

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

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων

ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ Δ. ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΥ

Νέα Ιωνία, 2008

Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων

Τριμελής Συμβουλευτική επιτροπή

Θ. Γέμος (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Γ. Νάνος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Λ. Τούλιος
ΕΘΙΑΓΕ

Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δενδροκομία
Τηλεπισκόπηση
Ερευνητής Β΄

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Θ. Γέμος (Επιβλέπων)
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Κ. Τσατσαρέλης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Γ. Μαρτζόπουλος
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Γ. Νάνος
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Α. Δημήρκου
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σ. Βουγιούκας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Λ. Τούλιος
ΕΘΙΑΓΕ

Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Καθηγητής
Γεωργική Μηχανολογία
Καθηγητής
Γεωργικές Κατασκευές
Αναπληρωτής Καθηγητής
Δενδροκομία
Εδαφολογία
Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
Γεωργική Μηχανολογία
Επίκουρος Καθηγητής
Τηλεπισκόπηση
Ερευνητής Β΄

Αικατερίνη Δ. Αγγελοπούλου

Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων

ISBN

*Στη μνήμη της μητέρας μου
Στεργιανής Αγγελοπούλου*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αικατερίνη Δ. Αγγελοπούλου, 2008. Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια μήλων, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία

Αριθμός προκαταρκτικών σελίδων:20

Συνολικός αριθμός σελίδων: 220

Αριθμός πινάκων: 29

Αριθμός εικόνων: 98

Αριθμός βιβλιογραφικών παραπομπών :141

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η χωρική και η χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής και της ποιότητας των μήλων καθώς και των εδαφικών χαρακτηριστικών σε δύο οπωρώνες μηλιάς με στόχο να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στις μηλιές. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο εμπορικοί οπωρώνες σε δύο περιοχές που καλλιεργούνται μήλα: στη περιοχή της Αγιάς Λάρισας και στην περιοχή της Πτολεμαΐδας Κοζάνης στους οποίους έγιναν μετρήσεις για τρία συνεχόμενα έτη.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν χαρτογράφηση παραγωγής, χαρτογράφηση ποιότητας των καρπών (βάρος καρπού, χρώμα φλοιού, σκληρότητα σάρκας, περιεκτικότητα χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά, οξύτητα χυμού, pH χυμού), χαρτογράφηση ανθοφορίας, χαρτογράφηση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους (μηχανική σύσταση, περιεκτικότητα σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, μαγνήσιο, ιχνοστοιχεία και οργανική ουσία) και χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με χρήση ενός μηχανήματος Veris.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε στα εξής στάδια: α) υπολογισμός περιγραφικών στατιστικών όπως μέση, ελάχιστη, μέγιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας, κύρτωση και ασυμμετρία, β) γεωστατιστική ανάλυση και υπολογισμός βαριογραμμμάτων που περιγράφουν τη χωρική δομή των δεδομένων, γ) δημιουργία χαρτών τάσης παραγωγής ή ποιότητας οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των τιμών στα τρία χρόνια του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα μετρούμενα μεγέθη σε κάθε σημείο του αγρού, δ) δημιουργία ιστογραμμάτων που δείχνουν τις διαφορές στην παραγωγή και στην ποιότητα από χρονιά σε χρονιά, ε) δημιουργία χαρτών χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν περιοχές του αγρού που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι πάνω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος

και περιοχές που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος και στ) καθορισμός ζωνών διαχείρισης στους οπωρώνες χρησιμοποιώντας λογισμικά που βασίζονται στην ασαφή ομαδοποίηση (fuzzy clustering).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, παρά το μικρό μέγεθος των οπωρώνων. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορεί να εφαρμοστούν οι τεχνικές της Γεωργίας Ακριβείας στους οπωρώνες.

Η παραγωγή είχε σημαντική χωρική παραλλακτικότητα η οποία για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ήταν περίπου 20% και τον οπωρώνα της Αγιάς 50%. Η χωρική παραλλακτικότητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών ήταν μικρότερη από την παραγωγή και κυμάνθηκε από 3-22%. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τη μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν η σκληρότητα σάρκας και τα διαλυτά στερεά συστατικά και τη μεγαλύτερη το βάρος καρπού, η οξύτητα χυμού και το χρώμα καρπού.

Με την ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης στους οπωρώνες όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία. Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας έδειξε ότι και στους δύο οπωρώνες δεν διαμορφώνονται σταθερές ζώνες διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ποιότητα των καρπών, που αλλάζουν από έτος σε έτος.

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

Με την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών μπορεί να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων για τη λίπανση και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα λιπάσματα. Για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας υπολογίστηκε εξοικονόμηση περίπου 94,4 kg/εκτάριο αζώτου και 114,7 kg/εκτάριο καλίου και για τον οπωρώνα της Αγιάς περίπου 73,2 kg/εκτάριο αζώτου και 74,4 kg/εκτάριο καλίου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

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

Πρώτον από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου κ. Θεοφάνη Γέμτο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας και Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, ο οποίος αρχικά με εμπιστεύθηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα και στη συνέχεια με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε αμέριστα καθόλη την 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 Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας κ. Γεώργιο Νάνο, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε σε θέματα δενδροκομίας κατά τη διάρκεια εκπόνησης τα 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.

Το Ερευνητή του ΕΘΙΑΓΕ Δρ. Λεωνίδα Τούλιο, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής για το χρόνο που διέθεσε και τις υποδείξεις του για τη διαμόρφωση της διατριβής.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τους Καθηγητές της Γεωπονικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Κωνσταντίνο Τσατσαρέλη και κ. Γεράσιμο Μαρτζόπουλο, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Ανθούλα Δημήρκου και τον Επίκουρο καθηγητή της Γεωπονικής Σχολής του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης κ. Σταύρο Βουγιούκα.

Τον Καθηγητή Εδαφολογίας του ΤΕΙ Λάρισας κ. Δημήτριο Πατέρα για την πολύτιμη βοήθεια του σε θέματα που αφορούν το κομμάτι της Εδαφολογίας.

Την Καθηγήτρια του Πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης στη Δανία κ. Dvoralai Wulfhson για την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε σε θέματα στερεολογίας και γεωστατιστικής ανάλυσης των δεδομένων.

Τον φίλους και συνεργάτες στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας, Δρ. Σπύρο Φουντά, τον Δρ. Χρήστο Καβαλάρη και τον Χρήστο Καραμούτη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν στην διενέργεια των μετρήσεων, στη διαμόρφωση της εργασίας, αλλά κυρίως στην ηθική συμπαράσταση που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Τον Επισκέπτη Καθηγητή στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας κ. Simon Blackmore για την βοήθεια του στο κομμάτι της ανάλυσης της χρονικής παραλλακτικότητας των δεδομένων.

Τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Αθανάσιο Μαρκινό, τους μεταπτυχιακούς φοιτητές κ. Γιώργο Βαρδούλη, κ. Θανάση Χατζηνίκο και κ. Ανδρέα Κουτσοστάθη και τους προπτυχιακούς φοιτητές κ. Νίκο Γιαννόπουλο και κ. Αλέξη Τάνο για την βοήθεια τους στις μετρήσεις στον αγρό και στο εργαστήριο.

Τις οικογένειες Σταύρου Ράππου και Χρήστου Παπαστεργίου που μας διέθεσαν τους οπωρώνες τους για τρία έτη για την διεξαγωγή των πειραμάτων και για την άψογη συνεργασία μας.

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

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Αντικείμενο και δομή της διατριβής.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	7
2.1 Γεωργία Ακριβείας.....	7
2.2 Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης	11
2.2.1 Ιστορική αναδρομή.....	11
2.2.2 Λειτουργικά μέρη του GPS.....	11
2.2.3 Τρόπος προσδιορισμού της θέσης με το GPS.....	13
2.2.4 Εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας.....	15
2.3 Χαρτογράφηση παραγωγής.....	16
2.3.1 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για θεριζοαλωνιστικές μηχανές.....	17
2.3.2 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για άλλες καλλιέργειες.....	20
2.3.3 Χρησιμότητα των χαρτών παραγωγής.....	20
2.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων.....	21
2.4.1 Γενικά.....	21
2.4.2 Θρεπτικά στοιχεία του εδάφους που επηρεάζουν την παραγωγή.....	21
2.4.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους	23
2.4.4 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.....	24
2.5 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	26
2.5.1 Γενικά.....	26
2.5.2 Συστήματα συντεταγμένων.....	28
2.5.3 Χρήση GIS για Γεωργίας Ακριβείας.....	29
2.5.4 Ερμηνεία των χαρτών.....	31
2.6 Ζώνες διαχείρισης.....	31
2.7 Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις	35
2.8 Η καλλιέργεια της μηλιάς.....	38
2.8.1 Γενικά.....	38
2.8.2 Ποικιλίες.....	39
2.8.3 Κλίμα και έδαφος.....	41
2.8.4 Λίπανση	41

2.8.5 Συγκομιδή.....	45
2.9 Γεωργία Ακριβείας σε δενδρώδεις καλλιέργειες	47
2.9.1 Γενικά.....	47
2.9.2 Εσπεριδοειδή.....	47
2.9.3 Ελιά.....	52
2.9.4 Μηλιά	53
2.9.5 Αμπέλι.....	53
2.9.6 Καφές.....	55
2.9.7 Άλλα οπωροφόρα.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	58
3.1 Περιγραφή πειραμάτων	58
3.1.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	58
3.1.2 Πείραμα Αγιάς.....	58
3.2 Μετρήσεις.....	59
3.2.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	59
3.2.2 Πείραμα Αγιάς.....	63
3.3 Ανάλυση δεδομένων.....	65
3.3.1 Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας.....	65
3.3.2 Ανάλυση χρονικής παραλλακτικότητας.....	70
3.3.3 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	71
4.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	71
4.2 Πείραμα Αγιάς.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	80
5.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	80
5.2 Πείραμα Αγιάς	95
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ.....	95
6.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ	
ΕΛΑΦΟΥΣ	110
7.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	110
7.2 Πείραμα Αγιάς.....	126
7.2.1 Γενικά.....	126
7.2.2 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας	126

7.2.3 Χαρτογράφηση ιδιοτήτων του εδάφους.....	128
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.....	135
8.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	135
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΧΩΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	139
9.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	139
9.1.1 Παραγωγή.....	139
9.1.2 Ποιότητα.....	142
9.2 Πείραμα Αγιάς	153
9.2.1 Παραγωγή.....	153
9.2.2 Ποιότητα.....	153
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10. ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ.....	165
10.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	165
10.2 Πείραμα Αγιάς.....	167
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ...169	
11.1 Γενικά.....	169
11.2 Πείραμα Πτολεμαΐδας.....	170
11.3 Πείραμα Αγιάς.....	174
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ.....	178
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	184
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	185
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	187
ABSTRACT.....	199

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής	3
Πίνακας 2.1. Παραγωγή μήλων στην Ελλάδα ανά ποικιλία (σε χιλιάδες τόνους)	38
Πίνακας 2.2. Συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων σε φύλλα μηλιάς κατά τους θερινούς μήνες	44
Πίνακας 2.3 Πρόσληψη- απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από δένδρα μηλιάς ποικιλίας Red Delicious (IFA, 1992)	45
Πίνακας 4.1. Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος για τις ποικιλίες Red Chief και Fuji	71
Πίνακας 4.2. Γεωστατιστική ανάλυση παραγωγής	73
Πίνακας 4.3. Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος για την ποικιλία Red Chief	76
Πίνακας 4.4 Γεωστατιστική ανάλυση παραγωγής για τον οπωρώνα της Αγίας	77
Πίνακας 5.1. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, κατά την συγκομιδή (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).	83
Πίνακας 5.2. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, μετά την αποθήκευση σε ψυγείο για διάστημα 4 μηνών (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	84
Πίνακας 5.3. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Fuji, κατά την συγκομιδή (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	84
Πίνακας 5.4. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Fuji, μετά την αποθήκευση σε ψυγείο για διάστημα 4 μηνών (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	85
Πίνακας 5.5 Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, κατά την συγκομιδή (οπωρώνας Αγίας)	96
Πίνακας 7.1. Όρια επάρκειας θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος σε mg/kg εδάφους	112
Πίνακας 7.2 Περιγραφικά στατιστικά των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	114
Πίνακας 7.3. Γεωστατιστική ανάλυση των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας	115

Πτολεμαΐδας)

Πίνακας 7.4. Περιγραφικά στατιστικά των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας Αγιάς)	129
Πίνακας 7.5. Μέσοι όροι παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 0-30cm	131
Πίνακας 7.6. Μέσοι όροι παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 30-60cm	131
Πίνακας 7.7. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 0-30cm	132
Πίνακας 7.8. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 30-60cm	133
Πίνακας 8.1. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2004	136
Πίνακας 8.2. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2005	136
Πίνακας 8.3 Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2006	136
Πίνακας 8.4. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2004	137
Πίνακας 8.5. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2005	138
Πίνακας 8.6. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2006	138
Πίνακας 10.1. Δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό ζωνών διαχείρισης. (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	166
Πίνακας 10.2. Δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό ζωνών διαχείρισης (οπωρώνας Αγιάς)	168
Πίνακας 11.1 Απαιτούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων για ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος και για εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	173
Πίνακας 11.2 Απαιτούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων για ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος και για εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (οπωρώνας Αγιάς)	177

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1 Μέθοδος προσδιορισμού θέσης με το GPS	4
Εικόνα 2.2 Differential Global Positioning System (DGPS)	14
Εικόνα 2.3 Real Time Kinematic GPS	15
Εικόνα 2.4. Ένα σύστημα GIS μπορεί να απεικονίσει και να αναλύσει δεδομένα σε πολλά επίπεδα στον ίδιο αγρό. Κάθε επίπεδο μπορεί να έχει πληροφορίες που αφορούν ένα από τα επόμενα: περίγραμμα αγρού, pH εδάφους, χάρτη στράγγισης, χάρτη παραγωγής.	27
Εικόνα 2.5. Βήματα για την δημιουργία χαρτών για Γεωργία Ακριβείας	30
Εικόνα 2.6. Πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) για ένα αγρό	30
Εικόνα 2.7. Διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες διαχείρισης	32
Εικόνα 2.8. Αισθητήρας που χρησιμοποιεί το Greenseeker	36
Εικόνα 2.9. Το Weedseeker σε αμπελώνα	37
Εικόνα 2.10. Η παραγόμενη ποσότητα μήλων στην Ευρώπη (Πηγή: EUROFEL)	39
Εικόνα 2.11. Διάφορες ποικιλίες μήλων	40
Εικόνα 2.12. Αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής για εσπεριδοειδή	49
Εικόνα 2.13. Σύστημα μέτρησης του όγκου των δένδρων με υπερήχους	49
Εικόνα 2.14. Λιπασματοδιανομέας για την εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις	50
Εικόνα 2.15 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή	50
Εικόνα 3.1. Οι πειραματικοί οπωρώνες στην Πτολεμαΐδα (α) και στην Αγιά (β)	58
Εικόνα 3.2. Χαρτογράφηση παραγωγής	59
Εικόνα 3.3 Όργανα μέτρησης ποιότητας καρπών (α) χρωματόμετρο, (β) διαθλασίμετρο, (γ) πενετρόμετρο	61
Εικόνα 3.4. Σχέδιο λήψης εδαφικών δειγμάτων	62
Εικόνα 3.5 Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο εφαρμόζοντας την μέθοδο της στερεολογίας	63
Εικόνα 3.6. Μηχάνημα μέτρησης της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους Veris 3100	65
Εικόνα 3.7. Πειραματικό βαριόγραμμα	67

Εικόνα 3.8. Μοντέλα βαριογράμματος	69
Εικόνα 4.1. Βαριογράμματα για την παραγωγή της ποικιλίας Red Chief για τα έτη (α) 2004, (β) 2005 και (γ) 2006	73
Εικόνα 4. 2. Χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτη (α) 2004, (β) 2005	74
Εικόνα 4. 3. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για το 2006	75
Εικόνα 4.4. Βαριογράμματα για την παραγωγή της ποικιλίας Red Chief για τα έτη (α) 2005, (β) 2006 και (γ) 2007	77
Εικόνα 4.5. Χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτη (α) 2005, (β) 2006	78
Εικόνα 4.6. Χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για το 2007	79
Εικόνα 5.1 Σκληρότητα σάρκας μήλων, σε kgF, ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο	86
Εικόνα 5.2 Διαλυτά στερεά συστατικά (%) χυμού μήλων ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο	86
Εικόνα 5.3 Οξύτητα χυμού μήλων (%) ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο	86
Εικόνα 5.4 Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005	87
Εικόνα 5.5. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2006	88
Εικόνα 5.6 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2004	88
Εικόνα 5.7 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006	89
Εικόνα 5.8. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005	90
Εικόνα 5.9. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2006	91
Εικόνα 5.10 Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2004	91

Εικόνα 5.11 Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το 2005 και (β) για το 2006	92
Εικόνα 5.12 Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005	93
Εικόνα 5.13 Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2006	94
Εικόνα 5.14. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006	97
Εικόνα 5.15. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007	98
Εικόνα 5.16 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005	98
Εικόνα 5.17. Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το 2006 και (β) για το 2007	99
Εικόνα 5.18. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006	100
Εικόνα 5.19. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007	101
Εικόνα 5.20. Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005	101
Εικόνα 5.21. Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2006, (β) για το 2007	102
Εικόνα 5.22. Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006	103
Εικόνα 5.23. Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007	104
Εικόνα 5.24. Χάρτης χρώματος καρπών (L), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005	104
Εικόνα 5.25. Χάρτης χρώματος καρπών (L), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το 2006 και (β) για το 2007	105
Εικόνα 5.26. Χάρτης χρώματος καρπών (Chroma), ποικιλίας Red Chief κατά τη	106

συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006

Εικόνα 5.27. Χάρτης χρώματος καρπών (Chroma), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007	107
Εικόνα 6.1 . Χάρτης ανθοφορίας έτους 2005 για την ποικιλία Red Chief	109
Εικόνα 7.1. Χάρτης ανάγλυφου οπωρώνα Πτολεμαΐδας	111
Εικόνα 7.2. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτος 2004	111
Εικόνα 7.3. Χάρτης (α) N και (β) χάρτης που δείχνει τις περιοχές του αγρού που χρειάζονται λίπανση με N με βάση το όριο των 160 kg/ εκτάριο	117
Εικόνα 7.4. Χάρτης (α) Ca/CEC και (β) χάρτης που δείχνει τις περιοχές του αγρού που δεν ξεπερνούν το όριο του 80% και χρειάζονται λίπανση με Ca	118
Εικόνα 7.5. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο και (β) % περιεκτικότητας σε άργιλο	119
Εικόνα 7.6. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε ιλύ και (β) pH	120
Εικόνα 7.7. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία και (β) P σε mg/kg εδάφους	121
Εικόνα 7.8. Χάρτες (α) K και (β) Zn σε mg/kg εδάφους	122
Εικόνα 7.9. Χάρτες (α) Mn και (β) Cu σε mg/kg εδάφους	123
Εικόνα 7.10. Χάρτες B σε mg/kg εδάφους	124
Εικόνα 7.11. Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε βάθος (α) 0-30 cm και (β) 0-90 cm	127
Εικόνα 7.12. Χάρτης με τρεις ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή	130
Εικόνα 7.13 Χάρτης με έξι ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή	130
Εικόνα 9.1 Χάρτης τάσης παραγωγής της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006	139
Εικόνα 9.2. Ιστογράμματα παραγωγής για την ποικιλία (α) Red Chief και (β) Fuji για τα τρία έτη του πειράματος	140
Εικόνα 9.3. Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή για την ποικιλία Red Chief	141
Εικόνα 9.4. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού, (β) σκληρότητα σάρκας	144
Εικόνα 9.5. Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά (%), (β) οξύτητα χυμού	145

Εικόνα 9.6. Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για χρώμα καρπού (γωνία Hue)	146
Εικόνα 9.7. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού και (β) σκληρότητα σάρκας	147
Εικόνα 9.8. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά και (β) οξύτητα χυμού	148
Εικόνα 9.9. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Fuji για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού και (β) σκληρότητα σάρκας	149
Εικόνα 9.10. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Fuji για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά και (β) οξύτητα χυμού	150
Εικόνα 9.11. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) βάρος καρπού, (β)σκληρότητα σάρκας, (γ) διαλυτά στερεά συστατικά (δ) οξύτητα χυμού για την ποικιλία Red Chief	152
Εικόνα 9.12. Χάρτης τάσης παραγωγής για τα έτη 2005, 2006, 2007	153
Εικόνα 9.13 Ιστογράμματα παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα τρία έτη του πειράματος	154
Εικόνα 9.14. Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή	155
Εικόνα 9.15. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) βάρος καρπού, (β) σκληρότητα σάρκας	157
Εικόνα 9.16. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά (%), (β) φωτεινότητα L	158
Εικόνα 9.17. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) χρώμα C και (β) γωνία Hue	159
Εικόνα 9.18. Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για την οξύτητα χυμού	160
Εικόνα 9.19. Ιστογράμματα (α) βάρους καρπών και (β) σκληρότητας σάρκας για τα έτη 2005, 2006, 2007	161
Εικόνα 9.20. Ιστογράμματα (α) διαλυτών στερεών συστατικών και (β) οξύτητας χυμού για τα έτη 2005, 2006, 2007	162
Εικόνα 9.21. Ιστογράμματα γωνίας Hue για τα έτη 2005, 2006, 2007	163

Εικόνα 9.22. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) βάρος καρπού, (β)σκληρότητα σάρκας, (γ) διαλυτά στερεά συστατικά (δ) οξύτητα χυμού για την ποικιλία Red Chief	164
Εικόνα 10.1 Ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	166
Εικόνα 10.2 Ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief (οπωρώνας Αγιάς)	167
Εικόνα 11.1 Παραγωγή ανά πέντε δένδρα της ποικιλίας Red Chief το 2006 (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)	170
Εικόνα 11.2 Χάρτης εφαρμογής αζώτου σε g ανά πεντάδα δένδρων στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας (βασική λίπανση)	172
Εικόνα 11.3 Χάρτης εφαρμογής καλίου στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας	173
Εικόνα 11.4. Παραγωγή ανά δέκα δένδρα της ποικιλίας Red Chief το 2006 (οπωρώνας Αγιάς)	174
Εικόνα 11.5 Χάρτης εφαρμογής αζώτου στον οπωρώνα της Αγιάς (βασική λίπανση)	175
Εικόνα 11.6 Χάρτης εφαρμογής καλίου στον οπωρώνα της Αγιάς	176

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

L	φωτεινότητα
a*	απόχρωση από κόκκινο στο πράσινο
b*	απόχρωση από κίτρινο σε μπλε
C	ένταση χρώματος από γκρι σε έγχρωμο
Hue	απόχρωση
CV	συντελεστής παραλλακτικότητας
SD	τυπική απόκλιση
\bar{X}	μέση τιμή μεταβλητής X
$\gamma(h)$	ημιπαραλλακτικότητα
N(h)	αριθμός των ζευγών των τιμών των δεδομένων που έχουν απόσταση h
Z(xi)	η τιμή του δείγματος στο σημείο i
h	απόσταση μεταξύ των δειγμάτων
Z(xo)	η τιμή που εκτιμάται κατά την παρεμβολή
li	το βάρος που προσδιορίζεται για την τιμή xi
sj	χρονική παραλλακτικότητα στο σημείο j
yi,j	το μετρούμενο μέγεθος (παραγωγή ή ποιότητα) στο σημείο j και στο χρόνο i
\bar{y}_i	η μέση τιμή του μετρούμενου μεγέθους για όλο τον οπωρώνα στο έτος i
r	συντελεστής συσχέτισης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά

Πριν από την εκμηχάνιση της γεωργίας και την αύξηση του μεγέθους των αγροκτημάτων, ο γεωργός γνώριζε το χωράφι του καθώς το περπατούσε διαρκώς στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου εκτελώντας τις καλλιεργητικές εργασίες και είχε τη δυνατότητα να διαχειρίζεται τα διάφορα μέρη του σύμφωνα με τις ανάγκες που θεωρούσε ότι είχαν. Για παράδειγμα έριχνε περισσότερο σπόρο σε σημεία του χωραφίου που δεν φύτρωναν, έριχνε περισσότερο λίπασμα όπου τα φυτά φαινόταν αδύναμα και κατάστρεφε τα ζιζάνια όπου τα έβρισκε.

Με την εκμηχάνιση της γεωργίας και μέχρι σήμερα η διαχείριση των αγροκτημάτων γίνεται με βάση τους μέσους όρους της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Η βασική υπόθεση ήταν ότι οι αγροί ήταν ομοιόμορφοι. Παρ' όλο που οι αγρότες γνώριζαν ότι υπήρχε ανομοιομορφία των αγρών τους δεν είχαν αρκετές δυνατότητες να διαφοροποιήσουν τις καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας σε κάθε σημείο του αγρού. Η τυπική διαχείριση στηρίζεται στη δειγματοληψία του εδάφους σε τυχαία σημεία του αγρού και καθορισμό της ποσότητας του λιπάσματος με βάση το μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων. Έτσι το λίπασμα διανέμεται ομοιόμορφα σε όλο τον αγρό χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η χωρική παραλλακτικότητα του εδάφους και της παραγωγής. Με τον τρόπο αυτό σε μερικά σημεία του αγρού εφαρμόζεται μεγαλύτερη ποσότητα λιπάσματος από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα την σπατάλη του λιπάσματος και μείωση της ποιότητας του παραγομένου προϊόντος και σε άλλες περιοχές μικρότερη ποσότητα από την απαιτούμενη με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής. Το ίδιο συνέβαινε και με τις υπόλοιπες εισροές όπως τα φυτοφάρμακα και το νερό άρδευσης τα οποία εφαρμόζονταν ομοιόμορφα στον αγρό.

Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών στη γεωργία επέτρεψε τη μέτρηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των παραμέτρων της παραγωγής και του εδάφους και έδωσε τη δυνατότητα ανάπτυξης συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας. Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών. Η Γεωργία Ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων το οποίο χρησιμοποιώντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά εφαρμοσμένα στη γεωργία, βοηθά

το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος (Gemtos et al., 2002). Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών, είτε με συνδυασμό και των δύο. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, εφόσον εφαρμόζεται η αναγκαία ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών και άλλων καλλιεργητικών φροντίδων για κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες.

Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής τα τελευταία έτη δημιούργησαν τη δυνατότητα εφαρμογών διαφοροποιημένων επεμβάσεων μέσα στο ίδιο το αγροτεμάχιο με στόχο τη βελτιστοποίηση της παραγωγής. Η βελτίωση της ακρίβειας των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού (GPS: Global Positioning System) και η ανάπτυξη των αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής καλλιεργειών που προσαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής, έδωσε τη δυνατότητα χαρτογράφησης της παραγωγής. Οι πρώτες εφαρμογές άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 1980 αλλά κυρίως στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών. Στις εφαρμογές αυτές η ροή και η υγρασία των σιτηρών μετρούνταν κατά τη λειτουργία της μηχανής συγκομιδής και συνδυάζονταν με καταγραφή της ταχύτητας εργασίας και τη γεωγραφική θέση της μηχανής, ενώ το πλάτος εργασίας εκτιμιόταν από το ίδιο το χειριστή ή από άτομο που ήταν πάνω στη μηχανή. Τα στοιχεία αυτά απετέλεσαν τη βάση για την παραγωγή χαρτών που εμφανίζουν τη χωρική κατανομή της παραγωγής με χρήση λογισμικού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS).

Στη δεκαετία του 1990 και σήμερα ακόμα συνεχίζεται η έρευνα για την παραγωγή αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής των διαφόρων καλλιεργειών. Πολλές εφαρμογές, κυρίως σε σιτηρά έχουν εμπορική εφαρμογή από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ενώ οι περισσότερες εφαρμογές άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του 1990 και στις αρχές του 2000. Αρχικά οι εφαρμογές ξεκίνησαν στις ΗΠΑ και Βρετανία και ακολούθησαν σε άλλες χώρες κυρίως στη Βόρεια και Νότια Αμερική, Ευρώπη και Αυστραλία (Πίνακας 1.1).

Τα τελευταία έτη έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών. Στις δενδροκομικές καλλιέργειες γίνεται μεγάλη έρευνα στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα (ΗΠΑ) σε εσπεριδοειδή. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής, εκτίμησης του όγκου της κόμης των δένδρων με

υπερήχους και συστήματα εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεταβλητές δόσεις. Επίσης υπάρχουν πολλές εφαρμογές στο αμπέλι στην Αυστραλία, Χιλή, Γαλλία και Ισπανία.

Πίνακας 1.1 Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής

Χώρα	Αριθμός μηχανών συγκομιδής με αισθητήρες παραγωγής
Η.Π.Α.	45.000
Αργεντινή	1.000
Αυστραλία	800
Αγγλία	400
Δανία	400
Γερμανία	150
Σουηδία	150

Πηγή: Griffin et al., 2004

Στη χώρα μας και γενικότερα στον Ευρωπαϊκό Νότο υπάρχει μια καθυστέρηση στην εφαρμογή των συστημάτων αυτών. Αυτό αποδίδεται στις επικρατούσες συνθήκες που χαρακτηρίζονται:

- Από μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις
- Από γεωργούς με χαμηλό μορφωτικό επίπεδο
- Από γεωργούς προσκολλημένους στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και στις επιδοτήσεις των προϊόντων
- Από έλλειψη αναπτυγμένης τεχνολογίας εφαρμογής των μεθόδων Γεωργίας Ακριβείας για τις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου κυρίως για τα φρούτα και λαχανικά

Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης του κόστους παραγωγής μέσω της περαιτέρω εκμηχάνισης της γεωργίας και μείωσης των εργατικών ημερομισθίων, όπως συμβαίνει στις χώρες του Βορρά. Επίσης ο αυξανόμενος καλλιεργούμενος κλήρος, όπως και η ανάγκη για ιχνηλασιμότητα των καλλιεργητικών επεμβάσεων θα έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση πρακτικών, όπως η Γεωργία Ακριβείας και στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου, όπως η Ελλάδα.

Μέχρι σήμερα η προσπάθεια επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων καταγραφής στοιχείων, ενώ το πιο σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας

βρίσκεται στην επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Ο κύριος σκοπός αυτού του σταδίου είναι η ανεύρεση ζωνών διαχείρισης (management zones) εντός του αγροτεμαχίου, που χαρακτηρίζονται από κοινά εδαφολογικά ή αγρονομικά χαρακτηριστικά.

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων αποτελεί τη βάση εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πληροφορίες που συγκεντρώνονται με διάφορα μέσα. Εκτός των χαρτών παραγωγής που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται αναλύσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, εικόνες από τον αέρα (αεροπλάνα ή δορυφόρους) και διάφορα μηχανήματα που μπορούν να χαρτογραφήσουν άμεσα ιδιότητες του αγρού. Ένα τέτοιο μηχανήμα είναι το Veris που μπορεί να κάνει χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με περάσματα στον αγρό ελκόμενο από γεωργικό ελκυστήρα.

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων, μας παρέχει τη δυνατότητα για καλλιεργητικές επεμβάσεις με μεταβαλλόμενες δόσεις (variable rate application). Αυτή η δυνατότητα είναι και ο απώτερος σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας, δηλαδή η εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων για κάθε τμήμα του αγρού, ανάλογα με τις πραγματικές του, ανά περιοχή, ανάγκες. Αυτές οι εφαρμογές επιφέρουν εξοικονόμηση πόρων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων σε επίπεδο παραγωγού, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος από την αλόγιστη χρήση των εισροών, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων έχουν σημειωθεί στην εφαρμογή λιπασμάτων και ειδικότερα σε N, P και K, όπως επίσης και στην εφαρμογή ασβέστου σε όξινα εδάφη. Επιπρόσθετα, συστήματα διαφοροποίησης εφαρμογής αρδευτικού νερού έχουν δώσει πολύ θετικά αποτελέσματα στην καλύτερη αξιοποίηση και οικονομία του αρδευτικού νερού.

Στα πρώτα χρόνια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας η έρευνα είχε επικεντρωθεί στην ανάπτυξη τεχνολογικού εξοπλισμού, μετέπειτα στην συσχέτιση των διαφόρων παραγόντων και σε εφαρμογές νέων πρακτικών Γεωργίας Ακριβείας. Σήμερα μετά από περίπου 15 χρόνια εφαρμογής, η έρευνα στη Γεωργία Ακριβείας έχει επικεντρωθεί στην ανάλυση και επεξήγηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των δεδομένων με σκοπό την δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Επιπρόσθετα, η δημιουργία συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems) για τη διαχείριση των δεδομένων Γεωργίας Ακριβείας από τους παραγωγούς, βρίσκεται σε συνεχή ανάπτυξη.

1.2 Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Από την εισαγωγή φαίνεται ότι η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας όπου η καλλιέργεια είναι εκμηχανισμένη. Οι δενδρώδεις καλλιέργειες όπως η μηλιά είναι από τις πιο σημαντικές καλλιέργειες για τη χώρα μας. Παρόλα αυτά δεν έχει διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια της μηλιάς στη χώρα μας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι να μελετηθεί η χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής, της ποιότητας των καρπών και των εδαφικών χαρακτηριστικών σε δύο οπωρώνες μηλιάς με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στους οπωρώνες αυτούς. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο εμπορικοί οπωρώνες σε δύο περιοχές που καλλιεργούνται μήλα: στην περιοχή της Αγίας Λάρισας και στην περιοχή της Πτολεμαΐδας Κοζάνης στους οποίους έγιναν μετρήσεις για τρία συνεχόμενα έτη.

Μετά την εισαγωγή που προηγήθηκε στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 γίνεται ανάλυση της βιβλιογραφίας σχετικά με τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη Γεωργία Ακριβείας όπως είναι το Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (GPS), τη χαρτογράφηση παραγωγής και εδαφικών ιδιοτήτων, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), το διαχωρισμό του αγρού σε ζώνες διαχείρισης (Management Zones), την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application), και τις εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας σε δενδρώδεις καλλιέργειες.

Στο Κεφάλαιο 3 ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας που παρουσιάζεται ο πειραματικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και γίνεται ανάλυση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τη λήψη των μετρήσεων και για την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων.

Στα Κεφάλαια 4-11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση της παραγωγής. Δίνονται οι χάρτες παραγωγής και γίνεται προσπάθεια εξήγησης της χωρικής παραλλακτικότητας που παρατηρείται στην παραγωγή.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (βάρος, χρώμα, περιεκτικότητα σε σάκχαρα, οξύτητα, pH, περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση των καρπών στο ψυγείο. Δίνονται οι αντίστοιχοι χάρτες όπου φαίνεται η παραλλακτικότητα της ποιότητας στους οπωρώνες.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι χάρτες ανθοφορίας και γίνεται συσχέτιση των χαρτών ανθοφορίας με τους χάρτες παραγωγής του τρέχοντος έτους.

Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται οι χάρτες των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Με βάση τα όρια επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος δημιουργήθηκαν χάρτες εφαρμογής που δείχνουν σε ποιες περιοχές του αγρού τα θρεπτικά στοιχεία είναι κάτω από τα όρια επάρκειας και χρειάζεται να εφαρμοστούν λιπάσματα.

Κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται οι πίνακες συσχέτισης μεταξύ παραγωγής, ποιότητας και ανθοφορίας.

Στο Κεφάλαιο 9 γίνεται ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας στην παραγωγή και στην ποιότητα. Η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας διενεργήθηκε σε τρία στάδια: α) δημιουργία χαρτών τάσης παραγωγής και ποιότητας, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των τιμών στα τρία χρόνια του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα μετρούμενα μεγέθη σε κάθε σημείο του αγρού β) δημιουργία ιστογραμμάτων που δείχνουν τις διαφορές στην παραγωγή και στην ποιότητα από χρονιά σε χρονιά και γ) δημιουργία χαρτών χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν περιοχές του αγρού που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι πάνω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος και περιοχές που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος.

Στο Κεφάλαιο 10 γίνεται διαχωρισμός των οπωρώνων σε ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MZA (Management Zone Analyst).

Στο Κεφάλαιο 11 δημιουργούνται χάρτες εφαρμογής λιπασμάτων με τα βασικά θρεπτικά στοιχεία άζωτο (N) και κάλιο (K), με βάση τα θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνονται από το έδαφος την προηγούμενη χρονιά με την παραγωγή.

Τέλος στα Κεφάλαια 12, 13 και 14 παρουσιάζονται η ανακεφαλαίωση, τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για συνέχιση της έρευνας αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Γεωργία Ακριβείας

Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) είναι μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών σύμφωνα με την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λιπάσματα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών καθώς αυτές διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο (Whelan and McBratney, 2000). Οι κύριοι στόχοι της Γεωργίας Ακριβείας είναι:

- η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- η βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων
- η πιο αποδοτική χρήση των αγροχημικών
- η εξοικονόμηση της ενέργειας
- η προστασία του εδάφους και των νερών από την ρύπανση

Η ιδέα της διαχείρισης τμημάτων του αγρού σαν ξεχωριστή μονάδα δεν είναι καινούργια. Αν σκεφτεί κανείς ποια είναι η μικρότερη περιοχή που μπορεί να διαχειριστεί αυτή μπορεί να είναι κάθε φυτό ξεχωριστά και το έδαφος που επηρεάζει την ανάπτυξή του. Αυτό ακριβώς έκαναν οι γεωργοί τα παλαιότερα χρόνια όταν έσπερναν με το χέρι κάθε φυτό. Σήμερα επειδή έχουν αυξηθεί οι καλλιεργούμενες εκτάσεις λόγω των δυνατοτήτων που έδωσε η εκμηχάνιση, για να γίνει διαχείριση σε επίπεδο φυτού χρειάζεται αναπτυγμένη τεχνολογία. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας της πληροφορικής και των ηλεκτρονικών έδωσε ώθηση στην ανάπτυξη της Γεωργίας Ακριβείας

Με την εκμηχάνιση της γεωργίας και μέχρι σήμερα η διαχείριση των αγροκτημάτων γίνεται με βάση τους μέσους όρους της παραγωγής αλλά και των ιδιοτήτων του εδάφους και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Η βασική υπόθεση ήταν ότι οι αγροί ήταν ομοιόμορφοι. Παρόλο που οι αγρότες γνώριζαν ότι υπήρχε ανομοιομορφία των αγρών τους δεν είχαν αρκετές δυνατότητες να διαφοροποιήσουν τις καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες της καλλιέργειας σε κάθε σημείο του αγρού. Η τεχνολογία σήμερα έχει φτάσει σε ένα επίπεδο που είναι δυνατή η μέτρηση, η ανάλυση και η διαχείριση της παραλλακτικότητας των αγρών.

Η προϋπόθεση για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας και κατ' επέκταση την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application) είναι γνώση τη χωρικής παραλλακτικότητας. Η χωρική παραλλακτικότητα είναι η παραλλακτικότητα σε

μετρούμενα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας και του εδάφους στο χώρο. Παραλλακτικότητα υπάρχει σε όλους τους αγρούς και μπορεί να παρατηρηθεί στη γονιμότητα του εδάφους, στην υγρασία, στη μηχανική σύσταση του εδάφους, στην τοπογραφία, στην ανάπτυξη των φυτών και στους πληθυσμούς εχθρών και ασθενειών.

Η παραλλακτικότητα εκτός από χωρική μπορεί να είναι και χρονική (Blackmore, 2000, Blackmore et al., 2003). Για παράδειγμα μερικές εδαφικές ιδιότητες είναι σταθερές με το χρόνο ή μεταβάλλονται ελάχιστα από χρόνο σε χρόνο όπως η οργανική ουσία και η μηχανική σύσταση του εδάφους. Άλλες ιδιότητες όπως τα επίπεδα των νιτρικών και η υγρασία του εδάφους μπορεί να αλλάζουν πολύ με το χρόνο. Επίσης η κατάσταση της καλλιέργειας μπορεί να μεταβληθεί μέσα σε ώρες.

Η οικονομικότητα είναι ένας από τους πιο σπουδαίους λόγους που εξετάζονται για την μετάβαση από τον παραδοσιακό τρόπο διαχείρισης στη Γεωργία Ακριβείας. Με την Γεωργία Ακριβείας μπορεί να επηρεαστεί το κόστος παραγωγής και η πρόσοδος από την καλλιέργεια. Έτσι υπάρχει δυνατότητα για μεγαλύτερες αποδόσεις χρησιμοποιώντας τις ίδιες εισροές αλλά ανακατανομημένες, για ίδιες αποδόσεις με μειωμένες εισροές ή για μεγαλύτερες αποδόσεις με μειωμένες εισροές. Ο παραγωγός πρέπει να αποφασίσει για την καταλληλότερη μέθοδο διαχείρισης. Εκτός από την απόδοση πρέπει να επιδιώξει καλύτερη ποιότητα προϊόντων χρησιμοποιώντας τις εισροές ανάλογα με τις ανάγκες των καλλιεργειών. Είναι γνωστό ότι η έλλειψη θρεπτικών στοιχείων μπορεί να μειώσει την ανάπτυξη των φυτών και να χειροτερεύσει την ποιότητα των προϊόντων. Αλλά και η περίσσεια θρεπτικών στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε κακή ποιότητα καρπών (Jager and Putter, 1999) αλλά και προβλήματα στη φυτεία (πλάγιασμα σιτηρών, ευαισθησία σε εχθρούς).

Παρόλα αυτά το γεγονός ότι ένας αγρός έχει παραλλακτικότητα δεν σημαίνει πάντα ότι έχει νόημα να εφαρμοστεί Γεωργία Ακριβείας. Πρέπει αρχικά να μετρηθεί το μέγεθος της παραλλακτικότητας, στη συνέχεια να βρεθούν οι αιτίες που προκαλούν αυτή την παραλλακτικότητα και τέλος να βρεθεί τρόπος για να γίνει διαχείριση της παραλλακτικότητας.

Οι εισροές που εφαρμόζονται σήμερα με μεταβλητές δόσεις είναι τα λιπάσματα (Miller et al., 2003, Welsh et al., 2003a, Welsh et al., 2003b, Wood et al., 2003, Zaman et al., 2005, Shumann et al., 2006), τα φυτοφάρμακα (Miller and Salyani, 2005, Sollaneles et al., 2006), το νερό άρδευσης (Perry et al., 2002) και ο σπόρος (Mason et al., 2007). Η εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις έχει ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος (Bongiovanni and Lowenberg-Deboer, 2004). Για παράδειγμα με την εφαρμογή αζώτου με

μεταβλητές δόσεις μπορεί να μειωθεί το N που εφαρμόζεται και να μειωθεί το N σε ευαίσθητες περιοχές χωρίς να μειωθεί το οικονομικό αποτέλεσμα. Επίσης με την εφαρμογή εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων με μεταβλητές δόσεις μπορεί να μειωθούν οι ποσότητες που εφαρμόζονται αφού εφαρμόζονται μόνο εκεί που είναι απαραίτητα.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η Γεωργία Ακριβείας έχουν σχέση με όλα τα στάδια παραγωγής από την σπορά μέχρι την συγκομιδή και είναι οι εξής:

- GPS και GIS. Είναι συστήματα που επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση των αγρών και την ερμηνεία της παραλλακτικότητας των αγρών
- Χαρτογράφηση παραγωγής. Με τη χαρτογράφηση παραγωγής γίνεται καταγραφή και συλλογή δεδομένων της παραγωγής από συγκεκριμένες θέσεις στον αγρό
- Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων με την οποία γίνεται καταγραφή της γονιμότητας των αγρών
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Σήμερα, μία από τις απλούστερες και οικονομικότερες μετρήσεις παραμέτρων του εδάφους που χρησιμοποιείται στη γεωργία ακριβείας είναι αυτή της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa). Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας. Στους παράγοντες αυτούς περιλαμβάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, η μηχανική σύσταση του εδάφους (Williams et al., 1987) η οργανική ουσία (Janes et al., 1994), το βάθος σκληρού ορίζοντα, CEC (McBride et al., 1990), αλατότητα καθώς και τα ανταλλάξιμα ασβέστιο και μαγνήσιο (Lund et al., 1999). Η μεταβλητότητα όλων αυτών των παραγόντων στην έκταση του χωραφιού είναι πιθανόν να προκαλεί την αντίστοιχη μεταβλητότητα της παραγωγής. Η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να γίνει εύκολα με τη σύνδεση μιας συσκευής μέτρησης αγωγιμότητας πάνω σε παρελκόμενο όχημα και την προσαρμογή ενός δέκτη εντοπισμού γεωγραφικής θέσης (GPS).
- Τηλεπισκόπηση. Με την τηλεπισκόπηση συλλέγονται πληροφορίες για ένα αντικείμενο χωρίς να υπάρχει επαφή. Οι δύο πιο συνηθισμένες μέθοδοι τηλεπισκόπησης είναι οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι το βασικό στοιχείο της τηλεπισκόπησης. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο μπορεί να ανακλαστεί, να απορροφηθεί ή να διέλθει. Ανάλογα με το αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διαφορετικά μήκη κύματος της

ακτινοβολίας αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο. Μετρώντας την ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες για την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε νερό, για τη θρεπτική κατάσταση των φυτών και για άλλα χαρακτηριστικά των φυτών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι δείκτες βλάστησης που είναι μαθηματικοί συνδυασμοί καναλιών (φασματικών περιοχών), κυρίως του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του ερυθρού (R), όπως ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. Με τον NDVI έχουμε μια αντικειμενική παρουσίαση της ζωντανής βλάστησης ώστε να μπορούμε να παρακολουθούμε την εξέλιξη της κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου των φυτών, να αναγνωρίζουμε και να διαχωρίζουμε τις διάφορες καλλιέργειες και να εισάγουμε δεδομένα τηλεπισκόπισης σε αγροκλιματικά μοντέλα.

- Τεχνολογία διαφοροποιούμενης δόσης (Variable Rate Application). Με την τεχνολογία αυτή οι εισροές εφαρμόζονται στον αγρό σε διαφορετικές δόσεις στις διάφορες περιοχές του αγρού ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής. Υπάρχουν δύο μέθοδοι τεχνολογίας διαφοροποιούμενης δόσης: βασισμένη σε χάρτες και βασισμένη σε αισθητήρες. Η βασισμένη σε χάρτες απαιτεί ένα χάρτη εφαρμογής (prescription map) και ένα GPS που καθορίζει τη θέση στον αγρό. Καθώς το μηχάνημα που εφαρμόζει τις εισροές προχωρά στον αγρό αλλάζει τη δόση με βάση το χάρτη εφαρμογής (τις συντεταγμένες των ζωνών διαχείρισης). Η μέθοδος που βασίζεται σε αισθητήρες δεν απαιτεί ούτε χάρτη ούτε GPS. Αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στη μηχανή εφαρμογής και μετρούν χαρακτηριστικά του εδάφους ή της καλλιέργειας καθώς κινείται στον αγρό. Η πληροφορία μεταδίδεται σε ένα πρόγραμμα που υπολογίζει τις ανάγκες του εδάφους ή των φυτών και μεταφέρει την πληροφορία σε μια διάταξη εφαρμογής που διανέμει τις εισροές.

2.2. Παγκόσμιο Σύστημα Προσδιορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

2.2.1. Ιστορική αναδρομή

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

Οι πρώτες εφαρμογές εμφανίστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1960 με προβλήματα λόγω του εξαιρετικά μεγάλου χρόνου παρατηρήσεων και της χαμηλής ακρίβειας.

Το 1964 το ναυτικό των ΗΠΑ εγκαινίασε το διαστημικό σύστημα πλοήγησης Transit, που λειτουργεί ακόμη και σήμερα. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε χαμηλή τροχιά και το σύστημα δεν είναι πάντα διαθέσιμο. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη μέτρηση της συχνότητας του σήματος με το φαινόμενο Doppler (Παντέλης και άλλοι, 2004).

Κατά τη δεκαετία του 1960 αναπτύχθηκε ένα άλλο πρόγραμμα του Αμερικανικού ναυτικού, το Timation, στόχος του οποίου ήταν να παρέχει δυσδιάστατα δεδομένα πλοήγησης και προσανατολισμού. Ταυτόχρονα, η αεροπορία των ΗΠΑ διεξήγαγε μελέτες για την ανάπτυξη ενός τρισδιάστατου συστήματος προσανατολισμού ονομαζόμενου 621B.

Το 1975 τα δύο παραπάνω προγράμματα ενοποιήθηκαν υπό την αιγίδα της αεροπορίας των ΗΠΑ, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σύστημα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς, το GPS. Τα πρώτα δοκιμαστικά σήματα μεταδόθηκαν από τον Navigation Test Satellite 8, τον Ιούνιο του 1977. Στη συνέχεια εκτοξεύθηκαν μια ομάδα δορυφόρων, προκειμένου να υπάρξει καλύτερη και πυκνότερη κάλυψη.

Σήμερα υπάρχουν σε χρήση τρία δορυφορικά συστήματα: το παλαιότερο που δεν προσφέρεται για γεωδαιτικές εφαρμογές σύστημα Transit και το νεότερο GPS, που χρησιμοποιείται πλέον για καθημερινές γεωδαιτικές εργασίες, καθώς και το ίδιας τεχνολογίας ρωσικό GLONASS. Επίσης βρίσκεται υπό κατασκευή το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo.

2.2.2. Λειτουργικά μέρη του GPS

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

Το **δορυφορικό τμήμα** αποτελείται από 24 δορυφόρους που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη σε απόσταση 20200km πάνω από την επιφάνεια της γης. Κάθε δορυφόρος κάνει μια περιστροφή γύρω από τη γη κάθε 12 ώρες. Οι δορυφόροι ακολουθούν 6 τροχιές με 4

δορυφόρους σε κάθε τροχιά. Αυτή η διάταξη των δορυφόρων εξασφαλίζει ότι τουλάχιστον 4 δορυφόροι θα στέλνουν σήμα σε οποιοδήποτε σημείο της γης 24 ώρες τη μέρα.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ραδιοκύματα στην συχνότητα $L_1=1575,42$ MHz και $L_2=1227,60$ MHz. Τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και με ελαφρά μικρότερη ταχύτητα στην ατμόσφαιρα της γης. Το σήμα L_1 περιέχει έναν ακριβή κώδικα τον C/A (Coarse/Acquisition Code). Το σήμα L_2 φέρει μόνο τον κώδικα P(Precise Code) και χρησιμοποιείται για την διόρθωση της καθυστέρησης των σημάτων που οφείλεται στην ινόςφαιρα. Και οι δύο αυτοί κώδικες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Εκτός από τους παραπάνω κώδικες υπάρχει και ο κώδικας δεδομένων D (Data Code) που υπερτίθεται στα σήματα L_1 και L_2 και παρέχει διάφορες πληροφορίες όπως πχ για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή, χρονικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων κ.α. (Δερμάνης, 1999). Ο κάθε δορυφόρος είναι επίσης εξοπλισμένος με 4 ατομικά ρολόγια (δύο καισίου και δύο ρουβιδίου). Τα ατομικά ρολόγια μετρούν το χρόνο με βάση τις φυσικές περιοδικές κινήσεις των ατόμων και είναι μεγάλης ακριβείας.

Οι δορυφόροι διαθέτουν επίσης συστήματα επικοινωνιών, υπολογιστές και διάφορα βοηθητικά συστήματα. Δύο ηλιακοί συσσωρευτές παρέχουν ισχύ 710 W που απαιτείται για την λειτουργία των συστημάτων ελέγχου.

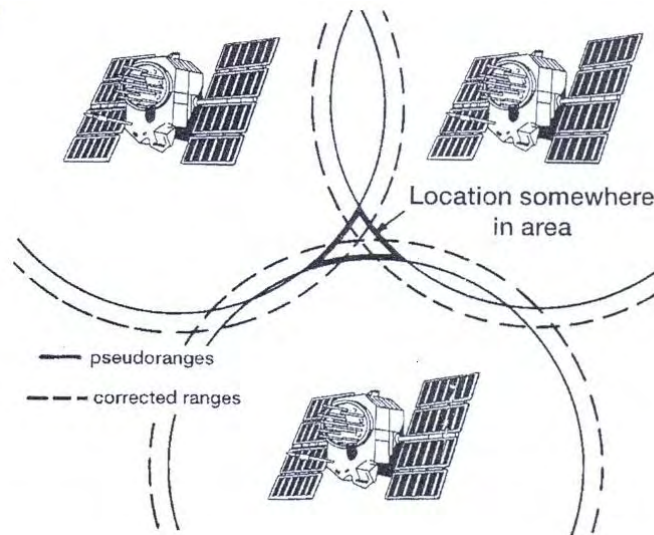
Το **τμήμα ελέγχου** αποτελείται από τους επίγειους σταθμούς που είναι τριών ειδών: ο κεντρικός σταθμός ελέγχου που βρίσκεται στο Colorado Springs των ΗΠΑ, οι 5 σταθμοί παρακολούθησης (Colorado Springs, Χαβάη, νήσος Ascension στο νότιο Ατλαντικό, Diego Garcia στον Ινδικό, Kwajalein στο νότιο Ειρηνικό) και οι 3 σταθμοί ελέγχου (Ascension, Diego Garcia, Kwajalein).

Οι σταθμοί παρακολούθησης είναι εφοδιασμένοι με δέκτες που λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπουν συνεχώς οι δορυφόροι, τα οποία μετά από κάποια επεξεργασία μεταδίδονται στον κεντρικό σταθμό ελέγχου. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων και να ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης (Δερμάνης, 1999).

Το **τμήμα χρήσης** αποτελείται από τους χρήστες που είναι οι πολίτες και ο στρατός που χρησιμοποιούν το GPS για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ανθρώπου ή ενός οχήματος στη γη. Οι δέκτες GPS που χρησιμοποιούν οι πολίτες δεν χρειάζονται άδεια λειτουργίας επειδή δεν στέλνουν σήματα αλλά μόνο λαμβάνουν σήματα. Επίσης δεν υπάρχει οικονομική επιβάρυνση για την χρήση των δορυφορικών σημάτων του GPS.

2.2.3. Τρόπος προσδιορισμού θέσης με το GPS

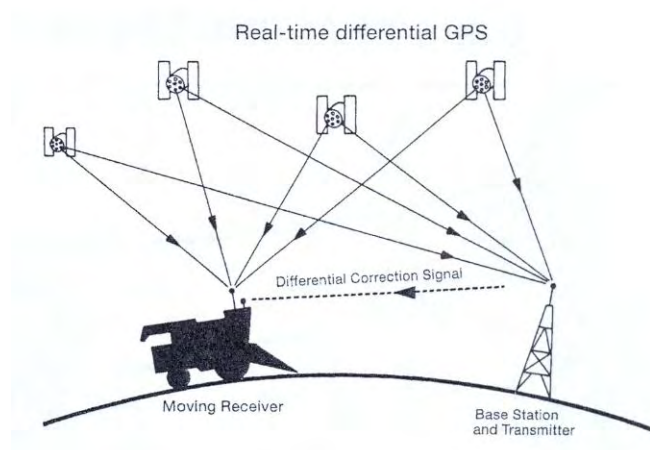
Οι δέκτες του GPS έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του P και του C/A κώδικα. Ένα ακριβές αντίγραφο του κώδικα P ή C/A παράγεται εσωτερικά στο δέκτη. Στη συνέχεια ο δέκτης προσπαθεί να συσχετίσει το δικό του εσωτερικό κώδικα με το σήμα που λαμβάνει από το δορυφόρο. Έτσι μετράται ο χρόνος άφιξης του σήματος του δορυφόρου. Με την ανάγνωση και αποκωδικοποίηση του D κώδικα ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει και τη στιγμή της εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο. Η διαφορά του χρόνου άφιξης και του χρόνου εκπομπής καθορίζει το χρόνο που χρειάζεται το σήμα να διανύσει την απόσταση δορυφόρου δέκτη. Πολλαπλασιάζοντας το χρόνο αυτό με την ταχύτητα του φωτός μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση δορυφόρου δέκτη, μια ψευδοαπόσταση που περιλαμβάνει πολλών ειδών καθυστερήσεις του σήματος, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Οι θέσεις των δορυφόρων όμως είναι γνωστές (από τον D κώδικα) σε χώρο και χρόνο, μπορούμε συνεπώς να καθορίσουμε τη θέση ενός δέκτη αν μετρήσουμε ταυτόχρονα τέσσερις ψευδοαποστάσεις προς τέσσερις δορυφόρους. Δηλαδή γνωρίζοντας την απόσταση ενός σημείου από ένα δορυφόρο τότε το σημείο αυτό βρίσκεται πάνω σε μια σφαίρα με κέντρο το δορυφόρο και απόσταση ίση με αυτή του σημείου. Γνωρίζοντας την απόσταση από δύο δορυφόρους το σημείο βρίσκεται σε ένα κύκλο που είναι το σημείο τομής των δύο σφαιρών. Γνωρίζοντας την απόσταση από τρεις δορυφόρους το σημείο βρίσκεται στο σημείο τομής των τριών σφαιρών που είναι δύο σημεία. Το ένα από τα δύο σημεία είναι το ζητούμενο καθώς βρίσκεται στη επιφάνεια της γης. Όμως λόγω των λαθών στη εκτίμηση της απόστασης από κάθε δορυφόρο οι τρεις αποστάσεις που μετράμε από τους τρεις δορυφόρους δεν καθορίζουν ένα σημείο αλλά ένα τρίγωνο (Εικόνα 2.1). Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το σήμα από ένα τέταρτο δορυφόρο για να βελτιώσει την εκτίμηση της θέσης του σημείου. Με τον τρόπο αυτό χρησιμοποιώντας σήματα από τέσσερις δορυφόρους μπορεί να γίνει εκτίμηση της θέσης ενός σημείου στη γη (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο).



Εικόνα 2.1 Μέθοδος προσδιορισμού θέσης με το GPS

Differential Global Positioning System (DGPS)

Το DGPS είναι ένας τύπος GPS που χρησιμοποιεί ένα σήμα από επίγειους δέκτες για να διορθώσει το σφάλμα που υπάρχει (Εικόνα 2.2). Το σήμα αυτό προέρχεται από επίγειους σταθμούς των οποίων η θέση είναι γνωστή και λαμβάνοντας οι ίδιοι το σήμα από τους δορυφόρους κάνουν τη διόρθωση και εκπέμπουν το σφάλμα. Η ακρίβεια του συστήματος είναι από 30cm-1m.



Εικόνα 2.2 Differential Global Positioning System (DGPS)

Real Time Kinematic GPS (RTK)

Το RTK GPS είναι μια τεχνική προσδιορισμού θέσης που βασίζεται στη μέτρηση του φέροντος σήματος του GPS, όπου ένας επίγειος σταθμός παρέχει τη διόρθωση σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια ακόμη και ενός εκατοστού (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Real Time Kinematic GPS

2.2.4. Εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας

Στη Γεωργία Ακριβείας έχει μεγάλη σημασία η πληροφορία σχετικά με τη θέση ενός οχήματος καθώς κινείται στον αγρό και αυτό είναι δυνατό να γίνει χάρη στο GPS. Υπάρχουν διάφορες εφαρμογές του GPS στη Γεωργία Ακριβείας όπως δημιουργία περιγράμματος αγρών, παρακολούθηση καλλιεργειών και σύνδεση με τα σημεία του αγρού, χαρτογράφηση εδάφους, χαρτογράφηση παραγωγής. Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει ένα δέκτη GPS ή DGPS, μια συσκευή για αποθήκευση της πληροφορίας (πχ ένας φορητός H/Y), και λογισμικό για τη δημιουργία και απεικόνιση χαρτών. Ο δέκτης GPS με την κεραία του τοποθετούνται στο όχημα που κινείται στον αγρό.

Για τη δημιουργία περιγράμματος του αγρού απλά ο παραγωγός περπατά η οδηγεί γύρω από τον αγρό με το GPS και τον φορητό H/Y για να καταγράψει τα δεδομένα. Στη συνέχεια δίνει ένα όνομα στο περίγραμμα όμοιο με το όνομα του αγρού και αποθηκεύει τα δεδομένα.

Με τον ίδιο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για το περίγραμμα ο παραγωγός περπατά στον αγρό και καταγράφει στη διάρκεια της βλαστικής περιόδου τις περιοχές που υπάρχουν ζιζάνια, προβλήματα με εχθρούς και ασθένειες ή προβλήματα με τροφοπενίες. Καταγράφοντας τις θέσεις που υπάρχουν τα παραπάνω προβλήματα, ο παραγωγός μπορεί να επιστρέψει και εφαρμόσει τα κατάλληλα αγροχημικά ή άλλες καλλιεργητικές φροντίδες.

Για τη χαρτογράφηση εδάφους το GPS χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θέσης που λαμβάνονται τα δείγματα εδάφους και στην συνέχεια αφού γίνει η ανάλυση των δειγμάτων στο εδαφολογικό εργαστήριο δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες χρησιμοποιώντας κατάλληλο λογισμικό για την δημιουργία χαρτών.

Για την χαρτογράφηση παραγωγής το GPS μαζί με αισθητήρες ροής του υλικού στη μηχανή και ένα σύστημα καταγραφής της ροής, του πλάτους εργασίας, της ταχύτητας εργασίας και της αντίστοιχης θέσης που προσαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής μπορεί να γίνει η καταγραφή της παραγωγής σε κάθε θέση του αγρού και στη συνέχεια να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες παραγωγής. Περισσότερες λεπτομέρειες για τη χαρτογράφηση εδάφους και τη χαρτογράφηση παραγωγής θα αναφερθούν στα επόμενα κεφάλαια.

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

2.3 Χαρτογράφηση παραγωγής

Το οικονομικό όφελος ή ζημιά ενός παραγωγού έχει να κάνει με την παραγωγή μιας καλλιέργειας κάθε καλλιεργητική περίοδο. Οι παραγωγοί προσπαθούν να αυξήσουν την ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος και ταυτόχρονα να μειώσουν το κόστος παραγωγής. Με τη χαρτογράφηση παραγωγής γίνεται ταυτόχρονη καταγραφή της παραγωγής και της θέσης σε πολλά σημεία του αγρού, έτσι ώστε να διερευνηθεί ποιοι

παράγοντες επηρεάζουν την παραγωγή. Οι χάρτες παραγωγής μπορούν να συνδυαστούν με εδαφολογικούς χάρτες και άλλα δεδομένα (μετεωρολογικά, τηλεπισκόπισης κα) έτσι ώστε να αρχίσει η διαδικασία ανάπτυξης ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας.

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

2.3.1 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για θεριζοαλωνιστικές μηχανές

Προκειμένου να μετρηθεί η παραγωγή καθώς μια μηχανή συγκομιδής εργάζεται στον αγρό πρέπει να γνωρίζουμε τρία πράγματα: τη ροή του υλικού σε κάποιο σύστημα της μηχανής συγκομιδής, την ταχύτητα και το πραγματικό πλάτος εργασίας της μηχανής συγκομιδής. Αν η ταχύτητα και το πλάτος εργασίας της μηχανής συγκομιδής είναι γνωστά τότε και η επιφάνεια που συλλέγεται στη μονάδα του χρόνου είναι γνωστή. Αν ο όγκος ή μάζα του προϊόντος που συλλέγεται στη μονάδα του χρόνου είναι γνωστά και η επιφάνεια συλλογής στη μονάδα του χρόνου είναι γνωστή τότε και η παραγωγή μπορεί να καθοριστεί.

Τα πιο κοινά συστήματα καταγραφής της παραγωγής αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη (Morgan and Ess, 1997):

1. **Αισθητήρες μέτρησης παραγωγής.** Οι αισθητήρες μέτρησης παραγωγής τοποθετούνται σε ένα σημείο της μηχανής συγκομιδής που περνά ο καθαρός σπόρος. Μερικά από τα είδη των αισθητήρων αυτών αναφέρονται παρακάτω:
 - Αισθητήρες μέτρησης πίεσης (Impact Force Sensor). Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν τη δύναμη που ασκεί η ροή του σπόρου σε κάποιο σημείο του σωλήνα μεταφοράς του προϊόντος. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με τη ροή του σπόρου.
 - Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης (Plate Displacement Sensor). Οι αισθητήρες αυτοί είναι παρόμοιοι με τους παραπάνω αισθητήρες με διαφορά ότι μετρούν με ποτενσιόμετρο την μετατόπιση που ασκεί η ροή του σπόρου καθώς προσκρούει σε κάποιο σημείο του σωλήνα μεταφοράς του προϊόντος. Η μετατόπιση αυτή είναι ανάλογη με τη ροή του σπόρου.

- **Ραδιομετρικό σύστημα (Radiometric System).** Στο σύστημα αυτό υπάρχει μια πηγή ακτινοβολίας (από το ισότοπο Αμερικόιο 241) και ένας ανιχνευτής. Η ένταση της ακτινοβολίας που μετράται από τον ανιχνευτή είναι η μέγιστη όταν δεν περνά σπόρος από τον σωλήνα μεταφοράς. Καθώς περνάει ο σπόρος από τον σωλήνα μεταφοράς η ένταση της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται μειώνεται. Η μείωση της έντασης της ακτινοβολίας είναι ανάλογη με τη μάζα του σπόρου. Έτσι το σύστημα αυτό μετράει μάζα σπόρου και η μέτρηση είναι ανεξάρτητη από το είδος του σπόρου.
 - **Σύστημα με δυναμοκυψέλες (Load cell System).** Στο σύστημα αυτό μετράται το βάρος του σπόρου με μια δυναμοκυψέλη καθώς περνά από τον κοχλία μεταφοράς του σπόρου της μηχανής συγκομιδής. Το βάρος του σπόρου που μετράται συνδυάζεται με την ταχύτητα της μηχανής, την υγρασία του σπόρου και το πλάτος κοπής με σκοπό να δώσει μια εκτίμηση της παραγωγής ανά μονάδα συγκομιζόμενης έκτασης.
 - **Σύστημα μέτρησης όγκου (Volume Measurement System).** Μια άλλη κατηγορία αισθητήρων μέτρησης παραγωγής μετρά τον όγκο του σπόρου που περνά από το σύστημα καθαρισμού του σπόρου. Στο σύστημα αυτό υπάρχει μια πηγή φωτός και ένας αισθητήρας που ανιχνεύει το φως. Η ακτινοβολία που ανιχνεύεται μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα. Η ακτινοβολία που ανιχνεύεται χρησιμοποιείται για εκτιμηθεί ο όγκος του σπόρου που περνά από το σωλήνα μεταφοράς του σπόρου. Η μέτρηση αυτή εξαρτάται από το είδος του σπόρου και από την υγρασία του σπόρου. Επίσης είναι απαραίτητο να μετρηθεί η πυκνότητα του σπόρου με σκοπό να εκτιμηθεί η παραγωγή.
- 2. Αισθητήρες μέτρησης υγρασίας σπόρου.** Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας του σπόρου συνήθως τοποθετείται στο σύστημα καθαρισμού του σπόρου κοντά στους αισθητήρες μέτρησης παραγωγής. Συνήθως χρησιμοποιούνται αισθητήρες με πυκνωτές για την μέτρηση της υγρασίας του σπόρου. Οι πυκνωτές συσσωρεύουν ηλεκτρικά φορτία σε δύο μεταλλικούς οπλισμούς που χωρίζονται με ένα διηλεκτρικό. Ο αισθητήρας μετρά τις διηλεκτρικές ιδιότητες του σπόρου που περνά ανάμεσα από τους οπλισμούς του πυκνωτή. Όσο υψηλότερο είναι το ποσοστό υγρασίας του σπόρου τόσο μεγαλύτερη είναι και η διηλεκτρική σταθερά. Επομένως η μέτρηση της διηλεκτρικής σταθεράς δείχνει την υγρασία του σπόρου.
- 3. Αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας.** Οι αισθητήρες αυτοί εγκαθίστανται στους τροχούς της μηχανής συγκομιδής και μετράνε την ταχύτητά της. Η τεχνολογία των αισθητήρων

αυτών βασίζεται σε proximity sensors (μαγνήτες), ραντάρ, υπερήχους, ή σήματα από GPS.

4. **Αισθητήρας θέσης μηχανισμού θερισμού μηχανής συγκομιδής.** Ο αισθητήρας αυτός ελέγχει τη ροή και αποθήκευση των δεδομένων. Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ότι ο μηχανισμός θερισμού είναι ανυψωμένος δεν γίνεται καταγραφή δεδομένων και επομένως υπολογισμός της έκτασης ακόμη και όταν η μηχανή συγκομιδής κινείται και όλα τα συστήματα της είναι σε λειτουργία. Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ότι ο μηχανισμός θερισμού είναι στο έδαφος γίνεται υπολογισμός της έκτασης που συγκομίζεται.
5. **Κεντρική μονάδα με οθόνη.** Η κεντρική μονάδα είναι το βασικό στοιχείο του συστήματος. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και ταυτόχρονα τα δείχνει στην οθόνη. Τοποθετείται στην καμπίνα της μηχανής συγκομιδής να είναι εύκολα ορατή από τον χειριστή. Επίσης ο χειριστής μπορεί να εισάγει πληροφορίες στο σύστημα που αφορούν το όνομα του αγρού, τον αριθμό του φορτίου και το πλάτος κοπής. Οι πληροφορίες που έρχονται από τους αισθητήρες και φαίνονται στην οθόνη αφορούν την υγρασία του σπόρου, τη στιγμιαία παραγωγή, τη μέση παραγωγή, την έκταση που συγκομίστηκε, την ταχύτητα της μηχανής και την ποιότητα του σήματος του GPS.
6. **Δέκτη GPS με κεραία** που δίνει στο σύστημα τη θέση της μηχανής συγκομιδής στον αγρό.

Βαθμονόμηση

Όπως ελέγχθη προηγουμένως οι αισθητήρες παραγωγής δεν μετρούν άμεσα την παραγωγή, αλλά μετρούν δύναμη, μετατόπιση, όγκο, απορρόφηση ακτινοβολίας, υγρασία σπόρου, ταχύτητα μηχανής συγκομιδής και πλάτος εργασίας. Για το λόγο αυτό το σύστημα χρειάζεται βαθμονόμηση ώστε οι μετρήσεις που προέρχονται από τους αισθητήρες να αντιστοιχούν στην παραγωγή. Η βαθμονόμηση γίνεται συνήθως συγκρίνοντας τα βάρη αρκετών φορτίων που έχουν εκτιμηθεί από τους αισθητήρες παραγωγής με αυτά που προκύπτουν από την ζύγιση των φορτίων (Markinos et al., 2004). Έτσι προκύπτει ένας συντελεστής βαθμονόμησης (calibration factor) που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των τιμών που λαμβάνονται από τους αισθητήρες σε πραγματική παραγωγή.

Αν οι συνθήκες που επικρατούν κατά τη συγκομιδή παραμένουν παρόμοιες με αυτές που υπήρχαν κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τους

αισθητήρες είναι σωστές. Αν όμως οι συνθήκες αλλάξουν (πχ υγρασία σπόρου, ποικιλία, ρυθμός ροής σπόρου) τότε το σύστημα χρειάζεται ξανά βαθμονόμηση.

Συλλογή δεδομένων παραγωγής

Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα κάθε 1, 2, 3 ή 5 δευτερόλεπτα. Τα δεδομένα αυτά είναι συνδυασμός της θέσης από το GPS και των δεδομένων που έρχονται από τους αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται στην κεντρική μονάδα. Με μια κάρτα PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association) τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν από την κεντρική μονάδα σε ένα προσωπικό υπολογιστή και με ένα κατάλληλο λογισμικό GIS να γίνει απεικόνιση των δεδομένων σε χάρτες.

2.3.2 Συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής για άλλες καλλιέργειες

Παρόλο που τα πρώτα συστήματα καταγραφής της παραγωγής αναπτύχθηκαν για σιτηρά (De Baerdemaeker et al., 1985, Searchy et al., 1989, Stafford et al., 1991, Birrel et al., 1993, Murphy et al., 1995, Birrel et al., 1996, Arslan and Colvin, 1999, Lee et al., 1999, Grisso et al., 2002), τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αντίστοιχα συστήματα και για άλλες καλλιέργειες. Τέτοιες καλλιέργειες είναι το βαμβάκι (Vellidis et al., 2003, Markinos et al., 2004, Toullos et al., 2005), τα ζαχαρότευτλα (Hofman et al., 1995, Medema et al., 2000), η πατάτα (Campbell et al., 1994, Rawlins et al., 1995), η ντομάτα (Pelletier and Upadyaya, 1999), η πιπεριά (Qiao et al., 2005), το φυστίκι (Vellidis et al., 2001) και τα χορτοδοτικά φυτά (Auernhammer et al. 1995, Kromer et al., 1999) και το αμπέλι (Bramley et al., 2005, Tisseyre and McBratney, 2007, Arno et al., 2005, Ortega, 2003, Tagarakis et al., 2006). Για τις δενδρώδεις καλλιέργειες οι εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας θα αναπτυχθούν στο κεφάλαιο 2.7

2.3.3 Χρησιμότητα των χαρτών παραγωγής

Οι παραγωγοί γνωρίζουν ότι η απόδοση των καλλιεργειών διαφέρει χωρικά σε έναν αγρό. Επίσης κατά τη συγκομιδή μπορεί να έχουν μια ιδέα πόσο διαφέρει η απόδοση στα διάφορα μέρη του αγρού. Με τη χαρτογράφηση παραγωγής όμως η διαφοροποίηση της παραγωγής καταγράφεται ποσοτικά και επομένως δίνεται η δυνατότητα χωρικής καταγραφής κάτι που ο παραγωγός αδυνατεί να επιτύχει με απλή παρατήρηση. Επιπλέον δημιουργείται μια βάση δεδομένων που δίνει τη χρονική παραλλακτικότητα. Έτσι μελετώντας τους αντίστοιχους χάρτες παραγωγής είναι δυνατή η διερεύνηση των αιτίων

της παραλλακτικότητας της παραγωγής. Επίσης στη συνέχεια μπορεί να διερευνηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ παραλλακτικότητας στην παραγωγή και εδαφικών ιδιοτήτων, η προβλημάτων που σχετίζονται με τη γονιμότητα του εδάφους, τον έλεγχο των ζιζανίων, στράγγισης, συμπίεσης του εδάφους κ.α. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από την ανάλυση των χαρτών παραγωγής για αρκετά χρόνια μπορούν να αλλάξουν τον τρόπο που ο παραγωγός κάνει εφαρμογή των εισροών στον αγρό.

