

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Ο άνθρωπος ξεκίνησε να ασχολείται με την καλλιέργεια της γης από τα Αρχαία χρόνια. Αφορμή γι αυτό ήταν η ανάγκη του για διατροφή καθώς η επάρκεια κυνηγιού είχε αρχίσει να φθίνει, καθώς και η ανακάλυψη του ότι οι σπόροι που έβρισκε ελεύθερους στη φύση και μπορούσε να τους καταναλώσει, είχαν τη δυνατότητα εφόσον φυτευτούν, να του εξασφαλίσουν και την επόμενη χρονιά τροφή. Έτσι κατά τη διάρκεια των αιώνων, εξέλιξε τις καλλιεργητικές του τεχνικές με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας, έτσι ώστε να καλύπτονται οι διατροφικές του ανάγκες, με σκοπό το μέγιστο οικονομικό και ποιοτικό όφελος .

Στο παρελθόν, πριν την εκμηχάνιση της γεωργίας, οι γεωργοί εκτελούσαν τις εργασίες τους χειρωνακτικά, ερχόμενοι σε άμεση επαφή με τον προς καλλιέργεια αγρό. Έτσι γνώριζαν σπιθαμή προς σπιθαμή το χωράφι τους, αφού το περπατούσαν ολόκληρο για την καλλιέργεια του. Είχαν τη δυνατότητα να διαφοροποιήσουν τις μεταχειρίσεις -εισροές σε κάθε τμήμα του αγρού κατά το δοκούν, καθώς ο οποιοσδήποτε αγρός διαφέρει από τμήμα σε τμήμα, π.χ. σε κάποιο σημείο μπορεί να ρίχνανε περισσότερο σπόρο, ενώ σε κάποιο άλλο περισσότερο λίπασμα ή φυτοφάρμακα.

Με την εκμηχάνιση της γεωργίας, εκτοξεύθηκε η δυνατότητα μαζικής καλλιέργειας. Αυτό όμως είχε σαν συνέπεια, λόγω των μεγάλων εκτάσεων γης που καλλιεργούνταν, ο γεωργός να χάνει αυτή την άμεση επαφή που είχε με τον αγρό του και να μην τον γνωρίζει απόλυτα. Σε αυτή τη φάση, η διαχείριση των καλλιεργειών γίνεται με βάση το μέσο όρο της παραγωγής, των ιδιοτήτων του εδάφους και της εκάστοτε καλλιέργειας. Το κριτήριο γι αυτές τις ενέργειες ήταν ότι οι αγροί θεωρούνταν ομοιόμορφοι, και παρ όλη την προηγούμενη εμπειρία ότι οι αγροί διαφέρουν από τμήμα σε τμήμα, δεν υπήρχε η δυνατότητα για διαφοροποίηση των εισροών λόγω τεχνολογικής ανεπάρκειας. Έτσι στηρίζονταν στο μέσο όρο των εισροών.

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται ένας νέος τρόπος διαχείρισης του αγρού, ο οποίος βασίζεται στις νέες τεχνολογίες και μέσα που υπάρχουν και εξελίσσονται σήμερα, με σκοπό την πλήρη καταγραφή των δεδομένων ενός αγρού και τη βελτίωση της διαχείρισης του. Το νέο αυτό σύστημα διαχείρισης του αγρού ονομάζεται Γεωργία Ακριβείας.

Οι Gemtos et al (2002), όρισαν τη γεωργία ακριβείας ως τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας, με σκοπό τη βελτίωση της αποδοτικότητας και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την καλύτερη διαχείριση των εισροών. Ανάφεραν επίσης ότι η γεωργία ακριβείας εφαρμόζοντας την πληροφορική και τα ηλεκτρονικά, βοηθά το γεωργό στη λήψη των αποφάσεων.

Κρίσιμο ρόλο στην εξέλιξη της γεωργίας ακριβείας έπαιξε η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών και της πληροφορικής τα τελευταία έτη. Ειδικότερα η ανάπτυξη των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού καθώς και η ανάπτυξη των αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής που προσαρμόζονται στις μηχανές, έδωσε τη δυνατότητα της χαρτογράφησης της παραγωγής.

Οι πρώτες εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας άρχισαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με την χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών(Stafford 2000), όπου μετριούνταν η ροή και η υγρασία των σιτηρών κατά τη λειτουργία της μηχανής συγκομιδής, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονταν η ταχύτητα εργασίας και της γεωγραφικής θέσης της μηχανής, ενώ το πλάτος εργασίας εκτιμιόταν από τον ίδιο το χειριστή η από άτομο που ήταν επάνω στη μηχανή. Με τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν χάρτες παραγωγής με τη βοήθεια λογισμικού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών GIS.(Αγγελοπούλου,2008).

Από τη δεκαετία του 1990 και μετά, η τεχνολογική πρόοδος στη δημιουργία αισθητήρων ήταν πολύ μεγάλη. Σήμερα υπάρχουν αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής εξειδικευμένοι σχεδόν για όλες τις καλλιέργειες και σε εμπορικό επίπεδο. Εκτός από τα σιτηρά όπου έγιναν οι πρώτες εμπορικές εφαρμογές αισθητήρων, στη βιβλιογραφία αναφέρονται αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής για καλλιέργειες όπως η βιομηχανική ντομάτα (Campell et al 1994, Rawlins et al 1995), βαμβάκι (Wilkerson et al 1994,2001, Thomasson et al 1999, Vellidis et al 2003, Markinos et al 2004) πιπεριά (Qiao et al 2005) φυστίκι (Thomasson 2006), βατόμουρα (Zaman et al 2010). Σε δενδροκομικές καλλιέργειες γίνεται μεγάλη έρευνα στο πανεπιστήμιο της Φλόριντα στα εσπεριδοειδή. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής, εκτίμηση του όγκου της κόμης των δέντρων με υπερήχους και συστήματα εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων με μεταβλητές δόσεις.

Η διάδοση της γεωργίας ακριβείας πραγματοποιείται με διαφορετικές ταχύτητες από χώρα σε χώρα. Πρώτα εφαρμόστηκε σε ΗΠΑ και Αγγλία και στη συνέχεια στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η Βόρεια Ευρώπη εμφανίζει μεγαλύτερη αποδοχή

της γεωργίας ακριβείας. Βασικός παράγοντας σε αυτό είναι ότι πρωτοστάτησε στον εξοπλισμό των μηχανημάτων με GPS.

Αντίθετα στον Ευρωπαϊκό Νότο η γεωργία ακριβείας καθυστέρησε σημαντικά. Οι βασικότεροι λόγοι έχουν να κάνουν με τον πολυτεμαχισμένο και μικρό αγροτικό κλήρο, το χαμηλό μορφωτικό επίπεδο των καλλιεργητών και την αδυναμία τους να υιοθετήσουν καινούριους μεθόδους, αλλά και την έλλειψη τεχνολογίας και εφαρμοσμένης έρευνας (Αγγελοπούλου, 2008).

Στον ελλαδικό χώρο παρατηρείται μια καθυστέρηση στην εκμηχάνιση της γεωργίας και στη χρήση νέων τεχνολογιών. Αυτό οφείλεται :

- Στα πολύ μικρά αγροκτήματα
- Κάθε παραγωγός έχει στη διάθεση του λίγη καλλιεργήσιμη έκταση
- Οι γεωργοί είναι χαμηλού μορφωτικού επιπέδου
- Μη ύπαρξη ομάδων παραγωγών και συνεταιρισμών
- Οι παραγωγοί είναι προσκολλημένοι στις παραδοσιακές μεθόδους καλλιέργειας.
- Έλλειψη τεχνολογίας, τεχνογνωσίας και εφαρμογών Γεωργίας ακριβείας κυρίως στον τομέα των οπωροκηπευτικών.

1.2 Γεωργία ακριβείας

Γεωργία ακριβείας 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. (Wheelan and McBratney, 2000)

Οι κύριοι στόχοι της γεωργίας ακριβείας είναι (Τάνος κ. α. 2007) :

- Η αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών
- Η πιο αποδοτική χρήση των αγροχημικών και η ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων τους στο περιβάλλον
- Η εξοικονόμηση ενέργειας
- Η βελτιστοποίηση του εισοδήματος του παραγωγού

- Η βελτιστοποίηση του δυναμικού παραγωγής και της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος
- Να βοηθήσει τη διαδικασία της ιχνηλασιμότητας σε διάφορα συστήματα ποιότητας (HACCP, ISO)

Ο βασικότερος σκοπός της γεωργίας ακριβείας είναι η αύξηση της παραγωγικότητας του αγρού. Για να γίνει αυτό, πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη γνώση των ιδιοτήτων κάθε τμήματος του αγρού, έτσι ώστε στη συνέχεια να προσαρμοστούν οι χρησιμοποιούμενες εισροές και καλλιεργητικές φροντίδες, ανάλογα με αυτές τις ιδιότητες. Τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα αποτελούνται από ένα ευρύ φάσμα τεχνικών και τεχνολογιών οι κυριότερες των οποίων είναι η τεχνολογία πληροφοριών, οι τεχνολογίες αισθητήρων και εφαρμογής τους και η γεωργική διαχείριση και τα οικονομικά (Gemtos et al, 2002).

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα γεωργίας ακριβείας χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο αφορά τη συλλογή δεδομένων για την καλλιέργεια όπως χάρτες παραγωγής και αποτελέσματα αναλύσεων εδάφους παλαιότερων ετών. Κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου συλλέγονται κι άλλα δεδομένα όπως δεδομένα καιρού, παρατηρήσεων παθογόνων και τηλεπισκόπησης (Elms and Green 1997).

Το δεύτερο στάδιο αφορά την ανάλυση και την επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται τα δεδομένα σε κάθε σύστημα εξαρτάται από την καλλιέργεια και τον αλγόριθμο που έχει χρησιμοποιηθεί (McKinion et al 2001). Σε αυτό το στάδιο είναι αναγκαία η ύπαρξη κατάλληλης βάσης δεδομένων πάνω στην οποία στηρίζεται το σύστημα για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Ο τελικός στόχος είναι ο καθορισμός ζωνών διαχείρισης εντός του αγροτεμαχίου, οι οποίες θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από κοινά αγρονομικά ή εδαφολογικά χαρακτηριστικά (Blackmore 2003).

Το τρίτο στάδιο αφορά την εφαρμογή των καλλιεργητικών εργασιών, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του προηγούμενου σταδίου. Σε αυτό το στάδιο ο τεχνολογικός εξοπλισμός θα πρέπει να προσαρμόζεται, έτσι ώστε να υποστηρίζει την εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων σε κάθε ζώνη διαχείρισης του αγρού (Bowers et al 2001). Ένα τέταρτο στάδιο μπορεί να είναι η αξιολόγηση των τεχνικών που εφαρμόστηκαν το οποίο βοηθά στον προγραμματισμό της επόμενης χρονιάς. Η χαρτογράφηση της παραγωγής και των διάφορων παραμέτρων μπορεί να

είναι βάση για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης αλλά και σημείο αξιολόγησης της προηγούμενης χρονιάς. (Tagarakis,2014)

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από την κατακόρυφη ανάπτυξη της τεχνολογίας και τη χρησιμοποίηση της σε όλους τους τομείς της καθημερινότητας. Ειδικότερα στη γεωργία, η χρησιμοποίηση των νέων τεχνολογιών βασισμένη στις αρχές της γεωργίας ακριβείας κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος, όπως είναι φυσιολογικό με τα πλεονεκτήματα που παρέχει στους παραγωγούς και στο περιβάλλον γενικότερα. Η επιστήμη της γεωργίας ακριβείας μέσω της πορείας της έχει την τάση να ανακαλύπτει συνεχώς νέες τεχνικές και να εξελίσσεται σε κάτι καλύτερο.

1.2.1 Παραλλακτικότητα

Αναφέρθηκε παραπάνω ότι παλαιότερα οι παραγωγοί λόγω της μικρής έκτασης των αγρών είχαν άμεση επαφή και μπορούσαν να διακρίνουν βάσει εμπειρίας την παραλλακτικότητα που παρουσίαζαν και με τις επεμβάσεις τους μετά να την ελέγξουν. Σήμερα όμως αυτό δεν είναι δυνατόν με τις μεγάλες εκτάσεις των αγροτεμαχίων που υπάρχουν. Θεωρώντας τον αγρό ομοιόμορφο και αγνοώντας την παραλλακτικότητα του, γίνεται κατασπατάληση πόρων επιδρώντας δυσμενώς στην παραγωγή και το περιβάλλον.

Η προϋπόθεση για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας και κατ' επέκταση την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις είναι η γνώση της χωρικής παραλλακτικότητας. Σαν χωρική παραλλακτικότητα εννοούμε τη μεταβολή των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του εδάφους της καλλιέργειας ή άλλων παραμέτρων του αγροτεμαχίου με την αλλαγή της θέσης μέσα στον αγρό. Η παραλλακτικότητα εκτός από χωρική μπορεί να είναι και χρονική (Blackmore et al 2003), δηλαδή η μεταβολή της χωρικής παραλλακτικότητας στο χρόνο. Υπάρχει και η προβλεπτική παραλλακτικότητα, η οποία ορίζεται σαν την ασυμφωνία μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών για τις διάφορες θέσεις μέσα στο αγροτεμάχιο. Τα παραπάνω αφορούσαν το χαρακτήρα που μπορεί να πάρει η παραλλακτικότητα.

Σε σχέση με τις παραμέτρους που αλλάζουν η παραλλακτικότητα διακρίνεται σε :

- Παραλλακτικότητα παραγωγής: Το πώς κατανέμεται δηλαδή η παραγωγή χωρικά.
- Παραλλακτικότητα τοπογραφίας εδάφους: Έχει να κάνει με τις τοπογραφικές ανομοιογένειες του εδάφους πάνω στο οποίο βρίσκεται η καλλιέργεια. (κλίση, υψομετρική διαφορά, έκθεση, ύπαρξη αναβαθμίδων)
- Παραλλακτικότητα εδάφους: Αναφέρεται στην ανομοιογένεια από πλευράς μηχανικής σύστασης, θρεπτικών στοιχείων και χημικών ιδιοτήτων.
- Παραλλακτικότητα καλλιέργειας: Οφείλεται στο γενότυπο της καλλιεργούμενης ποικιλίας
- Παραλλακτικότητα λόγω ασθενειών και εχθρών
- Παραλλακτικότητα λόγω διαχείρισης.

Η παραλλακτικότητα μπορεί να ελεγχθεί είτε με τη βοήθεια των χαρτών παραλλακτικότητας, είτε με τη βοήθεια των ανιχνευτών.

Στην πρώτη μέθοδο, των χαρτών παραλλακτικότητας, αφού συλλέξουμε δεδομένα, τα αποτυπώνουμε σε ένα χάρτη, ο οποίος μας βοηθά στο σχεδιασμό των εφαρμογών μας στον αγρό. Η συλλογή δεδομένων γίνεται με δειγματοληψία και μέσω της ανάλυσης των δειγμάτων δημιουργούμε ένα χάρτη παραλλακτικότητας με τοπογραφικές ενδείξεις. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του GPS-Global Positioning System. Ο χάρτης βοηθάει στη λήψη των αποφάσεων αλλά και στο σχεδιασμό της εφαρμογής και τον προγραμματισμό των εκάστοτε μηχανημάτων που απαιτούνται για την εφαρμογή.

Στη μέθοδο με τους αισθητήρες- ανιχνευτές η διαδικασία είναι πιο γρήγορη. Οι αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι επάνω στο μηχάνημα εφαρμογής συλλέγουν πληροφορίες (ιδιότητες φυτών, εδάφους), αναλύουν και ενημερώνουν τα συστήματα εφαρμογής, που βρίσκονται επίσης στο ίδιο μηχάνημα, τα οποία βάσει των μετρήσεων χορηγούν την κατάλληλη δόση είτε για άρδευση, λίπανση, φυτοπροστασία, κ.α.

1.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

1.3.1 GPS (Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης)

Ιστορική αναδρομή

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

Το GPS είναι ένα δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης , με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση ενός σημείου παρατήρησης συντεταγμένων X,Y,Z, ως προς ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες.

Το σύστημα αρχικά σχεδιάστηκε μόνο για στρατιωτικούς σκοπούς. Πρόδρομος του GPS ήταν το σύστημα transit του Αμερικάνικου ναυτικού, στα μέσα της δεκαετίας του 60, το οποίο δεν είχε πάντα διαθέσιμο σήμα και η αρχή λειτουργίας του βασιζόταν στη μέτρηση της συχνότητας του σήματος, βάσει του φαινομένου Doppler. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το σύστημα πλοήγησης Timation. (Αγγελοπούλου,2008)

Από την προηγούμενη εμπειρία, δημιουργήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 70 το σύστημα GPS, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου το 1978. Στη συνέχεια οι δορυφόροι έγιναν 4, όσοι δηλαδή αρκούν για να έχουμε ικανοποιητική ακρίβεια σήματος. Σήμερα υπάρχουν 24 δορυφόροι σε τροχιά γύρω από τη γη με σκοπό να δίνουν τη μέγιστη ακρίβεια σήματος στους χρήστες. (Weston and Schieven , 2010)

Το GLONASS είναι ένα Ρωσικό σύστημα προσδιορισμού θέσης. Δημιουργήθηκε το 1976 από τη Σοβιετική ένωση σαν αντίβαρο στο Αμερικάνικο GPS. Έχει εξελιχθεί με το πέρασμα των χρόνων. Κατά τα πρώτα στάδια λειτουργίας η οριζόντια ακρίβεια θέσης κυμαινόταν μεταξύ 50-70 μέτρων, ενώ η κατακόρυφη ακρίβεια ήταν πιο κοντά στα 70 μέτρα (Weston and Schwiegen , 2010)

Από τα τέλη της δεκαετίας του 90, η Ευρωπαϊκή ένωση έχει προωθήσει την ανάπτυξη ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης με την ονομασία GALILEO για πολιτική χρήση. Η δομή του σήματος και ο κώδικας του είναι πιο πολύπλοκος από του GPS . (Hein et al ,2003)

Η Κίνα από το 2000 δημιούργησε το δικό της σύστημα προσδιορισμού θέσης, COMPASS. Ο σχεδιασμός του συστήματος αυτού, προβλέπει την ύπαρξη 35 δορυφόρων. Σκοπός του είναι ο εντοπισμός θέσεων σε παγκόσμιο επίπεδο και η πλοήγηση.

