jaynes, D.B., Kaspar, T.C., Colvin, T.S., James, D.E. 2003. Cluster analysis of spatiotemporal corn yield patterns in an Iowa field. *Agronomy Journal*, 95: 574–586.

Jayroe, C., Baker, W.H., Greenwalt, A. and Bell, G. 2003. Evaluating the Effects of Soil Variability on Rice and Soybean Production with Veris ECa Mapping. B.R. Wells Rice Research Studies

Johnson, C.K., Mortensen, D.A. Wienhold, B.J. Shanahan, J.F. and Doran, J.W. 2002. Soil Electrical Conductivity Classification: A Basis for Site-Specific Management In Semiarid Cropping Systems. Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference, Denver, Colorado, March 5-6, 2002, ed. Alan J. Schlegel.

Johnson, C.K., Eskridge, K.M., Wienhold, B.J., Doran, J.W., Peterson, G.A., Buchleiter, G.W. 2003. Using electrical conductivity classification and within-field variability to design field-scale research. *Agron. J.* 95: 602–613.

Juniper B.E., Robinson J., Harris S.A. and Watkins R. 2001. Origin of the apple (*Malus domestica* Borkh.). In *Encyclopedia of Genetics*, ed. E.C.R. Reeve, pp 674-677 London: Fitzroy Dearborn.

Jung, W.K., Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Kremer, R.J., Motavalli, P.P. 2005. Relationship of apparent soil electrical conductivity to claypan soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 69(3): 883–892.

Khalilian, A., Henderson, W., Han, Y. and Wiatrak, P.J. 2008. Improving nitrogen use efficiency through optical sensing. In: M. Huffman and D. Richter (eds) Proceedings of the 2008 Beltwide Cotton Conference, Nashville, TN, National Cotton Council, Memphis, TN, USA.

Kim, Y., Glenn, D., Park, J., Ngugi, H., Lehman, B. 2011. Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees. *Computers and Electronics in agriculture*, 77: 155-160.

Kitchen, N.R., Sudduth, K.A. and Drummond, S.T. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. *Journal of Production Agriculture*, 12: 607-617.

Kitchen, N.R., Drummond, S.T., Lund, E.D., Sudduth, K.A. and Buchleiter, G.W. 2003. Soil electrical conductivity and topography related to yield for three contrasting soil-crop systems. *Agronomy Journal*, 95: 483-495.

Kitchen, N.R., Sudduth, K.A., Myers, D.B., Drummond, S.T., Hong, S.Y. 2005. Delineating productivity zones of claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computer and Electronics in Agriculture* 46: 285–308.

Kravchenko, A.N. and Bullock, D.G. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy Journal* 92: 75-83.

Kurtulus ,C., Canbay, M., Demir, N., Gider, D. 2009. Salinity investigation of the region east to the Izmit Gulf in Izmit Kocaeli, *Journal of Food and Agricultural Environment*, 7(2): 755-758.

Lakso, A.N. and Robinson, T.L. 1997. Principles of orchard systems management optimizing supply, demand and partitioning in apple trees. *Acta Horticulturae*, 451: 405–415.

Lark, R.M. and Stafford, J.Y. 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Annals of Applied Biology*, 130: 111-121.

Lesch, S.M., Corwin, D.L., Robinson, D.A. 2005. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture* 46: 351–378.

Li, Y., Shi, Z., Wang, R.C., Makeshin, F. 2008. Delineation of site-specific management zones based on temporal and spatial variability of soil electrical conductivity. *Pedosphere*, 17(2):156–164.

Liebholt, A.M., Rossi, R.E. and Kemp, W.P. 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annals of Entomology*. 38: 303-327.

Lillesand, T., Kiefer, R.W. 1987. *Remote Sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York, pp. 427-524.

Lillesand, T., Kiefer, R.W. 1994. *Remote Sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York.

Lillesand, T., Kiefer, R.W. 2004. *Remote Sensing and image interpretation*. John Wiley and Sons, New York.

Liu, W., Gao, W., Geo, Z., Wang, X. 2006. Correlation analysis between the biomass of oasis ecosystem and the vegetation index at Fukang. *Remote sensing and modeling of ecosystems for sustainability III*.