2.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

2.4.1 Γενικά

Η κατανόηση της παραλλακτικότητας στο έδαφος είναι μια από τις παλαιότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι αγρότες και οι επιστήμονες. Η τακτική δειγματοληψία και ανάλυση του εδάφους είναι η βάση για ένα πρόγραμμα λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Παρόλα αυτά στο παρελθόν όταν οι τιμές των λιπασμάτων ήταν χαμηλότερες ήταν πιο απλό η λίπανση να εφαρμοστεί ομοιόμορφα στον αγρό. Η δόση του λιπάσματος βασιζόταν στο μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού. Η ανάπτυξη εξοπλισμού που βασίζεται στα ηλεκτρονικά για εφαρμογή λιπασμάτων και η ανάπτυξη του GPS έδωσε τη δυνατότητα στην ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων δειγματοληψίας και χαρτογράφησης με τις οποίες γίνεται ακριβής προσδιορισμός της χωρικής παραλλακτικότητας στο έδαφος (Wollenhaupt et al., 1994, Franzen and Peck, 1995, Pierce et al., 1995, Γκόλια 2003).

2.4.2. Θρεπτικά στοιχεία του εδάφους που επηρεάζουν την παραγωγή

Τα εδαφικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι (Μήτσιος, 2004):

- Τα κύρια στοιχεία (άζωτο (N), φώσφορος (P), κάλιο (K))
- Τα δευτερεύοντα στοιχεία (ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο(Mg), θείο(S))
- Τα ιχνοστοιχεία (βόριο (B), χλώριο (Cl), χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), και μολυβδαίνιο (Mo).

Το άζωτο είναι για τα περισσότερα φυτά ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο για την παραγωγή. Ο χρόνος εφαρμογής του N και οι μέθοδοι εφαρμογής παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο. Η εφαρμογή του N πρέπει να γίνεται την εποχή που είναι αναγκαίο για τα φυτά. Όταν η εφαρμογή του N δεν γίνεται την κατάλληλη εποχή υπάρχουν απώλειες λόγω

απονιτροποίησης, έκπλυσης και εξαέρωσης (Μήτσιος, 2004). Η απονιτροποίηση συμβαίνει όταν μικροοργανισμοί στο έδαφος μετατρέπουν τα νιτρικά του εδάφους σε αέριο N. Αυτό συμβαίνει όταν το έδαφος είναι υγρό, συμπιεσμένο και ζεστό. Η έκπλυση του N γίνεται όταν το νερό της βροχής ή της άρδευσης παρασύρει το N στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Η εξαέρωση γίνεται όταν τα λιπάσματα που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους μετατρέπονται σε αέρια αμμωνία. Επειδή το N μπορεί να χαθεί από το έδαφος με τους παραπάνω τρόπους πρέπει να γίνεται η εφαρμογή του την εποχή που τα φυτά το χρειάζονται. Επίσης για τον ίδιο λόγο η δειγματοληψία του εδάφους για ανάλυση N πρέπει να γίνεται λίγο πριν την εφαρμογή του N.

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών μερών του φυτού. Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου βρίσκονται στους σπόρους και στους καρπούς (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Ο φώσφορος συγκρατείται ισχυρά στο έδαφος δεν έχει απώλειες όπως το άζωτο και για το λόγο αυτό ο χρόνος εφαρμογής του δεν παίζει τόσο σπουδαίο ρόλο. Επειδή ο φώσφορος συγκρατείται από τα εδαφικά τεμάχια μπορεί να χαθεί λόγω διάβρωσης.

Το κάλιο παίζει ρόλο στην μετακίνηση ουσιών μέσα στο φυτό. Επίσης σχετίζεται με την ενεργοποίηση κάποιων ενζύμων που εμπλέκονται σε σημαντικές διεργασίες ανάπτυξης των φυτών. Το κάλιο επίσης επηρεάζει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στην έλλειψη υγρασίας (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Από τη συνολική ποσότητα καλίου στο έδαφος μόνο το 1-10% είναι διαθέσιμο για τα φυτά (Μήτσιος, 2004). Για το λόγο αυτό οι αναλύσεις εδάφους αποσκοπούν στη μέτρηση του διαθέσιμου καλίου για τα φυτά έτσι ώστε να δοθούν συστάσεις για την ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί.

Από τα δευτερεύοντα στοιχεία το ασβέστιο διεγείρει την ανάπτυξη της ρίζας, του στελέχους και των φύλλων και βελτιώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή της χλωροφύλλης και βοηθά στην παραγωγή πολλών συστατικών των φυτών όπως σάκχαρα, άμυλο και λίπη (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Το θείο βρίσκεται στο πρωτόπλασμα των κυττάρων και βοηθά στη σύνθεση των πρωτεϊνών και ενισχύει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002).

Τα ιχνοστοιχεία χρειάζονται στα φυτά σε πολύ μικρές ποσότητες και για το λόγο αυτό σπάνια παρουσιάζονται ελλείψεις ιχνοστοιχείων. Παρόλα αυτά σε μερικά εδάφη παρουσιάζονται ελλείψεις και μερικά είδη φυτών είναι ευαίσθητα στις ελλείψεις κάποιων ιχνοστοιχείων. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται ανάλυση του εδάφους και για ιχνοστοιχεία.

Εκτός από τα θρεπτικά στοιχεία το pH του εδάφους επηρεάζει την παραγωγή. Το pH είναι ένα μέτρο της οξύτητας του εδάφους. Χαμηλό pH σημαίνει ότι στο εδαφικό διάλυμα υπάρχουν πολλά κατιόντα υδρογόνου τα οποία αντιδρούν με τα θρεπτικά στοιχεία και τα καθιστούν λιγότερο διαθέσιμα για τα φυτά. Για την βελτίωση των όξινων εδαφών γίνεται προσθήκη ασβέστου (Μήτσιος, 1999).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή είναι το ποσοστό της οργανικής ουσίας, η μηχανική σύσταση, η δομή (πυκνότητα και πορώδες), η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, η κλίση και η τοπογραφία, η μέθοδος κατεργασίας του εδάφους, η στράγγιση, το βάθος και η συμπίεση του εδάφους (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002). Τέλος εκτός από το επίπεδο των θρεπτικών στοιχείων και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους για την επίτευξη υψηλής παραγωγής είναι απαραίτητο να εξασφαλιστεί το κατάλληλο ποσοστό υγρασίας στο έδαφος με την άρδευση της καλλιέργειας.

2.4.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους

Οι δύο πιο κύριες μέθοδοι δειγματοληψίας του εδάφους είναι:

- Δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling)
- Δειγματοληψία με βάση τον τύπο του εδάφους (soil type sampling)

Στη δειγματοληψία πλέγματος γίνεται διαχωρισμός του αγρού σε τετράγωνα ή ορθογώνια κελιά. Σε κάθε κελί λαμβάνονται δείγματα τα οποία αναμιγνύονται για να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές ιδιότητες του κελιού και στέλνονται στο εργαστήριο για ανάλυση. Με τον τρόπο αυτό γίνεται εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων σε μια κλίμακα μικρότερη από ολόκληρο το χωράφι.

Στη δειγματοληψία με βάση τον τύπο του εδάφους η δειγματοληψία γίνεται από τμήματα του αγρού που έχουν παρόμοιο τύπο εδάφους ή άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά όπως οι ζώνες διαχείρισης. Για να γίνει αυτό ο παραγωγός βασίζεται σε εδαφολογικούς χάρτες. Αρκετά δείγματα συλλέγονται και αναμιγνύονται από κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο εδάφους. Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι ότι εδώ οι αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων δεν είναι ίδιες.

Αν κατά τη λήψη των δειγμάτων γίνεται ταυτόχρονα και καταγραφή της θέσης του δείγματος με GPS, στη συνέχεια με ένα κατάλληλο λογισμικό δημιουργούνται οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού.

2.4.4 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Soil electrical conductivity)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ορίζεται ως η ευκολία με την οποία περνάει το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από τη μάζα του. Η αγωγή του ρεύματος γίνεται μέσω των τριχοειδών πόρων που σχηματίζουν μεταξύ τους τα εδαφικά συσσωματώματα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετράται σε mSiemens/m και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι (Friedman, 2005, Corwin and Lesch, 2005) :

- Η μηχανική σύσταση του εδάφους. Η άμμος έχει μικρή, η ιλύς μέση και η άργιλος υψηλή αγωγιμότητα
- Η συμπίεση του εδάφους η οποία αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.
- Η περιεκτικότητα σε νερό αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η αλατότητα. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Εδάφη με μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων έχουν μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα
- Η οργανική ουσία. Η οργανική ουσία αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους γιατί συγκρατεί πολλά ιόντα
- Η θερμοκρασία του εδάφους. Κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας σε τιμές άνω του μηδενός η ηλεκτρική αγωγιμότητα μεταβάλλεται ελάχιστα. Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω του μηδενός η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται σημαντικά

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε ένα έδαφος δεν μεταβάλλεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου. Οι παράγοντες που μπορούν να επιφέρουν δραστικές αλλαγές στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι:

- Η μεταφορά εδάφους πχ ισοπέδωση
- Το βαθύ όργωμα
- Η χρήση αρδευτικού νερού με πολλά άλατα
- Η προσθήκη μεγάλης ποσότητας οργανικής ουσίας
- Η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών πχ ασβέστη για διόρθωση του pH

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας η μέτρηση της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται στον εντοπισμό ομοιογενών ζωνών διαχείρισης στο έδαφος (Kitchen et al., 2005) του αγρού που χαρακτηρίζονται σαφέστερα με την ανάλυση εδαφικών δειγμάτων.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι χαρτογράφησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους που δίνουν παρόμοια αποτελέσματα:

- Με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή
- Με επαφή

Με την μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (electromagnetic induction) μετριέται η επίδραση του εδάφους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο. Η επίδραση αυτή σχετίζεται με την εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η μέθοδος αυτή είναι δύσκολη στην εφαρμογή απαιτεί συχνή βαθμονόμηση, είναι ευαίσθητη σε παρεμβολές μεταλλικών αντικειμένων και δίνει μετρήσεις που αφορούν ένα βάθος.

Με την μέθοδο της επαφής (contact method) μετριέται η πτώση δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων στο έδαφος. Ο τρόπος αυτός προσφέρει ευκολία, ταχύτητα και χαμηλό κόστος.

Το σύστημα χαρτογράφησης εδαφών Veris συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με την μέθοδο της επαφής και τις δυνατότητες που παρέχει το GPS. Με το σύστημα αυτό μπορούν να χαρτογραφηθούν μεγάλες εκτάσεις εύκολα και γρήγορα. Ο μηχανισμός σύρεται στην επιφάνεια του εδάφους με ένα αγροτικό ελκυστήρα ή ένα αυτοκίνητο και πραγματοποιεί μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κάθε δευτερόλεπτο, ενώ με τη βοήθεια του GPS καταγράφει και τη θέση του στον αγρό. Το μοντέλο Veris 3100 καταγράφει τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας ταυτόχρονα στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους (0-30 εκ.) και στο υπέδαφος (0-90εκ.). στη συνέχεια οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε συνδυασμό με το γεωγραφικό στίγμα των σημείων στα οποία αναφέρονται μεταφέρονται με δισκέτα σε Η/Υ όπου με το κατάλληλο λογισμικό μετατρέπονται σε χάρτη.

2.5 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)

2.5.1 Γενικά

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

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου οι πληροφορίες οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται. Οι πληροφορίες σε ένα GIS απεικονίζονται πάντοτε ως ψηφιακοί χάρτες του υπό εξέταση αγρού γιατί όλες οι πληροφορίες είναι προσδιορισμένες στο χώρο με τη βοήθεια του GPS. Πρόσθετα εργαλεία όπως στατιστικές αναλύσεις, προσομοιώσεις και άλλες αναλυτικές μέθοδοι, χρησιμοποιούνται από το GIS και βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στη λήψη αποφάσεων (Westervelt and Reetz, 2000). Πέρα από την χαρτογράφηση, οι βάσεις δεδομένων που συνδέονται με το GIS και τα εργαλεία του για το χειρισμό τους, καθιστούν το GIS πολύτιμο εργαλείο σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακρίβειας.

Σε ένα σύστημα GIS εισάγονται πληροφορίες όπως η παραγωγή, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά. Επίσης είναι δυνατόν να εισαχθούν παρατηρήσεις (πχ προσβολές από έντομα, ζιζάνια στον αγρό), ή άλλες πληροφορίες όπως ένας χάρτης των σημείων δειγματοληψίας του εδάφους.

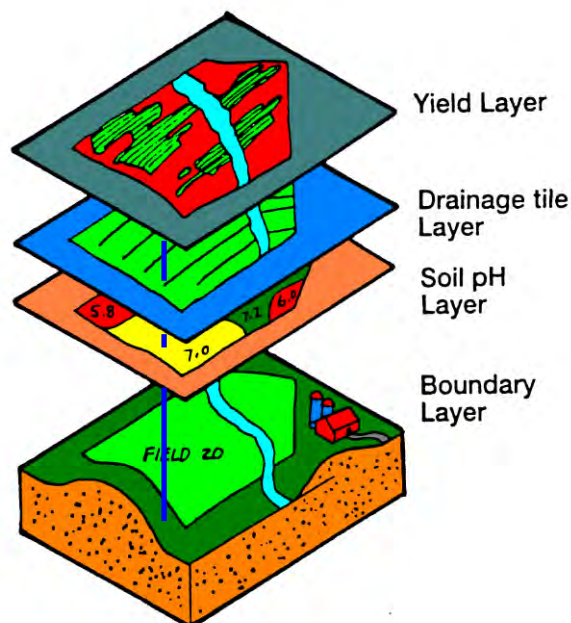
Με τη συστηματική συλλογή δεδομένων δημιουργείται ένας αριθμός χαρτών (Εικόνα 2.4), που απεικονίζουν τη μεταβολή διαφόρων παραμέτρων του αγρού ή της καλλιέργειας. Η ανάλυση των παραπάνω δεδομένων οδηγεί στην εξεύρεση των εντοπισμένων παραγόντων περιοριστικών της παραγωγής και με βάση τα στοιχεία αυτά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

Ένα GIS λογισμικό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Ένα σύστημα εισαγωγής (data input) χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί πληροφορίες που προέρχονται από χάρτες, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικές φωτογραφίες κ.α.

- Ένα σύστημα αποθήκευσης (data storage) και οργάνωσης βάσης δεδομένων
- Ένα σύστημα εμφάνισης δεδομένων (data output) που περιλαμβάνει αποτελέσματα ανάλυσης που εμφανίζονται ή καταχωρούνται όπως πίνακες, χάρτες και σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη ή καταχωρούνται στη μνήμη του Η/Υ.
- Ένα σύστημα ανάλυσης δεδομένων που περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία για την απομάκρυνση λαθών από τα δεδομένα, τον υπολογισμό επιφανειών, περιμέτρων, την αλλαγή κλίμακας χαρτών, τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων.
- Ένα σύστημα αλληλεπίδρασης (user interface) με το χρήστη που περιλαμβάνει μενού και εντολές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του χρήστη με το πρόγραμμα.

Υπάρχουν δύο μορφές απεικόνισης και αποθήκευσης των δεδομένων σε ένα σύστημα GIS: με διανυσματική μορφή (vector) και με μορφή κυψελίδων (raster). Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συνεχή δεδομένα αλλά σε κυψελώδη μορφή (grid). Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται με τη μέθοδο της δειγματοληψίας είναι διανυσματικά, ενώ όσα συλλέγονται με αισθητήρες (π.χ. παραγωγής) είναι δεδομένα κυψελίδων.



Εικόνα 2.4. Ένα σύστημα GIS μπορεί να απεικονίσει και να αναλύσει δεδομένα σε πολλά επίπεδα στον ίδιο αγρό. Κάθε επίπεδο μπορεί να έχει πληροφορίες που αφορούν ένα από

τα επόμενα: περίγραμμα αγρού, pH εδάφους, χάρτη στράγγισης, χάρτη παραγωγής (Πηγή: Morgan and Ess, 1997) .

2.5.2 Συστήματα συντεταγμένων

Σε ένα λογισμικό GIS όπως αναφέρθηκε παραπάνω τα δεδομένα συνδέονται με την γεωγραφική θέση που έχουν ληφθεί. Υπάρχουν διάφορα συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση των δεδομένων σε ένα χάρτη. Ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έναν αγρό. Για παράδειγμα η νοτιοδυτική γωνία ενός αγρού μπορεί να οριστεί το (0,0) ή αρχή του τοπικού συστήματος συντεταγμένων. Όλα τα άλλα σημεία στον αγρό απεικονίζονται με αποστάσεις από την αρχή. Αυτό το σύστημα είναι πολύ βολικό όταν ο αγρός είναι ένας οπωρώνας όπου οι θέσεις των δένδρων είναι σταθερές (πχ 4μ μεταξύ των γραμμών και 2μ επί της γραμμής). Το πρόβλημα με το τοπικό σύστημα συντεταγμένων είναι ότι δεδομένα από μια άλλη πηγή πρέπει να μετατραπούν με το χέρι στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων. Επίσης αν μεγάλες εκτάσεις απεικονίζονται με ένα τοπικό σύστημα συντεταγμένων, η καμπυλότητα της γης μπορεί να δημιουργήσει λάθη όταν απεικονίζονται στο επίπεδο όπως σε ένα χάρτη. Ένας καλύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί ένα πιο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Τα δύο πιο κοινά χρησιμοποιούμενα συστήματα συντεταγμένων είναι το σύστημα γεωγραφικό μήκος (longitude) - γεωγραφικό πλάτος (latitude) και το μετρικό σύστημα (Universal Transverse Mercatur, UTM). Το μετρικό σύστημα κάνει προβολή ενός μέρους της γης σε μια επίπεδη επιφάνεια ή χάρτη. Το σύστημα γεωγραφικό μήκος-γεωγραφικό πλάτος μετρά δύο γωνίες από τον ισημερινό και από τον κεντρικό μεσημβρινό που περνάει από το Greenwich. Αυτές οι συντεταγμένες δίνονται σε μοίρες πρώτα λεπτά και δεύτερα λεπτά. Ένα δεύτερο λεπτό σε γεωγραφικό πλάτος είναι περίπου 30 μέτρα. Το μετρικό σύστημα μετατρέπει τις γωνίες (γεωγραφικό μήκος- πλάτος) σε ένα ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων βόρεια (northing) και ανατολικά (easting). Οι συντεταγμένες στο μετρικό σύστημα δίνονται σε μέτρα με τον κατακόρυφο άξονα να λέγεται northing και τον οριζόντιο easting. Όταν χρησιμοποιείται το μετρικό σύστημα το κατάλληλο επίπεδο αναφοράς στο οποίο προβάλλονται οι γωνίες (γεωγραφικό μήκος- πλάτος) πρέπει να είναι γνωστό. Υπάρχουν δύο επιλογές : North American Datum of 1927 (NAD27) και World Geodetic Reference System (WGS84). Οι δέκτες GPS χρησιμοποιούν το (WGS84). Στην Ελλάδα βρισκόμαστε στη ζώνη 34N.

2.5.3 Χρήση GIS για Γεωργία Ακριβείας

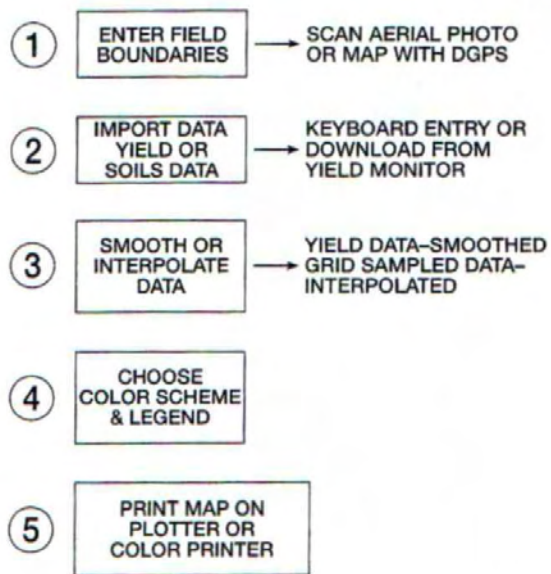
Οι χάρτες δείχνουν την παραλλακτικότητα ενός μετρούμενου μεγέθους στον αγρό. Για τη δημιουργία των χαρτών ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5.

- Εισαγωγή του περιγράμματος του αγρού (field boundary)
- Εισαγωγή δεδομένων πχ δεδομένα παραγωγής
- Δημιουργία συνεχούς επιφάνειας με τη διαδικασία της εσωεκτίμησης
- Επιλογή χρωμάτων και λεζάντας για το χάρτη
- Εκτύπωση του χάρτη

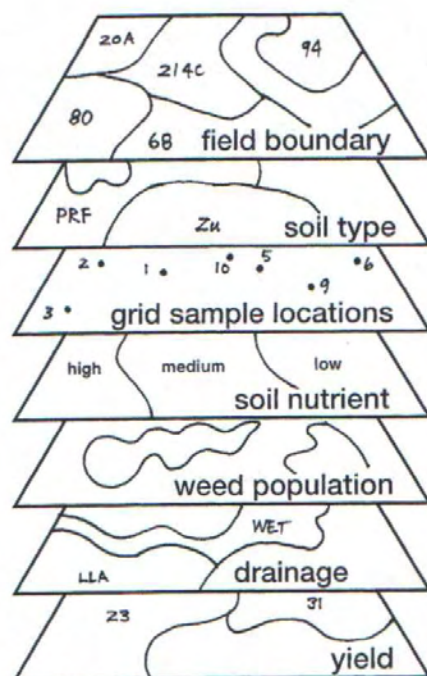
Για ένα αγρό μπορούν να προστεθούν διάφορες πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) που στη συνέχεια συνδυάζονται και λαμβάνονται αποφάσεις για τον ορθότερο τρόπο διαχείρισης του αγρού. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι οι εξής (Εικόνα 2.6):

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

GIS FOR PRECISION FARMING



Εικόνα 2.5. Βήματα για τη δημιουργία χαρτών για Γεωργία Ακριβείας (Πηγή: Morgan and Ess, 1997)



Εικόνα 2.6. Πληροφορίες σε επίπεδα (data layers) για ένα αγρό (Πηγή: Morgan and Ess, 1997)

2.5.4 Ερμηνεία των χαρτών

Η ερμηνεία και η αξιολόγηση των χαρτών πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την ιστορία του αγρού, όπως προβλήματα στη συγκομιδή, προβλήματα στη σπορά, παλαιοί φράχτες, δρόμοι, περιοχές που έχει γίνει βόσκηση από ζώα, θέσεις κτισμάτων, περιοχές στράγγισης κοκ. Πολλά χαρακτηριστικά σημεία σε ένα χάρτη παραγωγής μπορούν να αποδοθούν στους παραπάνω λόγους και όχι σε προβλήματα θρέψης που είναι διαχειρίσιμα. Η άγνοια της ιστορίας του αγρού είναι πιθανό να οδηγήσει σε παρερμηνεία των χαρτών. Επίσης είναι ουσιώδες να υπάρχουν ακριβείς χάρτες πχ στους εδαφικούς χάρτες διότι ενδέχεται να επηρεάσουν αποφάσεις για τη διαχείριση του αγρού που αφορά πολλά συνεχόμενα χρόνια. Μερικοί χάρτες περιέχουν πληροφορίες που αλλάζουν ελάχιστα με το χρόνο, όπως τύπος εδάφους, τοπογραφία, και περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία. Άλλα μετρούμενα μεγέθη αλλάζουν κάθε χρονιά, όπως οι χάρτες παραγωγής και οι τοποθεσίες που φυτρώνουν τα ζιζάνια. Για το λόγο αυτό πρέπει αυτός που λαμβάνει τις αποφάσεις για τη διαχείριση του αγρού να γνωρίζει ποια δεδομένα πρέπει να συλλέγει κάθε χρονιά και την εποχή δειγματοληψίας.

2.6 Ζώνες διαχείρισης (Management Zones)

Η βάση ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας είναι η διαμόρφωση στον αγρό ζωνών διαχείρισης (Εικόνα 2.7) που έχουν στόχο την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application). Ζώνη διαχείρισης είναι ένα επιμέρους τμήμα του αγρού που έχει κοινά χαρακτηριστικά και όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία (Kitchen et al., 2005).

Βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι ζώνες διαχείρισης είναι τα εξής:

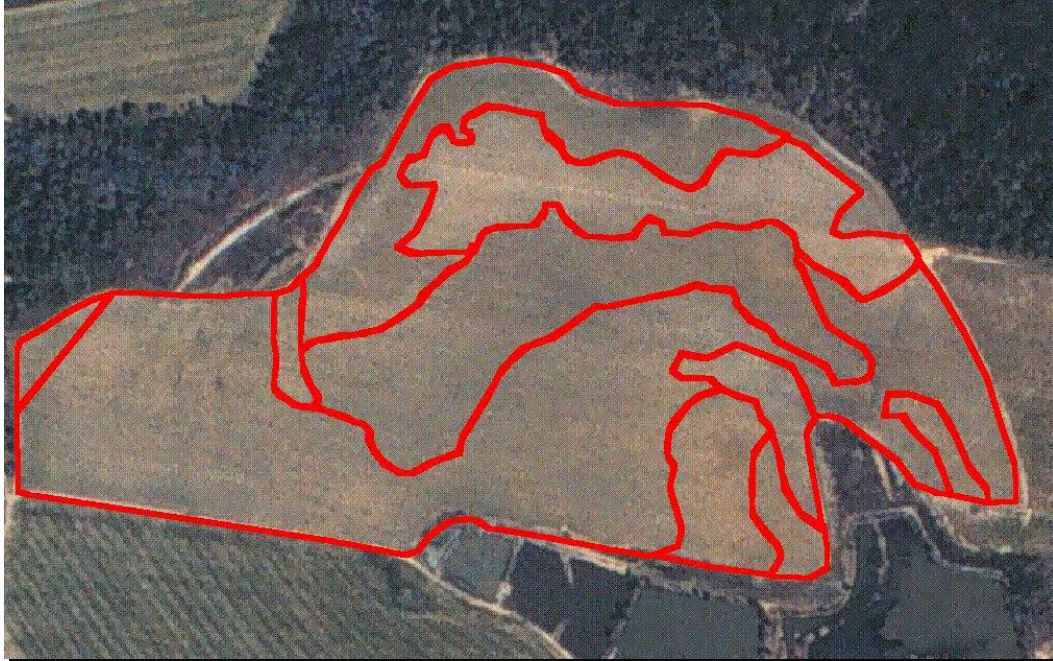
- Σταθερότητα στο χρόνο
- Ευκολία στην οριοθέτηση
- Συσχέτιση με την παραγωγή
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας

Η δημιουργία των ζωνών διαχείρισης γίνεται αξιολογώντας όλες τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες για τον αγρό όπως είναι:

- Φυσικές ιδιότητες του εδάφους
- Δυνατότητες διαχείρισης του παραγωγού
- Πιθανό κέρδος του παραγωγού

Ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης εξαρτάται από

- Το μέγεθος του αγρού
- Την παραλλακτικότητα του αγρού
- Τη δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιήσει τις εισροές



Εικόνα 2.7. Διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες διαχείρισης

Σχετικά με το μέγεθος των ζωνών διαχείρισης, το ελάχιστο μέγεθος καθορίζεται από την δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιήσει τις εισροές σε ένα αγρό. Αυτό είναι συνάρτηση του μεγέθους του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί. Το μέγιστο μέγεθος των ζωνών διαχείρισης καθορίζεται από τα περιθώρια του αγρού.

Για τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιούνται διάφορες πληροφορίες όπως φαίνεται παρακάτω:

- Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες του αγρού χωρίς βλάστηση
- Περίγραμμα του αγρού
- Τοπογραφικοί χάρτες
- Εδαφικοί χάρτες
- Χάρτες παραγωγής
- Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες του αγρού με βλάστηση
- Δείκτες βλάστησης

Άλλες πηγές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι:

- Δεδομένα από εδαφολογικές αναλύσεις

- Ελάχιστο μέγεθος ζώνης (εξαρτάται από τον εξοπλισμό)
- Ανωμαλίες του αγρού
- Προσβολές από έντομα
- Περιοχές στράγγισης

Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν στοιχεία της ιστορίας του αγρού όπως

- Θέσεις παλαιών δρόμων, κτισμάτων
- Χάρτες που δείχνουν τη διέλευση των οχημάτων στο παρελθόν
- Λίπανση προηγούμενων ετών
- Καλλιέργειες των προηγούμενων ετών
- Κάλυψη άρδευσης
- Περιοχές του αγρού που συγκρατούν μεγάλη υγρασία
- Περιοχές του αγρού που έχουν υποστεί διάβρωση

Οι γνώσεις που χρειάζονται για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι

- Αγρονομικές
- Διαχείριση και οικονομικά
- Ιστορία του αγρού
- Δυνατότητες και περιορισμοί που προκύπτουν από τη χρήση του εξοπλισμού

Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Δεδομένα υψομέτρου που συλλέχθηκαν με GPS έχουν χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό σε ζώνες διαχείρισης (Lark and Stafford, 1997). Οι Fleming et al. (2000) χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες γυμνού εδάφους και την εμπειρία του παραγωγού για να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης ανάλογα με το χρώμα του εδάφους. Οι Kitchen et al. (1999, 2003) χρησιμοποίησαν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης επειδή βρήκαν ότι σχετίζεται με την παραγωγή. Οι Sudduth et al. (1996) και οι Fraisse et al. (2001a) χρησιμοποίησαν ένα συνδυασμό από τοπογραφικά δεδομένα και ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Οι Perry et al. (2007) δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Οι Long et al. (1994) διερεύνησαν την ακρίβεια των χαρτών διαχείρισης που δημιουργήθηκαν από διάφορες πηγές (εδαφικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες) και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι αεροφωτογραφίες των αναπτυσσομένων καλλιεργειών ήταν η πιο ακριβής μέθοδος για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης και για την πρόβλεψη της παραγωγής. Οι αεροφωτογραφίες των αναπτυσσόμενων καλλιεργειών μπορούν να

συσχετιστούν με την παραγωγή του τρέχοντος έτους και για το λόγο αυτό δείχνουν το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας για το συγκεκριμένο έτος (Boydell και McBratney, 1999).

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάσει τοπογραφικά στοιχεία και εδαφικές ιδιότητες συχνά συλλαμβάνει την παραλλακτικότητα στην παραγωγή λόγω της διαφοροποίησης σε διαθέσιμο για τα φυτά νερό και επομένως στο δυναμικό παραγωγής (McCann et al., 1996, van Alpen and Stoorvogel, 1998, Fraisse et al., 2001a). Ο κατάλληλος αριθμός ζωνών παραγωγής διαφέρει από έτος σε έτος και σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες και το είδος της καλλιέργειας (Fraisse et al., 2001a). Λιγότερες ζώνες χρειαζόταν όταν η υγρασία ήταν αρκετή κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου ή όταν καλλιεργούνταν φυτά ανθεκτικά στην ξηρασία.

Οι ζώνες διαχείρισης χρησιμοποιούνται συχνά για να δείξουν περιοχές του αγρού με όμοιο δυναμικό παραγωγής. Ζώνες που βασίζονται στη γονιμότητα του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χαρτών εφαρμογής λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις (Fleming et al., 2000). Οι ζώνες διαχείρισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιλογή θέσεων για λήψη δειγμάτων εδάφους (McMillan et al., 1998). Επίσης περιοχές του αγρού με όμοιες ιδιότητες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συσχέτιση της παραγωγής με εδαφικούς και τοπογραφικούς παράγοντες για τη δημιουργία προτύπων ανάπτυξης καλλιεργειών (Fraisse et al., 2001b).

Για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης η μέθοδος cluster analysis έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως (Fraisse et al., 2001a, Stafford et al., 1998, Boydell και McBratney, 1999). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα δεδομένα ταξινομούνται σε δύο ή περισσότερες κλάσεις. Στόχος της είναι η ελαχιστοποίηση της παραλλακτικότητας εντός της κλάσης και η μεγιστοποίηση της παραλλακτικότητας μεταξύ των κλάσεων.

Έχουν δημιουργηθεί διάφορα προγράμματα που χρησιμοποιούν την cluster analysis για την δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα το FuzMe του Κεντρου για τη Γεωργία Ακριβείας της Αυστραλίας στο Πανεπιστήμιο του Σίδνευ και το MZA (Management Zone Analyst) του Πανεπιστημίου του Μιζούρι των ΗΠΑ. Και τα δυο προγράμματα χρησιμοποιούν τον αλγόριθμο fuzzy c- means για το διαχωρισμό των δεδομένων σε κλάσεις.

Τα παραπάνω προγράμματα χρησιμοποιούν ως κριτήριο για τον αριθμό των ζωνών που θα διαχωριστεί ο αγρός τους παρακάτω δείκτες: FPI (Fuzziness Performance Index) και NCE (Normalized Classification Entropy). Ο δείκτης FPI δείχνει τον βαθμό διαχωρισμού των κλάσεων και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Καθώς οι τιμές του FPI πλησιάζουν στο 0

δείχνουν ευδιάκριτες κλάσεις ενώ όταν οι τιμές πλησιάζουν το 1 οι κλάσεις δεν είναι ευδιάκριτες και ένα σημείο του αγρού μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία κλάσεις.

Ο δείκτης NCE παίρνει επίσης τιμές από 0 έως 1 και κάνει εκτίμηση του ποσοστού της ασάφειας που δημιουργείται από ένα ορισμένο αριθμό κλάσεων. Όταν ο NCE παίρνει τιμές κοντά στο 1 επικρατεί ασάφεια ενώ όταν παίρνει τιμές κοντά στο 0 επικρατεί καλύτερη οργάνωση. Όταν και οι δύο δείκτες έχουν ελάχιστη τιμή τότε έχουμε τον άριστο αριθμό κλάσεων.

2.7 Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application)

Το επόμενο στάδιο μετά τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι εφαρμογή των εισροών (σπόρος, λιπάσματα, φυτοφάρμακα, αρδευτικό νερό) ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε ζώνης. Η τεχνική αυτή ονομάζεται εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις. Υπάρχουν δύο μέθοδοι εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις: με χρήση χαρτών (map based VRA) και με χρήση αισθητήρων (sensor based VRA).

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις με χρήση χαρτών προσαρμόζει τη δόση της εισροής με βάση την πληροφορία που παίρνει από ένα χάρτη. Αυτά τα συστήματα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να καθορίσουν τη θέση της μηχανής στον αγρό και να τη συσχετίσουν με την επιθυμητή δόση διαβάζοντας ένα χάρτη. Η δόση εφαρμογής είναι ο όγκος στη μονάδα της επιφάνειας ή το βάρος στη μονάδα της επιφάνειας της εισροής.

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις με χρήση αισθητήρων χρησιμοποιεί δεδομένα από αισθητήρες που δουλεύουν σε πραγματικό χρόνο (real time). Οι αισθητήρες αυτοί παίρνουν δεδομένα που αφορούν εδαφικές ιδιότητες ή χαρακτηριστικά της καλλιέργειας καθώς το μηχάνημα προχωράει στον αγρό (on-the-go). Στη συνέχεια το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί αυτόματα τα δεδομένα από τους αισθητήρες για να προσαρμόσουν τις εισροές (πχ λιπάσματα, φυτοφάρμακα) στις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών. Οι αισθητήρες πρέπει να παρέχουν συνεχώς δεδομένα στον ελεγκτή έτσι ώστε οι εισροές να διαφοροποιούνται σε μικρές επιφάνειες του αγρού. Αυτή η μέθοδος δεν απαιτεί GPS. Όμως αν υπάρχει GPS τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την παραγωγή χαρτών. Τέτοια παραδείγματα συστημάτων εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις με χρήση αισθητήρων είναι το Greenseeker (NTech Industries, Εικόνα 2.8) και το Weedseeker (NTech Industries, Εικόνα 2.9).

Το Greenseeker είναι ένα μηχάνημα το οποίο μετράει τις ανάγκες του φυτού για άζωτο καθώς προχωράει στον αγρό και εφαρμόζει το N ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Δουλεύει με τον εξής τρόπο:

- Ο αισθητήρας σαρώνει την καλλιέργεια χρησιμοποιώντας LED
- Εκτιμά την υγεία της καλλιέργειας χρησιμοποιώντας το δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
- Προβλέπει το δυναμικό παραγωγής της καλλιέργειας
- Καθορίζει την άριστη δόση αζώτου ανά ζώνη
- Εφαρμόζει το άζωτο σε μεταβλητές δόσεις ανάλογα με τις ανάγκες κάθε ζώνης



Εικόνα 2.8. Αισθητήρας που χρησιμοποιεί το Greenseeker

Το Weedseeker είναι ένα μηχάνημα που ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι έδαφος καθώς προχωράει στον αγρό. Έτσι επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία στη χρήση ζιζανιοκτόνων. Δουλεύει με τον εξής τρόπο:

- Ένα LED εκπέμπει φως προς το έδαφος
- Ο ανιχνευτής ανιχνεύει το ανακλώμενο φως
- Αν έχει ανιχνευθεί πράσινο φυτό ενεργοποιείται ηλεκτρονικά η βαλβίδα και γίνεται ψεκασμός με ζιζανιοκτόνο
- Ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι γυμνό έδαφος



Εικόνα 2.9. Το Weedseeker σε αμπελώνα

Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις αποτελούνται από τρία βασικά μέρη :

- Τους αισθητήρες (sensors)
- Τους ελεγκτές (controllers)
- Τους ενεργοποιητές (actuators)

Οι αισθητήρες που έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις μετρούν τις παρακάτω ιδιότητες των φυτών και του εδάφους:

- Περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία
- Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό
- Ανάκλαση φωτός από καλλιέργειες και ζιζάνια
- Θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος

Οι ελεγκτές είναι συσκευές που αλλάζουν τον ρυθμό εφαρμογής των εισροών που εφαρμόζονται καθώς το μηχάνημα κινείται στον αγρό (on-the-go). Οι ελεγκτές χρησιμοποιούν μικροεπεξεργαστές για να διαβάσουν τα δεδομένα που παίρνουν από τους αισθητήρες και να υπολογίσουν την δόση εφαρμογής με βάση αποθηκευμένους αλγόριθμους.

Οι ενεργοποιητές είναι συσκευές που αντιδρούν σε σήματα που λαμβάνουν από τους ελεγκτές για να ρυθμίσουν την ποσότητα του προϊόντος που εφαρμόζεται στον αγρό. Η αντίδραση του ενεργοποιητή μπορεί να προκαλεί κινήσεις αξόνων ή κινητήρων που στη συνέχεια μετατρέπονται σε άνοιγμα ή κλείσιμο μιας θύρας, ή να προκαλέσει αλλαγή ταχύτητας ροής κλπ. Οι ενεργοποιητές έχουν σχεδιαστεί να αντιδρούν σε ηλεκτρικά, πνευματικά ή υδραυλικά σήματα που προέρχονται από τους ελεγκτές. Ένας ενεργοποιητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει τη θέση μιας βαλβίδας που ρυθμίζει τον ρυθμό ροής ενός υγρού ή την πίεση του. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει την θέση μιας συρόμενης θυρίδας για να ρυθμίσει τη ροή ενός κοκκώδους υλικού σε μια ταινία μεταφοράς.

Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις μπορούν να διακριθούν σε τρεις τύπους ανάλογα με το προϊόν που εφαρμόζεται:

- Σπόρος
- Στερεά χημικά (κοκκώδη λιπάσματα, κοκκώδη εντομοκτόνα, ασβέστη)
- Υγρά χημικά (υγρά λιπάσματα, υγρά παρασιτοκτόνα)

2.8 Η καλλιέργεια της μηλιάς

2.8.1 Γενικά

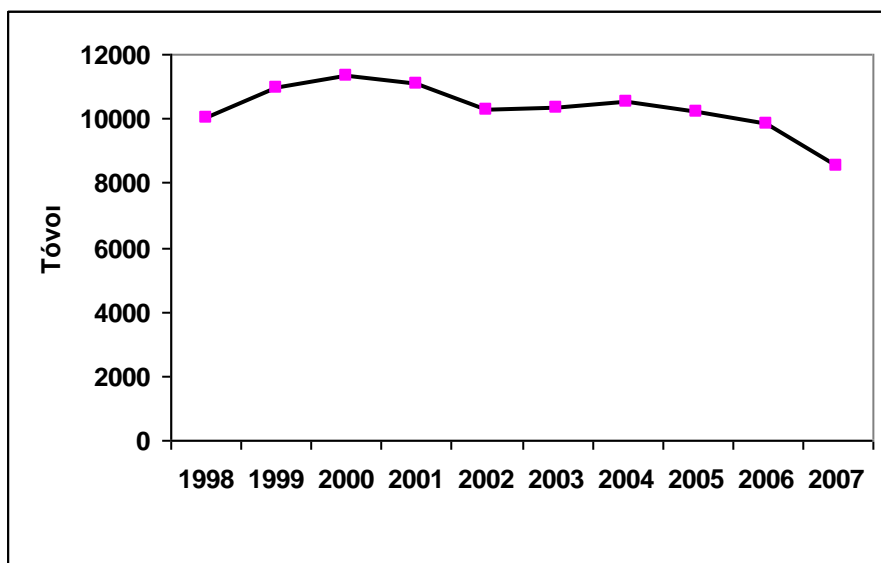
Η μηλλοκαλλιέργεια είναι η τέταρτη σε σημασία δενδρώδης καλλιέργεια στην Ελλάδα μετά από την ελιά, τα εσπεριδοειδή και τη ροδακινιά (Βασιλακάκης, 2004). Η παραγόμενη ποσότητα στην Ελλάδα ανά ποικιλία την τελευταία δεκαετία φαίνεται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1. Παραγωγή μήλων στην Ελλάδα ανά ποικιλία (σε χιλιάδες τόνους)

Ποικιλία	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Golden Delicious	46	31	35	28	36	30	46	46	42	42
Granny Smith	41	33	37	30	37	22	34	27	33	28
Red Delicious	213	144	161	122	155	101	185	175	176	179
Άλλες	56	49	55	16	16	13	17	17	16	17
Σύνολο	356	257	288	196	244	166	282	265	267	266

Πηγή: EUROFEL

Στην Ελλάδα η μηλιά καλλιεργείται σε πολλές περιοχές, όπως είναι η Νάουσα, η Ζαγορά Πηλίου, η Αγιά Λάρισας, η Καστοριά και η Τρίπολη. Στην Ευρώπη οι κυριότερες χώρες που παράγουν μήλα είναι η Ιταλία, η Γαλλία, η Πολωνία, η Γερμανία, η Ισπανία και η Ολλανδία. Στην Εικόνα 2.10 φαίνεται η παραγωγή μήλων στην Ευρώπη τα τελευταία έτη, η οποία κυμαίνεται γύρω στους 10 εκατομμύρια τόνους ανά έτος.



Εικόνα 2.10. Η παραγόμενη ποσότητα μήλων στην Ευρώπη(Πηγή: EUROFEL)

2.8.2 Ποικιλίες

Οι περισσότερες καλλιεργούμενες ποικιλίες (Εικόνα 2.11) της μηλιάς προήλθαν από το είδος *Malus rumila*. Οι ποικιλίες που καλλιεργούνται σε όλο τον κόσμο είναι πάρα πολλές. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται οι κόκκινες ποικιλίες (Red Delicious, Red Chief, Starkcimson), η Golden Delicious (μπανανόμηλο), η Granny Smith (πράσινο ξυνόμηλο), το Φιρίκι, η Jonagold, η Jonagored και οι νέες 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, Mutsu)
 - Μήλα που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω κατηγορίες
- Ανάλογα με την οξύτητα χυμού
 - Γλυκά μήλα (Red Delicious)
 - Ξινά μήλα (Granny Smith)
 - Ενδιάμεσα
- Ανάλογα με την εποχή ωρίμανσης
 - Θερινά μήλα (Jerseymac, Summerred)
 - Σεπτεμβρίου (Red Delicious, Golden Delicious)
 - Φθινοπωρινά (Granny Smith)

- Ανάλογα με τη γενετική σύσταση
 - ο Διπλοειδείς (Red Delicious, Golden Delicious)
 - ο Τριπλοειδείς (Jonagold, Mutsu)



Εικόνα 2.11. Διάφορες ποικιλίες μήλων

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

Red Delicious. Κύρια χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής είναι οι μαστοειδείς αποφύσεις του κάλυκα. Ο καρπός είναι κόκκινος, γλυκός και συγκομίζεται τέλη Αυγούστου- αρχές Σεπτεμβρίου. Συντηρείται στο ψυγείο μέχρι και το Μάιο. Καρπική περίοδος 140-150 ημέρες. Η καλύτερη ποιότητα, το καλύτερο χρώμα και η πιο μακροχρόνια συντηρησιμότητα επιτυγχάνονται όταν καλλιεργούνται σε ορεινές ή ημιορεινές περιοχές.

Fuji. Ο καρπός είναι σφαιρικο-κωνικός, με ελαφρές γραμμώσεις, ροζέ επίχρωμα και χρώμα περισσότερο έντονο στις ορεινές περιοχές. Η σάρκα του καρπού έχει χρώμα υποκίτρινο, έχει γλυκιά γεύση, είναι τραγανή, χυμώδης και έχει μεγάλο χρόνο διατήρησης στο ράφι (Marquina, 2004). Ωριμάζει 3-4 βδομάδες μετά τη Red Delicious και πριν τη

Granny Smith. Καρπική περίοδος 180-190 μέρες. Η μεταβολή του βασικού χρώματος από πράσινο σε ανοιχτό πράσινο είναι καλός δείκτης ωρίμανσης για συγκομιδή. Είναι δένδρο μέτριας ζωηρότητας με μακρείς κρεμάμενους βλαστούς. Έχει μέτριες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έχει μακρά περίοδο άνθησης. Καλοί επικονιαστές είναι οι ποικιλίες Golden Delicious, Gala, Granny Smith. Έχει την τάση να παρεννιαυτοφορεί. Χαρακτηρίζεται ως ποικιλία υψηλής ποιότητας.

2.8.3 Κλίμα και έδαφος

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. Στη χώρα μας καλής ποιότητας μήλα παράγονται στη Μακεδονία, στο Πήλιο, στην Τρίπολη και στα ορεινά της Κρήτης.

Προτιμά τα γόνιμα, βαθιά εδάφη που στραγγίζουν καλά. Το pH του εδάφους 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, 2003). Στις πεδινές περιοχές παράγονται κίτρινα και πράσινα μήλα ενώ στις ορεινές κόκκινα μήλα υψηλής ποιότητας και μεγάλης δυνατότητας συντήρησης στα ψυγεία. Στις πεδινές περιοχές καλλιεργούνται περισσότερο οι ποικιλίες Golden Delicious, Granny Smith, Jonagold, Fuji, Pink Lady. Στις ορεινές περιοχές καλλιεργούνται οι κόκκινες ποικιλίες όπως πρόσφατα η Red Chief.

2.8.4 Λίπανση

Η παραγωγικότητα των δένδρων της μηλιάς και η ποιότητα των καρπών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες αλλά κύριο ρόλο παίζουν τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία.

Στην πράξη σε λίγες περιπτώσεις τα δένδρα βρίσκουν στο έδαφος τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία για τη θρέψη τους. Η χορήγηση των θρεπτικών στοιχείων που λείπουν, επιτυγχάνεται με την ορθολογική εφαρμογή τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι εκτίμησης των αναγκών των δένδρων σε διάφορα θρεπτικά στοιχεία. Η ανάλυση του εδάφους, η ανάλυση των φύλλων, βλαστών, ριζών και καρπών και οι μακροσκοπικές εξετάσεις των δένδρων και των καρπών δίνουν πληροφορίες για τη θρεπτική κατάσταση των δένδρων.

Παρακάτω αναπτύσσεται ο ρόλος των θρεπτικών στοιχείων στη θρέψη της μηλιάς (Στυλιανίδης και άλλοι, 2002).

Άζωτο. Τα 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 Ν στους μηλεώνες γίνεται βάσει φυλλοδιαγνωστικής, προβλεπόμενης παραγωγής και μακροσκοπικών παρατηρήσεων των δένδρων (Νάνος, 2003).

Φόσφορος. 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 καφέτιασμα.

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.

Για την εφαρμογή της φωσφορικής λίπανσης πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

1. Πριν τη φύτευση των δενδρυλίων η ενσωμάτωση στο έδαφος μεγάλων ποσοτήτων φωσφόρου αντιμετωπίζει το πρόβλημα για αρκετά χρόνια
2. Στα μεγάλα δένδρα μια μονάδα φωσφόρου ανά δένδρο επαρκεί για τρία έτη.

Κάλιο. Είναι το στοιχείο που 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 (bitter pit). Η ασθένεια αυτή χαρακτηρίζεται από στίγματα και καθιζάνουσες κηλίδες στο φλοιό του καρπού κυρίως στην περιοχή του κάλυκα μέχρι το μέσο του καρπού.

Η δέσμευση του καλίου στο έδαφος είναι μικρότερη από αυτή του φωσφόρου. Η δέσμευση είναι μεγαλύτερη στα βαριά από ότι στα ελαφρά εδάφη. Για το λόγο αυτό στα ελαφρά αμμώδη εδάφη συνίσταται μια μονάδα καλίου ανά δένδρο ενώ στα βαριά χρειάζεται υπερδιπλάσια ποσότητα.

Ασβέστιο. Είναι το στοιχείο της συντηρησιμότητας των καρπών γιατί αποτρέπει την εκδήλωση πολλών φυσιολογικών ανωμαλιών. Οι σχέσεις K/Ca και N/Ca χρησιμοποιούνται κατά τις αναλύσεις των καρπών για την πρόβλεψη της ποιότητας και της συντηρησιμότητας 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.

Η αντιμετώπιση της έλλειψης ασβεστίου γίνεται με τους εξής τρόπους: α) ψεκασμούς με σκευάσματα ασβεστίου (χλωριούχο ασβέστιο και νιτρικό ασβέστιο), β)εμβαπτίσεις καρπών στα παραπάνω σκευάσματα και γ) χρήση ασβεστίου από το έδαφος όταν υπάρχει μεγάλη έλλειψη ασβεστίου ή όταν το pH στο έδαφος είναι κάτω από 5,5.

Ψευδάργυρος. Είναι στοιχείο που λείπει συχνά από τα δένδρα της μηλιάς στη χώρα μας. Τα συμπτώματα έλλειψης ψευδαργύρου στα δένδρα είναι η μικροφυλλία, κακή καρπόδεση, καρπόπτωση και μικρό μέγεθος καρπών. Η έλλειψη ψευδαργύρου αντιμετωπίζεται με χειμερινούς ψεκασμούς με σκευάσματα ψευδαργύρου και κυρίως με θειικό ψευδάργυρο. Η εφαρμογή γίνεται πριν τη διόγκωση των οφθαλμών και η πυκνότητα του διαλύματος μπορεί να φτάσει μέχρι 5%.

Μαγγάνιο. Το μαγγάνιο δημιουργεί προβλήματα τόσο με την έλλειψη όσο και με την περίσσεια του. 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 ασβέστωμα του εδάφους, η αποστράγγιση, η απομάκρυνση των οργανικών υλικών και η μείωση της αζωτούχου λίπανσης αποτελούν τα κυριότερα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται.

Βόριο. 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 καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης της έλλειψης βορίου είναι εφαρμογή ταυτόχρονα από το έδαφος και από το φύλλωμα.

Σίδηρος. Η τροφοπενία σιδήρου εκδηλώνεται με χλώρωση στα φύλλα. Δεν αποτελεί πρόβλημα για την καλλιέργεια της μηλιάς. Η μετατόπιση της καλλιέργειας της μηλιάς στις ορεινές περιοχές που τα εδάφη έχουν χαμηλό pH περιόρισε το πρόβλημα της έλλειψης

σιδήρου. Κύρια αιτία της έλλειψης σιδήρου είναι η υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε ασβέστιο και το υψηλό pH. Άλλοι παράγοντες είναι η μεγάλη συγκέντρωση φωσφόρου στο έδαφος, λόγω ανταγωνισμού με το σίδηρο, η χρήση ισχυρών λιπάνσεων με νιτρικά λιπάσματα και η υπερβολική υγρασία στο έδαφος.

Η αντιμετώπιση της έλλειψης σιδήρου γίνεται με εφαρμογή χηλικών ενώσεων σιδήρου στο έδαφος. Ο θειικός σίδηρος στο έδαφος είναι λιγότερο αποτελεσματικός. Ο συνδυασμός του όμως με θειικό κάλιο έδωσε καλά αποτελέσματα. Οι ψεκασμοί στο φύλλωμα έχουν μικρή αποτελεσματικότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ελαφρές μορφές τροφοπενίας.

Στον Πίνακα 2.2 φαίνονται οι συγκεντρώσεις των ανόργανων στοιχείων που πρέπει να υπάρχουν στα φύλλα της μηλιάς κατά τη θερινή περίοδο (Ιούλιο).

Πίνακας 2.2. Συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων που πρέπει να υπάρχουν στα φύλλα μηλιάς κατά τους θερινούς μήνες

Στοιχείο	Συγκέντρωση (%)	Στοιχείο	Συγκέντρωση (ppm)
Άζωτο	2,3	Μαγγάνιο	98
Φώσφορος	0,23	Σίδηρος	220
Κάλιο	1,53	Χαλκός	23
Μαγνήσιο	0,41	Βόριο	40
Ασβέστιο	1,40	Ψευδάργυρος	30

Πηγή: Βασιλακάκης (2003)

Στον Πίνακα 2.3 δίνονται οι ποσότητες των θρεπτικών στοιχείων που προσλαμβάνονται- απομακρύνονται από τα δένδρα της μηλιάς.

Πίνακας 2.3 Πρόσληψη- απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων από δένδρα μηλιάς ποικιλίας Red Delicious (IFA, 1992)

Πρόσληψη/απομάκρυνση θρεπτικών στοιχείων		Απαιτούμενες ποσότητες (kg/στρ)				
Απόδοση (4480 kg/στρ)	Είδος απαιτήσεων	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
	A	2,08	1,44	6,79	0,37	0,62
	B	1,84	0,96	1,72	0,38	6,41
	Γ	3,92	2,40	8,51	0,75	7,03
	Δ	4,76	0,76	6,29	3,01	12,01
	E	1,19	0,39	1,78	0,18	0,52
	Z	1,18	0,53	0,43	0,28	3,92
	H	7,13	1,68	8,50	3,47	16,45
	Θ	11,05	4,08	17,01	4,22	23,48

A: απομάκρυνση με τον καρπό

B: ενσωμάτωση στον κορμό

Γ: καθαρή πρόσληψη (A+B)

Δ: πεσμένα φύλλα

E: πεσμένα άνθη και μικροί καρποί

Z: κλαδέματα

H: ότι επιστρέφει στο έδαφος (Δ+E+Z)

Θ:συνολική πρόσληψη (Γ+H)

2.8.5 Συγκομιδή

Η χρονική περίοδος συγκομιδής είναι μεγάλης σημασίας για την ποιότητα και την καλή συντήρηση των καρπών. Υπάρχει μια περίοδος 5-20 ημέρες που πρέπει να συγκομιστούν οι καρποί. Συγκομιδή νωρίτερα από την κανονική εποχή έχει αποτέλεσμα τη χαμηλή ποιότητα, τη συρρίκνωση του καρπού και την εμφάνιση επιφανειακού εγκαύματος κατά τη συντήρηση. Συγκομιδή αργότερα από την κανονική εποχή έχει αποτέλεσμα τη μειωμένη αντοχή του καρπού στους μικροοργανισμούς, αλεύρωμα των καρπών, υάλωση και εσωτερικό καφέτιασμα των καρπών (Βασιλακάκης, 2003). Για την επίτευξη καλής ποιότητας καρπών πρέπει να εφαρμόζονται τα κριτήρια ωρίμανσης στη συγκομιδή που είναι τα παρακάτω (Βασιλακάκης, 2004) :

- Σκληρότητα σάρκας ή αντίσταση σάρκας στην πίεση
- Χρώμα καρπού
- Ευκολία απόσπασης καρπού
- Χρώμα σπερμάτων
- Καρπική περίοδος (χρονικό διάστημα από πλήρη άνθιση μέχρι συγκομιδή) σε δεδομένη τοποθεσία
- Διαλυτά στερεά συστατικά
- Αναπνευστική δραστηριότητα
- Εσωτερική συγκέντρωση αιθυλενίου
- Τεστ αμύλου

Η σκληρότητα σάρκας είναι σπουδαίο κριτήριο ωριμότητας των καρπών καθώς οι καρποί μαλακώνουν καθώς ωριμάζουν. 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 πενετρόμετρα (Εικόνα 3.2γ), τα οποία μετρούν την αντίσταση της σάρκας στην πίεση με την είσοδο εμβόλου ορισμένης διαμέτρου σε ορισμένο βάθος. Η αντίσταση στην πίεση μετράται σε kgf ή σε N και πάντοτε αναφέρεται η διάμετρος του εμβόλου που χρησιμοποιείται.

Η μεταβολή των διαλυτών στερεών είναι επίσης σημαντικό κριτήριο ωριμότητας των καρπών. Τα διαλυτά στερεά των οποίων το μεγαλύτερο μέρος είναι τα σάκχαρα αυξάνονται κατά την ωρίμανση των καρπών. Τα διαλυτά στερεά μετρώνται με τα σακχαροδιαθλασίμετρα (Εικόνα 3.2β).

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

Η εσωτερική συγκέντρωση αιθυλενίου αποτελεί καλό κριτήριο ωρίμανσης των μήλων αλλά απαιτεί ακριβό εξοπλισμό (αέριο χρωματογράφο).

Το βασικό χρώμα του φλοιού των καρπών αποτελεί κριτήριο ωριμότητας των καρπών. Το χρώμα των καρπών μπορεί να μετρηθεί με ειδικά όργανα που ονομάζονται χρωματόμετρα (Εικόνα 3.2 α).

Συνδυασμός περισσότερων από ένα κριτήριο προσδιορίζουν με ασφάλεια το άριστο στάδιο ωρίμανσης κατά τη συγκομιδή των καρπών. Σύμφωνα με μια έρευνα που έγινε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης (Σφακιωτάκης, προσωπική επικοινωνία) προέκυψε ότι το κατάλληλο στάδιο συγκομιδής για την ποικιλία Starking Delicious στη περιοχή Ζαγοράς

είναι όταν: η συγκέντρωση αιθυλενίου στο εσωτερικό των καρπών είναι <1,0 ppm, ο δείκτης αμύλου-ιωδίου είναι 3-4, τα διαλυτά στερεά είναι >11,5% και η σκληρότητα σάρκας >6,5kgf.

Η συγκομιδή των καρπών γίνεται με το χέρι. Κατά τη συγκομιδή και τη μεταφορά των καρπών πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να μη μωλωπιστούν οι καρποί. Τα μήλα στη συνέχεια μεταφέρονται για διαλογή και για συσκευασία και μετά για συντήρηση στα ψυγεία. Η συντήρηση των μήλων γίνεται είτε σε κοινά ψυγεία με θερμοκρασία 0°C και υγρασία πάνω από 90%, είτε σε ψυγεία με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, όπου η θερμοκρασία είναι 0°C, το οξυγόνο 1-3% και το διοξείδιο του άνθρακα 0,3-3%.

2.9 Γεωργία Ακριβείας σε δενδρώδεις καλλιέργειες

2.9.1 Γενικά

Γενικά δεν υπάρχουν πολλές δημοσιευμένες εργασίες για τις δενδρώδεις καλλιέργειες παρόλο που θεωρείται ότι έχουν σταθερά χαρακτηριστικά με το χρόνο και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο εισόδημα και συσχέτιση με την παραγωγή. Ο λόγος είναι ότι η καλλιέργεια των δένδρων δεν είναι εκμηχανισμένη όπως η αντίστοιχη των φυτών μεγάλης καλλιέργειας και δεν έχει αναπτυχθεί ακόμη η τεχνολογία για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στα δένδρα. Παρακάτω παρατίθενται μερικές εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας στις δενδρώδεις καλλιέργειες.

2.9.2 Εσπεριδοειδή

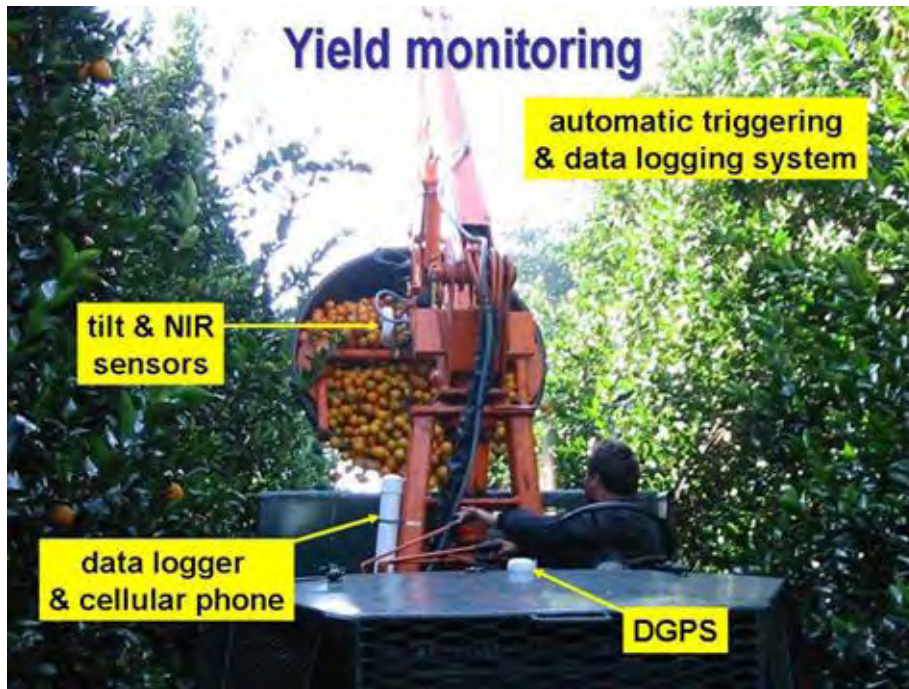
Στα εσπεριδοειδή σημαντική έρευνα έχει γίνει στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα των ΗΠΑ.

Η έρευνα εκεί έχει επικεντρωθεί στα παρακάτω σημεία:

- Χαρτογράφηση παραγωγής
- Μέτρηση του όγκου και του ύψους των δένδρων με υπέρηχους και laser
- Εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application) είτε με βάση την παραγωγή είτε με βάση το μέγεθος της κόμης
- Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων
- Χαρτογράφηση της υγρασίας και της υφής του εδάφους με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Για τη χαρτογράφηση της παραγωγής έχει δημιουργηθεί ένα αυτόματο σύστημα καταγραφής της παραγωγής (Miller and Whitney, 1999, Whitney et al., 2001) που φαίνεται στην Εικόνα 2.12. Όπως φαίνεται στην εικόνα οι καρποί συγκεντρώνονται σε μεγάλα παλετοκιβώτια. Όταν τα παλετοκιβώτια φορτώνονται στο όχημα μεταφοράς καταγράφεται το βάρος τους με ένα σύστημα δυναμοκυψελών που βρίσκεται στο όχημα μεταφοράς και ταυτόχρονα καταγράφεται η θέση του οχήματος με ένα DGPS. Τα δεδομένα θέσης και βάρους των κιβωτίων αποθηκεύονται σε ένα αρχείο και στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία χαρτών παραγωγής. Έτσι σε κάθε σημείο του χάρτη απεικονίζεται η παραγωγή που αντιστοιχεί στην περιοχή από την οποία προήλθαν οι καρποί σε κάθε παλετοκιβώτιο

Επίσης δημιούργησαν συστήματα εκτίμησης του όγκου των δένδρων με υπέρηχους (Zaman et al., 2006) και laser (Tumbo et al., 2001, Wei and Salyani, 2004) με σκοπό να γίνει συσχέτιση του όγκου των δένδρων με την παραγωγή και κατ' επέκταση πρόβλεψη της παραγωγής από το μέγεθος των δένδρων. Οι Zaman et al. (2006) εκτίμησαν τον όγκο της κόμης των δένδρων με υπέρηχους (Εικόνα 2.13) και την παραγωγή με το αυτόματο σύστημα καταγραφής της παραγωγής που περιγράφεται παραπάνω. Στη συνέχεια έκαναν συσχέτιση του όγκου των δένδρων με την παραγωγή και βρήκαν ότι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ήταν $R^2=0,80$ που σημαίνει ότι οι περιοχές του αγρού που έχουν μεγάλα δένδρα έχουν και υψηλή παραγωγή. Έτσι συμπέραναν ότι το μέγεθος της κόμης των δένδρων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της παραγωγής σε έναν οπωρώνα. Αυτό θα ήταν χρήσιμο για την πρόβλεψη της παραγωγής, για τον προγραμματισμό της συγκομιδής και για τη δημιουργία χαρτών εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις.



Εικόνα 2.12. Αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής για εσπεριδοειδή



Εικόνα 2.13. Σύστημα μέτρησης του όγκου των δένδρων με υπερήχους

Με βάση τον εκτιμώμενο όγκο των δένδρων με τους υπερήχους δημιούργησαν χάρτες εφαρμογής αζωτούχου λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε μείωση του κόστους λίπανσης κατά 40% (Zaman et al., 2006). Στην Εικόνα 2.14 φαίνεται το μηχάνημα με το οποίο έγινε η εφαρμογή του λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις.

Οι Zaman and Schuman (2006) δημιούργησαν ζώνες εφαρμογής δολομίτη στα εσπεριδοειδή με βάση την οργανική ουσία του εδάφους και το δείκτη βλάστησης NDVI από αεροφωτογραφίες.

Οι Schuman and Zaman (2003) έκαναν χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με επαγωγή. Στη συνέχεια χρησιμοποίησαν τους χάρτες αγωγιμότητας για πρόβλεψη της υγρασίας του εδάφους με σκοπό να προσδιοριστούν και να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα στράγγισης του εδάφους (Εικόνα 2.15)



Εικόνα 2.14. Λιπασματοδιανομέας για την εφαρμογή λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις



Εικόνα 2.15 Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Με τα εσπεριδοειδή έχουν ασχοληθεί και άλλοι ερευνητές. Στη Βραζιλία που είναι από τις κύριες χώρες παραγωγής εσπεριδοειδών στον κόσμο, οι Molin et al. (2007) δημιούργησαν ένα απλό σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής. Η συλλογή των φρούτων γινόταν σε μεγάλους σάκους. Με ένα βαθμονομημένο χάρακα μετρήθηκε το ύψος των σάκων και έτσι εκτιμήθηκε ο όγκος των σάκων που ήταν γεμάτοι με τους καρπούς. Ο χάρακας βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας κουτιά χωρητικότητας 27,2 kg καρπών. Η σύγκριση μεταξύ πραγματικού και εκτιμώμενου βάρους των σάκων έδειξε ένα σφάλμα 3-4%, που οι συγγραφείς θεωρούν αποδεκτό διότι πρόκειται για μια απλή και οικονομική μέθοδο. Η θέση των σάκων στον αγρό καταγράφηκε με GPS και έτσι δημιουργήθηκαν οι χάρτες παραγωγής.

Πολλοί ερευνητές έχουν αναπτύξει συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε εσπεριδοειδή χρησιμοποιώντας πολυφασματικές φωτογραφίες (Annamalai and Lee 2003, Chinchuluun et al., 2007, Okamoto et al. 2007).

Οι Annamalai and Lee (2003) δημιούργησαν έναν αλγόριθμο για επεξεργασία εικόνας με σκοπό να ανιχνεύει και να μετρά τους καρπούς εσπεριδοειδών σε μια φωτογραφία. Ο αλγόριθμος ελέγχθηκε για 59 φωτογραφίες και ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των καρπών που μετρήθηκαν από τις φωτογραφίες και του αριθμού που μετρήθηκε με το χέρι ήταν 0,76. Με ένα σύστημα που αποτελείται από ένα GPS και την κάμερα αναρτημένα σε ένα όχημα μπορεί να γίνει η χαρτογράφηση παραγωγής καθώς προχωρά το όχημα στον αγρό.

Στην Ιαπωνία οι Xujun et al. (2007) ανέπτυξαν μοντέλο για πρόβλεψη της παραγωγής σε μανταρίνια ποικιλίας Satsuma χρησιμοποιώντας πολυφασματικές αεροφωτογραφίες.

Μια παρόμοια δουλειά έκαναν οι Okamoto et al. (2007) στη Φλόριντα. Πιο συγκεκριμένα ανέπτυξαν μια μέθοδο επεξεργασίας εικόνας για ανίχνευση πράσινων καρπών σε δένδρα εσπεριδοειδών. Αρχικά αναπτύχθηκε μια μέθοδος διάκρισης εικονοστοιχείων (pixel) προκειμένου να γίνει ταξινόμηση μεταξύ πράσινων καρπών, φύλλων και φόντου. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μια μέθοδος για την ανίχνευση των πράσινων καρπών. Η διάκριση των εικονοστοιχείων είχε επιτυχία 70-85% στη διάκριση μεταξύ πράσινων καρπών και φύλλων. Το αποτέλεσμα ήταν οι περισσότεροι πράσινοι καρποί να ανιχνευθούν με επιτυχία, όμως ένα μικρό ποσοστό των καρπών δεν διακρίθηκαν από τα φύλλα.

2.9.3 Ελιά

Στην Ισπανία οι Lopez-Granados et al. (2004) μελέτησαν την χωρική παραλλακτικότητα στα θρεπτικά στοιχεία σε φύλλα ελιάς. Στη συνέχεια δημιούργησαν τους αντίστοιχους χάρτες των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα και με βάση τα όρια επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων στα φύλλα παρήχθησαν χάρτες εφαρμογής των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν τις περιοχές του αγρού όπου τα θρεπτικά στοιχεία είναι κάτω από τα όρια επάρκειας και χρειάζεται να εφαρμοστούν λιπάσματα. Οι ερευνητές βρήκαν ότι μόνο το 3 και το 17% της επιφάνειας του αγρού χρειαζόταν λίπανση με N τα έτη 1999 και 2000, που έγινε η έρευνα με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων για τη λίπανση εφαρμόζοντας το λίπασμα μόνο εκεί που είναι απαραίτητο.

Οι Romo et al. (2007) δημιούργησαν ένα σύστημα υποστήριξης διαχείρισης ελαιώνα έκτασης 250 εκταρίων με τηλεπισκόπηση. Χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη δορυφορικών εικόνων: MODIS και DMC με διακριτική ικανότητα 250 και 32 m, αντίστοιχα. Από τις εικόνες προέκυπταν χάρτες NDVI, βιομάζας, φυλλικής επιφάνειας και αζώτου οι οποίες στέλνονταν στον παραγωγό δίνοντας του τη δυνατότητα να αξιολογήσει την κατάσταση του οπωρώνα. Οι πληροφορίες από τις εικόνες MODIS στέλνονταν κάθε 10 ημέρες στον παραγωγό για όλη τη χρονιά, διάστημα αρκετό για να δει αλλαγές στη φυτεία και να επέμβει (πχ να εφαρμόσει λιπάσματα σε ορισμένες ζώνες). Επιπλέον πιο λεπτομερείς πληροφορίες στέλνονταν στον παραγωγό από τις DMC εικόνες κάθε 16 ημέρες για το διάστημα Φεβρουαρίου – Ιουνίου δίνοντας τη δυνατότητα για καλύτερη διαχείριση του αγρού.

Στην Ελλάδα οι Paraskevoopoulos and Bouloulis (2007) εφάρμοσαν ένα σύστημα για προγραμματισμό των ψεκασμών για το δάκο της ελιάς (*Bactrocera oleae*). Οι θέσεις των παγίδων που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του πληθυσμού του δάκου καταγράφηκαν με GPS και ταυτόχρονα μετρήθηκε ο πληθυσμός των εντόμων στις παγίδες. Οι παραπάνω πληροφορίες εισήχθησαν σε ένα σύστημα GIS. Στη συνέχεια συσκευές GPS τοποθετήθηκαν στους ελκυστήρες που κάνουν τους ψεκασμούς και κατέγραψαν τις διαδρομές που έκαναν. Το σύστημα αποδείχτηκε πολύ αποτελεσματικό για τον προγραμματισμό των ψεκασμών και έγινε εξοικονόμηση χρημάτων καθώς αποφεύχθηκε η επικάλυψη των διαδρομών από τους ελκυστήρες. Το σύστημα αναμένεται να επεκταθεί μετρώντας τη δόση ψεκασμού σε κάθε ελκυστήρα για μεγαλύτερη ακρίβεια στις εφαρμογές του ψεκαστικού υγρού.

2.9.4 Μηλιά

Στα μήλα έχει χρησιμοποιηθεί η ανάλυση υπερφασματικών και πολυφασματικών φωτογραφιών για να εκτιμηθεί η ποσότητα των φρούτων στα δένδρα και να γίνει χαρτογράφηση της παραγωγής (Kim and Reid, 2004, Stajniko et al., 2004, Safren, 2006, Alchanatis et al., 2007).

Οι Kim and Reid (2004) χρησιμοποίησαν 148 πολυφασματικές φωτογραφίες για να εκτιμήσουν την παραγωγή σε μήλα ποικιλίας Red Delicious. Η παραγωγή που εκτιμήθηκε από την ανάλυση των φωτογραφιών συγκρίθηκε με την παραγωγή που μετρήθηκε με το χέρι από τις φωτογραφίες και με την παραγωγή που μετρήθηκε με το χέρι από τα δένδρα. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ της παραγωγής που εκτιμήθηκε και της παραγωγής που μετρήθηκε με το χέρι από τις φωτογραφίες ή από τα δένδρα ήταν 0,79 και 0,59, αντίστοιχα. Ο χαμηλότερος συντελεστής συσχέτισης στη δεύτερη περίπτωση οφείλεται στο γεγονός ότι μερικοί καρποί επικαλύπτονται από τα φύλλα και δεν φαίνονται στις φωτογραφίες.

Οι Alchanatis et al. (2007) ανέλυσαν πολυφασματικές φωτογραφίες για να εκτιμήσουν την παραγωγή σε μήλα ποικιλίας Golden Delicious, βασιζόμενοι στον αλγόριθμο που αναπτύχθηκε από τον Safren (2006). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ του αριθμού των καρπών που εκτιμήθηκαν από την ανάλυση των εικόνων και του αριθμού των καρπών που μετρήθηκαν με το χέρι από τις φωτογραφίες ήταν $R^2=0,87$.