Λειτουργικά μέρη GPS

Το GPS αποτελείται από 3 μέρη:

- Το δορυφορικό τμήμα
- Το τμήμα ελέγχου
- Το τμήμα χρήσης

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από 24 δορυφόρους που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη σε απόσταση 20200 km πάνω από την επιφάνεια της γής. Κάθε δορυφόρος κάνει μια πλήρη περιστροφή της γής κάθε 12 ώρες. Οι δορυφόροι κινούνται σε 6 τροχίες με 4 δορυφόρους να κινούνται σε κάθε τροχιά. Έτσι εξασφαλίζεται ότι τουλάχιστον 4 δορυφόροι θα στέλνουν σήμα σε οποιοδήποτε μέρος της γης 24 ώρες την ημέρα. Τα σήματα των δορυφόρων είναι ραδιοκύματα. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ραδιοκύματα στην συχνότητα $L1=1575,42$ MHz και $L2=1227,60$ MHz. Τα σήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και με ελαφριά μικρότερη ταχύτητα στην ατμόσφαιρα της γης. Το σήμα $L1$ περιέχει έναν ακριβή κώδικα C/A (Coarse/ Acquisition Code), ενώ το $L2$ περιέχει τον κώδικα P(Precise code), που χρησιμοποιείται για την διόρθωση της καθυστέρησης των σημάτων που οφείλεται στην ιονόσφαιρα. Τέλος υπάρχει και ο κώδικας δεδομένων D (Data Code) που υπερτίθεται στα σήματα $L1$ και $L2$ και παρέχει διάφορες πληροφορίες όπως π.χ. για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή, χρονικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων κ.α. (Αγγελοπούλου, Κ. 2008.)

Κάθε δορυφόρος είναι εξοπλισμένος με 4 ρολόγια. Τα δύο είναι καισίου και τα άλλα δύο ρουβιδίου.

Το τμήμα ελέγχου αποτελείται από 5 επίγειους σταθμούς, οι οποίοι βρίσκονται σε διάφορα σημεία επάνω στη γη. Είναι εφοδιασμένοι με δέκτες και λαμβάνουν πληροφορίες από τους δορυφόρους και μετά την επεξεργασία τους τα στέλνουν στον κεντρικό σταθμό ελέγχου στο Colorado Springs των ΗΠΑ. Ο κεντρικός σταθμός επεξεργάζεται περαιτέρω τις πληροφορίες για να υπολογίσει τις ακριβείς τροχίες των δορυφόρων και να ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης (Αγγελοπούλου, 2008).

Το τμήμα χρήσης αποτελείται από τους χρήστες που είναι οι πολίτες και το χρησιμοποιούν για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ανθρώπου ή οχήματος επάνω

στη γη. Οι δέκτες αυτοί δεν χρειάζονται κάποια ειδική άδεια λειτουργίας αφού δεν μπορούν να στέλνουν σήματα, παρά μόνο να λαμβάνουν.



Εικόνα 1.1 σύστημα δορυφόρων GPS

Τρόπος προσδιορισμού θέσης

Οι δέκτες του GPS έχουν τη δυνατότητα μέτρησης του P και του C/A κώδικα. Ένα ακριβές αντίγραφο του P ή του C/A κώδικα παράγεται εσωτερικά του δέκτη. Στη συνέχεια ο δέκτης προσπαθεί να συσχετίσει το δικό του εσωτερικό κώδικα με το σήμα που λαμβάνει από το δορυφόρο, μετρώντας έτσι το χρόνο 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. Εφόσον όμως οι θέσεις των δορυφόρων είναι γνωστές από τον D κώδικα σε χώρο και χρόνο, μπορούμε να κανονίσουμε τη θέση ενός δέκτη αν μετρήσουμε ταυτόχρονα 4 ψευδοαποστάσεις προς 4 δορυφόρους. Δηλαδή γνωρίζοντας την απόσταση ενός σημείου από ένα δορυφόρο, το σημείο αυτό βρίσκεται επάνω σε μια σφαίρα με κέντρο το δορυφόρο και απόσταση ίση με αυτή του σημείου. Γνωρίζοντας την απόσταση από δύο δορυφόρους το σημείο βρίσκεται επάνω σε ένα κύκλο που είναι το σημείο τομής 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 στην επιφάνεια της γης. Λόγω των λαθών όμως στην εκτίμηση της απόστασης, οι τρεις αποστάσεις που μετράμε δεν καθορίζουν ένα σημείο, αλλά ένα τρίγωνο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται το σήμα από ένα τέταρτο δορυφόρο για να βελτιώσει την εκτίμηση της θέσης του σημείου. Έτσι χρησιμοποιώντας σήματα από τέσσερις δορυφόρους μπορεί να γίνει εκτίμηση της θέσης ενός σημείου στη γη (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος, υψόμετρο). Η ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης οδήγησε στην κατασκευή του DGPS (Differential Geographic Information System). Το DGPS είναι ένας τύπος GPS που χρησιμοποιεί ένα σήμα από επίγειους δέκτες για να διορθώσει το σφάλμα που υπάρχει. 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. Η ακρίβεια αυτού του συστήματος μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 30 cm.

Ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια μέχρι και 1 cm. έχει προκύψει μέσω του συστήματος του RTK GPS. Το σύστημα αποτελείται από έναν σταθερό σταθμό του οποίου η θέση είναι γνωστή και επικοινωνεί με τους δορυφόρους και με έναν κινούμενο δέκτη. Η ταυτόχρονη επικοινωνία μεταξύ δορυφόρων, γνωστού επίγειου σταθμού και κινούμενου δέκτη εξασφαλίζει την εξάλειψη του σφάλματος.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια GPS

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια ενός δέκτη GPS είναι (Παπαϊκονόμου 2003):

- Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον δέκτη
- Ο αριθμός των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνει σήμα ο δέκτης καθώς και οι σχετικές θέσεις τους
- Την επιλεκτική διαθεσιμότητα
- Την εγκατάσταση του συστήματος
- Την ικανότητα διαφορικής διόρθωσης του συστήματος
- Τις παραμορφώσεις των δορυφορικών σημάτων που οφείλονται σε παρεμβολές αντικειμένων της περιοχής
- Τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας

- Πιθανά σφάλματα των δεκτών και των δορυφορικών χρονομέτρων
- Τα τροχιακά σφάλματα, δηλαδή οι λανθασμένες πληροφορίες που εκπέμπουν οι δορυφόροι σχετικά με την τροχιά που ακολουθούν
- Την ανάκλαση του σήματος πριν καταλήξει στο δέκτη σε άλλα αντικείμενα της περιοχής

GPS στη γεωργία ακριβείας

Στη γεωργία ακριβείας έχει μεγάλη σημασία η πληροφορία σχετικά με τη θέση ενός οχήματος στον αγρό. Και αυτό γίνεται με τη βοήθεια του GPS. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές του στη γεωργία ακριβείας. Ο εξοπλισμός που απαιτείται είναι ένας δέκτης GPS, μια συσκευή για την αποθήκευση της πληροφορίας, και ένα λογισμικό για τη δημιουργία χαρτών.

Το περίγραμμα του αγρού μπορεί να αποτυπωθεί απλά οδηγώντας ο γεωργός γύρω από τα όρια του αγρού με το GPS και το φορητό υπολογιστή για να καταγράψει τα δεδομένα και να τα αποθηκεύσει.

Επίσης με την ίδια διαδικασία ο γεωργός μπορεί να καταγράψει μέσα στον αγρό σημεία που υπάρχουν ζιζάνια, εχθροί και ασθένειες και να επιστρέψει αργότερα και να εφαρμόσει τα κατάλληλα αγροχημικά ή άλλες καλλιεργητικές φροντίδες.

Για τη χαρτογράφηση εδάφους με τη βοήθεια του GPS καταγράφονται τα σημεία από όπου παίρνονται τα δείγματα εδάφους και στη συνέχεια δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες.

Για τη χαρτογράφηση παραγωγής, το GPS μπορεί να καταγράψει την παραγωγή σε κάθε σημείο του αγρού και στη συνέχεια με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού να δημιουργηθούν οι αντίστοιχοι χάρτες παραγωγής.

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 κατά το στάδιο των μεταβλητών δόσεων εισροών.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα GPS χειρός της εταιρίας Garmin:



Εικόνα 1.2 GPS χειρός της εταιρίας Garmin

1.3.2 GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφόρησης)

Τα επιτεύγματα της τεχνολογίας και της επιστήμης ανοίξαν νέους ορίζοντες, τόσο στην καταγραφή, όσο και στην πρόβλεψη φαινομένων, σε όλες τις φάσεις της λήψης και χρήσεως των πάσης φύσεως πληροφοριών.

Οι πληροφορίες αυτές, που παριστάνουν τον πραγματικό κόσμο, μπορούν να αποθηκευτούν και να επεξεργαστούν, έτσι ώστε να παρουσιαστούν αργότερα σε απλούστερες μορφές.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, έχουν αναπτυχθεί ειδικά υπολογιστικά συστήματα και λογισμικά προγράμματα για την επεξεργασία τέτοιων δεδομένων. Τα λογισμικά αυτά προγράμματα ονομάζονται Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών-GIS. Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών είναι λογισμικά μέσω των οποίων οι πληροφορίες οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται.

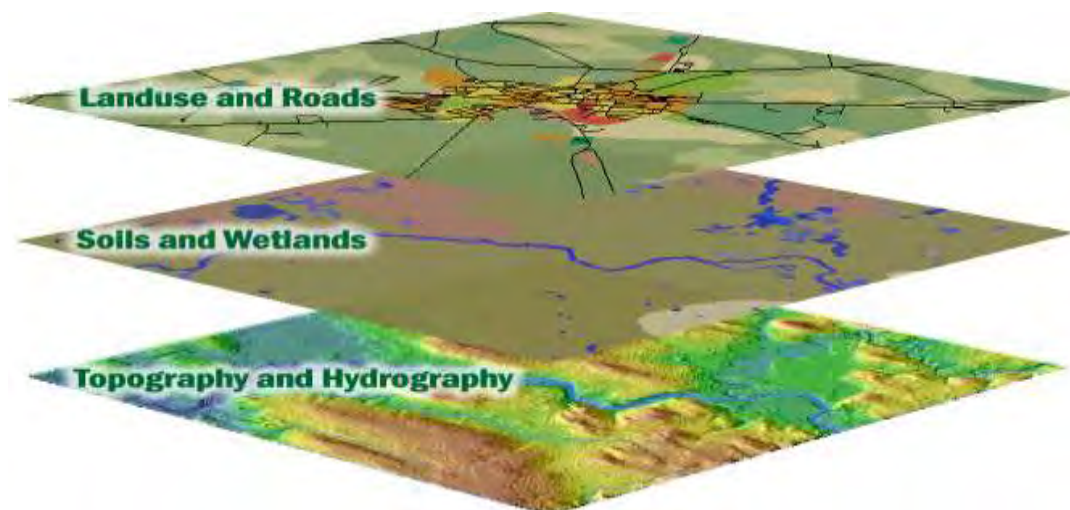
Στη Γεωργία Ακριβείας, τα δεδομένα που αφορούν τον αγρό, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς. Οι αριθμοί αυτοί αφορούν τις τιμές των μετρήσεων του υπό εξέταση παράγοντα, π.χ. ηλεκτρικής αγωγιμότητας, και συνοδεύονται πάντα από το γεωγραφικό στίγμα των σημείων του αγρού που αναφέρονται. Το γεωγραφικό στίγμα λαμβάνεται με τη βοήθεια GPS. Ο όγκος αυτών

των πληροφοριών είναι τεράστιος, έτσι η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων πληροφοριών είναι απαραίτητη.

Τα δεδομένα απεικονίζονται πάντα σε μορφή ψηφιακών χαρτών. Πλεονέκτημα αποτελεί ότι η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται χωριστά πο την παρουσίαση των χαρτών, γεγονός που βοηθά στην περαιτέρω επεξεργασία, καθώς είναι δυνατόν να προστεθούν, να αφαιρεθούν ή να τροποποιηθούν δεδομένα ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε έρευνας.

Η χαρτογράφηση μπορεί να εξετάζει παραμέτρους όπως η παραγωγή, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, ποιοτικά χαρακτηριστικά κ.α.. Με τη συστηματική χαρτογράφηση, δημιουργείται ένας αριθμός χαρτών των διάφορων παραμέτρων του αγρού, που αποτελεί μια βάση δεδομένων και μπορεί να αποθηκευτεί και να επεξεργαστεί μετέπειτα από τους χρήστες.

Τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων οργανώνονται σε θεματικά επίπεδα που ονομάζονται layers. Κάθε επίπεδο αναπαριστά μια συγκεκριμένη μεταβλητή (π.χ. μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας). Τα επίπεδα είναι δυνατόν να παραστούν το ένα πάνω στο άλλο, δίνοντας μια συνολικότερη εικόνα όλων των παραγόντων του αγρού που εξετάζονται.



Εικόνα. 1.3 απεικόνιση δομής γεωγραφικής βάσης δεδομένων

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

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

Τα ΓΣΠ δίνουν στο χρήστη δυνατότητες όπως (Φλωράς, 2004) :

- Την ικανότητα πρόβλεψης της παραγωγής
- Την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών
- Την δυνατότητα συγκομιδής ανάλογα με τις ποιοτικές προδιαγραφές
- Την εξασφάλιση της ποιότητας σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα (HACCP)
- Διαχείριση μεγάλης ποσότητας δεδομένων εύκολα και γρήγορα

Έτσι, εκτός από τη χαρτογράφηση, τα ΓΣΠ μπορούν να συνδέονται με βάσεις δεδομένων, καθιστώντας τα πολύτιμα εργαλεία για την οργάνωση και λήψη αποφάσεων σε πρακτικό και οικονομικό επίπεδο. Σε ένα σύστημα γεωργίας ακριβείας, μετά την χαρτογράφηση των παραμέτρων και την δημιουργία βάσης δεδομένων, δημιουργούνται οι ζώνες διαχείρισης και εφαρμόζονται οι μεταβλητές δόσεις εισροών, κάτι που χωρίς τη βοήθεια των ΓΣΠ, είναι σχεδόν ακατόρθωτο.

Τα ΓΣΠ αποτελούνται :

- Ένα σύστημα εισαγωγής πληροφοριών και χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει και καταχωρεί όλες τις χωρικές και μη πληροφορίες που προέρχονται από ήδη υπάρχοντες χάρτες και άλλες πηγές αλλά και από τα διάφορα συστήματα τηλεπισκόπησης
- Ένα σύστημα αποθήκευσης και οργάνωσης βάσεων δεδομένων.
- Ένα σύστημα αναφοράς και εμφάνισης των δεδομένων το οποίο είναι ικανό να δείχνει μέρος ή και ολόκληρη τη βάση δεδομένων καθώς και να

διαχειρίζεται τη βάση και τα εξαγόμενα αποτελέσματα από χωρικά πρότυπα και άλλα σε μορφή χάρτη και/η πινάκων.

- ένα σύστημα επεξεργασίας, ανάλυσης και ανάκτησης δεδομένων, τα οποία επεξεργάζονται, αναλύουν και οργανώνουν τα χωρικά και άλλα δεδομένα σε τέτοια μορφή που να δίνεται η δυνατότητα για γρήγορη και λεπτομερή ανανέωση των δεδομένων και επιδιορθώσεις τυχόν λαθών που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το σχεδιασμό των βάσεων δεδομένων.
- Ένα σύστημα αλληλεπίδρασης με το χρήστη, που περιλαμβάνει μενού και εντολές για την επικοινωνία του χρήστη με το πρόγραμμα.

Τα δεδομένα σε ένα ΓΣΠ απεικονίζονται και αποθηκεύονται είτε με διανυσματική μορφή (Vector), είτε με τη μορφή κυψελίδων (Raster). Στη διανυσματική μορφή ανήκουν τα σημεία, τα πολύγωνα και οι γραμμές, ενώ στη δεύτερη κατηγορία Raster, τα δεδομένα είναι συνεχή, αλλά σε κυψελώδη μορφή. Δεδομένα τύπου Raster είναι οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες.

Ένα μειονέκτημα των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι η πολυπλοκότητα τους και η δυσκολία στην εκμάθησή τους, με αποτέλεσμα η ερμηνεία των αποτελεσμάτων να μη γίνεται εύκολα και σωστά. Υπάρχει βεβαίως ανάγκη να καταστεί το λειτουργικό GIS ακόμη ευκολότερο για τους μη ειδικούς, ώστε να μάθουν να το χρησιμοποιούν προκειμένου να μεταφερθεί αυτή η τεχνολογία στη γεωργική κοινότητα (Longley et al, 2005).

Τέλος, η ερμηνεία των χαρτών είναι πολύ σημαντική υπόθεση. Θα πρέπει να γίνεται πάντα λαμβάνοντας υπόψη την ιστορία του αγρού, όπως προβλήματα στη συγκομιδή, προβλήματα στη σπορά, παλαιοί φράχτες, δρόμοι, περιοχές όπου έχει γίνει βόσκηση από ζώα, περιοχές στράγγισης κ.α. Πολλά στοιχεία ενός χάρτη παραγωγής μπορούν να αποδοθούν στους παραπάνω λόγους, γι αυτό η άγνοια της ιστορίας του αγρού είναι δυνατό να οδηγήσει σε παρερμηνεία των χαρτών.