Llorens, J., Gil, E., Llop, J., Escolà, A. 2010. Variable rate dosing in precision viticulture: Use of electronic devices to improve application efficiency. *Crop Protection* 29:239–248.

Long, D.S., Carlson, G.R. and DeGloria, S.D. 1994. Quality offield management maps. In proceeding of 2<sup>nd</sup> international conference of Site-specific management for agricultural systems. Minneapolis, pp. 251-271.

Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., Garcia-Torres, L. 2004. Leafnutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal Agronomy* 21: 209-222.

Luedeling, E., Hale, A., Zhang, M., Bentley, W., Dharmasri, C. 2009. Remote sensing of spider mite damage in California peach orchards. *International Journal of applied earth observation and geoinformation*, 11: 244-255.

Lutz, M. 1995. Making GIS a part of library service. *Information Technology and Libraries*, pp.77-78.

Marino, B., Geissler, P., O'Connell, B., Dieter, N., Burgess, T., Roberts, C., Lunine, J. 1999. Multispectral imaging of vegetation at Biosphere 2. *Ecological Engineering*, 13: 321-331.

Markinos, A., Gemtos, T., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G. 2002. Yield Mapping of Cotton crop in Greece. In: Proceedings of the 1<sup>st</sup> HAICTA Conference, Athens, 6-7 June 2002, pp. 56-62.

Markinos, A., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G. and Gemtos, T. 2003. A precision farming application in cotton in the small farms of Greece. Presented in 4th European Conference of Precision Agriculture, Berlin, Germany, 15-19 June 2003

Markinos, A., Gemtos, T., Pateras, D., Toullos, L., Zerva, G. and Papaeconomou, M. 2004. The influence of cotton variety in the calibration factor of a cotton yield monitor, 2nd HAICTA conference, Thessaloniki, Greece, 18-20 March 2004, (2): 65-74.

Martin, F.N., Bollero, G. and Bullock, D. 2005. Association between field characteristics and soybean plant performance using canonical correlation analysis. *Plant and Soil*, 273: 39–55.

Marquina, P., Venturini, M.E., Oria, R. and Nequerela, A.I. 2004. Monitoring colour evolution during maturity in Fuji apples. *Food Science and Technology International*, 10: 315–321.

Mertens, F.M., Potzold, S., Welp, G. 2008. Spatial heterogeneity of soil properties and its mapping with apparent electrical conductivity. *Journal of Plant Nutrition And Soil Science*. 171: 146–154.

Miller, W.M. and Whitney, J.D. 1999. Evaluation of weighing systems for citrus yield monitoring. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(6): 609-614.

Milne, A., Webster, R., Ginsburg, D., Kindred, D. 2012. Spatial multivariate classification of an arable field into compact management zones based on past crop yields. *Computers and Electronics in Agriculture*.80: 17-30.

Monselise, S.P., Goldschmidt, E.E. 1982. Alternate bearing in fruit trees. *Horticultural reviews*, pp. 128- 173.

Moore, S.H. and Walcott, M.C. 2001. “Mapping and interpreting electrical conductivity in production fields. *Louisiana Agriculture*, 44(3): 25–27.

Moral, F.J., Terrón, J.M., Silva, J.R.M. 2010. Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil & Tillage Research* 106: 335-343.

Morari, F., Castrignanò, A., Pagliarin, C. 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 68: 97-107

Morgan, M., Ess, D. 1997. *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. Edited by J.E. Kuhar. Published by John Deere.

Nageswara Rao, P.P., Ravishankar, H.M., Uday Raj, K.N. 2004. Production estimation of horticultural crops using IRS data. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 32: 393–398.

Noack, P.O., Muhr, T. 2008. *Integrated Controls for Agricultural Applications – GNSS Enabling a New Level in Precision Farming*. 1st International Conference on Machine Control & Guidance.

O’Connell, M., Whitfield, D., Mohammad, A., Kathryn, S., Lexie, M., Andy, M. 2009. Satellite remote sensing of crop water use in perennial horticultural crops.

Osmond, D.L., Kang, J. 2008. *Soil facts. Nutrient removal by crops in North Carolina*. North Carolina cooperative and extensions service.

Panda, S.S., Hoogenboom, G.J.P. 2009. Distinguishing blueberry bushes from mixed vegetation land-use using high resolution satellite imagery and geospatial techniques. *Computers and Electronics in Agriculture* 67: 51–59.