2.9.5 Αμπέλι

Στην Αυστραλία οι Bramley και Hamilton (2004) μελέτησαν την παραλλακτικότητα στην παραγωγή σε διάφορους αμπελώνες χρησιμοποιώντας μηχανή συγκομιδής εφοδιασμένη με GPS για τη χαρτογράφηση της παραγωγής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή είχε μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα η οποία κυμάνθηκε από 2-20t/ha, γεγονός που υποδεικνύει την ωφελιμότητα της διαχείρισης των αμπελώνων κατά ζώνες σε σχέση με την ομοιόμορφη διαχείριση σε όλο τον αμπελώνα. Ο Bramley (2005) μελέτησε την παραλλακτικότητα της ποιότητας σε διάφορους αμπελώνες τα έτη 1999-2002 και βρήκε ότι υπήρχε σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά.

Επίσης μελετήθηκε η συγκομιδή των σταφυλιών σε περισσότερα χέρια και βρέθηκε ότι επιτεύχθηκε μεγαλύτερο οικονομικό όφελος στη συγκομιδή σε περισσότερα χέρια σε

σχέση με την ομοιόμορφη συγκομιδή λόγω καλύτερης ποιότητας (υψηλότερα σάκχαρα) του συγκομιζόμενου προϊόντος (Bramley et al., 2005).

Στην Ισπανία οι Arno et al. (2005) έκαναν χαρτογράφηση παραγωγής με μηχανή συγκομιδής εφοδιασμένη με DGPS, δυναμοκουσέλλες για την ταυτόχρονη λήψη της θέσης και της ποσότητας των σταφυλιών σε δύο αμπελώνες στην περιοχή της Καταλονίας. Στους αμπελώνες λήφθηκαν και δείγματα εδάφους για τη χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων. Στη συνέχεια έγινε συσχέτιση της παραγωγής με τις ιδιότητες του εδάφους και χρησιμοποιήθηκε η παραγοντική ανάλυση για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή με συντελεστές παραλλακτικότητας 20,3% και 48,9% στους δύο αμπελώνες, ενώ οι εδαφικές ιδιότητες έδειξαν μικρότερη παραλλακτικότητα από την παραγωγή.

Στη Γαλλία οι Tisseyre et al. (2001) άρχισαν την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στο αμπέλι στην περιοχή του Montpellier, μετρώντας την παραγωγή, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (σάκχαρα, οξύτητα) και τη μορφολογία του φυτού. Για τη χαρτογράφηση παραγωγής και ποιότητας χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες που ήταν εγκατεστημένοι στη μηχανή συγκομιδής, ενώ για την κατάσταση των πρέμων χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές φωτογραφίες. Οι Taylor et al. (2005) έκαναν σύγκριση της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής σε αμπελώνες της Γαλλίας και της Αυστραλίας. Οι Acevedo-Orazo et al. (2007) δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης σε αμπελώνες χρησιμοποιώντας το δείκτη βλάστησης NDVI από δορυφορικές εικόνες. Οι Tisseyre and McBratney (2007) ανέπτυξαν μια μέθοδο η οποία επιτρέπει στον παραγωγό να αποφασίσει αν η παραλλακτικότητα στον αγρό επιτρέπει την εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις και να δημιουργήσει τον αντίστοιχο χάρτη εφαρμογής εισροών.

Στη Χιλή οι Ortega et al. (2003) εφάρμοσαν Γεωργία Ακριβείας σε δύο εμπορικούς αμπελώνες. Μελετήθηκε η παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στην ποιότητα και στις εδαφικές ιδιότητες. Επίσης προσδιορίστηκε το όφελος της διαφορετικής διαχείρισης στο χωράφι, όπως διαφορετικές ημερομηνίες συγκομιδής και διαφορετικές δόσεις αζώτου. Η παραγωγή μετρήθηκε με δειγματοληψία σε διάφορα πρέμνα με συχνότητα 20 δείγματα ανά εκτάριο, ενώ για κάθε σημείο λήφθηκαν δείγματα για ανάλυση ποιοτικών χαρακτηριστικών (σάκχαρα, ολική οξύτητα, pH). Η δειγματοληψία εδάφους έγινε σε ακανόνιστο πλέγμα και λήφθηκαν 2-8 δείγματα ανά εκτάριο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε μεγάλη παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στην ποιότητα η οποία σχετίζεται με την παραλλακτικότητα των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους. Λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας στην ποιότητα υπήρχαν περιοχές με υψηλή και

χαμηλή ποιότητα. Υπολογίστηκε ότι το όφελος που προκύπτει αν οι περιοχές με την υψηλή ποιότητα συγκομιστούν ξεχωριστά είναι περίπου 200 δολάρια ανά εκτάριο.

Στη Καλιφόρνια των ΗΠΑ χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες για την εκτίμηση της πυκνότητας βλάστησης (Dobronski et al., 2002), ενώ στο Όρεγκον χρησιμοποιήθηκαν κάμερες για ανίχνευση ασθενειών και παραλλακτικότητας στην παραγωγή (Lang et al., 2000).

Τέλος στην Ελλάδα πρώτη εφαρμογή έχουμε στην περιοχή του Δαμασίου και της Ραψάνης στην κεντρική Ελλάδα όπου μετρήθηκε η παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στην ποιότητα και στο έδαφος (Tagarakis et al., 2006, Χατζηνίκος, 2007) και σε αμπελώνες της Βόρειας Ελλάδας (Stamatiadis et al., 2007).

2.9.6 Καφές

Στη Βραζιλία που είναι η κυριότερη χώρα παραγωγής καφέ στον κόσμο, οι Balastreire et al. (2002) ανέπτυξαν ένα αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής. Προσάρμοσαν στη μηχανή συγκομιδής δυναμοκυψέλες για τη μέτρηση της παραγωγής και GPS για καταγραφή της θέσης της μηχανής. Με το σύστημα αυτό έκαναν χαρτογράφηση παραγωγής και διαπίστωσαν ότι η παραλλακτικότητα στην παραγωγή του καφέ ήταν σημαντική και κυμάνθηκε από 2,1-16 Mg/ha.

Οι Sartori et al. (2007) δημιούργησαν ένα αυτόματο σύστημα καταγραφής της παραγωγής στο οποίο αισθητήρας μέτρησης της παραγωγής που προσαρμόστηκε στη μηχανή συγκομιδής μετρούσε τον όγκο του συγκομιζόμενου προϊόντος.

Οι Queiroz et al. (2007) μελέτησαν τη χωρική και χρονική παραλλακτικότητα της ποιότητας του καφέ για δύο έτη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε χωρική παραλλακτικότητα στην ποιότητα του καφέ. Όσον αφορά τη χρονική παραλλακτικότητα παρατηρήθηκε ότι η ποιότητα άλλαξε από χρονιά σε χρονιά, αλλά υπήρχε μια περιοχή του αγρού που παρήγαγε καλύτερη ποιότητα κάθε χρόνο.

2.9.7 Άλλα οπωροφόρα

Στο Ιράν οι Shamsi et al. (2007) μελέτησαν τη χωρική παραλλακτικότητα παραγωγής και ποιότητας σε καλλιέργεια χουρμά. Μέτρησαν τα εξής χαρακτηριστικά σε κάθε δένδρο: παραγωγή, ποιότητα καρπού (ξηρός ημίξηρος, χυμώδης), κατάσταση δένδρου (ασθενικό, μέτριο, καλό), μέγεθος καρπού, αριθμός καρπών ανά τσαμπί και ηλικία δένδρου. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή (που

κυμάνθηκε από 10-20kg/ δένδρο) και στην ποιότητα, που σημαίνει ότι η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια αυτή είναι εφικτή.

Σε οπωρώνα αμυγδαλιάς στην Καλιφόρνια, οι Coates et al. (2007) εφάρμοσαν χημικά με μεταβλητές δόσεις στο έδαφος για την καταπολέμηση του συνδρόμου της επαναφύτευσης (όταν επαναφυτεύεται ο οπωρώνας πολλά από τα νέα δένδρα δεν αναπτύσσονται). Για την καταπολέμηση του συνδρόμου αυτού χρησιμοποιούνται πολύ τοξικά χημικά. Με την εφαρμογή των χημικών μόνο όπου είναι απαραίτητα μειώθηκε η ποσότητα του φαρμάκου κατά 50% με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την προστασία του περιβάλλοντος.

Οι Ampatzidis et al. (2007) δοκίμασαν ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας εντός αγρού με χρήση RFID κατά τη διάρκεια προσομοίωσης της παραδοσιακής διαδικασίας συγκομιδής οπωρώνων με τα χέρια. Ένας αναγνώστης -ραντάρ RFID τοποθετήθηκε στην πλατφόρμα μεταφοράς ελκυστήρα και παθητικές ετικέτες RFID, οι οποίες περιέχουν μοναδικό κωδικό επικολλήθηκαν στα κιβώτια που συλλέγονται οι καρποί και στα δέντρα. Καθώς ο ελκυστήρας κινήθηκε στον οπωρώνα για τη συλλογή των γεμάτων με φρούτα κιβωτίων ο αναγνώστης κατάγραψε τον κωδικό των κιβωτίων και των δέντρων με αποτέλεσμα να πραγματοποιηθεί αυτόματα η συσχέτιση μεταξύ των γεμάτων κιβωτίων και του ζεύγους δέντρων από όπου συγκομίστηκαν. Εάν υπολογιστεί το βάρος κάθε κιβωτίου, στον αγρό ή στο συσκευαστήριο, ολοκληρώνεται η χαρτογράφηση της παραγωγής.

Στις δενδρώδεις καλλιέργειες πολλές έρευνες έχουν γίνει για τη δημιουργία συστημάτων για εφαρμογή φυτοφαρμάκων με ψεκασμό με μεταβλητές δόσεις ανάλογα με το μέγεθος του δένδρου, με σκοπό να μη γίνεται σπατάλη φυτοφαρμάκων (Giles et al., 1987, Perry, 1995, Jaeksen et al., 1997, Balsari and Tamagone, 1998, Molto et al., 2001, Walklate et al., 2002, Walklate et al., 2003, Escola et al., 2003). Αυτά τα συστήματα βασίζονται στην εκτίμηση του μεγέθους της κόμης των δένδρων με διάφορους τρόπους (ανάλυση φάσματος ανακλώμενου φωτός, χρήση laser, χρήση υπερήχων).

Οι Solanelles et al. (2006) δημιούργησαν ένα τέτοιο σύστημα βασισμένο σε υπερήχους για εφαρμογή φυτοφαρμάκων ανάλογα με το πλάτος της κόμης των δένδρων. Το σύστημα δοκιμάστηκε στην ελιά, στην αχλαδιά και στη μηλιά προκειμένου να αξιολογηθεί η απόδοση του σε διαφορετικά είδη που έχουν διαφορετικό σχήμα κόμης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι επιτεύχθηκε οικονομία ψεκαστικού υγρού σε σχέση με ομοιόμορφη εφαρμογή φυτοφαρμάκου κατά 70% στην ελιά, 28% στην αχλαδιά και 39% στην μηλιά.

Οι Escola et al. (2007) δοκίμασαν αισθητήρες υπερήχων και αισθητήρες laser για την εκτίμηση του όγκου των δένδρων σε ένα ψεκαστικό για ψεκασμό με μεταβλητές δόσεις σε μηλιά και αχλαδιά. Το σύστημα λειτούργησε αποτελεσματικά καθώς υπήρχε ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του μετρούμενου όγκου της κόμης και του ψεκαστικού υγρού που εφαρμόστηκε. Ο αισθητήρας laser λειτούργησε καλύτερα στη μέτρηση του όγκου της κόμης αλλά ήταν σχετικά αργός για λειτουργία σε χρόνο real-time.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Περιγραφή πειραμάτων

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο εμπορικούς οπωρώνες που βρίσκονται ο ένας στην περιοχή της Πτολεμαΐδας Κοζάνης και ο άλλος στην περιοχή της Αγιάς Λάρισας (Εικόνα 3.1). Οι δύο αυτές τοποθεσίες επιλέχθηκαν διότι είναι περιοχές που ευδοκιμούν οι μηλιές και στις οποίες επικρατούν διαφορετικές εδαφοκλιματικές συνθήκες



(α)



(β)

Εικόνα 3.1. Οι πειραματικοί οπωρώνες στην Πτολεμαΐδα (α) και στην Αγιά (β)

3.1.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Ο πειραματικός βρίσκεται στους Πύργους Πτολεμαΐδας ($21^{\circ} 50' 15''$ E , $40^{\circ} 39' 13''$ N) και έχει έκταση 8 στρέμματα. Το υψόμετρο είναι 690μ και το έδαφος αργιλώδες. Ο οπωρώνας περιλαμβάνει δύο ποικιλίες μήλων: την ποικιλία Red Chief που είναι η κύρια ποικιλία σε 11 γραμμές και την ποικιλία Fuji που είναι ο επικονιαστής σε 4 γραμμές. Η καλλιέργεια έχει διαμόρφωση ελεύθερης παλμέτας. Οι αποστάσεις φύτευσης των δέντρων είναι $4 \times 2,5$ m. Στο πείραμα αυτό λήφθηκαν μετρήσεις για τρία συνεχόμενα έτη : 2004, 2005 και 2006.

3.1.2 Πείραμα Αγιάς

Ο πειραματικός αγρός βρίσκεται στον Αετόλοφο Αγιάς ($22^{\circ} 45' 31''$ E, $39^{\circ} 40' 28''$ N) και έχει έκταση 50 στρέμματα. Το υψόμετρο είναι 160μ και το έδαφος αμμοαργιλοπηλώδες. Και στον οπωρώνα αυτό υπάρχουν δύο ποικιλίες μήλων, η Red Chief που είναι η κύρια ποικιλία και η Golden Delicious που είναι η επικονιάστρια ποικιλία. Η διάταξη των δύο ποικιλιών στον αγρό είναι 1 σειρά της επικονιάστριας ποικιλίας ανά 5 σειρές της κύριας ποικιλίας. Οι αποστάσεις φύτευσης των δένδρων είναι 3,5m μεταξύ των γραμμών και 2m

επί της γραμμής. Το σχήμα διαμόρφωσης των δένδρων είναι ελεύθερη παλμέτα. Οι μετρήσεις στον αγρό αυτό λήφθηκαν τα έτη 2005, 2006 και 2007

3.2 Μετρήσεις

3.2.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Χαρτογράφηση παραγωγής

Όπως αναφέρθηκε στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας η χαρτογράφηση παραγωγής στα εσπεριδοειδή πραγματοποιήθηκε με ζύγιση των κιβωτίων που περιείχαν τους καρπούς και ταυτόχρονη καταγραφή της θέσης τους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας ανάλογος τρόπος για τη χαρτογράφηση της παραγωγής. Τα μήλα συλλέγονταν με το χέρι και τοποθετούνταν σε πλαστικά κιβώτια χωρητικότητας 18,5 κιλών τα οποία τοποθετούνταν κατά μήκος της γραμμής των δένδρων. Σε κάθε σειρά δένδρων ζυγίστηκε η παραγωγή ανά πέντε δένδρα και έγινε καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων στο κέντρο της πεντάδας των δένδρων με τη χρήση ενός GPS χειρός (Trimble Pathfinder, Pocket 43800, Sunnyvale, CA, USA). Έτσι σε κάθε σημείο του χάρτη παραγωγής αντιστοιχεί η παραγωγή από πέντε συνεχόμενα δένδρα πάνω στη γραμμή.

Η χαρτογράφηση παραγωγής (Εικόνα 3.2) πραγματοποιήθηκε για τρία συνεχόμενα έτη (2004, 2005, 2006) στις αρχές Οκτωβρίου για την ποικιλία Red Chief και στις αρχές Νοεμβρίου για την ποικιλία Fuji. Συνολικά λήφθηκαν 121 μετρήσεις για την ποικιλία Red Chief και 44 μετρήσεις για την ποικιλία Fuji.



Εικόνα 3.2. Χαρτογράφηση παραγωγής

Χαρτογράφηση ποιότητας των καρπών

Κατά τη συγκομιδή λήφθηκαν δείγματα καρπών για εκτίμηση της ποιότητας των καρπών. Συνολικά λήφθηκαν 50 δείγματα που προέρχονταν από δύο γειτονικά δένδρα: 30 για την ποικιλία Red Chief και 20 για την ποικιλία Fuji. Το κάθε δείγμα είχε 15 καρπούς. Κατά τη λήψη των δειγμάτων έγινε καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων των θέσεων λήψης των δειγμάτων έτσι ώστε να γίνει δυνατή η χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Οι πέντε καρποί του κάθε δείγματος αναλύθηκαν στο εργαστήριο για ποιοτικά χαρακτηριστικά απευθείας, ενώ οι υπόλοιποι τοποθετήθηκαν στο ψυγείο για 5 μήνες σε θερμοκρασία 0°C και σχετική υγρασία 95% οπότε και επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις ποιότητας σε πέντε καρπούς με σκοπό να διαπιστωθούν οι αλλαγές που προκλήθηκαν στην ποιότητα των καρπών κατά τη συντήρηση με ψύξη. Οι αναλύσεις έγιναν για τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά:

1. Μέσο βάρος καρπού, με ζύγιση με ηλεκτρονική ζυγαριά Kern (model EW 600-ZM, Balingen, Germany).
2. Χρώμα φλοιού του καρπού. Η μέτρηση έγινε με χρωματόμετρο (Hunter Associates Laboratory Inc., model Miniscan XE plus, Reston, Virginia, USA) (Εικόνα 3.3α). Πραγματοποιήθηκαν 4 μετρήσεις στον ισημερινό του κάθε καρπού για τις παραμέτρους L^* , a^* και b^* , και υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Ακολούθησε υπολογισμός των παραμέτρων C^* και hue.

Η συσκευή βαθμονομήθηκε πριν τις μετρήσεις χρησιμοποιώντας άσπρη και μαύρη πλάκα. Η παράμετρος L^* εκφράζει τη φωτεινότητα από μαύρο στο άσπρο σε μια κλίμακα από 0 έως 100 ($L^*=0$ μαύρο, $L^*=100$ άσπρο). Όσο πιο μεγάλο είναι το L^* τόσο πιο φωτεινό είναι το χρώμα του καρπού, άρα και λιγότερο κόκκινο.

Οι παράμετροι L^* , a^* και b^* τοποθετούν το χρώμα σε ένα τρισδιάστατο ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων όπου το L^* είναι κάθετο στο επίπεδο που σχηματίζουν τα a^* και b^* . Το a^* τοποθετείται στον οριζόντιο άξονα και το b^* στον κατακόρυφο. Το χρώμα στο σημείο $a^*=0$, $b^*=0$, είναι άχρωμο (γκρί). Στον οριζόντιο άξονα, $a^* > 0$ δείχνει απόχρωση κόκκινο-μωβ και $a^* < 0$ απόχρωση μπλέ –πράσινο. Στον κατακόρυφο άξονα, $b^* > 0$ δείχνει απόχρωση κίτρινη και $b^* < 0$ μπλέ.

Μια πιο κατάλληλη μέτρηση του κόκκινου χρώματος των μήλων γίνεται υπολογίζοντας τη γωνία hue (H) και το chroma (C^*), χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις :

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

$$H^{\circ} = \tan^{-1}\left(\frac{b^{*}}{a^{*}}\right) \quad (2)$$

Το C* είναι ένας δείκτης ανάλογος με την ένταση του χρώματος από το γκρι μέχρι το έγχρωμο. Όσο πιο μεγάλο είναι το C*, τόσο πιο καθαρό χρώμα έχει ο καρπός.

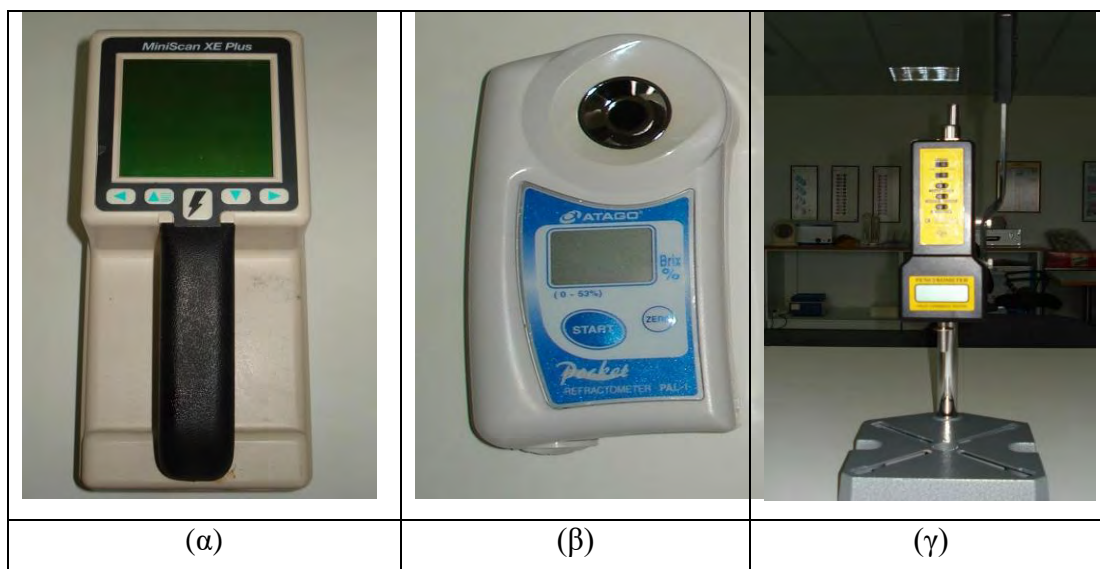
Η γωνία hue εκφράζει την απόχρωση (H =0⁰ εκφράζει το κόκκινο-μωβ, H =90⁰ εκφράζει το κίτρινο, H =180⁰ το μπλε-πράσινο και H =270⁰ το μπλε). Σε συνδυασμό τα C* και H δίνουν το ακριβές, πραγματικό χρώμα ιδιαίτερα για έγχρωμους καρπούς, όπως τα κόκκινα μήλα (Mc Guire, 1992).

3. Σκληρότητα της σάρκας του καρπού σε kgF. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε μετά από αφαίρεση του φλοιού με ηλεκτρονικό πενετρόμετρο (Turoní, 53205 Digital Fruit Pressure Tester, Forli, Italy) με έμβολο διαμέτρου 11mm (Εικόνα 3.3γ) .

4. Διαλυτά στερεά του χυμού των μήλων (%) με ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο (ATAGO, Pocket Refractometer Pal-1, Tokyo, Japan) (Εικόνα 3.3β).

5. pH του χυμού με πεχάμετρο (Hanna Instruments, HI 9024 microcomputer pH meter, Woonsocket, Rhode Island, USA).

6. Οξύτητα του χυμού, με τιτλοδότηση χυμού με 0,1 N NaOH μέχρι pH=8,2 και υπολογισμό της οξύτητας σε (%) περιεκτικότητα σε μηλικό οξύ.



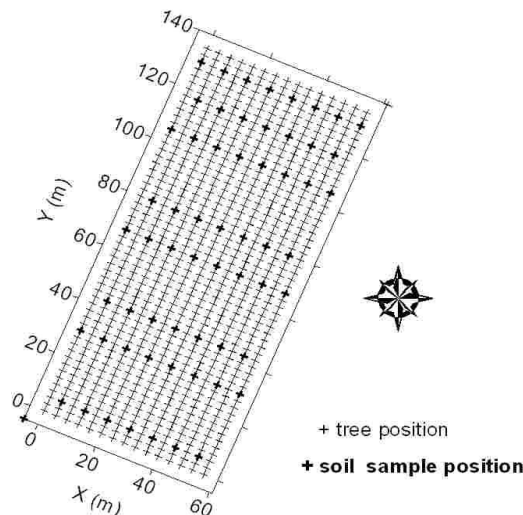
Εικόνα 3.3 Όργανα μέτρησης ποιότητας καρπών (α) χρωματόμετρο, (β) διαθλασίμετρο, (γ) πενετρόμετρο

Χαρτογράφηση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους

Το χειμώνα του 2004 και πριν την εφαρμογή της λίπανσης λήφθηκαν 60 δείγματα εδάφους σε δύο βάθη, 0-30cm και 30-60cm, προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Στη συνέχεια τα δείγματα εστάλησαν σε εδαφολογικό εργαστήριο όπου έγιναν οι παρακάτω αναλύσεις: μηχανική σύσταση του εδάφους, pH, οργανική ουσία, άζωτο, φώσφορο, ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+}), ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, B, Cu, Mn).

Η μηχανική σύσταση μετρήθηκε με τη μέθοδο Βουγιούκου, το pH μετρήθηκε σε διάλυμα 1:1 με νερό με πεχάμετρο, τα νιτρικά και τα αμμωνιακά μετρήθηκαν με χρωματογραφία ιόντων, ο φώσφορος με τη μέθοδο Olsen, τα ανταλλάξιμα κατιόντα και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων με τη μέθοδο του οξικού αμμωνίου, τα ιχνοστοιχεία με ατομική απορρόφηση εκτός από το βόριο που μετρήθηκε με ζέον ύδωρ και η οργανική ουσία μετρήθηκε με τη μέθοδο Walkley-Black.

Οι θέσεις λήψης των δειγμάτων καταγράφηκαν με GPS προκειμένου να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι εδαφικοί χάρτες. Το σχέδιο λήψης των δειγμάτων εδάφους φαίνεται στην Εικόνα 3.4. Με βάση τα όρια επάρκειας των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος δημιουργήθηκαν χάρτες εφαρμογής λιπασμάτων για τα κύρια θρεπτικά στοιχεία που έλλειπαν από το έδαφος. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν σε ποιες περιοχές του αγρού τα θρεπτικά στοιχεία έχουν χαμηλότερες τιμές από τα όρια επάρκειας και απαιτείται λίπανση.



Εικόνα 3.4. Σχέδιο λήψης εδαφικών δειγμάτων

Χαρτογράφηση ανθοφορίας

Τον Απρίλιο του 2005 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο (Εικόνα 3.5). Από κάθε πεντάδα δένδρων που έγινε η χαρτογράφηση παραγωγής, ένα δένδρο επιλέχθηκε τυχαία στο οποίο εκτιμήθηκε ο αριθμός των ανθέων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της στερεολογίας (Wulfsohn et al., 2006). Λόγω του σχήματος διαμόρφωσης των δένδρων που είναι η παλμέττα ένα επίπεδο συμμετρίας χωρίζει το κάθε δένδρο σε δύο συμμετρικά μέρη. Ο αριθμός των ταξιανθιών μετρήθηκε στο ένα από τα δύο συμμετρικά μέρη του δένδρου και πολλαπλασιάστηκε επί 2 για να εκτιμηθεί ο αριθμός των ταξιανθιών ανά δένδρο. Μετρήθηκαν τα άνθη που προήλθαν από 20 τυχαίους μικτούς οφθαλμούς σε κάθε ποικιλία και βρέθηκε ότι κατά μέσο όρο κάθε ταξιανθία έχει 5 άνθη. Στη συνέχεια ο αριθμός των ανθέων ανά δένδρο υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των ταξιανθιών ανά δένδρο επί 5. Η παραγωγή των δένδρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο Φθινόπωρο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους.



Εικόνα 3.5 Εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο εφαρμόζοντας την μέθοδο της στερεολογίας

3.2.2 Πείραμα Αγιάς

Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιήθηκε για τρία συνεχόμενα έτη (2005, 2006, 2007) στα μέσα Σεπτεμβρίου για την ποικιλία Red Chief. Η χαρτογράφηση παραγωγής έγινε ζυγίζοντας την παραγωγή ανά δέκα δένδρα και καταγράφοντας με GPS τις συντεταγμένες στο κέντρο της δεκάδας των δένδρων. Συνολικά λήφθηκαν 580 μετρήσεις.

Χαρτογράφηση ποιότητας των καρπών

Προκειμένου να εκτιμηθεί η ποιότητα των καρπών κατά τη συγκομιδή λήφθηκαν 55 δείγματα καρπών σε ένα πλέγμα 30x30m. Οι θέσεις λήψης των δειγμάτων καταγράφηκαν με GPS για να είναι δυνατή η δημιουργία των αντίστοιχων χαρτών. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά όπως και τα δείγματα της Πτολεμαΐδας.

Χαρτογράφηση φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους

Το Δεκέμβριο του 2005 λήφθηκαν δείγματα εδάφους, προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Τα δείγματα λήφθηκαν σε 20 θέσεις. Σε κάθε θέση λήφθηκαν δύο δείγματα: ένα σε βάθος 0-30cm και ένα σε βάθος 30-60cm. Προκειμένου να καθοριστούν οι θέσεις δειγματοληψίας ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: ο αγρός χωρίστηκε σε ζώνες διαχείρισης (management zones) με βάση την παραγωγή. Ζώνη διαχείρισης είναι ένα κομμάτι του αγρού σχετικά ομοιόμορφο ως προς μια ιδιότητα, που στην προκειμένη περίπτωση ήταν η παραγωγή. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο fuzzy clustering χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα FuzME (Minasny and McBratney, 2002). Ο αγρός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες: μια υψηλής παραγωγής που καταλάμβανε το 26,6% της επιφάνειας του αγρού, μια μέσης παραγωγής (38,5%) και μια χαμηλής παραγωγής (34,9%). Ο αριθμός των δειγμάτων ήταν σε αναλογία με την επιφάνεια που καταλάμβανε η κάθε ζώνη. Έτσι λήφθηκαν 5 δείγματα από τη ζώνη υψηλής παραγωγής, 8 δείγματα από τη ζώνη μέσης παραγωγής και 7 δείγματα από τη ζώνη χαμηλής παραγωγής. Τα δείγματα στη συνέχεια εστάλησαν στο εργαστήριο προκειμένου να γίνουν οι εξής αναλύσεις: μηχανική σύσταση του εδάφους, pH, οργανική ουσία, περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), ολικό άζωτο, νιτρικά, αμμωνιακά, φώσφορο, ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, B, Cu, Mn).

Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Μετά τη λήψη εδαφικών δειγμάτων έγινε χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, ανά δεύτερη σειρά δένδρων (7m), με το μηχάνημα Veris 3100 (Veris Technologies Inc, Veris 3100, Salina, KS, USA). Το Veris (Εικόνα 3.6) είναι μια συσκευή μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία αποτελείται από 6 δίσκους (3 ζεύγη) οι οποίοι έρχονται σε επαφή με το έδαφος και δρουν ως ηλεκτρόδια. Το εσωτερικό ζεύγος δίσκων έχει αρνητικό φορτίο, ενώ τα αλλά δυο ζεύγη καταγράφουν το ηλεκτρικό πεδίο σε

διαφορετικές αποστάσεις και άρα την αγωγιμότητα σε δυο διαφορετικά βάθη, 0-30 εκ. και 0-90 εκ. Το όλο σύστημα είναι ρυμουλκόμενο από γεωργικό ελκυστήρα και περιλαμβάνει και έναν δέκτη GPS τοποθετημένο στον ελκυστήρα ώστε να καταγράφεται το σημείο της κάθε μέτρησης στην κεντρική μονάδα, που βρίσκεται στην καμπίνα του οχήματος. Το σύστημα καταγράφει μια μέτρηση ανά δευτερόλεπτο και μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες 5 έως 20 χλμ/ώρα σε παράλληλες διαδρομές απόστασης από 4 έως 15 μέτρα. Οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και το στίγμα από το GPS μεταφέρονται από την κεντρική κονσόλα σε μια δισκέτα και έπειτα μπορούν να μεταφερθούν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου με τη βοήθεια του κατάλληλου λογισμικού μπορούν να μετατραπούν σε ψηφιακό χάρτη.



Εικόνα 3.6. Μηχάνημα μέτρησης της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους Veris 3100

3.3 Ανάλυση δεδομένων

3.3.1 Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας

Περιγραφικά στατιστικά

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

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} * 100 \quad (3)$$

Όπου CV είναι ο συντελεστής παραλλακτικότητας

SD είναι η τυπική απόκλιση

\bar{X} είναι η μέση τιμή

Ακολούθησε η δημιουργία ιστογραμμάτων ώστε να διαπιστωθεί αν τα δεδομένα μας ακολουθούν κανονική κατανομή.

Συσχετίσεις παραγωγής, ποιότητας και ανθοφορίας

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

Γεωστατιστική

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

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

Η συνάρτηση με βάση την οποία υπολογίζεται το πειραματικό βαριόγραμμα δίνεται παρακάτω (Goovaerts, 1997, Isaaks and Srivastava, 1989, Webster and Oliver, 2001) :

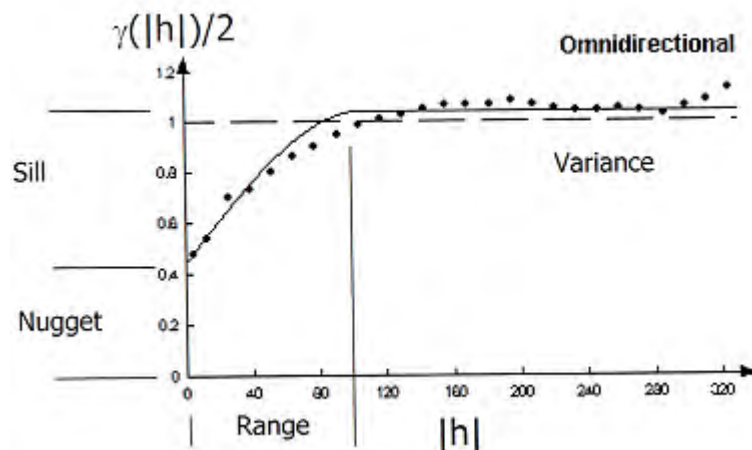
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (4)$$

όπου $\gamma(h)$ η τιμή του βαριογράμματος σε απόσταση h (lag),

$N(h)$ ο αριθμός των ζευγών των τιμών των δεδομένων που έχουν απόσταση h

$z(x_i)$, $z(x_i+h)$ οι τιμές των δεδομένων σε δύο σημεία που χωρίζονται με απόσταση h

Η μορφή του πειραματικού βαριογράμματος φαίνεται στην Εικόνα 3.7



Εικόνα 3.7. Πειραματικό βαριόγραμμα

Οι παρακάτω παράμετροι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ένα βαριόγραμμα

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

Sill: είναι το όριο που τείνει το βαριόγραμμα σε μεγάλες αποστάσεις h (lag distance)

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

Καθώς οι τιμές του h αυξάνουν η τιμή της $\gamma(h)$ αυξάνεται ασυμπτωτικά προς ένα ανώτατο όριο που ονομάζεται κατώφλι (sill). Αυτό σημαίνει ότι σε μεγάλες αποστάσεις δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση μεταξύ των σημείων, αφού οι εκτιμήσεις της διαφοράς της διασποράς παραμένει σταθερή καθώς η απόσταση των σημείων αλλάζει.

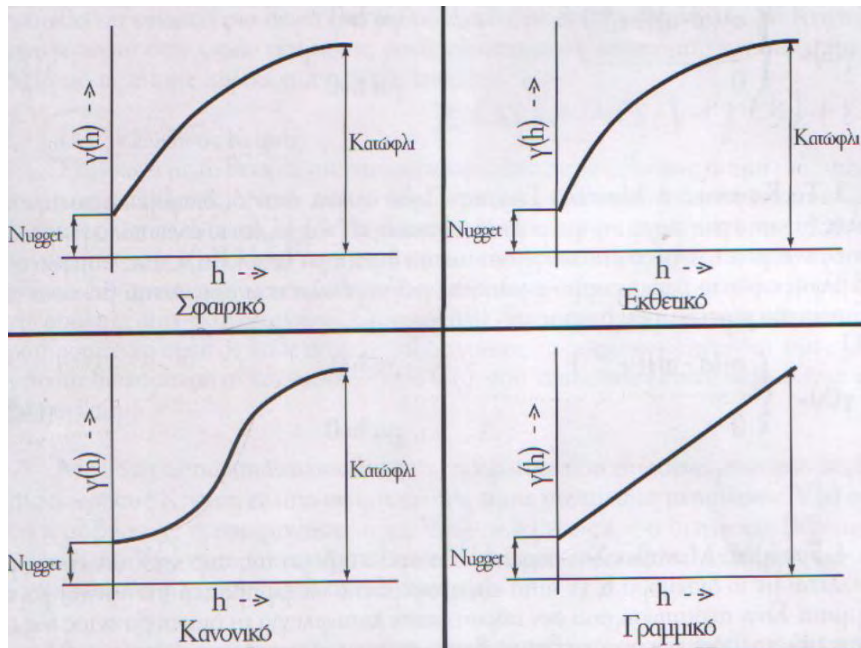
Η καμπύλη της $\gamma(h)$ αυξάνεται μέχρι να φτάσει το κατώφλι, οπότε λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της σε μια απόσταση που ορίζει τη ζώνη επιρροής (range), η οποία καθορίζει το χώρο εντός του οποίου οι μεταξύ των σημείων διαφοροποιήσεις είναι χωρικά εξαρτημένες. Έτσι εντός της ζώνης επιρροής όσο πιο κοντά είναι δυο σημεία, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ομοιότητα τους.

Η εκτιμηθείσα καμπύλη $\gamma(h)$ δεν περνά από την αρχή των αξόνων αλλά τέμνει τον κατακόρυφο άξονα σε ένα σημείο με θετική τιμή που ονομάζεται nugget. Θεωρητικά ισχύει $\gamma(0)=0$ αλλά δειγματικά σφάλματα και μικρής κλίμακας μεταβλητότητα συχνά οδηγούν σε δειγματικές τιμές όπου κοντινά σημεία έχουν διαφορές. Σε περίπτωση που το βαρόγραμμα παρουσιάζει μόνο τις επιπτώσεις nugget, δηλαδή έχει τη μορφή οριζόντιας γραμμής, τότε η ιδιότητα που εξετάζεται δεν έχει χωρική εξάρτηση. Σε αυτή την περίπτωση η καλύτερη εκτίμηση της $\gamma(h)$ είναι η συνολική μέση τιμή, υπολογιζόμενη από όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε χωρική εξάρτηση.

Σε περίπτωση που παρατηρείται ένα βαριόγραμμα που οι τιμές των διασπορών είναι ευρέως διασκορπισμένες, αυτό σημαίνει ότι η εκτίμηση της $\gamma(h)$ έγινε με τη χρήση μικρού δείγματος. Το μέγεθος του δείγματος σύμφωνα με τους Webster and Oliver (2001) πρέπει να είναι τουλάχιστον 100 σημεία για να επιτευχθεί ένα σταθερό βαριόγραμμα.

Η μορφή του βαριογράμματος δείχνει το είδος της χωρικής εξάρτησης των δεδομένων και μπορεί να βοηθήσει στη διαδικασία χωρικής παρεμβολής. Για το σύνολο των εφαρμογών τέσσερα είναι τα βασικά μοντέλα του βαριογράμματος που χρησιμοποιούνται (Εικόνα 3.8):

1. Σφαιρικό μοντέλο (spherical model).
2. Εκθετικό μοντέλο (exponential model).
3. Κανονικό μοντέλο (Gaussian model).
4. Γραμμικό μοντέλο (linear model).



Εικόνα 3.8. Μοντέλα βαριογράμματος

Η προσαρμογή του κατάλληλου μοντέλου στα πειραματικά βαριογράμματα έγινε υπολογίζοντας το σφάλμα (Root Mean Square Error) μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών από το μοντέλο με τις πραγματικές τιμές (Isaaks and Srivastava, 1989).

Στη συνέχεια προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές των μετρούμενων μεγεθών σε σημεία που δεν υπήρχε μέτρηση και να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής Kriging. Η εκτίμηση των τιμών σε σημεία που δεν υπήρχε δείγμα έγινε σύμφωνα με τη σχέση:

$$z(x_o) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i)$$

όταν $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$

όπου $z(x_o)$, η τιμή που εκτιμάται

$z(x_i)$ η τιμή του δείγματος

και λ_i το βάρος που προσδιορίζεται για την τιμή x_i

3.3.2 Ανάλυση χρονικής παραλλακτικότητας

Η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας διενεργήθηκε σε τρία στάδια: α) δημιουργία χαρτών τάσης παραγωγής και ποιότητας, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των τιμών στα τρία χρόνια του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα μετρούμενα μεγέθη σε κάθε σημείο του αγρού β) δημιουργία ιστογραμμάτων που δείχνουν τις διαφορές στην παραγωγή και στην ποιότητα από χρονιά σε χρονιά και γ) δημιουργία χαρτών χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν περιοχές του αγρού που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι πάνω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος και περιοχές που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος.

Η χρονική παραλλακτικότητα υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση

$$\sigma_j = \sum_{2004}^{2006} \frac{(y_{i,j} - \overline{y_i})}{|(y_{i,j} - \overline{y_i})|} \quad (5)$$

όπου σ_j είναι η χρονική παραλλακτικότητα στο σημείο j ,

$y_{i,j}$ το μετρούμενο μέγεθος (παραγωγή ή ποιότητα) στο σημείο j και στο χρόνο i

και $\overline{y_i}$ είναι η μέση τιμή του μετρούμενου μεγέθους για όλο τον οπωρώνα στο έτος i .

Υπολογίζοντας την παραπάνω εξίσωση για όλα τα σημεία και τα έτη του πειράματος βρίσκουμε 4 τιμές χρονικής παραλλακτικότητας : -3, -1, 1, 3 που η σημασία τους είναι η εξής: -3 σημαίνει ότι το σημείο παράγει κάτω από το μέσο όρο τα τρία έτη του πειράματος, -1 σημαίνει ένα έτος το σημείο είναι πάνω από το μέσο όρο και δύο έτη κάτω από το μέσο όρο, 1 σημαίνει ότι το σημείο παράγει δύο έτη πάνω από το μέσο όρο και ένα έτος κάτω από το μέσο όρο και 3 σημαίνει ότι το σημείο παράγει και τα τρία έτη πάνω από το μέσο όρο.

3.3.3 Λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των δεδομένων

Για τον υπολογισμό των περιγραφικών στατιστικών και τη δημιουργία ιστογραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel. Για τη γεωστατιστική ανάλυση που περιελάμβανε τον υπολογισμό πειραματικών βαριογραμμάτων και την προσαρμογή του κατάλληλου μοντέλου στα πειραματικά βαριογράμματα χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Vesper (Minasny et al., 2005). Για τη δημιουργία των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer (Surfer 8, Golden Software Inc, Golden, Colorado, USA).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

4.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά [ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας (CV), ασυμμετρία] για την παραγωγή στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας για τα τρία έτη του πειράματος καθώς και η μέση τιμή των τριών ετών για τις ποικιλίες Red Chief και Fuji, για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας. Στον οπωρώνα αυτό η κύρια ποικιλία είναι η Red Chief και η επικονιάστρια ποικιλία είναι η Fuji.

Πίνακας 4.1. Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας για τα τρία έτη του πειράματος για τις ποικιλίες Red Chief και Fuji

Παραγωγή (τόνοι/εκτάριο)	Ελάχιστη- Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	CV(%)	Ασυμμετρία	Κύρτωση
Red Chief					
2004	13,2-36,6	24,6	20,1	-0,10	-0,27
2005	11,3-38	24,4	24	0,07	-0,71
2006	16-46,8	31,7	19,5	-0,19	-0,04
Μέση τιμή τριών ετών	-	26,9	21,2	-	-
Fuji					
2004	26,9-70,4	50,8	17,6	-0,52	1,37
2005	9,6-50,4	25,2	42,2	0,94	-0,01
2006	32-64	52,5	13	-0,98	1,20
Μέση τιμή τριών ετών	-	42,8	24,3	-	-

Από τα στοιχεία του Πίνακα 4.1 φαίνεται ότι η ποικιλία Red Chief είχε κατά μέσο όρο για τα τρία έτη του πειράματος παραγωγή 26,9 τόνους /εκτάριο. Η παραγωγή επίσης δεν είχε μεγάλες διαφορές από έτος σε έτος διότι η ποικιλία αυτή δεν παρεννιαυτοφορεί σε μεγάλο βαθμό. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 20% που είναι υψηλός αν ληφθεί υπόψη η έκταση του οπωρώνα που είναι μόλις 0,8 εκτάρια. Η ποικιλία Fuji

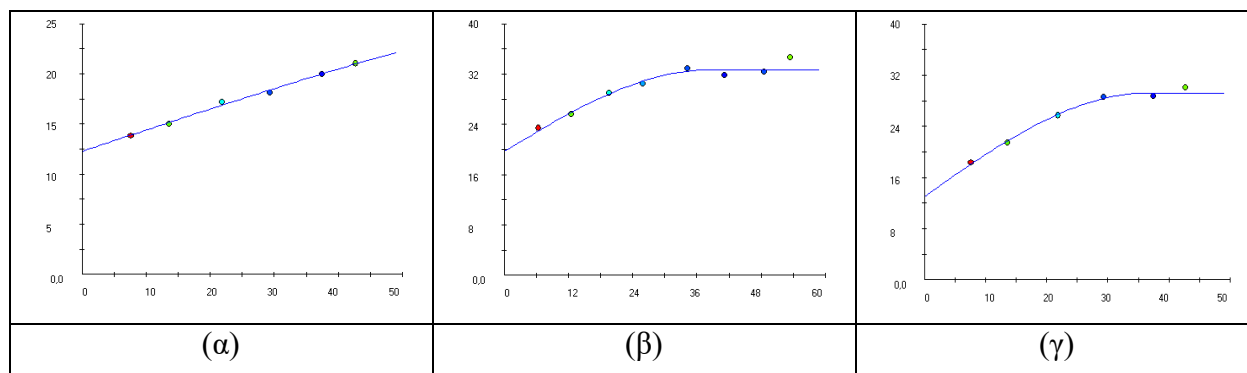
αντίθετα είχε μεγάλες διαφορές στην παραγωγή από έτος σε έτος διότι είναι ποικιλία που παρενιαυτοφορεί έντονα. Τα έτη 2004 και 2006 είχε παραγωγή λίγο παραπάνω από 50 τόνους/εκτάριο και το 2005 μόλις 25 τόνους/εκτάριο δηλαδή μόλις τη μισή παραγωγή από τα δύο άλλα έτη. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας παραλλάσει από έτος σε έτος και είναι μικρότερος τις χρονιές που η παραγωγή είναι υψηλή (2004 και 2006) και πολύ μεγαλύτερος το 2005 που η παραγωγή είναι χαμηλή.

Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται η γεωστατιστική ανάλυση για τα δεδομένα της παραγωγής και στην Εικόνα 4.1 φαίνονται τα αντίστοιχα βαριόγραμμα. Η γεωστατιστική ανάλυση μας δείχνει τη χωρική εξάρτηση των δεδομένων. Η ελάχιστη απόσταση που λήφθηκαν τα δείγματα στον αγρό είναι 4m και είναι η απόσταση μεταξύ των γραμμών (grid spacing distance). Για τον υπολογισμό των πειραματικών βαριόγραμμάτων της παραγωγής χρησιμοποιήθηκε ως απόσταση μεταξύ των δειγμάτων (lag distance) τα 7m έτσι ώστε να υπάρχει μια ανοχή για πιθανά σφάλματα του GPS και ως μέγιστη απόσταση (max lag distance) τα 50m. Συνήθως ως μέγιστη απόσταση μεταξύ των δειγμάτων για τον υπολογισμό των βαριόγραμμάτων λαμβάνεται το μισό περίπου της μέγιστης διάστασης του αγρού. Για την παραγωγή του 2004 το βαριόγραμμα ήταν γραμμικό ενώ για τα έτη 2005 και 2006 τα βαριόγραμμα ήταν σφαιρικά. Το γραμμικό βαριόγραμμα δείχνει ότι καθώς η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων αυξάνεται η ημιδιασπορά (semivariance) επίσης αυξάνεται. Αυτός ο τύπος βαριόγραμματος περιγράφει μεταβλητές στις οποίες υπάρχει αυτοσυσχέτιση σε όλες τις αποστάσεις που είναι μεγαλύτερες από την απόσταση που έχουν ληφθεί τα δείγματα στον αγρό (grid spacing distance). Το σφαιρικό βαριόγραμμα δείχνει ότι καθώς η απόσταση μεταξύ των δειγμάτων αυξάνεται, η ημιδιασπορά αυξάνεται ασυμπτωματικά προς ένα ανώτερο όριο που ονομάζεται κατώφλι (sill) σε μια απόσταση που ονομάζεται ζώνη επιρροής (range of influence). Η ζώνη επιρροής καθορίζει το χώρο εντός του οποίου υπάρχει χωρική εξάρτηση των δεδομένων. Σε αποστάσεις μικρότερες της ζώνης επιρροής υπάρχει χωρική εξάρτηση των δεδομένων ενώ σε αποστάσεις μεγαλύτερες της ζώνης επιρροής δεν υπάρχει χωρική εξάρτηση. Από τα δεδομένα του πίνακα 4.2 παρατηρούμε ότι η ζώνη επιρροής είναι 36-38m και ότι υπάρχει ενδιάμεση χωρική εξάρτηση εφόσον ο λόγος Nugget Ratio παίρνει τιμές από 0,45-0,61 και είναι μεταξύ 25 και 75% (Cambardella et al., 1994).

Πίνακας 4.2. Γεωστατιστική ανάλυση παραγωγής

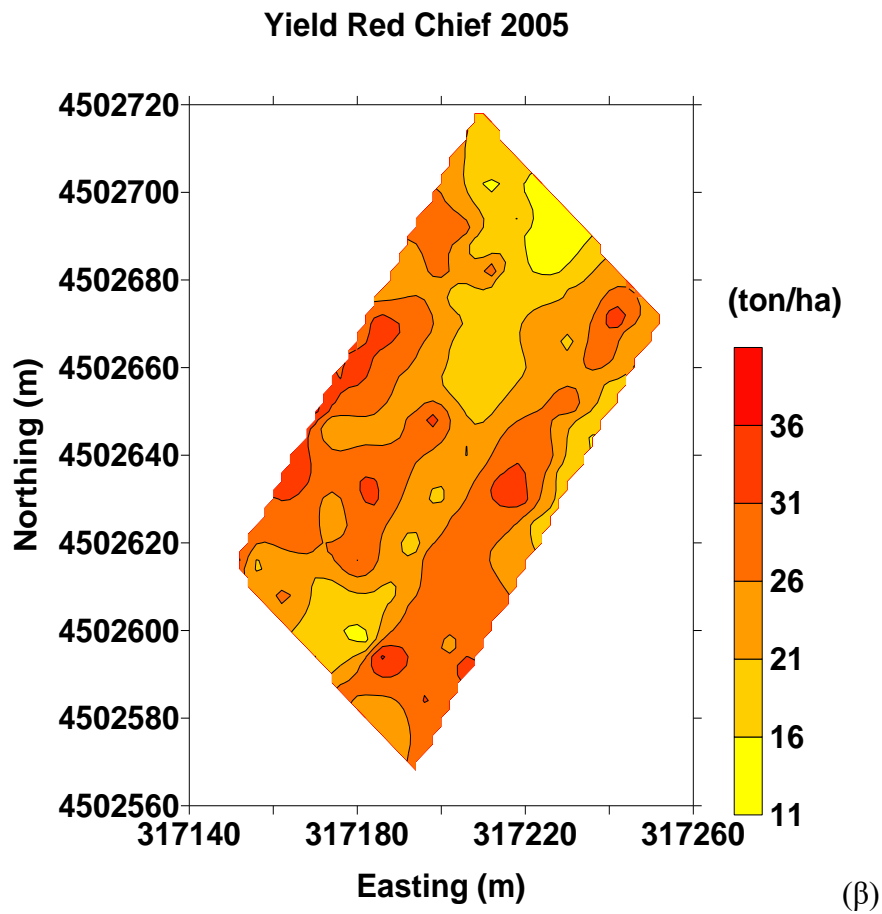
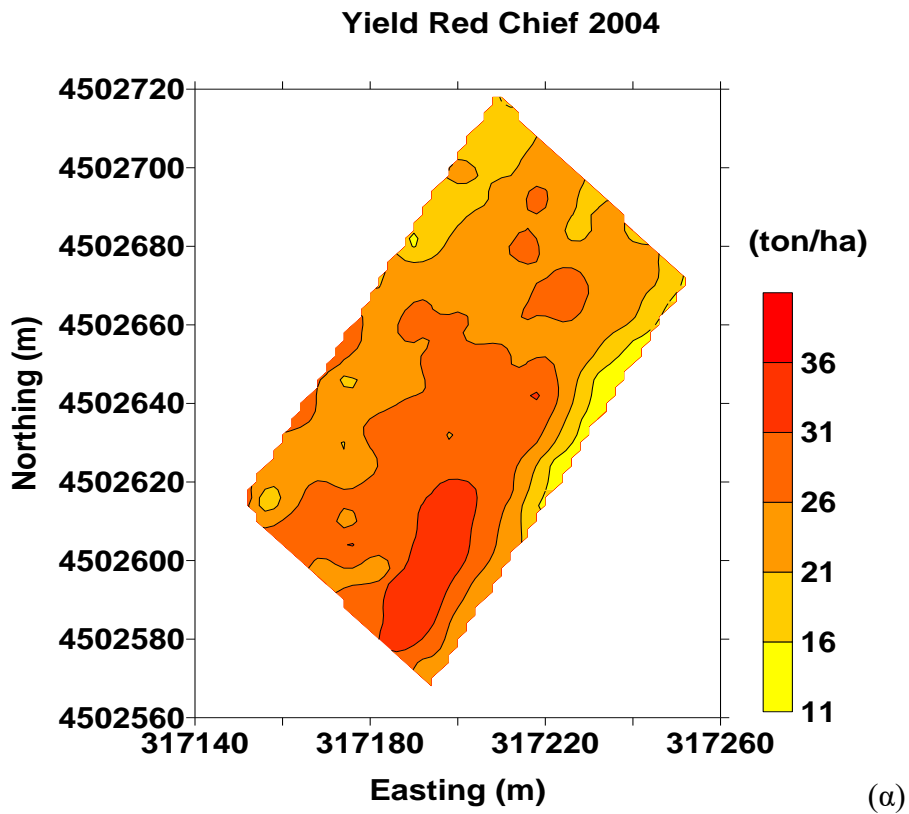
Παραγωγή	Nugget ratio	Sill	Range (m)	Model	RMSE
2004	-	-	-	Linear	0,21
2005	0,61	32,36	38	Spherical	0,83
2006	0,45	29,24	36	Spherical	0,44

Nugget Ratio= (Nugget semi-variance/total semi-variance)*100

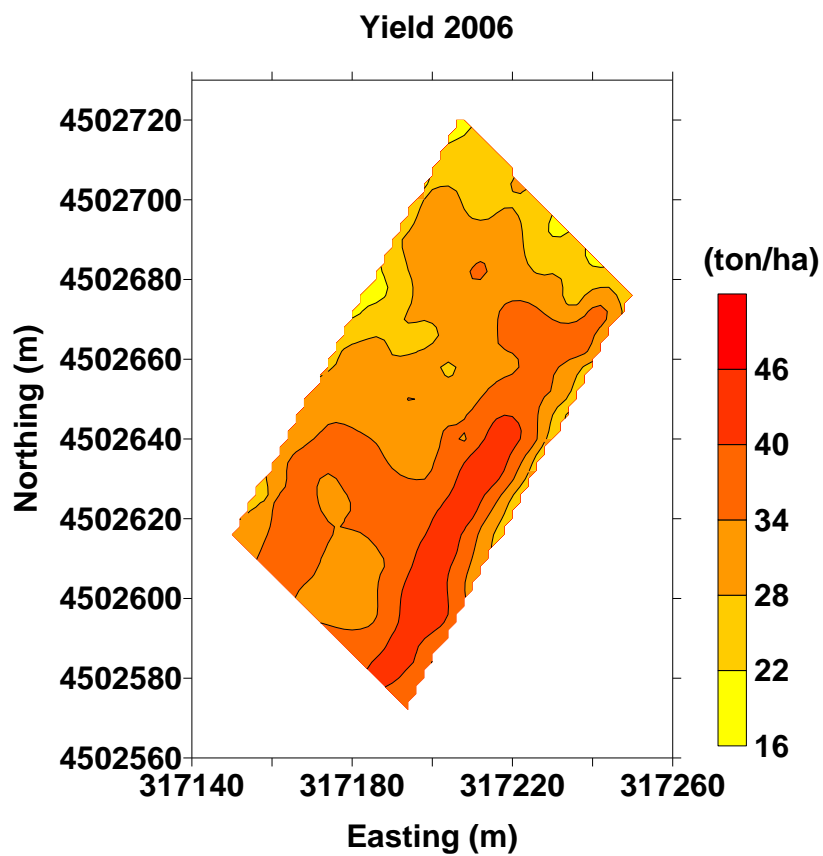


Εικόνα 4.1. Βαριογράμματα για την παραγωγή της ποικιλίας Red Chief για τα έτη (α) 2004, (β) 2005 και (γ) 2006

Στις Εικόνες 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται οι χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα τρία έτη του πειράματος. Η ποικιλία Red Chief είναι η κύρια ποικιλία του οπωρώνα και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του (11 από τις 15 γραμμές). Αντίθετα η ποικιλία Fuji είναι η επικονιάστρια ποικιλία και καταλαμβάνει μικρή έκταση στον οπωρώνα. Για το λόγο αυτό οι χάρτες δημιουργήθηκαν μόνο για την ποικιλία Red Chief. Από τους χάρτες αυτούς φαίνεται η χωρική και η χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή. Η παραγωγή στα τρία έτη κυμάνθηκε από 15-50 τόνους/εκτάριο και φαίνεται μία τάση στο νότιο τμήμα του οπωρώνα να έχει υψηλότερη παραγωγή από το βόρειο τμήμα του. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι στο νότιο τμήμα υπάρχουν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος δένδρα που παράγουν περισσότερο, παρόλο βέβαια που η φύτευση του μηλεώνα έγινε εφάπαξ.



Εικόνα 4. 2. Χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτη (α) 2004, (β) 2005



Εικόνα 4. 3. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για το 2006

4.2 Πείραμα Αγιάς

Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, συντελεστής παραλλακτικότητας (CV), ασυμμετρία) για την παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος καθώς και η μέση τιμή των τριών ετών για την ποικιλία Red Chief για τον οπωρώνα της Αγιάς.

Πίνακας 4.3. Περιγραφικά στατιστικά για την παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος για την ποικιλία Red Chief

Παραγωγή (τόνοι/εκτάριο)	Ελάχιστη- Μέγιστη τιμή	Μεση τιμή	CV(%)	Ασυμμετρία
2005	0-91,2	34,9	50,9	0,32
2006	2,7-85	34	43,5	0,43
2007	0-69	23,7	56,7	0,50
Μέση τιμή τριών ετών	-	31,4	50,4	-

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.2 φαίνεται ότι η ποικιλία Red Chief είχε κατά μέσο όρο για τα τρία έτη του πειράματος παραγωγή 31 τόνους /εκτάριο. Η παραγωγή επίσης τα έτη 2005 και 2006 ήταν παρόμοια, ενώ το 2007 η παραγωγή ήταν κατά περίπου 30% χαμηλότερη από τα δύο προηγούμενα έτη. Η μείωση της παραγωγής το 2007 οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά δένδρα καταστράφηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της χρονιάς και επομένως εκμηδενίστηκε η παραγωγή τους. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν γύρω στο 50%, που είναι πολύ σημαντικός, και δείχνει τη μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα των δεδομένων της παραγωγής και επομένως τη δυνατότητα εφαρμογής γεωργίας ακριβείας στον αγρό αυτό.

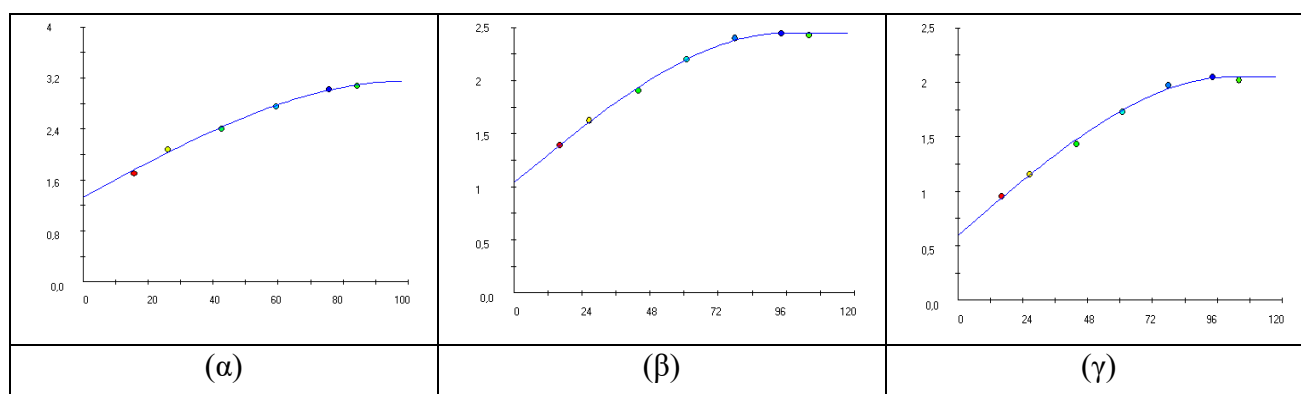
Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται η γεωστατιστική ανάλυση της παραγωγής για τον οπωρώνα της Αγιάς και στην Εικόνα 4.4 τα αντίστοιχα βαριογράμματα. Η ελάχιστη απόσταση που λήφθηκαν τα δείγματα στον αγρό είναι 3,5 m (grid spacing distance) και είναι η απόσταση μεταξύ των γραμμών. Για τον υπολογισμό των πειραματικών βαριογραμμάτων της παραγωγής χρησιμοποιήθηκε ως απόσταση μεταξύ των δειγμάτων (lag distance) τα 15m και ως μέγιστη απόσταση (max lag distance) τα 100m. Τα βαριογράμματα που προσαρμόστηκαν και για τα τρία έτη ήταν σφαιρικά με ζώνη επιρροής από 95,9-102m και μέτρια χωρική εξάρτηση των δεδομένων της παραγωγής

εφόσον ο λόγος Nugget Ratio παίρνει τιμές από 0,29-0,43 και είναι μεταξύ 25 και 75% (Cambardella et al., 1994).

Πίνακας 4.4 Γεωστατιστική ανάλυση παραγωγής για τον οπωρώνα της Αγιάς

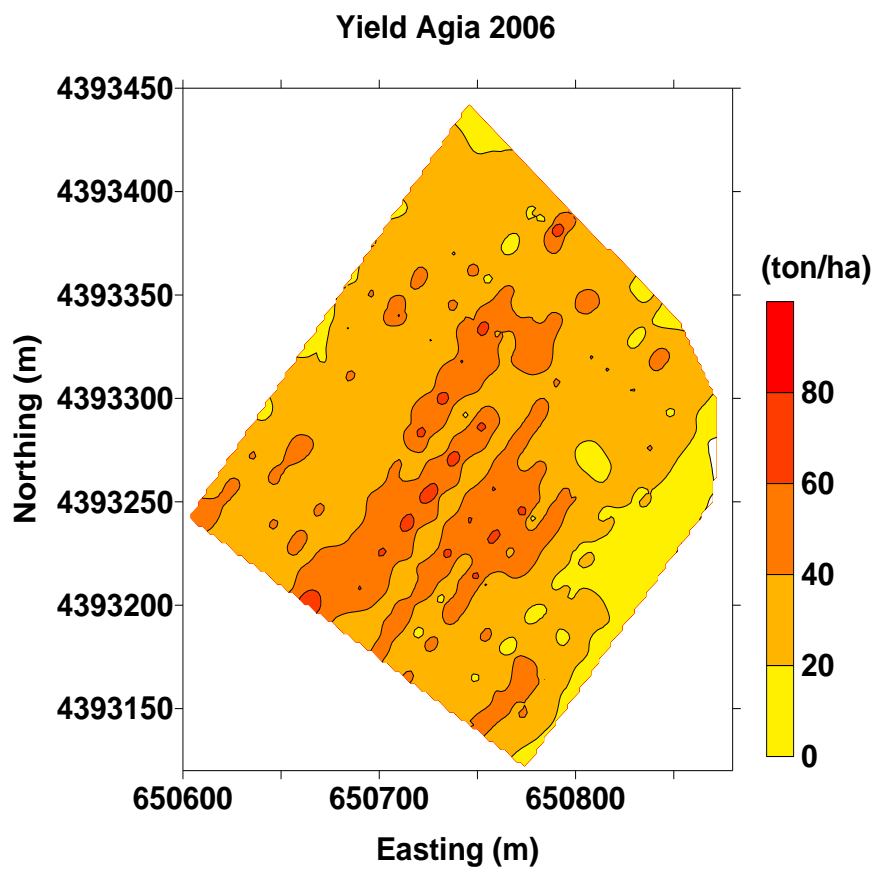
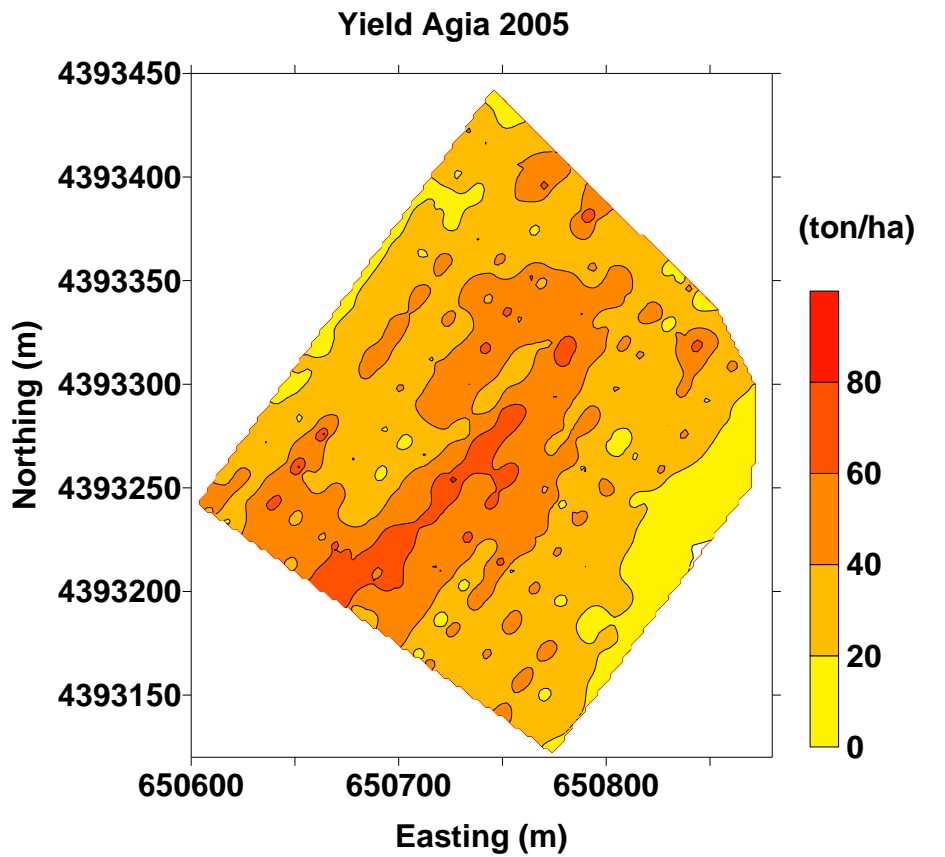
Παραγωγή	Nugget ratio	Sill	Range (m)	Model	RMSE
2005	0,42	3,15	98,9	Spherical	0,03
2006	0,43	2,45	95,9	Spherical	0,02
2007	0,29	2,05	102	Spherical	0,02

Nugget Ratio= (Nugget semi-variance/total semi-variance)*100

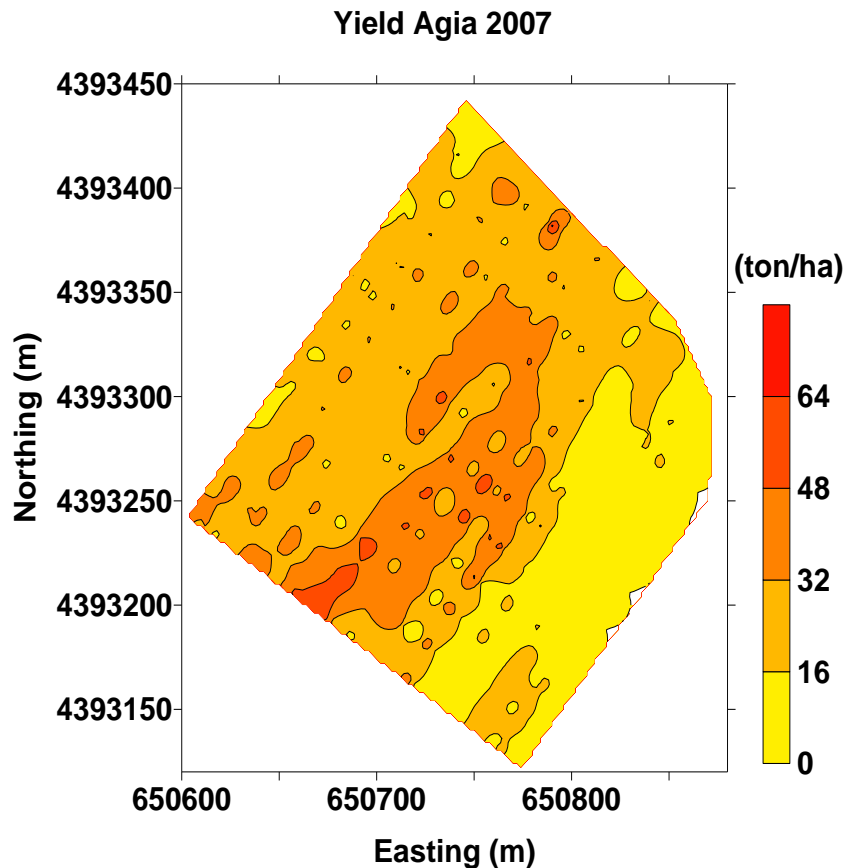


Εικόνα 4.4. Βαριογράμματα για την παραγωγή της ποικιλίας Red Chief για τα έτη (α) 2005, (β) 2006 και (γ) 2007

Η μεγάλη χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή φαίνεται επίσης και από τους χάρτες παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος οι οποίοι παρουσιάζονται στις Εικόνες 4.5 και 4.6. Από τους χάρτες παραγωγής παρατηρούμε ότι και στα τρία έτη υπάρχει μια ζώνη υψηλής παραγωγής στο κεντρικό τμήμα του αγρού και περιφερειακά αυτής μια ζώνη χαμηλότερης παραγωγής. Η υψηλότερη παραγωγή στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα οφείλεται στο γεγονός ότι σε εκείνη την περιοχή λόγω κλίσης του εδάφους συγκεντρώνεται περισσότερο το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία και τα δένδρα αναπτύσσονται καλύτερα. Περιφερειακά της ζώνης υψηλής παραγωγής το έδαφος είναι πιο άγονο λόγω διάβρωσης και επομένως η παραγωγή μειώνεται.



Εικόνα 4.5. Χάρτες παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτη (α) 2005, (β) 2006



Εικόνα 4.6. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για το 2007

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται ότι η παραγωγή στην Αγιά ήταν κατά μέσο όρο για τα τρία έτη 31,4 τόνοι/ εκτάριο και ήταν μεγαλύτερη από την παραγωγή στην Πτολεμαΐδα που ήταν 26,9 τόνοι /εκτάριο. Αυτό συμβαίνει διότι η Αγιά είναι ημιορεινή περιοχή με υψόμετρο περίπου 160m και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλες για επίτευξη υψηλής παραγωγής. Αντίθετα η Πτολεμαΐδα είναι ορεινή περιοχή (υψόμετρο 690m) με φτωχό έδαφος και η παραγωγή είναι μικρότερη αλλά η ποιότητα είναι καλύτερη (Βασιλακάκης, 2004).

Επίσης το μέγεθος της παραλλακτικότητας στην παραγωγή που εκφράζεται με το συντελεστή παραλλακτικότητας διαφέρει στους δύο οπωρώνες. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας στην Πτολεμαΐδα είναι περίπου 20% ενώ στην Αγιά είναι πολύ μεγαλύτερος και είναι περίπου 50% γεγονός που πιθανόν οφείλεται στο μεγαλύτερο μέγεθος του οπωρώνα της Αγίας (η έκταση οπωρώνα της Αγίας είναι 50στρ, ενώ η έκταση του οπωρώνα της Πτολεμαΐδας είναι μόνο 8 στρ.) και σε διαφορές του εδάφους (σύσταση, θρεπτικά στοιχεία, συγκέντρωση και συγκράτηση νερού).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

5.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Στον Πίνακες 5.1 και 5.3 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά [μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή και συντελεστής παραλλακτικότητας (CV)] των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών κατά τη συγκομιδή της ποικιλίας Red Chief και της ποικιλίας Fuji αντίστοιχα. Για την ποικιλία Red Chief κατά τη συγκομιδή, το μέσο βάρος καρπού για την περίοδο των τριών ετών ήταν 223 g, η σκληρότητα σάρκας 7,5 kgF, η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά 14,1 %, το pH χυμού 3,80 και η οξύτητα του χυμού 0,296%. Οι συντεταγμένες του χρώματος ήταν για τη φωτεινότητα $L^*=33,50$, το χρώμα $C= 26,67$ και η γωνία $Hue=21,13$ εκφράζοντας πολύ καλό βαθύ κόκκινο χρώμα. Για την ποικιλία Fuji, κατά τη συγκομιδή, το μέσο βάρος καρπού στην περίοδο των τριών ετών ήταν 232g, η σκληρότητα σάρκας 7,6 kgF, τα διαλυτά στερεά συστατικά 15,9%, το pH χυμού 3,57 και η οξύτητα 0,405%.

Στους πίνακες 5.2 και 5.4 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών μετά την παραμονή στο ψυγείο 4 μήνες της ποικιλίας Red Chief και της ποικιλίας Fuji, αντίστοιχα. Για την ποικιλία Red Chief μετά την παραμονή των καρπών στο ψυγείο οι μέσες τιμές για τα τρία έτη ήταν για τη σκληρότητα σάρκας 4,5 kgF, την περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά 14,8 %, το pH χυμού 3,82 και την οξύτητα του χυμού 0,204%. Για την ποικιλία Fuji οι αντίστοιχες μέσες τιμές για τα τρία έτη ήταν για τη σκληρότητα σάρκας 6,4 kgF, την περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά 15,7 %, το pH χυμού 3,62 και την οξύτητα του χυμού 0,257%.

Κατά την παραμονή των μήλων στο ψυγείο παρατηρήθηκαν μεταβολές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις δύο ποικιλίες .