Μερικοί χάρτες περιέχουν πληροφορίες που αλλάζουν ελάχιστα με το χρόνο, όπως τύπος εδάφους, τοπογραφία. Άλλα μετρούμενα μεγέθη αλλάζουν κάθε χρονιά, όπως οι χάρτες παραγωγής και οι τοποθεσίες που φυτρώνουν τα ζιζάνια. Γι αυτό ο υπεύθυνος των αποφάσεων για τη διαχείριση του αγρού πρέπει να γνωρίζει ποια δεδομένα πρέπει να συλλέγει κάθε χρονιά και ποια εποχή.

1.3.3 Χαρτογράφηση παραγωγής

Σκοπός των παραγωγών γεωργικών προϊόντων είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής, από την οποία προκύπτει και το οικονομικό όφελος, και η ελαχιστοποίηση του κόστους. Με τη χαρτογράφηση της παραγωγής επιτυγχάνεται ταυτόχρονη καταγραφή της παραγωγής και της θέσης μέσα στον αγρό. Οι χάρτες παραγωγής σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα, όπως εδαφολογικούς χάρτες, τηλεπισκόπηση κ.α., βοηθούν στο να διερευνηθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγή, έτσι ώστε ο γεωργός να είναι σε θέση να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις για τις μεταχειρίσεις των εισροών του αγρού και άλλες καλλιεργητικές φροντίδες.

Η χαρτογράφηση της παραγωγής, είναι από τις πρώτες δράσεις που πρέπει να κάνει ένας παραγωγός που ενδιαφέρεται να εφαρμόσει γεωργία ακριβείας. Κι αυτό γιατί είναι σε θέση να δει την παραλλακτικότητα της παραγωγής του αγρού του. Αν η παραγωγή του αγρού είναι ομοιόμορφη και το επίπεδο της ικανοποιητικό, δεν υπάρχει κίνητρο για εφαρμογή γεωργίας ακριβείας. Αντίθετα, αν υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή, η ανάπτυξη συστημάτων γεωργίας ακριβείας και εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών κρίνεται απαραίτητη.

1.3.3.1 Συστήματα χαρτογράφησης της παραγωγής

Για τις θεριζοαλωνιστικές μηχανές, όπου το συγκομισμένο προϊόν είναι σπόρος, για να μετρηθεί η παραγωγή πρέπει να γνωρίζουμε τρία πράγματα: τη ροή του υλικού σε κάποιο σύστημα της μηχανής συγκομιδής, την ταχύτητα και το πλάτος εργασίας της μηχανής συγκομιδής.

Σύμφωνα με Αγγελοπούλου, 2008 τα πιο κοινά συστήματα καταγραφής της παραγωγής σε Θ/Α αποτελούνται από τα εξής μέρη:

1. αισθητήρες μέτρησης της υγρασίας του σπόρου

Οι αισθητήρες αυτοί είναι συνήθως πυκνωτές οι οποίοι αποθηκεύουν ηλεκτρικό ρεύμα σε δύο μεταλλικούς οπλισμούς, ανάμεσα στους οποίους βρίσκεται ένα διηλεκτρικό. Ο σπόρος περνάει ανάμεσα από τους οπλισμούς και υπολογίζεται η διηλεκτρική σταθερά του η οποία είναι ανάλογη της υγρασίας του σπόρου.

2. αισθητήρες μέτρησης της ροής του σπόρου

Οι αισθητήρες αυτοί τοποθετούνται σε κάποιο σημείο της μηχανής συγκομιδής από όπου διέρχεται ο σπόρος. Υπάρχουν διαφόρων ειδών τέτοιοι αισθητήρες και καθένας λειτουργεί με διαφορετικό τρόπο. Κάποιοι αισθητήρες μετρούν την πίεση που ασκεί ο σπόρος καθώς διέρχεται μέσα από κάποια σωλήνα, άλλοι μετρούν τον όγκο και άλλοι το βάρος. Το βάρος του σπόρου δίνει περισσότερες πληροφορίες όπως υγρασία του σπόρου ή ταχύτητα συγκομιδής.

3. αισθητήρες μέτρησης της ταχύτητας

Οι αισθητήρες αυτοί τοποθετούνται στους τροχούς της μηχανής συγκομιδής και μετράνε την ταχύτητα της. Η τεχνολογία τους βασίζεται κυρίως σε μαγνήτες, ραντάρ, υπέρηχους ή GPS.

4. κεραία GPS

Χρησιμοποιείται για την καταγραφή της θέσης της μηχανής συγκομιδής

5. αισθητήρας θέσης μηχανισμού θερισμού της μηχανής συγκομιδής

Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για τον υπολογισμό της έκτασης η οποία συγκομίζεται. Ελέγχει τη ροή και την αποθήκευση των δεδομένων. Όταν ο μηχανισμός θερισμού είναι ανυψωμένος δεν γίνεται καταγραφή δεδομένων, αντίθετα, όταν ο μηχανισμός θερισμού βρίσκεται στο έδαφος, γίνεται η καταγραφή των δεδομένων και ο υπολογισμός της συγκομισμένης έκτασης.

6. κεντρική μονάδα με οθόνη

Η κεντρική μονάδα είναι το βασικό μέρος του συστήματος. Συλλέγει και αποθηκεύει δεδομένα από τους αισθητήρες, παρουσιάζοντας τα ταυτόχρονα και στην οθόνη. Τέτοια δεδομένα μπορεί να είναι η υγρασία του σπόρου, η στιγμιαία παραγωγή, η μέση παραγωγή ή έκταση που συγκομίστηκε, η ταχύτητα του οχήματος

και η ποιότητα του σήματος GPS. Τοποθετείται στην καμπίνα της μηχανής συγκομιδής. Ο χειριστής μπορεί να εισάγει πληροφορίες που αφορούν το όνομα του αγρού, τον αριθμό του φορτίου και το πλάτος κοπής.

Σύμφωνα με το Stafford (2000), οι πρώτες προσπάθειες χαρτογράφησης της παραγωγής ξεκίνησαν το 1980, στα σιτηρά. Συγκεκριμένα κατά την κίνηση της θεριζοαλωνιστικής μηχανής στον αγρό, καταγράφονταν η ταχύτητα της, η γεωγραφική της θέση, ενώ παράλληλα μετριούνταν η υγρασία και η ροή του σπόρου με διάφορους αισθητήρες. Στη συνέχεια, με τα δεδομένα αυτά και τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφόρησης δημιουργήθηκαν οι χάρτες παραλλακτικότητας της παραγωγής.

Οι Thomasson et al (2006) δημιούργησαν ένα σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής φιστικιών, το οποίο στηρίχτηκε σε προηγούμενο σύστημα χαρτογράφησης παραγωγής βαμβακιού από τους ίδιους, το οποίο μετρούσε τη ροή μάζας του καρπού. Τα αποτελέσματα μετά τη δοκιμασία του συστήματος στον αγρό ήταν ικανοποιητικά.

Οι Birrell et al. (1996) εξέτασαν διάφορα μοντέλα για τη στιγμιαία χαρτογράφηση της παραγωγής σιτηρών με δεδομένα που υπήρχαν σε δύο κονσόλες. Τα δεδομένα της πρώτης ήταν από μετρήσεις βασισμένες στην επαφή ενώ της δεύτερης ήταν ογκομετρικές μετρήσεις της παραγωγής.

Οι Markinos et al. (2003) έκαναν χαρτογράφηση του βαμβακιού προσαρμόζοντας ένα μόνιτορ της Farmscan και διάφορους αισθητήρες σε μια βαμβακοσυλλεκτική μηχανή.

Οι Molin et al (2003) κατάφεραν να χαρτογραφήσουν την παραγωγή ζαχαροκάλαμου, χωρίς να παρέμβουν στη διαδικασία της συγκομιδής, μετρώντας απλά το μέσο όρο βάρους του συγκομιζόμενου προϊόντος, δημιουργώντας χάρτη παραγωγής.

Οι Strubbe et al. (1996) ανέφεραν την ανάπτυξη μιας οπτικής ογκομετρικής μεθόδου ανίχνευσης του ρυθμού ροής των σπόρων

Οι Saldana et al (2006) δημιούργησαν ένα σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής για λαχανικά, χρησιμοποιώντας ένα αισθητήρα μέτρησης του ποσοστού μάζας, έναν αισθητήρα που μετρούσε τη συγκομισμένη περιοχή και έναν αισθητήρα GPS.

Οι Lee et al (2002) κατασκεύασαν ένα σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής χόρτου ενσίρωσης από καλαμπόκι χρησιμοποιώντας DGPS, μονάδες Bluetooth και έναν αισθητήρα μέτρησης υγρασίας.

Οι Vellidis et al. (2001) επινόησαν μια μηχανή συλλογής της αραχίδας και χαρτογράφησης της παραγωγής. Το κύριο μέρος του συστήματος αποτελούνταν από δυναμοκυψέλες οι οποίες μετρούσαν το βάρος της συγκομισθείσας αραχίδας.

Οι Whitney et al. (2001) προσπάθησαν να δημιουργήσουν ένα αυτοματοποιημένο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής σε οπωρώνες πορτοκαλιών. Με ένα σύστημα που αποτελούνταν από δυναμοκυψέλες οι οποίες ήταν εγκατεστημένες σε ένα όχημα, ζύγιζαν τους κάδους με τα πορτοκάλια ενώ κατέγραφαν την γεωγραφική θέση ταυτόχρονα με το ζύγισμα.

Οι Shin et al. (2012) ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο που αναλύει φωτογραφίες των δένδρων και υπολογίζει το σύνολο των φρούτων που υπάρχουν σε αυτά.

Οι Aggelopoulou et al. (2011) φωτογράφησαν 250 δέντρα με μια απλή φωτογραφική μηχανή και ανέλυσαν 113 φωτογραφίες. Η συσχέτιση της χωρικής παραλλακτικότητας της παραγωγής με την χωρική παραλλακτικότητα των ανθέων ήταν σχετικά υψηλή ($r = 0.85$).

1.4 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

Οι εδαφικές ιδιότητες ενός αγρού συνήθως παρουσιάζουν παραλλακτικότητα και οφείλονται σε διάφορα φαινόμενα που συμβαίνουν στον αγρό. Εφόσον τα φυτά αντλούν τα θρεπτικά τους συστατικά για την ανάπτυξη τους από το έδαφος, μπορούμε να πούμε ότι η παραλλακτικότητα των εδαφικών ιδιοτήτων, επηρεάζει άμεσα την παραλλακτικότητα παραγωγής. Η ανάπτυξη αποτελεσματικών τρόπων δειγματοληψίας και η χρήση των δεκτών του GPS βοηθούν στον ακριβή προσδιορισμό της χωρικής παραλλακτικότητας των εδαφικών ιδιοτήτων. (Γκόλια 2003)

Σύμφωνα με Μήτσιο(2004) τα εδαφικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξη τους είναι :

- κύρια στοιχεία: το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K).
- δευτερεύοντα στοιχεία: το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg) και το θείο (S).

- ιχνοστοιχεία :το βόριο (B), το χλώριο (Cl), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn), ο ψευδάργυρος (Zn), και το μολυβδαίνιο (Mo).

Το άζωτο είναι για τα περισσότερα φυτά το πιο σημαντικό στοιχείο για την παραγωγή. Ο χρόνος εφαρμογής του αζώτου και οι τρόποι εφαρμογής του είναι εξίσου σημαντικοί. Η εφαρμογή του αζώτου θα πρέπει να γίνεται την εποχή που τα φυτά το έχουν ανάγκη, ειδικά παρατηρούνται απώλειες λόγω απονιτροποίησης, έκπλυσης και εξαέρωσης (Μήτσιος 2004).

Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών μερών του φυτού. Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου βρίσκονται στους σπόρους και στους καρπούς (Στυλιανίδης κ.α. , 2002). Συγκρατείται ισχυρά από το έδαφος και δεν έχει απώλειες όπως το άζωτο.

Το κάλιο, σύμφωνα με τους Στυλιανίδη και άλλους, (2002), είναι σημαντικό για τα φυτά καθώς επιτρέπει την μετακίνηση διαφόρων ουσιών μέσα στα φυτά, την ενεργοποίηση κάποιων ενζύμων και βοηθά το φυτό να ανταπεξέλθει σε συνθήκες ξηρασίας.

Από τα δευτερεύοντα στοιχεία, Το ασβέστιο βοηθά στην ανάπτυξη της ρίζας, των στελεχών και των φύλλων ενώ παράλληλα βελτιώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες. Στην παραγωγή χλωροφύλλης συμβάλει το μαγνήσιο ενώ το θείο βοηθά στην δημιουργία πρωτεϊνών και καθιστά τα φυτά ικανά να αντέχουν σε χαμηλές θερμοκρασίες (Στυλιανίδης κ.α., 2002).

Τέλος, τα φυτά χρειάζονται πολύ μικρές ποσότητες ιχνοστοιχείων, έτσι σπάνια παρουσιάζονται ελλείψεις ιχνοστοιχείων.

1.4.1 Μέθοδοι δειγματοληψίας εδάφους

Οι δύο πιο κύριες μέθοδοι δειγματοληψίας 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 μεταξύ

τους, έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τις εδαφικές ιδιότητες του κελιού. Στη συνέχεια τα δείγματα στέλνονται για ανάλυση στο εργαστήριο.

Στη δειγματοληψία με βάση τον τύπο του εδάφους, η δειγματοληψία γίνεται από τμήματα του αγρού που έχουν παρόμοιο τύπο εδάφους ή άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά. Για να γίνει αυτό ο παραγωγός στηρίζεται σε εδαφολογικούς χάρτες. Αρκετά δείγματα συλλέγονται και αναμιγνύονται από κάθε περιοχή με διαφορετικό τύπο εδάφους. Η διαφορά με τη δειγματοληψία πλέγματος είναι ότι εδώ οι αποστάσεις μεταξύ των δειγμάτων δεν είναι ίδιες. Αν κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας γίνεται ταυτόχρονα και η καταγραφή της θέσης του δείγματος με GPS, στη συνέχεια με κατάλληλο λογισμικό GIS δημιουργούνται οι αντίστοιχοι θεματικοί χάρτες των εδαφικών ιδιοτήτων του αγρού.

Τέλος, υπάρχει και η τυχαία δειγματοληψία εδάφους, αλλά δεν είναι τόσο αποτελεσματική. Συνήθως αυτός που κάνει τη δειγματοληψία διαγράφει ένα νοητό Μ ή Ζ στο χωράφι και στις γωνίες του γράμματος συλλέγει δείγμα εδάφους για να το αναλύσει.

1.4.2 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η ικανότητα ενός υλικού να συμπεριφέρεται ως αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος και συνήθως εκφράζεται σε μονάδες των Siemens ανά μέτρο ($S\ m^{-1}$) (Doerge et al 1999). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένας χρήσιμος δείκτης της ποιότητας του εδάφους. Επίσης είναι πολύ εύκολο να προσδιοριστεί. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος σχετίζεται με το σύνολο των κατιόντων και των ιόντων που υπάρχουν στο διάλυμα. Γενικότερα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει συσχετισθεί με τον προσδιορισμό της αλατότητας του εδάφους, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέτρο των διαλυτών θρεπτικών κατιόντων και ανιόντων. (Smith and Doran ,1996)

Συγκεκριμένα στη Γεωργία Ακριβείας, γίνονται μετρήσεις της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας ECa, η οποία ορίζεται σαν η ηλεκτρική αγωγιμότητα της μάζας του εδάφους.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι:

- Η υφή του εδάφους. Όσο περισσότερη είναι η περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο τόσο καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι (Sudduth et al., 2005)
- Το πορώδες του εδάφους. Όσο μεγαλύτερο πορώδες έχει ένα έδαφος τόσο χειρότερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι (Doerge 2001).
- Αλατότητα. Υπάρχει θετική συσχέτιση. Η αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος αυξάνει την φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα (Barnes et al 2003).
- Η θερμοκρασία του εδάφους (Corwin and Lesch 2005).
- Η οργανική ουσία. υπάρχει θετική συσχέτιση.
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (Doerge 2001).
- Η περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος. Υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υγρασίας του εδάφους καθώς το νερό είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού (Doerge 2001).

Ο προσδιορισμός της ECa αποτελεί μια από τις απλούστερες και οικονομικότερες μεθόδους που χρησιμοποιούνται σήμερα στη γεωργία ακριβείας. Γίνεται κατευθείαν στον αγρό, ενώ οι συσκευές μέτρησης της ECa με τη βοήθεια GPS, δίνουν μετρήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χαρτών μέσω διαφόρων λογισμικών (GIS). Η ECa ενοποιεί ένα ευρύτερο σύνολο παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας (Doerge et al 1999). Η παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι πιθανόν να οφείλεται στην παραλλακτικότητα όλων αυτών των παραγόντων. Έτσι, η χαρτογράφηση της ECa σε έναν αγρό πιθανόν να καταγράφει την παραλλακτικότητα του εδάφους (Μαρκινός et al, 2003).

Μέτρηση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους προσδιορίζεται με δύο τρόπους:

- Μέτρηση της ECa με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή
- Μέτρηση της ECa με ηλεκτρόδια επαφής

Και οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονται επί του αγρού με ειδικούς αισθητήρες , εύκολα και συνήθως για τη δημιουργία χαρτών της ECa του εδάφους σε κάθε περιοχή μελέτης. Και οι δύο μέθοδοι δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. (Doerge et al , 1999)

Μετρήσεις με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Οι μετρήσεις που στηρίζονται στην ηλεκτρομαγνητική επαγωγή πραγματοποιούνται με την εισαγωγή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στα γεωλογικά υλικά, χρησιμοποιώντας μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που προκαλεί τη δημιουργία ενός μαγνητικού πεδίου που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που προκαλεί το εναλλασσόμενο ρεύμα μετριέται από έναν αισθητήρα-συσκευή. Η ένταση του δευτεροβάθμιου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι άμεσα ανάλογη προς την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. (Doerge et al, 1999) .