Perez-Munoz, F. and Colvin, T.S. 1996. Continuous grain yield monitoring. *Transactions of the ASAE* 39(3): 775-783.

Perry, E., Davenport, J. 2007. Spectral and spatial differences in response of vegetation indices to nitrogen treatments on apple. *Computers and Electronics in agriculture*, 59: 56-65.

Perry, C.D., Sullivan, D.G., Rucker, K.S., Vellidis, G. 2007. Developing Nematode Management Zones Using Soil EC Data. ASAE Paper N. 071002.

Ping, J.L. and Dobermann, A. 2003. Creating spatially contiguous yield classes for site-specific management. *Agronomy Journal* 95: 1121–1131.

Porter, W.M., Khalilian, A., Henderson, W., Han, Y. 2010. Sensor-based site-specific nitrogen management in cotton. In: M. Huffman and D. Richter (eds) *Proceedings of the 2010 Beltwide Cotton Conference*, New Orleans, LA, National Cotton Council, Memphis, TN, USA, pp. 518-23.

Qiang, L., Baoshan, C. and Zhifeng, Y. 2009 Dynamics of the soil water and solute in the sodic saline soil in the Songnen Plain, China. *Environmental Earth Science* 59:837–845.

Revil, A.L., Cathles, M., Losh, S. and Nunn, J.A. 1998. Electrical conductivity in shaly sands with geophysical applications, *Journal of Geophysics*, 103(10): 23925-23936.

Rodrigo, A., Oscar, A. 2007. Determination of management zones in corn (*Zea mays* L.) based on soil fertility. *Computers and Electronics in Agriculture*. 5: 49-59.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ERTS symposium*, (1): 48-62.

Rysan, L. and Sarec, O. 2008. Research of correlation between electric soil conductivity and yield based on the use of GPS technology. *Agricultural Engineering*, 54(3): 136–147.

Sabins, F.F. 1986. *Remote sensing. Principles and interpretation*. New York.



Townshend, J., R., G. 1981. Terrain analysis and remote sensing. George Allen and Unwin, London.

Saleem, M., Bilal, M., Awais, M., Shahid, M.\* and Anjum, S. 2010. Effect of nitrogen on seed cotton yield and fiber qualities of cotton (*Gossypium Hirsutum L.*) cultivars. *The Journal of Animal & Plant Sciences* 20(1): pp. 23-27.

Sankaran, S., Ehsani, R. 2011. Visible near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. *Crop protection*. 30: 1508-1513.

Sarec, O., Sarec, P., Prosek, V. 2002. Measuring of soil electrical conductivity for mapping of spacial variability of soil properties within a field. *Agriculture Engineering*, pp. 48 131.

Sellers, P.J., Berry, J.A., Collatz, G.J., Field, C.B., Hall, F.G. 1992. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme. *Remote Sensing of Environment*, 42: 187-216.

Sharma, A., Panigrahy, S. 2007. Apple orchard characterization using remote sensing and GIS in Shimla district of Himachal Pradesh. In: *Proceedings of Remote Sensing and Photogrammetry Annual Conference*, 11–14 September 2007, Newcastle, UK.

Shear, C.B., Faust, M. 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Horticultural reviews*, 2: 142- 163.

Shrivastava, R.J., Gebelein, J.L. 2006. Land cover classification and economic assessment of citrus groves using remote sensing. *ISPRS Journal of Photogrammetry*. 61: 341–353.

Shin, J., Lee, W.S. and Ehsani, R. 2012. Postharvest citrus mass and size estimation using logistic classification model and watershed algorithm. *Biosystems Engineering* 113(1): 42-53.

Stafford, J.Y., Ambler, B. and Smith, M.P. 1991. Sensing and mapping grain yield variation. *Automated Agriculture for the 21st Century*, pp. 356-365.

Stafford, J.Y., Lark, R.M. and Bolam, H.C. 1998. Using yield maps to regionalize fields into potential management units. In *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference of Precision Agriculture*, 19-22 July 1998, pp. 225-237.

Stout, B.L., Borglet, S.C. and Sudduth, K.A. 1993. Yield determination using an instrumented Claas combine. ASAE Paper No. 93-1507. St. Joseph, Michigan: ASAE.