Στην Εικόνα 5.1 παρουσιάζεται η σκληρότητα σάρκας των καρπών κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση στο ψυγείο. Παρατηρούμε μείωση της σκληρότητας σάρκας μετά την ψυχοσυντήρηση των καρπών και στις δύο ποικιλίες. Στην ποικιλία Red Chief παρατηρούμε μείωση της σκληρότητας σάρκας κατά 34,6 % το έτος 2004, 32,3% το 2005 και 50,5% το 2006. Στην ποικιλία Fuji η μείωση της σκληρότητας σάρκας είναι μικρότερη και είναι 13,7% για το 2004, 13,2% για το 2005 και 20,3 % για το 2006, δείχνοντας την καλύτερη δυνατότητα συντήρησης της ποικιλίας Fuji. Η διατήρηση της σκληρότητας σάρκας κάνει την ποικιλία αυτή ιδανική για την αγορά διότι τα μήλα

μπορούν να παραμείνουν σε ράφια και μετά την ψυχοσυντήρηση σε θερμοκρασία δωματίου για ημέρες χωρίς να μειωθεί σημαντικά η ποιότητά τους. Παρόλο που ο καρπός της δεν είναι ελκυστικός από πλευράς χρώματος για τα ελληνικά πρότυπα, η υψηλή σκληρότητα σάρκας σε συνδυασμό με την υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά και την άριστη σχέση διαλυτών στερεών συστατικών προς οξύτητα κάνουν την ποικιλία αυτή εξαιρετικά δημοφιλή στους καταναλωτές. Για τους παραπάνω λόγους η ποικιλία Fuji έχει γίνει δημοφιλής στις ΗΠΑ τα τελευταία χρόνια (Marquina et al. 2004).

Η περιεκτικότητα των μήλων σε διαλυτά στερεά συστατικά αυξήθηκε κατά ένα μικρό ποσοστό κατά την παραμονή τους στο ψυγείο (Εικόνα 5.2). Στην ποικιλία Red Chief τα διαλυτά στερεά αυξήθηκαν κατά 1% το έτος 2004, 2% το 2005 και 13% το 2006. Τα έτη 2004 και 2005 που οι καρποί ήταν ώριμοι κατά τη συγκομιδή (περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά περίπου 14%) τα διαλυτά στερεά δεν αυξήθηκαν κατά την παραμονή των καρπών στο ψυγείο καθώς είχε υδρολυθεί όλο το αποθηκευμένο άμυλο, ενώ το έτος 2006 που οι καρποί ήταν λιγότερο ώριμοι στη συγκομιδή (περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά 12,3 %) τα διαλυτά στερεά αυξήθηκαν κατά 13%. Στην ποικιλία Fuji τα διαλυτά στερεά μεταβλήθηκαν ανεπαίσθητα καθώς μειώθηκαν κατά 4,5 % για το 2004, αυξήθηκαν κατά 0,76 % για το 2005 και μειώθηκαν κατά 0,7 % για το 2006.

Η οξύτητα του χυμού των μήλων ελαττώθηκε κατά την παραμονή τους στο ψυγείο όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.3. Αυτό συμβαίνει διότι οι καρποί ωριμάζουν στο ψυγείο και επομένως η περιεκτικότητά τους σε οξέα ελαττώνεται (χρησιμοποιούνται εν μέρει στην αναπνοή). Το μηλικό οξύ είναι το κύριο οξύ των μήλων το οποίο σε συνδυασμό με τα διαλυτά στερεά συστατικά παίζει σημαντικό ρόλο στη γεύση των καρπών. Στην ποικιλία Red Chief παρατηρήθηκε μείωση της οξύτητας κατά 25,7 % το έτος 2004, κατά 33,7 % το 2005 και 34,5 % το 2006. Στην ποικιλία Fuji η μείωση της οξύτητας ήταν 44,6 % για το 2004, 30,9 % για το 2005 και 35,8 % για το 2006.

Στις Εικόνες 5.4-5.13 παρουσιάζονται οι χάρτες ποιότητας της ποικιλίας Red Chief που είναι η κύρια ποικιλία του αγρού για τα τρία έτη του πειράματος κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση των καρπών στο ψυγείο. Από τους χάρτες παρατηρούμε ότι υπάρχει χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών παρόλο το μικρό μέγεθος του αγρού.

Η χωρική παραλλακτικότητα είναι η παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά σε διαφορετικά σημεία του αγρού. Μπορεί να οφείλεται σε πολλούς λόγους όπως είναι οι διαφορές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, στο ανάγλυφο, στην υγρασία του εδάφους και διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές που

εφαρμόστηκαν τα προηγούμενα έτη. Το μέγεθος της χωρικής παραλλακτικότητας μπορεί να εκφραστεί με το συντελεστή παραλλακτικότητας που είναι το πηλίκο της τυπικής απόκλισης προς το μέσο όρο. Από τους Πίνακες 4.2-4.5 παρατηρούμε ότι τη μεγαλύτερη παραλλακτικότητα από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είχαν τα χαρακτηριστικά του χρώματος (CV=15,44 % για την γωνία hue, CV=7,8 % για την φωτεινότητα L και CV=9% για το χρώμα C), η οξύτητα χυμού (CV~10% για την ποικιλία Red Chief και CV~8,5 για τη Fuji) και το βάρος καρπού (CV~9% για την ποικιλία Red Chief και CV~8 για τη Fuji). Ακολούθησε η σκληρότητα σάρκας (CV~6 % για την Red Chief και CV~3,5 για τη Fuji) και τα διαλυτά στερεά συστατικά (CV~5% για την Red Chief και CV~3,5% για τη Fuji). Τέλος την πιο μικρή παραλλακτικότητα παρουσίασε το pH χυμού (CV~3 % και για τις δύο ποικιλίες).

Πίνακας 5.1. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, κατά τη συγκομιδή (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).

Ποιοτικό χαρακτηριστικό	2004				2005				2006				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 (g)	196	170	225	7,32	246	202	304	10,70	228	192	278	9,34	223	9,12
L*	34,9	31,7	43,7	6,52	34,6	30,4	41,1	7,23	31,0	24,5	37,9	9,65	33,5	7,80
C	24,4	20,2	29,2	8,69	25,9	18,7	30,5	10,98	29,7	24,8	33,3	7,33	26,7	9,00
H (°)	19,1	16,1	32,8	15,71	21,6	15,8	31,4	17,37	22,7	18,7	33,3	13,25	21,1	15,44
Σκληρότητα σάρκας (kgF)	7,8	7,2	8,4	3,91	6,5	5,6	7,7	8,61	8,1	7,3	9,0	5,02	7,5	5,85
Διαλυτά στερεά (%)	14,9	13,8	16	3,80	15,2	14,0	16,5	4,39	12,3	10,7	14	7,56	14,1	5,25
pH χυμού	3,83	3,52	4,15	4,00	3,81	3,68	3,98	2,07	3,75	3,60	3,86	1,64	3,80	2,57
Οξύτητα χυμού (%)	0,296	0,241	0,348	9,06	0,329	0,268	0,442	12,45	0,264	0,221	0,301	8,69	0,296	10,07

Πίνακας 5.2. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, μετά την αποθήκευση σε ψυγείο για διάστημα 4 μηνών (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).

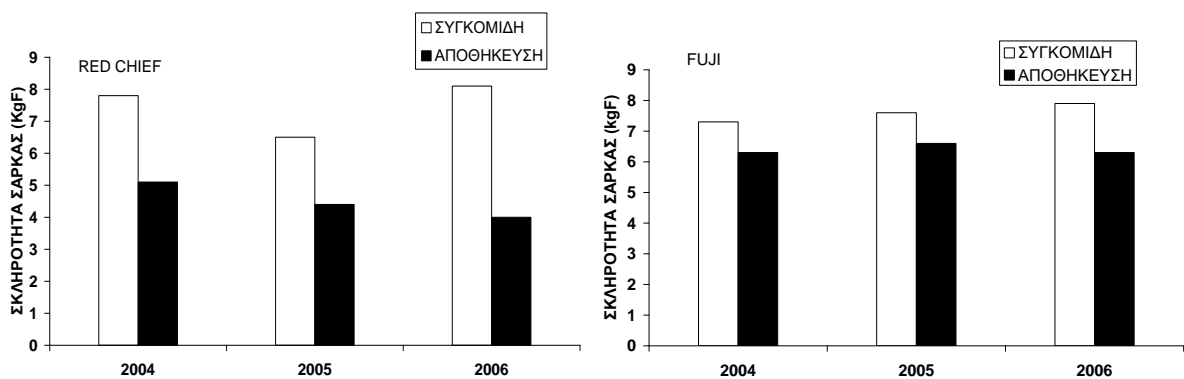
Ποιοτικό χαρακτηριστικό	2004				2005				2006				Μέση τιμή τριών ετών	
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	CV
Σκληρότητα σάρκας (kgF)	5,1	4,6	5,6	4,45	4,4	4,0	5,1	5,71	4,00	3,2	4,8	9,36	4,5	6,51
Διαλυτά στερεά (%)	15,1	14	17	4,51	15,5	14,0	16,8	3,92	13,9	12,6	15,4	5,64	14,8	4,69
pH χυμού	3,69	3,40	4,00	3,61	3,80	3,40	4,20	5,1	3,97	3,83	4,18	1,80	3,82	3,50
Οξύτητα χυμού (%)	0,220	0,188	0,268	9,36	0,218	0,181	0,281	10,13	0,173	0,134	0,214	11,10	0,204	10,20

Πίνακας 5.3. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Fuji, κατά τη συγκομιδή (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).

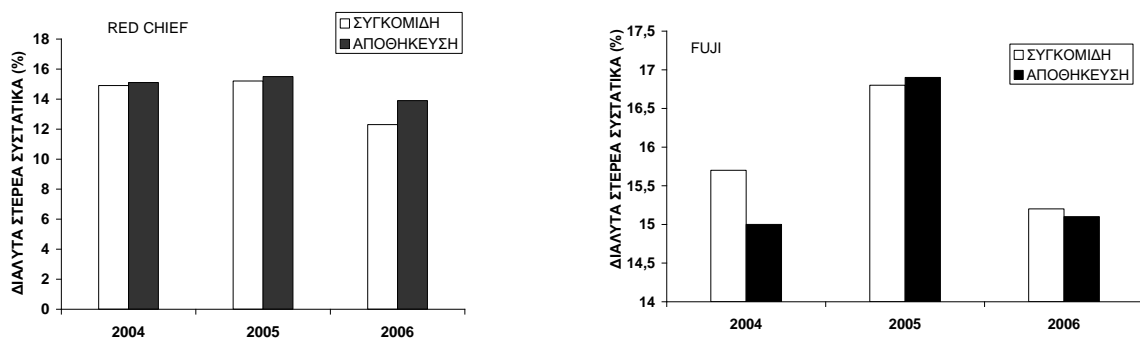
Ποιοτικό χαρακτηριστικό	2004				2005				2006				Μέση τιμή τριών ετών	
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	CV
Βάρος καρπού (g)	235	203	267	7,44	256	226	316	8,60	207	185	244	8,01	232	8,02
Σκληρότητα σάρκας (kgF)	7,3	6,8	8,0	3,59	7,6	7,2	8,0	2,63	7,9	7,1	8,6	4,39	7,6	3,54
Διαλυτά στερεά (%)	15,7	15,0	16,6	2,91	16,8	15,8	17,7	3,28	15,2	13,5	16,1	4,62	15,9	3,60
pH χυμού	3,32	3,10	3,50	3,60	3,47	3,36	3,56	1,95	3,92	3,82	4,11	1,85	3,57	2,47
Οξύτητα χυμού (%)	0,383	0,348	0,449	6,30	0,502	0,389	0,590	11,17	0,330	0,295	0,368	7,79	0,405	8,42

Πίνακας 5.4. Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Fuji, μετά την αποθήκευση σε ψυγείο για διάστημα 4 μηνών (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).

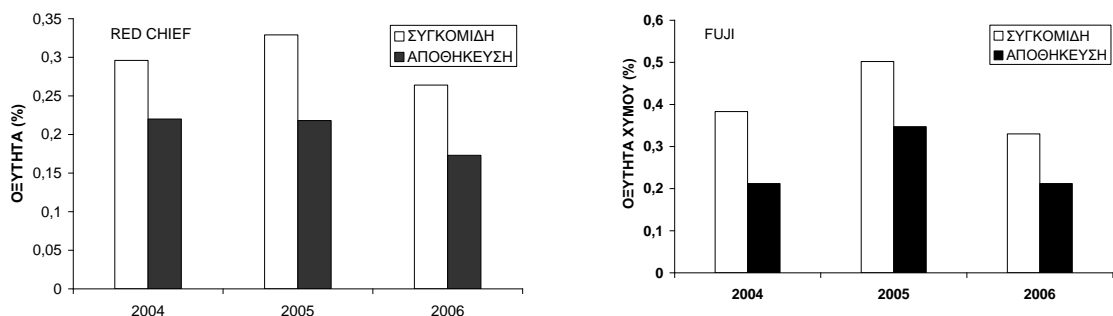
Ποιοτικό χαρακτηριστικό	2004				2005				2006				Μέση τιμή τριών ετών	
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	CV
Σκληρότητα σάρκας (kgF)	6,3	5,9	6,6	2,73	6,6	5,9	7,1	4,22	6,3	5,9	6,9	3,83	6,4	3,59
Διαλυτά στερεά (%)	15,0	14,2	16,2	3,31	16,9	15,2	17,8	3,73	15,1	14	16	3,55	15,7	3,53
pH χυμού	3,62	3,40	4,10	5,22	3,32	3,10	3,50	3,85	3,92	3,72	4,11	2,51	3,62	3,86
Οξύτητα χυμού (%)	0,212	0,188	0,234	6,10	0,347	0,268	0,389	10,17	0,212	0,174	0,241	9,43	0,257	8,56



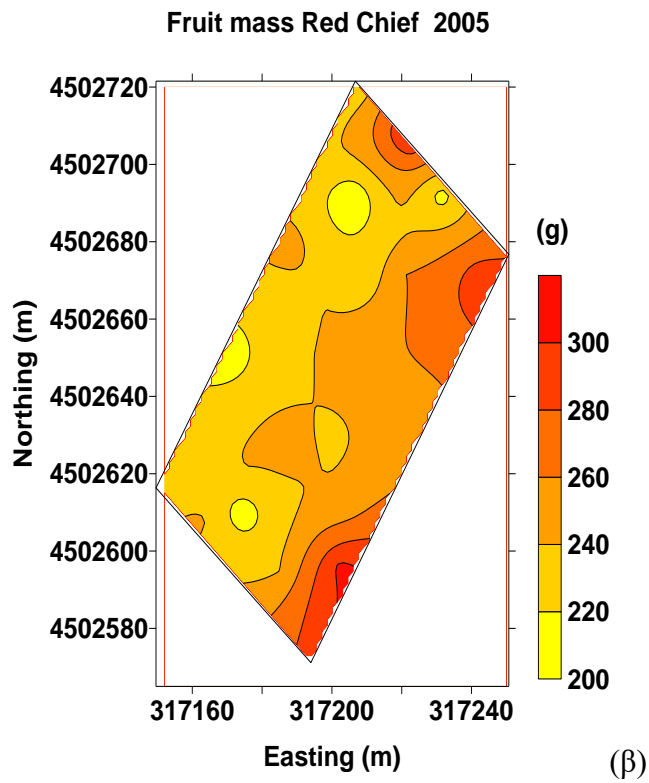
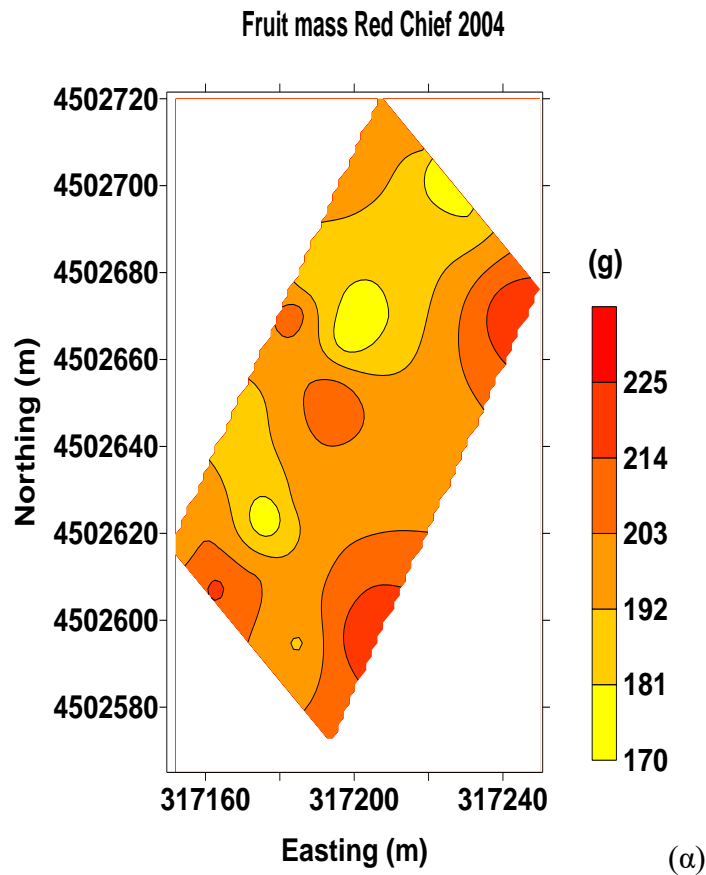
Εικόνα 5.1 Σκληρότητα σάρκας μήλων, σε kgF, ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο



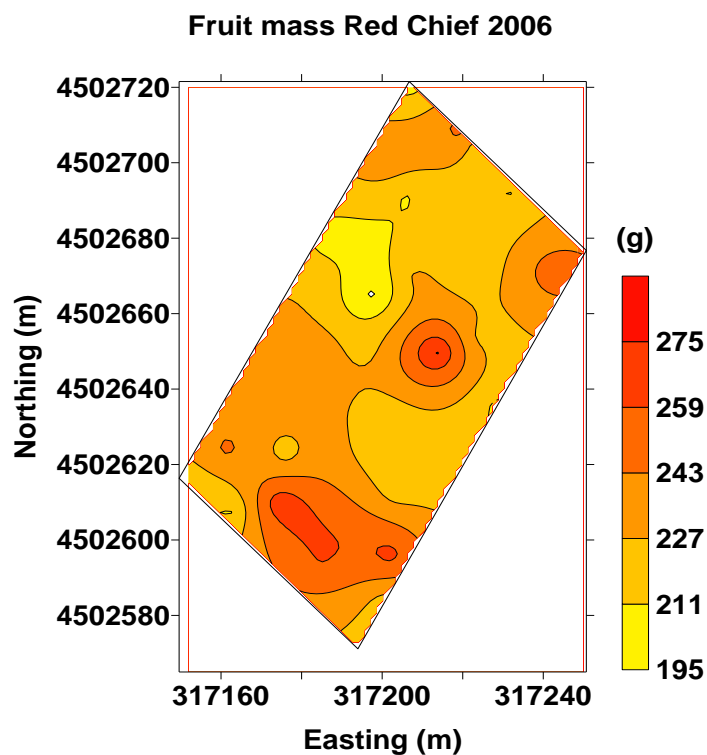
Εικόνα 5.2 Διαλυτά στερεά συστατικά (%) χυμού μήλων ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο



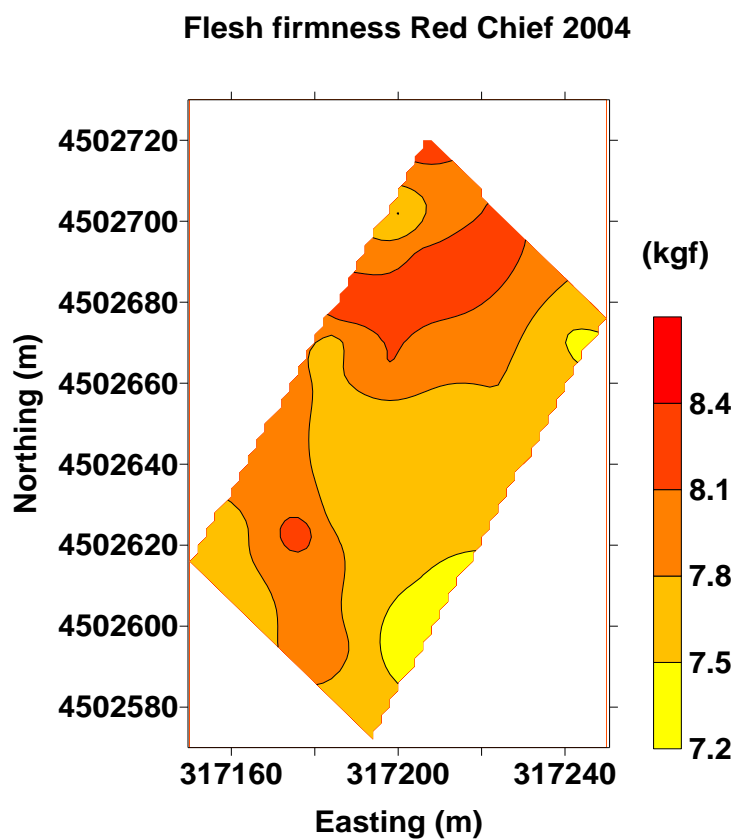
Εικόνα 5.3 Οξύτητα χυμού μήλων (%) ποικιλίας Red Chief (αριστερά) και Fuji (δεξιά) κατά τη συγκομιδή και μετά την αποθήκευση σε ψυγείο



Εικόνα 5.4 Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005

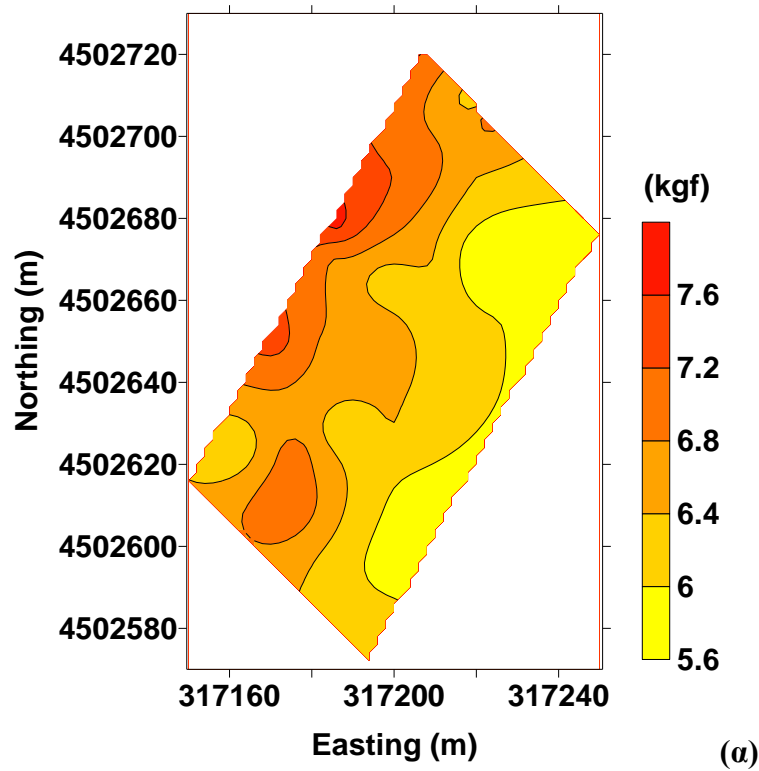


Εικόνα 5.5. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2006

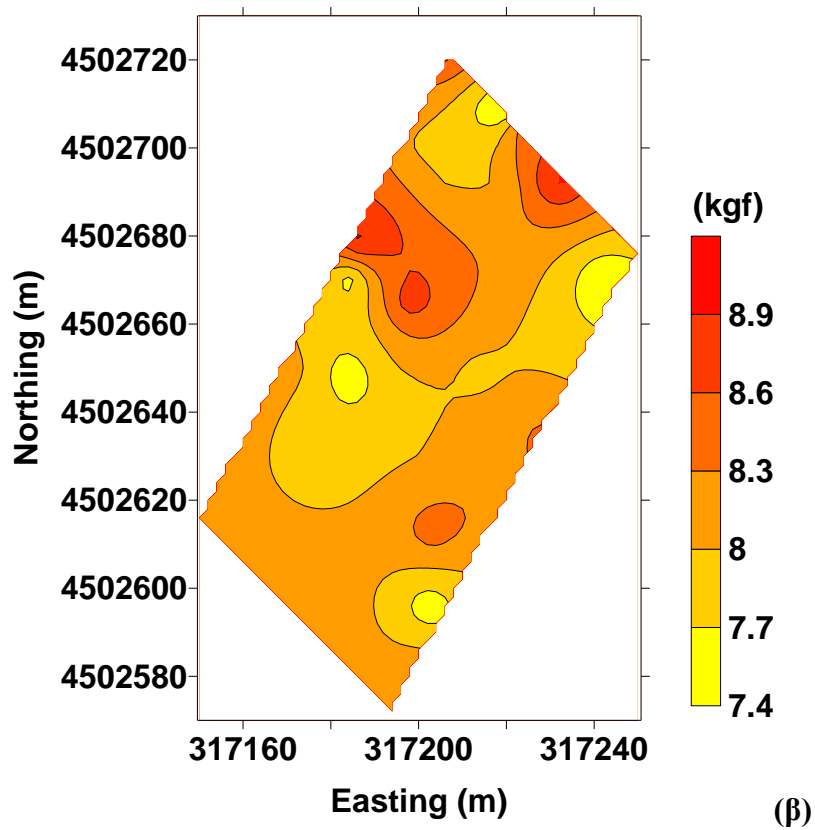


Εικόνα 5.6 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2004

Flesh firmness Red Chief 2005

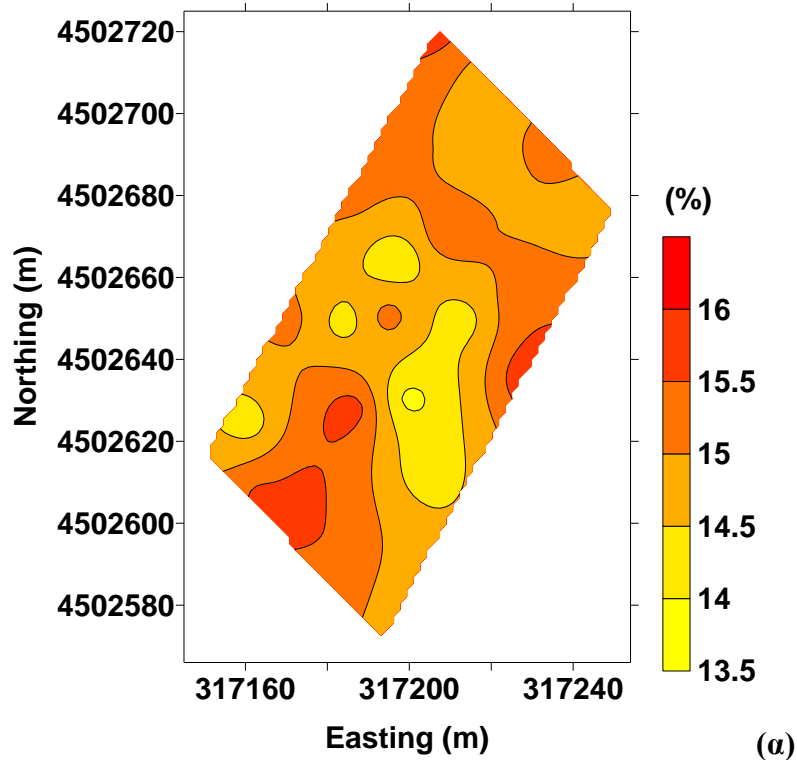


Flesh firmness Red Chief 2006

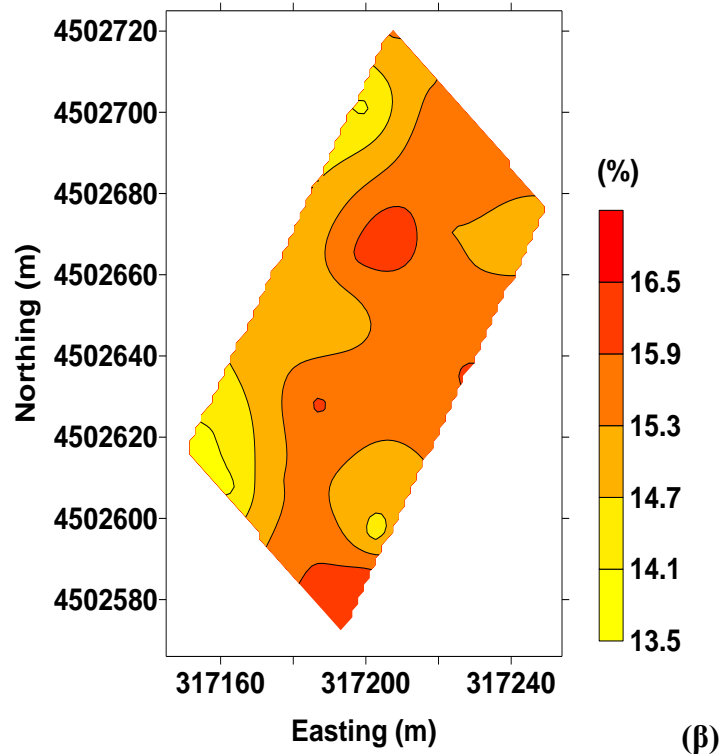


Εικόνα 5.7 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006

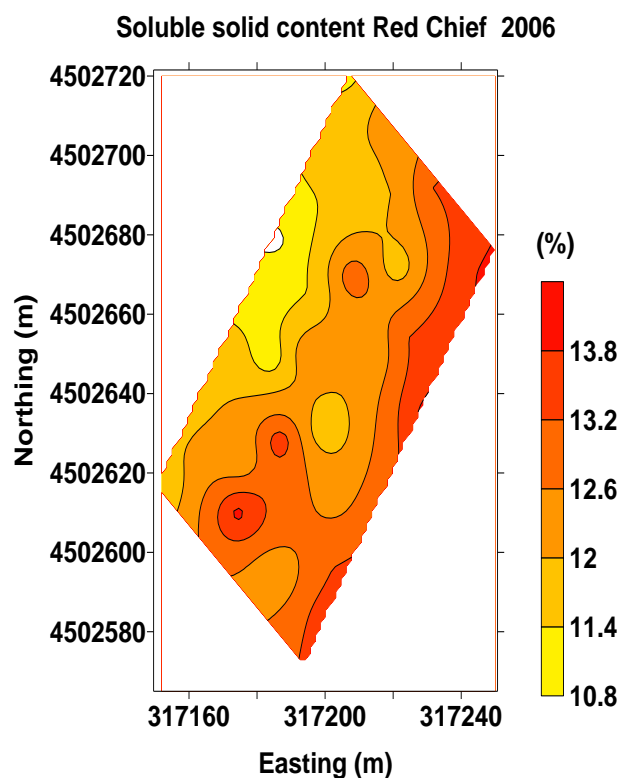
Soluble solids content Red Chief 2004



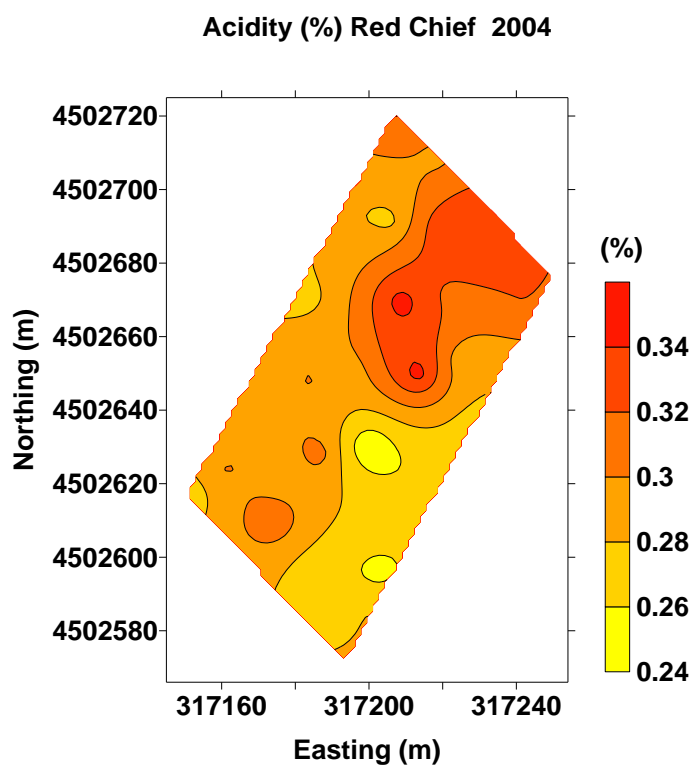
Soluble solids content Red chief 2005



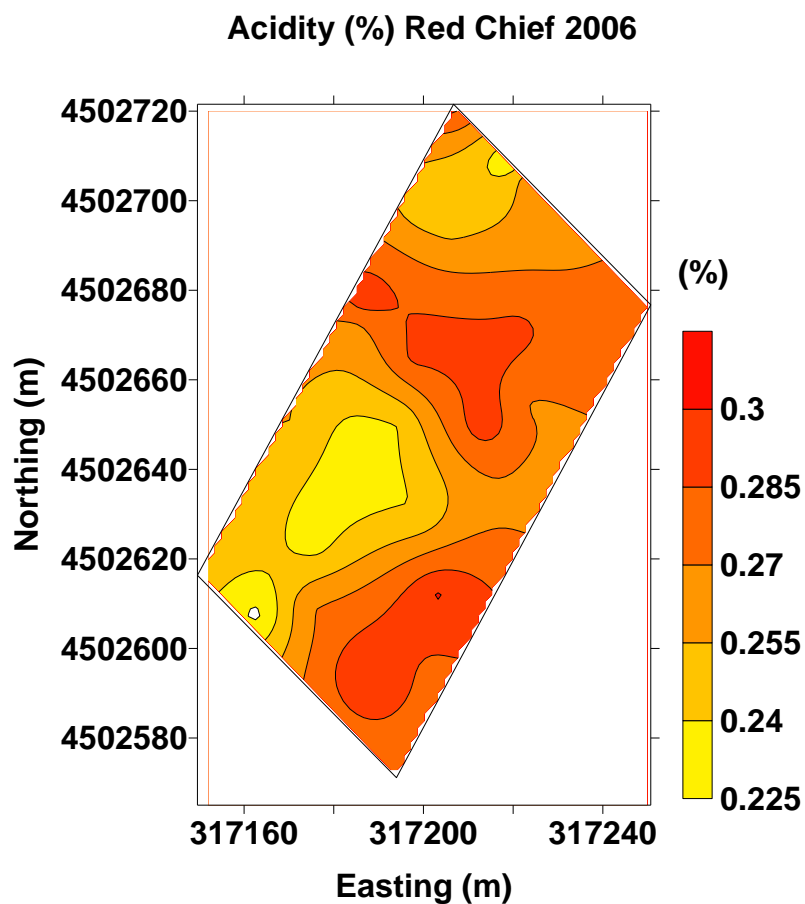
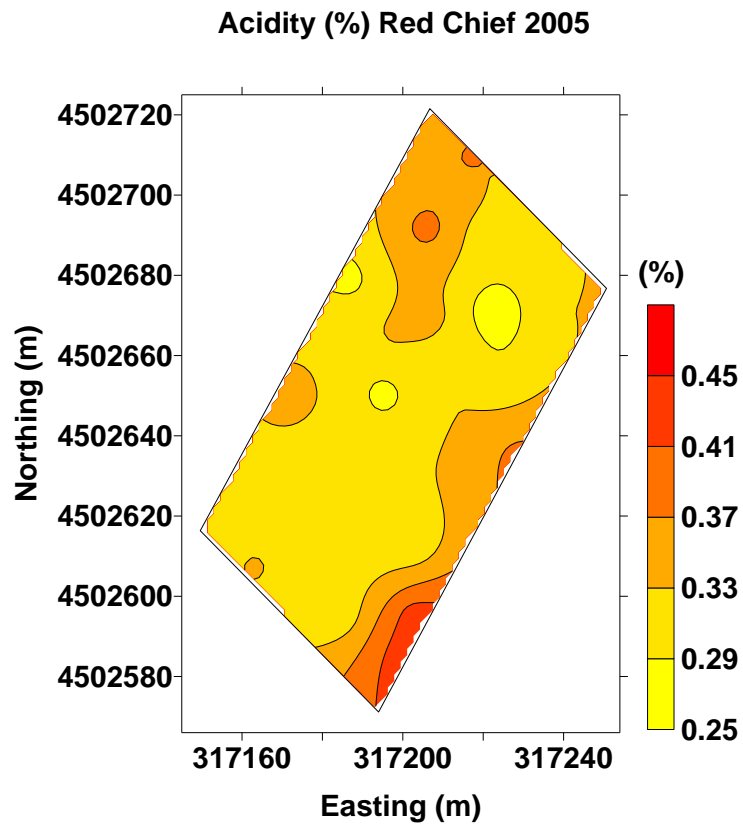
Εικόνα 5.8. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005



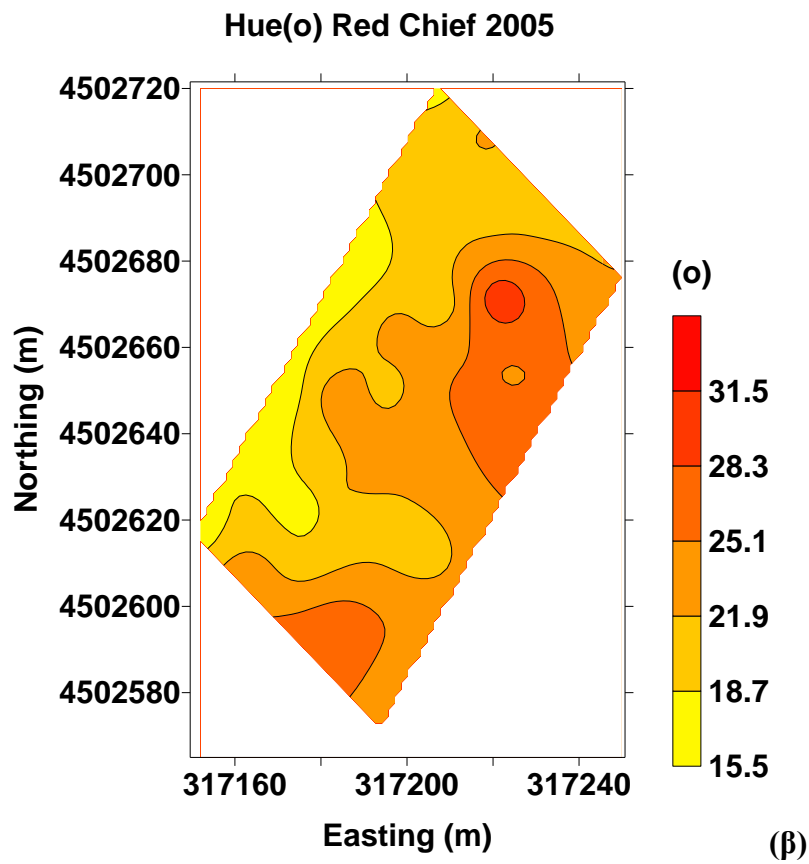
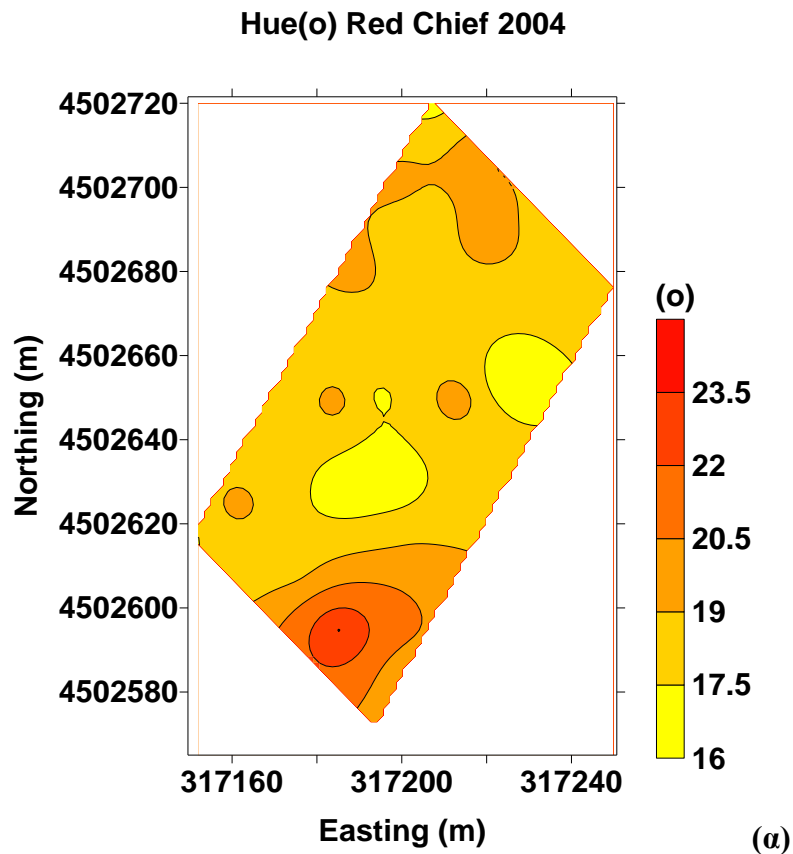
Εικόνα 5.9. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2006



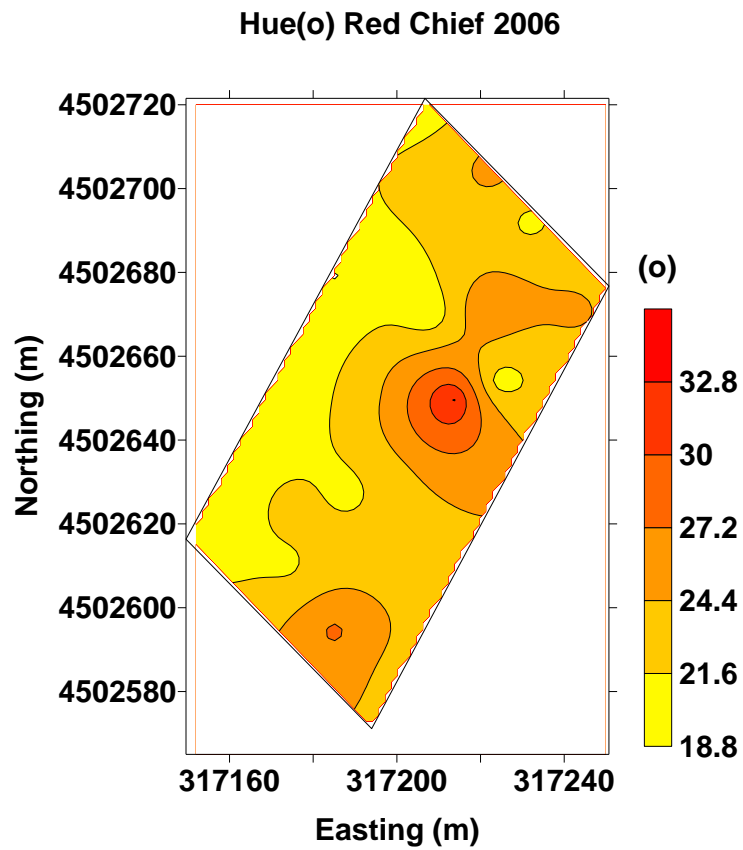
Εικόνα 5.10 Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red κατά τη συγκομιδή για το έτος 2004



Εικόνα 5.11 Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red κατά τη συγκομιδή (α) για το 2005 και (β) για το 2006



Εικόνα 5.12 Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2004, (β) για το 2005



Εικόνα 5.13 Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2006

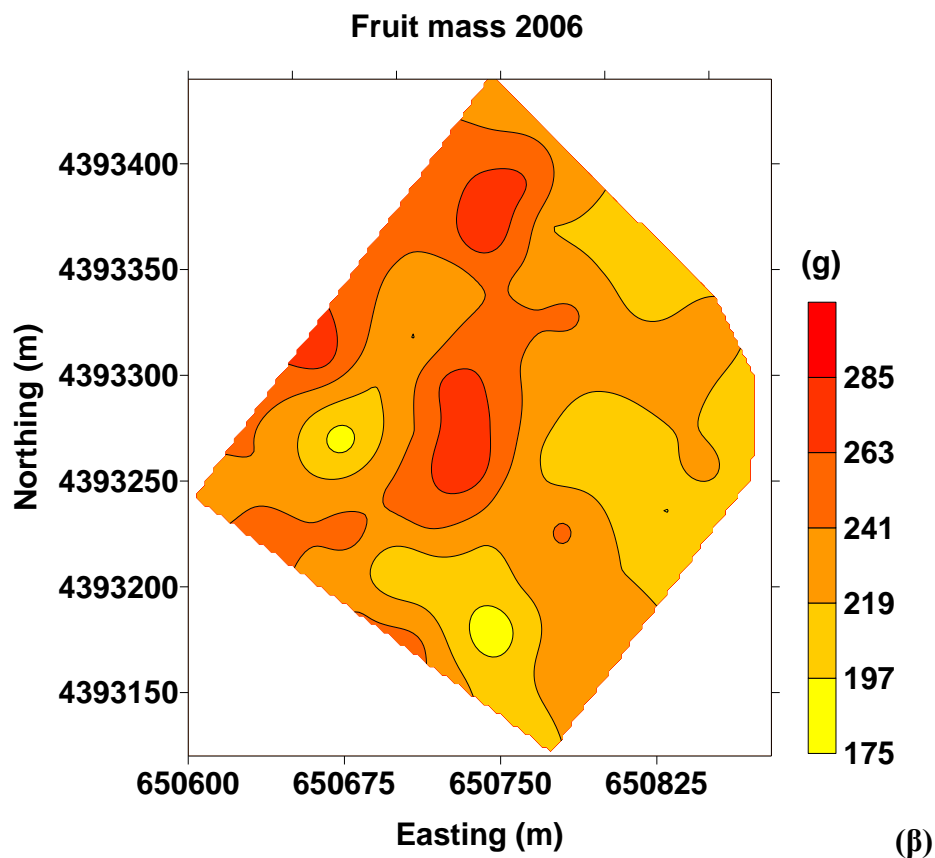
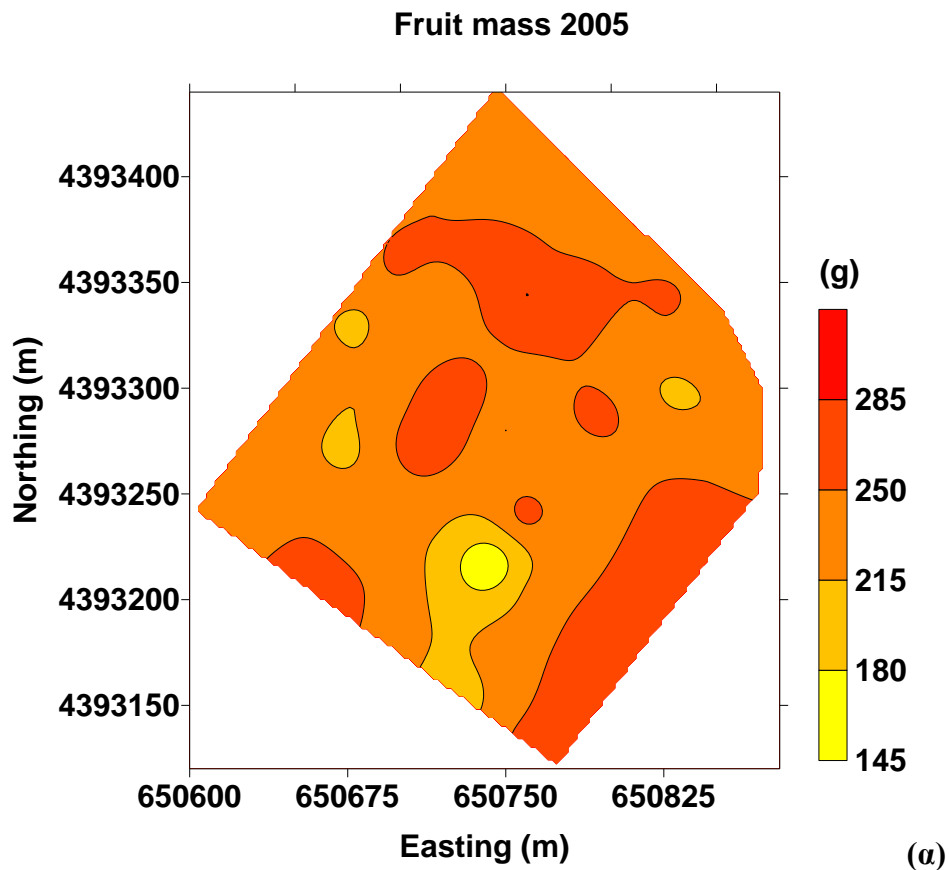
5.2 Πείραμα Αγιάς

Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών της ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για τα τρία έτη του πειράματος. Παρατηρούμε ότι το μέσο βάρος καρπού στη συγκομιδή για την περίοδο των τριών ετών ήταν 233 g, η σκληρότητα σάρκας 6,8 kgF, η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά 14,6%, το pH χυμού 3,83 και η οξύτητα του χυμού 0,223%. Οι συντεταγμένες του χρώματος ήταν για τη φωτεινότητα $L^*=43,8$, το χρώμα $C=33,7$ και η γωνία $Hue=36,6^\circ$. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν τη μικρότερη παραλλακτικότητα είχε το pH χυμού ($CV=3,1\%$), ενδιάμεση τα διαλυτά στερεά συστατικά του χυμού ($CV=6,1\%$), η σκληρότητα σάρκας ($CV=7,6\%$), το χρώμα C ($CV=8,7\%$), η φωτεινότητα L ($CV=9,3\%$), το βάρος καρπού ($CV=9,4\%$) και μεγαλύτερη η οξύτητα χυμού ($CV=17\%$), και η απόχρωση Hue ($CV=18,1\%$).

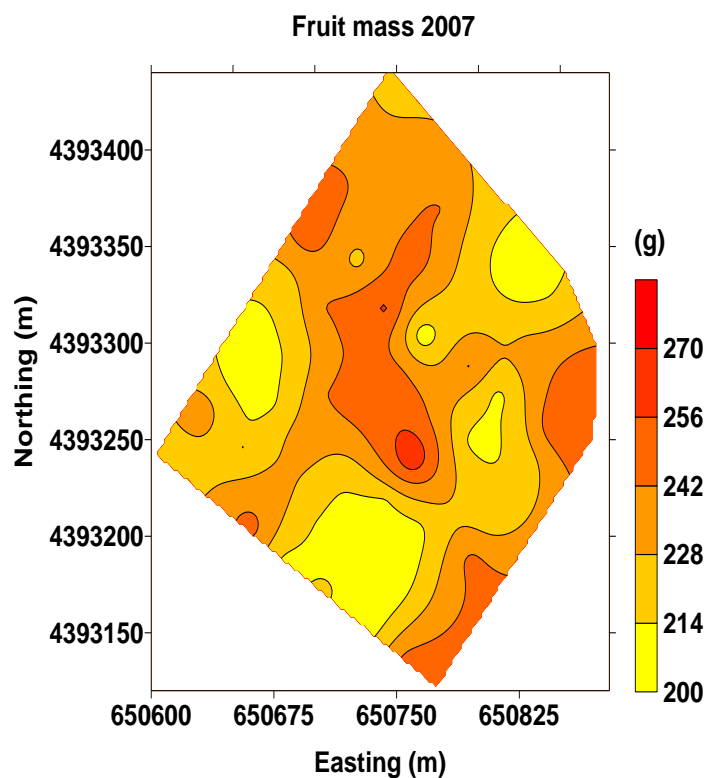
Στις Εικόνες 5.14-5.27 παρουσιάζονται οι χάρτες ποιότητας της ποικιλίας Red Chief που είναι η κύρια ποικιλία του αγρού για τα τρία έτη του πειράματος κατά τη συγκομιδή. Από τους χάρτες παρατηρούμε ότι υπάρχει χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών.

Πίνακας 5.5 Περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών μήλων ποικιλίας Red Chief, κατά τη συγκομιδή (οπωρώνας Αγιάς)

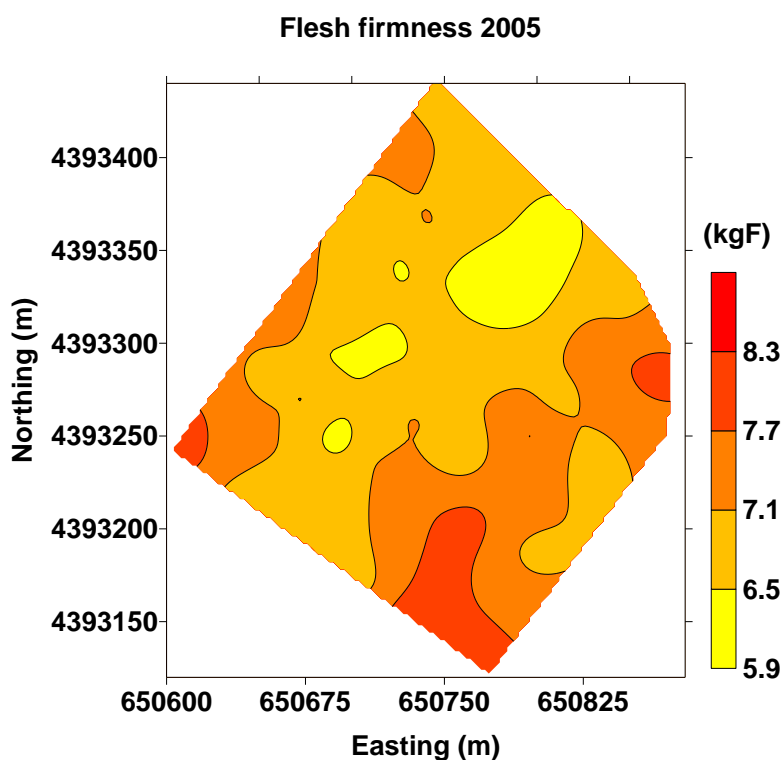
Ποιοτικό χαρακτηριστικό	2005				2006				2007				Μέση τιμή τριών ετών	
	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV	Μέση τιμή	CV
Βάρος καρπού (g)	238	142	286	10,5	233	178	286	10,1	229	200	269	7,3	233	9,4
L*	41,6	33,7	49,6	9,3	45,8	36,8	58,5	10,3	44,1	29,6	51,8	8,4	43,8	9,3
C	33,7	27,1	47,3	11	34	27,7	41	7,4	33,5	26,7	37,1	7,8	33,7	8,7
H (°)	31,8	19,6	50,3	20	37,7	23,3	61,1	18,1	40,3	27,5	55,2	16,1	36,6	18,1
Σκληρότητα σάρκας (kgF)	7	6	8,2	7,1	7,3	6,4	8,1	5,6	6	4,4	7,3	10	6,8	7,6
Διαλυτά στερεά (%)	13,2	11,1	15,8	7,1	14,8	12,8	16,3	5,2	15,8	14,3	17,7	6	14,6	6,31
pH χυμού	3,56	3,1	3,91	4	3,88	3,73	4,09	2,1	4,06	3,8	4,32	3,10	3,83	3,1
Οξύτητα χυμού (%)	0,245	0,167	0,429	22,5	0,238	0,167	0,322	13,3	0,187	0,127	0,248	15,2	0,223	17



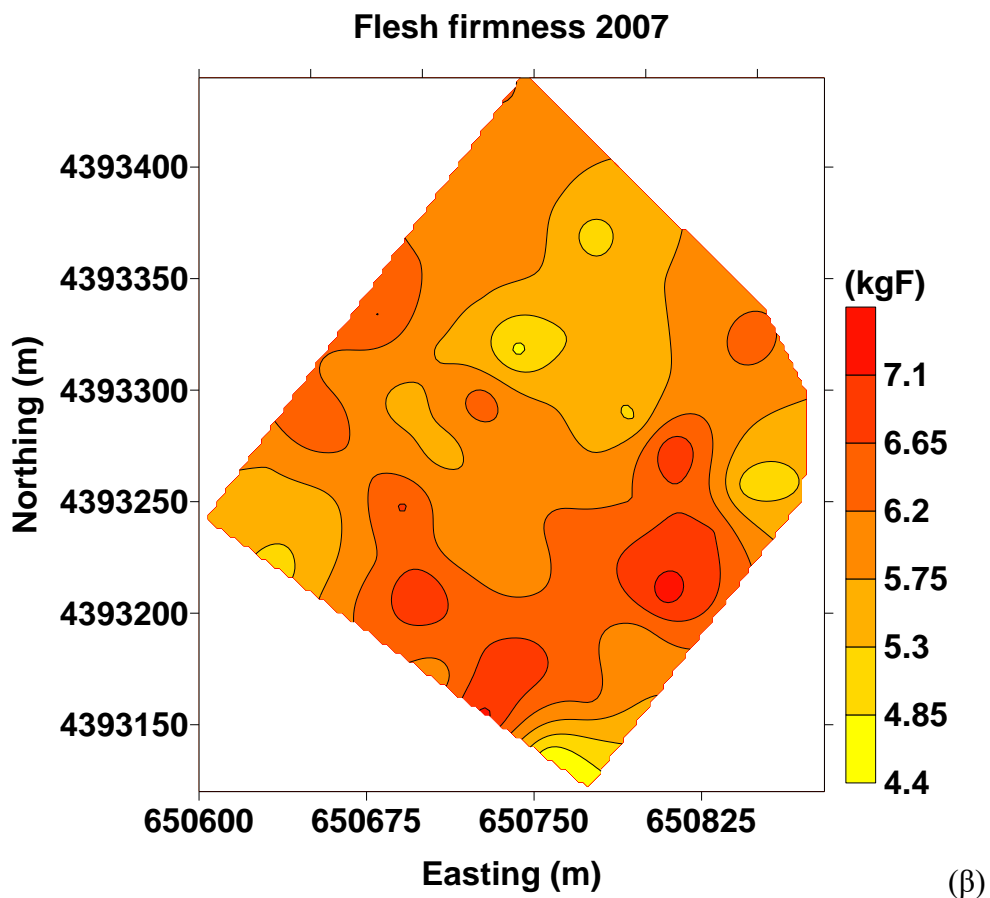
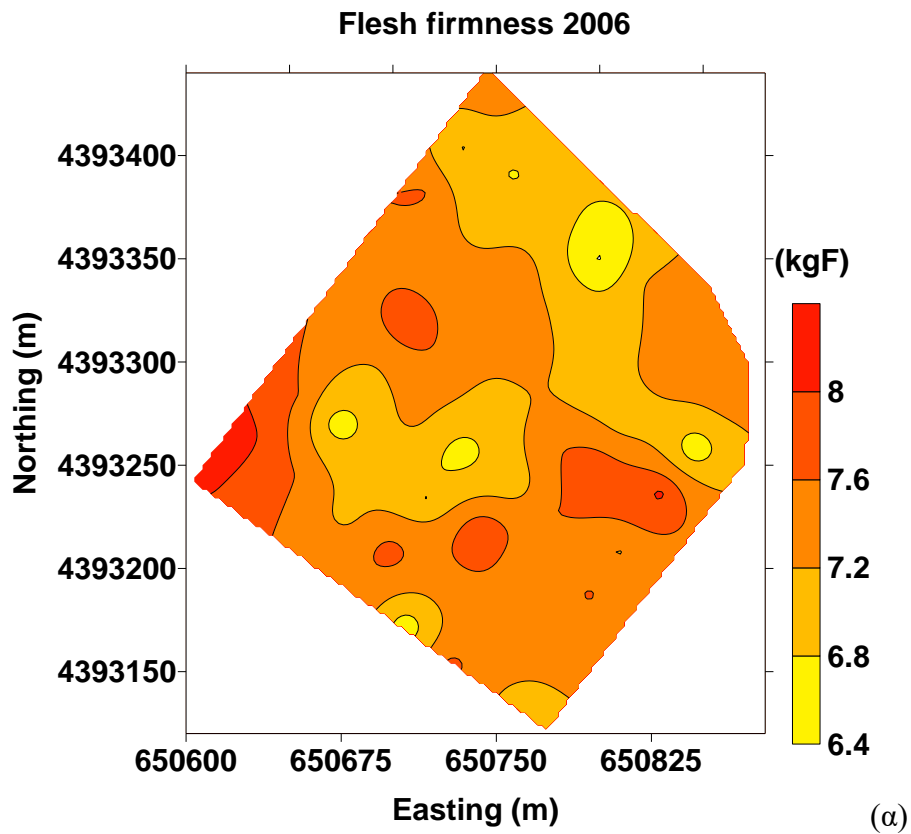
Εικόνα 5.14. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006



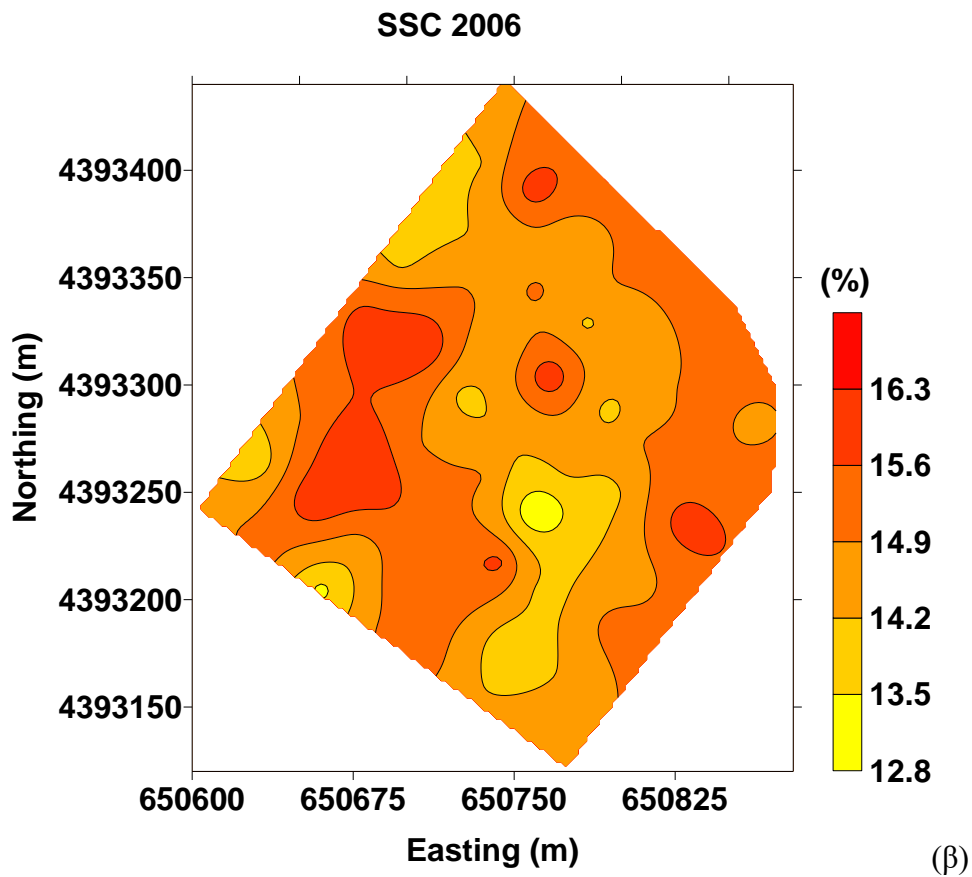
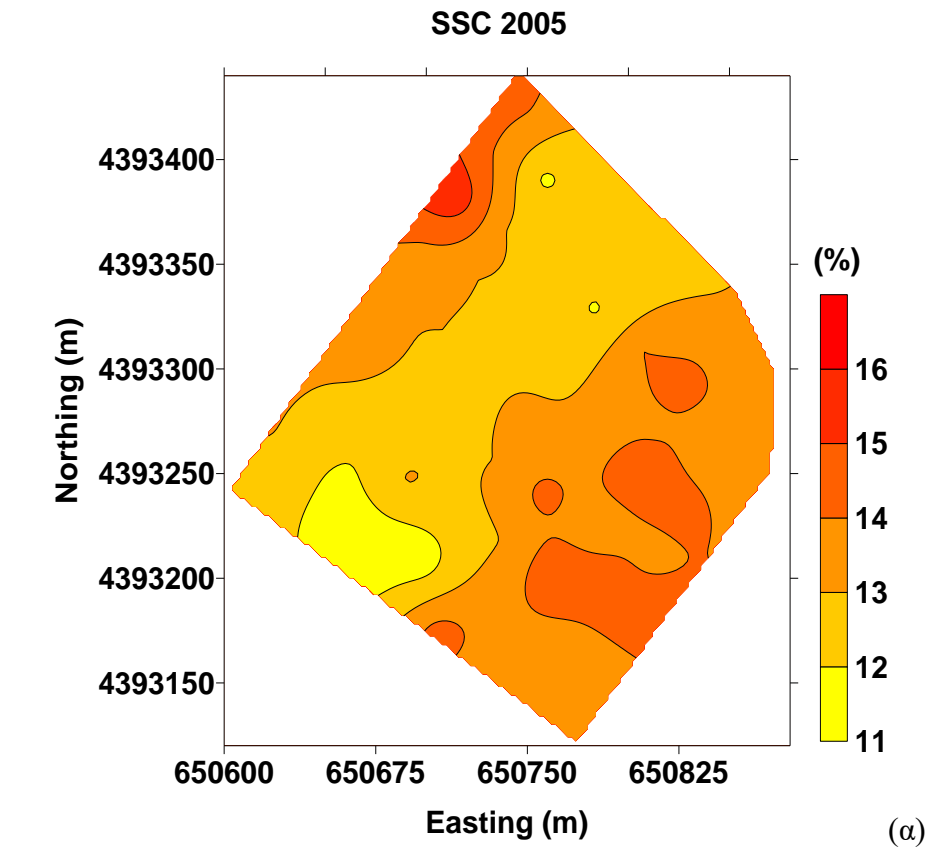
Εικόνα 5.15. Χάρτης βάρους καρπών, σε g, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007



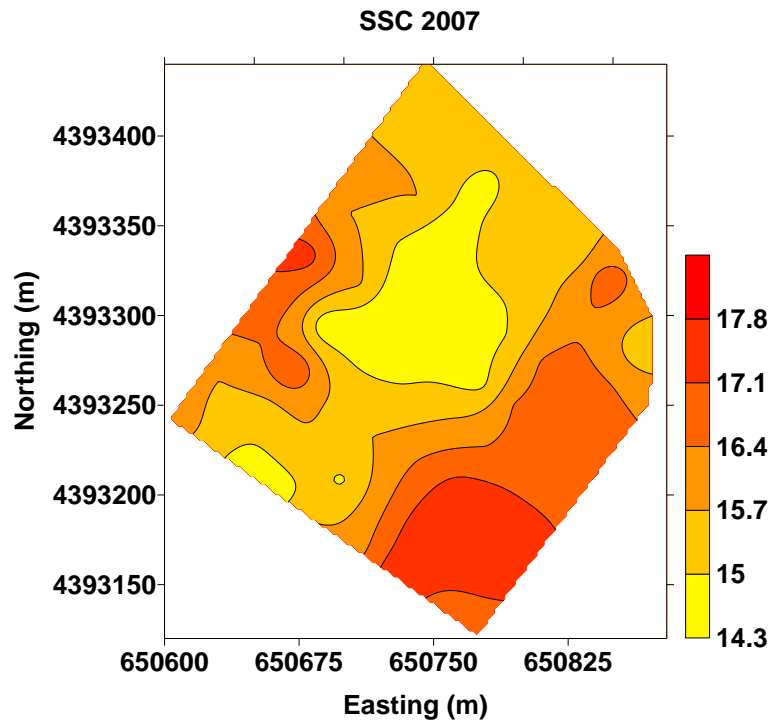
Εικόνα 5.16 Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005



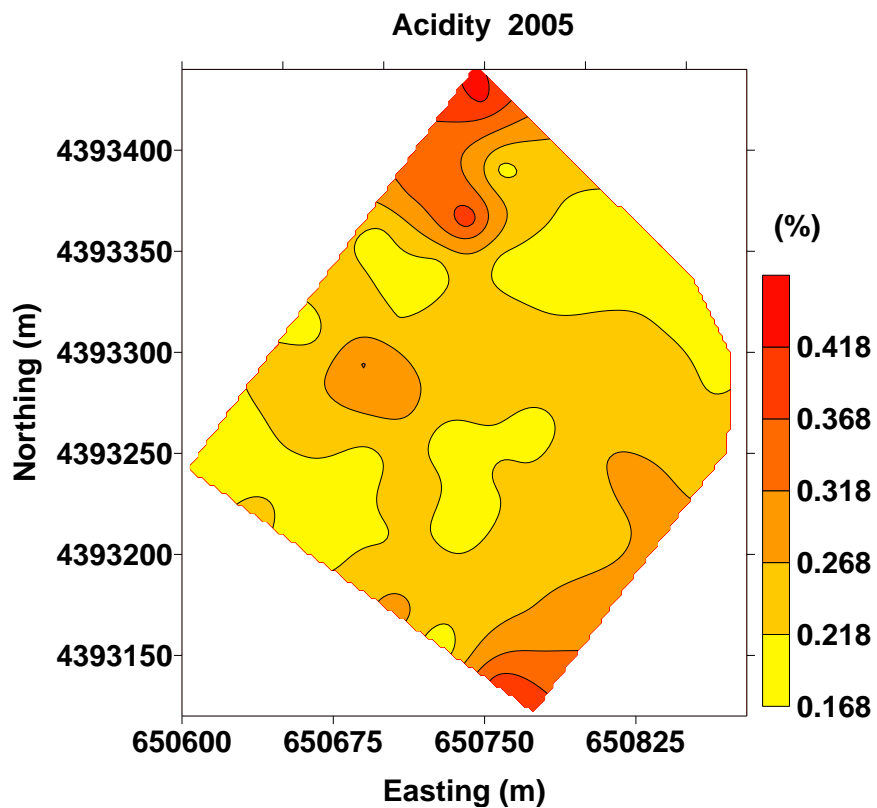
Εικόνα 5.17. Χάρτης σκληρότητας σάρκας, σε kgF, ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το 2006 και (β) για το 2007



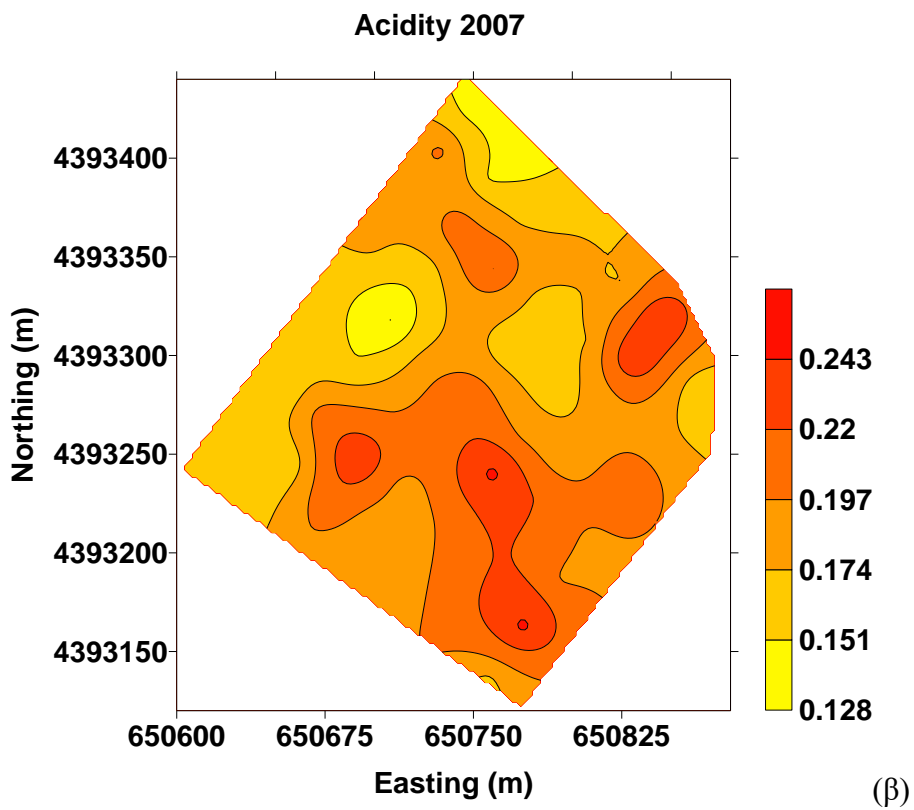
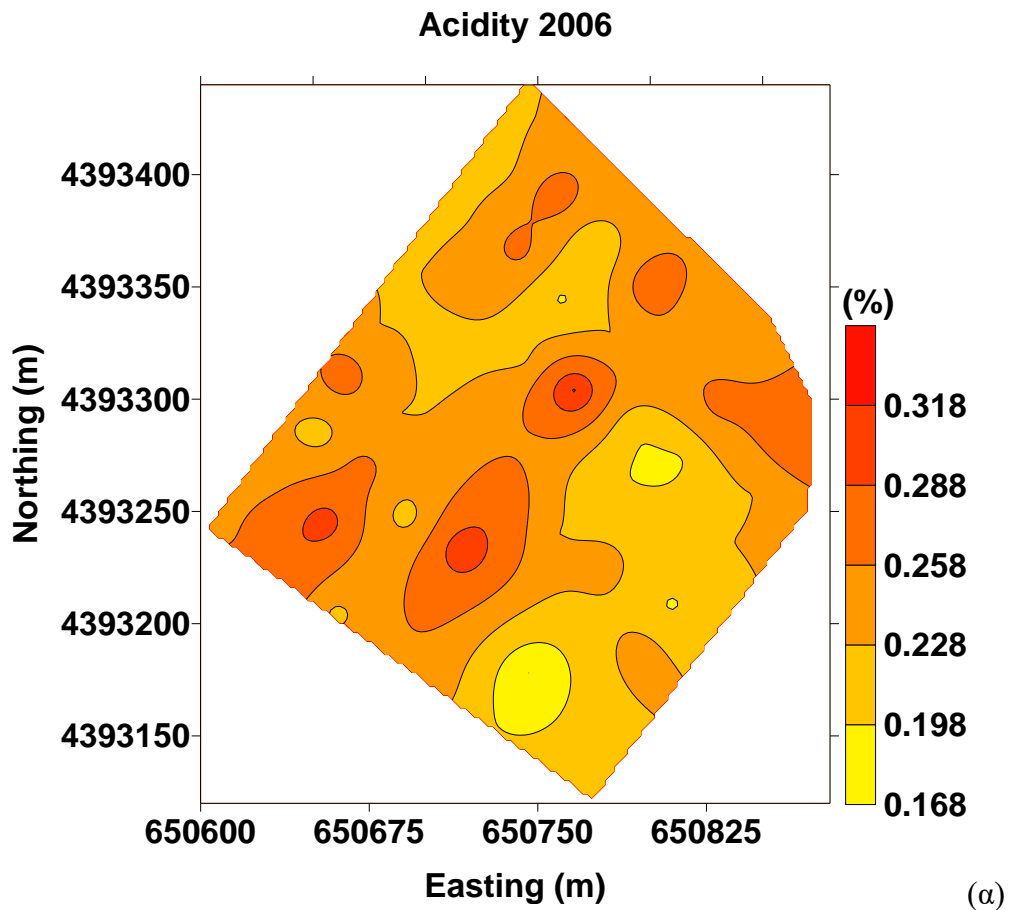
Εικόνα 5.18. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006