Βασικό εργαλείο προσδιορισμού της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ο αισθητήρας EM38 του οίκου Geonics Limited. Ο αισθητήρας έχει στα δύο άκρα του δύο πηνία (πομπός-δέκτης) τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση ενός μέτρου και λειτουργεί σε συχνότητα 14,6 kHz τροφοδοτούμενος από μπαταρία 9V (McNeill, 1992). Κατά τη λειτουργία του οργάνου, το πηνίο-πομπός, το οποίο βρίσκεται στην πίσω άκρη του οργάνου, παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα το οποίο δημιουργεί ένα πρωτεύον μαγνητικό πεδίο που διαπερνά το έδαφος σε βάθος, το οποίο με τη σειρά του παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μικρότερης έντασης. Το παραγόμενο αυτό ρεύμα δημιουργεί ένα μικρότερο δευτερεύον μαγνητικό πεδίο. Τα δύο αυτά μαγνητικά πεδία λαμβάνονται από ένα δεύτερο πηνίο-δέκτη το οποίο βρίσκεται στο πρόσθιο μέρος του οργάνου. Η αναλογία του πρωτεύοντος με το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο είναι μια γραμμική συνάρτηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (Geonics Limited, 2006). Πριν την έναρξη των μετρήσεων προηγείται βαθμονόμηση του οργάνου. Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα

μέτρησης τόσο στην κάθετη θέση λειτουργίας (η μικρή πλευρά του προς τα κάτω) όσο και στην οριζόντια θέση (η μεγάλη πλευρά παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους). Στην κάθετη θέση έχει δυνατότητα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε βάθος 1,5 μέτρων ενώ στην οριζόντια θέση η ικανότητα μέτρησης φτάνει τα 0,75 μέτρα. Η ένδειξη της ECa που καταγράφεται με τον αισθητήρα αποτελεί το μέσο όρο των τιμών της ECa μιας κάθετης τομής του εδάφους. Οι τιμές των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αισθητήρα καταγράφονται είτε σε data logger είτε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ενώ υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης με GPS ώστε να καθίσταται δυνατή και η καταγραφή της θέσης κάθε σημείου μέτρησης (McNeill, 1992).

Το EM 38 έχει τη δυνατότητα σύνδεσης με GPS. Με τη σύνδεση και με ηλεκτρονικό υπολογιστή έχουμε τη δυνατότητα καταγραφής και αποθήκευσης των τιμών της ECa και των συντεταγμένων κάθε σημείου του χωραφίου. Δημιουργείται έτσι ένα αρχείο με τα δεδομένα του αγρού, το οποίο χρησιμοποιείται για την αποτύπωση των δεδομένων σε χάρτη που απεικονίζει τη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του χωραφίου.

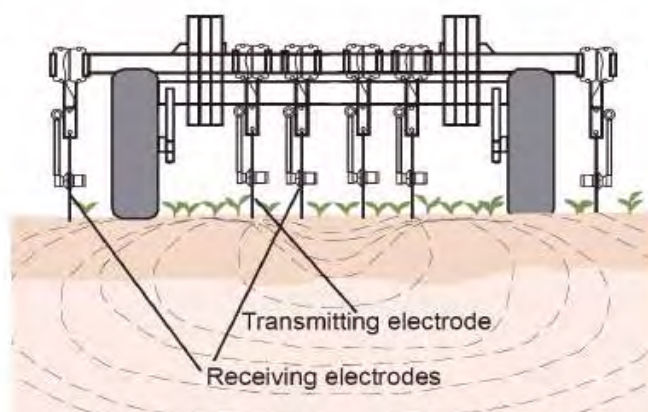


Εικόνα 1.4 EM38 του οίκου Geonics

Μετρήσεις φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με επαφή

Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται με τα ηλεκτρόδια επαφής περιλαμβάνουν συσκευές που διοχετεύουν ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος μέσω μεμονωμένων μεταλλικών ηλεκτροδίων που εισχωρούν στην επιφάνεια του εδάφους. Οι συσκευές αυτές μετρούν άμεσα την πτώση τάσης μεταξύ μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός ηλεκτροδίου αισθητήρα.

Χαρακτηριστικό εργαλείο αυτής της κατηγορίας μετρήσεων είναι το VERIS. Με το σύστημα αυτό μπορούν να χαρτογραφηθούν μεγάλες εκτάσεις εύκολα και γρήγορα. Ο μηχανισμός σύρεται στην επιφάνεια του εδάφους και πραγματοποιεί μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους κάθε δευτερόλεπτο, ενώ παράλληλα ένας δέκτης GPS καταγράφει τη θέση του μέσα στον αγρό. Τα δεδομένα στη συνέχεια με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού μετατρέπονται σε χάρτη της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού.



Εικόνα 1.5. Τρόπος λειτουργίας του Veris (www.pubs.ext.vt.edu)

1.5 Τηλεπισκόπηση

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης λαμβάνει χωρίς να έρχεται σε επαφή με το αντικείμενο, αναλύει και επεξεργάζεται δορυφορικά και επίγεια χωρικά δεδομένα με τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλων λογισμικών (Λιάκος, 2013). Σύμφωνα με Φτάκα (2006) η επιστήμη της τηλεπισκόπησης ορίζεται σαν: Η τέχνη, η επιστήμη και η τεχνολογία που χρησιμοποιεί εικόνες για να πάρει από μακριά αξιόπιστη μετρική ή ποιοτική πληροφορία, ενώ ο Sabins (1978) όρισε πως τηλεπισκόπηση σημαίνει συλλογή και καταγραφή πληροφοριών για αντικείμενα με τα οποία τα συστήματα καταγραφής δεν έχουν φυσική επαφή μεταξύ τους.

Η διεθνής φωτογραμμετρική εταιρία ορίζει την τηλεπισκόπηση σαν: την τέχνη, επιστήμη και τεχνολογία για τη συλλογή αξιόπιστης πληροφορίας (χάρτες, διαγράμματα) για φυσικά αντικείμενα (έδαφος, κτίρια κ.α.) με χρήση φωτογραφίας ή με άλλους δέκτες, ειδικότερα δε εκείνους που λειτουργούν από αεροπλάνα και διαστημόπλοια (Φτάκα, 2006).

Η τηλεπισκόπηση παρέχει στους παραγωγούς πολλές πληροφορίες για την καλλιέργεια τους. Αρχικά είναι σε θέση να γνωρίζει ο παραγωγός ακριβώς τα χωρικά

όρια, το περίγραμμα και το εμβαδόν του χωραφιού του. Έτσι με την αποτυπωμένη μορφή των εκτάσεων του ο παραγωγός μπορεί να κάνει ευκολότερα σχέδια βελτίωσης ή αναδιάρθρωσης των εκτάσεων του. Η ανάλυση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων δίνει στον παραγωγό την εικόνα της τοπογραφίας της περιοχής. Το ανάγλυφο και το υψόμετρο μιας περιοχής, που συνιστούν την τοπογραφία της, παίζουν σπουδαίο ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και στην τελική παραγωγή, καθώς οι απότομες κλίσεις δημιουργούν διάβρωση του εδάφους, με δυσμενή αποτελέσματα στην παραγωγή.

Μεγάλο πλεονέκτημα δίνει η τηλεπισκόπηση στους παραγωγούς σε σχέση με την ανάλυση εδάφους. Συνήθως αυτές οι αναλύσεις γίνονταν με δειγματοληψία εδάφους και χημικές αναλύσεις, οι οποίες είναι χρονοβόρες και κοστίζουν αρκετά. Με τη χρήση πολυφασματικών αεροφωτογραφιών, το κόστος είναι μηδαμινό και ο χρόνος που απαιτείται ελάχιστος. Οι εικόνες αυτές, παίρνονται με τη χρήση ειδικών φίλτρων που αφήνουν ένα ορισμένο μήκος κύματος να περάσει από το φακό. Παρουσιάζουν διαφορετικούς τόνους του γκρι χρώματος, αναγνωρίζοντας έτσι τον τύπο του εδάφους και την χωρική παραλλακτικότητα της εδαφικής υγρασίας. Έτσι ο παραγωγός είναι σε θέση να γνωρίζει ποιες περιοχές του χωραφιού του έχουν υψηλή υγρασία και ποιες όχι, λαμβάνοντας το σαν ένα παράγοντα για το σχεδιασμό ζωνών διαχείρισης και εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας. Επίσης μια τηλεπισκοπική εικόνα πληροφορεί και για το ποσοστό υγρασίας των φυτών. Ο συνδυασμός υγρασίας εδάφους, ποσοστό αργίλου στο έδαφος, αλλά και ο δείκτης NDVI που παρέχουν αυτές οι εικόνες, πληροφορούν για το ποια φυτά είναι στρεσαρισμένα από νερό και ποια όχι. Επίσης μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με το χρώμα, τη βιομάζα αλλά και τη θερμοκρασία.

Πλεονέκτημα της τηλεπισκόπησης αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα, αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης/χρήσης γης αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθος τους (Μαρκογιάννη, 2010).

Τα δεδομένα που συγκεντρώνονται και χρησιμοποιούνται είναι σχετικά χαμηλού κόστους με βάση το πλήθος των αποτελεσμάτων που μπορούν να ληφθούν. Επίσης τα δεδομένα λαμβάνονται πολύ γρήγορα όλο το χρόνο. Στα θετικά της τηλεπισκόπησης επίσης συγκαταλέγεται και η δυνατότητα μελέτης δύσβατων περιοχών που είναι δύσκολο να εξετασθούν με επίγειες μετρήσεις ή που θα απαιτούσαν πολύ χρόνο, χρήματα και πολλές δειγματοληψίες (Λιάκος, 2013).

Εικόνες από δορυφόρους και αεροφωτογραφίες επιτρέπουν στο γεωργό να δει τις καλλιέργειες του γρήγορα σε ολόκληρο τον αγρό του και να αποφασίσει ποιες περιοχές χρειάζονται περισσότερη διαχείριση χωρίς να αφήσει την άνεση του σπιτιού του. Οι εικόνες τηλεπισκόπησης παρέχουν μια οπτική μέθοδο για την παρακολούθηση των επιδράσεων των εισροών . Οι εικόνες τηλεπισκόπησης μπορούν να συλλεχθούν πολλές φορές κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και να βοηθήσουν έτσι στη λήψη έγκαιρων αποφάσεων διαχείρισης, διορθώνοντας τυχόν προβλήματα. Σταδιακά μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας και τη χωρική παραλλακτικότητα .

Οι Barnes et al. (2003) κατέληξαν ότι η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην χαρτογράφηση των εδαφών και στην αναγνώριση των αλατούχων εδαφών.

Οι Qin et al (2003) σε ορυζώνα με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης, κατάφεραν να απεικονίσουν ικανοποιητικά τα φυτά που ήταν προσβεβλημένα από ασθένειες, αλλά και το βαθμό της προσβολής.

Ο Annamalai (2004) χρησιμοποιώντας την τηλεπισκόπηση, κατασκεύασε ένα μοντέλο εκτίμησης της τελικής παραγωγής στα εσπεριδοειδή, και συγκεκριμένα του αριθμού των φρούτων που θα βρίσκονταν στο κάθε δέντρο.

Οι Zaman et al (2010) κατασκεύασαν ένα αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής σε φυτεία άγριου βατόμουρου, εφαρμόζοντας μια πολυφασματική κάμερα σε ένα αυτοκινούμενο όχημα, παίρνοντας έτσι μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο.

Οι Yang et al (2013) κατέληξαν ότι με αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, είναι δυνατή η χαρτογράφηση παραγωγής και η απεικόνιση του ποσοστού ανάπτυξης των φυτών.

Σύμφωνα με τους Dash and Curran (2007) η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την αναγνώριση του είδους των καλλιεργειών καθώς και της κατάστασης των φυτών.

1.5.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελεί την αφετηρία σχηματισμού των εικόνων σε όλες τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Υπάρχει πάντα μια ραδιομετρική πηγή που εκπέμπει συνεχώς ενέργεια (ο ήλιος), η οποία ταξιδεύει μέσω

της ατμόσφαιρας έως ότου συναντήσει κάποιο αντικείμενο στόχο. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συναντήσει το στόχο, ένα μέρος της απορροφάται και το υπόλοιπο ανακλάται από στόχο. Στη συνέχεια, η ανακλώμενη ακτινοβολία ταξιδεύει μέσω της ατμόσφαιρας μέχρι να συναντήσει το δέκτη, ο οποίος διαθέτει σύστημα ανίχνευσης και καταγραφής για το σχηματισμό της εικόνας. Κατά τη διάρκεια της διαδρομής από την πηγή στο στόχο, και από το στόχο στο δέκτη, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υφίσταται ορισμένες αλλοιώσεις, οι οποίες είναι συνήθως ανάκλαση, διάθλαση και διάχυση (Φτάκα , 2006).

1.5.2 Δείκτες βλάστησης

Η ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά συσχετίζεται με την περιεκτικότητα της χλωροφύλλης σε αυτά ενώ η θερμική ανακλώμενη ακτινοβολία συσχετίζεται με την εξατμισοδιαπνοή των φυτών. Έχει παρατηρηθεί ότι τα φυτά στην ορατή ζώνη της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας απορροφούν την ακτινοβολία από την κόκκινη και μπλε περιοχή και ανακλούν την ακτινοβολία της πράσινης περιοχής. Αυτή η ιδιότητα οφείλεται στην χλωροφύλλη α και β των φύλλων και έτσι εξηγείται γιατί το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται ως πράσινα τα φύλλα των φυτών. Στο εγγύς υπέρυθρο η δομή των φύλλων παίζει καθοριστικό ρόλο στις οπτικές τους ιδιότητες. Οι χρωστικές ουσίες των φύλλων είναι διαφανείς στο εγγύς υπέρυθρο και παρουσιάζουν πολύ μικρή απορρόφηση ενώ η αντανάκλαση είναι πάρα πολύ μεγάλη . Με άλλα λόγια θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η βλάστηση παρουσιάζει χαμηλές τιμές ανάκλασης στο ορατό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ενώ η αντανάκλαση είναι πάρα πολύ μεγάλη στο εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Αυτή η συμπεριφορά της βλάστησης είναι μοναδική στη φύση και γι' αυτό τα φυτά διαφέρουν από τα υπόλοιπα βιοφυσικά στοιχεία στη γη (Λιάκος ,2013).

Οι δείκτες βλάστησης έχουν επινοηθεί και χρησιμοποιούνται σαν δείκτες ανάπτυξης και ευρωστίας των φυτών. Υπολογίζονται μέσω σχέσεων ανάμεσα σε καταγεγραμμένα δεδομένα στην κόκκινη περιοχή και στο εγγύς υπέρυθρο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται είτε δορυφορικά, είτε από επίγειες μετρήσεις με διάφορους αισθητήρες. Επίσης οι δείκτες βλάστησης συμβάλουν στην εύρεση του ποσοστού φυτοκάλυψης, της πράσινης βιομάζας και της απορροφημένης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση (Sellers et al., 1992).

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

$$NDVI = (NIR_{reflected} - RED_{reflected}) / (NIR_{reflected} + RED_{reflected})$$

Όπου NIR και RED είναι οι φασματικές αντανακλάσεις του υπέρυθρου και του ερυθρού φωτός αντίστοιχα (Bro – Jorgensen et al. 2007).

Το NDVI είναι μια αντίθεση των ερυθρών και των υπέρυθρων φασματικών μετρήσεων και χρησιμοποιείται για να υπολογιστούν οι ιδιότητες της πράσινης βλάστησης, όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας και η βιομάζα, μιας και έχει άμεση σχέση με τις φωτοσυνθετικές ιδιότητες της βλάστησης. Πιο απλά, μας δείχνει κατά πόσο τα φυτά είναι υγιή ή ασθενούν. Είναι ένα χρήσιμο μέτρο πολλών ιδιοτήτων της βλάστησης και έχει πολλές εφαρμογές, όπως π.χ. τα ποσά του αζώτου της καλλιέργειας. Αναγνωρίζει πόσο πράσινο είναι το φυτό και παίρνει τιμές από -1 έως 1, στις γεωργικές καλλιέργειες (Phillips et al, 2008).

Το NDVI συσχετίζεται με τη βιομάζα στα διάφορα σημεία του αγρού. Αν διαιρέσουμε το NDVI με τον αριθμό των ημερών από τη σπορά ή το φύτευμα μπορούμε να εκτιμήσουμε τη βιομάζα που παράγεται ανά ημέρα, το οποίο είναι το ποσοστό αύξησης και συσχετίζεται με την τελική δυνατότητα παραγωγής .

Οι Cupertino Da Silva et al. (2006) εντόπισαν θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI και της ποσότητας της ξηρής βιομάζας καθώς και με την περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο.

Οι Naser et al,(2010) χρησιμοποίησαν μετρήσεις του δείκτη NDVI για να ταξινομήσουν 24 διαφορετικούς τύπους σιταριού. Για τις μετρήσεις του NDVI χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας GreenSeeker, και ένας αλγόριθμος χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του NDVI και την παραγωγή, ταξινόμησε όλους τους γονότυπους σε τρεις κλάσεις.