Strubbe, G., Missotten, B. and De Baerdemaeker, J. 1996. Performance evaluation of a three-dimensional optical volume flow meter. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(4): 403–409.

Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Hughes, D.F. 1995. Electromagnetic Induction Sensing as an Indicator of Productivity on Claypan Soils. In: Robert PC, Rust RH, Larson WE, editors. *Proceedings of the 2nd Internal Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems*, pp. 671–681.

Sudduth, K.A., Kitchen, N.R., Wiebold, W.J., Batchelor, W.D., Bollero, G.A., Bullock, D.G., Clay, D.E., Palm, H.L., Pierce, F.J., Schuler, R.T., Thelen, K.D. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the North-Central USA. *Computer and Electronics in Agriculture*, 46: 263–283.

Swain, K.C., Zaman, Q.U., Jayasuriya, H.P.W. and Zhang, F. 2008. Estimation of rice yield and protein content using remote sensing image acquired by radio controlled unmanned helicopter. Paper No. 080038, ASABE. St Joseph, MI, USA.

Tagarakis, A., Liakos, V., Fountas, S., Koundouras, S., Gemtos, T. 2012. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. *Precision Agriculture*. 14(1):18-39.

Tagliavini, M., Marangoni, B. 2002. Major nutritional issues in deciduous fruit orchards of northern Italy. *HorTechnology*, 12(1): 26-31.

Tanaka, T., Park, H., Hattori, S. 2004. Measurement of forest canopy structure by a laser plane range-finding method improvement of radiative resolution and examples of its application. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125: 129-142.

Thomas, J.T., Lee, F., Johnson, J.G. 2008. Remote sensing of canopy cover in horticultural crops. *Horticultural Science*, 43(2): 333–337.

Townshend, J.R.G. 1981. *Terrain analysis and remote sensing*. George Allen and Unwin, London.

Türker, U., Talebpour, B., Yegül, U. 2011. Determination of the relationship between apparent soil electrical conductivity with pomological properties and yield in different apple varieties. *Žemdirbystė (Agriculture)*, 98(3): 307-314.

United States Department of Agriculture- Natural Resources Conservation Service, 2011. Soil Quality Indicators. Available at: <http://soils.usda.gov/> [Access date: 16/2/2013].

Vellidis, G., Perry, C.D., Durrence, J.S., Thomas, D.L., Kvien, C.K., Hamarita, T.K., Rains, G. 2001. The peanut yield monitoring system. *Transactions of the ASAE*, 44(4): 775-885

Vellidis, G., Perry, C.D., Rains, G.C., Thomas, D.L., Wells, N. and Kvien, C.K. 2003. Simultaneous assessment of cotton yield monitors. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(3): 259-272.

Vellidis, G., Savelle, H., Ritchie, G., Hill, R., Henry, H. and Villagran, S. 2011. Using Greenseeker® to drive variable rate application of plant growth regulators and defoliants on cotton. In *Proceedings of the 2010 Beltwide Cotton Conference*, New Orleans, LA, National Cotton Council, Memphis, TN, USA, pp. 524-35.

Vitharana, U.W.A., Van Meirvenne M., Simpson, D., Cocx, L. and De Baerdemaeker, J. 2007. Key soil and topographic properties to delineate potential management classes for precision agriculture in the European loess area. *Geoderma*. 143: 206-215.

Wachs, J.P., Sturm, H.J., Burks, F. and Alchanatis, V. 2010. Low and high – level visual feature – based apple detection from multi-modal images. *Precision Agriculture*, 11: 717-735.

Wagner, L.E. and Schrock, M.D. 1989. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. *Trans. ASAE*. 32(2):409-413.

Wallace, T.P. 1999. Small plot evaluation of an electro-optical cotton yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*. 23: 1-8.

Wang, F., Huang, J. 2009. Narrow band ratio vegetation indices and its relationships with rice agronomic variables. *Computer and computing technologies in agriculture II*, (3): 2187-2196.

Weston, D.N. and Schwiegen, V. 2010. *Cost Effective GNSS Positioning Techniques*. International Federation of Surveyors (FIG), Copenhagen, Denmark, pp. 6 - 14.

Whitney, J.D., Ling, Q., Miller, W.M. and Adalr Wheaton, T. 2001. A DGPS yield monitoring system for Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2): 115- 119.