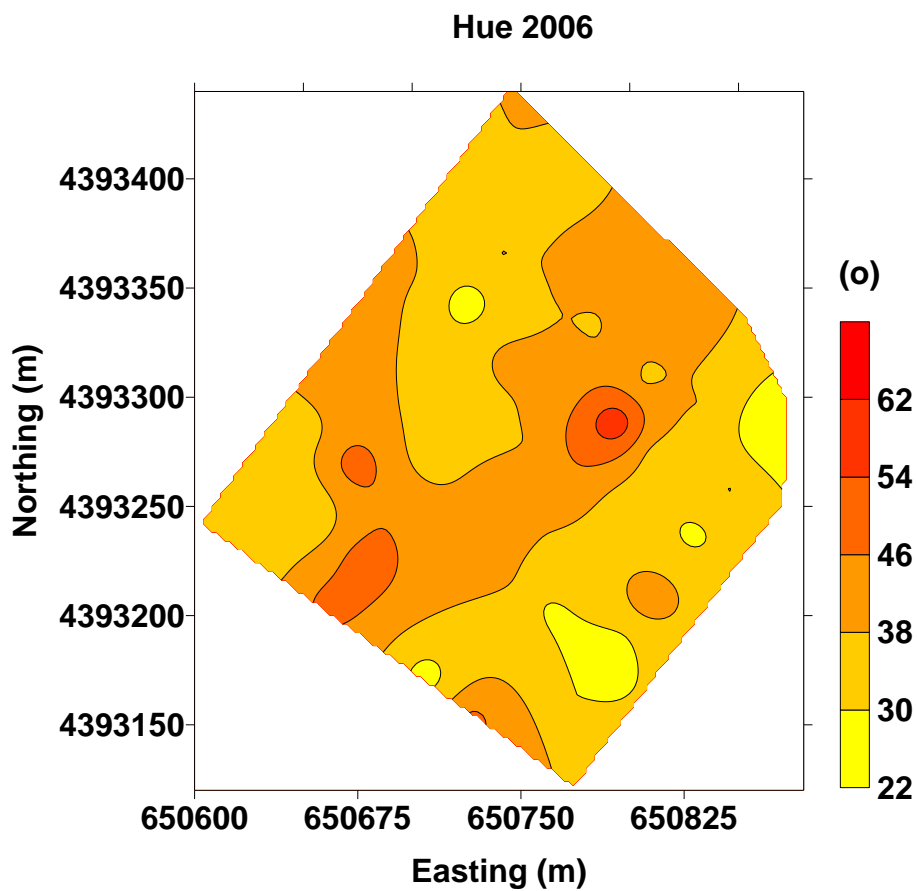
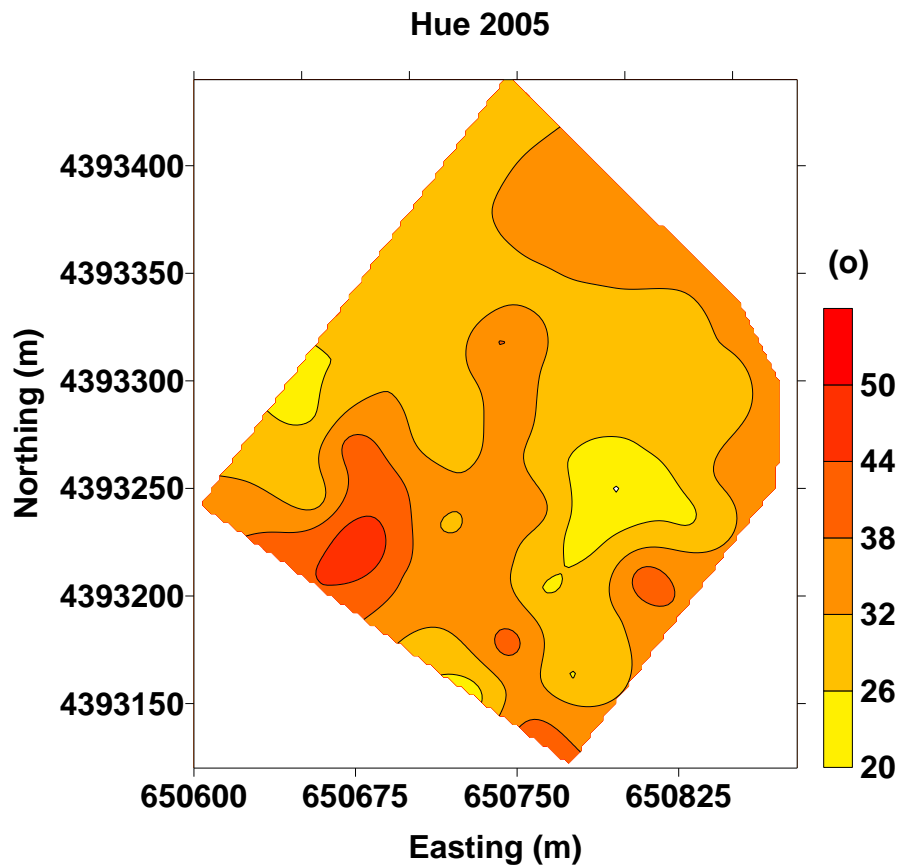
Εικόνα 5.19. Χάρτης περιεκτικότητας χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007



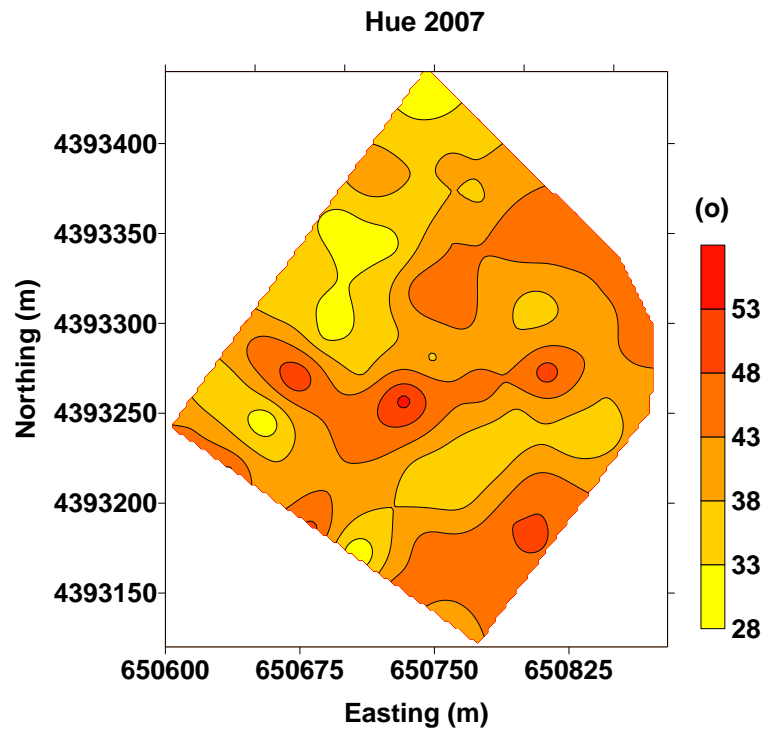
Εικόνα 5.20. Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005



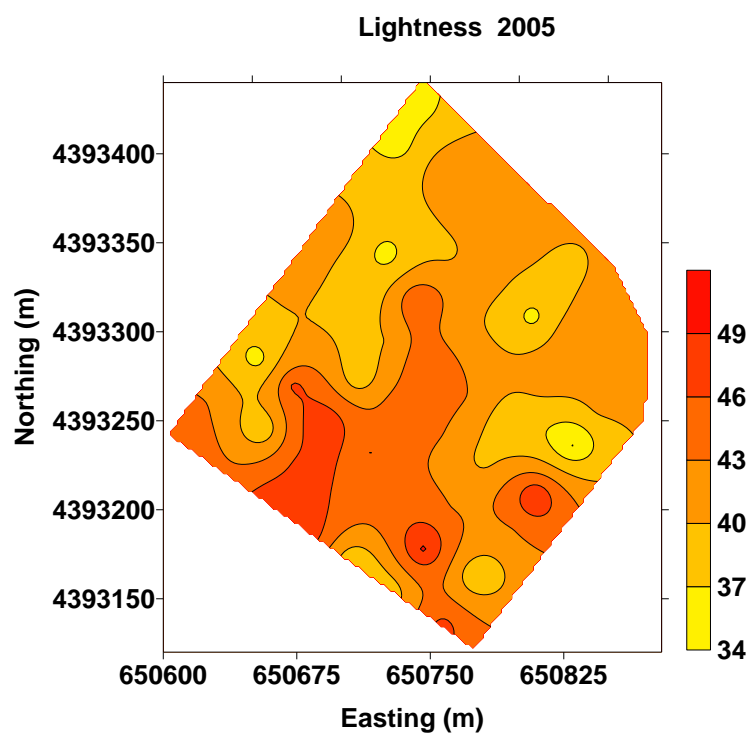
Εικόνα 5.21. Χάρτης οξύτητας χυμού (%) ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2006, (β) για το 2007



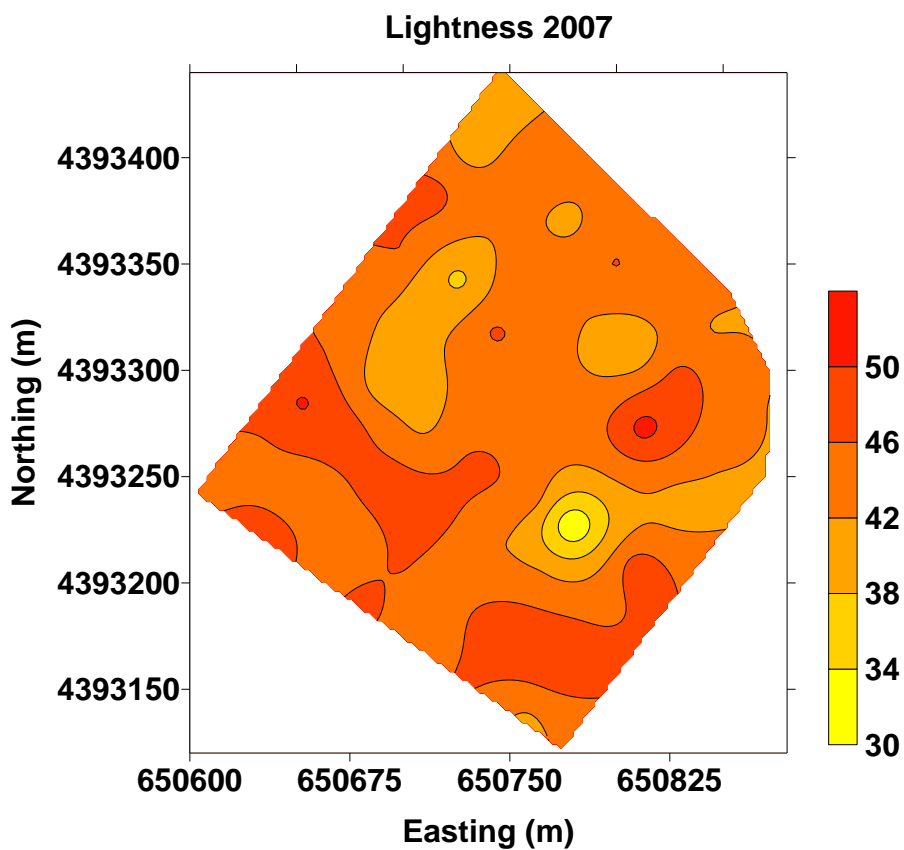
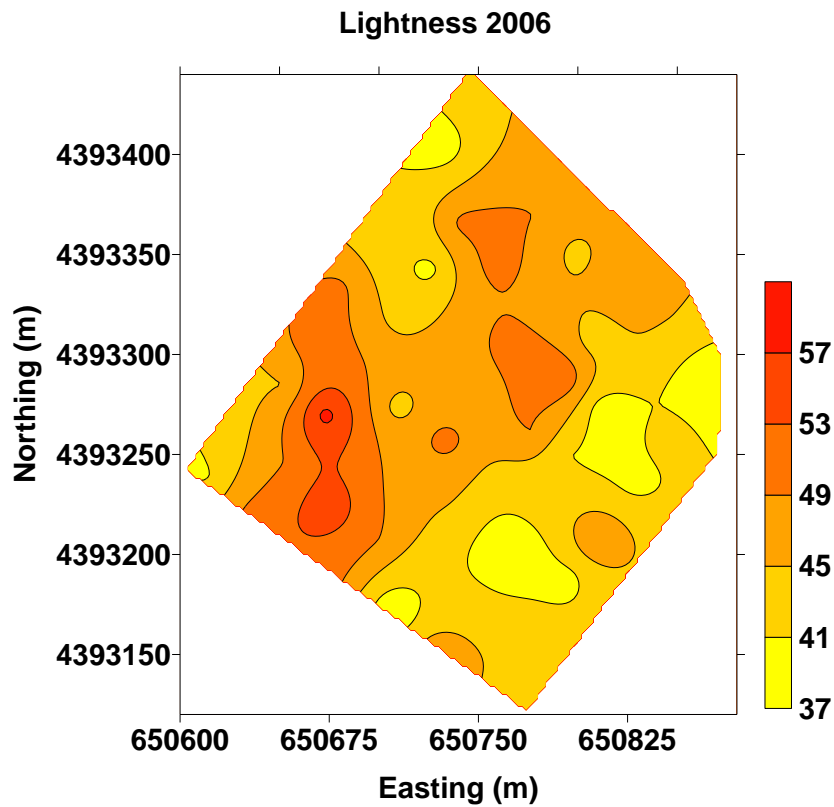
Εικόνα 5.22. Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006



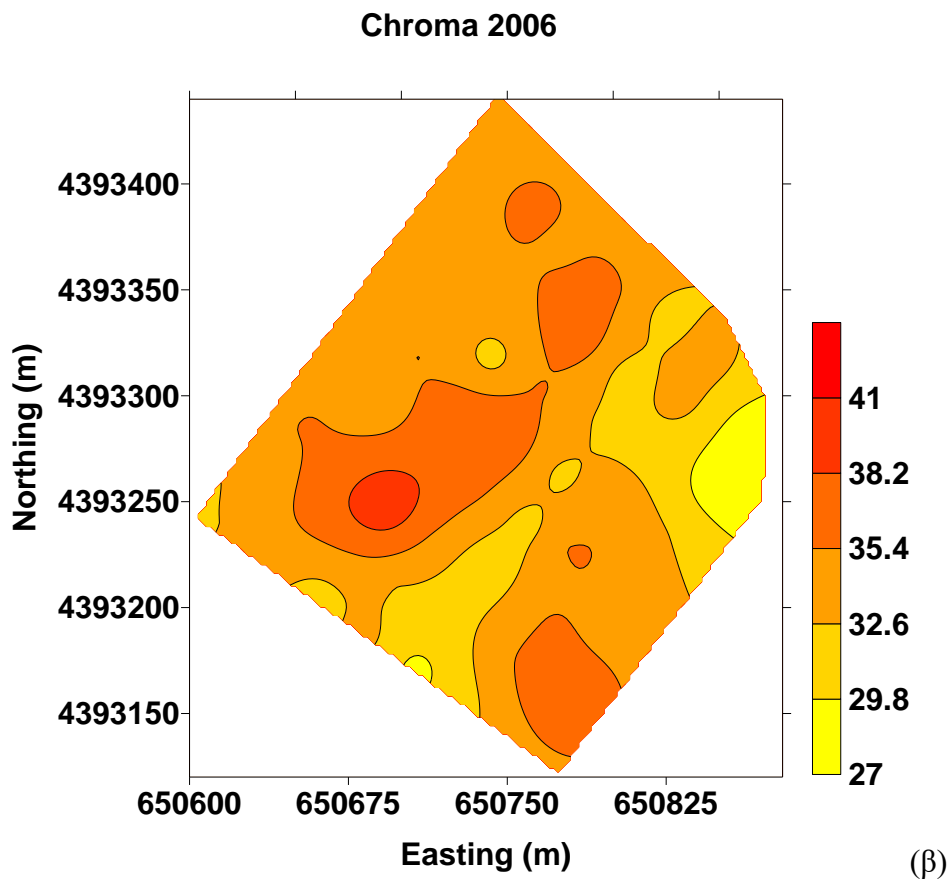
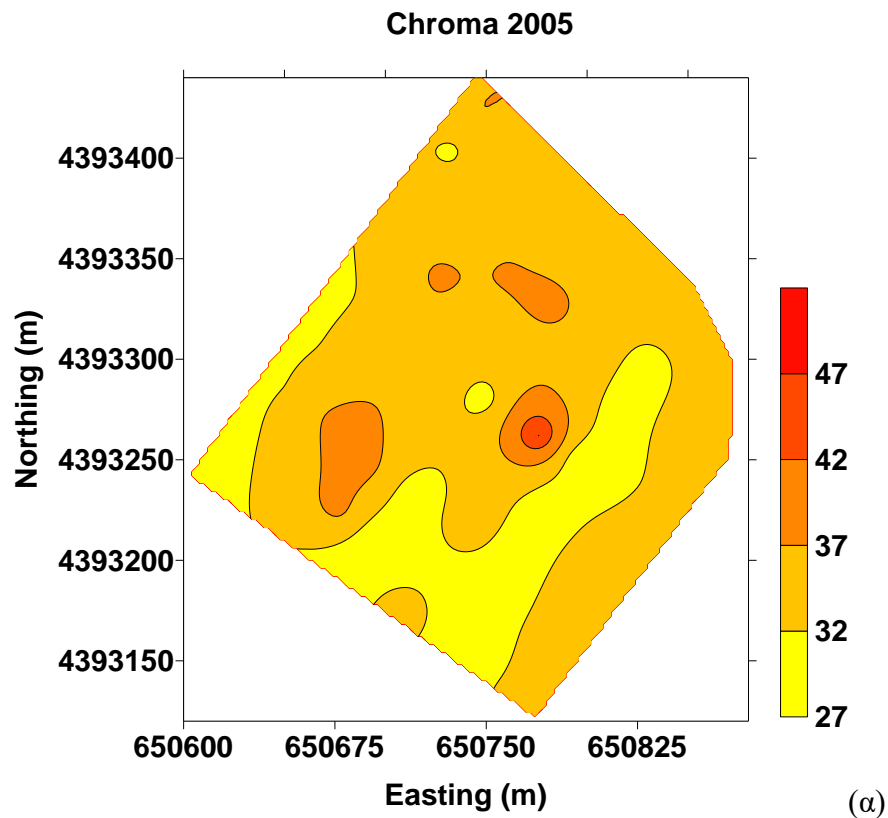
Εικόνα 5.23. Χάρτης χρώματος καρπών (γωνία Hue σε μοίρες), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2007



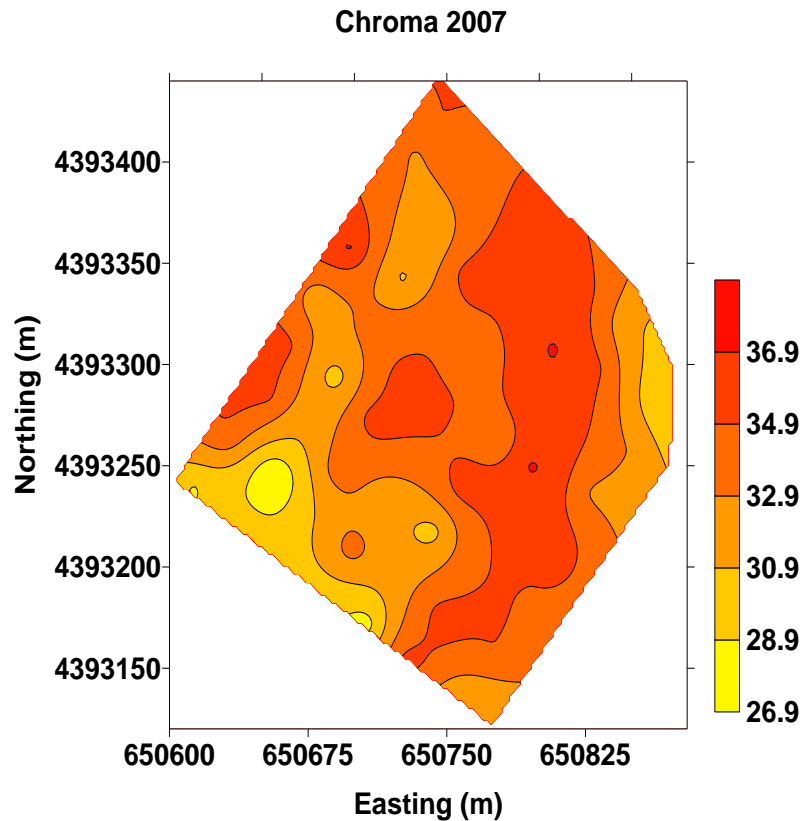
Εικόνα 5.24. Χάρτης χρώματος καρπών (L), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το έτος 2005



Εικόνα 5.25. Χάρτης χρώματος καρπών (L), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το 2006 και (β) για το 2007



Εικόνα 5.26. Χάρτης χρώματος καρπών (Chroma), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή (α) για το έτος 2005, (β) για το 2006



Εικόνα 5.27. Χάρτης χρώματος καρπών (Chroma), ποικιλίας Red Chief κατά τη συγκομιδή για το 2007

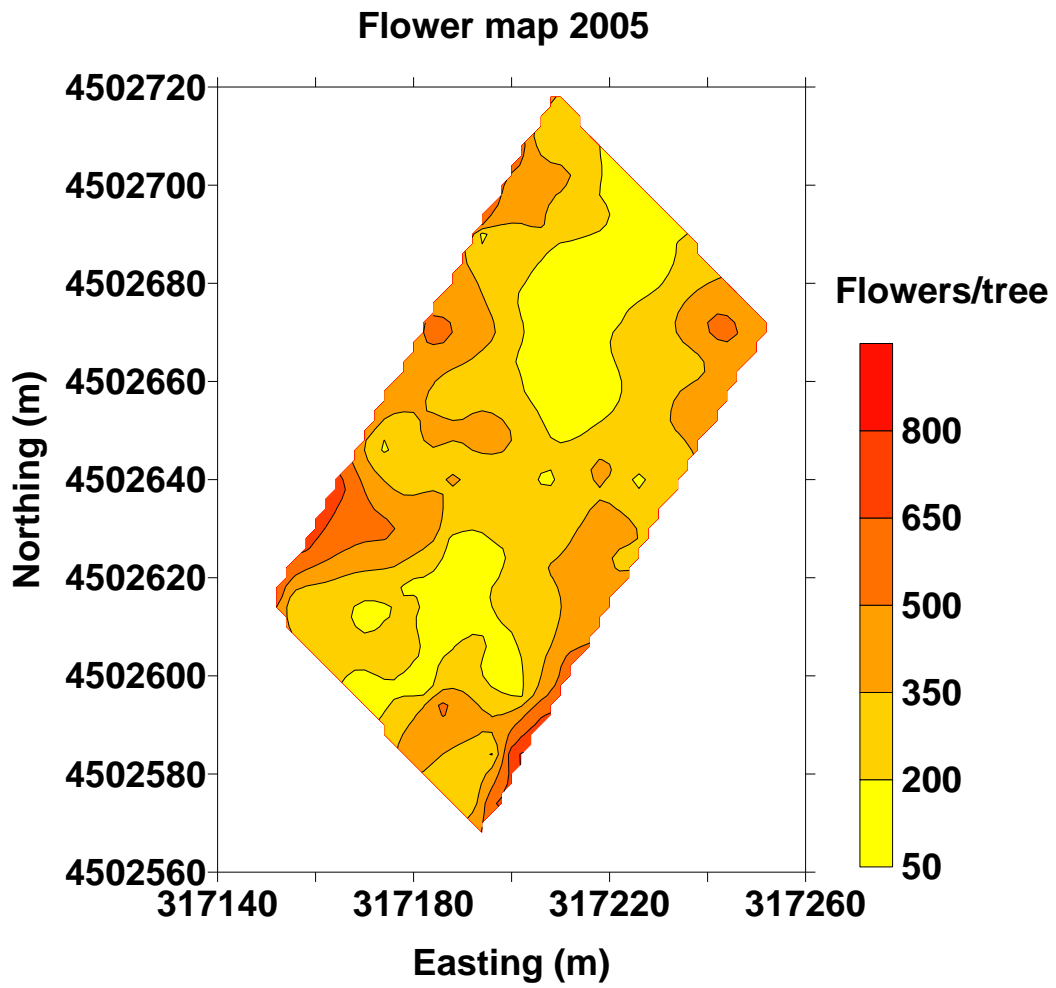
Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι στην Πτολεμαΐδα η ποιότητα των καρπών ήταν καλύτερη από την Αγιά. Στους πίνακες 5.1 και 5.5 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά της ποιότητας των καρπών στην Πτολεμαΐδα και στην Αγιά, αντίστοιχα. Το μέσο βάρος καρπού και η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά ήταν λίγο υψηλότερα στην περιοχή της Αγιάς. Αντίθετα, η σκληρότητα σάρκας και η περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ ήταν υψηλότερα στην Πτολεμαΐδα. Η σκληρότητα σάρκας είναι πολύ σημαντικό ποιοτικό χαρακτηριστικό και όσο πιο σκληρός είναι ο καρπός τόσο μεγαλύτερο διάστημα διατηρείται στην ψυχοσυντήρηση. Επίσης το μηλικό οξύ είναι το κυριότερο οξύ των μήλων και σε συνδυασμό με τα σάκχαρα είναι η βάση της γεύσης στα μήλα. Το χρώμα των καρπών επίσης ήταν πολύ καλύτερο στην Πτολεμαΐδα όπως εκφράζεται με την απόχρωση Hue. Οι τιμές της γωνίας Hue ήταν μικρότερες στους καρπούς της Πτολεμαΐδας και έδειξαν πιο έντονο κόκκινο χρώμα από την Αγιά. Η καλύτερη ποιότητα των καρπών στην Πτολεμαΐδα οφείλεται στο κλίμα της περιοχής που είναι ιδανικό για τα κόκκινα μήλα τα οποία θέλουν δροσερά καλοκαίρια για να παράγουν σκληρούς καρπούς με ευχάριστη γεύση και βαθύ κόκκινο χρώμα (Βασιλακάκης, 2004). Αντίθετα στην Αγιά τα καλοκαίρια είναι πιο ζεστά με αποτέλεσμα η ποιότητα των καρπών να είναι χαμηλότερη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΝΘΟΦΟΡΙΑΣ

6.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Την Άνοιξη του έτους 2005 έγινε εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο με τη μέθοδο της στερεολογίας. Η παραγωγή των δένδρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο Φθινόπωρο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν $r=0,58$ για την ποικιλία Red Chief και $r=0,78$ για την Fuji. Ο χάρτης ανθοφορίας για την ποικιλία Red Chief παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον διότι η αρχική ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την τελική παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες όπως αραίωμα κλπ. Φαίνεται ότι ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Με τον τρόπο αυτό ο χάρτης ανθοφορίας μπορεί να είναι πολύ χρήσιμος για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις. Τα λιπάσματα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε μικρότερες δόσεις στις περιοχές του αγρού που ο αριθμός των ανθέων είναι χαμηλός και σε μεγαλύτερες δόσεις στις περιοχές του αγρού που ο αριθμός των ανθέων είναι υψηλός και έχουν υψηλό δυναμικό παραγωγής. Αν εφαρμοστούν μεγάλες δόσεις λιπασμάτων σε περιοχές του αγρού με χαμηλό δυναμικό παραγωγής, ευνοείται η υπερβολική ανάπτυξη βλάστησης η οποία προκαλεί σκίαση, ευαισθησία στις ασθένειες και ανταγωνισμό με την ανθοφορία του επόμενου έτους. Το τελευταίο συμβαίνει διότι η βλαστική ανάπτυξη ανταγωνίζεται τη δημιουργία ανθοφόρων οφθαλμών το καλοκαίρι και επομένως επηρεάζει την παραγωγή της επόμενης χρονιάς.

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



Εικόνα 6.1 . Χάρτης ανθοφορίας έτους 2005 για την ποικιλία Red Chief

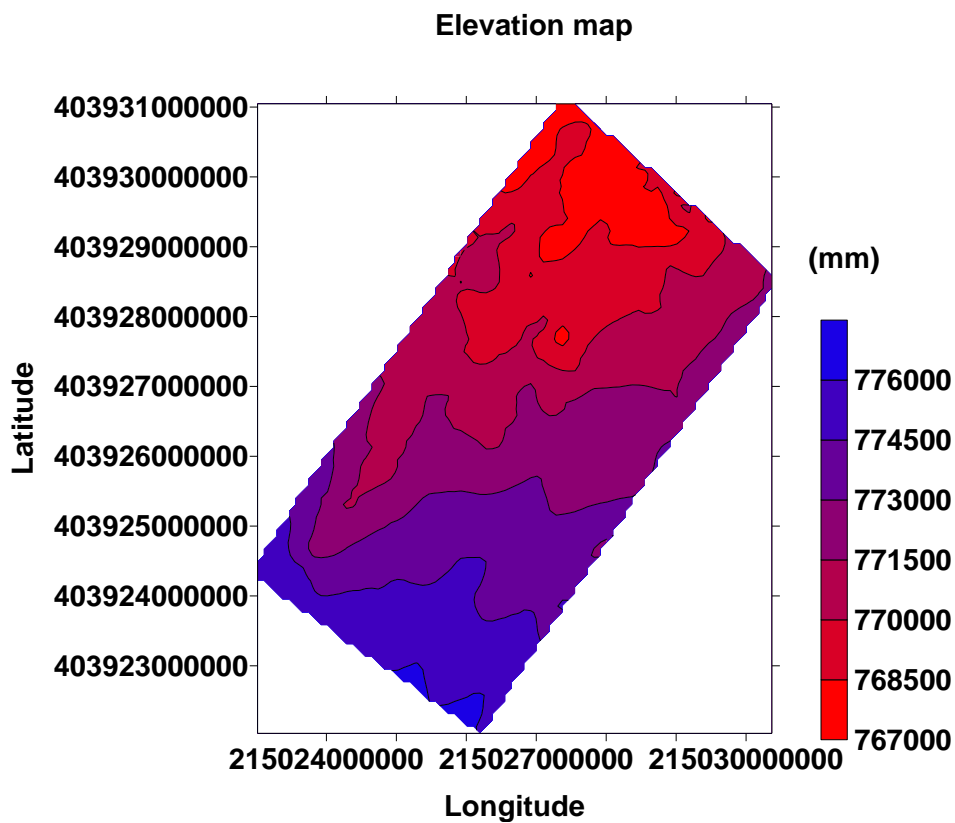
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

7.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

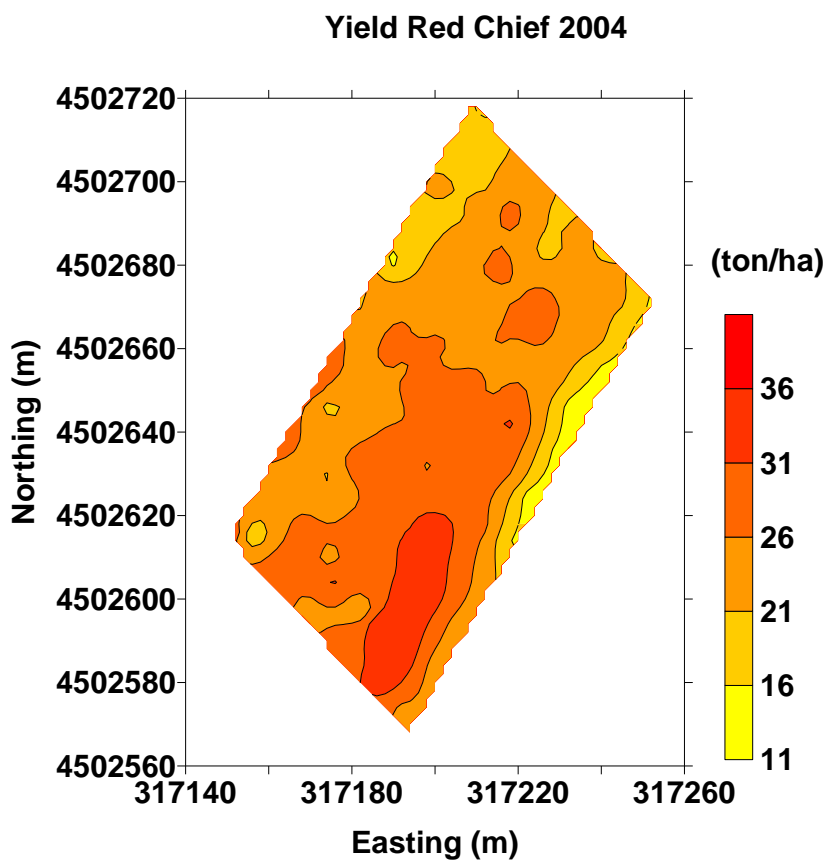
Το Δεκέμβριο του 2004 λήφθηκαν 60 δείγματα εδάφους από δύο βάθη δειγματοληψίας 0-30 cm και 30-60 cm. Τα δείγματα αναλύθηκαν για τις εξής ιδιότητες του εδάφους: μηχανική σύσταση, pH, NO₃, NH₄, N, P, K, Na, Ca, Mg, CEC, Fe, Mn, Zn, Cu, B και οργανική ουσία (ΟΥ). Επίσης έγινε χαρτογράφηση του ανάγλυφου του εδάφους με RTK (Real Time Kinematik) GPS. Ο χάρτης ανάγλυφου παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.1.

Επίσης οι ανάγκες της καλλιέργειας σε άζωτο υπολογίστηκαν με βάση την ποσότητα που χρειάζονται τα δένδρα για να παράγουν μια ορισμένη ποσότητα καρπών. Από το χάρτη παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για το έτος 2004 (Εικόνα 7.2) παρατηρούμε ότι η παραγωγή κυμάνθηκε από 11-36 τόνους/εκτάριο, και επομένως το δυναμικό παραγωγής του οπωρώνα είναι περίπου 40 τόνου/ εκτάριο. Σύμφωνα με τον Hessel (1992), οι μηλιές χρειάζονται περίπου 4 kg αζώτου για κάθε τόνο παραγωγής και επομένως για παραγωγή 40 τόνων /εκτάριο χρειάζονται περίπου 160 kg αζώτου ανά εκτάριο.

Το διαθέσιμο N στο έδαφος για το βάθος των 30 cm υπολογίστηκε προσθέτοντας τις συγκεντρώσεις των NO₃ και NH₄ στο έδαφος. Θεωρήθηκε ότι στο βάθος των 30cm σε συνδυασμό με τη στάγδην άρδευση που χρησιμοποιείται υπάρχει ο μεγαλύτερος όγκος του ριζικού συστήματος που απορροφά τα θρεπτικά στοιχεία στο υποκείμενο MM106 που είναι εμβολιασμένα τα δένδρα.



Εικόνα 7.1. Χάρτης ανάγλυφου οπωρώνα Πτολεμαΐδας



Εικόνα 7.2. Χάρτης παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα έτος 2004

Για τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τα όρια επάρκειας στο έδαφος που παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1. Αυτά τα όρια επάρκειας ισχύουν για τα περισσότερα φυτά συμπεριλαμβανομένης και της μηλιάς (Κουκουλάκης, 1995).

Για το ασβέστιο και το μαγνήσιο εκτός από τις τιμές του ανταλλάξιμου ασβεστίου και μαγνησίου οι λόγοι Ca/CEC και Mg/CEC είναι σημαντικοί και δείχνουν αν το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι διαθέσιμα για τα φυτά. Για το ασβέστιο αν ο λόγος Ca/CEC > 80% το ασβέστιο στο έδαφος είναι διαθέσιμο στα φυτά και για το μαγνήσιο ο λόγος Mg/CEC πρέπει να είναι μεταξύ 10-15% για να είναι διαθέσιμο (Brady, 1984; Plaster, 1992).

Οι λόγοι Ca/CEC και Mg/CEC υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εξισώσεις

$$Ca/CEC = \frac{Ca(meq/100g)}{CEC(meq/100g)} * 100 \quad (1)$$

$$Mg/CEC = \frac{Mg(meq/100g)}{CEC(meq/100g)} * 100 \quad (2)$$

Όπου $1eqCa = 0.5moleCa = 20.04g$ και $1eqMg = 0.5moleMg = 12.15g$

Πίνακας 7.1. Όρια επάρκειας θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος σε mg/kg εδάφους.

P (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/kg)
17,25	150-250	50-70	12-14	1,5	22	1,2	0,7

Πηγή: Κουκουλάκης, 1995

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, συντελεστής παραλλακτικότητας, ασυμμετρία και κύρτωση) για τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους. Οι περισσότερες ιδιότητες του εδάφους ακολουθούν την κανονική κατανομή (ασυμμετρία μεταξύ -1 και +1). Για τις μεταβλητές που είχαν ασυμμετρία >1 έγινε λογαριθμικός μετασχηματισμός πριν τον υπολογισμό των βαριογραμμάτων.

Για το βάθος των 0-30cm, η παραλλακτικότητα ήταν μικρή για τη μηχανική σύσταση του εδάφους, το pH, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και την οργανική ουσία με συντελεστές παραλλακτικότητας να κυμαίνονται από 4,81% για το pH έως 16,03% για την

οργανική ουσία του εδάφους. Ο φώσφορος, το κάλιο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο χαλκός και το βόριο έδειξαν ενδιάμεση χωρική παραλλακτικότητα με συντελεστές παραλλακτικότητας από 21,31% για το μαγνήσιο έως 38,3% για το βόριο. Το άζωτο, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, και ο χαλκός παρουσίασαν υψηλή χωρική παραλλακτικότητα με συντελεστές παραλλακτικότητας πάνω από 50%.

Παρόμοιες τιμές βρέθηκαν και για το βάθος των 30-60 cm, εκτός από το σίδηρο, τον ψευδάργυρο και το χαλκό όπου βρέθηκε ενδιάμεση παραλλακτικότητα και τα στοιχεία φώσφορο και βόριο όπου παρουσιάστηκαν μικρότερες συγκεντρώσεις και υψηλή παραλλακτικότητα. Αυτό το αποτέλεσμα οφείλεται στον τρόπο εφαρμογής αυτών των θρεπτικών στοιχείων και στην σχετικά μικρότερη ικανότητα κινητικότητας στο έδαφος.

Για το βάθος των 0-30cm, η μηχανική σύσταση του εδάφους ήταν αργιλώδης για όλο τον αγρό με περιεκτικότητα σε άμμο από 21,76-35,76%, σε ιλύ από 18,84-30,56% και σε άργιλο από 42,40-53,12%. Το pH του εδάφους πήρε τιμές από 6,3-7,8 ενώ το άριστο pH για τις μηλιές είναι από 6,5-6,8 (Ποντίκης, 2003). Η οργανική ουσία του εδάφους κυμάνθηκε από 0,97-3,75 και ήταν ενδιάμεση έως υψηλή (Κουκουλάκης, 1995). Παρόμοιες τιμές βρέθηκαν για τα παραπάνω χαρακτηριστικά και στο βάθος των 30-60 cm ενώ το εύρος των τιμών ήταν συχνά μικρότερο.

Οι τιμές του αζώτου μετατράπηκαν από mg/kg εδάφους σε kg/ha ως εξής:

$$N(kg / ha) = N(mg / kg) * 0.3 * 1.3 * 10$$

όπου 0,3m είναι το βάθος δειγματοληψίας, 1,3kg/m³ είναι η ξηρή φαινομενική πυκνότητα του εδάφους και 10 είναι για την μετατροπή από m² σε ha.

Από τα δεδομένα του Πίνακα 7.2 φαίνεται ότι οι τιμές του διαθέσιμου N είναι από 9,2-86,4 mg/kg ή από 35,8-337,1 kg/ha και επομένως σε μερικές περιοχές του οπωρώνα το N ήταν κάτω από το όριο των 160 kg/εκτάριο και χρειάζονται λίπανση. Οπωσδήποτε ο Δεκέμβριος δεν είναι η κατάλληλη εποχή του χρόνου για να καθοριστούν οι ανάγκες των φυτών σε N και επίσης δεν ήταν αναμενόμενο ότι υπήρχαν ακόμη NO₃ στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Παρόλα αυτά το υπολειμματικό N που βρέθηκε με την μορφή NO₃ μπορεί να εξασφαλίσει ότι εφαρμογή N σε μεταβλητές δόσεις μπορεί να είναι επωφελής.

Οι τιμές του P ήταν μεταξύ 17-44 mg/kg και ήταν πολύ παραπάνω από τα όρια 17-24 mg/kg και δεν χρειάζεται επιπλέον λίπανση. Το ίδιο συμβαίνει και με το K όπου οι τιμές

Πίνακας 7.2 Περιγραφικά στατιστικά των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)

Εδαφική ιδιότητα	Βάθος (cm)	Μέση τιμή	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπική απόκλιση	CV(%)	Ασυμμετρία	Κύρτωση
Άμμος (%)	0-30	29,4	21,8	35,8	2,74	9,33	-0,26	0,08
	30-60	31,2	25	35,8	2,47	7,92	-0,44	-0,30
Άργιλος (%)	0-30	47,1	42,4	53,1	2,40	5,09	0,13	-0,30
	30-60	46,6	41,8	51,1	1,98	4,26	-0,03	-0,12
Ιλύς (%)	0-30	23,5	18,8	30,6	2,62	11,16	0,66	0,12
	30-60	22,2	17,8	27,8	2,13	9,60	0,28	-0,35
pH	0-30	7,3	6,4	7,8	0,35	4,81	-1,00	0,26
	30-60	7,5	7,2	7,7	0,13	1,8	-0,35	-1,04
NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	0-30	34,0	6,8	84,1	20,24	59,53	0,75	-0,32
	30-60	38,6	2,6	116,2	26,46	68,5	0,94	0,35
NH ₄ -N (mg kg ⁻¹)	0-30	4,0	1,8	9,2	1,33	33,33	0,76	0,29
	30-60	4,8	2,7	7,3	0,95	20	0,33	0,33
N (mg kg ⁻¹)	0-30	38,0	9,2	86,4	20,51	53,96	0,70	-0,38
	30-60	43,4	7,6	121	26,44	60,92	0,95	0,40
P (mg kg ⁻¹)	0-30	87,5	17,0	144	25,76	29,54	-0,26	-0,21
	30-60	28,7	6	126	23,9	83,2	2,3	6,3
K (mg kg ⁻¹)	0-30	510	259	1161	189,7	37,25	1,18	1,65
	30-60	317	191	675	86,93	27,44	1,90	5,32
Na (mg kg ⁻¹)	0-30	42,4	22,0	74,0	15,67	38,09	0,85	-0,83
	30-60	35,4	27	44	4,14	11,7	-0,03	-0,72
Ca (mg kg ⁻¹)	0-30	6083	3500	9925	1602	26,36	0,48	-0,64
	30-60	7478	4925	11450	1932	25,8	0,43	-1,14
Mg (mg kg ⁻¹)	0-30	1098	535	1622	234,4	21,31	-0,25	-0,02
	30-60	804	504	1172	172,2	21,41	0,13	-0,63
CEC (meq/100g)	0-30	38,3	34,5	41,8	1,91	4,97	-0,07	-0,92
	30-60	37,4	33,3	41,5	1,75	4,68	-0,06	-0,56
Ca/CEC (%)	0-30	79	46	139	21,37	26,89	0,63	-0,26
	30-60	100	61	150	26,66	26,60	0,37	-1,16
Mg/CEC (%)	0-30	23,7	11,5	37,0	5,20	21,94	-0,07	0,05
	30-60	17,7	10,5	25,9	3,79	21,38	0,12	-0,69
Fe (mg kg ⁻¹)	0-30	17,0	7,0	83,0	12,13	70,59	3,33	14,43
	30-60	19,7	9	32	5,42	27,55	0,21	-0,69
Zn (mg kg ⁻¹)	0-30	10,3	2,0	29,0	7,00	67,96	1,05	0,29
	30-60	4,9	1,1	26	4,44	90,16	2,58	8,24
Mn (mg kg ⁻¹)	0-30	25	14,0	48,0	9,33	36,00	0,98	-0,11
	30-60	20	9	39	5,77	28,16	0,47	0,78
Cu (mg kg ⁻¹)	0-30	5,1	1,8	15,0	2,65	52,94	1,84	3,85
	30-60	2,4	1,6	5,4	0,84	35	1,78	3,49
B (mg kg ⁻¹)	0-30	2,8	0,7	5,2	1,08	38,25	-0,04	-0,75
	30-60	1,1	0,1	3,7	0,76	69,63	1,71	2,89
OY (%)	0-30	2,6	1,0	3,7	0,42	16,15	-0,56	3,09
	30-60	2,1	1,1	3,3	0,46	22	0,75	0,58

Πίνακας 7.3. Γεωστατιστική ανάλυση των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)

Εδαφική ιδιότητα	Βάθος (cm)	Nugget Ratio (%)	Sill (m)	Range (m)	Spatial distribution model	RMSE
Άμμος(%)	0-30	81	7.8	60	Spherical	0.6
	30-60	100	5.4	-	Random	0.5
Άργιλος(%)	0-30	41	7.3	45	Gaussian	0.5
	30-60	54	4.3	38	Gaussian	0.1
Ιλύς (%)	0-30	64	6.8	21	Spherical	0.5
	30-60	100	4.6	-	Random	0.4
pH	0-30	0	140.7	>100	Gaussian	0.008
	30-60	50	0.02	53	Gaussian	0.001
N	0-30	100	0.03	-	Random	0.002
	30-60	100	728	-	Random	32.1
P (mg kg ⁻¹)	0-30	100	673.4	-	Random	36.7
	30-60	0	0.48	4	Exponential	0.03
K (mg kg ⁻¹)	0-30	37	0.14	42	Spherical	0.003
	30-60	100	0.06	-	Random	0.002
Ca/CEC	0-30	14	774	58	Gaussian	21.2
	30-60	13	665	40	Gaussian	11.5
CEC (meq/100g)	0-30	0	3.8	17	Spherical	0.14
	30-60	100	2.9	-	Random	0.16
Fe (mg kg ⁻¹)	0-30	3	491	>100	Gaussian	0.018
	30-60	46	31	25	Exponential	0.29
Zn (mg kg ⁻¹)	0-30	100	0.48	-	Random	0.04
	30-60	74	0.47	22	Exponential	0.03
Cu (mg kg ⁻¹)	0-30	100	0.18	-	Random	0.02
	30-60	100	0.08	-	Random	0.008
B (mg kg ⁻¹)	0-30	63	1.22	57	Spherical	0.05
	30-60	100	0.43	-	Random	0.03
OM (%)	0-30	100	0.18	-	Random	0.02
	30-60	52	0.23	36	Spherical	0.01

Nugget Ratio= (Nugget semi-variance/total semi-variance)*100

του σε όλο τον αγρό ήταν πάνω από το όριο 150-250 mg/kg. Για το ασβέστιο ο λόγος Ca/CEC πήρε τιμές από 46-139% και ήταν κάτω από το όριο του 80% σε μερικές περιοχές του αγρού οι οποίες θα χρειαζόταν λίπανση. Ελαφρώς καλύτερη ήταν η κατάσταση για τη διαθεσιμότητα του Ca στο βάθος 30-60 cm αλλά και πάλι σε μερικές περιοχές του οπωρώνα οι τιμές του Ca ήταν χαμηλές. Τέλος το μαγνήσιο και τα ιχνοστοιχεία Fe, Zn, Mn, Cu, B ήταν σε ικανοποιητικά επίπεδα στο έδαφος και δεν χρειαζόταν επιπλέον λίπανση.

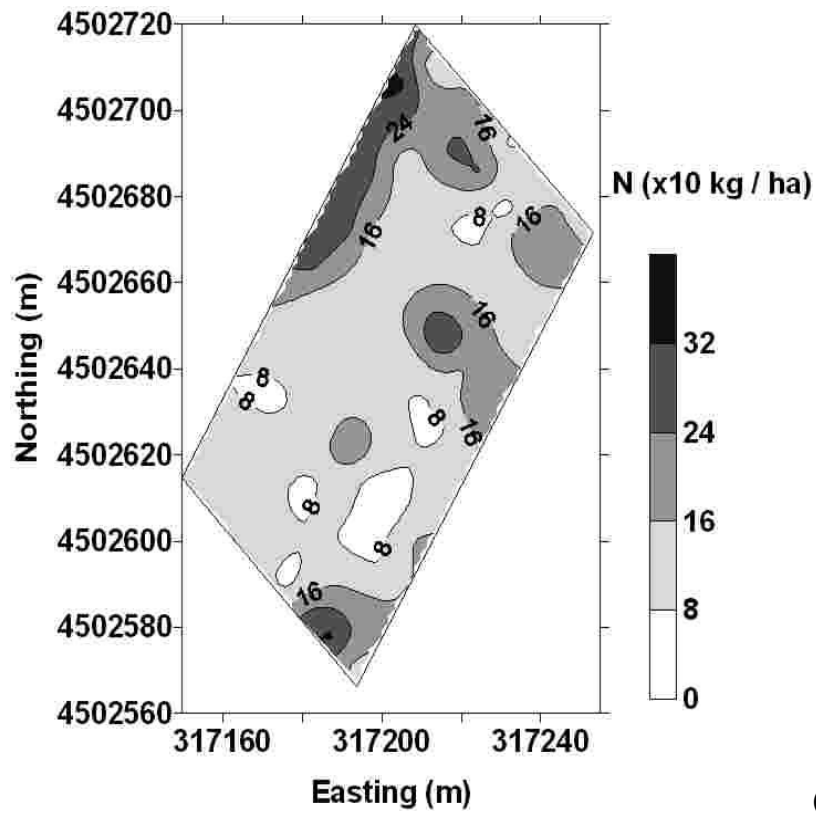
Η γεωστατιστική ανάλυση έδειξε διαφορές στη χωρική εξάρτηση των εδαφικών ιδιοτήτων (Πίνακας 7.3). Σφαιρικά πρότυπα προσαρμόστηκαν για την άμμο, την ιλύ, το K, CEC και το B στα 0-30 cm και για την Ο.Υ. στα 30-60cm. Πρότυπα Gaussian προσαρμόστηκαν για την άργιλο, pH, Ca, Ca/CEC, Fe, Mn στα 0-30 cm και για την άργιλο, pH, Ca/CEC στα 30-60cm. Τυχαία (Random) πρότυπα προσαρμόστηκαν στις υπόλοιπες μεταβλητές. Από τις εδαφικές ιδιότητες που μελετήθηκαν οι pH, CEC, Fe, Mn, Ca/CEC στα 0-30cm και Ca/CEC, P στα 30-60 cm είχαν ισχυρή χωρική εξάρτηση (nugget/sill<25%) (Cambardella et al, 1994). Οι ιδιότητες άργιλος, ιλύς, K, B στα 0-30cm και άργιλος, pH, Fe, Zn στα 30-60cm έδειξαν μέτρια χωρική εξάρτηση (26<nugget/sill<75%) (Cambardella et al, 1994). Η άμμος στα 0-30cm είχε ασθενή χωρική εξάρτηση (nugget/sill>75%) (Cambardella et al, 1994). Το διαθέσιμο N, P, Zn, Cu, Ο.Υ. στα 0-30 cm και η άμμος, ιλύς, N, K, CEC, Cu, B στα 30-60 cm δεν είχαν χωρική εξάρτηση σε καμία απόσταση.

Από τη στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι από τα θρεπτικά στοιχεία που μετρήθηκαν μόνο το N και το Ca ήταν κάτω από τα όρια επάρκειας στο έδαφος σε μερικές περιοχές του οπωρώνα και δημιουργήθηκαν χάρτες εφαρμογής λιπασμάτων που δείχνουν τις περιοχές του αγρού που χρειάζονται λίπανση με τα στοιχεία αυτά.

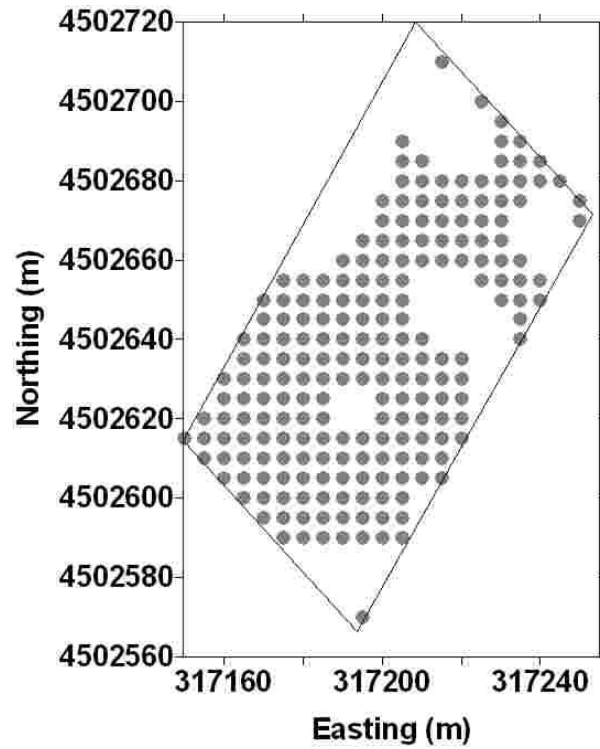
Για το N, το κατώφλι των 160 kg/ha που χρησιμοποιήθηκε, είναι η ποσότητα του N που χρειάζεται για να παραχθούν 40 τόνοι/εκτάριο μήλα. Οι περιοχές του αγρού που το διαθέσιμο N ήταν κάτω από 160 kg/ha στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, χρειάζονται επιπλέον λίπανση με N. Στην Εικόνα 7.3 α φαίνεται χάρτης του N όπου διακρίνονται οι ισουψείς και το όριο των 160 kg/ha κάτω από το οποίο πρέπει να εφαρμοστεί N-ουχος λίπανση. Στην Εικόνα 7.3 β παρουσιάζεται ο χάρτης εφαρμογής του N που δείχνει τις περιοχές του αγρού που χρειάζονται λίπανση με N με βάση το όριο των 160 kg/ εκτάριο.

Το ασβέστιο είναι διαθέσιμο για τα δένδρα όταν ο λόγος Ca/CEC είναι > 80%. Στο Εικόνα 7.4α φαίνεται ο χάρτης του λόγου Ca/CEC και στο Εικόνα 7.4β ο χάρτης εφαρμογής του Ca που δείχνει τις περιοχές του οπωρώνα που ο λόγος Ca/CEC ήταν <80% και χρειάζονται

λίπανση με Ca. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία φαίνονται στις Εικόνες 7.5- 7-10.

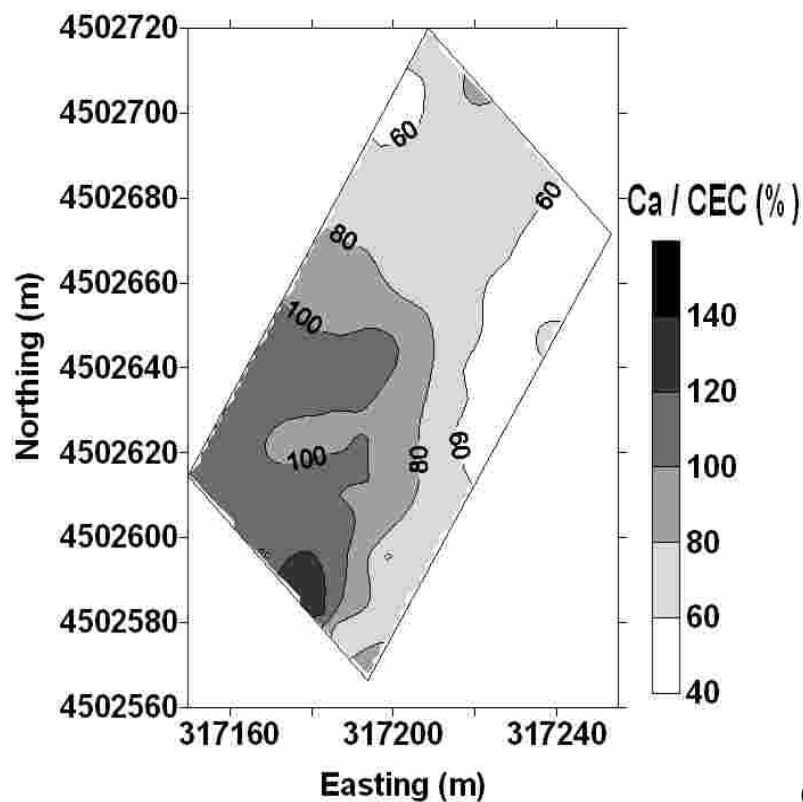


(α)

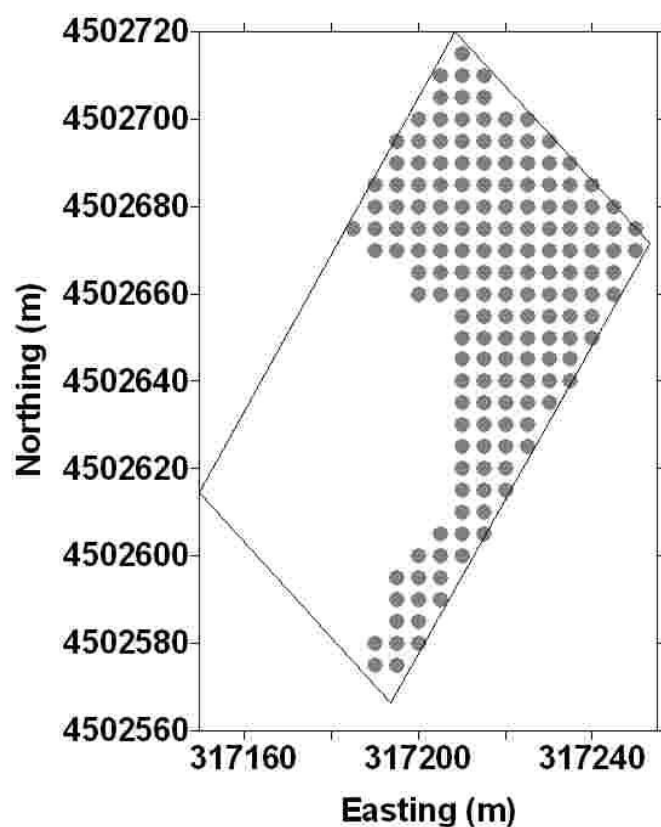


(β)

Εικόνα 7.3. Χάρτης (α) N και (β) χάρτης που δείχνει τις περιοχές του αγρού που χρειάζονται λίπανση με N με βάση το όριο των 160 kg/ εκτάριο

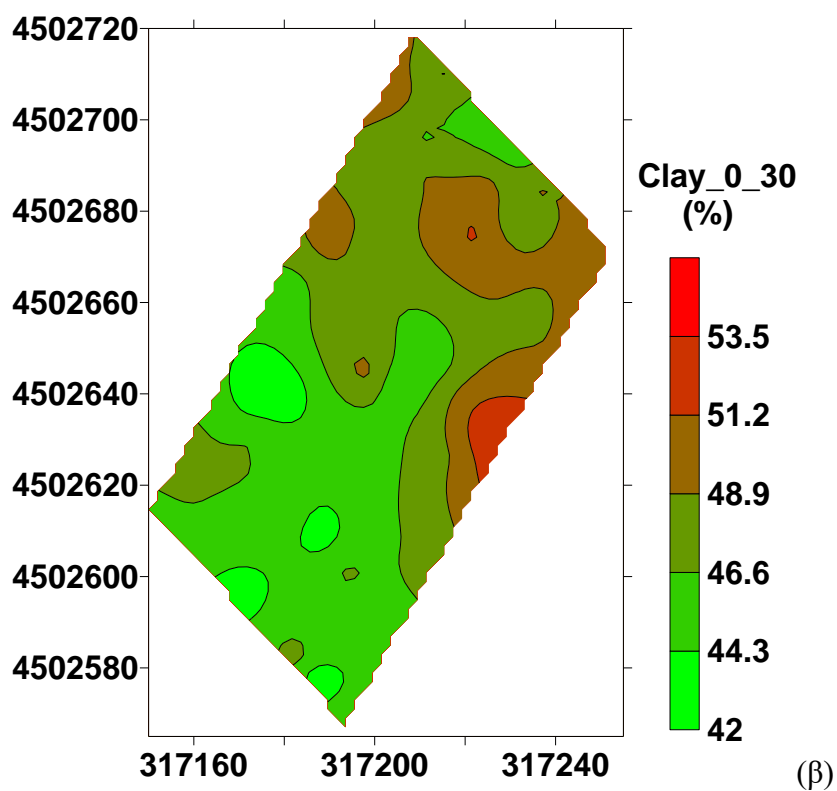
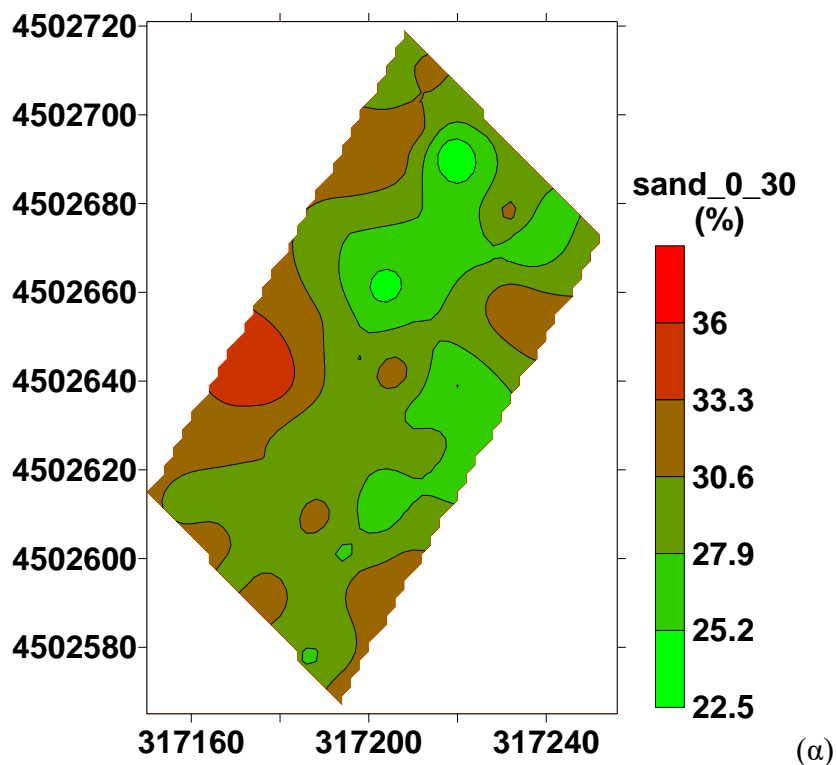


(α)

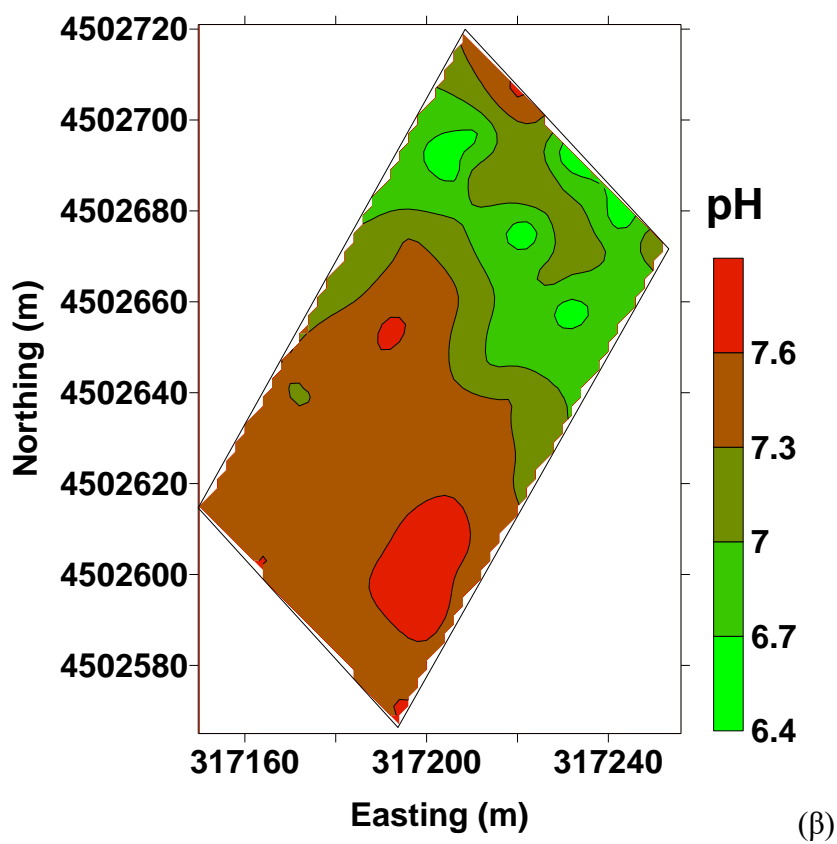
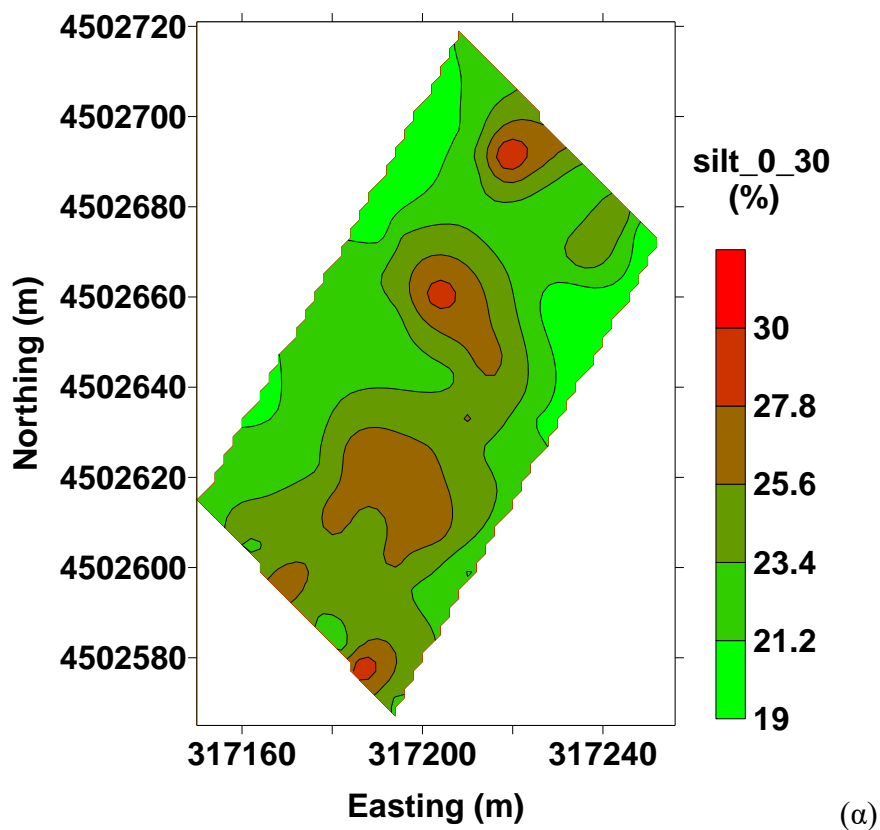


(β)

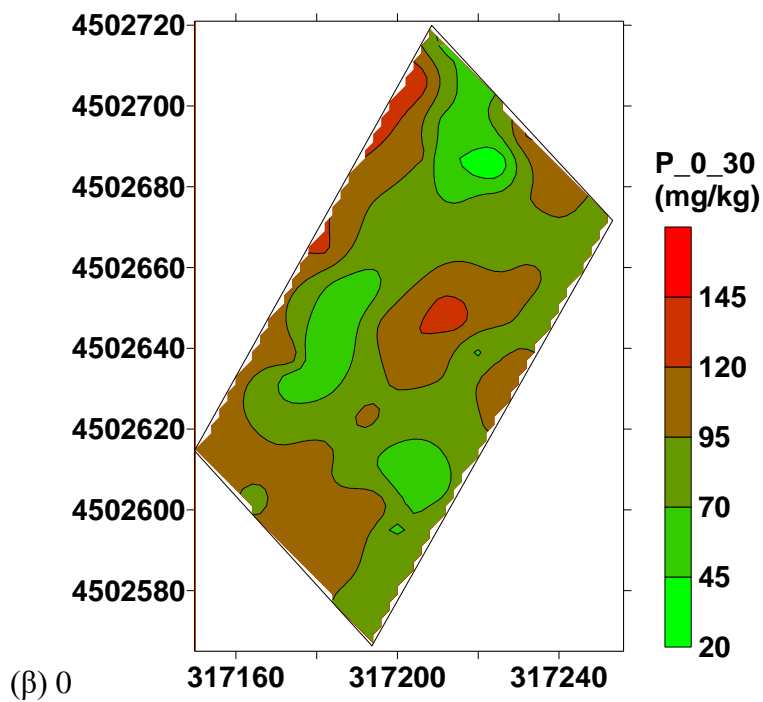
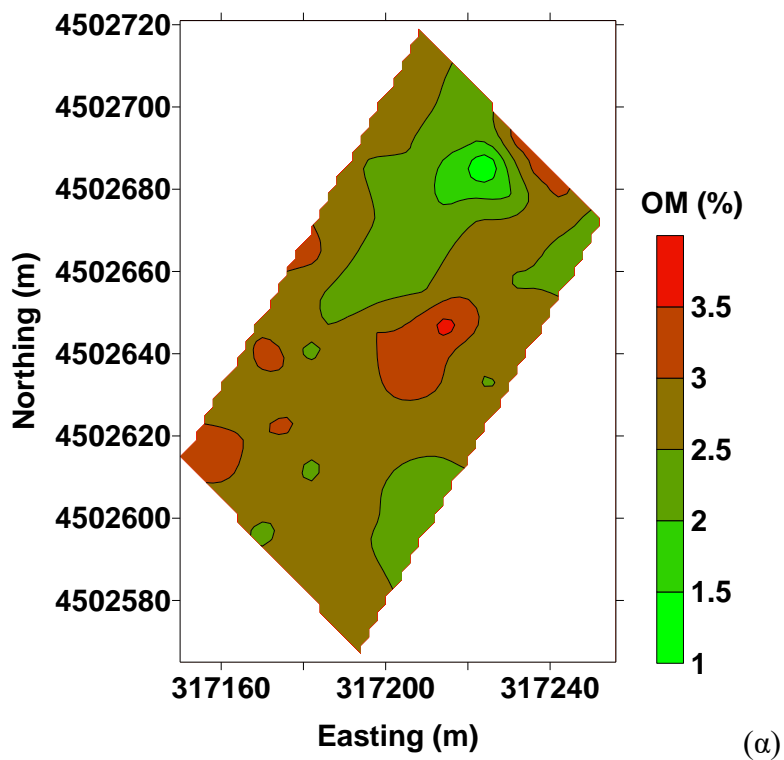
Εικόνα 7.4. Χάρτης (α) Ca/CEC και (β) χάρτης που δείχνει τις περιοχές του αγρού που δεν ξεπερνούν το όριο του 80% και χρειάζονται λίπανση με Ca



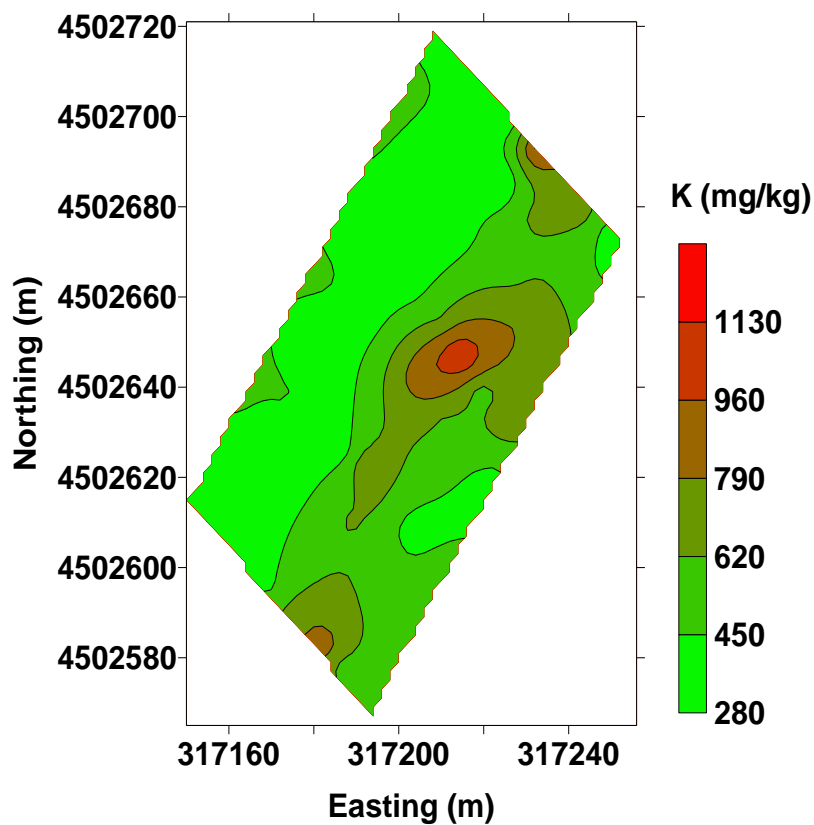
Εικόνα 7.5. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε άμμο και (β) % περιεκτικότητας σε άργιλο