Οι Zhang et al,(2011) χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες που μετρούσαν το δείκτη NDVI, και κατέληξαν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δώσει την παραλλακτικότητα της ανάπτυξης των φυτών και έτσι να προκαθοριστούν οι μετέπειτα μεταχειρίσεις, όπως αζωτούχος λίπανση κ. α.

Οι Koller and Upadhyaya (2005, a.b), εξέτασαν τις σχέσεις ανάμεσα στο δείκτη φυλλικής επιφάνειας και ενός τροποποιημένου NDVI στις τομάτες, και χρησιμοποίησαν το δείκτη φυλλικής επιφάνειας που πάρθηκε από αεροφωτογραφίες

και τη φωτοσυνθετική ενεργή ακτινοβολία για να προβλέψουν την παραγωγή τομάτας.

Οι Perry et al (2012) κατέληξαν ότι οι μετρήσεις του δείκτη NDVI, μπορούν να δείξουν ικανοποιητικά το ποσοστό φυτοκάλυψης, αλλά όχι τόσο καλά το ποσοστό της βιομάζας.

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

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

Σε μια εργασία των O'Connell et al. (2009) βρέθηκε συσχέτιση του NDVI των δένδρων πορτοκαλιού και αμυγδάλων με την εξατμισοδιαπνοή. Αυτό δείχνει ότι ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν οδηγός για την άρδευση των οπωρώνων σύμφωνα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης στη γεωργία αφορούν κυρίως την :

- Αναγνώριση καλλιεργειών
- Πρόβλεψη της παραγωγής
- Αναγνώριση ασθενειών και τροφοπενιών
- Εκτίμηση της επάρκειας αζώτου και του επιπέδου του
- Αναγνώριση καταπονήσεων όπως νερού

1.6 Ζώνες διαχείρισης

Το τελευταίο στάδιο ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας είναι η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών. Προϋπόθεση γι αυτό, είναι η διαμόρφωση στο χωράφι ζωνών διαχείρισης. Ζώνη διαχείρισης είναι ένα επιμέρους τμήμα του αγρού που έχει κοινά χαρακτηριστικά και όπου η διαχείριση μπορεί να είναι ενιαία (Kitchen et al. 2005). Ο Blackmore (2003), ορίζει τις ζώνες διαχείρισης σαν τα σημεία εκείνα στο χωράφι που έχουν κοινά εδαφολογικά ή αγρονομικά χαρακτηριστικά

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

- Σταθερότητα στο χρόνο
- Ευκολία στην οριοθέτηση
- Να συσχετίζονται με την παραγωγή, καθώς ο βασικός στόχος των παραγωγών είναι η επίτευξη μιας ικανοποιητικής παραγωγής.
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας

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

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

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

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

Σχετικά με το μέγεθος των ζωνών διαχείρισης, το ελάχιστο μέγεθος καθορίζεται από τη δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιήσει τις εισροές, πράγμα που είναι συνάρτηση του τεχνολογικού εξοπλισμού που διαθέτει. Το μέγιστο μέγεθος καθορίζεται από τα όρια του αγρού.

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

Ο διαχωρισμός ενός αγρού σε ζώνες, ανάλογα με τις ιδιότητες του, συμβάλλει στην εξοικονόμηση εισροών. Αρχικά, κάθε αγρός ελέγχεται για μια ιδιότητα του. Κάθε τμήμα που εμφανίζει διαφορετικές τιμές για τη συγκεκριμένη ιδιότητα, ορίζει μία διαχειριστική ζώνη. Στη συνέχεια, ο παραγωγός οφείλει να καλλιεργήσει κάθε ζώνη ανεξάρτητα, ανάλογα με τις απαιτήσεις που αυτή παρουσιάζει σε άρδευση και λίπανση (Σταματιάδης 2011).

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν καταγεγραμμένες αρκετές προσπάθειες δημιουργίας ζωνών διαχείρισης. Οι Lark and Stafford,(1997), χρησιμοποίησαν δεδομένα υψομέτρου που συλλέχθηκαν με GPS για το διαχωρισμό σε ζώνες διαχείρισης.

Επίσης, έχουν διαχωριστεί ζώνες διαχείρισης με βάση τα δεδομένα της παραγωγής ενός αγρού (Blackmore et al, 2003; Diker et al ,2004;), αλλά και βάση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους καθώς βρήκαν ότι αυτή συσχετίζεται με την παραγωγή (Kitchen et al 2003 ; Perry et al 2007 ;Moral et al 2010 ; Johnson et al 2003).

Οι Yan et al. (2007), έκαναν διαχωρισμό ζωνών διαχείρισης συνδυάζοντας δείκτη βλάστησης NDVI και εδαφολογικά χαρακτηριστικά ενώ οι Tagarakis et al. (2012) για να δημιουργήσουν ζώνες διαχείρισης σε έναν αμπελώνα χρησιμοποίησαν δεδομένα του δείκτη NDVI, παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και εδαφικών ιδιοτήτων.

Οι Fleming et al. (2000) χρησιμοποίησαν αεροφωτογραφίες από γυμνό έδαφος μιας περιοχής και με βάση το χρώμα του εδάφους δημιούργησαν ζώνες διαχείρισης.

Οι Vendrusculo και Kaleita (2011) χρησιμοποίησαν την τεχνική Fuzzy C means και δημιούργησαν έναν αλγόριθμο που βρίσκει το βέλτιστο αριθμό ζωνών διαχείρισης.

1.7 Εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών

Το τελευταίο στάδιο ενός συστήματος γεωργίας ακριβείας, μετά τον καθορισμό των ζωνών διαχείρισης, είναι η εφαρμογή των εισροών (σπόρος, λίπασμα,

φυτοφάρμακα, άρδευση) ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε ζώνης. Η τεχνική αυτή ονομάζεται εφαρμογή εισροών μεταβλητών δόσεων.

Τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (Variable Rate Application Technology) είναι συστήματα γεωργικής μηχανικής που μεταβάλλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών την ίδια στιγμή που εφαρμόζουν τις εισροές αυτές, αναλόγως με το σημείο του αγροτεμαχίου στο οποίο βρίσκονται. Τα συστήματα αυτά μπορούν να σχεδιαστούν με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα προϊόντα στα οποία εφαρμόζονται (Clark et al 1996).

Υπάρχουν δύο μέθοδοι εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις. Η πρώτη είναι με χρήση χαρτών και η δεύτερη με χρήση αισθητήρων.

Στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιούνται διάφορα λογισμικά GIS, τα οποία μπορούν να παράγουν χάρτες εφαρμογής διαφόρων εισροών. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να καθορίσουν τη θέση της μηχανής μέσα στον αγρό, και να τη συσχετίσουν με την επιθυμητή δόση εφαρμογής εισροών με βάση τους χάρτες.

Στη δεύτερη μέθοδο με τη χρήση των αισθητήρων, το σύστημα χρησιμοποιεί δεδομένα από διάφορους αισθητήρες που άμεσα ρυθμίζουν το μηχάνημα εφαρμογής της εισροής. Οι αισθητήρες αυτοί εφαρμόζονται πάνω στον ελκυστήρα ή σε κάποιο παρελκόμενο και κάνουν διάφορες μετρήσεις σχετικά με τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας ή τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Οι αισθητήρες αυτοί δουλεύουν σε πραγματικό χρόνο, και καθώς το μηχάνημα προχωράει στον αγρό, ένα σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί αυτόματα τα δεδομένα από τους αισθητήρες και προσαρμόζει τις εισροές. Η ύπαρξη GPS δεν είναι απαραίτητη σε αυτή τη μέθοδο, αν όμως υπάρχει, τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτών.

Το πιο συνηθισμένο τέτοιο εμπορικό σύστημα είναι το **Green Seeker**.

Το Green Seeker είναι ένα σύστημα καταγραφής της ανακλώμενης από τα φυτά ακτινοβολίας και χαρτογράφησης της παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI. Παρέχει στοιχεία σε πραγματικό χρόνο ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες, γιατί χρησιμοποιεί μια πηγή φωτός ανεξάρτητη από τον ήλιο της οποίας μετρά την ανάκλαση. Τα στοιχεία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για χάρτες βιομάζας των καλλιεργειών, δημιουργία ζωνών διαχείρισης, προσδιορισμό παρασίτων και ασθενειών, αξιολόγηση της αποδοτικότητας των συστημάτων στράγγισης, έλεγχου και τροποποίηση των προγραμμάτων άρδευσης, καθορισμό των βέλτιστων ημερομηνιών συγκομιδής και για την εκτίμηση της δυνατότητας παραγωγής.

Το Green Seeker είναι ένας φορητός αισθητήρας, τοποθετημένος επάνω σε ένα βραχίονα. Στο κάτω μέρος του αισθητήρα υπάρχει η πηγή του φωτός και περνώντας πάνω από τα φυτά καθορίζεται πόσο πράσινα είναι. Μετρά την αντανάκλαση από το φυτό και υπολογίζει το NDVI χρησιμοποιώντας το ερυθρό και το υπέρυθρο φώς (RED and NIR) (Arnall et al 2006). Η χλωροφύλλη κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης απορροφά το ερυθρό φώς ως πηγή ενέργειας. Έτσι τα υγιή φυτά απεικονίζουν μεγαλύτερα ποσά ερυθρού φωτός από εκείνα που ασθενούν ή βρίσκονται κάτω από κάποιο στρες.

Το Green Seeker μπορεί να λειτουργήσει κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες όπως επίσης και με ή χωρίς τη χρήση GPS. Μπορεί να παράγει ένα χάρτη ζωτικότητας της καλλιέργειας, χάρτες εφαρμογής και χάρτες NDVI, μέσω των οποίων μπορούμε να προσδιορίσουμε τις προβληματικές περιοχές του αγρού που χρήζουν διαφορετικής αντιμετώπισης και εισροών.

Το Green Seeker μπορεί να εκτιμήσει την κατάσταση της καλλιέργειας και να εφαρμόσει στην καλλιέργεια διαφορετικές ποσότητες αζώτου σε διαφορετικά σημεία του αγρού ανάλογα με τις ανάγκες της καλλιέργειας .

Τέλος, υπάρχει και το Weed Seeker, το οποίο ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι έδαφος καθώς προχωράει στον αγρό.

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

- Τους αισθητήρες
- Τους ελεγκτές
- Και τους ενεργοποιητές

Οι αισθητήρες αυτών των συστημάτων μετρούν τις παρακάτω ιδιότητες των φυτών και του εδάφους :

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

Οι ελεγκτές είναι συσκευές που αλλάζουν το ρυθμό εφαρμογής των εισροών, καθώς το μηχάνημα κινείται στον αγρό. Οι ελεγκτές διαβάζουν τα δεδομένα που παίρνουν από τους αισθητήρες και υπολογίζουν τη δόση εφαρμογής των εισροών.

Οι ενεργοποιητές είναι συσκευές που αντιδρούν στα σήματα που λαμβάνουν από τους ελεγκτές και ρυθμίζουν μηχανικά την ποσότητα των εισροών που εφαρμόζεται στον αγρό.

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

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

1.8 Γενικά για τη μηλιά

Η μηλιά είναι από τα πιο γνωστά οπωροφόρα δέντρα και καλλιεργείται σχεδόν σε όλο τον κόσμο για τους καρπούς της. Η μηλιά ήταν γνωστή στην ανθρωπότητα από τους αρχαίους χρόνους, καθώς μνημονεύεται σε κάποια αρχαία κείμενα. . Κέντρο καταγωγής της θεωρείται το Καζακστάν, από όπου μετέπειτα διαδόθηκε από τον άνθρωπο σε όλα σχεδόν τα μέρη του κόσμου. Η υψηλή γενετική παραλλακτικότητα που παρουσιάζει την κάνει να προσαρμόζεται σε διάφορα περιβάλλοντα, ενώ σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες για την δημιουργία νέων ποικιλιών με σκοπό την επέκταση της μηλοκαλλιέργειας σε ψυχρότερες περιοχές της γης.

Η μηλοκαλλιέργεια είναι διαδομένη στην Ευρώπη, στις ΗΠΑ, στη Ν. Αμερική, την Αυστραλία, την Ασία, τον Καναδά, τη Νέα Ζηλανδία, τη Ν. Αφρική και την Ιαπωνία. Για την Ελλάδα σύμφωνα με το Βασιλακάκη (2004), η μηλοκαλλιέργεια είναι η τέταρτη σε σημασία δενδρώδης καλλιέργεια μετά από την ελιά, τα εσπεριδοειδή και τη ροδακινιά. Στην Ελλάδα η μηλιά καλλιεργείται σε πολλές περιοχές, όπως είναι η Νάουσα, η Ζαγορά Πηλίου, η Αγιά Λάρισας, η Καστοριά και η Τρίπολη.

Ποικιλίες

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

Ανάλογα με το χρώμα φλοιού:

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

Ανάλογα με την οξύτητα χυμού :

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

Ανάλογα με την εποχή ωρίμανσης:

- Θερινά μήλα
- Σεπτεμβρίου (Red Delicious, Golden Delicious)
- Φθινοπωρινά (Granny Smith)

Ανάλογα με τη γενετική σύσταση

- Διπλοειδείς (Red Delicious, Golden Delicious)
- Τριπλοειδείς (Jonagold)

Οι δύο ποικιλίες του οπωρώνα που μελετήθηκαν στην εργασία αυτή είναι η Fuji και η επικονιάστρια Red Chief.

Fuji: ο καρπός είναι σφαιρικό-κωνικός, με ροζέ χρώμα το οποίο γίνεται περισσότερο έντονο στις ορεινές περιοχές. Η σάρκα του καρπού έχει χρώμα υποκίτρινο, έχει γλυκιά γεύση, είναι τραγανή, χυμώδης και συντηρείται για αρκετό διάστημα μετά την συγκομιδή (Marquina et al., 2004). Όταν το βασικό χρώμα φλοιού αλλάζει από σκούρο πράσινο σε πιο ανοιχτό σημαίνει ότι το μήλο έχει ωριμάσει και είναι έτοιμο για συγκομιδή. Έχει την τάση να παρενιαιοφορεί και δεν απαιτεί πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Τα δέντρα της ποικιλίας αυτής είναι μέτριας ζωηρότητας, με μακρείς κρεμάμενους βλαστούς. Έχει μακρά περίοδο άνθησης.

Απαιτήσεις σε κλίμα, έδαφος, και νερό

Η μηλιά είναι δένδρο των ψυχρών και υγρών κλιμάτων. Απαιτεί χαμηλές θερμοκρασίες για την διακοπή του λήθαργου των οφθαλμών και δροσερό καλοκαίρι για παραγωγή μήλων καλής ποιότητας. Οι περιοχές που γειτνιάζουν με υδάτινες επιφάνειες (θαλάσσης, λιμνών, ποταμών) προσφέρονται καλύτερα για την καλλιέργεια της μηλιάς, λόγω της μείωσης του κινδύνου να προκληθούν ζημιές από παγετό, καθώς η υδάτινη επιφάνεια συντελεί στη διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητά επίπεδα. Στη χώρα μας καλής ποιότητας μήλα παράγονται στη Μακεδονία, στο Πήλιο, στην Τρίπολη και στα ορεινά της Κρήτης.

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

Η θερμοκρασία του καλοκαιριού επηρεάζει την εμφάνιση του κόκκινου χρώματος των καρπών. Ιδανικές θεωρούνται μέσες θερμοκρασίες γύρω στους 20-21 °C. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αν συνοδεύονται και από έλλειψη εδαφικής υγρασίας, προκαλούν ζημιές στην παραγωγή. Οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από – 25 °C) το χειμώνα μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα δέντρα, όταν κυρίως μετά από ήπιες καιρικές συνθήκες ακολουθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Η μηλιά ευδοκιμεί σε περιοχές με ετήσιο ύψος βροχόπτωσης πάνω από 500 mm, σε περιοχές με λιγότερη βροχόπτωση χρειάζεται πότισμα. Η υψηλή σχετική υγρασία κατά την περίοδο της καρποφορίας, προκαλεί ασθένειες όπως η σκωρίαση.

Η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει σημαντικά το χρώμα των καρπών, ενώ οι ισχυροί άνεμοι προκαλούν σοβαρές ζηράνσεις στους οπωρώνες μηλιάς.

Η μηλιά πολλαπλασιάζεται με σπόρο ή μοσχεύματα και καταβολάδες. Όταν πολλαπλασιάζεται με σπόρο, τα σπορόφυτα που παράγονται, διαφέρουν όσο ως προς τους γονείς, όσο και μεταξύ τους. Για να γίνει πιστή αναπαραγωγή, πραγματοποιείται μόνο με αγνή πολλαπλασιασμό.

Τα συστήματα φυτεύσεως που εφαρμόζονται, διαφέρουν μεταξύ τους όχι μόνο μεταξύ των χωρών αλλά και στην ίδια τη χώρα από περιοχή σε περιοχή. Τα συστήματα αυτά φυτεύσεως διακρίνονται σε εκτατικά (7 x 5 m), ημiekτατικά (5 x 3 m), πυκνής φυτεύσεως (1,2- 3 x 0,5 – 1,2 m) και πολύ πυκνής φυτεύσεως (0,45 x 0,30 m). Οι παράγοντες που καθορίζουν την εφαρμογή του καθενός αφορούν την παραγωγική τους ικανότητα και εδαφοκλιματικές και δενδροκομικές συνθήκες της περιοχής.

Για την παραγωγή ποιοτικών καρπών είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται το αραίωμα των καρπών, όταν παρατηρείται υψηλή καρπόδεση. Το αραίωμα των καρπών γίνεται είτε με το χέρι, είτε με χημικά μέσα.