Wiatrak, P., Khalilian, A., Mueller, J. and Henderson, W. 2009. Applications of Soil Electrical Conductivity in Production Agriculture. *Better Crops*, 93(2).

Wickland, D.E. 1989. Future directions for remote sensing in terrestrial ecological research. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing*. New York, USA, Wiley.

Wood, B.W., Conner, P.J., Worley, R.E. 2003. Relationship of alternate bearing intensity in pecan to fruit and canopy characteristics. *HortScience*, 38(3): 361-366.

Wu, J., Wang D., Bauer, M. 2007. Assessing broadband vegetation indices and Quickbird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. *Field crops research*, 102: 33-42.

Xiang, L., Yu-chuna, P., Zhong-qiangcand, G.E., Chun-jiang, Z. 2007. Delineation and scale effect of precision agriculture management zones using yield monitor data over four years. *Agricultural Sciences in China*, 62:180-188.

Yan, L., Shi, Z., Wu, C., Li, H., Li, F. 2006. Determination of potential management zones from soil electrical conductivity, yield and crop data. *Journal of Zhejiang University Science*. doi: 10.1631/jzus.B071379.

Yan, L., Zhou, S., Feng, L., Hong, Y. 2007. Delineation of site-specific management zones using fuzzy clustering analysis in a coastal saline land. *Computers and Electronics in Agriculture*. 56(2): 174-186.

Yin, X., McClure, A., Tyler, D. 2010. Relationships of plant height and canopy NDVI with nitrogen nutrition and yields of corn. In *Proceedings of 9<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.

Zahra, T.R. and Tahboub, A.B. 2008. Effect of organic matter sources on chemical properties of the soil and yield of strawberry under organic farming conditions. *World Applied Sciences Journal*, 5(3): 383-388.

Zaman, Q., Schuman, W.A., Hostler, H. 2006. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1): 39-43.

## **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

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

Βασιλακάκης, Μ., 2004. Γενική και Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, pp. 276-311.

Γέμτος, Θ.Α., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α. και S. Blackmore. 2003. Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Μάιος, 29-31, 2003. pp. 230-237.

Γκόλια, Ε. 2003. Ρύπανση εδαφών της Θεσσαλίας από βαρέα μέταλλα και πρόσληψη αυτών από ποικιλίες καπνού. Απεικόνιση της χωρικής παραλλακτικότητας των βαρέων μετάλλων σε πλεγμένες περιοχές μελέτης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Δερμάνης, Α, 1999. Διαστημική γεωδαισία και γεωδυναμική-GPS. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Κουκουλάκης, Π. 1995. Βασικές αρχές ορθολογικής λίπανσης των φυτών. Γεωργία- Κτηνοτροφία, 9: 43-61.

Μήτσιος, 2004. Γονιμότητα εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Νάνος, Γ.Δ., 2003. Ολοκληρωμένη παραγωγή μήλων: Μια συμβολή στην ορθολογική λίπανση. Γεωργία Κτηνοτροφία, 2: 50-53.

Ποντίκης, Κ. 2003. Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ. 74.

Στυλιανίδης, Δ.Κ, Σιμώνης, Α.Δ., Συργιανίδης, Γ.Δ. 2002. Θρεψη, Λίπανση φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, pp. 533-541.

Συλλαίος, Ν., Γήτας, Ι., Συλλαίος Γ. 2007. Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και στην τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.

## ABSTRACT

**Vasileios G. Liakos. 2013. Application of Precision Agriculture in apples. PhD Thesis, University of Thessaly, N. Ionia, Volos, Greece.**

Apple cultivation is important for Greece and all over the world. Apple market is very competitive as consumers demand high quality of apples. At the same time apple producers seek new cultivation practices in order to reduce production cost, which is increased due to high labour cost. European Union sets strict rules to reduce adverse environmental effects of agriculture and at the same time society is sensitive to environmental problems. Technological progress led to precision agriculture (PA) development. PA aims at managing the inherent variability within the fields in order of decreasing the environmental pollution and increasing farmer's profit.

The objective of the present research was the study of spatial and temporal variability of apple orchards by applying precision agriculture methods. The main objective of the research was the development of new yield predicting methods and the delineation of management zones within the orchards in order to apply variable rate fertilization. For this reason two commercial apple orchards were selected in Agia area of Larisa, where experiments were carried out for three sequential years.