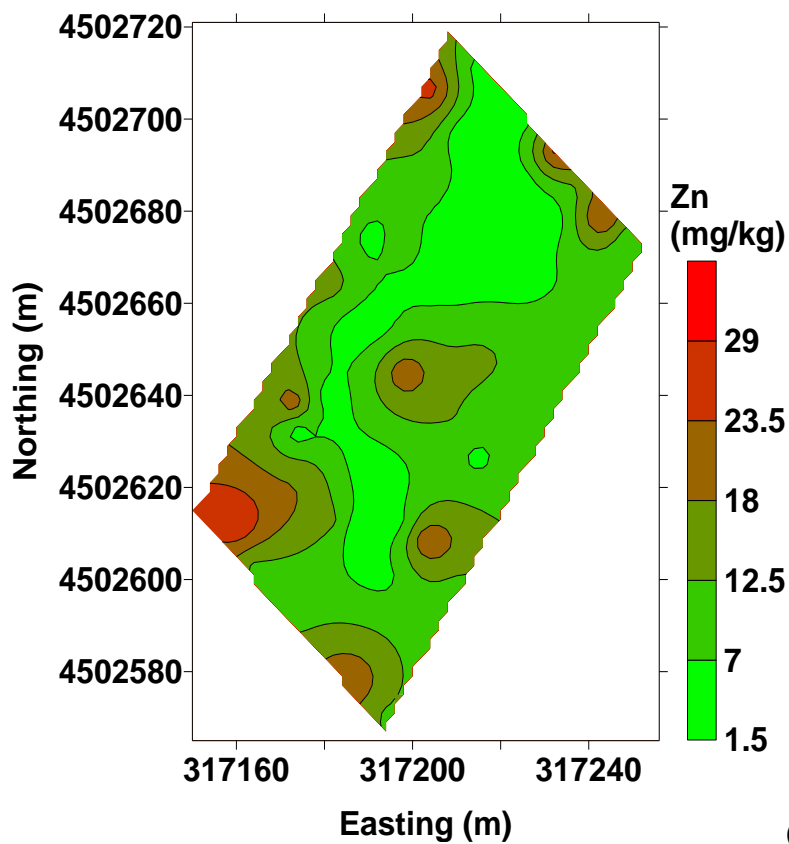
Εικόνα 7.6. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε ιλύ και (β) εδαφικού pH



Εικόνα 7.7. Χάρτες (α) % περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ουσία και (β) P σε mg/kg εδάφους

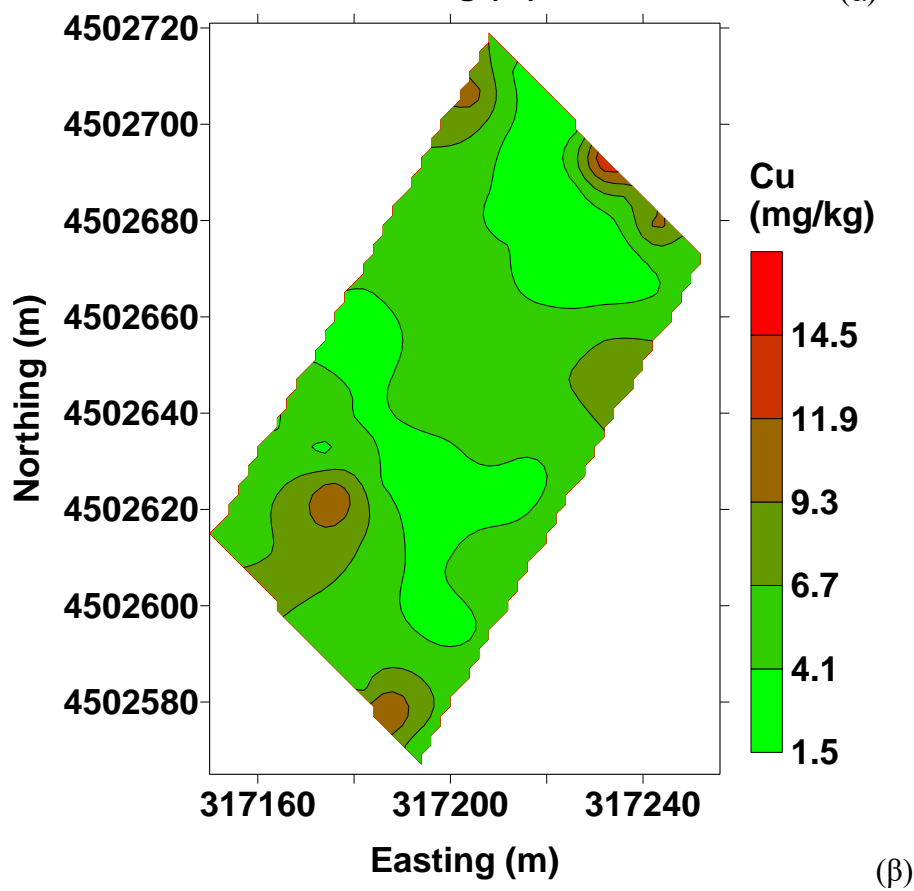
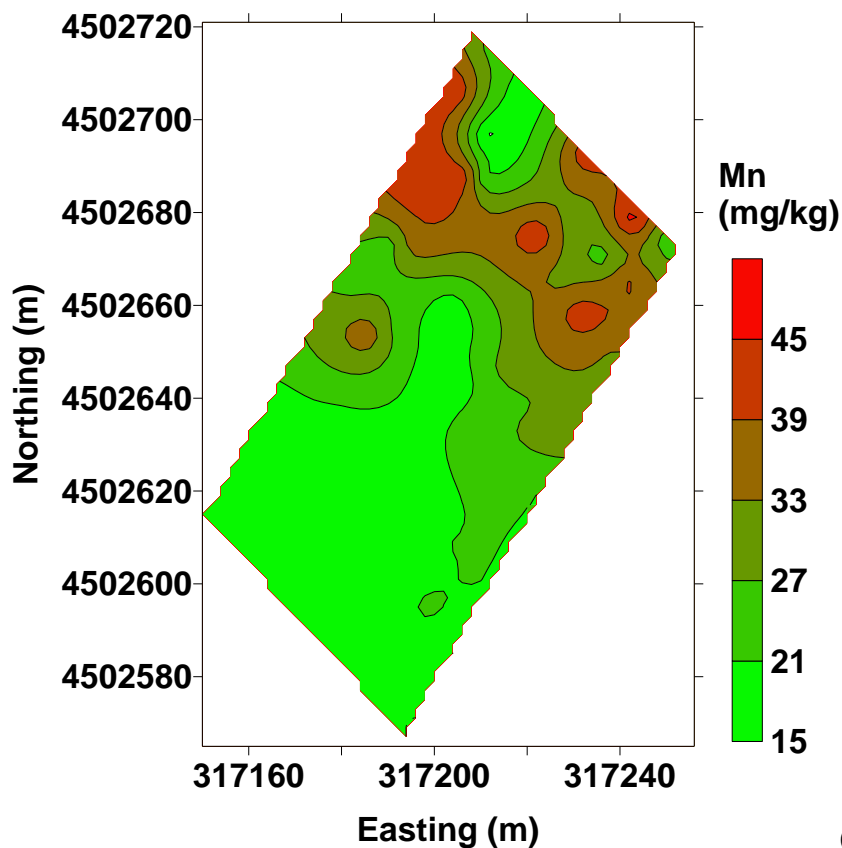


(α)

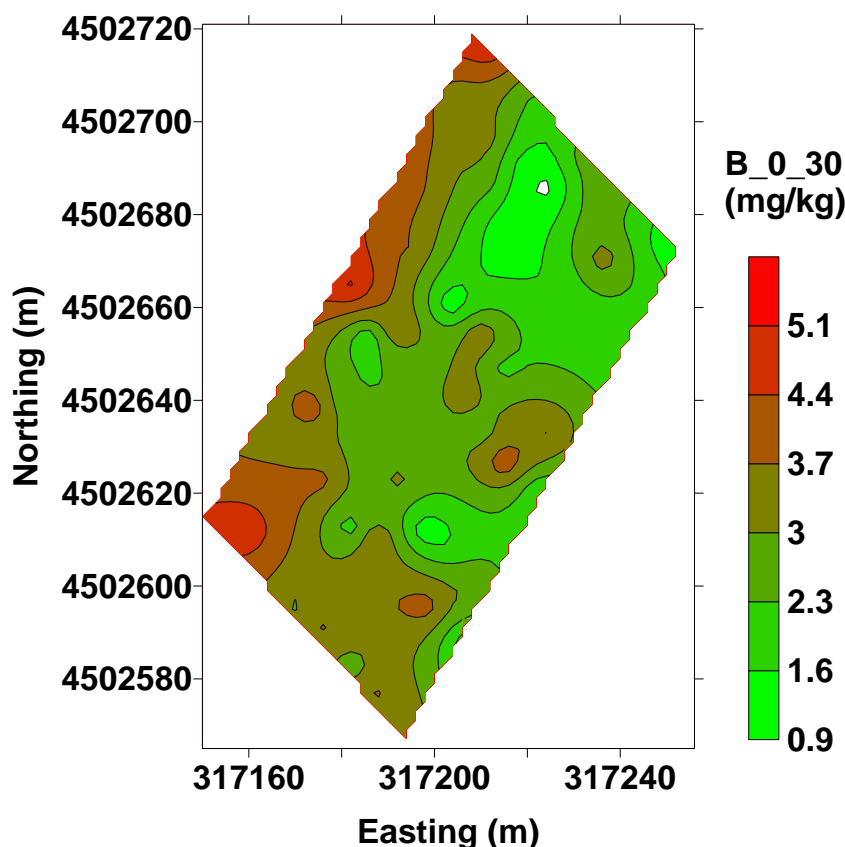


(β)

Εικόνα 7.8. Χάρτες (α) K και (β) Zn σε mg/kg εδάφους



Εικόνα 7.9. Χάρτες (α) Mn και (β) Cu σε mg/kg εδάφους



Εικόνα 7.10. Χάρτες B σε mg/kg εδάφους

Η κοινή γεωργική πρακτική είναι η εφαρμογή των λιπασμάτων να γίνεται στην ίδια δόση για όλο τον αγρό κάθε καλλιεργητική περίοδο. Ειδικά σε μικρούς οπωρώνες, σαν αυτόν που πραγματοποιήθηκε η παραπάνω έρευνα πιστεύεται ότι δεν υπάρχει παραλλακτικότητα ή ότι η παραλλακτικότητα είναι πολύ μικρή. Ο παραγωγός του οπωρώνα που έγινε αυτή η έρευνα εφαρμόζει τα μακροστοιχεία N, P, K κάθε χρόνο και με την ίδια δόση σε όλο τον αγρό. Επιπλέον εφαρμόζει με τον ίδιο τρόπο το Ca και μερικά ιχνοστοιχεία με διαφυλλικούς ψεκασμούς. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας έδειξαν ότι όλα τα θρεπτικά στοιχεία εκτός από το N και το Ca ήταν σε επάρκεια στο έδαφος και δεν χρειαζόταν επιπλέον λίπανση. Επίσης για τα στοιχεία N και Ca που είναι κάτω από τα όρια επάρκειας έχει νόημα να εφαρμοστεί η λίπανση μόνο στις περιοχές του αγρού που τα θρεπτικά στοιχεία αυτά είναι κάτω από τα όρια επάρκειας και όχι σε όλο τον αγρό, εξοικονομώντας χρήματα και προστατεύοντας το περιβάλλον. Από την παραπάνω συζήτηση συνάγεται το συμπέρασμα ότι ο γεωργός θα μπορούσε να αλλάξει τον τρόπο διαχείρισης του οπωρώνα από την ομοιόμορφη εφαρμογή λιπασμάτων σε εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις. Όμως λόγω του μεγάλου αριθμού δειγμάτων που λήφθηκαν, το κόστος των αναλύσεων εδάφους ήταν υψηλότερο από τα χρήματα που θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν μειώνοντας την ποσότητα

των λιπασμάτων. Επομένως σε μελλοντική έρευνα πρέπει να διερευνηθεί η μέθοδος και η πυκνότητα δειγματοληψίας καθώς και η ελάχιστη έκταση του οπωρώνα για την οποία η εφαρμογή λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις μπορεί να είναι οικονομικά συμφέρουσα. Εναλλακτικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί από άλλους ερευνητές με σκοπό τη μείωση του κόστους, όπως είναι η δημιουργία ζωνών διαχείρισης για λίπανση με βάση τον όγκο των δένδρων εσπεριδοειδών που εκτιμάται με μεθόδους τηλεπισκόπησης (Zaman & Schuman, 2006).

Επίσης έχει δοκιμαστεί η χρήση αισθητήρων με υπερήχους για τη μέτρηση του όγκου των δένδρων με σκοπό την εφαρμογή λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις σε εσπεριδοειδή στη Φλόριντα των ΗΠΑ (Zaman et al., 2005). Επιπλέον έχουν δοκιμαστεί, σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας, αισθητήρες που προσδιορίζουν τις ανάγκες των φυτών σε Ν με βάση μετρήσεις ανάκλασης και φθορισμού από την κόμη των φυτών (Schachtl et al., 2005, Graeff & Claupein, 2003).

7.2 Πείραμα Αγιάς

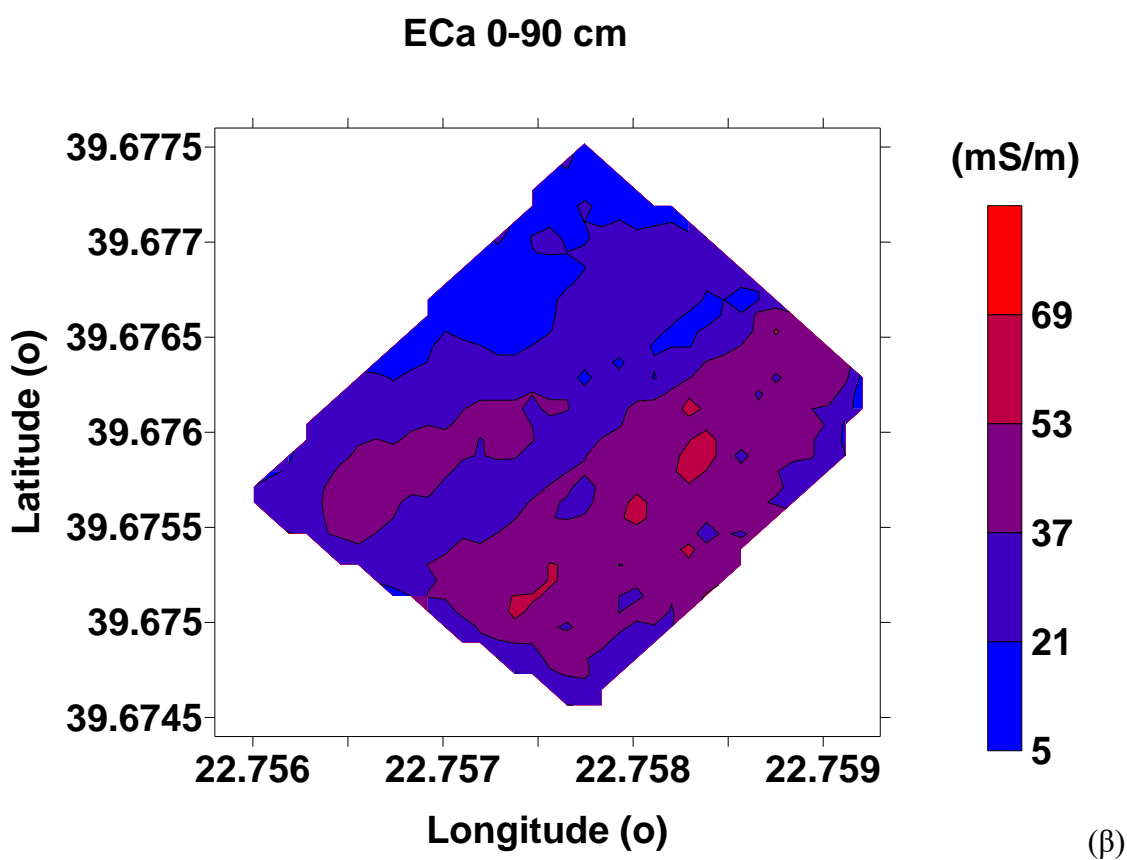
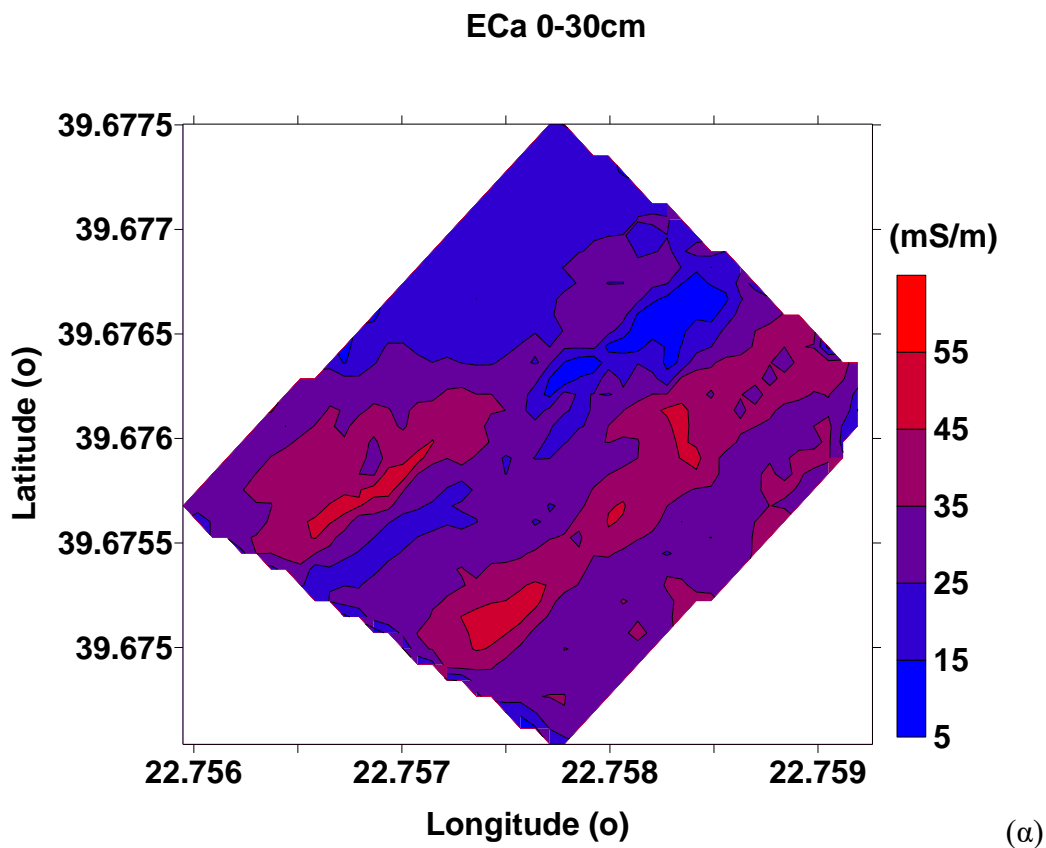
7.2.1 Γενικά

Στο πείραμα της Αγιάς έγινε προσπάθεια να εφαρμοστεί η τεχνολογία της διαμόρφωσης ζωνών διαχείρισης και σε αυτή να γίνουν οι αναλύσεις των εδαφικών χαρακτηριστικών. Για αυτό δημιουργήθηκαν αρχικά ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή και στις ζώνες αυτές λήφθηκαν τα εδαφικά δείγματα όπως αναφέρεται παρακάτω.

7.2.2 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Στην Εικόνα 7.11 παρουσιάζονται οι χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του οπωρώνα σε δύο βάθη 0-30 cm και 0-90cm. Από τον χάρτη των 0-30 cm παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο ζώνες υψηλής αγωγιμότητας: μια στο δυτικό και νότιο τμήμα και μια άλλη ζώνη στο ανατολικό τμήμα του οπωρώνα που εκτείνεται από το βόρειο μέχρι το νότιο τμήμα. Στον υπόλοιπο αγρό η αγωγιμότητα είναι χαμηλότερη. Η ECa πήρε τιμές από 5-55 mS/m και ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν 29,7%. Στο βάθος των 0-90 cm ο χάρτης είναι παρόμοιος με τον αντίστοιχο των 0-30 cm, η ηλεκτρική αγωγιμότητα πήρε τιμές από 5-69 mS/m και ο συντελεστής παραλλακτικότητας ήταν 35%.

Με σύγκριση των χαρτών ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Εικόνα 7.11) και των χαρτών παραγωγής (Εικόνες 4.5, 4.6) φαίνεται ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Στη βιβλιογραφία σε άλλες έρευνες έχει βρεθεί συσχέτιση της παραγωγής με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (Lund et al., 1999) και σε άλλες όχι (Vardoulis et al., 2006). Αυτό συμβαίνει διότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι η μηχανική σύσταση, η αλατότητα, η υγρασία, η θερμοκρασία και οργανική ουσία του εδάφους (Friedman, 2005). Παρόλα αυτά η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης για κατευθυνόμενη δειγματοληψία του εδάφους (Kitchen et al., 2005).



Εικόνα 7.11. Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε βάθος (α) 0-30 cm και (β) 0-90 cm

7.2.3. Χαρτογράφηση ιδιοτήτων του εδάφους

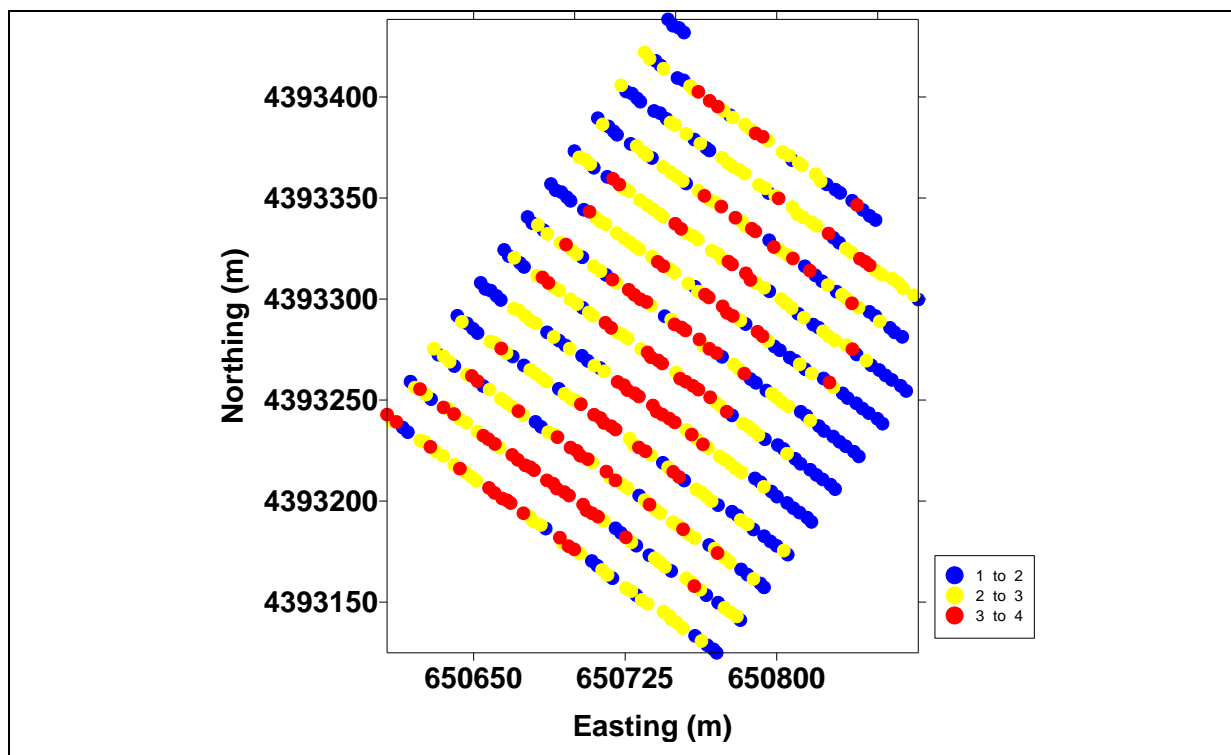
Το Δεκέμβριο του 2005 λήφθηκαν δείγματα εδάφους, προκειμένου να προσδιοριστούν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Τα δείγματα λήφθηκαν σε 20 θέσεις. Σε κάθε θέση λήφθηκαν δύο δείγματα: ένα σε βάθος 0-30cm και ένα σε βάθος 30-60cm. Προκειμένου να καθοριστούν οι θέσεις δειγματοληψίας ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία: ο αγρός χωρίστηκε σε ζώνες διαχείρισης (management zones) με βάση την παραγωγή. Ζώνη διαχείρισης είναι ένα κομμάτι του αγρού σχετικά ομοιόμορφο ως προς μια ιδιότητα, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η παραγωγή. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο fuzzy clustering χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα MZA (Fridgen et al., 2004). Ο αγρός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες: μια υψηλής παραγωγής που καταλάμβανε το 26,6% της επιφάνειας του αγρού, μια μέσης παραγωγής (38,5%) και μια χαμηλής παραγωγής (34,9%). Ο χάρτης που δείχνει τις τρεις αυτές ζώνες παραγωγής παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.12. Ο αριθμός των δειγμάτων ήταν σε αναλογία με την επιφάνεια που καταλάμβανε η κάθε ζώνη. Έτσι ληφθήκαν 5 δείγματα από τη ζώνη υψηλής παραγωγής, 8 δείγματα από τη ζώνη μέσης παραγωγής και 7 δείγματα από τη ζώνη χαμηλής παραγωγής. Τα δείγματα στη συνέχεια εστάλησαν στο εργαστήριο προκειμένου να γίνουν οι εξής αναλύσεις: μηχανική σύσταση του εδάφους, pH, οργανική ουσία, περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), φώσφορο, ανταλλάξιμα κατιόντα (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+), ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και ιχνοστοιχεία (Zn, Fe, B, Cu, Mn).

Τα περιγραφικά στατιστικά των ιδιοτήτων του εδάφους παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.4. Το έδαφος ως προς τη μηχανική σύσταση είναι αμμοαργιλοπηλώδες. Το pH του εδάφους είναι ουδέτερο έως αλκαλικό και κυμαίνεται από 6,9-8,1. Οι τιμές του φωσφόρου κυμαίνονται από 0,5-9,2 ppm για το βάθος των 0-30cm και είναι κάτω από τα όρια επάρκειας που είναι 17,25 ppm (Πίνακας 7.1). Επίσης τα ιχνοστοιχεία Fe και Mn είναι κάτω από τα όρια επάρκειας και ο λόγος είναι το υψηλό pH του εδάφους. Τα υπόλοιπα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα στο έδαφος.

Πίνακας 7.4. Περιγραφικά στατιστικά των ιδιοτήτων του εδάφους (οπωρώνας Αγιάς)

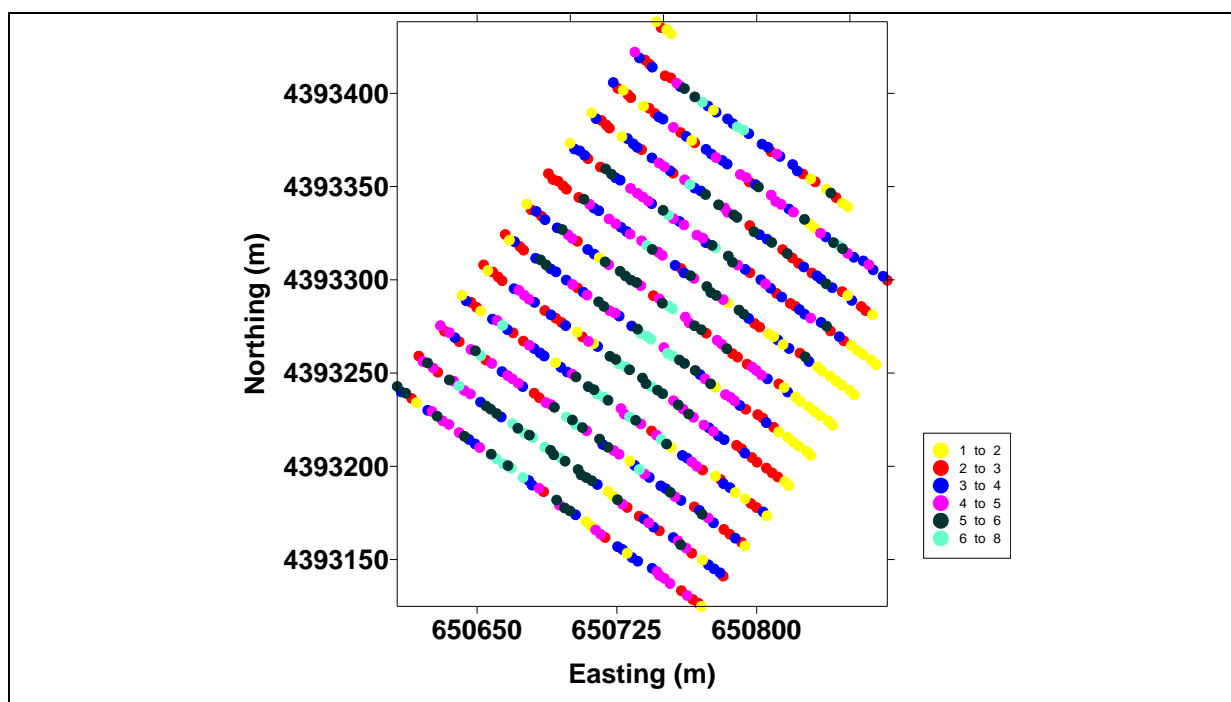
	Βάθος (cm)	M.O.	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	CV(%)	Ασυμμετρία
ECa (mS/m)	0-30	29,4	5,1	59,5	29,7	0,01
	0-90	32,9	5	91	35,1	0,26
Άμμος (%)	0-30	59,5	51,7	65,6	6,9	-0,63
	30-60	59	52	65,5	6,4	-0,09
Άργιλος (%)	0-30	23,5	15,1	31,3	19,4	0,17
	30-60	25,8	16,4	32,1	16,5	-0,44
Ιλύς (%)	0-30	17	13,3	21,8	13,8	0,4
	30-60	15,2	11,5	20,2	17,4	0,41
pH	0-30	7,6	6,9	8,1	3,7	-0,62
	30-60	7,7	7	8	3,7	-0,91
CaCO ₃ (%)	0-30	15,1	11,8	24	21,9	1,42
	30-60	14,9	11,9	23	21,2	1,34
N (mg kg ⁻¹)	0-30	6,4	1,9	13,5	45,1	0,71
	30-60	6,3	1,7	10,6	40,3	-0,07
P (mg kg ⁻¹)	0-30	2,9	0,5	9,2	76,9	1,85
	30-60	3,5	0,3	14	104,8	2,33
K (mg kg ⁻¹)	0-30	179,6	60,4	354,8	52,7	0,82
	30-60	138,1	52,5	241,5	39,6	0,49
Ca (mg kg ⁻¹)	0-30	295,1	125	492	31,8	0,03
	30-60	360,5	145	601	34,2	0,59
Mg (mg kg ⁻¹)	0-30	212,2	104	298	28,2	-0,003
	30-60	199,8	109	399	35,9	1,18
Na (mg kg ⁻¹)	0-30	124,7	18	323	54,4	1,07
	30-60	153,2	28	307	50	0,17
Fe (mg kg ⁻¹)	0-30	9,8	2,8	35,3	84,1	1,97
	30-60	7,8	2,9	22,8	62,2	1,74
Zn (mg kg ⁻¹)	0-30	1,3	0,81	2,71	43,3	1,47
	30-60	1,2	0,8	2,3	26,8	2,14
Mn (mg kg ⁻¹)	0-30	4,5	1,4	9	50,2	0,97
	30-60	4,1	1,3	9,2	53,8	1,15
Cu (mg kg ⁻¹)	0-30	0,6	0,1	2,9	103	2,42
	30-60	0,3	0	0,8	103	0,57
O.Y (%)	0-30	1,9	1,1	3,2	28,6	0,7
	30-60	1,7	1	2,4	25,4	0,45

Από τις ιδιότητες του εδάφους την μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν το pH, η μηχανική σύσταση, το CaCO₃ και η οργανική ουσία. Ενδιάμεση παραλλακτικότητα έδειξαν τα K, Ca, Mg, Zn και N. Τέλος υψηλότερη παραλλακτικότητα έδειξαν τα P, Na, Fe, Mn, Cu.



Εικόνα 7.12. Χάρτης με τρεις ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή

Στην συνέχεια ο οπωράνας χωρίστηκε σε έξι ζώνες διαχείρισης με το λογισμικό MZA (Εικόνα 7.13). Σε κάθε ζώνη βρέθηκε ο μέσος όρος της παραγωγής και ο μέσος όρος των ιδιοτήτων του εδάφους για 0-30cm (Πίνακες 7.5 και 7.6) και υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και εδαφικών ιδιοτήτων για 30-60cm (Πίνακες 7.7 και 7.8).



Εικόνα 7.13 Χάρτης με έξι ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή

Πίνακας 7.5. Μέσοι όροι παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 0-30cm

Παραγωγή (τόνοι/στρ.)	pH	K	Na	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn	Fe	NO2	NO3	NH4	P	Άργιλος	Άμμος	Ίλύς	OY	CaCO3
	(mg/kg)													(%)				
1,1	7,67	211	106	249	284	0,37	1,5	5,13	8,9	1,54	2,2	1,83	4,9	27,3	55,9	16,8	2,3	16,1
2,24	7,82	136	144	197	318	1,11	0,89	3,78	4,6	1,44	5,5	1,87	4,2	23,4	61,2	15,3	1,9	17,5
3,28	7,75	204	119	199	366	0,35	1,08	5,65	9,4	1,49	5,2	1,32	1,9	26,8	57,9	15,3	2,1	15
4,34	7,47	214	137	242	361	0,70	1,63	4,9	14	1,07	3,8	1,79	1,5	21,4	59,4	19,1	1,8	13,8
5,52	7,56	168	121	208	215	0,73	1,67	3,8	12,7	1,56	4,4	1,6	2,9	20,9	61,1	18	1,7	14,4
7,3	7,57	121	109	145	156	0,34	1,2	2,5	8,9	2,75	4,6	1,02	1,1	18,5	60,9	20,6	1,6	12,6

Πίνακας 7.6. Μέσοι όροι παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 30-60cm

Παραγωγή (τόνοι/στρ.)	pH	K	Na	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn	Fe	NO2	NO3	NH4	P	Άργιλος	Άμμος	Ίλύς	OY	CaCO3
	(mg/kg)													(%)				
1,1	7,59	118	133	248	324	0,35	1,07	3,43	6,1	2	2,9	1,2	6	29,4	55,4	15,1	2,1	16
2,24	7,80	188	184	160	370	0,27	1,02	3,1	5,9	1	3,6	1,6	5,1	26,6	60	13,3	1,5	17,1
3,28	7,74	140	150	185	330	0,30	1,37	6,15	8,4	0,76	3,5	1,2	3,2	27,1	59,6	13,3	1,9	14,4
4,34	7,51	113	193	162	410	0,05	1,34	4,0	7,4	0,73	3,5	1,1	2,7	24,5	58,5	17	1,7	13,7
5,52	7,70	118	132	222	370	0,29	1,31	3,74	10,7	1,11	5,1	1,5	1,6	23,5	60,4	16	1,5	14
7,3	7,21	166	89	275	354	0,29	1,27	3,2	4,7	0	4,2	1,8	3	21,1	58,7	20,2	1,4	12,7

Πίνακας 7.7. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 0-30cm

	Παραγωγή	pH	K	Na	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn	Fe	NO ₂	NO ₃	NH ₄	P	Αργίλος	Άμμος	Ιλύς	OY	CaCO ₃	
Παραγωγή	1																			
pH	-0,62	1																		
K	-0,51	-0,19	1																	
Na	-0,18	0,19	-0,08	1																
Mg	-0,69	-0,11	0,84*	0,17	1															
Ca	-0,66	0,31	0,68	0,54	0,61	1														
Cu	-0,19	0,26	-0,30	0,88*	0,12	0,22	1													
Zn	0,18	-0,81	0,51	-0,25	0,54	-0,15	-0,20	1												
Mn	-0,69	0,19	0,92*	0,05	0,75	0,84*	-0,19	0,15	1											
Fe	0,40	-0,87*	0,52	-0,11	0,36	0,02	-0,26	0,87	0,22	1										
NO ₂	0,64	-0,10	-0,71	-0,58	-0,84*	-0,83*	-0,45	-0,25	-0,75	-0,26	1									
NO ₃	0,31	0,40	-0,55	0,53	-0,63	0,08	0,43	-0,68	-0,29	-0,35	0,11	1								
NH ₄	-0,74	0,18	0,42	0,53	0,82*	0,53	0,62	0,22	0,43	-0,04	-0,82*	-0,32	1							
P	-0,81	0,57	0,13	0,02	0,50	0,14	0,32	-0,07	0,24	-0,49	-0,35	-0,37	0,71	1						
Αργίλος	-0,89*	0,61	0,63	-0,12	0,57	0,64	-0,18	-0,18	0,83*	-0,29	-0,51	-0,28	0,41	0,61	1					
Άμμος	0,65	-0,13	-0,77	0,49	-0,60	-0,41	0,59	-0,19	-0,76	-0,05	0,28	0,69	-0,21	-0,37	-0,81	1				
Ιλύς	0,79	0,86*	-0,26	-0,29	-0,32	-0,63	-0,29	0,48	-0,59	0,52	0,54	-0,24	-0,46	-0,62	-0,81	0,32	1			
OY	-0,85*	0,45	0,69	-0,27	0,60	0,56	-0,35	-0,07	0,81	-0,21	-0,40	-0,49	0,37	0,56	0,96*	-0,93*	-0,62	1		
CaCO ₃	-0,88*	0,82*	0,10	0,40	0,40	0,50	0,52	-0,45	0,37	-0,67	-0,51	0,04	0,71	0,85*	0,68	-0,25	-0,85*	0,56	1	

* Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 7.8. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ιδιοτήτων του εδάφους για το βάθος των 30-60cm

	Παραγωγή	pH	K	Na	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn	Fe	NO ₂	NO ₃	NH ₄	P	Αργίλος	Άμμος	Ίλύς	OY	CaCO ₃
Παραγωγή	1																		
pH	-0,66	1																	
K	0,06	0,00	1																
Na	-0,52	0,62	-0,06	1															
Mg	0,40	-0,67	-0,07	-0,95*	1														
Ca	0,34	-0,08	-0,10	0,55	-0,50	1													
Cu	-0,19	0,11	0,26	-0,65	0,59	-0,89*	1												
Zn	0,62	-0,24	-0,44	-0,13	-0,02	0,23	-0,39	1											
Mn	-0,11	0,34	-0,25	0,14	-0,32	-0,30	-0,02	0,63	1										
Fe	0,07	0,54	-0,57	0,19	-0,28	0,16	-0,10	0,51	0,44	1									
NO ₂	-0,81	0,54	-0,43	0,23	-0,05	-0,34	0,32	-0,54	-0,09	0,21	1								
NO ₃	0,75	-0,10	-0,01	-0,34	0,21	0,33	0,01	0,40	-0,17	0,53	-0,40	1							
NH ₄	0,63	-0,43	0,66	-0,58	0,49	0,02	0,32	-0,16	-0,55	-0,33	-0,55	0,59	1						
P	-0,80	0,19	0,29	0,14	0,01	-0,47	0,39	-0,86*	-0,27	-0,61	0,59	-0,79	-0,18	1					
Αργίλος	-0,98*	0,64	-0,16	0,40	-0,31	-0,48	0,29	-0,50	0,26	0,00	0,83*	-0,75	-0,69	0,75	1				
Άμμος	0,45	0,33	0,37	0,19	-0,42	0,40	-0,19	0,37	0,21	0,47	-0,54	0,69	0,38	-0,64	-0,49	1			
Ίλύς	0,80	-0,95*	-0,07	-0,59	0,64	0,27	-0,19	0,31	-0,44	-0,32	-0,56	0,37	0,52	-0,40	-0,80	-0,13	1		
OY	-0,72	0,27	-0,57	0,18	-0,06	-0,48	0,14	-0,07	0,45	0,08	0,70	-0,73	-0,85*	0,48	0,82*	-0,69	-0,46	1	
CaCO ₃	-0,87*	0,69	0,32	0,48	-0,40	-0,23	0,29	-0,84*	-0,20	-0,16	0,67	-0,49	-0,22	0,80	0,78	-0,17	-0,76	0,30	1

* Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Από τους παραπάνω πίνακες συσχέτισης βρέθηκε ότι στις έξι ζώνες που δημιουργήθηκαν με το λογισμικό MZA η παραγωγή είχε αρνητική συσχέτιση με το pH του εδάφους, το φώσφορο, την άργιλο, την οργανική ουσία και το ανθρακικό ασβέστιο και θετική συσχέτιση με το ποσοστό της ιλύος και στα δύο βάθη δειγματοληψίας. Η αρνητική συσχέτιση με το pH του εδάφους πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι είναι αλκαλικό και κυμαίνεται από 6,9-8,1 ενώ το άριστο για τη μηλιά είναι 6,5-6,8 (Βασιλακάκης, 2004). Ο ίδιος λόγος είναι που υπάρχει αρνητική συσχέτιση με το ανθρακικό ασβέστιο το οποίο ανεβάζει το pH του εδάφους. Ο φώσφορος δεν επηρεάζει την παραγωγή στη μηλιά οπότε η αρνητική συσχέτιση που βρέθηκε είναι άνευ σημασίας. Η αρνητική συσχέτιση της παραγωγής με την οργανική ουσία και με το ποσοστό της αργίλου οφείλεται στο γεγονός ότι η άργιλος και η οργανική ουσία απελευθερώνουν άζωτο το οποίο ευνοεί τη βλάστηση στη μηλιά η οποία ανταγωνίζεται την παραγωγή. Αντίθετα η μηλιά προτιμά τα μέσης σύστασης καλά στραγγιζόμενα εδάφη (Βασιλακάκης, 2004) και για το λόγο αυτό η παραγωγή έχει υψηλό θετικό συντελεστή συσχέτισης με το ποσοστό της ιλύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

8.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

Για να πραγματοποιηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ παραγωγής και ποιότητας μετρήθηκε η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών σε 30 θέσεις για την ποικιλία Red Chief και σε 20 θέσεις για τη Fuji. Οι συσχετίσεις για την ποικιλία Red Chief παρουσιάζονται στους Πίνακες 8.1- 8.3 και για τη Fuji στους Πίνακες 8.4-8.6

Για την ποικιλία Red Chief βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και περιεκτικότητας του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά για τα έτη 2004 και 2005 που σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η παραγωγή ανά δένδρο η περιεκτικότητα του καρπού σε διαλυτά στερεά συστατικά μειώνεται, δηλαδή υποβαθμίζεται η ποιότητα του καρπού. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν για το 2004 $r = -0.44$ και για το 2005 $r = -0.34$. Επίσης βρέθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ βάρους καρπού και σκληρότητας σάρκας που σημαίνει ότι όσο πιο μεγάλος είναι ο καρπός της ποικιλίας Red Chief, τόσο πιο μαλακός είναι ο καρπός. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν $r = -0,75$ για το 2004, $r = -0,50$ για το 2005 και $r = -0,57$ για το 2006 και ήταν στατιστικά σημαντικοί και για τα τρία έτη. Τέλος όλοι οι δείκτες χρώματος, δηλαδή η φωτεινότητα L, το C που δείχνει τη μετάβαση από το γκρι στο έγχρωμο και η γωνία Hue που δείχνει την απόχρωση, σχετίστηκαν θετικά μεταξύ τους καθώς οι καρποί είχαν πολύ καλό βαθύ κόκκινο χρώμα. Αυτό μας βοηθάει πιθανόν να εκφράσουμε με έναν μόνο δείκτη το έντονο κόκκινο χρώμα των μήλων.

Στην ποικιλία Fuji παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής ανά δένδρο και περιεκτικότητας του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά. Επιπλέον στην ποικιλία αυτή παρατηρήθηκε αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και οξύτητας χυμού που εκφράζει την περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Το μηλικό οξύ είναι το κυριότερο οξύ των μήλων και δίνει σε συνδυασμό με τα σάκχαρα τη χαρακτηριστική γεύση των καρπών. Επομένως η αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και διαλυτών στερεών συστατικών και οξύτητας δείχνει ότι όταν αυξάνεται η παραγωγή ανά δένδρο μειώνεται η γευστική ποιότητα των καρπών. Επίσης στην ποικιλία Fuji παρατηρήθηκε θετική συσχέτιση μεταξύ περιεκτικότητας του χυμού σε διαλυτά στερεά συστατικά και οξύτητας χυμού που σημαίνει ότι όταν αυξάνονται τα σάκχαρα αυξάνεται και η περιεκτικότητα του καρπού σε μηλικό οξύ. Ο συνδυασμός του γλυκού από τα σάκχαρα με το ξινό από το μηλικό οξύ δίνει την εξαιρετική γεύση στα μήλα Fuji.

Πίνακας 8.1. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2004

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότ. σάρκας	Διαλυτ στερεά	pH	Οξύτητα	L	C	Hue
Παραγωγή /δένδρο	1								
Βάρος καρπού	0,13	1							
Σκληρότητα σάρκας	0,16	-0,78*	1						
Διαλυτά στερεά	-0,44*	-0,04	0,24	1					
pH	-0,30	0,05	0,01	0,26	1				
Οξύτητα	-0,04	-0,22	0,29	0,08	-0,22	1			
L	0,12	0,05	-0,08	-0,13	-0,43*	0,19	1		
C	0,20	0,14	-0,20	-0,26	-0,35	0,11	0,74*	1	
Hue	0,23	-0,01	0,01	-0,11	-0,37*	0,10	0,90*	0,70*	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 8.2. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2005

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότ σάρκας	Διαλυτ στερεά	pH	Οξύτητα	L	C	Hue
Παραγωγή /δένδρο	1								
Βάρος καρπού	-0,01	1							
Σκληρότητα σάρκας	-0,02	-0,50*	1						
Διαλυτά στερεά	-0,34	0,12	-0,28	1					
pH	0,11	0,26	0,11	-0,06	1				
Οξύτητα	-0,02	0,34	-0,21	0,17	-0,18	1			
L	0,04	0,32	-0,39*	-0,07	0,02	0,13	1		
C	-0,02	0,38*	-0,61*	0,02	0,01	0,13	0,68*	1	
Hue	-0,04	0,37*	-0,69*	0,18	-0,07	0,09	0,85*	0,78*	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 8.3 Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Red Chief για το 2006

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότ σάρκας	Διαλ. στερεά	pH	Οξύτητα	L	C	Hue
Παραγωγή /δένδρο	1								
Βάρος καρπού	0,58*	1							
Σκληρότη- τα σάρκας	-0,41*	-0,57*	1						
Διαλυτά στερεά	0,50*	0,31	-0,10	1					
pH	0,09	0,24	-0,07	0,38*	1				
Οξύτητα	0,05	0,06	0,41*	0,02	0,31	1			
L	-0,21	0,02	-0,01	-0,22	0,36	0,22	1		
C	0,04	0,03	-0,12	0,23	0,16	-0,18	0,51*	1	
Hue	0,17	0,43*	-0,25	0,08	0,42*	0,25	0,78*	0,50*	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 8.4. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2004

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότητα σάρκας	Διαλυτά στερεά	pH	Οξύτητα
Παραγωγή /δένδρο	1					
Βάρος καρπού	-0,03	1				
Σκληρότητα σάρκας	-0,25	0,09	1			
Διαλυτά στερεά	-0,49*	-0,07	0,43	1		
pH	0,13	0,16	-0,37	-0,37	1	
Οξύτητα	-0,26	-0,16	0,29	0,61*	-0,32	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 8.5. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2005

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότητα σάρκας	Διαλυτά στερεά	pH	Οξύτητα
Παραγωγή /δένδρο	1					
Βάρος καρπού	-0,19	1				
Σκληρότητα σάρκας	-0,69*	-0,01	1			
Διαλυτά στερεά	-0,77*	0,10	0,44	1		
pH	0,38	-0,30	-0,30	-0,37	1	
Οξύτητα	-0,80*	0,13	0,72*	0,54*	-0,29	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

Πίνακας 8.6. Πίνακας συσχέτισης μεταξύ παραγωγής και ποιότητας για την ποικιλία Fuji για το 2006

	Παραγωγή/ δένδρο	Βάρος καρπού	Σκληρότητα σάρκας	Διαλυτά στερεά	pH	Οξύτητα
Παραγωγή /δένδρο	1					
Βάρος καρπού	0,14	1				
Σκληρότητα σάρκας	-0,01	-0,42	1			
Διαλυτά στερεά	-0,23	-0,38	0,52*	1		
pH	-0,04	0,58*	-0,67*	-0,59*	1	
Οξύτητα	-0,48*	-0,42	0,40	0,55*	-0,34	1

*Στατιστικά σημαντικό για $p=0,05$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΧΩΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

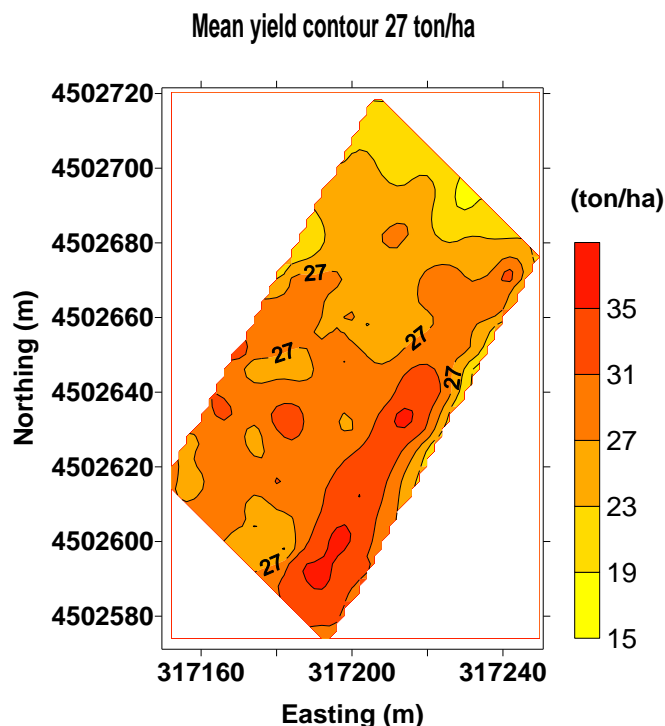
9.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

9.1.1 Παραγωγή

Χάρτης τάσης παραγωγής

Από τους χάρτες παραγωγής για τα τρία έτη 2004, 2005, 2006 (Εικόνες 4.2, 4.3) δημιουργήθηκε ο χάρτης τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.1) για τα τρία έτη. Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε υπολογίζοντας σε κάθε σημείο τη μέση τιμή της παραγωγής για τα τρία έτη και δείχνει την τάση που διαμορφώνεται στην παραγωγή σε κάθε σημείο του οπωρώνα.

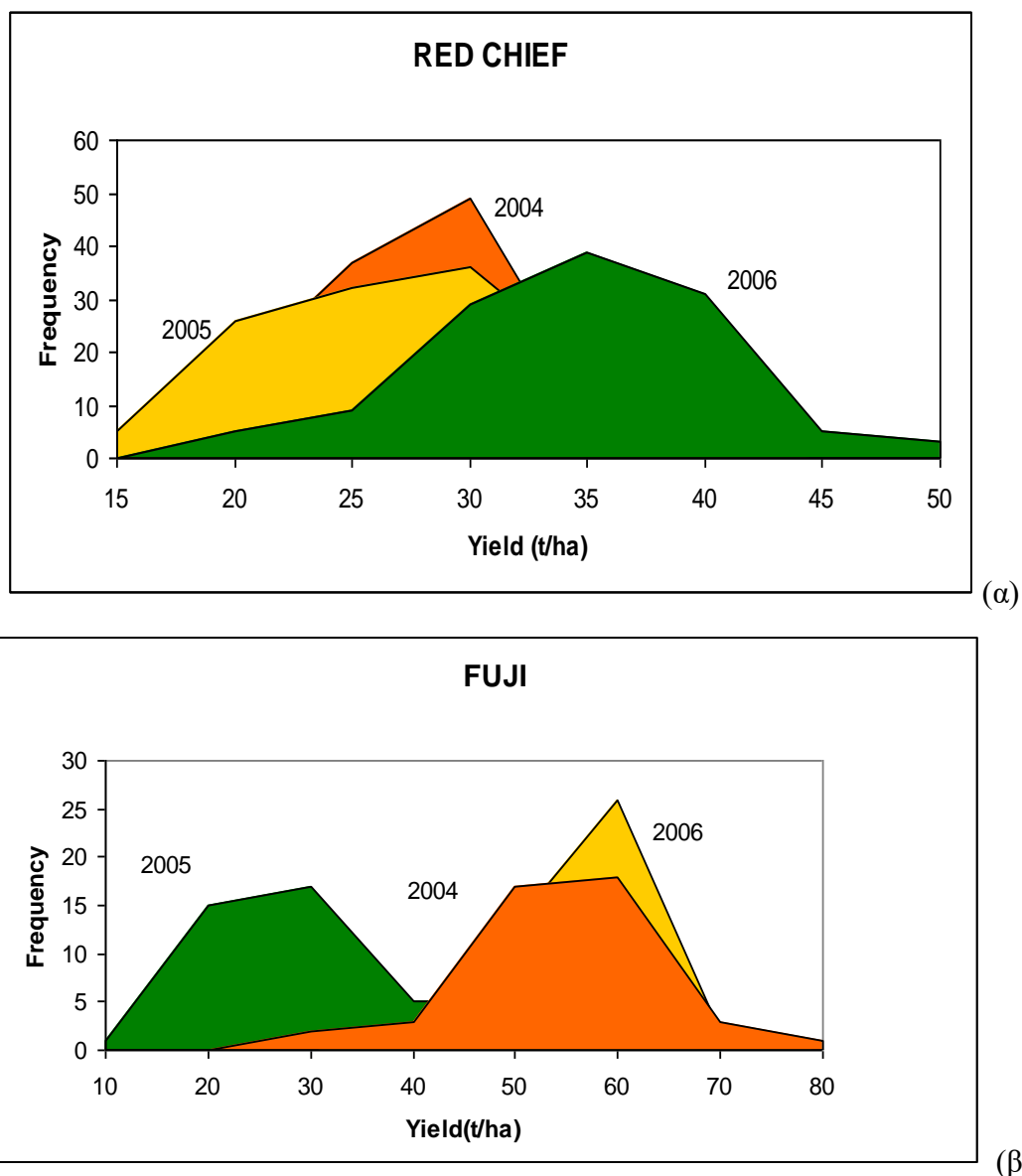
Ο χάρτης τάσης παραγωγής δείχνει ότι η παραγωγή κυμάνθηκε από 15-35 τόνους/εκτάριο κατά μέσο όρο τα τρία έτη και ότι η μέση παραγωγή για όλα τα σημεία και όλα τα έτη ήταν 27 τόννοι/εκτάριο. Στο χάρτη επίσης έχει προστεθεί η ισουψής γραμμή των 27 τόννων/εκτάριο. Έτσι φαίνεται στο χάρτη ότι το νότιο τμήμα του οπωρώνα παράγει σταθερά πάνω από το μέσο όρο για τα τρία έτη του πειράματος και το βόρειο τμήμα παράγει κάτω από τον μέσο όρο. Άρα θα μπορούσε ο οπωρώνας να χωριστεί σε δύο ζώνες διαχείρισης μια υψηλής παραγωγής που καλύπτει το νότιο τμήμα του και σε μία ζώνη χαμηλής παραγωγής που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του.



Εικόνα 9.1 Χάρτης τάσης παραγωγής της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006

Ιστογράμματα παραγωγής

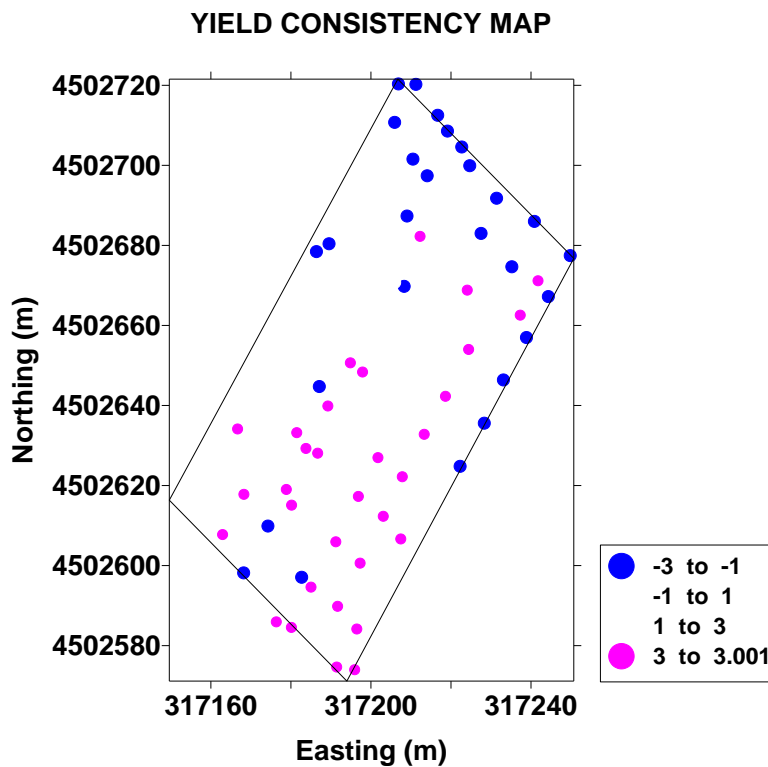
Στην Εικόνα 9.2 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος και για τις δύο ποικιλίες του σπωρώνα. Παρατηρούμε ότι η ποικιλία Red Chief είχε παραπλήσια παραγωγή τα έτη 2004 και 2005 (γύρω τους 24 τόνους/ εκτάριο κατά μέσο όρο) ενώ το 2006 είχε κατά 30% μεγαλύτερη παραγωγή από τα προηγούμενα έτη. Η ποικιλία Fuji το 2005 είχε κατά μέσο όρο 25 τόνους/εκτάριο ενώ τα έτη 2004 και 2006 είχε περίπου διπλάσια παραγωγή από το 2005 που δείχνει ότι η ποικιλία αυτή παρενιαυτοφορεί σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 9.2. Ιστογράμματα παραγωγής για την ποικιλία (α) Red Chief και (β) Fuji για τα τρία έτη του πειράματος

Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής

Στην Εικόνα 9.3 παρουσιάζεται ο χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας για την ποικιλία Red Chief. Για τη δημιουργία του χάρτη αυτού υπολογίστηκε σε κάθε σημείο του αγρού η χρονική παραλλακτικότητα από την εξίσωση (3.5). Στο χάρτη παρουσιάζονται δύο κλάσεις: η μία στο βόρειο τμήμα του οπωρώνα που παράγει και τα τρία έτη σταθερά κάτω από το μέσο όρο και η δεύτερη στο κεντρικό και νότιο τμήμα που παράγει σταθερά πάνω από το μέσο όρο. Τα υπόλοιπα τμήματα του αγρού άλλες χρονιές παράγουν πάνω από το μέσο όρο και άλλες χρονιές κάτω από το μέσο όρο. Σε γενικές γραμμές θα λέγαμε ότι το νότιο τμήμα του αγρού είναι πιο παραγωγικό από το βόρειο γεγονός που έδειξε και ο χάρτης τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.1).



Εικόνα 9.3. Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή για την ποικιλία Red Chief

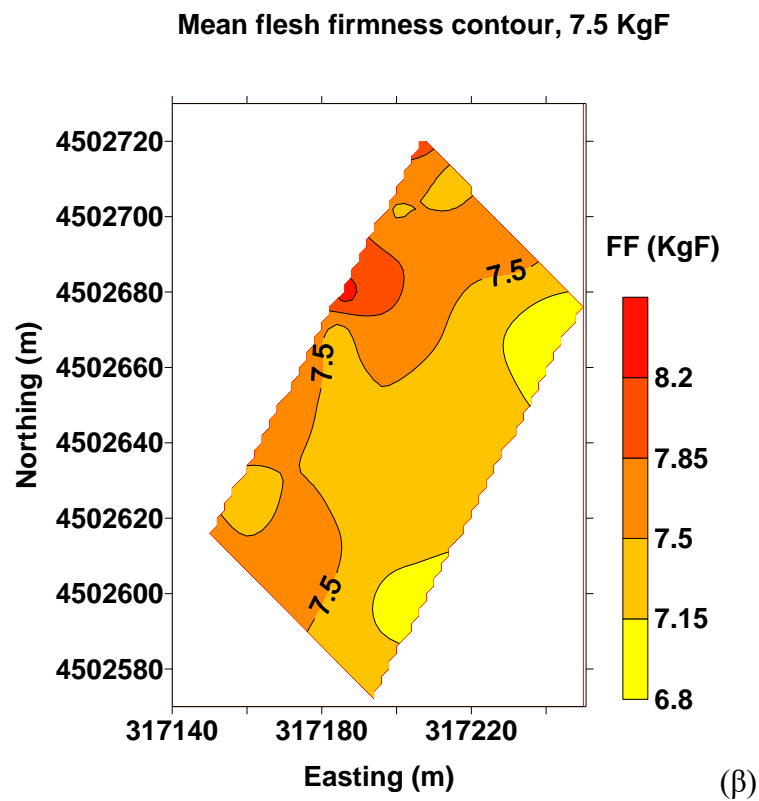
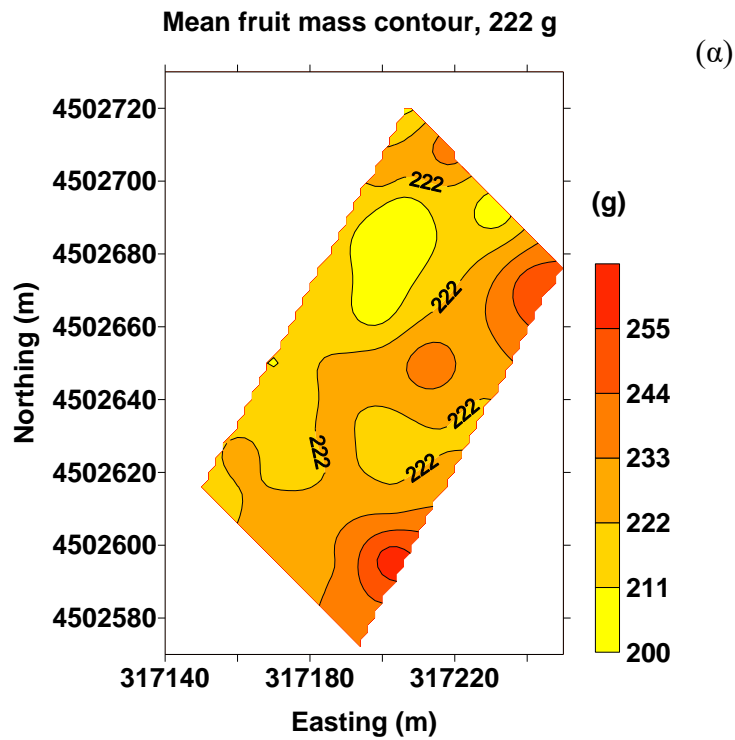
9.1.2 Ποιότητα

Εκτός από τη χωρική παραλλακτικότητα της ποιότητας καρπού παρατηρούμε ότι υπάρχει και χρονική παραλλακτικότητα που σημαίνει ότι σε μια περιοχή του αγρού υπάρχουν διαφορές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά από χρονιά σε χρονιά. Η παραλλακτικότητα από χρονιά σε χρονιά πιθανότατα οφείλεται στις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν από έτος σε έτος. Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες τάσης ποιότητας, τα ιστογράμματα ποιότητας και οι χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας ποιότητας.

Χάρτες τάσης ποιότητας

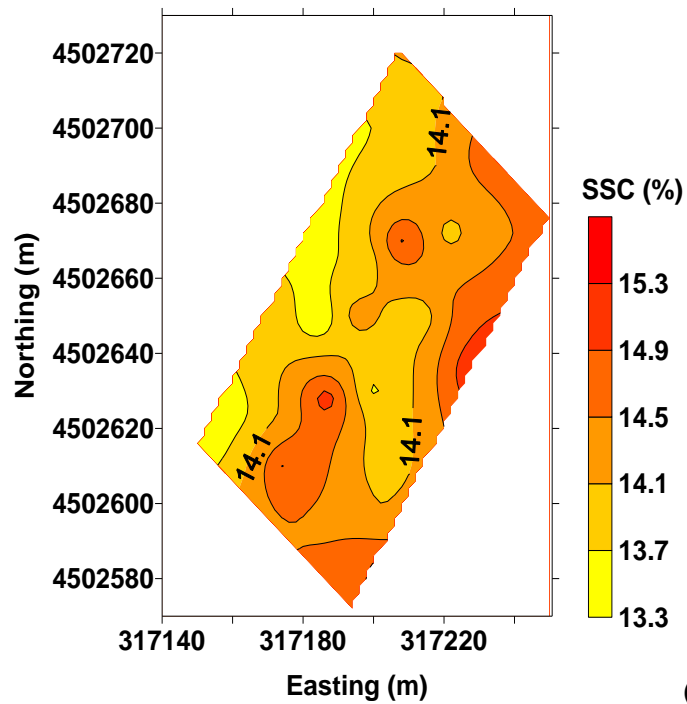
Οι χάρτες τάσης για την ποιότητα παρουσιάζονται στις Εικόνες 9.4 - 9.6. Οι χάρτες τάσης δημιουργήθηκαν υπολογίζοντας σε κάθε σημείο του αγρού τη μέση τιμή των ποιοτικών χαρακτηριστικών για τα τρία έτη του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα ποιοτικά χαρακτηριστικά στα τρία αυτά έτη. Από τους χάρτες αυτούς φαίνεται ότι το βάρος καρπού (Εικόνα 9.4 α) κυμάνθηκε από 200-255 g και το μέσο βάρος καρπού για όλα τα σημεία του αγρού και για τα τρία έτη ήταν 222 g. Η σκληρότητα σάρκας (Εικόνα 9.4 β) πήρε τιμές από 6,8-8,2 kgF με μέσο όρο 7,5 kgF. Παρατηρούμε ότι στο δυτικό τμήμα του οπωρώνα υπάρχει μια τάση για τα τρία έτη του πειράματος οι καρποί να έχουν υψηλότερη σκληρότητα σάρκας (πάνω από το μέσο όρο). Αν αυτό εξακολουθεί να συμβαίνει επί σειρά ετών θα ήταν δυνατό οι καρποί που προέρχονται από το δυτικό τμήμα του οπωρώνα και έχουν την υψηλότερη σκληρότητα σάρκας να αποθηκεύονται στα ψυγεία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ενώ οι καρποί με τη χαμηλότερη σκληρότητα να αποθηκεύονται για μικρότερο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να έχουν καλύτερη ποιότητα κατά την έξοδό τους από τη συντήρηση. Τα διαλυτά στερεά συστατικά (Εικόνα 9.5α) πήραν τιμές από 13,3-15,3% με μέσο όρο 14,1% και από το χάρτη φαίνεται ότι στο δυτικό τμήμα του οπωρώνα βρέθηκαν οι καρποί με τα χαμηλότερα διαλυτά στερεά συστατικά. Συνδυάζοντας τα χαμηλότερα διαλυτά στερεά με τη μεγαλύτερη σκληρότητα σάρκας στο δυτικό κομμάτι του οπωρώνα θα λέγαμε ότι σε αυτό το τμήμα του αγρού οι καρποί είναι πιο ανώριμοι από τον υπόλοιπο αγρό κατά τη συγκομιδή. Η οξύτητα χυμού (Εικόνα 9.5β) πήρε τιμές από 0,266-0,326% με μέσο όρο 0,296% και από το χάρτη παρατηρούμε ότι στο νότιο τμήμα του οπωρώνα οι καρποί είχαν χαμηλότερη οξύτητα. Σχετικά με το χρώμα των καρπών δημιουργήθηκε ο χάρτης τάσης για την απόχρωση που εκφράζεται με τη γωνία Hue (Hue =0° εκφράζει το κόκκινο-μωβ χρώμα και Hue =90° εκφράζει το κίτρινο χρώμα). Η γωνία Hue πήρε τιμές από 17,5-28,3° με μέσο όρο 21,1° που σημαίνει ότι οι καρποί είχαν πολύ καλό κόκκινο χρώμα

(Εικόνα 9.6). Επίσης από το χάρτη παρατηρούμε ότι στο δυτικό τμήμα του σπυρώνα οι τιμές της Hue είναι μικρότερες που σημαίνει ότι οι καρποί έχουν πιο καλό κόκκινο χρώμα παρόλο που, όπως αναφέρθηκε, ήταν κάπως πιο ανώριμοι.

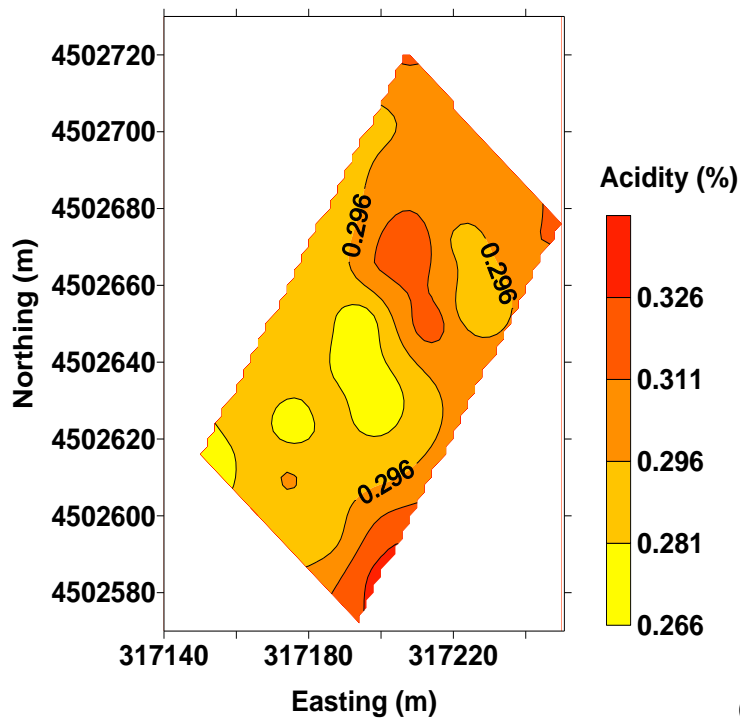


Εικόνα 9.4. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού, (β) σκληρότητα σάρκας

Mean soluble solids content contour, 14.1 %

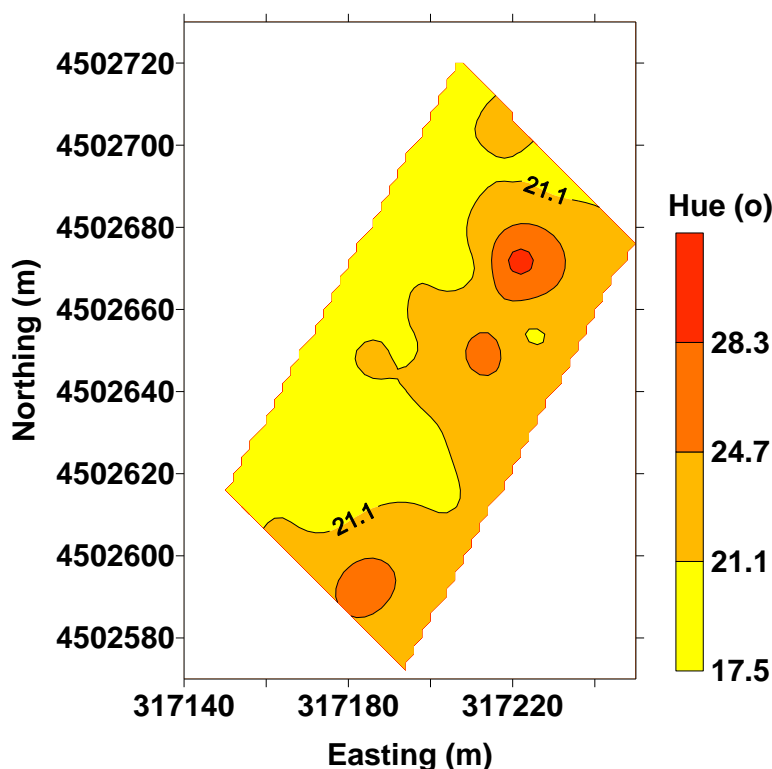


Mean acidity contour, 0.296 (%)



Εικόνα 9.5. Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά (%), (β) οξύτητα χυμού

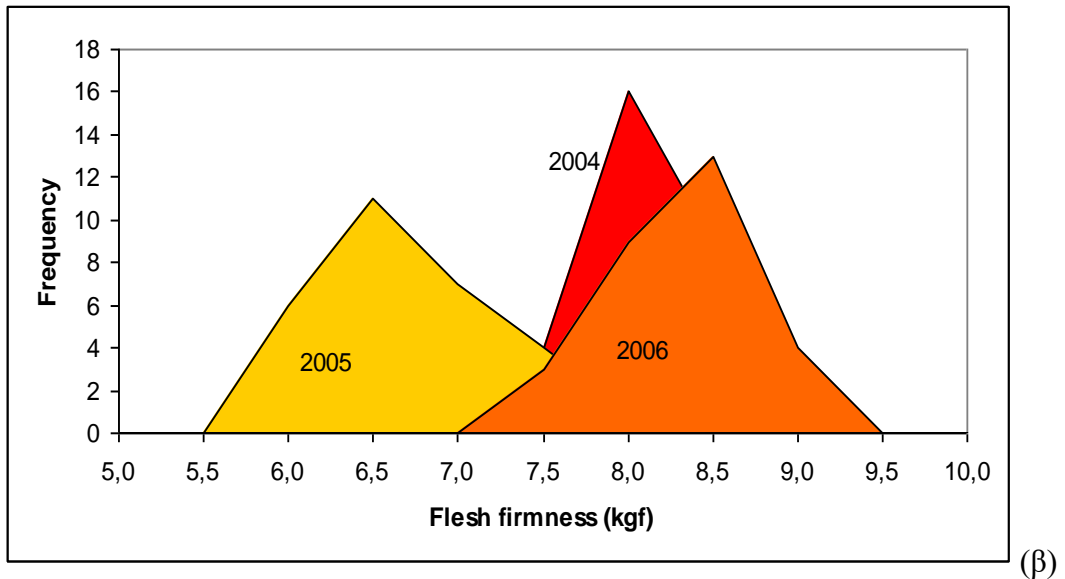
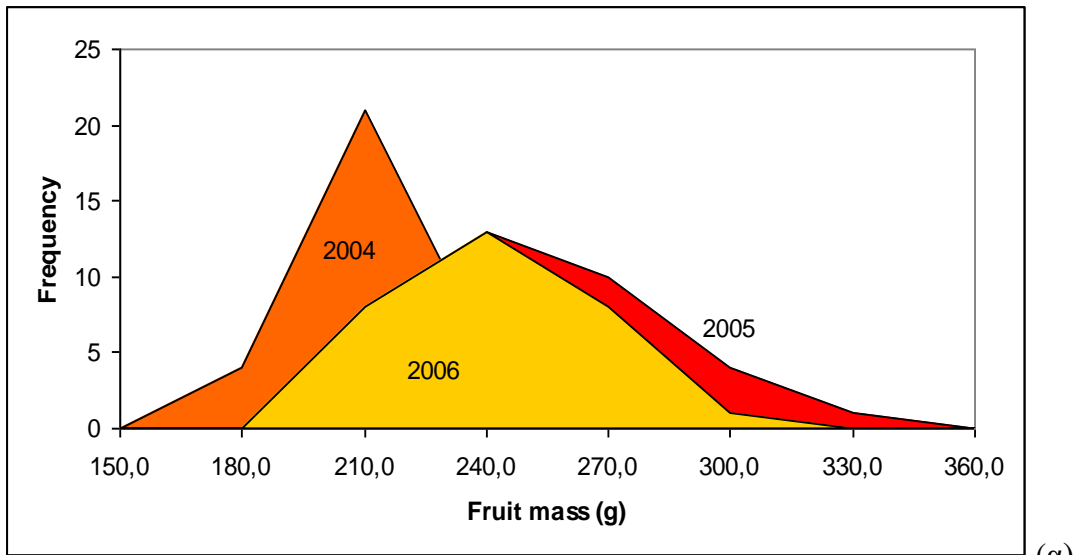
Mean Hue contour, 21.1o



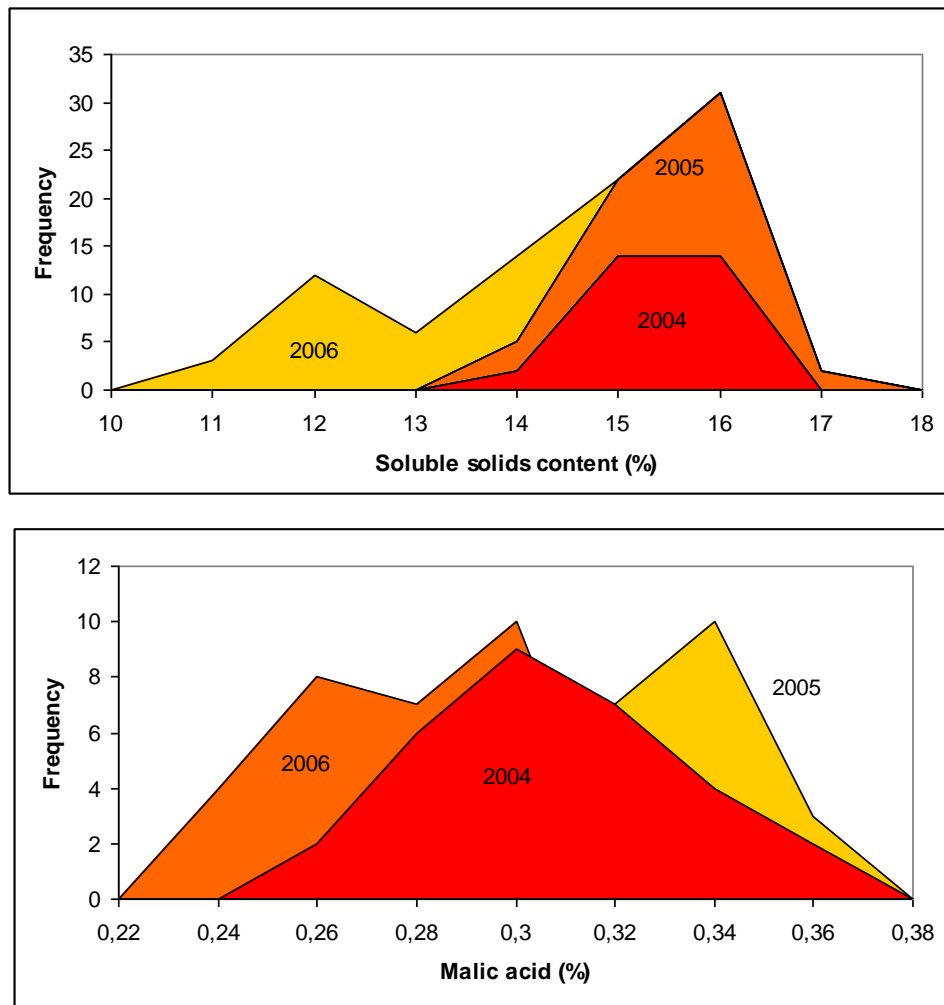
Εικόνα 9.6 Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για χρώμα καρπού (γωνία Hue)

Ιστογράμματα ποιότητας

Από τα ιστογράμματα ποιότητας για την ποικιλία Red Chief (Εικόνες 9.7-9.8) παρατηρούμε ότι τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών παρουσιάζουν διαφορές από έτος σε έτος. Το βάρος των καρπών (Πίνακας 5.1) το 2004 πήρε τιμές από 170-225g ενώ τα άλλα δύο έτη είχε μεγαλύτερες τιμές (το 2005 το βάρος των καρπών ήταν από 202-304 g και το 2006 από 192-278 g). Η σκληρότητα σάρκας (Πίνακας 5.1) ήταν χαμηλότερη το 2005 και πήρε τιμές από 5,6-7,7 kgf, ενώ το 2004 και το 2006 ήταν μεγαλύτερη και σε ικανοποιητικά επίπεδα (7,2-8,4 kgf για το 2004 και 7,3-9 kgf για το 2006). Τα διαλυτά στερεά συστατικά (Πίνακας 5.1) ήταν χαμηλότερα το 2006 (10,7-14%) ενώ το 2004 και το 2005 είχαν μεγαλύτερες τιμές (περίπου από 14-16,5%). Η οξύτητα χυμού (Πίνακας 5.1) ήταν χαμηλότερη το 2006 (0,221-0,301%), υψηλότερη το 2004 (0,241-0,348%) και λίγο υψηλότερη το 2005 (0,268-0,442%).