Λίπανση

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

Παρακάτω παρουσιάζεται ο ρόλος των θρεπτικών στοιχείων στην καλλιέργεια των μήλων σύμφωνα με τους Στυλιανίδη και άλλους, (2002):

Το άζωτο αποτελεί κλειδί για τον έλεγχο της βλάστησης και της καρποφορίας. Χρειάζεται όμως προσοχή στη χρησιμοποίησή του, ώστε να μη γίνει κατάχρηση η οποία μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα φυτά και στο περιβάλλον. Με την υπερβολική ποσότητα αζωτούχου λίπανσης τα δένδρα γίνονται ευαίσθητα σε

ασθένειες και στις χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης προκαλείται υποβάθμιση της ποιότητας και της συντηρησιμότητας των καρπών και ελαττώνεται το κόκκινο χρώμα των καρπών. Από την περίσσεια αζώτου επηρεάζεται το ασβέστιο που είναι βασικό για την ποιότητα και τη συντηρησιμότητα των καρπών με αποτέλεσμα να εκδηλώνονται οι φυσιολογικές ασθένειες «Πικρή κηλίδωση» και «εσωτερική υποβάθμιση της σάρκας». Η εφαρμογή του αζώτου σε οπωρώνες μήλων γίνεται βάσει της φυλλοδιαγνωστικής εξέτασης που πρέπει να γίνει, της προβλεπόμενης παραγωγής και των μακροσκοπικών παρατηρήσεων των δένδρων (Νάνος, 2003).

Η φωσφορική λίπανση είναι αναγκαία στα μικρά δένδρα για την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Στα μεγάλης ηλικίας δένδρα η θετική του δράση εντοπίζεται στους καρπούς και στα σπέρματα. Φτωχοί σε φωσφόρο καρποί είναι επιρρεπείς στο μαλάκωμα και στο εσωτερικό 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.

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

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

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

Το μαγγάνιο χρειάζεται πολύ προσοχή καθώς η ύπαρξη μικρής ή μεγάλης περιεκτικότητας του εδάφους με αυτό δημιουργεί προβλήματα στα δένδρα. Η αντιμετώπιση της ανεπάρκειας επιτυγχάνεται είτε με χειμερινούς ψεκασμούς με

θεικό 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.

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

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

Συγκομιδή

Τα μήλα πρέπει να συγκομίζονται στο κατάλληλο στάδιο της ωριμότητας τους. Σύμφωνα με τον Βασιλακάκη, (2004) εάν η συγκομιδή γίνει νωρίτερα από την κανονική εποχή αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη χαμηλή ποιότητα, τη συρρίκνωση του καρπού και την εμφάνιση επιφανειακού εγκαύματος κατά τη συντήρηση. Αντιθέτως, εάν η συγκομιδή πραγματοποιηθεί αργότερα από την κανονική εποχή τότε οι καρποί θα έχουν μειωμένη αντοχή στους μικροοργανισμούς, παρατηρείται το φαινόμενο του αλευρώματος των καρπών καθώς και εσωτερικό καφέτιασμα.

Για τον καθορισμό του κατάλληλου βαθμού ωριμότητας κατά τη συγκομιδή, χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα κριτήρια ωριμότητας :

- Το μέγεθος των καρπών
- Το χρώμα του φλοιού
- Η σκληρότητα

- Η απόσπαση του καρπού από το λογχοειδές
- Η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά
- Η εσωτερική συγκέντρωση αιθυλενίου
- Η μέτρηση της υδρόλυσης του αμύλου κατά την ωρίμανση

Η συγκομιδή των μήλων γίνεται με τα χέρια και οι καρποί τοποθετούνται σε ξύλινα ή πλαστικά κιβώτια. Στη συνέχεια οι καρποί μεταφέρονται στο συσκευαστήριο και έπειτα σε ψυκτικούς θαλάμους για συντήρηση.

Παραγωγικότητα

Η παραγωγικότητα των οπωρώνων μηλιάς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η ποικιλία, το υποκείμενο, το έδαφος, η λίπανση, η άρδευση, το κλάδεμα, οι ψεκασμοί κ.α. . Η έναρξη της καρποφορίας και η είσοδος του δέντρου σε πλήρη καρποφορία εξαρτάται βασικά από το υποκείμενο και την ποικιλία. Γενικά, η μηλιά εισέρχεται σε αξιόλογη καρποφορία από το 2^ο – 6^ο χρόνο της ηλικίας της ανάλογα με το υποκείμενο και την ποικιλία. Τα νάνα κλωνικά υποκείμενα, επιταχύνουν την είσοδο των δέντρων σε καρποφορία, η οποία γίνεται το 2^ο – 3^ο χρόνο.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή πειράματος

πειραματικός οπωρώνας

Ο πειραματικός οπωρώνας βρίσκονταν στην περιοχή του Αετόλοφου Αγιάς και είχε έκταση 1 εκτάριο . Το υψόμετρο του οπωρώνα ήταν περίπου 95 μέτρα επάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η κύρια ποικιλία ήταν η Fuji, ενώ επικονιάστρια ποικιλία ήταν η Red Chief. Η διάταξη των σειρών ήταν μια σειρά επικονιάστριας ποικιλίας ανά 5 σειρές της κύριας. Το υποκείμενο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το νάνο EM9. Οι αποστάσεις φύτευσης των δένδρων επάνω στη γραμμή ήταν 0.6 μέτρα ενώ η απόσταση μεταξύ των σειρών ήταν 3 μέτρα. Η μορφή κλαδέματος που εφαρμόζονταν ήταν αυτό της ελεύθερης παλμέτας.



Εικόνα 2.1. ο πειραματικός οπωρώνας

2.2 Μετρήσεις

2.2.1. Χαρτογράφηση παραγωγής

Σε κάθε οπωρώνα κάθε δέντρο παράγει διαφορετικές ποσότητες φρούτων. Σκοπός της χαρτογράφησης της παραγωγής είναι να μελετηθεί αυτή η παραλλακτικότητα της παραγωγής κατά μήκος των γραμμών φύτευσης. Στο πείραμα μας, συγκεκριμένα, η κάθε σειρά του οπωρώνα είχε χωριστεί σε τμήματα των δέκα μέτρων. Κατά την περίοδο της συγκομιδής τα τελάρα τοποθετούνταν κατά μήκος της γραμμής των δένδρων. Τα μήλα όταν συλλέγονταν τοποθετούνταν μέσα στα πλαστικά τελάρα. Μετά από την καταγραφή και το ζύγισμα του πλήθους των τελάρων που συμπληρώνονταν με μήλα σε κάθε τμήμα των δέκα μέτρων, με τη βοήθεια του GPS καταγράφονταν και οι συντεταγμένες του μέσου κάθε διαστήματος

των δέκα μέτρων. Για να παρουσιαστεί η παραγωγή ανά δέντρο, υπολογίστηκε ο μέσος όρος του αριθμού των δέντρων που αντιστοιχούν στο διάστημα αυτό των δέκα μέτρων. Η χαρτογράφηση της παραγωγής έγινε μόνο για την ποικιλία Fuji και όχι για την επικονιάστρια ποικιλία.

2.2.2 Χαρτογράφηση ποιότητας καρπών

Την ημέρα της συγκομιδής πριν αρχίσει η διαδικασία του συγκομιδής των μήλων, ελήφθησαν δείγματα καρπών για την εκτίμηση της ποιότητας των φρούτων. Συνολικά ελήφθησαν 45 δείγματα. Το κάθε δείγμα είχε δέκα καρπούς. Για να γίνει δυνατή η χαρτογράφηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων έγινε καταγραφή της γεωγραφικής θέσης των σημείων δειγματοληψίας. Οι αναλύσεις των καρπών οι οποίες έγιναν αργότερα αφορούσαν τα εξής ποιοτικά χαρακτηριστικά:

- Το βάρος του καρπού. Για να βρεθεί το βάρος του καρπού όλα τα μήλα ζυγίζονταν σε μια ζυγαριά (Kern, model EW 600-ZM, Balingen, Germany)
- Τη σκληρότητα της σάρκας των καρπών (firmness). Η μέτρηση έγινε με τη συμπίεση του φλοιού των καρπών σε δύο σημεία (firmness 1 και 2) χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρονικό πενετρόμετρο με έμβολο συμπίεσης 11 χιλιοστών (Turonì, 53205 Digital Fruit Pressure Tester, Forlì, Italy)



Εικόνα 2.2 ηλεκτρονικό πενετρόμετρο

- Τα διαλυτά στερεά του χυμού των φρούτων. Για την μέτρηση αυτής της παραμέτρου χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρονικό διαθλασίμετρο (ATAGO, Pocket Reflectometer Pal-1, Tokyo, Japan)
- Το pH του χυμού χρησιμοποιώντας ένα πεχάμετρο (Hama Instruments, HI 9024 microcomputer pH meter, Woonsocket, Rhode Island, USA).
- Την οξύτητα του χυμού. Για την μέτρηση αυτή τιτλοδοτήθηκε ο χυμός του κάθε δείγματος καρπού με 0.1N NaOH μέχρι το pH του χυμού να γίνει 8.2.

2.2.3. Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

Η χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων έγινε τον Φεβρουάριο του 2010. Συγκεκριμένα, συλλέχθηκαν δείγματα εδάφους από βάθος 0-30cm για να προσδιοριστούν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Ακόμη για να μπορεί να γίνει η χαρτογράφηση των εδαφικών χαρακτηριστικών έγινε καταγραφή της γεωγραφικής θέσης των σημείων δειγματοληψίας. Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων που συλλέχθηκαν ήταν 90. Η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε ήταν αυτή του πλέγματος. Συγκεκριμένα ο οπωρώνας χωρίστηκε σε μικρότερα ομοιόμορφα τμήματα που το μέγεθός τους ήταν 10μέτρα x 9 μέτρα.

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικές σακούλες και τοποθετήθηκαν καρτελάκια με την ονομασία του σημείου δειγματοληψίας. Στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας όπου και αφέθηκαν για μερικές ημέρες έτσι ώστε να ξεραθούν. Στη

συνέχεια αφού τρίφτηκαν απαλά με το χέρι κοσκινίστηκαν τα δείγματα με κόσκινο 2 χιλιοστών.

Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους

Η μηχανική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων, έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου. Η μέθοδος αυτή αποτελεί εφαρμογή του νόμου του Stokes μέσω του οποίου υπολογίζεται η ταχύτητα με την οποία πέφτουν τα σωματίδια της λεπτής γης σε ένα ιξώδες υγρό.

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

- Ζυγός ακριβείας 0,0001g
- Ηλεκτρικοί αναδευτήρες (μίζερ)
- Φιάλες ανακινήσεως 300
- Γυάλινοι κύλινδροι ύψους 47 cm και εσωτερικής διαμέτρου 6,5 cm με χαραγή στα 1000 ml και στα 1130 ml
- Ογκομετρικοί κύλινδροι των 50 ml και 250 ml
- Πυκνόμετρο Βουγιούκου
- Μεταλλική ράβδος ανατάραξης χειρός του δείγματος εντός του κυλίνδρου
- Θερμόμετρο υδραργύρου
- Χρονόμετρα
- Μεταφωσφορικό νάτριο (Na_3PO_3 1%)

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

Ζυγίζονται 50 γραμμάρια εδάφους και τοποθετούνται στο δοχείο ανακίνησης. Σε αυτό προσθέτουμε 50ml μεταφωσφορικό νάτριο (Na_3PO_3 1%) και 150 ml απιονισμένου νερού. Τοποθετούμε το δοχείο στην συσκευή ανακίνησης για 5 λεπτά της ώρας. Κατόπιν, μεταφέρουμε το εδαφικό αιώρημα σε κύλινδρο Βουγιούκου και συμπληρώνουμε με απιονισμένο νερό μέχρι την χαραγή του (1130ml), αφού έχουμε τοποθετήσει εντός του κυλίνδρου το πυκνόμετρο Βουγιούκου. Κατόπιν απομακρύνουμε το πυκνόμετρο και με την μεταλλική ράβδο ανακίνησης

αναταράσσουμε το εδαφικό αιώρημα 10 με 15 φορές. Η πρώτη μέτρηση λαμβάνεται 40 δευτερόλεπτα μετά το τέλος της ανατάραξης με το πυκνόμετρο Βουγιούκου (ένδειξη Α). Αμέσως μετά με το θερμόμετρο λαμβάνουμε και την ένδειξη της θερμοκρασίας ($\Delta 1$) στο αιώρημα. Μετά την πάροδο 2 ωρών λαμβάνουμε πάλι ένδειξη με το πυκνόμετρο και με το θερμόμετρο (ένδειξη Β και $\Delta 2$ αντίστοιχα).

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

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

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

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

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

Η οργανική ουσία μετρήθηκε με τη μέθοδο Walkley-Black. Αρχικά τοποθετήθηκε 1 γραμμάριο εδάφους σε φιάλη των 500ml και 10ml διαλύματος $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ με την βοήθεια μιας προχοϊδας. Στη συνέχεια το μείγμα αναδεύτηκε έτσι ώστε να αναμιχθεί το αντιδραστήριο με το έδαφος. Έπειτα προστέθηκαν 20ml πυκνού H_2SO_4 (95%) και αφού το αναδεύσαμε το μείγμα το αφήσαμε σε ηρεμία για 20 λεπτά της ώρας. Μετά προστέθηκαν 200ml απιονισμένου νερού και 100ml H_3PO_4 (85%) και αφέθηκε σε ηρεμία για 5 λεπτά της ώρας. Τέλος προστέθηκαν 10-12 σταγόνες δείκτη οργανικής ουσίας και τιτλοδοτήσαμε την περίσσεια του $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ με την προσθήκη FeSO_4 (0,5N). Στο σημείο εξουδετέρωσής του το χρώμα μεταβάλλεται απότομα σε πράσινο.

Για την εύρεση της περιεκτικότητας του εδάφους σε κάλιο και ασβέστιο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του οξικού αμμωνίου ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N. Για την εκτέλεση της ανάλυσης προστέθηκαν 5 γραμμάρια ξηρού εδάφους σε φιάλες των 100 ml και στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκαν. Έπειτα προστέθηκαν 33 ml οξικού αμμωνίου και ανακινήθηκαν τα δείγματα για 5 λεπτά. Μετά έγινε φυγοκέντρηση των δειγμάτων μέχρι το υγρό να γίνει διαυγές και λήφθηκε από το φιαλίδιο το υπερκείμενο το οποίο πριν συλλεχθεί σε μια φιάλη των 100 ml, διηθήθηκε. Τέλος στη φιάλη των 100 ml τοποθετήθηκε οξικό αμμώνιο μέχρι την ειδική χαραγή. Για τις

μετρήσεις του καλίου χρησιμοποιήθηκε το φλογοφωτόμετρο ενώ για τις μετρήσεις του ασβεστίου το φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης.

2.2.4. Χαρτογράφηση ευρωστίας των φυτών

Για την εκτίμηση της ευρωστίας των φυτών χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης NDVI. Για τη μέτρηση του NDVI και τη χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Cropcircle ACS-210. Ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιεί δική του πηγή φωτός που προσομοιάζει τη φωτεινότητα του ηλίου. Ο αισθητήρας έχει τοποθετημένους δυο δέκτες οι οποίοι μετράνε την ανακλώμενη από την επιφάνεια ακτινοβολία. Ο αισθητήρας Cropcircle λειτουργεί με δική του επαναφορτιζόμενη μπαταρία ενώ μπορεί να συνδεθεί με κεραία GPS για καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων των σημείων όπου έχουν γίνει οι μετρήσεις.

Οι μετρήσεις λαμβάνονταν 2 φορές τον μήνα (ανά 15 ημέρες) από τον μήνα Μάιο μέχρι τον Αύγουστο. Ο αισθητήρας CropCircle κρατιόνταν είτε στο χέρι όταν έπρεπε να σαρωθεί η μεσαία περιοχή της κόμης των δένδρων (~2 μέτρα) είτε προσαρμόζονταν σε αλουμινένιο κοντάρι για την σάρωση της άνω κόμης.



Εικόνα 2.3 ο αισθητήρας crop circle

2.2.5.Χαρτογράφηση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους ήταν ο EM38 της εταιρίας Geonics, USA ο οποίος μετρά την φαινομενική εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα με τη μέθοδο της

επαγωγής. Το EM38 συνδέθηκε με έναν υπολογιστή καταγραφής δεδομένων , ενώ για την καταγραφή των συντεταγμένων των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε μια φορητή κεραία GPS, η οποία συνδέονταν από απόσταση με τον υπολογιστή, μέσω τεχνολογίας Bluetooth. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ο αισθητήρας κρατιόνταν στο χέρι σε ελάχιστη απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους. Οι μετρήσεις της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που λαμβάνονταν αφορούσαν όλες τις σειρές του οπωρώνα και ήταν συνεχόμενες εντός των σειρών.