During the three years of the research, the following measurements were carried out and led to thematic maps: yield mapping, quality mapping (fruit weight, flesh firmness, soluble solids content, juice acidity, juice pH), NDVI mapping, flower mapping, elevation mapping, soil mapping (texture, potassium, calcium and organic matter content) and soil apparent electric conductivity mapping.

For the data analysis, initially, the orchards were divided into cells, of the same size (main orchard 20m x 18m and secondary orchard 15m x 4m). A mean value of each measured parameter was calculated for each cell. Based on the mean values, thematic maps were created which allowed the comparison of the values of the cells for each analyzed parameter.

Descriptive statistics were calculated for each map such as mean, standard deviation, maximum, minimum and coefficient variation.

The results showed that there is significant spatial and temporal variability in yield, fruit quality, canopy, number of flowers and soil characteristics. This variability indicates that precision agriculture application will be beneficial.

Yield results showed that there is significant variability in the main (60,9%) and in the secondary orchard (50%). The spatial variability of the fruit quality was low in both orchards (7% - 15%). Similar spatial variability was noticed in the NDVI measurements of the tree canopy (2,8% - 18,3%). Soil properties like clay, sand, silt, organic matter and calcium had medium spatial variability (15,9% - 20%), while apparent electric conductivity and potassium content had higher spatial variability (25,8% and 39,3% respectively).

For yield prediction, flower and NDVI mapping were carried out. Yield prediction in the mid of April was possible by using flower variability maps. This is very important for the farmer because he/she can adjust the inputs according to flower variability, which may have a direct effect to his production costs. Moreover, yield prediction could be carried out by using the NDVI maps in the first days of June.

The delineation of management zones was performed by using fuzzy logic techniques every year. The delineated management zones were proved to be unstable throughout the years, as there was very high temporal variability.

Variable rate application of fertilizer was applied according to the real need of the plants for nitrogen. Fertilizer doses used were based on the amount of Nitrogen removed by the yield of last year. The results of the variable rate application of fertilizer showed that the reduction in the first year of application was 32,4% and the farmer's profit increased by 21%. In the second year the amount of the fertilizer used was reduced by 56,6% and the farmer's profit increased by 9%. It should be mentioned that in areas where variable rate fertilizer was applied, the fruit quality was better in comparison with the apples where fertilizer was uniformly applied.

The results of the present work are significant. The farmer's profit could be increased by using variable rate fertilization. Additionally the consumer demands for high quality fruits can be satisfied by the improved quality. The adverse environmental effects of agriculture can be reduced by the reduced chemical applications. The delineation of management zones based on the flower variability could be useful for the farmers because it will enable him/her to carry out more efficient management of the orchards. The positive correlation of flower variability and early in the season NDVI variability with final yield variability can help farmers to understand

and predict the yield variability and improve orchard management. The delineation of management zones can be used in the variable rate application of inputs such as irrigation and pesticides as well as in cultivation practices such as thinning and pruning.

The results of the research are important for farmers and consumers. For this reason the current research should be continued during the next years. An interesting further research is the study of the impact of variable rate fertilisation, which was applied in two years, on the soil nutritive contents. Thus soil analysis should be made and the results should be compared with the amount of fertiliser used. Additionally, more experiments with variable rate applications of fertiliser should be made to identify farmer's profit and the factors that have a clear impact on it. It should be mentioned that an automated variable rate fertilization system must be developed in order to avoid applying fertilizers by hand. The positive correlation of NDVI and flower variability with yield variability should be evaluated. Specifically, delineation of management zones based on the NDVI values of trees or flower variability and variable rate fertilization based on these management zones should be made while the yield of each zone must be evaluated. At the same time, the investigation of new data analysis methods which ensures simple processes and reliable results is quite essential. Furthermore, flower mapping process should become automated. One suggestion is the use of video recorder to record the tree canopy during the full bloom stage and to analyse the video frames. Finally, LASER technology should be used to map the volume of the tree canopies before and after pruning. Variable rate fertilisation based on the nutrient removal by yield and branches maybe very efficient.

Keywords: orchards, NDVI, variability, fertilization, yield prediction.