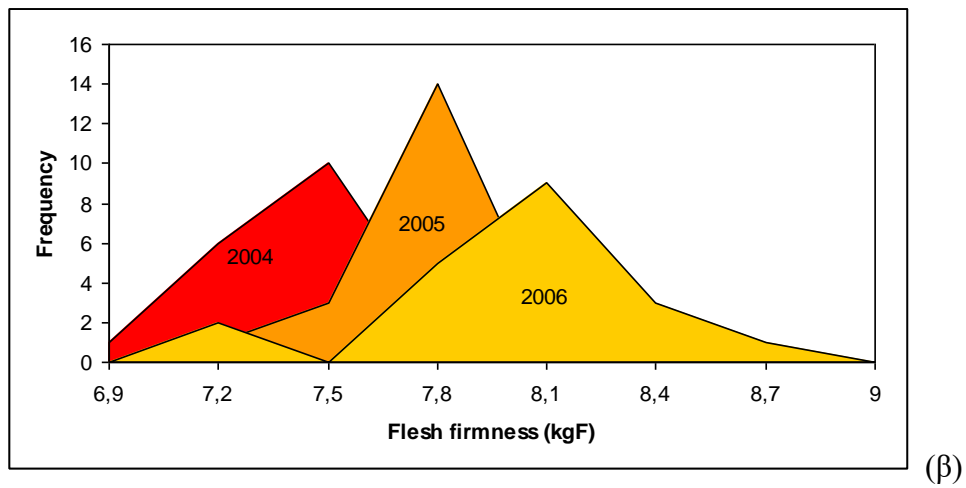
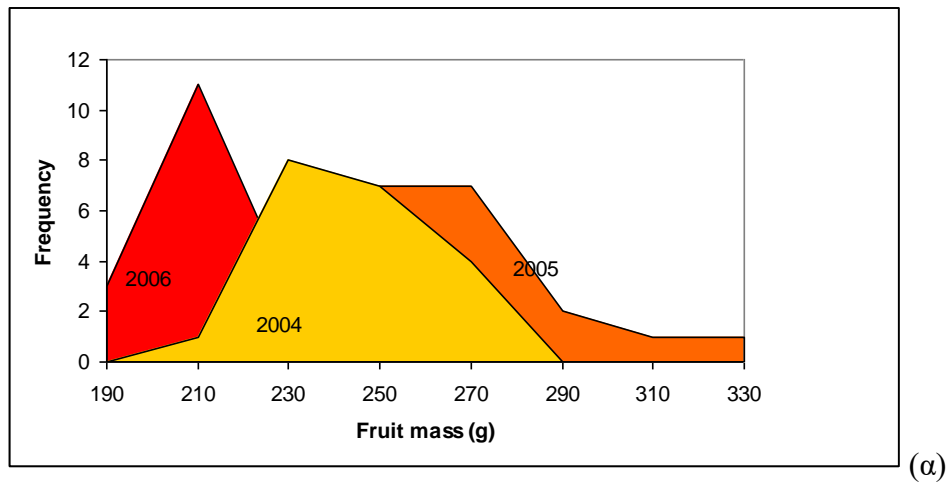


Εικόνα 9.7. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού και (β) σκληρότητα σάρκας

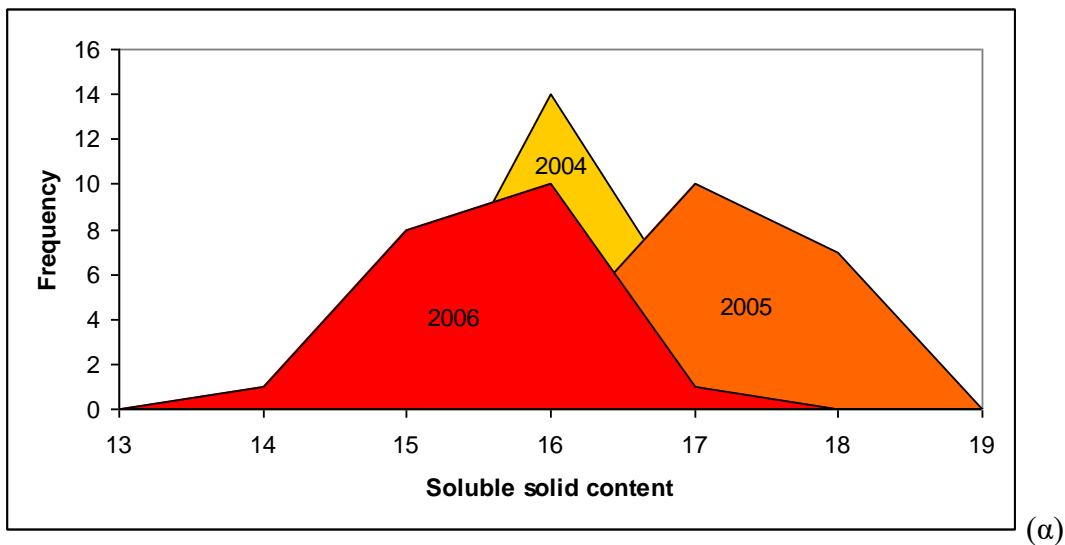


Εικόνα 9.8. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά και (β) οξύτητα χυμού

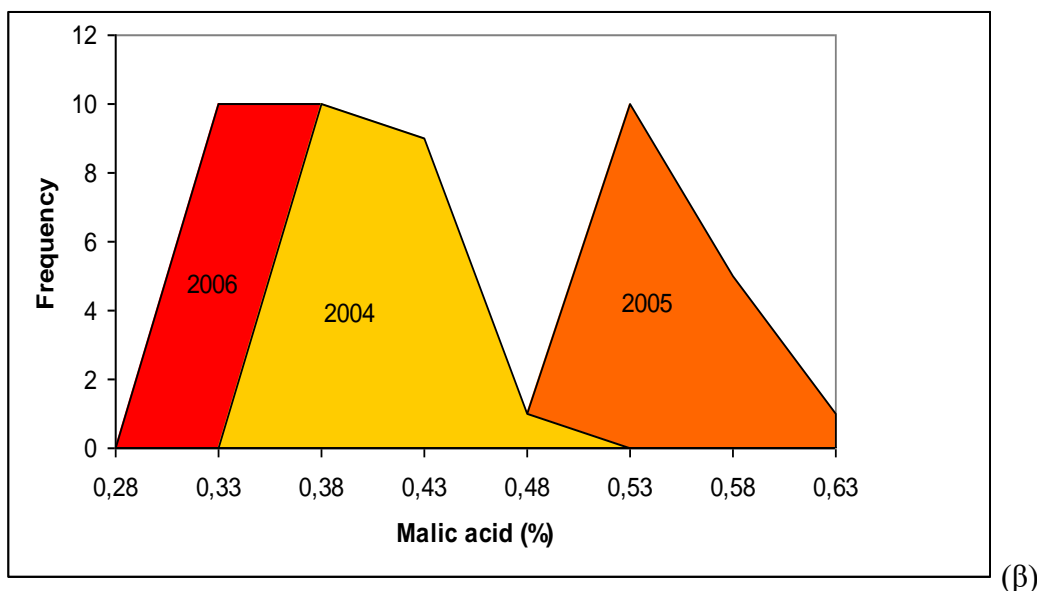
Για την ποικιλία Fuji τα ιστογράμματα ποιότητας παρουσιάζονται στις Εικόνες 9.9 και 9.10 από τα οποία παρατηρούμε ότι και στην ποικιλία Fuji οι τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών διαφέρουν από έτος σε έτος. Από τα ιστογράμματα ποιότητας για τις δύο ποικιλίες φαίνεται ότι οι καρποί της ποικιλίας Fuji έχουν υψηλότερες τιμές διαλυτών στερεών συστατικών και οξύτητας από την ποικιλία Red Chief κατά τη συγκομιδή, που σημαίνει ότι έχουν καλύτερη γεύση και επομένως καλύτερη ποιότητα.



Εικόνα 9.9. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Fuji για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) βάρος καρπού και (β) σκληρότητα σάρκας



(α)



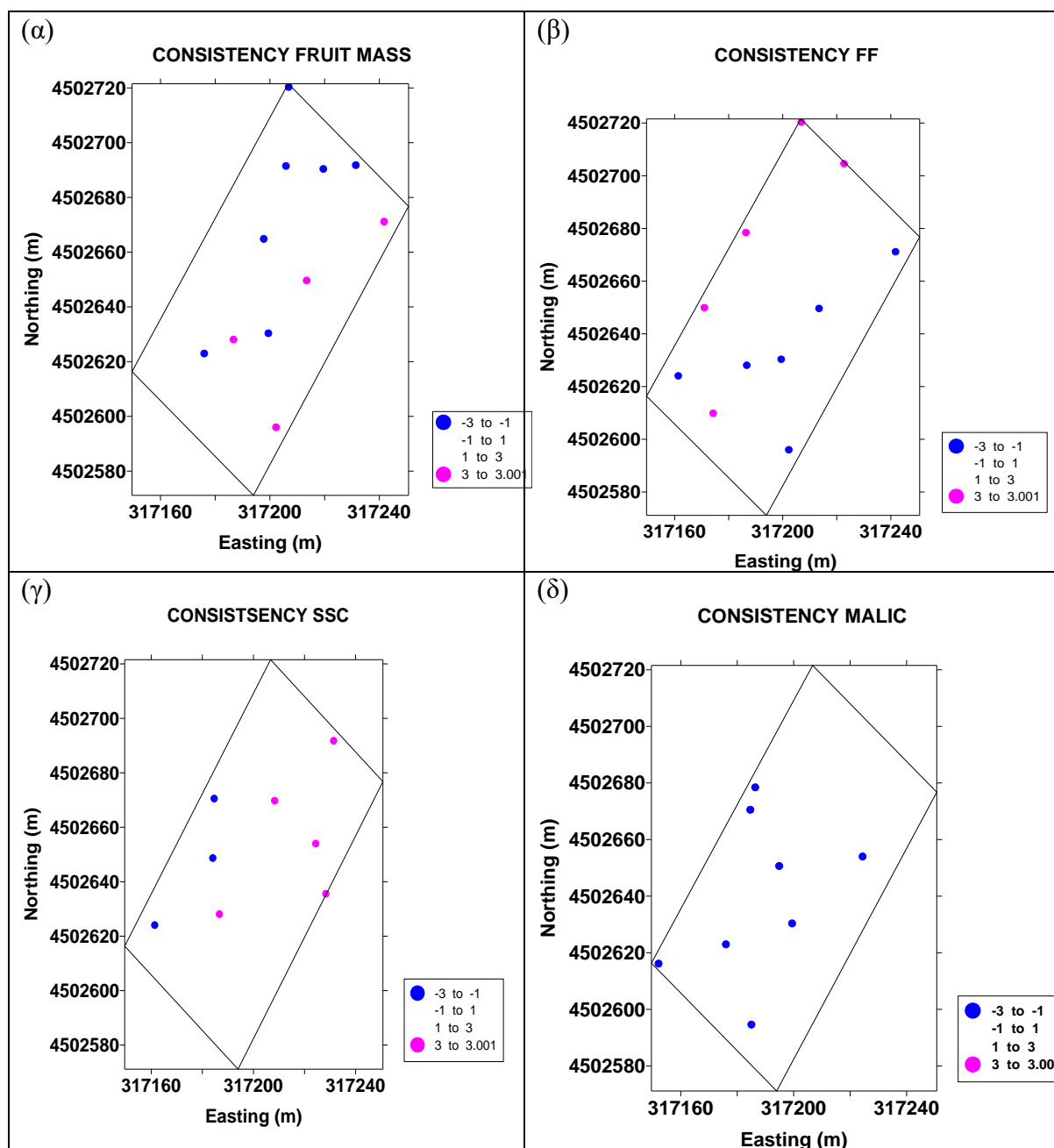
(β)

Εικόνα 9.10. Ιστογράμματα ποιότητας της ποικιλίας Fuji για τα έτη 2004, 2005 και 2006 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά και (β) οξύτητα χυμού

Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας ποιότητας

Στην Εικόνα 9.11 παρουσιάζονται οι χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών για την ποικιλία Red Chief. Στους χάρτες αυτούς φαίνονται οι περιοχές του σπωρώνα που τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι πάνω από το μέσο όρο του έτους (κλάση 3-3.001) και οι περιοχές του σπωρώνα που η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο του έτους (κλάση -3 -1). Στις υπόλοιπες περιοχές τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι άλλοτε πάνω από το μέσο όρο και άλλοτε κάτω από το μέσο όρο που σημαίνει ότι

δεν έχουν μια σταθερή τάση με το χρόνο. Για το βάρος καρπού (Εικόνα 9.11 α) φαίνεται ότι στο βόρειο και δυτικό τμήμα του αγρού το βάρος καρπού είναι σταθερά χαμηλότερο από το μέσο όρο και τα τρία έτη ενώ υπάρχουν διάσπαρτα σημεία στο ανατολικό τμήμα που το βάρος καρπού είναι σταθερά πάνω από το μέσο όρο. Για τη σκληρότητα σάρκας (Εικόνα 9.11β) παρατηρούμε ότι στο δυτικό τμήμα του οπωρώνα είναι μεγαλύτερη από το μέσο όρο και στο ανατολικό τμήμα του οπωρώνα μικρότερη από το μέσο όρο. Το ίδιο είχε παρατηρηθεί και στον αντίστοιχο χάρτη τάσης ποιότητας (Εικόνα 9.4 β). Τα διαλυτά στερεά συστατικά (Εικόνα 9.11γ) στο ανατολικό και βόρειο τμήμα είναι πάνω από το μέσο όρο ενώ στο δυτικό και νότιο κάτω από το μέσο όρο. Η οξύτητα χυμού (Εικόνα 9.11 δ) είναι κάτω από το μέσο όρο στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα ενώ στον υπόλοιπο οπωρώνα είναι άλλα έτη πάνω και άλλα έτη κάτω από το μέσο όρο. Σε γενικές γραμμές μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι δεν διαμορφώνονται σταθερές ζώνες διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ποιότητα των καρπών και οι οποίες καιρικές συνθήκες αλλάζουν από έτος σε έτος.



Εικόνα 9.11. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) βάρος καρπού, (β)σκληρότητα σάρκας, (γ) διαλυτά στερεά συστατικά (δ) οξύτητα χυμού για την ποικιλία Red Chief

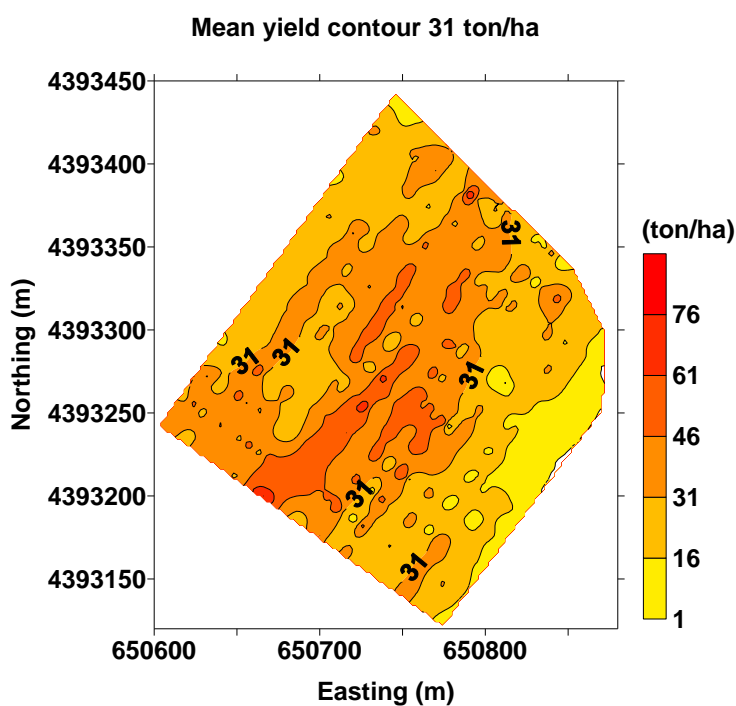
9.2 Πείραμα Αγιάς

9.2.1 Παραγωγή

Χάρτης τάσης παραγωγής

Από τους χάρτες παραγωγής για τα τρία έτη 2005, 2006, 2007 δημιουργήθηκε ο χάρτης τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.12) για τα τρία έτη. Ο χάρτης αυτός δημιουργήθηκε υπολογίζοντας σε κάθε σημείο τη μέση τιμή της παραγωγής για τα τρία έτη και δείχνει την τάση που διαμορφώνεται στην παραγωγή σε κάθε σημείο του οπωρώνα.

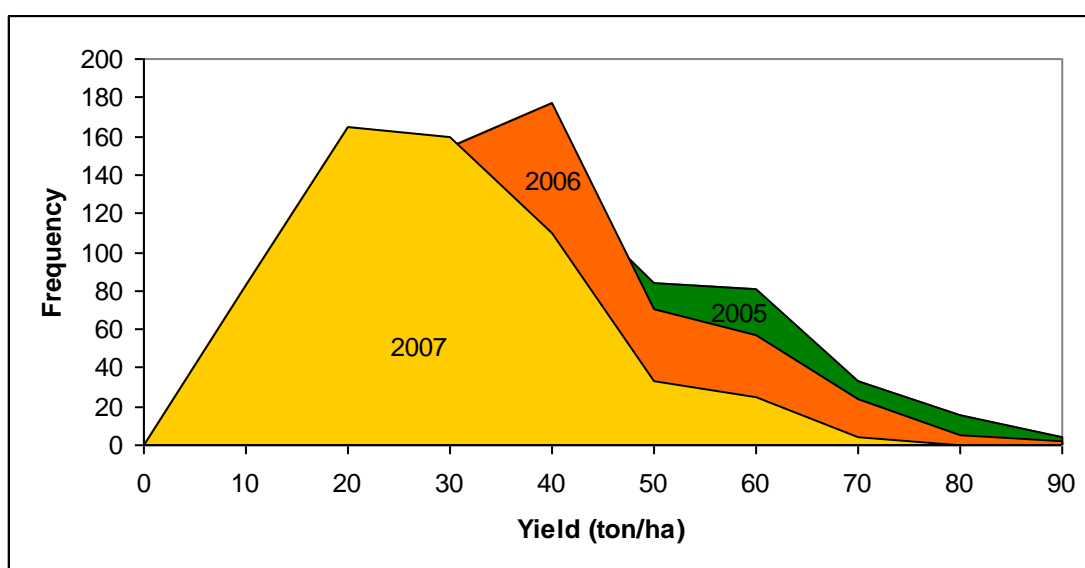
Ο χάρτης τάσης παραγωγής δείχνει ότι η παραγωγή κυμάνθηκε από 0-75 τόνους/εκτάριο κατά μέσο όρο τα τρία έτη και ότι η μέση παραγωγή για όλα τα σημεία και όλα τα έτη ήταν 31 τόννοι/εκτάριο. Στο χάρτη επίσης έχει προστεθεί η ισουψής γραμμή των 31 τόννων/εκτάριο. Από το χάρτη τάσης φαίνεται ότι υπάρχει μια ζώνη που παράγει σταθερά πάνω από το μέσο όρο η οποία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα και εκτείνεται από το βόρειο μέχρι το νότιο άκρο του, ενώ αριστερά και δεξιά αυτής της ζώνης ο οπωρώνας παράγει χαμηλότερα από το μέσο όρο.



Εικόνα 9.12. Χάρτης τάσης παραγωγής για τα έτη 2005, 2006, 2007

Ιστογράμματα παραγωγής

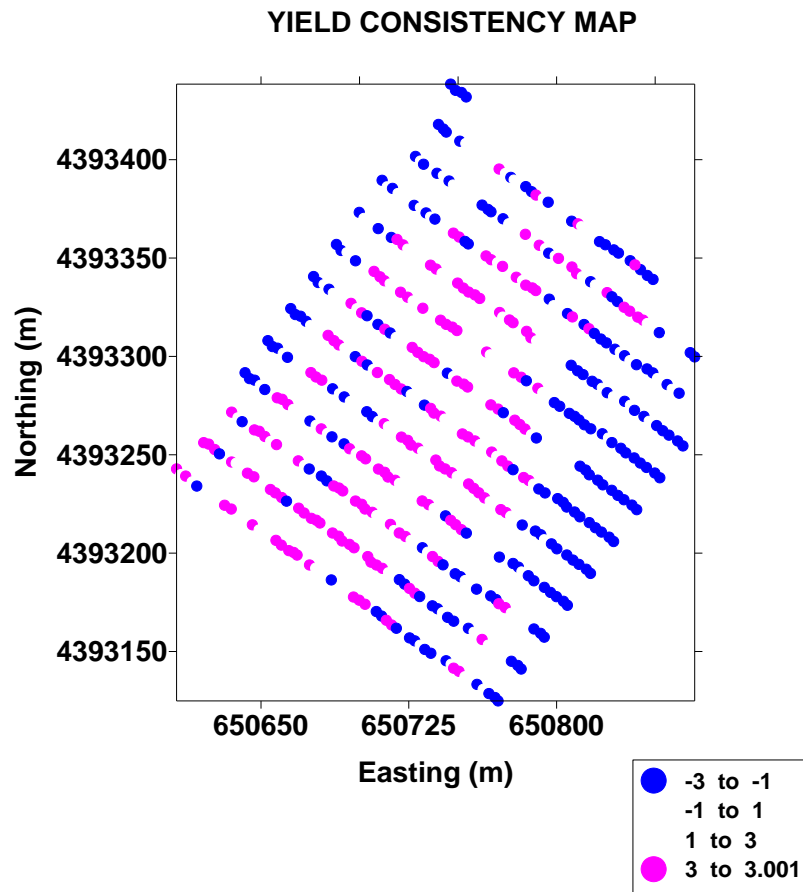
Στην Εικόνα 9.13 παρουσιάζονται τα ιστογράμματα παραγωγής για τα τρία έτη του πειράματος. Παρατηρούμε ότι η παραγωγή ήταν παρόμοια για τα έτη 2005 και 2006 (γύρω τους 34 τόνους/ εκτάριο) ενώ το 2007 είχε κατά 30% χαμηλότερη παραγωγή από τα προηγούμενα έτη. Η μειωμένη παραγωγή το έτος 2007 οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά δένδρα ξηράθηκαν αυτή τη χρονιά και επομένως η παραγωγή μειώθηκε.



Εικόνα 9.13 Ιστογράμματα παραγωγής για την ποικιλία Red Chief για τα τρία έτη του πειράματος

Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής

Από το χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας (Εικόνα 9.14) για τον οπωρώνα της Αγιάς φαίνεται ότι υπάρχει μια ζώνη που παράγει σταθερά πάνω από το μέσο όρο η οποία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα και εκτείνεται από το βόρειο μέχρι το νότιο άκρο του, ενώ αριστερά και δεξιά αυτής της ζώνης ο οπωρώνας παράγει χαμηλότερα από το μέσο όρο και τα τρία έτη του πειράματος. Το ίδιο παρατηρήθηκε και στο χάρτη τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.12) και μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο οπωρώνας θα μπορούσε να χωριστεί στις δύο αυτές ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή.

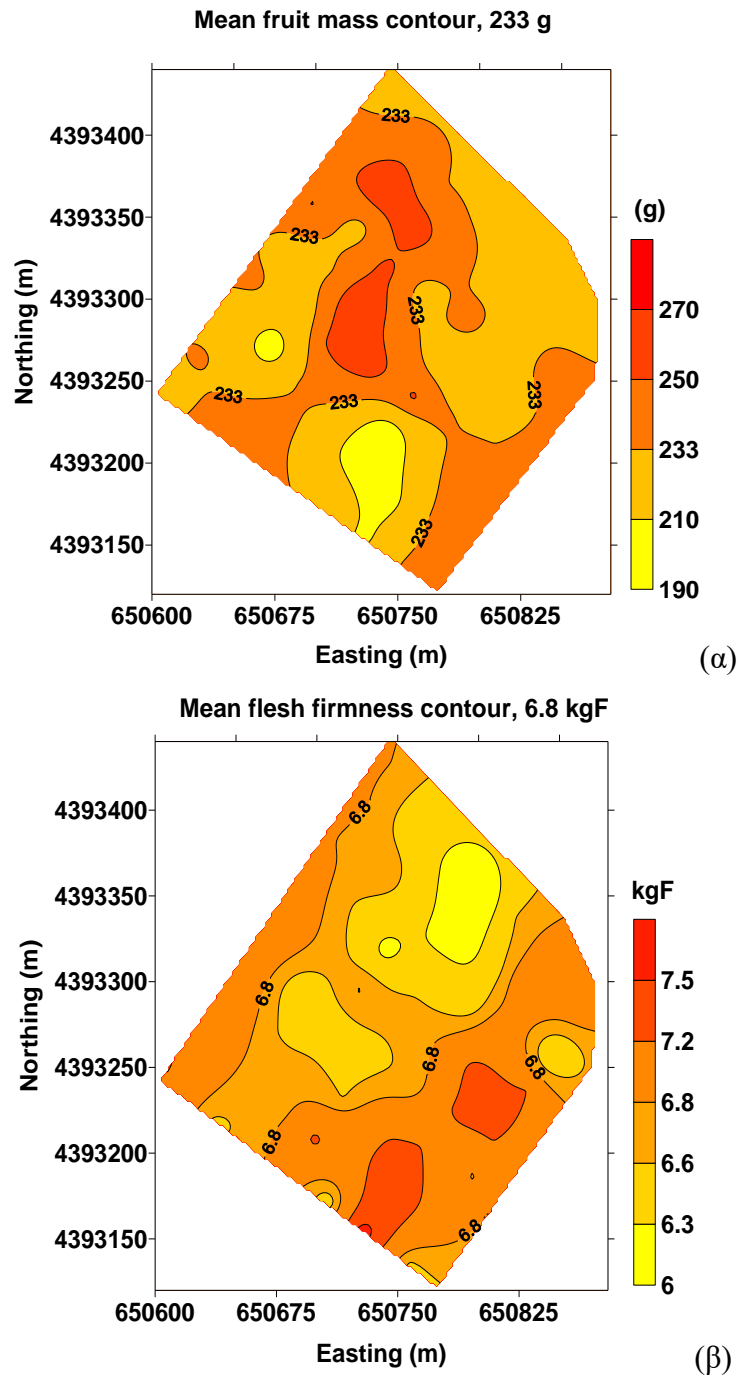


Εικόνα 9.14. Χάρτης χρονικής παραλλακτικότητας για την παραγωγή

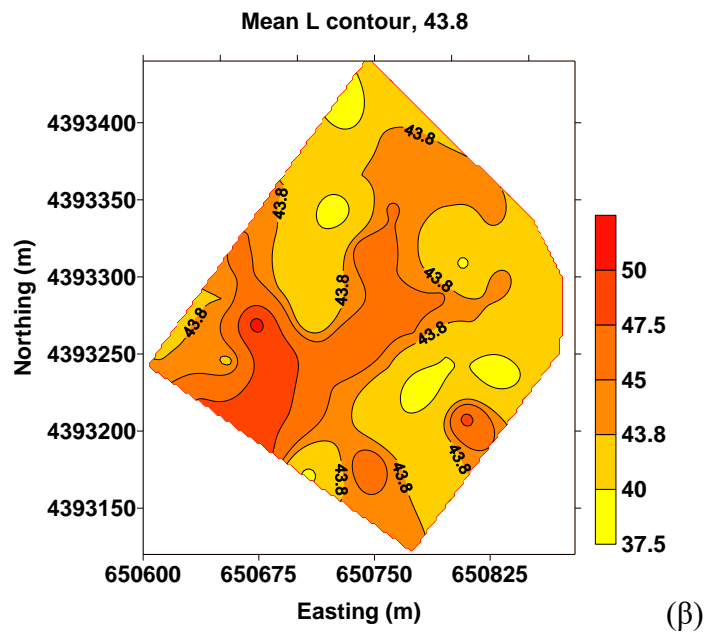
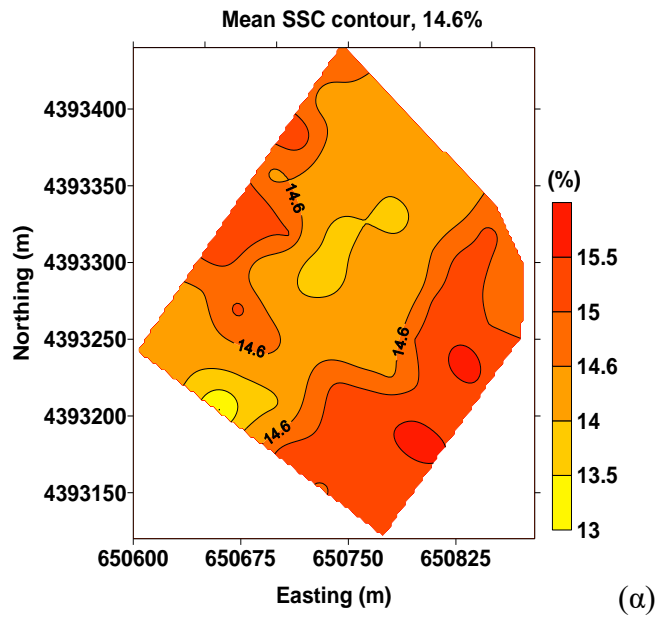
9.2.2 Ποιότητα

Χάρτες τάσης ποιότητας

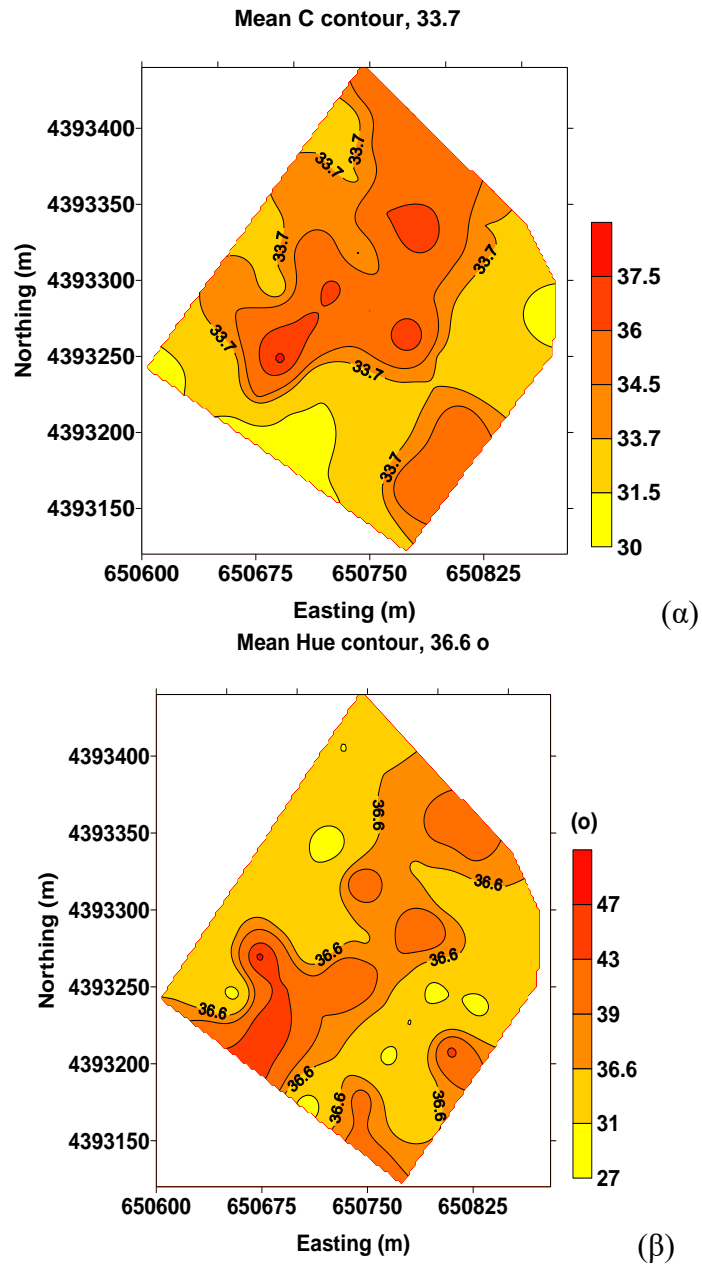
Από τους χάρτες τάσης ποιότητας φαίνεται ότι το βάρος καρπού (Εικόνα 9.15α) κυμάνθηκε από 190-270 g και το μέσο βάρος καρπού για όλα τα σημεία του αγρού και για τα τρία έτη ήταν 233 g. Η σκληρότητα σάρκας (Εικόνα 9.15 β) πήρε τιμές από 6-7,5 kgF με μέσο όρο 6,8 kgF . Τα διαλυτά στερεά συστατικά (Εικόνα 9.16 α) πήραν τιμές από 13 - 15,5 % με μέσο όρο 14,6%. Οι παράμετροι του χρώματος κυμάνθηκαν για τη φωτεινότητα L από 37,5-50 με μέσο όρο 43,8, για το χρώμα C από 30-37,5 με μέσο όρο 33,7 και για τη γωνία Hue από 27-47 με μέσο όρο 36,6°. Τέλος η οξύτητα χυμού πήρε τιμές από 0,188%-0,288% με μέσο όρο 0,223%. Αν συγκρίνουμε τους χάρτες τάσης ποιότητας με το χάρτη τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.12), παρατηρούμε ότι στο κεντρικό τμήμα του αγρού που η παραγωγή είναι υψηλή η ποιότητα είναι χαμηλή (χαμηλότερη σκληρότητα σάρκας, χαμηλότερα διαλυτά στερεά συστατικά, μεγαλύτερες τιμές της γωνίας Hue που σημαίνει ότι το χρώμα φλοιού γίνεται λιγότερο κόκκινο) και αντίστροφα στην ανατολική και δυτική πλευρά του οπωρώνα. Υπάρχει δηλαδή μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ παραγωγής και ποιότητας καρπών γεγονός που έχει παρατηρηθεί και στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας.



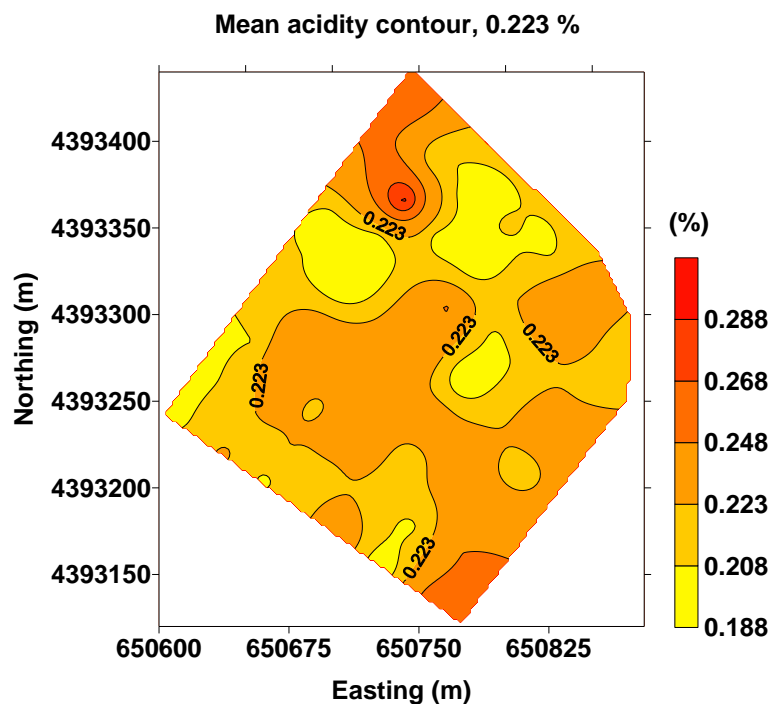
Εικόνα 9.15. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) βάρος καρπού, (β) σκληρότητα σάρκας



Εικόνα 9.16. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) διαλυτά στερεά συστατικά (%), (β) φωτεινότητα L



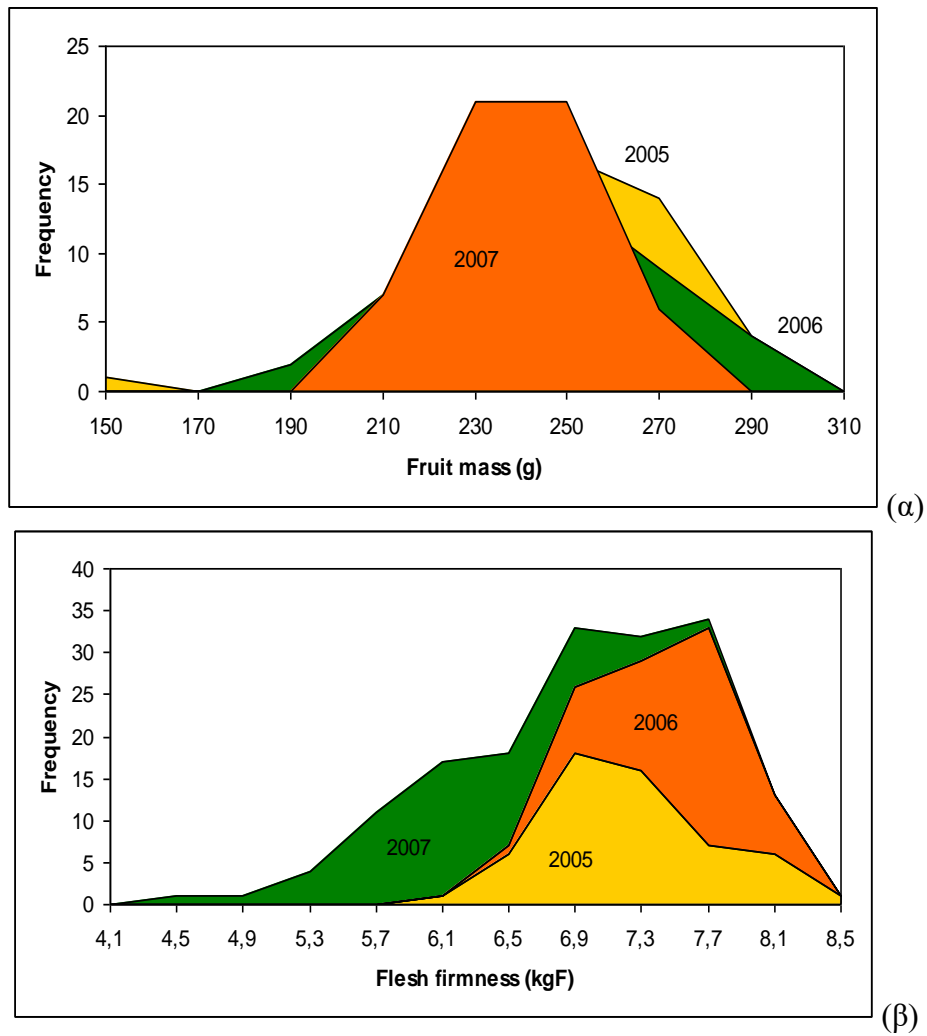
Εικόνα 9.17. Χάρτες τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για (α) χρώμα C και (β) γωνία Hue



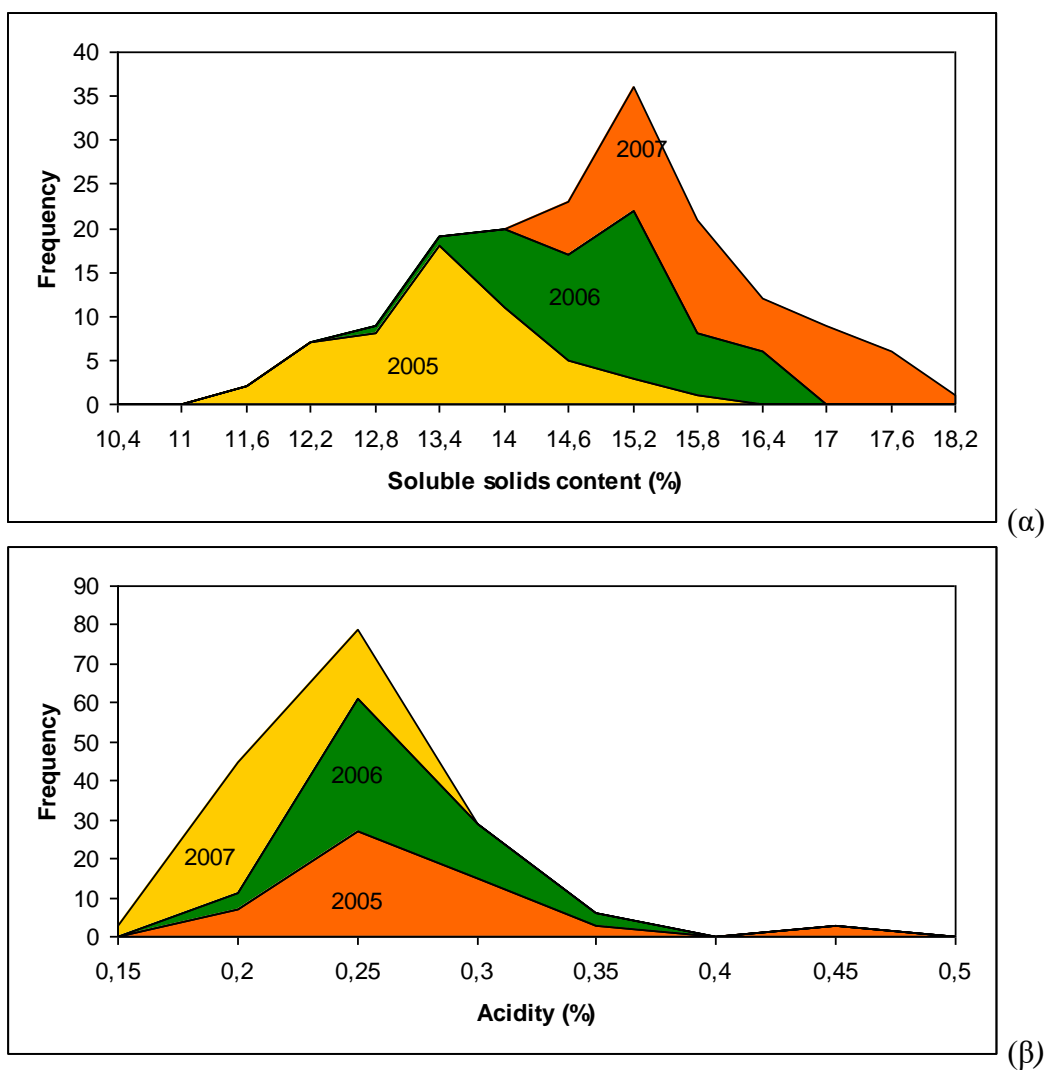
Εικόνα 9.18. Χάρτης τάσης ποιότητας της ποικιλίας Red Chief για τα έτη 2005, 2006 και 2007 για την οξύτητα χυμού

Ιστογράμματα ποιότητας

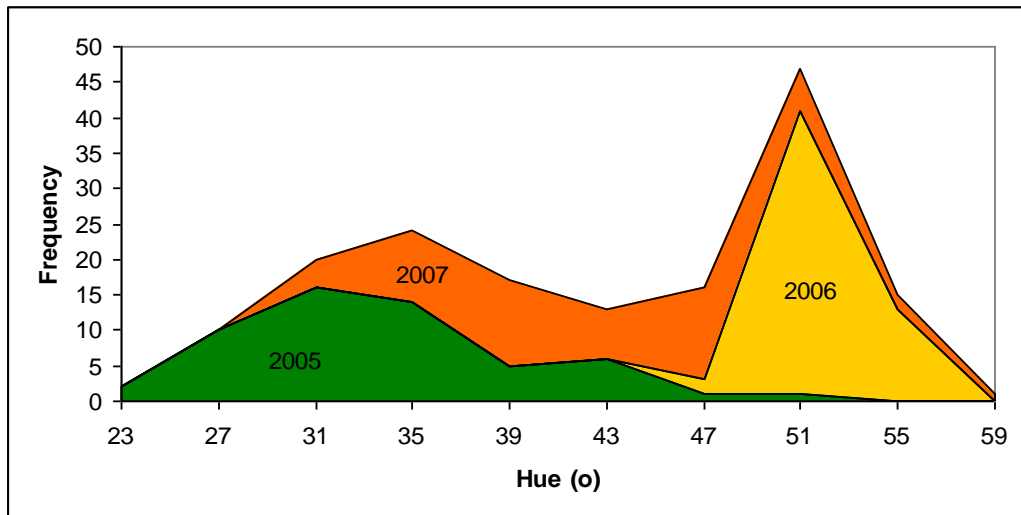
Από τα ιστογράμματα ποιότητας φαίνονται διαφορές στις τιμές των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών από έτος σε έτος. Το βάρος των καρπών δεν είχε μεγάλες διαφορές στα τρία έτη του πειράματος (Εικόνα 9.19 α). Η σκληρότητα σάρκας (Εικόνα 9.19β) ήταν μικρότερη το έτος 2007 και κυμάνθηκε από 4,4-7,3 kgF διότι οι καρποί ήταν αρκετά ώριμοι κατά τη συγκομιδή ενώ τα δύο προηγούμενα έτη ήταν μεγαλύτερη και πήρε τιμές από 6-8,2 kgF. Τα διαλυτά στερεά συστατικά (Εικόνα 9.20α) ήταν χαμηλότερα το έτος 2005 και πήραν τιμές από 11,1-15,8, υψηλότερα το 2006 με τιμές από 12,8-16,3 και ακόμα υψηλότερα το 2007 με τιμές από 14,4-17,7 όπου οι καρποί ήταν αρκετά ώριμοι κατά τη συγκομιδή όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Η οξύτητα χυμού (Εικόνα 9.20β) δεν διέφερε στα τρία έτη του πειράματος. Τέλος, όσον αφορά το χρώμα του καρπού όπως εκφράζεται με τη γωνία Hue (Εικόνα 9.21), το έτος 2005 οι καρποί είχαν καλύτερο κόκκινο χρώμα (μικρότερες τιμές της γωνίας Hue), ενώ τα έτη 2006 και 2007 το χρώμα των καρπών δεν ήταν καλό διότι επικράτησαν υψηλές θερμοκρασίες τον Αύγουστο που δεν επέτρεψαν τους καρπούς να πάρουν καλό χρώμα.



Εικόνα 9.19. Ιστογράμματα (α) βάρους καρπών και (β) σκληρότητας σάρκας για τα έτη 2005, 2006, 2007



Εικόνα 9.20. Ιστογράμματα (α) διαλυτών στερεών συστατικών και (β) οξύτητας χυμού για τα έτη 2005, 2006, 2007

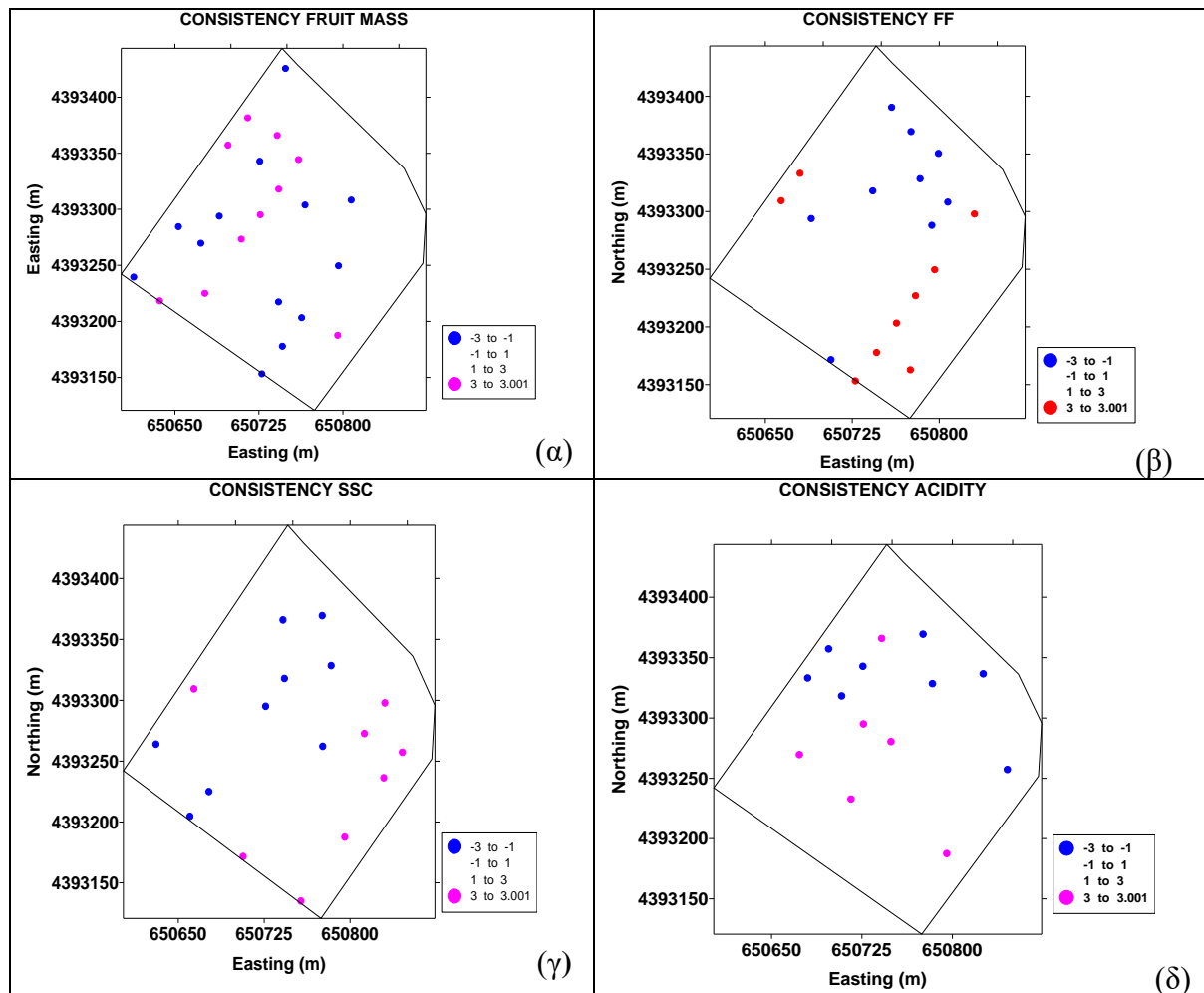


Εικόνα 9.21. Ιστογράμματα γωνίας Hue για τα έτη 2005, 2006, 2007

Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας ποιότητας

Στο Εικόνα 9.22 παρουσιάζονται οι χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών. Στους χάρτες αυτούς φαίνονται οι περιοχές του οπωρώνα που τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι πάνω από το μέσο όρο του έτους (κλάση 3-3.001) και οι περιοχές του οπωρώνα που η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο του έτους για τα τρία έτη (κλάση -3 -1). Στις υπόλοιπες περιοχές τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι άλλοτε πάνω από το μέσο όρο και άλλοτε κάτω από το μέσο όρο που σημαίνει ότι δεν έχουν μια σταθερή τάση με το χρόνο.

Όπως και στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας (Εικόνα 9.11) δεν διαμορφώνονται σταθερές ζώνες διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο, γεγονός, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, που οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ποιότητα των καρπών και οι οποίες καιρικές συνθήκες αλλάζουν από έτος σε έτος.



Εικόνα 9.22. Χάρτες χρονικής παραλλακτικότητας για την ποιότητα (α) βάρος καρπού, (β)σκληρότητα σάρκας, (γ) διαλυτά στερεά συστατικά (δ) οξύτητα χυμού για την ποικιλία Red Chief

ΚΕΦΑΛΑΙΟ. 10. ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

10.1 Πείραμα Πτολεμαΐδας

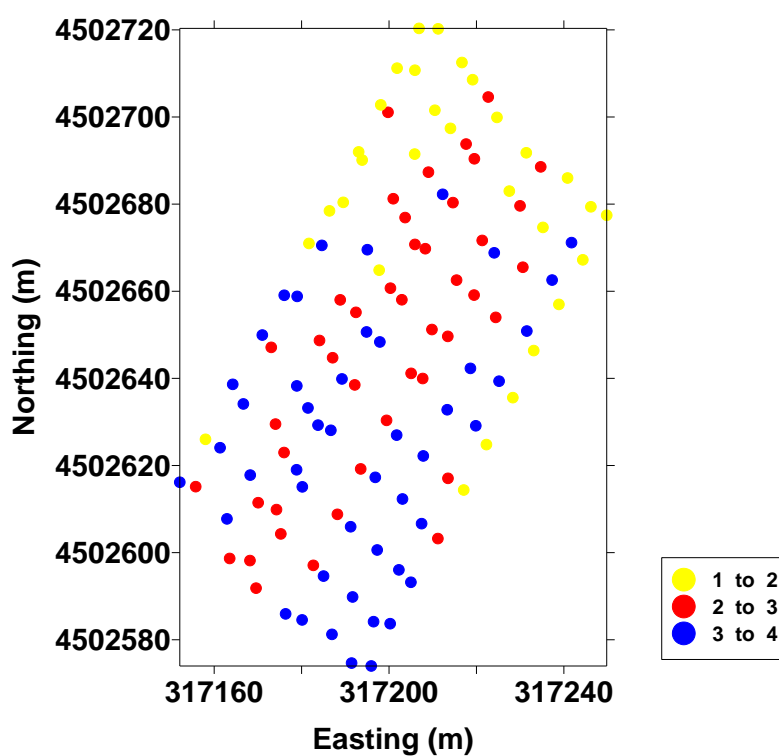
Στην Εικόνα 10.1 παρουσιάζονται οι ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief. Από το χάρτη φαίνεται ότι ο οπωρώνας μπορεί να χωριστεί σε τρεις ζώνες παραγωγής : μια ζώνη χαμηλής παραγωγής (κλάση 1-2), μία ζώνη ενδιάμεσης παραγωγής (κλάση 2-3) και μια ζώνη υψηλής παραγωγής (κλάση 3-4). Η χαμηλή και ενδιάμεση παραγωγή παρατηρείται στο βόρειο τμήμα του οπωρώνα ενώ υψηλότερη παραγωγή παρατηρείται στο νότιο τμήμα του οπωρώνα. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις ζώνες παραγωγής που φάνηκαν από το χάρτη τάσης παραγωγής (Εικόνα 9.1) και το χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας (Εικόνα 9.3) Ο αριθμός των ζωνών διαχείρισης καθορίστηκε με βάση τους δείκτες FPI (Fuzziness Performance Index) και NCE (Normalized Classification Entropy). Όταν και οι δύο δείκτες έχουν ελάχιστη τιμή τότε έχουμε τον άριστο αριθμό κλάσεων (Fridgen et al., 2004). Επίσης λήφθηκε υπόψη και η ευκολία δημιουργίας των ζωνών διαχείρισης για τον παραγωγό. Έτσι αποφασίστηκε να χωριστεί ο οπωρώνας σε τρεις ζώνες διαχείρισης, διότι ο παραγωγός θα ήταν δύσκολο να διαχειριστεί μεγαλύτερο αριθμό ζωνών.

Ο δείκτης FPI δείχνει το βαθμό διαχωρισμού των κλάσεων και παίρνει τιμές από 0 έως 1. Καθώς οι τιμές του FPI πλησιάζουν στο 0 δείχνουν ευδιάκριτες κλάσεις ενώ όταν οι τιμές πλησιάζουν το 1 οι κλάσεις δεν είναι ευδιάκριτες και ένα σημείο του αγρού μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από μία κλάσεις.

Ο δείκτης NCE παίρνει επίσης τιμές από 0 έως 1 και κάνει εκτίμηση του ποσοστού της ασάφειας που δημιουργείται από ένα ορισμένο αριθμό κλάσεων. Όταν ο NCE παίρνει τιμές κοντά στο 1 επικρατεί ασάφεια ενώ όταν παίρνει τιμές κοντά στο 0 επικρατεί καλύτερη οργάνωση. Όταν και οι δύο δείκτες έχουν ελάχιστη τιμή τότε έχουμε τον άριστο αριθμό κλάσεων. Στον Πίνακα 10.1 φαίνονται οι δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό κλάσεων.

Πίνακας 10.1. Δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό ζωνών διαχείρισης (οπωρώνας Πτολεμαΐδας).

Αριθμός ζωνών	FPI	NCE
2	0,0895	0,0324
3	0,0675	0,035
4	0,0752	0,0444

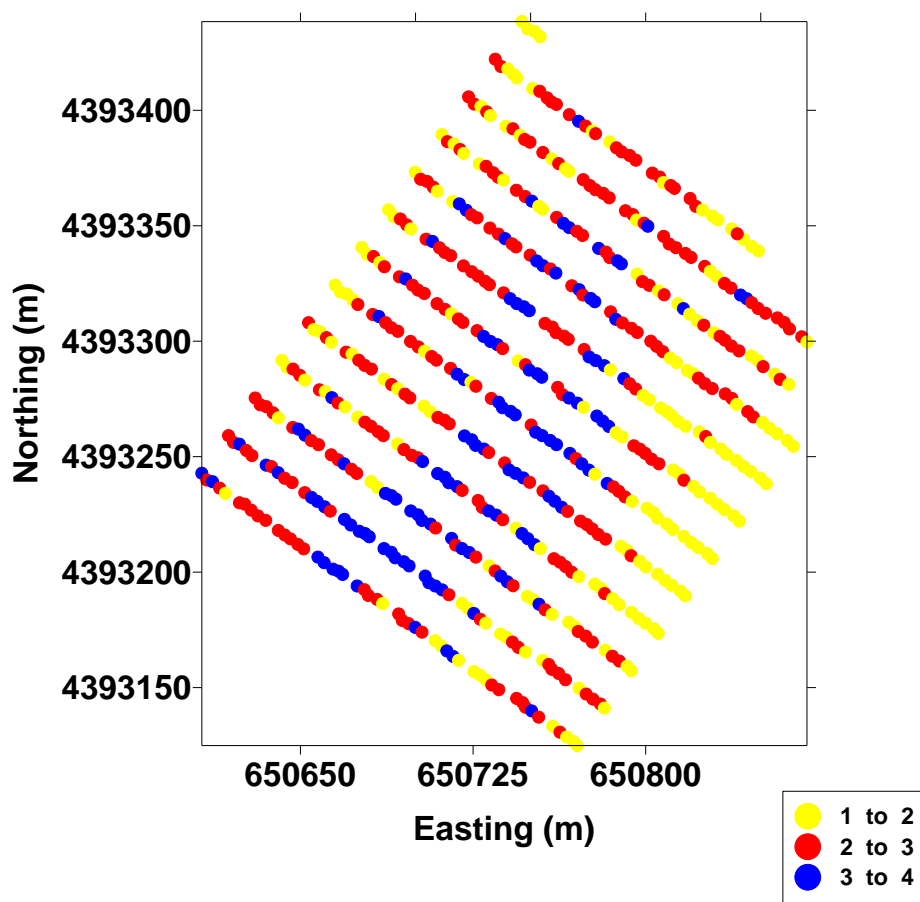


Εικόνα 10.1 Ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)

10.2 Πείραμα Αγιάς

Στην Εικόνα 10.2 παρουσιάζονται οι ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief. Και ο οπωρώνας αυτός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες παραγωγής: μια ζώνη χαμηλής παραγωγής (κλάση 1-2), μία ζώνη ενδιάμεσης παραγωγής (κλάση 2-3) και μια ζώνη υψηλής παραγωγής (κλάση 3-4) με βάση τους δείκτες που λήφθηκαν από το λογισμικό MZA (Πίνακας 10.2).

Όπως φαίνεται από τον χάρτη (Εικόνα 10.2) υπάρχει μια ζώνη υψηλής παραγωγής στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα, μια ζώνη ενδιάμεσης παραγωγής περιφερειακά της ζώνης υψηλής παραγωγής και μια ζώνη χαμηλής παραγωγής στο ανατολικό σύνορο του οπωρώνα που, όπως προαναφέρθηκε, οφείλεται στο γεγονός ότι σε αυτή την περιοχή υπάρχουν μικρά και ασθενικά δένδρα μερικά από τα οποία νεκρώθηκαν την τελευταία χρονιά του πειράματος.



Εικόνα10.2 Ζώνες διαχείρισης με βάση τα τρία χρόνια παραγωγής της ποικιλίας Red Chief (οπωρώνας Αγιάς)

Πίνακας 10.2. Δείκτες FPI και NCE για κάθε αριθμό ζωνών διαχείρισης (οπωρώνας Αγιάς)

Αριθμός ζωνών	FPI	NCE
2	0,0568	0,021
3	0,0564	0,0267
4	0,0616	0,034

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ

11.1. Γενικά

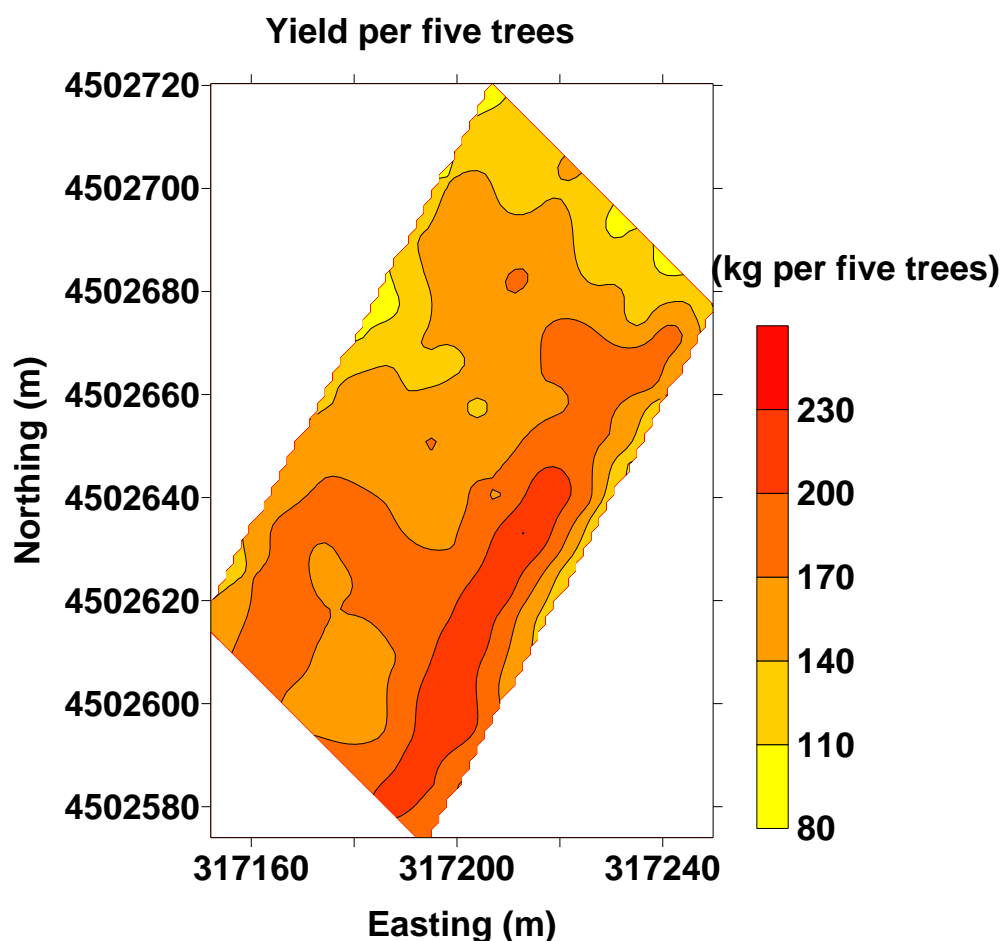
Στους οπωρώνες μηλιάς εφαρμόζονται κάθε χρόνο λιπάσματα που περιέχουν άζωτο (N), κάθε χρόνο ή κάθε δύο χρόνια λιπάσματα που περιέχουν κάλιο (K), ενώ δεν εφαρμόζονται συχνά λιπάσματα που περιέχουν φωσφόρο (P). Τα υπόλοιπα στοιχεία ή ιχνοστοιχεία (Fe, Mg, Mn, Zn, B) εφαρμόζονται όταν παρουσιαστεί κάποια έλλειψη ή τροφοπενία βάσει των φυλλοδιαγνωστικών αναλύσεων και μακροσκοπικών παρατηρήσεων. Η εφαρμογή των λιπασμάτων γίνεται ομοιόμορφα σε όλο τον οπωρώνα. Σύμφωνα με τον Βασιλακάκη (2004), για παραγωγή 35 τόνων /εκτάριο πρέπει να εφαρμόζονται 180 kg/εκτάριο άζωτο και 210 kg/εκτάριο κάλιο.

Προκειμένου να γίνει εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις ανάγκες των δένδρων και όχι ομοιόμορφα σε όλο τον αγρό υπολογίστηκαν τα θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνθηκαν από τον οπωρώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς με σκοπό να εφαρμοστούν την επόμενη χρονιά. Με τον τρόπο αυτό αντικαθίστανται τα στοιχεία που απομακρύνονται και δεν εφαρμόζονται επιπλέον λιπάσματα που πιθανόν να έχουν αρνητική επίδραση στην καλλιέργεια και να επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι χάρτες εφαρμογής για το κάθε θρεπτικό στοιχείο που δείχνουν την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε περιοχή του οπωρώνα σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Τέλος έγινε υπολογισμός της ποσότητας του λιπάσματος που εξοικονομήθηκε κατά την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή. Οι υπολογισμοί και οι χάρτες έγιναν για τα δύο κύρια θρεπτικά στοιχεία, το άζωτο και το κάλιο.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (IFA, 1992), για την παραγωγή 44,8 τόνων/εκτάριο της ποικιλίας Red Delicious απομακρύνονται από το έδαφος 110,5 kg/εκτάριο αζώτου και 141 kg/εκτάριο καλίου. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα υπολογίστηκαν οι ποσότητες του αζώτου και καλίου που απομακρύνονται από κάθε θέση του αγρού σύμφωνα με τον χάρτη παραγωγής. Οι υπολογισμοί έγιναν με βάση την παραγωγή του έτους 2006 και οι χάρτες εφαρμογής αφορούν το έτος 2007.

11. 2 Πείραμα Πτολεμαΐδας



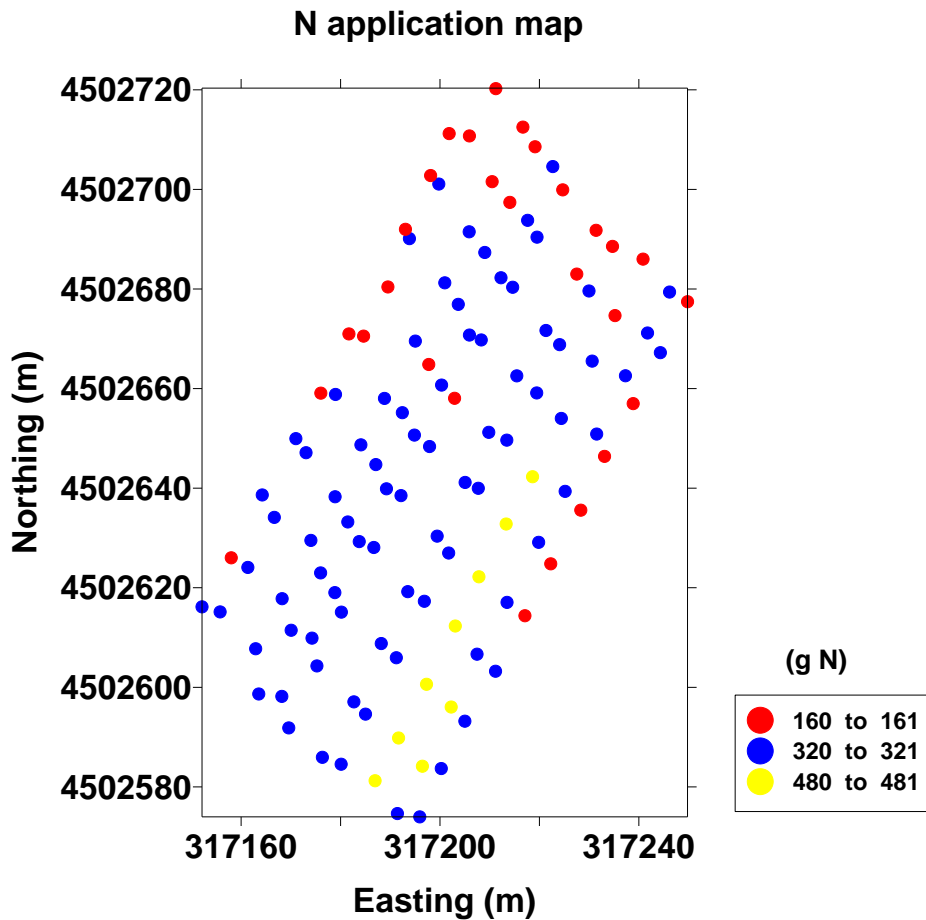
Εικόνα 11.1 Παραγωγή ανά πέντε δένδρα της ποικιλίας Red Chief το 2006 (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο υλικά και μέθοδοι η παραγωγή στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας μετρήθηκε ανά πέντε δένδρα και κυμάνθηκε από 80-234 kg (Εικόνα 11.1). Η αντίστοιχη ποσότητα αζώτου που απομακρύνθηκε είναι από 197-577 g περίπου για την πεντάδα των δένδρων. Η ποσότητα αυτή του αζώτου που απομακρύνθηκε πρέπει να αναπληρωθεί με τη λίπανση. Η αζωτούχος λίπανση δίνεται στα δένδρα σε δύο δόσεις: βασική και επιφανειακή. Η βασική γίνεται την Άνοιξη περίπου δύο εβδομάδες πριν την ανθοφορία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εξής λιπάσματα: νιτρική αμμωνία (34% N), ασβεστούχος νιτρική αμμωνία (26%N, 1-2% Ca), θειική αμμωνία (20% N), ωιτράσβεστος (15,5 %N, 25% Ca). Η επιφανειακή λίπανση γίνεται με υδρολίπανση το καλοκαίρι με υδατοδιαλυτά λιπάσματα που διαλύονται στο νερό της άρδευσης. Η επιφανειακή λίπανση δεν είναι δυνατόν να διαφοροποιηθεί στον αγρό γιατί εφαρμόζεται

ομοιόμορφα με το νερό άρδευσης που είναι ενιαίο (θα μπορούσε βέβαια να σχεδιαστεί από την αρχή ώστε να καλύπτει τις ζώνες διαχείρισης). Επομένως θα διαφοροποιηθεί η βασική λίπανση που εφαρμόζεται με το χέρι με στερεά λιπάσματα και επομένως είναι δυνατό να εφαρμοστούν διαφορετικές δόσεις στις διάφορες περιοχές του αγρού. Η ποσότητα του αζώτου που θα εφαρμοστεί στην υδρολίπανση είναι η ελάχιστη ποσότητα που απαιτείται και είναι 200g ανά πεντάδα δένδρων. Η ποσότητα αυτή αν αναχθεί ανά εκτάριο είναι 40 kg/εκτάριο και μπορεί να εφαρμοστεί σε τρεις ισόποσες δόσεις το Μάιο, τέλη Ιουνίου και τέλη Ιουλίου.