2.2.6. Χαρτογράφηση τοπογραφικού ανάγλυφου

Η χαρτογράφηση του τοπογραφικού ανάγλυφου έγινε με σύστημα γεωγραφικού εντοπισμού θέσης (GPS) τεχνολογίας RTK (Real Time Kinematic). Το σύστημα ήταν της εταιρίας Trimble, USA, και αποτελούνταν από μια κεραία η οποία παρέμενε σε σταθερό σημείο στην ψηλότερη περιοχή του τόπου μελέτης και έναν ραδιοπομπό. Οι δύο αυτές συσκευές επικοινωνούσαν μεταξύ τους μέσω καλωδίων ενώ η κεραία βάσης επικοινωνούσε ασύρματα με μια άλλη κεραία της ίδια εταιρίας η οποία τοποθετήθηκε σε ένα αυτοσχέδιο καροτσάκι. Η κεραία συνδέθηκε με έναν φορητό υπολογιστή για την αποθήκευση των δεδομένων. Μετά τη σάρωση του οπωρώνα με το καροτσάκι τα δεδομένα επεξεργάστηκαν σε λογισμικό GIS.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Χαρτογράφηση παραγωγής



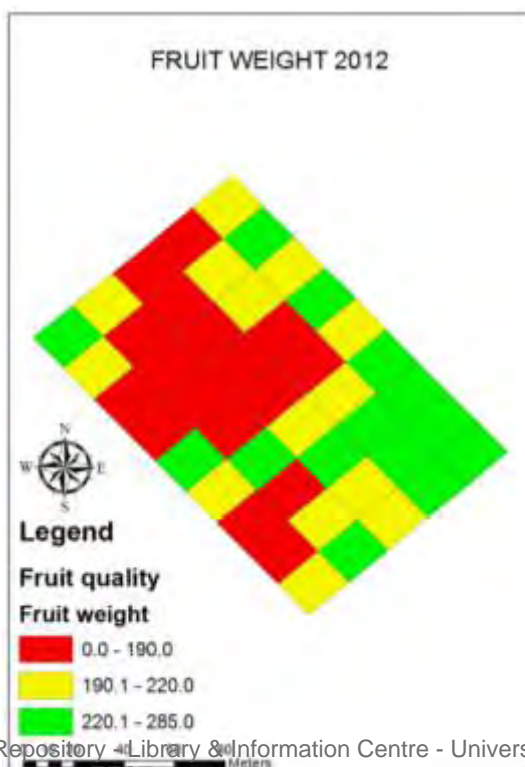
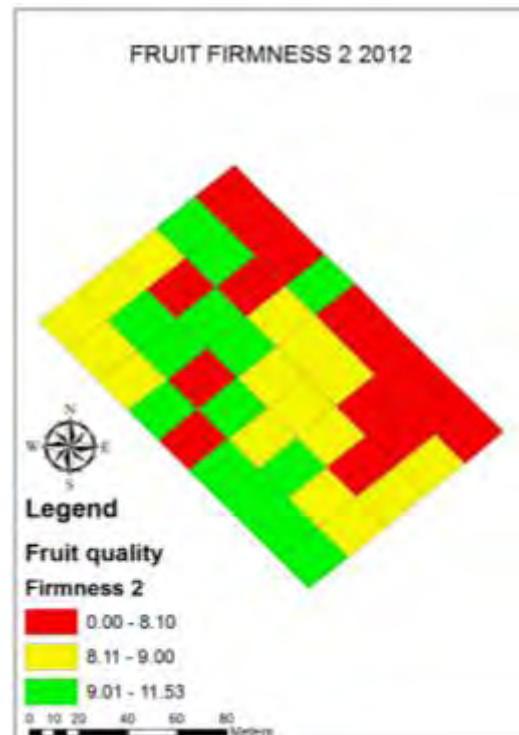
Εικ. 3.1 χάρτης παραλλακτικότητας της παραγωγής

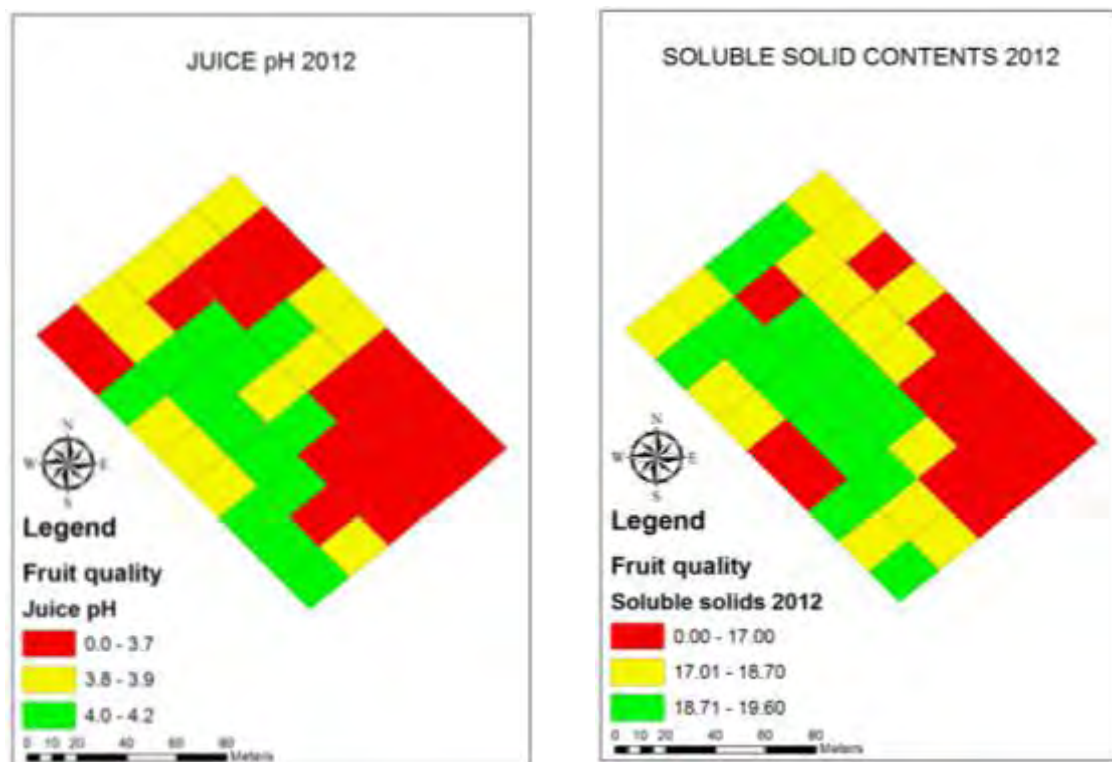
Από τον παραπάνω χάρτη παραλλακτικότητας της παραγωγής συμπεραίνουμε ότι η νότια και νοτιοανατολική πλευρά του οπωρώνα είχε τη μεγαλύτερη παραγωγή, ενώ η μικρότερη βρίσκονταν στο κέντρο του και προς τα βορειοδυτικά. Η παραγωγή ήταν 1390 kg/ στρ. και γενικά χαρακτηρίζεται χαμηλή. Σ' αυτό μπορεί να συνέβαλε είτε η παρениαυτοφορία, είτε οι μη ιδανικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της επικονίασης των ανθέων και της καρπόδεσης. Η συγκεκριμένη ποικιλία είναι επιρρεπής στην παρениαυτοφορία, και σύμφωνα με Λιάκος (2013) που μελέτησε τον ίδιο οπωρώνα, το 2011 ήταν χρονιά παρениαυτοφορίας για τον συγκεκριμένο οπωρώνα, οπότε υπάρχουν πολλές πιθανότητες η χαμηλή παραγωγή να οφείλεται σε αυτό. Οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της άνθισης δεν επιτρέπουν στα έντομα που συμβάλλουν στην επικονίαση των δέντρων να πετάξουν από δέντρο σε δέντρο, με τον ίδιο τρόπο που θα γίνονταν υπό ευνοϊκές καιρικές συνθήκες.

Επίσης, μετά την άνθιση, οι χαμηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές βροχοπτώσεις που επικράτησαν μείωσαν την καρπόδεση, και άρα και την παραγωγή.

3.2 Χαρτογράφηση ποιοτικών χαρακτηριστικών

Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες παραλλακτικότητας της σκληρότητας (firmness 1 και 2)(kgf), του βάρους των καρπών (g), καθώς και της οξύτητας (%), του pH, και των διαλυτών στερεών του χυμού των μήλων (%):





Εικόνα 3.2 χάρτες παραλλακτικότητας ποιοτικών χαρακτηριστικών

Από τους χάρτες φαίνεται ότι όλα τα μελετώμενα ποιοτικά χαρακτηριστικά παρουσιάζουν όμοια χωρική παραλλακτικότητα, εκτός του βάρους των καρπών, όπου η παραλλακτικότητα είναι αντίθετη των υπολοίπων χαρακτηριστικών.

Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέση τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) των ποιοτικών χαρακτηριστικών των μήλων. Το μέσο βάρος καρπού ήταν 204,5 g, η περιεκτικότητα του χυμού σε διαλυτά στερεά 17 %, η σκληρότητα σάρκας 8,4- 8,5 kgF, το pH του χυμού 3,6, και η οξύτητα του χυμού 0,9 %. Τα παραπάνω στατιστικά περιγράφουν έναν υψηλής ποιότητας καρπό, με καλό βάρος, υψηλή τραγανότητα και πολύ καλή ποσότητα διαλυτών στερεών συστατικών και οξέων.

Ο συντελεστής παραλλακτικότητας εκφράζει το μέγεθος της χωρικής παραλλακτικότητας των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η μεγαλύτερη

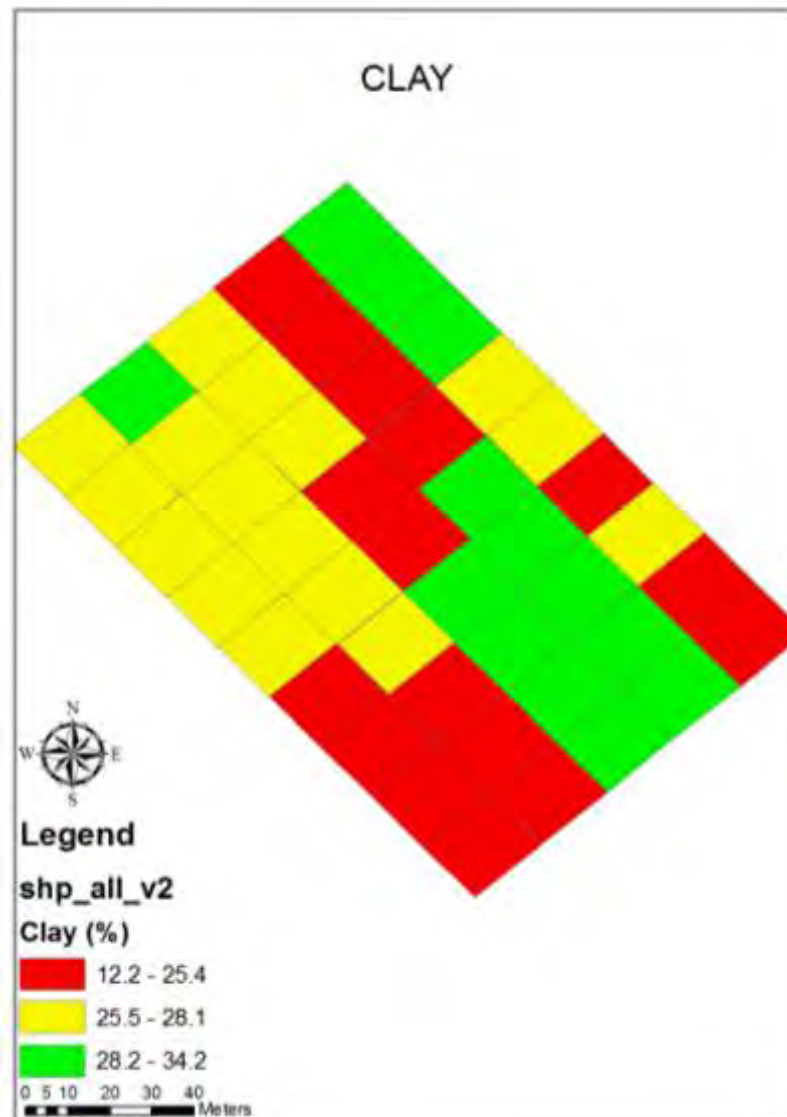
παραλλακτικότητα εμφανίστηκε στο βάρος του καρπού (24,1 %), έπειτα στη σκληρότητα (23,5 % - 21,4 %), στην οξύτητα του χυμού (22,2 %), στα διαλυτά στερεά (18,2 %) , και στο pH του χυμού (16,7 %).

Πίνακας 3.1 περιγραφικά στατιστικά ποιοτικών χαρακτηριστικών

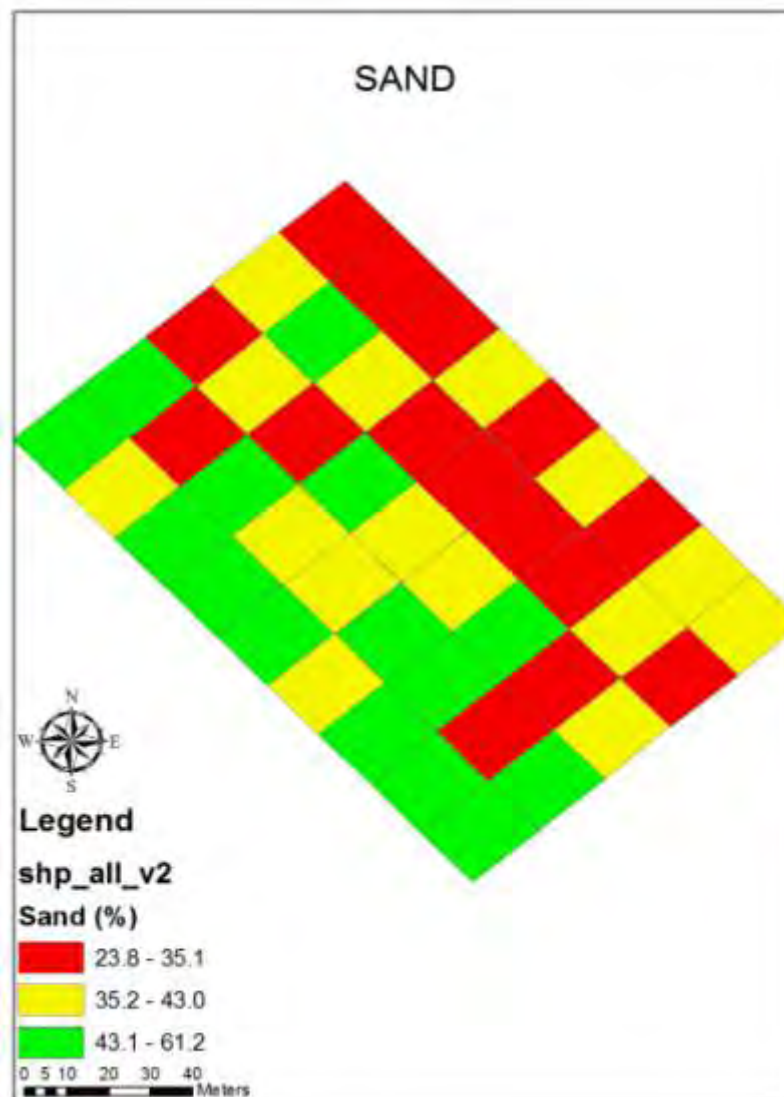
	Ελάχιστη τιμή	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	CV %
Βάρος καρπού (g)	0	204,5	285	24,1
Σκληρότητα 1 (kgF)	0	8,5	12	23,5
Σκληρότητα 2 (KgF)	0	8,4	11,5	21,4
Διαλυτά στερεά (%)	0	17	19,6	18,2
pH χυμού	0	3,6	4,2	16,7
Οξύτητα χυμού (%)	0	0,9	1,3	22,2

3.3 Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων

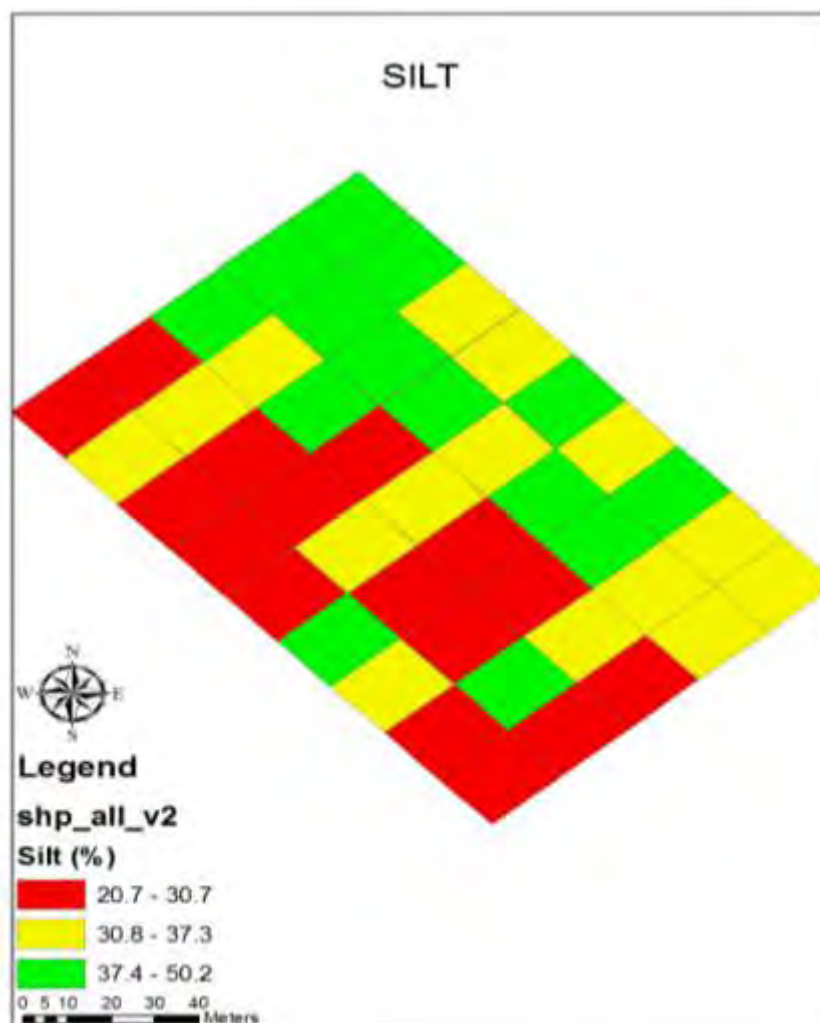
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που δείχνουν την παραλλακτικότητα της αργίλου, της άμμου, της ιλύος, της οργανικής ουσίας του καλίου του ασβεστίου και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Εικόνα 3.3 χάρτης παραλλακτικότητας αργίλου