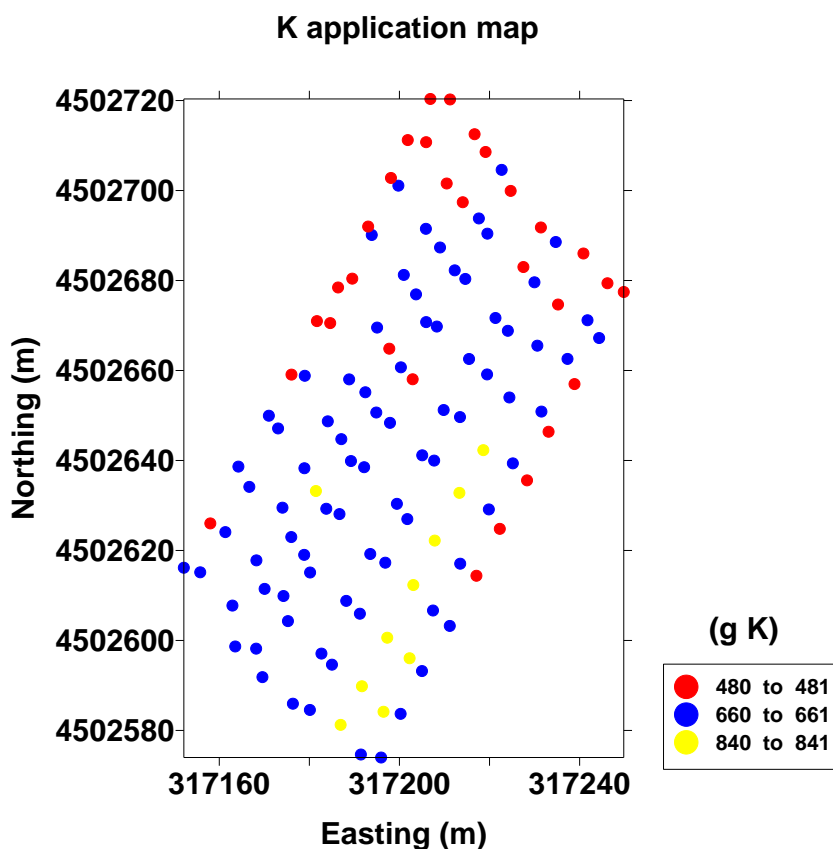
Η υπόλοιπη ποσότητα αζώτου θα εφαρμοστεί ως βασική λίπανση. Η ποσότητα αυτή είναι από 0-377g αζώτου ανά πεντάδα δένδρων. Αν υπολογιστεί και μια απώλεια περίπου 30% για το αζωτούχο λίπασμα η ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί κυμαίνεται από 0-480g αζώτου ανά πεντάδα δένδρων. Για ευκολία στην εφαρμογή η δόση μπορεί να χωριστεί σε τρεις δόσεις των 160 g. Έτσι στις περιοχές του αγρού που απαιτείται δόση μέχρι 160 g εφαρμόζονται 160 g, στις περιοχές που απαιτείται δόση μέχρι 320g εφαρμόζονται 320g και στις περιοχές που απαιτείται δόση μέχρι 480g εφαρμόζονται 480g. Αυτό στην πράξη γίνεται πολύ απλά ως εξής: ο γεωργός που εφαρμόζει το λίπασμα έχει το χάρτη εφαρμογής (Εικόνα 11.2) και καθώς προχωράει στη γραμμή των δένδρων, εφαρμόζει στην κάθε πεντάδα δένδρων που αντιστοιχεί σε μια κουκίδα στο χάρτη την αντίστοιχη ποσότητα λιπάσματος. Έτσι αν έχει ένα μέτρο των 160g όταν βλέπει κόκκινη κουκίδα στο χάρτη εφαρμόζει ποσότητα ίση με το μέτρο, όταν βλέπει μπλε κουκίδα στο χάρτη εφαρμόζει ποσότητα ίση με δύο φορές το μέτρο και όταν βλέπει κίτρινη κουκίδα στο χάρτη εφαρμόζει ποσότητα λιπάσματος ίση με τρεις φορές το μέτρο.

Η συνολική ποσότητα λιπάσματος που εφαρμόστηκε για τη βασική λίπανση με αυτό τον τρόπο είναι 36,48 kg αζώτου σε όλο τον οπωρώνα. Δεδομένου ότι ο αγρός έχει έκταση 0,8 εκτάρια η ποσότητα ανά εκτάριο είναι 45,6 kg αζώτου. Αν προστεθεί και το άζωτο της επιφανειακής λίπανσης που είναι 40 kg/εκτάριο τότε η συνολική ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί με αυτή τη μέθοδο είναι 85,6 kg/εκτάριο



Εικόνα 11.2 Χάρτης εφαρμογής αζώτου σε g ανά πεντάδα δένδρων στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας (βασική λίπανση)

Το κάλιο εφαρμόζεται σαν βασική λίπανση το Φεβρουάριο. Τα καλιούχα λιπάσματα που χρησιμοποιούνται είναι το πατενκάλι με περιεκτικότητα 30% σε κάλιο και 3% σε μαγνήσιο και το θεικό κάλιο με περιεκτικότητα 50% σε κάλιο. Για το κάλιο έγιναν αντίστοιχοι υπολογισμοί και βρέθηκε ότι χρειάζονται 251-736 g ανά πεντάδα δένδρων. Στην ποσότητα αυτή αν υπολογιστεί μια απώλεια 15% για το καλιούχο λίπασμα η ποσότητα του καλίου που πρέπει να εφαρμοστεί είναι από 289-846 g ανά πεντάδα δένδρων. Η ποσότητα του καλίου χωρίστηκε σε τρεις δόσεις για ευκολία στην εφαρμογή. Έτσι στις περιοχές του οπωρώνα που απαιτείται ποσότητα από 300-480 g καλίου εφαρμόζονται 480 g καλίου, εκεί που απαιτείται από 480-660 g καλίου εφαρμόζονται 660g καλίου και εκεί που απαιτείται από 660-840 g εφαρμόζονται 840 g καλίου. Η συνολική ποσότητα του καλίου που εφαρμόζεται με τον τρόπο αυτό είναι περίπου 76 kg σε όλο τον οπωρώνα ή 95,3 kg/εκτάριο. Ο χάρτης εφαρμογής του καλίου φαίνεται στην Εικόνα 11.3



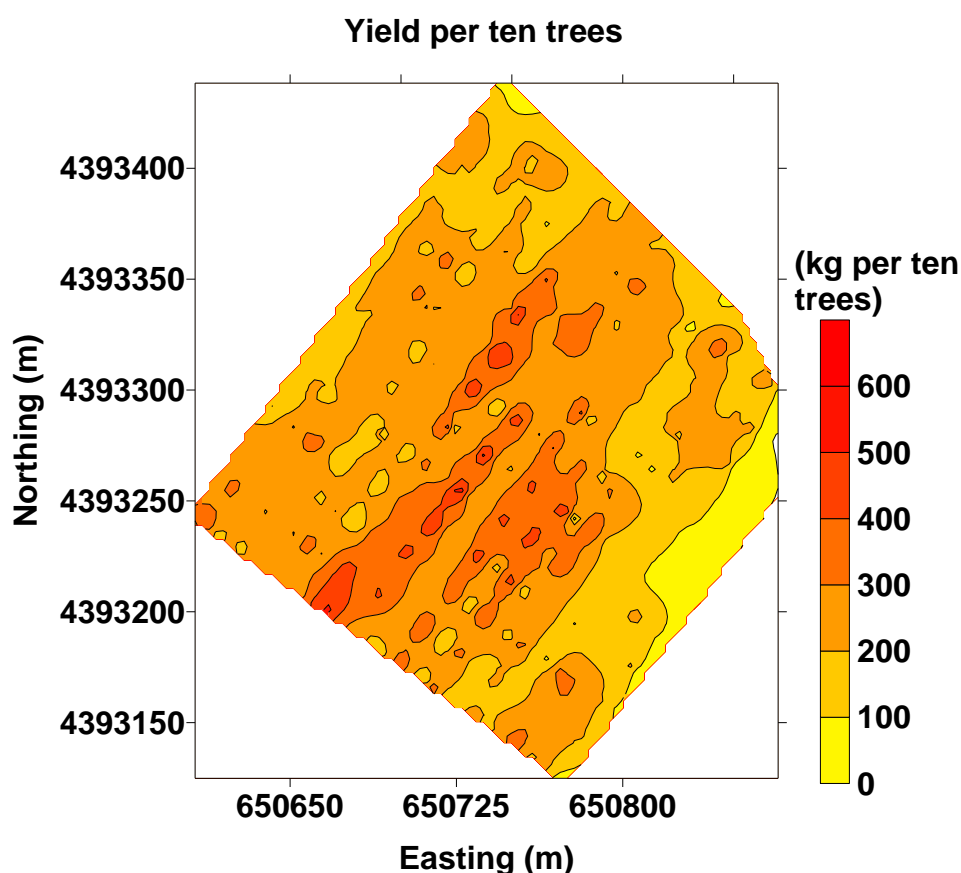
Εικόνα 11.3 Χάρτης εφαρμογής καλίου στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας

Η μέση παραγωγή του οπωρώνα αυτού για το 2006 ήταν 32 τόνοι/εκτάριο. Με την ομοιόμορφη λίπανση για μια μέση παραγωγή 35 τόνους /εκτάριο θα χρειαζόταν να εφαρμοστούν σύμφωνα με τον Βασιλακάκη (2004), περίπου 180 kg/εκτάριο άζωτο και 210 kg/εκτάριο κάλιο. Με την εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας χρειάζονται 85,6 kg/εκτάριο άζωτο και 94,4 kg/εκτάριο κάλιο. Δηλαδή μπορεί να γίνει εξοικονόμηση 94,4 kg/εκτάριο άζωτο και 114,7 kg/εκτάριο κάλιο. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 11.1

Πίνακας 11.1 Απαιτούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων για ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος και για εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (οπωρώνας Πτολεμαΐδας)

Θρεπτικό στοιχείο	Ομοιόμορφη εφαρμογή (kg/εκτάριο)	Εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (kg/εκτάριο)	Διαφορά (kg/εκτάριο)
N	180	85,6	94,4
K	210	95,3	114,7

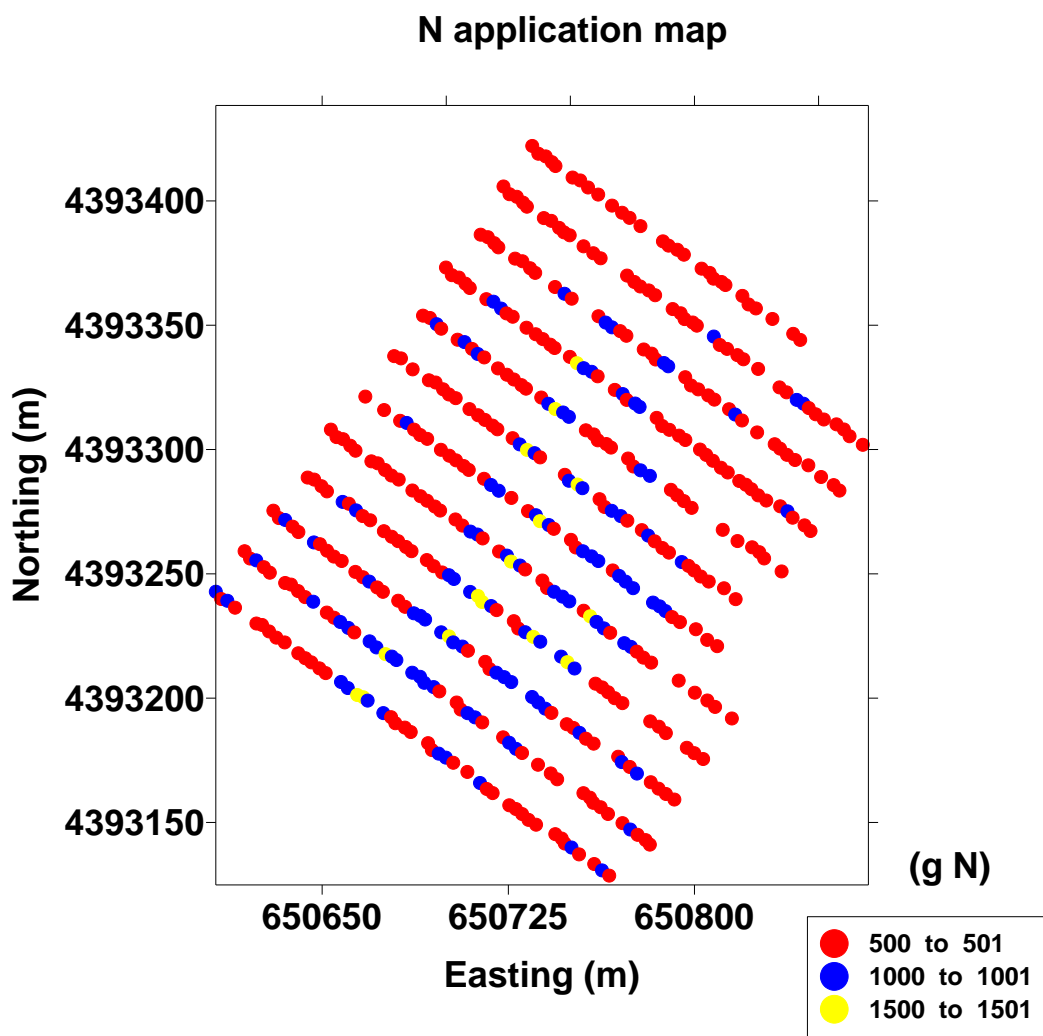
11.3 Πείραμα Αγιάς



Εικόνα 11.4. Παραγωγή ανά δέκα δένδρα της ποικιλίας Red Chief το 2006 (οπωρώνας Αγιάς)

Στον οπωρώνα της Αγιάς η παραγωγή μετρήθηκε ανά δέκα δένδρα. Ο χάρτης παραγωγής φαίνεται στην Εικόνα 11.4. Από το χάρτη φαίνεται ότι η παραγωγή κυμάνθηκε από 0-600 kg ανά δεκάδα δένδρων. Η ποσότητα του αζώτου που απομακρύνθηκε με την παραγωγή είναι από 0-1480 g ανά δεκάδα δένδρων. Η ποσότητα αυτή θα πρέπει να αναπληρωθεί με την λίπανση. Όπως και στην περίπτωση της Πτολεμαΐδας θα εφαρμοστεί βασική και επιφανειακή λίπανση. Η επιφανειακή λίπανση θα γίνει με υδρολίπανση το καλοκαίρι σε τρεις ισόποσες δόσεις. Η συνολική ποσότητα του λιπάσματος που θα εφαρμοστεί με υδρολίπανση θα είναι 300g ανά δεκάδα δένδρων, η οποία αντιστοιχεί σε 43 kg αζώτου/εκτάριο. Η υπόλοιπη ποσότητα θα εφαρμοστεί ως βασική λίπανση η οποία θα διαφοροποιηθεί ανάλογα με τις ανάγκες των δένδρων. Η ποσότητα αυτή είναι από 0-1180 g ανά δεκάδα δένδρων. Αν υπολογιστεί μια απώλεια 30% στο λίπασμα η ποσότητα αυτή γίνεται από 0-1500 g περίπου ανά δεκάδα δένδρων. Για ευκολία στην εφαρμογή το λίπασμα αυτό θα κατανεμηθεί σε τρεις δόσεις των 500 g. Έτσι στις περιοχές του αγρού

που απαιτείται δόση μέχρι 500 g εφαρμόζονται 500 g, στις περιοχές που απαιτείται δόση μέχρι 1000g εφαρμόζονται 1000g και στις περιοχές που απαιτείται δόση μέχρι 1500g εφαρμόζονται 1500g. Ο χάρτης εφαρμογής του αζώτου για τη βασική λίπανση φαίνεται στην Εικόνα 11.5.

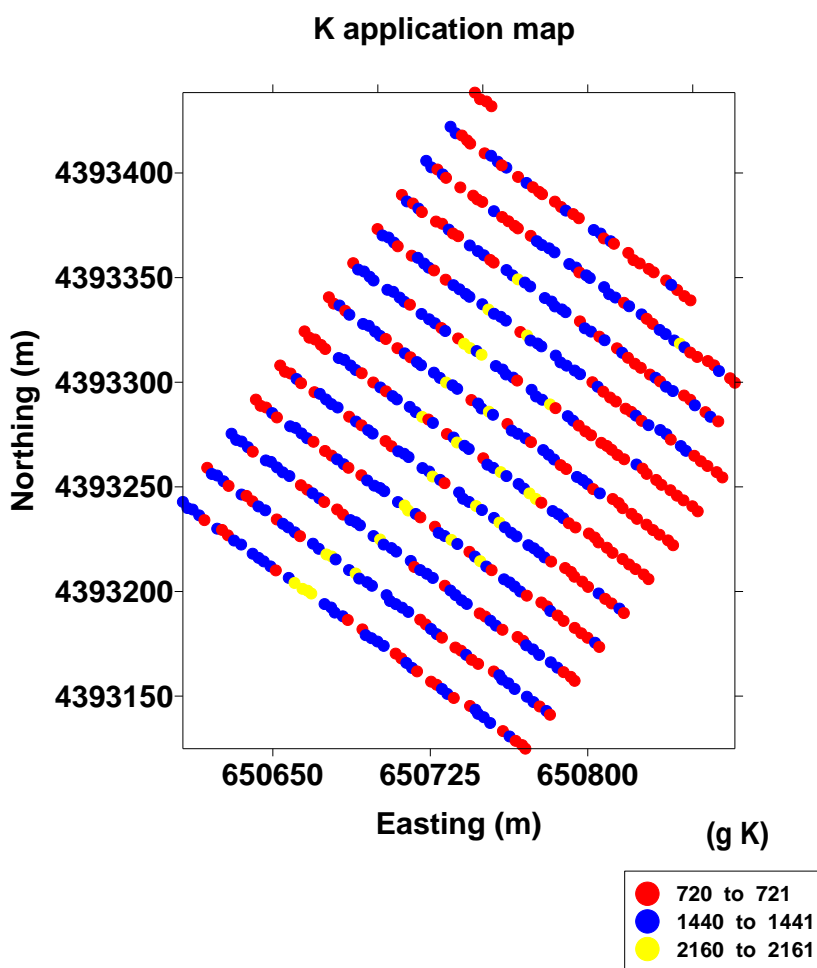


Εικόνα 11.5 Χάρτης εφαρμογής αζώτου στον οπωρώνα της Αγιάς (βασική λίπανση)

Η συνολική ποσότητα λιπάσματος που εφαρμόστηκε για τη βασική λίπανση με αυτό τον τρόπο είναι 319 kg αζώτου σε όλο τον οπωρώνα. Δεδομένου ότι ο αγρός έχει έκταση 5 εκτάρια η ποσότητα ανά εκτάριο είναι 63,8 kg αζώτου. Αν προστεθεί και το άζωτο της επιφανειακής λίπανσης που είναι 43 kg/εκτάριο τότε η συνολική ποσότητα που πρέπει να εφαρμοστεί με αυτή τη μέθοδο είναι 106,8 kg/εκτάριο.

Για το κάλιο έγιναν αντίστοιχοι υπολογισμοί και βρέθηκε ότι χρειάζονται 58-1873 g ανά δεκάδα δένδρων. Στην ποσότητα αυτή αν υπολογιστεί μια απώλεια 15% για το καλιούχο λίπασμα η ποσότητα του καλίου που πρέπει να εφαρμοστεί είναι από 67-2154 g ανά δεκάδα δένδρων. Η ποσότητα του καλίου χωρίστηκε σε τρεις δόσεις των 720 g για

ευκολία στην εφαρμογή. Έτσι στις περιοχές του οπωρώνα που απαιτείται ποσότητα μέχρι 720g καλίου εφαρμόζονται 720 g καλίου, εκεί που απαιτείται από 720-1440 g καλίου εφαρμόζονται 1440 g καλίου και εκεί που απαιτείται από 1440-2160 g εφαρμόζονται 2160 g καλίου. Η συνολική ποσότητα του καλίου που εφαρμόζεται με τον τρόπο αυτό είναι περίπου 678 kg σε όλο τον οπωρώνα ή 135,6 kg/εκτάριο. Ο χάρτης εφαρμογής του καλίου φαίνεται στην Εικόνα 11.6.



Εικόνα 11.6 Χάρτης εφαρμογής καλίου στον οπωρώνα της Αγιάς

Η μέση παραγωγή του οπωρώνα αυτού για το 2006 ήταν 34 τόνοι/εκτάριο. Με την ομοιόμορφη λίπανση για μια μέση παραγωγή 35 τόνους /εκτάριο θα χρειαζόταν να εφαρμοστούν σύμφωνα με τον Βασιλακάκη (2004), περίπου 180 kg/εκτάριο άζωτο και 210 kg/εκτάριο κάλιο. Με την εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας χρειάζονται 106,8 kg/εκτάριο άζωτο και 135,6 kg/εκτάριο κάλιο. Δηλαδή μπορεί να γίνει εξοικονόμηση 73,2 kg/εκτάριο άζωτο και 74,4 kg/εκτάριο κάλιο. Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 11.2

Πίνακας 11.2 Απαιτούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων για ομοιόμορφη εφαρμογή λιπάσματος και για εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (οπωρώνας Αγιάς)

Θρεπτικό στοιχείο	Ομοιόμορφη εφαρμογή (kg/εκτάριο)	Εφαρμογή με μεταβλητές δόσεις (kg/εκτάριο)	Διαφορά (kg/εκτάριο)
N	180	106,8	73,2
K	210	135,6	74,4

Από τους Πίνακες 11.1 και 11.2 παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή των λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των δένδρων γίνεται εξοικονόμηση λιπάσματος που οδηγεί σε οικονομικό όφελος για τον παραγωγό. Επίσης γίνεται πιο αποτελεσματική αξιοποίηση των λιπασμάτων από τα φυτά εφόσον στις περιοχές του οπωρώνα με μεγάλη παραγωγή εφαρμόζονται μεγαλύτερες ποσότητες λιπασμάτων οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν από τα δένδρα. Αντίθετα σε περιοχές του αγρού με μικρή παραγωγή εφαρμόζονται μικρότερες ποσότητες λιπασμάτων και με τον τρόπο αυτό γίνεται εξοικονόμηση χρημάτων από την μια πλευρά και δεν προκαλείται ρύπανση του περιβάλλοντος από υπερβολικές ποσότητες λιπασμάτων από την άλλη. Επιπλέον πιθανόν να υπάρχει επίδραση και στην ποιότητα από ακριβέστερη εφαρμογή των λιπασμάτων. Σε ανάλογα αποτελέσματα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές οι οποίοι βρήκαν μείωση της ποσότητας των λιπασμάτων με την εφαρμογή σε μεταβλητές δόσεις σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή. Οι Zaman et al. (2006) βρήκαν ότι με την εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις σε εσπεριδοειδή επιτεύχθηκε μείωση του κόστους λίπανσης κατά 40%.

Οι Bongiovanni και Lowenberg-Deboer (2004) σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για την συμβολή της Γεωργίας Ακριβείας στην αειφορία συγκέντρωσαν αποτελέσματα πολλών ερευνητών για την εφαρμογή λιπασμάτων με μεταβλητές δόσεις. Οι περισσότερες έρευνες αφορούσαν το άζωτο που είναι το κύριο θρεπτικό στοιχείο και έδειχναν ότι με την εφαρμογή του αζώτου με μεταβλητές δόσεις στις περισσότερες περιπτώσεις επιτεύχθηκε μείωση του κόστους της λίπανσης, αύξηση της αποτελεσματικότητας χρήσης του λιπάσματος (Nutrient Use Efficiency) και περιβαλλοντικά οφέλη από τη μείωση της έκλυσης του αζώτου στο περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

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

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

Η Γεωργία Ακριβείας έχει εφαρμοστεί κυρίως σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας στις ΗΠΑ και στη Β. Ευρώπη όπου έχουν αναδειχθεί τα οφέλη από την εφαρμογή της. Στις δενδρώδεις καλλιέργειες έχει γίνει έρευνα κυρίως στο Πανεπιστήμιο της Φλόριντα στις ΗΠΑ σε εσπεριδοειδή. Στην καλλιέργεια της μηλιάς δεν υπάρχουν έρευνες για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας ούτε παγκόσμια ούτε στη χώρα μας.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί η χωρική και η χρονική παραλλακτικότητα της παραγωγής, της ποιότητας και των εδαφικών χαρακτηριστικών σε δύο οπωρώνες μηλιάς με σκοπό να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στους οπωρώνες αυτούς. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν δύο εμπορικοί οπωρώνες σε δύο περιοχές που καλλιεργούνται μήλα: στη περιοχή της Αγίας Λάρισας και

στην περιοχή της Πτολεμαΐδας Κοζάνης στους οποίους έγιναν μετρήσεις για τρία συνεχόμενα έτη.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε ζυγίζοντας την παραγωγή ανά πέντε δένδρα (οπωρώνας Πτολεμαΐδας) ή ανά δέκα δένδρα (οπωρώνας Αγιάς) και καταγράφοντας τις συντεταγμένες στο κέντρο της πεντάδας ή της δεκάδας των δένδρων. Η χαρτογράφηση της παραγωγής έδειξε σημαντική παραλλακτικότητα στην παραγωγή και στους δύο οπωρώνες. Στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ο μέσος συντελεστής παραλλακτικότητας για τα τρία έτη του πειράματος για την ποικιλία Red Chief ήταν 21,2% και για την ποικιλία Fuji 24,3%. Η μέση παραγωγή της ποικιλίας Red Chief για τα τρία χρόνια ήταν 26,9 τόνοι/εκτάριο και δεν είχε μεγάλες διαφορές από έτος σε έτος διότι η ποικιλία αυτή δεν παρεννιαυτοφορεί σε μεγάλο βαθμό. Αντίθετα η ποικιλία Fuji είχε μεγάλες διαφορές στην παραγωγή από έτος σε έτος διότι είναι ποικιλία που παρεννιαυτοφορεί έντονα.. Τα έτη 2004 και 2006 είχε παραγωγή λίγο παραπάνω από 50 τόνους/εκτάριο και το 2005 μόλις 25 τόνους/εκτάριο δηλαδή μόλις τη μισή παραγωγή από τα δύο άλλα έτη. Στον οπωρώνα της Αγιάς η παραλλακτικότητα στην παραγωγή της ποικιλίας Red Chief ήταν μεγαλύτερη με συντελεστή παραλλακτικότητας γύρω στο 50% που είναι πολύ σημαντικός. Η μέση παραγωγή για τα τρία έτη του πειράματος ήταν 31 τόνοι /εκτάριο. Η παραγωγή τα έτη 2005 και 2006 ήταν παρόμοια ενώ το 2007 η παραγωγή ήταν κατά περίπου 30% χαμηλότερη από τα δύο προηγούμενα έτη. Η μείωση της παραγωγής το 2007 οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά δένδρα καταστράφηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της χρονιάς. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τους δύο οπωρώνες φαίνεται ότι η παραγωγή στην Αγιά είναι κατά μέσο όρο μεγαλύτερη από την παραγωγή στην Πτολεμαΐδα. Αυτό συμβαίνει διότι η Αγιά είναι ημιορεινή περιοχή με υψόμετρο περίπου 160m και οι εδαφοκλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλες για επίτευξη υψηλής παραγωγής. Αντίθετα η Πτολεμαΐδα είναι ορεινή περιοχή (υψόμετρο 690m) με φτωχό έδαφος και η παραγωγή είναι μικρότερη. Επίσης το μέγεθος της παραλλακτικότητας στην παραγωγή διαφέρει στους δύο οπωρώνες. Ο συντελεστής παραλλακτικότητας στην Πτολεμαΐδα είναι περίπου 20%, ενώ στην Αγιά είναι πολύ μεγαλύτερος και είναι περίπου 50%, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στο μεγαλύτερο μέγεθος του οπωρώνα της Αγιάς (η έκταση οπωρώνα της Αγιάς είναι 5 εκτάρια, ενώ η έκταση του οπωρώνα της Πτολεμαΐδας είναι μόνο 0,8) και σε διαφορές του εδάφους (σύσταση, θρεπτικά στοιχεία, συγκέντρωση και συγκράτηση νερού).

Η χαρτογράφηση της ποιότητας έγινε λαμβάνοντας δείγματα καρπών και από τους δύο οπωρώνες κατά τη συγκομιδή και καταγράφοντας τις συντεταγμένες των θέσεων των δειγμάτων ποιότητας. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν ήταν το βάρος καρπού, το χρώμα φλοιού, η σκληρότητα σάρκας, τα διαλυτά στερεά συστατικά του χυμού, το pH χυμού και η οξύτητα χυμού. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά έδειξαν μικρότερη χωρική παραλλακτικότητα από την παραγωγή με συντελεστές παραλλακτικότητας να κυμαίνονται από 3-22%. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τη μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν η σκληρότητα σάρκας και τα διαλυτά στερεά συστατικά και τη μεγαλύτερη το βάρος καρπού, η οξύτητα χυμού και το χρώμα καρπού. Η παραλλακτικότητα στην ποιότητα μπορεί να οφείλεται σε πολλούς λόγους όπως είναι οι διαφορές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, στο ανάγλυφο, στην υγρασία του εδάφους και στις διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόστηκαν τα προηγούμενα έτη. Η ποιότητα των καρπών στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ήταν καλύτερη (υψηλότερη σκληρότητα σάρκας, υψηλότερη οξύτητα χυμού, πιο καλό χρώμα). Αυτό οφείλεται στο κλίμα της περιοχής που είναι ιδανικό για τα κόκκινα μήλα τα οποία θέλουν δροσερά καλοκαίρια για να παράγουν σκληρούς καρπούς με ευχάριστη γεύση και βαθύ κόκκινο χρώμα (Βασιλακάκης, 2004). Αντίθετα στην Αγιά τα καλοκαίρια είναι πιο ζεστά με αποτέλεσμα η ποιότητα των καρπών να είναι χαμηλότερη.

Η χαρτογράφηση της ανθοφορίας έγινε στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Στερεολογίας για την εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο. Η παραγωγή των δένδρων στα οποία εκτιμήθηκε η ανθοφορία μετρήθηκε το επόμενο Φθινόπωρο με σκοπό να γίνει συσχέτιση της ανθοφορίας με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμός των ανθέων είχε θετική συσχέτιση με την παραγωγή του τρέχοντος έτους. Ο συντελεστής συσχέτισης ήταν $r=0,58$ για την ποικιλία Red Chief και $r=0,78$ για την Fuji. Το αποτέλεσμα αυτό είναι πολύ ενδιαφέρον διότι μας δείχνει ότι η ανθοφορία φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή ανεξάρτητα από τις ενδιάμεσες καλλιεργητικές φροντίδες. Ο χάρτης ανθοφορίας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής αλλά και της χωρικής κατανομής της από την Άνοιξη που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και την αγορά. Επίσης θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή λίπανσης και χημικού αραιώματος καρπών με μεταβλητές δόσεις, με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία χρημάτων και μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από τη χρήση χημικών.

Οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους έδειξαν παραλλακτικότητα και στους δύο οπωρώνες. Για τη δειγματοληψία του εδάφους ακολουθήθηκε διαφορετική τακτική στους δύο οπωρώνες. Στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας λήφθηκαν 60 δείγματα εδάφους σε ένα ακανόνιστο πλέγμα και αναλύθηκαν για μηχανική σύσταση, pH, άζωτο, φώσφορο, ανταλλάξιμα κατιόντα (κάλιο, νάτριο, ασβέστιο, μαγνήσιο), ιχνοστοιχεία (σίδηρο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο, χαλκό) και οργανική ουσία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία βρίσκονταν σε επάρκεια στο έδαφος και δεν χρειάζονταν επιπλέον εφαρμογή. Το άζωτο και το ασβέστιο ήταν κάτω από τα όρια επάρκειας σε ορισμένες περιοχές του αγρού. Για τα δύο αυτά θρεπτικά στοιχεία δημιουργήθηκαν χάρτες εφαρμογής που δείχνουν τις περιοχές του αγρού που είναι κάτω από τα όρια επάρκειας και χρειάζεται εφαρμογή. Στον οπωρώνα της Αγιάς δημιουργήθηκαν αρχικά ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή και στις ζώνες αυτές λήφθηκαν τα εδαφικά δείγματα. Ο αγρός χωρίστηκε σε έξι ζώνες. Στην κάθε ζώνη υπολογίστηκε ο μέσος όρος της παραγωγής και των εδαφικών ιδιοτήτων και έγινε συσχέτιση μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η παραγωγή είχε αρνητική συσχέτιση με το pH του εδάφους, το φώσφορο, την άργιλο, την οργανική ουσία και το ανθρακικό ασβέστιο και θετική συσχέτιση με το ποσοστό της ιλύος. Η αρνητική συσχέτιση με το pH του εδάφους πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι είναι αλκαλικό και κυμαίνεται από 6,9-8,1 ενώ το άριστο για την μηλιά είναι 6,5-6,8 (Βασιλακάκης, 2004). Στην ίδια αιτία πρέπει να αποδοθεί η αρνητική συσχέτιση με το ανθρακικό ασβέστιο το οποίο ανεβάζει το pH του εδάφους. Ο φώσφορος δεν επηρεάζει την παραγωγή στη μηλιά οπότε η αρνητική συσχέτιση που βρέθηκε είναι άνευ σημασίας. Η αρνητική συσχέτιση της παραγωγής με την οργανική ουσία και με το ποσοστό της αργίλου οφείλεται στο γεγονός ότι η άργιλος και η οργανική ουσία απελευθερώνουν άζωτο το οποίο ευνοεί τη βλάστηση στη μηλιά η οποία ανταγωνίζεται την παραγωγή. Αντίθετα η μηλιά προτιμά τα μέσης σύστασης καλά στραγγιζόμενα εδάφη (Βασιλακάκης, 2004) και για το λόγο αυτό η παραγωγή έχει θετική συσχέτιση με το ποσοστό της ιλύος.

Η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας έγινε σε τρία στάδια: α) δημιουργία χαρτών τάσης παραγωγής και ποιότητας, οι οποίοι δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας τους μέσους όρους των τιμών στα τρία χρόνια του πειράματος και δείχνουν την τάση που διαμορφώνεται στα μετρούμενα μεγέθη σε κάθε σημείο του αγρού β) δημιουργία ιστογραμμάτων που δείχνουν τις διαφορές στην παραγωγή και στην ποιότητα από χρονιά σε χρονιά και γ) δημιουργία χαρτών χρονικής παραλλακτικότητας που δείχνουν περιοχές

του αγρού που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι πάνω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος και περιοχές που η παραγωγή ή η ποιότητα είναι κάτω από το μέσο όρο και για τα τρία έτη του πειράματος.

Για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας ο συνδυασμός του χάρτη τάσης παραγωγής και του χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας έδειξε ότι ο οπωρώνας μπορεί να χωριστεί σε δύο ζώνες διαχείρισης μια υψηλής παραγωγής που καλύπτει το νότιο τμήμα του και μία χαμηλής παραγωγής που βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι στο νότιο τμήμα υπάρχουν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος δένδρα που παράγουν περισσότερο.

Για τον οπωρώνα της Αγιάς η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας έδειξε ότι υπάρχει μια ζώνη που παράγει σταθερά πάνω από το μέσο όρο η οποία βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα και εκτείνεται από το βόρειο μέχρι το νότιο άκρο του, ενώ αριστερά και δεξιά αυτής της ζώνης ο οπωρώνας παράγει χαμηλότερα από το μέσο όρο. Η υψηλότερη παραγωγή στο κεντρικό τμήμα του οπωρώνα οφείλεται στο γεγονός ότι σε εκείνη την περιοχή λόγω κλίσης του εδάφους συγκεντρώνεται το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία και τα δένδρα αναπτύσσονται καλύτερα. Περιφερειακά της ζώνης υψηλής παραγωγής το έδαφος είναι πιο άγονο λόγω διάβρωσης και επομένως η παραγωγή μειώνεται.

Και στους δύο οπωρώνες από τα ιστογράμματα παραγωγής φάνηκε ότι δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην παραγωγή από έτος σε έτος.

Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας έδειξε ότι και στους δύο οπωρώνες δεν διαμορφώνονται σταθερές ζώνες διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ποιότητα των καρπών, οι οποίες καιρικές συνθήκες αλλάζουν από έτος σε έτος.

Ζώνες διαχείρισης με βάση την παραγωγή δημιουργήθηκαν με το λογισμικό Management Zone Analyst. Ο άριστος αριθμός ζωνών διαχείρισης καθορίστηκε με βάση τις τιμές των δεικτών NCE και FPI οι οποίες πρέπει να είναι ελάχιστες και με βάση την ευκολία διαχείρισης των ζωνών από τον παραγωγό. Έτσι ο κάθε αγρός χωρίστηκε σε τρεις ζώνες μια υψηλής παραγωγής, μια μέσης παραγωγής και μια χαμηλής παραγωγής. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με τις ζώνες παραγωγής που φάνηκαν από το χάρτη τάσης παραγωγής και το χάρτη χρονικής παραλλακτικότητας.

Προκειμένου να γίνει εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις ανάγκες των δένδρων και όχι ομοιόμορφα σε όλο τον αγρό υπολογίστηκαν τα θρεπτικά στοιχεία που απομακρύνθηκαν από τον οπωρώνα με την παραγωγή της προηγούμενης χρονιάς με σκοπό να εφαρμοστούν την επόμενη χρονιά. Με τον τρόπο αυτό αντικαθίστανται τα στοιχεία που απομακρύνονται και δεν εφαρμόζονται επιπλέον λιπάσματα που πιθανόν να έχουν αρνητική επίδραση στην καλλιέργεια και να επιβαρύνουν το περιβάλλον. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι χάρτες εφαρμογής για το κάθε θρεπτικό στοιχείο που δείχνουν την ποσότητα του θρεπτικού στοιχείου που πρέπει να εφαρμοστεί σε κάθε περιοχή του οπωρώνα σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας. Τέλος έγινε υπολογισμός της ποσότητας του λιπάσματος που εξοικονομήθηκε κατά την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων σύμφωνα με τις ανάγκες της καλλιέργειας σε σχέση με την ομοιόμορφη εφαρμογή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας μπορεί να γίνει εξοικονόμηση 94,4 kg/ εκτάριο άζωτο και 102,5 kg/εκτάριο κάλιο και για τον οπωρώνα της Αγιάς μπορεί να γίνει εξοικονόμηση περίπου 73,2 kg/εκτάριο άζωτο και 58,6 kg/εκτάριο κάλιο. Τα αποτελέσματα αυτά είναι πολύ σημαντικά και δείχνουν ότι με την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών μπορεί να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων για τη λίπανση και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα λιπάσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα τρία έτη του πειράματος παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική και χρονική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, παρόλο το μικρό μέγεθος των οπωρώνων. Η ύπαρξη αυτής της παραλλακτικότητας υποδηλώνει ότι μπορούν να εφαρμοστούν συστήματα της Γεωργίας Ακριβείας στους οπωρώνες αυτούς.

Η χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή ήταν 20% στον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας και 50% στον οπωρώνα της Αγιάς. Η χωρική παραλλακτικότητα στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών ήταν μικρότερη από την παραγωγή και κυμάνθηκε από 3-22%. Από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τη μικρότερη παραλλακτικότητα έδειξαν η σκληρότητα σάρκας και τα διαλυτά στερεά συστατικά και τη μεγαλύτερη το βάρος καρπού, η οξύτητα χυμού και το χρώμα καρπού

Με την ανάλυση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας της παραγωγής δημιουργήθηκαν ζώνες διαχείρισης στους οπωρώνες όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία. Όσον αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών η ανάλυση της χρονικής παραλλακτικότητας έδειξε ότι και στους δύο οπωρώνες δεν διαμορφώνονται σταθερές ζώνες διαχείρισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με το χρόνο, γεγονός που πιθανόν οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ποιότητα των καρπών, οι οποίες καιρικές συνθήκες αλλάζουν από έτος σε έτος.

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

Με την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών μπορεί να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων για τη λίπανση και μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα λιπάσματα. Για τον οπωρώνα της Πτολεμαΐδας υπολογίστηκε εξοικονόμηση περίπου 94,4 kg/εκτάριο άζωτο και 114,7 kg/εκτάριο κάλιο και για τον οπωρώνα της Αγιάς περίπου 73,2 kg/εκτάριο άζωτο και 74,4 kg/εκτάριο κάλιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα έρευνα έγινε καταγραφή της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας στην παραγωγή, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών και στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους σε δυο οπωρώνες μηλιάς, όπου έχουν συγκεντρωθεί αρκετά στοιχεία για τρία συνεχόμενα έτη. Το αντικείμενο της έρευνας αυτής είναι πολύ καινοτόμο καθώς δεν υπάρχουν, από όσο γνωρίζουμε, εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας στα μήλα στην Ελλάδα αλλά και παγκόσμια. Για το λόγο αυτό η έρευνα αυτή θα μπορούσε να επεκταθεί σε πολλούς τομείς μερικοί από τους οποίους είναι:

- Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων για την εξήγηση της παραλλακτικότητας. Το κλίμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που έχει επίδραση στην παραγωγή και ποιότητα των προϊόντων. Ο συνδυασμός των δεδομένων που έχουν συγκεντρωθεί μέχρι σήμερα με τα αντίστοιχα κλιματικά δεδομένα θα δώσει την δυνατότητα να εξηγηθεί καλύτερα η παραλλακτικότητα στην παραγωγή και ποιότητα και να ληφθούν αποφάσεις για την ορθότερη διαχείριση των οπωρώνων.
- Συνέχιση της χαρτογράφησης παραγωγής για τα επόμενα χρόνια στους ίδιους οπωρώνες και επέκταση της σε άλλους οπωρώνες για να κατανοηθούν καλύτερα οι παράγοντες που προκαλούν την παραλλακτικότητα στην παραγωγή, καθώς ο χάρτης παραγωγής είναι από τα σημαντικότερα εργαλεία στη Γεωργία Ακριβείας.
- Αυτοματοποίηση της διαδικασίας χαρτογράφησης παραγωγής. Η διαδικασία χαρτογράφησης παραγωγής είναι αρκετά επίπονη και χρονοβόρα καθώς απαιτεί την παρουσία ενός τουλάχιστον ατόμου που καταγράφει την παραγωγή και τις συντεταγμένες κατά τη συγκομιδή των μήλων η οποία διαρκεί αρκετές ημέρες σε κάθε οπωρώνα. Η αυτοματοποίηση του συστήματος θα μπορούσε να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ανάλογο με αυτό που χρησιμοποιούν στη Φλόριντα για τα εσπεριδοειδή. Δηλαδή να συγκεντρώνονται τα μήλα σε μεγάλα παλετοκιβώτια και καθώς φορτώνονται στο όχημα μεταφοράς να ζυγίζονται, να καταγράφεται το βάρος και η αντίστοιχη θέση με ένα GPS τοποθετημένο στο όχημα μεταφοράς και τα δεδομένα βάρους και θέσης να αποθηκεύονται σε ένα υπολογιστή.
- Βελτίωση του συστήματος χαρτογράφησης ανθοφορίας. Στην παρούσα εργασία η χαρτογράφηση ανθοφορίας έγινε με εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της στερεολογίας και καταγράφοντας την αντίστοιχη θέση με GPS. Η εκτίμηση του αριθμού των ανθέων είναι χρονοβόρα διαδικασία

και πρέπει να γίνει σε ορισμένο χρονικό διάστημα που διαρκεί η ανθοφορία. Το σύστημα θα μπορούσε να βελτιωθεί λαμβάνοντας φωτογραφίες από τα ανθισμένα δένδρα και η εκτίμηση του αριθμού των ανθέων ανά δένδρο να γίνεται από τις φωτογραφίες χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό επεξεργασίας εικόνας.

- Χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης για πρόβλεψη της παραγωγής. Έχει βρεθεί ότι οι δείκτες βλάστησης που εξάγονται από δορυφορικές εικόνες ή αεροφωτογραφίες σε ορισμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας σχετίζονται με την παραγωγή. Με την επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης θα μπορούσε να γίνει πρόβλεψη της παραγωγής που είναι πολύ σημαντικό για τον παραγωγό και για την αγορά.
- Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν ότι με την εφαρμογή των θρεπτικών στοιχείων με μεταβλητές δόσεις σύμφωνα με τις ανάγκες των φυτών γίνεται σημαντική εξοικονόμηση λιπασμάτων. Η έρευνα πρέπει να συνεχιστεί για να μελετηθούν τα μακροχρόνια αποτελέσματα της εφαρμογής θρεπτικών στοιχείων με μεταβλητές δόσεις και να επεκταθεί σε άλλες εισροές όπως είναι το νερό άρδευσης και οι φυτοπροστατευτικές ουσίες.
- Δημιουργία ενός συστήματος υποστήριξης λήψης αποφάσεων (Decision Support System), που να λαμβάνει υπόψη όλα τα διαθέσιμα στοιχεία και προτείνει στον παραγωγό την κατάλληλη μέθοδο διαχείρισης του αγρού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acevedo-Opazo, C., Tisseyre, B., Guillaume, S., Ojeda, H. 2007. Test of NDVI information for a relevant vineyard zoning related to vine water status. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp. 547-554.
- Alchanatis, V., Safren, O., Levi, O., Ostrovsky, V. 2007. Apple yield imaging using hyperspectral machine vision. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp. 555-562.
- Ampatzidis, Y., Vougioukas, S., Bohtis, D., Tsatsarelis, C. 2007. A yield mapping system for hand harvested fruits based on RFID and GPS location technologies. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp. 273-280.
- Annamalai, P and Lee, W.S. 2003. Citrus yield mapping system using machine vision. ASAE paper number 031002.
- Arno, J., Bordes, X., Ribes-Dasi, M., Blanco, R., Rosell, J.R., Esteve, J. 2005. Obtaining grape yield maps and analysis of within field variability in Raimat (Spain). 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp. 899-906.
- Arslan, S., and T. S. Colvin. 1999. Laboratory performance of a yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture* 15(3): 189–195.
- Auernhammer, H., M. Demmel, and P. Pirro. 1995. Yield measurement on self-propelled forage harvesters. ASAE Paper No. 95–1757. St. Joseph, Michigan. ASAE.
- Balastreire, L. A., Schueller, J.K., Amaral, J.R., Leal, J.C.G, Baio, F.H.R. 2002. Coffee Yield Mapping. ASAE Paper No 021166. St. Joseph, Michigan. ASAE
- Balsari, P., Tamagnone, M. 1998. An ultrasonic airblast sprayer. EurAgEng Paper N 98A-017. Ag Eng 98 International Conference, Oslo, Norway
- Birrell, S. J., K. A. Sudduth, and S. C. Borgelt. 1993. Crop yield and soil nutrient mapping. ASAE Paper No. 93–1556. St. Joseph, Michigan ASAE.
- Birrell, S. J., K. A. Sudduth, and S. C. Borgelt. 1996. Crop yield mapping: Comparison of yield monitors and mapping techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*. 14(2): 215–233.
- Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture*, 26: 37-51.
- 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 A.B. McBratney. 1999. Identifying potential withinfield management zones from cotton yield estimates. p. 331-341. In J.V. Stafford (ed.) Precision agriculture '99. Proc. European Conf. on Precision Agric.. 2nd. Odense Congress Cent., Denmark. 11-15 July 1999. SCI, London.
- Bongiovanni, R., lowenberg-Deboer, J. 2004. Precision Agriculture and Sustainability. Precision Agriculture, 5: 359-387.
- Brady, C.N.1984. The Nature and Properties of soils. Chapter 5. 9th ed. Macmillan Publishing Company, New York.
- Bramley, R.G.V., Hamilton, R.P. 2004. Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research 10: 32-45.
- Bramley, R.G.V., 2005. Understanding variability in winegrape production systems 2. Within vineyard variation in quality over several vintages. Australian Journal of Grape and Wine Research 11 (1): 33-42.
- Bramley, R.G.V., Proffitt, A.P.B., Hinze, C. J., Pearse, B., Hamilton, R.P., 2005. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp 891-898.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. K., Turco, R. F. and Konopka, A. E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal 58: 1501–1511.
- Campbell R. H., S. L. Rawlings, S. Han 1994. Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94-1584, ASAE, St Joseph Michigan.
- Coates, R.W., Shafii, M.S., Upadhyaya, S.K., Browne, G.T. 2007. Site specific fumigant applicator for prevention of almond replant disease. ASBE Paper N 071080
- Corwin, D. L., Lesch, S. M. 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 46: 11-13.
- Chinchuluun, R., Lee, W. S., Ehsani, R. 2007. Citrus yield mapping system on a canopy shake and catch harvester. ASAE Annual Meeting 073050.
- De Baerdemaeker, J., R. Delcroix, and P. Lindemans. 1985. Monitoring the grain flow on combines. In Agri-Mation 1, 329–338. St. Joseph, Michigan ASAE.
- Dobrowski, S., Ustin, S.L., Wolpert, J.A. 2002. Remote estimation of vineyard canopy density in vertically shoot positioned vineyards. Determining optical vegetation indices. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8(2): 117-125.

- Escola, A., Camp, F., Solanelles, F., Planas, S., Rosell, J. R. 2003. Tree crop proportional spraying according to the vegetation volume. First results. Proceedings of the VII Workshop on Spraying Application Techniques in Fruit Growing, Cuneo, Italy.
- Escola, A., Camp, F., Solanelles, F., Llorens, J., Planas, S., Rosell, J. R., Gracia, F., Gil, E. 2007. Variable dose rate sprayer prototype for tree crops based on sensor measured canopy characteristics. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp. 563-571.
- Fleming, K.L., D.G. Westfall, D.W. Wiens, and M.C. Brodah. 2000. Evaluating farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture*, 2:201-215.
- Fraisse, C.W., K.A. Sudduth, and N.R. Kitchen. 2001a. 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., K.A. Sudduth, and N.R. Kitchen. 2001b. Calibration of the Ceres-Maize model for simulating site-specific crop development and yield on claypan soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(4):547-556.
- Franzen, D.W., Peck, T.R. 1995. Sampling for site-specific application. In: *Site-Specific Management for Agricultural Systems*. P.C. Robert, R. H. Rust and W.E. Larson (Eds), ASA-CSSA-SSSA, Inc, Madison, WI, pp. 535-551.
- Fridgen, J.J., Kitchen, N. R., Sudduth, K.A., Drummond, S. T., Wiebold, W. J., Fraisse, C.W. 2004. Management Zone Analyst(MZA): Software for subfield management zone delineation. *Agronomy Journal*, 96: 100-108.
- Friedman, S., 2005. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in agriculture*, 46: 45-70.
- Gemtos, T.A., Fountas, S., Blackmore, S., Greipentrog, H.W. 2002. Precision farming experience in Europe and the Greek potential. HAICTA Conference, Athens, June 2002.
- Giles, D. K., Delwicke, M.J., Dodd, R.B. 1987. Control of orchard spraying based on electronic sensing of target characteristics. *Transactions of the ASAE* , 30(6): 1624-1630.
- Goovaerts, P., 1997. *Geostatistics for Natural Recourses Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Graeff, S., Claupein, W. 2003. Quantifying nitrogen status of corn (*Zea mays* L.) in the field by reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 19: 611-618

- Griffin, T.W., J. Lowenberg-DeBoer, D.M. Lambert, J. Peone, T. Payne, S.G. Daberkow, 2004. Adoption, Profitability, and Making Better Use of Precision Farming Data. Staff Paper #04-06. Department of Agricultural Economics, Purdue University.
- Grisso, R. D., P. J. Jasa, M. A. Schroeder, and J. C. Wilcox. 1999. Yield monitor accuracy: Successful farming magazine case study. ASAE Paper No. 99-1047. St. Joseph, Michigan ASAE
- Jaeken, P., Doruchowski, G., Holownicki, R. 1997. Use of sensors in selective spray application in orchards. Proceedings of the V Symposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering, Davis, USA
- Janes, D.B., Novak, J.M., Moorman, T.B., Cambardella, C.A., 1994. Estimating Herbicide Partition Coefficients from Electromagnetic Induction Measurements. Journal of Environmental Quality, 24: 36-41.
- Jager, A., Putter, H. 1999. Preharvest factors and postharvest quality decline of apples. Proceedings of the International Symposium on Effect of Pre- and Post Harvest factors on Storage of Fruit, pp. 103-110.
- Helsel, Z.R.1992. Energy and Alternatives for Fertilizer and Pesticide Use. In: Energy in Farm Production (Energy in World Agriculture, Vol. 6), R.C. Fluck (ed), Elsevier, Amsterdam, p.180
- Hofman A. R., Penigrahi, S., Gregor, B. and Walker J. 1995. In field Monitoring Sugar Beets. ASAE paper, 95-2114, ASAE, St. Joseph Michigan.
- IFA, 1992. International Fertilizer Association. World Fertilizer Use Manual
- Isaaks, E. H., Srivastava, R. M., 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Kim, Y., Reid, J. 2004. Apple yield mapping using a multispectral imaging sensor. International Scientific Conference on Agricultural Engineering (AgEng), Leuven, Belgium.
- Kitchen, N.R., K.A. Sudduth, and S.T. Drummond. 1999. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. Journal of Production Agriculture, 12: 607-617.
- Kitchen, N.R., S.T Drummond, E.D. Lund, K.A. Sudduth, and G.W. Buchleiter. 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 on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46: 285-308
- Kromer, K. H., O. Schmittmann, and A. M. Osman. 1999. Crop yield monitoring on forage harvesters. ASAE Paper No. 99-1051. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Lang, N.S., Silbernagel, J., Perry, E.M., Smithyman, R., Mills, L., Wample, R.L. 2000. Remote image and leaf reflectance analysis to evaluate the impact of environmental stress on canopy metabolism. *HorTtechnology*, 10(3): 468-474.
- Lark, R.M., and J.V. Stafford. 1997. Classification as a first step in the interpretation of temporal and spatial variation of crop yield. *Annals of Applied Biology*, 130:111-121.
- Lee, C. K., M. Umeda, J. Yanai, M. Iida, and T. Koseki. 1999. Grain yield and soil properties in paddy field. ASAE Paper No. 99-1057. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Long, D.S., G.R. Carlson, and S.D. DeGloria. 1994. Quality of field management maps. p. 251-271. *In* P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) Site-specific management for agricultural systems. Proc. Int. Conf., 2nd, Minneapolis, MN. 27-30 Mar. 1994. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Lopez-Granados, F., Jurado-Exposito, M., Alamo, S., Garcia-Torres, L, 2004. Leaf nutrient spatial variability and site-specific fertilization maps within olive (*Olea europaea L.*) orchards. *European Journal Agronomy* 21: 209-222.
- Lund, E.D., Christy, C.D., Drummond, P.E., 1999. Practical applications of soil electrical conductivity mapping. Proceedings of the 2nd European Conference on Precision Agriculture, July, 1999
- Markinos, A., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G., and Gemtos, T.A. 2003. A precision farming application in cotton in the small farms of Greece. Presented in 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, 15-19 June 2003
- Markinos, A.T, Gemtos, T.A., Pateras, D., Toullos, L., Zerva, G. and Papaeconomou, M. 2004. The influence of cotton variety in the calibration factor of a cotton yield monitor, 2nd HAICTA conference, Thessaloniki, Greece, 18-20 March 2004, Vol. 2, pp. 65-74.
- Marquina, P., Venturini, M.E., Oria, R., Negueruela, A.I. 2004. Monitoring Colour Evolution During Maturity in Fuji Apples. *Food Science and Technology International*, 10(5): 315-321.
- Mason, H., Navabi, A., Frick, B., O' Donovan, J., Spaner, D. 2007. Cultivar and seeding rate effects on the competitive ability of spring cereals grown under organic production in Northern Canada. *Agronomy Journal*, 99: 1199-1207.

- McBride, R.A., Gordon, A.M., Shrive, S.C., 1990. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 290-293.
- Mc Guire, R. G., 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12): 1254-1255.
- McCann, B.L., D.J. Pennock, C. van Kessel, and F.L. Walley. 1996. The development of management units for site specific farming. p. 295-302. In P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) *Precision agriculture. Proc. Int. Conf.*, 3rd, Minneapolis, MN. 23-26 June 1996. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- MacMillan, R.A., W.W. Pettapiece, L.D. Watson, and T.W. Goddard. 1998. A landform segmentation model for precision farming. p. 1335-1346. *In P.C. Robert et al. (ed.) Precision agriculture. ProcInt. Conf.*, 4th, St. Paul, MN. 19-22 July 1998. ASA, CSSA, andSSSA, Madison, WI.
- Medema, D.J., Bergeijk, J., Goense, D. 2000. Spatial variability of sugar beet yield and quality in relation to several soil properties. In 5th International Conference on Precision Agriculture, ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI
- Miller, W. M., and J. D. Whitney. 1999. Evaluation of weighing systems for citrus yield monitoring. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(6): 609–614.
- Miller, W.M., Whitney, J.D., Shumann, A., Buchanon, S. 2003. A Test Program to Assess VRT Granular Fertilizer Applications for Citrus. 2003. ASAE Paper N. 031126.
- Miller W. M., Salyani, M. 2005. Stewardship Monitoring and Control of Aldicarb Application to Florida Citrus. 2005. ASAE Paper N. 051041.
- Minasny, B. and A. B. McBratney, 2002. FuzMe version 3.0 (Online). Available at <http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa> (verified 4 June 2003). Australian Center for Precision Agriculture. The University of Sydney, Sydney, NSW.
- Minasny, B., McBratney, A.B., and Whelan, B.M., 2005. VESPER version 1.62. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. (<http://www.usyd.edu.au/su/agric/acpa>)
- Molto, M., Martin, B., Gtierrez, A. 2001. Pesticide loss reduction by automatic adaptation of spraying on globular trees. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 78(1): 35-41.
- Morgan, M., Ess, D., 1997. *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. Edited by J.E. Kuhar. Published by John Deere Publishing Dept 374.

- Molin, J.P., Mascarin, L.S., Povh, F. P., Amaral, J.R., Oliveira, A.S. 2007. Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece. Poster Abstracts in CD
- Murphy, D. P., Schnug, E., Haneklaus, S. 1995. Yield mapping: A guide to improved techniques and strategies. Second International Conference on Site-Specific Management for Agricultural Systems, 33–47. P. C. Robert et al., eds. Madison, Wisconsin ASA–CSSA–SSSA.
- Okamoto, H., Lee, W. S., Kane, K. 2007. Hyperspectral imaging for green citrus detection. Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece. . Poster Abstracts in CD
- Ortega, R.A., Esser, A., Santibanez, O., 2003. Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. 4th European Conference on Precision Agriculture, Berlin, Germany, pp. 499-506
- Paraskevopoulos, A., Bouloulis, K. (2007). Precision agricultural practices in olive trees in Greece. Proceedings of the 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece. Poster Abstracts in CD
- Pelletier G., Upadaya S. K. 1999. Development of a tomato load/yield monitor. Computers and Electronics in Agriculture, 23: 103-107.
- Perry, C., Pocknee, S., Hansen, O., Kvien, C., Velidis, G., Hart, E. 2002. Development and Testing of a Variable-Rate Pivot Irrigation Control System. ASAE Paper N. 022290.
- Perry, R. 1995. Sensor controlled orchard sprayers. Proceedings of the National Conference on Pesticide Application Technology, Guelph, Canada, pp 164-171.
- Perry, C.D., Sullivan, D.G., Ortiz, B.V., Rucker, K.S., Vellidis, G. 2007. Developing Nematode Management Zones Using Soil EC Data. ASAE Paper N. 071002.
- Pierce, F. J., Warncke, D.D., Everett, M.W. 1995. Yield and nutrient variability in glacial soils of Michigan. In: Site-Specific Management for Agricultural Systems, P.C. Robert, R. H. Rust and W. E. Larson (Eds). ASA-CSSA-SSSA, Inc Madison, WI, pp. 133-151.
- Plaster J. E. 1992. Soil Science and Management. Chapter 9. Delmar Publishers Inc. Albany, New York
- Queiroz, D.M., Alves, E.A., Pinto, F.A.C. 2007. Spatial and Temporal Variability of Coffee Quality. ASABE Paper, N. 071141

- Qiao J., Sasao A., Shibusawa S., Kondo N., Morimoto E. 2005. Mapping Yield and Quality using the Mobile Fruit Grading Robot. *Biosystems Engineering*, 90(2): 135-142.
- Rawlins, S. L., G. S. Campbell, R. H. Campbell, and J. R. Hess. 1995. Yield mapping of potato. In *Site-Specific Management for Agricultural Systems*, 59–68. Madison, Wisc.: ASA–CSSA–SSSA.
- Romo, A., Fraile, S., Sanz, J., Casanova, J-L 2007. Management support for an olive- tree plantation through remote sensing. 6th European European Conference on Precision Agriculture, 3-6 June, Skiathos Greece, Poster Papers Proceedings in CD.
- Safren, O. 2006. Green apple yield mapping using hyperspectral machine vision. M.Sc Thesis, Ben-Guiron University of Negev, Faculty of Engineering Sciences, Department of Industria Engineering and Management, Israel
- Sartori, S., Fava, J.F.M., Domingues, E.L., Ribeiro Filho, A.C., Shiraisi, L.E. 2002. Mapping the spatial variability of coffee yield with mechanical harvester. Proceedings of the World Congress of Computers in agriculture and Natural Recourses. ASAE Publication Number 701P0301
- Schachtl, J., Huber, G., Maidl, F. X., Stickse, E., 2005. Laser-Induced chlorophyll fluorescence measurements for detecting the nitrogen status of wheat (*Triticum aestivum* L.) canopies. *Precision Agriculture* 6: 143-156
- Searcy, S. W., J. K. Schueller, Y. H. Bae, S. C. Borgelt, and B. A. Stout. 1989. Mapping of spatially variable yield during grain combining. *Transactions of the ASAE*, 32(3): 826–829.
- Shamsi, M., Mazlounzadeh, S.M., Blackmore, S. 2007. Studyind yield variations using precision farming in date palm orchard. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, Poster Abstracts in CD.
- Shumann, A. W., Zaman, Q. U. 2003. Mapping water table depth by electromagnetic induction. *Applied Engineering in Agriculture*, 19(6): 675-688
- Shumann, A. W., Miller, W. M., Zaman, Q. U., Hostler, K. H., Buchanon, S., Cugati, S. 2006. Variable Rate Granular Fertilization of Citrus Groves: Spreader Performance with Single-Tree Prescription Zones. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(1): 19-24.
- Solanelles, F., Escola, A., Planas, S., Rosell, J.R., Camp, F., Gracia., F. 2006. An Electronic Control System for Pesticide Application Proportional to the Canopy Width of Tree Crops. *Biosystems Engineering*, 95(4): 473-481.

- Stafford, J. V., B. Ambler, and M. P. Smith. 1991. Sensing and mapping grain yield variation. In *Automated Agriculture for the 21st Century*, 356–365. St. Joseph, Michigan ASAE.
- Stafford, J.V., R.M. Lark, and H.C. Bolam. 1998. Using yield maps to regionalize fields into potential management units. p. 225-237. In P.C. Robert et al. (ed.) *Precision Agriculture Proceedings International Conference*. 4th, St. Paul, MN. 19-22 July 1998. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Stajanko, D., Lakota M., Hoevar, M. 2004. Estimation of number and diameter of apple fruits in an orchard during the growing season by thermal imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 42: 31-42.
- Sudduth, K.A., S.T. Drummond, S.J. Birrell, and N.R. Kitchen. 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield. p. 129-140. In P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson (ed.) *Precision agriculture. Proc. Int. Conf.*, 3rd, Minneapolis, MN. 23-26 June 1996. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Stamatiadis, S., Taskos, D., Tsadila, E., Christofides, C., Tsadilas, C., Schepers, J.S. 2007. Proximal remote sensing. Technological advances and application in vineyards. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, Poster abstracts in CD.
- Tagarakis, A., Chatzinikos, A., Fountas, S., Gemtos, T. A. 2006. Delineation of management zones in precision viticulture. HAICTA 2006 Conference, Volos, Greece, pp 547-554.
- Taylor, J., Tisseyre, B., Bramley, R., Reid, A. 2005. A comparison of the spatial variability of vineyard yield in European and Australian product systems. 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden, pp. 907-914.
- Tisseyere, B., Mazzoni, C., Ardoin, N., Clipet., C. 2001. Yield and harvest quality measurement in precision viticulture- application for a selective vintage , 3rd European Conference on Precision Agriculture, Montpellier, France, pp. 133-138.
- Tisseyere, B., McBratney, A.B., 2007. A technical opportunity index based on mathematical morphology for site-specific management using yield monitor data: application to viticulture. 6th European Conference on Precision Agriculture, Skiathos, Greece, pp 249-256.
- Toulios , L., Pateras, D., Zerva, G., Gemtos, T.A and Markinos, T. 2005. Combining satellite images and cotton yield maps to evaluate field variability in precision farming.

- 5th European Conference on Precision Agriculture, Uppsala, Sweden, Book of abstracts, pp. 298-300.
- Tumbo, S.D., Salyani, M., Whitney, J.D., Wheaton, T.A., Miller, W.M. 2001. Laser, ultrasonic and manual measurements of citrus tree canopy volume. ASAE Paper N. 01-1068.
- van Alphen, B.J., and J.J. Stoorvogel. 1998. A methodology to define management units in support of an integrated, model-based approach to precision agriculture. p. 1267-1278. In P.C. Robert et al. (ed.) Precision Agriculture. Proc. Int. Conf., 4th, St. Paul, MN. 19-22 July 1998. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Vardoulis, G., Markinos, A., Aggelopoulou, K., Fountas, S., Gertsis, A., Gemtos, T. A. 2006. Crop variability in cotton fields. HAICTA 2006, 21-23 September 2006 Volos, Greece, pp. 328-333.
- Velidis, G., Perry, C. D., Durrence, J. S., Thomas, D. L., Hill, R. W., Kwien, C. K., Rains, G. 2001. Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert, P.C., Rust, R. H., Larson, W. E (Eds). Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, USA, pp. 835-844.
- Velidis, G. C., Perry, D., Thomas, D. L., Wells, N., Kvien, C. K. 2003. Simultaneous assessment of cotton yield monitors. Applied Engineering in Agriculture, 19(3): 259-272.
- Walklate, P. J., Cross, J. V., Richardson, G. M., Murray, R. A., Daker, D. E. 2002. Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. Biosystems Engineering 82(3): 253-267
- Walklate, P. J., Cross, J. V., Richardson, G. M., Daker, D. E., Murray, R. A. 2003. A generic method of pesticide dose expression: application to broadcast spraying of apple trees. Annals of Applied Biology, 143: 11-23.
- Webster, R. and Oliver M.A., 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. J. Wiley and Sons, Chichester, England.
- Wei, J., Salyani, M. 2004. Development of a laser scanner for measuring tree canopy characteristics. ASAE Paper N 041168.
- Welsh, J. P., Wood, G. A., Godwin, R. J., Taylor, J. C., Earl, R., Blackmore, S., Knight, S.M. 2003a. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals, Part I: Winter Barley. Biosystems, Engineering, 84(4): 481-494

- Welsh, J. P., Wood, G. A., Godwin, R. J., Taylor, J. C., Earl, R., Blackmore, S., Knight, S.M. 2003b. Developing strategies for spatially variable nitrogen application in cereals, Part II: Wheat. *Biosystems, Engineering*, 84(4): 495-511.
- Westervelt, J. D., Reetz, H.F., 2000. *GIS in Site-Specific Agriculture*. Intersate Publishers, Inc., Illinois, USA, pp. 64.
- Whelan, B. M., McBratney, A. B., 2000. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture. *Precision Agriculture*, 2: 265-279.
- Whitney, J. D., Q. Ling, W. M. Miller, and T. Adair Wheaton. 2001. A DGPS yield monitoring system for Florida citrus. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(2): 115-119
- Williams, B., Hoey, D., 1987. The use of electromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay content of soils. *Australian Journal Soil Research*, 25: 21-27.
- Wollenhaupt, N. C., Wolkowski, R.P., and Clayton, M. K. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, 7: 441-448.
- Wood, G. A., Welsh, J. P., Godwin, R. J., Taylor, J. C., Earl, R., Knight, S.M. 2003. Real-time measures of canopy size as a basis of spatially varying nitrogen applications to winter wheat sown at different seed rates. *Biosystems Engineering*, 84(4): 513-531.
- Wulfsohn D., Maletti G. M. and Todam- Andersen T. B. 2006. Unbiased estimator of the number of flowers per tree. *Acta Horticulturae*, 707: 245-252.
- Xujun, Y., Sakai, K., Manago, M., Asada, S., Sasao, A. 2007. Prediction of citrus yield from airborne hyperspectral imagery. *Precision Agriculture*, 8(3):111-125
- Zaman, Q., Schuman, W. A., 2006. Nutrient management zones for citrus based on variation in soil properties and tree performance. *Precision Agriculture* 7: 45-63.
- Zaman, Q., Schuman, W. A., Miller W.M., 2005. Variable rate nitrogen application in florida citrus based on ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture* 21: 331-335
- Zaman, Q., Schuman, W. A., Hostler, H. K. 2006. Estimation of citrus fruit yield using ultrasonically-sensed tree size. *Applied Engineering in Agriculture* 22(1): 39-43

Ελληνική

- Βασιλακάκης, Μ., 2004. Γενική και Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, σελ. 276-311
- 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, 1999. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα
- 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.
- Παντέλης, Α. Γ., Σαββαΐδης, Π. Δ., Υφαντής, Ι. Μ., Δούκας, Ι. Δ. 2004. Γεωδαιτικά όργανα και μέθοδοι μέτρησης και υπολογισμών. Τόμος Ι. Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Ποντίκης Κ., 2003. Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ. 74
- Στυλιανίδης, Δ.Κ., Σιμώνης, Α.Δ., Συργιανίδης, Γ.Δ., 2002. Θρεψη, Λίπανση φυλλοβόλων σπυροφόρων δένδρων. Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα, σελ 533-541
- Χατζηνίκος, Α. 2007. Ανάλυση της παραλλακτικότητας ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων σε αμπελώνες της Ραψάνης Λάρισας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

ABSTRACT

Aggelopoulou, K., 2008. Precision farming application in apples. Ph.D. Thesis, University of Thessaly, N. Ionia, Volos, Greece.

The subject of the present study was to study the spatial and temporal variability of yield, quality and soil in two apple orchards in order to investigate the potential of applying Precision Farming. The experiments were carried out in two commercial orchards located in Agia and Ptolemaida area for three sequential years.

The measurements were yield mapping, quality mapping (fruit mass, skin color, flesh firmness, soluble solids content, juice acidity, juice pH), flower mapping, soil mapping (texture, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, trace elements and organic matter content) and soil electrical conductivity mapping.

Data analysis was carried out in the following stages: 1) calculation of descriptive statistics such as mean, maximum, minimum, standard deviation, coefficient of variation and skewness of data distribution, 2) geostatistical analysis of the data and semi-variograms were calculated for all data in order to describe the spatial structure of the data, 3) creation of yield trend maps. The trend maps were developed calculating in every point the average of the three years yield and show the trend in the yield over the three years, 4) calculation of histograms that show the inter-year offset, 5) creation of temporal consistency maps that show the parts of the field that the yield or quality were above the average for the three years and the parts of the field that yield or quality were below the average for the three years and 6) fuzzy clustering algorithms were used to delineate management zones to help farmers apply variable rate applications.

The results showed that there is significant spatial and temporal variability in yield, quality and soil despite the small size of the orchards. The existence of this variability shows the potential of applying Precision Farming in these orchards.

Yield had significant spatial variability which for Ptolemaida orchard was about 20% and Agia orchard 50%. The spatial variability for quality ranged from 3-22%. From the quality parameters the parameters soluble solids content and flesh firmness exhibited lower variability the and the parameters fruit mass, acidity and skin color exhibited higher variability.

The combination of yield trend map and temporal consistency map was used for delineating management zones in the field, where the management could be uniform. The values of quality parameters showed differences from year to year, probably because of the different weather conditions from year to year and thus it was not possible to delineate management zones based on the quality parameters.

The flower map could be used to predict yield and its spatial variability from early season, which is very important for the farmer and the market. Additionally the flower map could be used for applying fertilizers and chemicals site -specifically in order to achieve economic and environmental benefits.

Variable rate application of nutrients according to the plant needs could help save money and protect the environment. For Ptolemaida orchard a 94.4 kg/ha nitrogen and a 114.7 kg/ha potassium saving was calculated if these nutrients had been applied site-specifically. For Agia field the calculations showed 73.2 kg/ha nitrogen and 74.4 kg/ha savings for site-specific application.