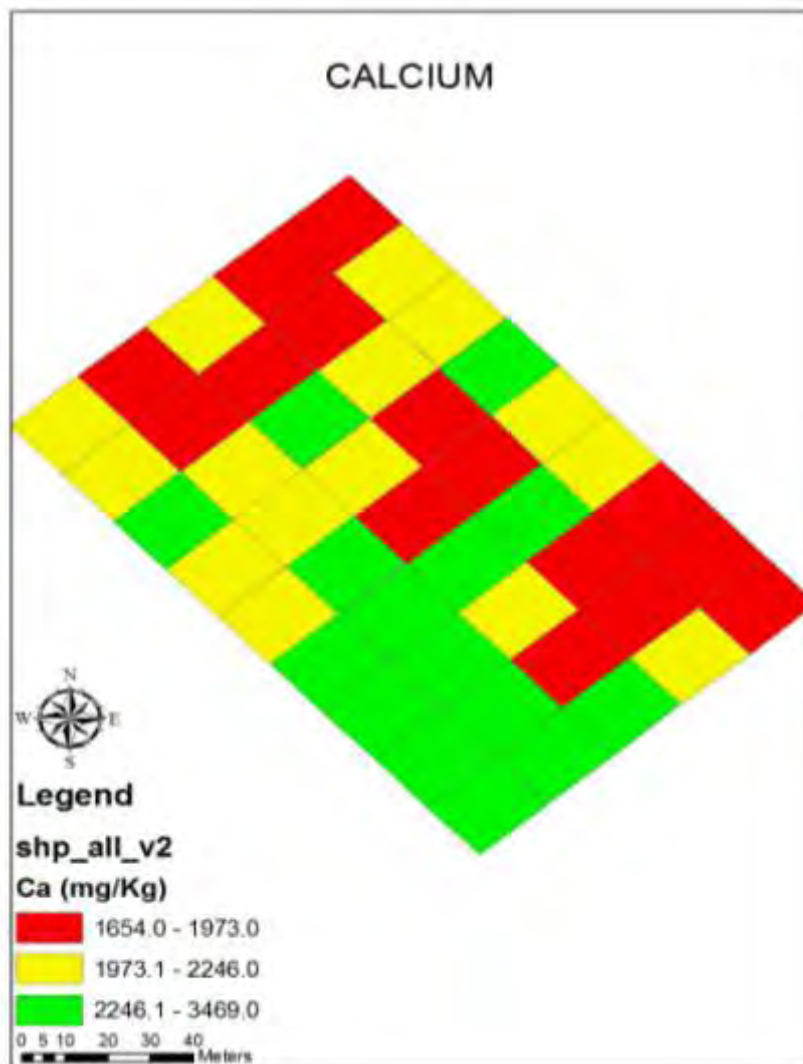
Εικόνα 3.4 χάρτης παραλλακτικότητας άμμου



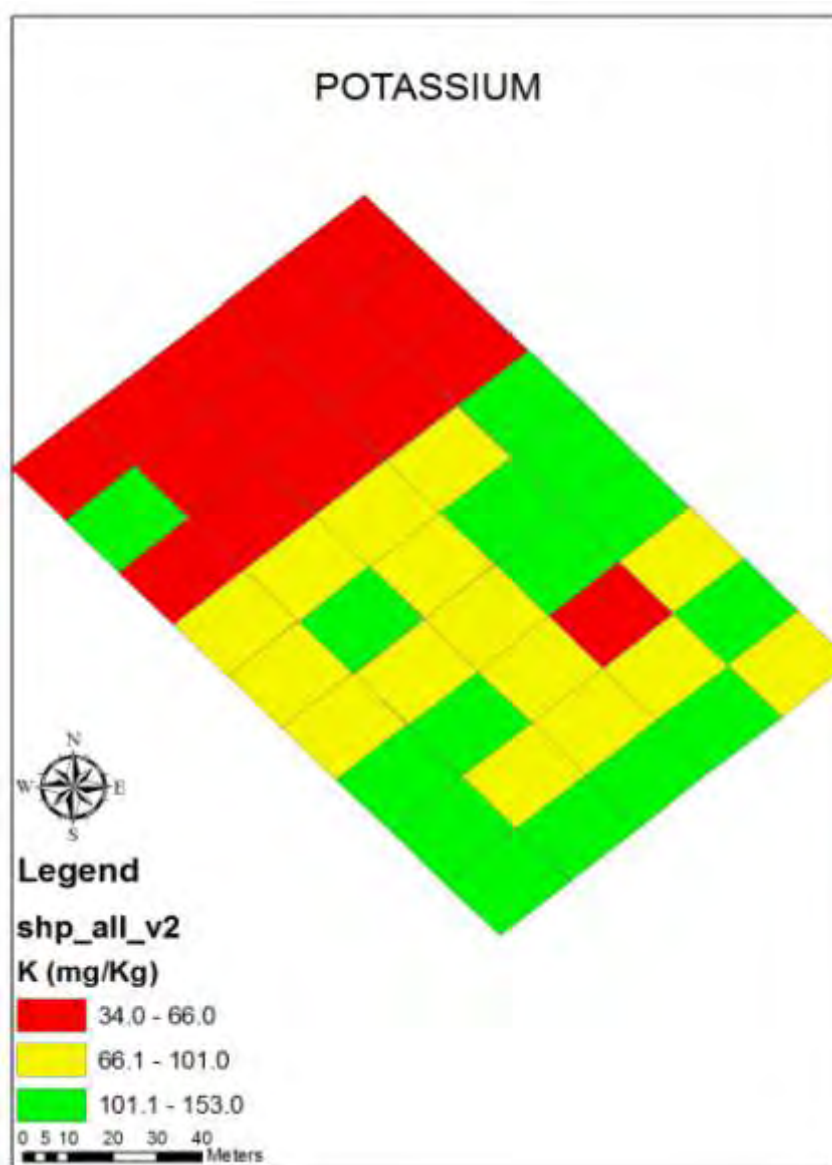
Εικόνα 3.5 χάρτης παραλλακτικότητας ιλύος



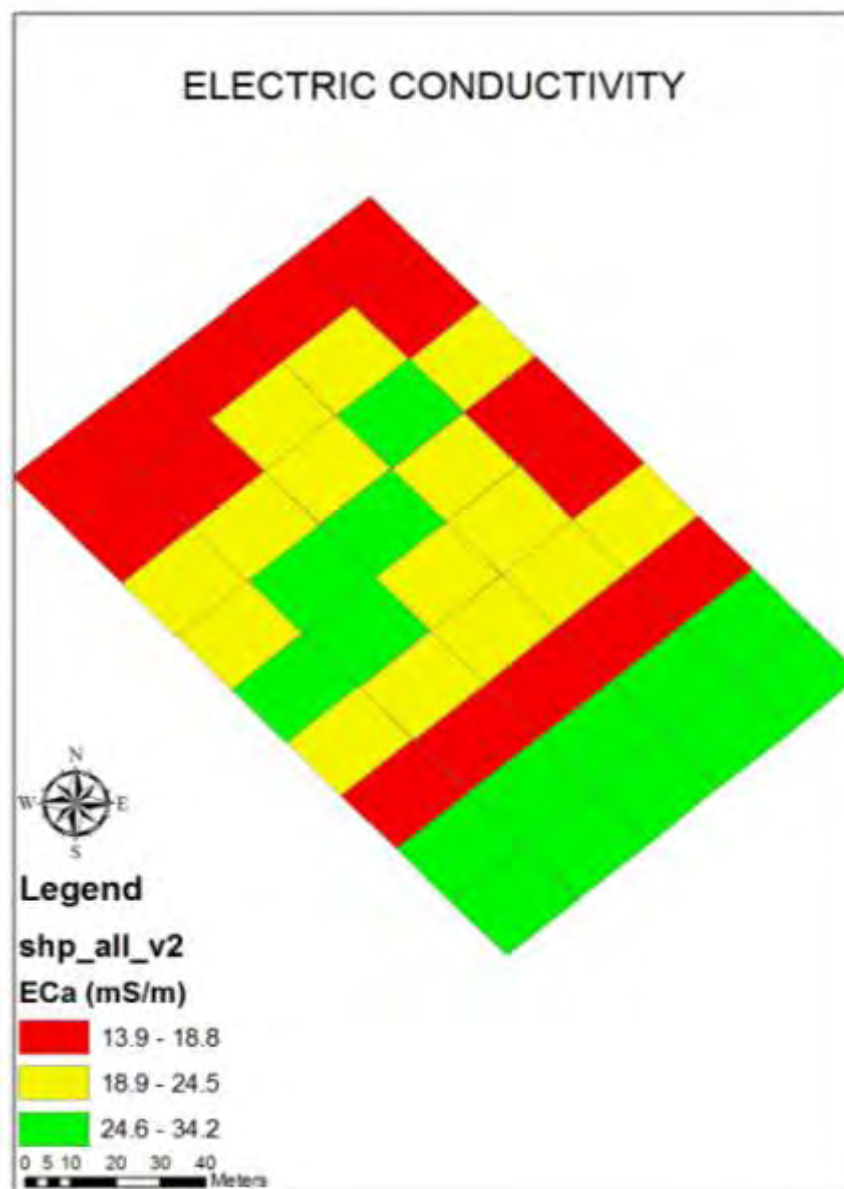
Εικόνα 3.6 χάρτης παραλλακτικότητας οργανικής ουσίας



Εικόνα 3.7 Χάρτης παραλλακτικότητας του ασβεστίου



Εικόνα 3.8 χάρτης παραλλακτικότητας καλίου



Εικόνα 3.9 Χάρτης παραλλακτικότητας της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Σύμφωνα με τους παραπάνω χάρτες εδαφικών χαρακτηριστικών η ιλύς στη νότια και δυτική πλευρά του οπωρώνα είναι λίγη ενώ στη βόρεια και βόρειο ανατολική πλευρά είναι περισσότερη. Η άμμος στη νότια και δυτική πλευρά του

οπωρώνα έχει μεγάλο ποσοστό, ενώ στο βόρειο και ανατολικό τμήμα έχει μικρό ποσοστό. Από αυτά συμπεραίνουμε ότι η παραλλακτικότητα άμμου και ιλύος στον οπωρώνα είναι ποσά αντιστρόφως ανάλογα. Στο νοτιοδυτικό τμήμα του οπωρώνα η άργιλος του εδάφους είναι λίγη ενώ στα νοτιοανατολικά είναι περισσότερη. Για το ασβέστιο, στο νότιο δυτικό τμήμα του οπωρώνα υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με το βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα, όπου υπάρχει μικρότερο. Άρα το ασβέστιο αυξάνεται σταδιακά από το βόρειο προς το νότιο τμήμα του οπωρώνα. Η περιεκτικότητα του καλίου είναι πιο χαμηλή στο βόρειο τμήμα του χωραφιού, ενώ νοτιότερα αυξάνεται. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι υψηλότερη στο νότιο και νοτιοανατολικό μέρος του οπωρώνα, ενώ στο βόρειο και βορειοδυτικό μέρος είναι χαμηλότερη.

Στον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστο, μέγιστο, τυπική απόκλιση, συντελεστής παραλλακτικότητας) των εδαφικών χαρακτηριστικών.

Η άργιλος, η άμμος, η ιλύς, η οργανική ουσία και το ασβέστιο παρουσίασαν μέτρια χωρική παραλλακτικότητα (17,6% - 20% - 19,8% – 20%- 15,9% αντίστοιχα) ενώ η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα και το κάλιο παρουσίασαν μεγαλύτερη (25,8% και 39,3% αντίστοιχα).

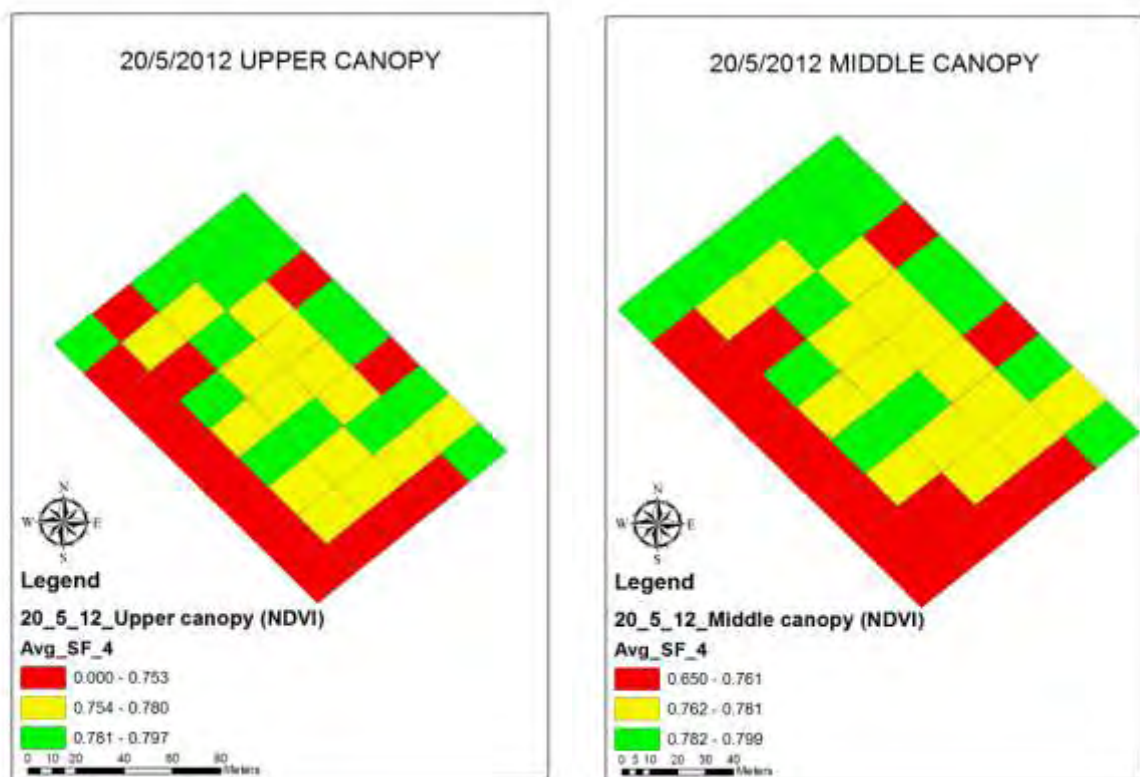
Όσον αφορά την μηχανική σύσταση του εδάφους, αποτελείται κατά μεγαλύτερο ποσοστό από άμμο και ιλύ και λιγότερο από άργιλο. Συγκεκριμένα η περιεκτικότητα σε άργιλο κυμάνθηκε από 12,2 μέχρι 34,2%, σε άμμο από 23,8 μέχρι 61,8% και σε ιλύ από 20,7 μέχρι 50,2%. Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμάνθηκε από 13,9 έως 34,2 mS/m. Οι τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς και η μηχανική σύσταση του εδάφους, δείχνουν ένα καλά στραγγιζόμενο έδαφος, κάτι που απαιτεί η καλλιέργεια των μήλων. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία κυμάνθηκε μεταξύ 0,6 και 2. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε κάλιο ήταν μεταξύ 34 και 153 mg/kg.

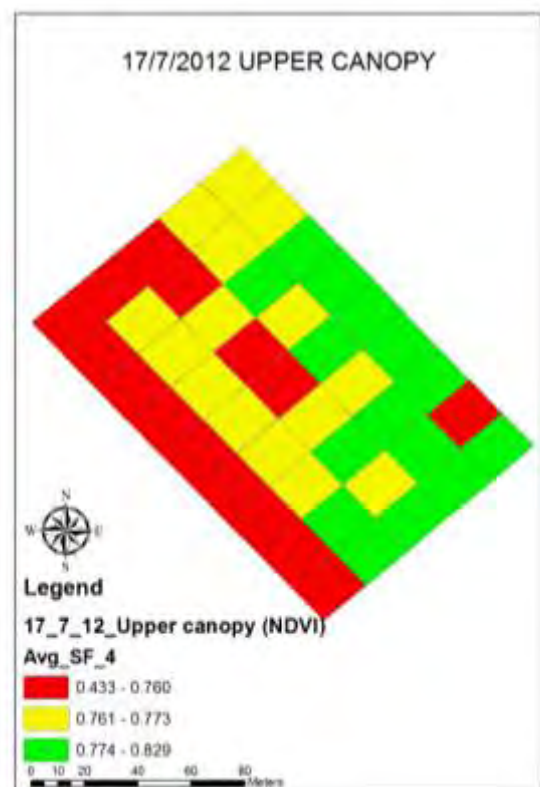
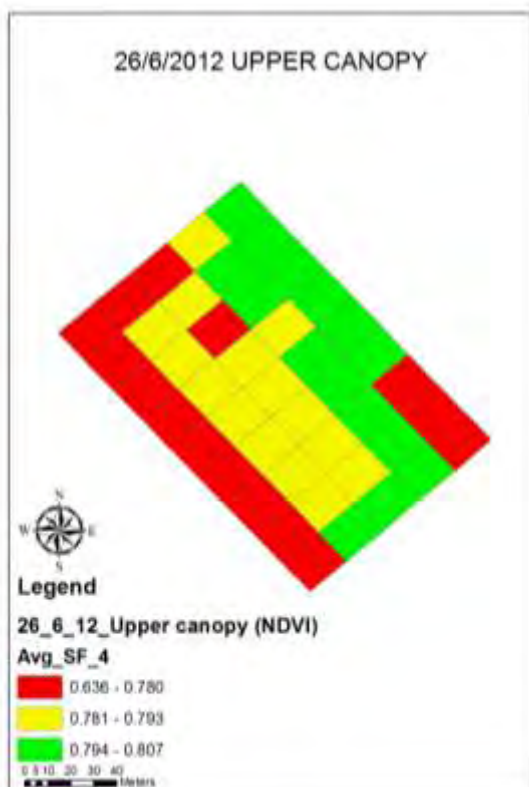
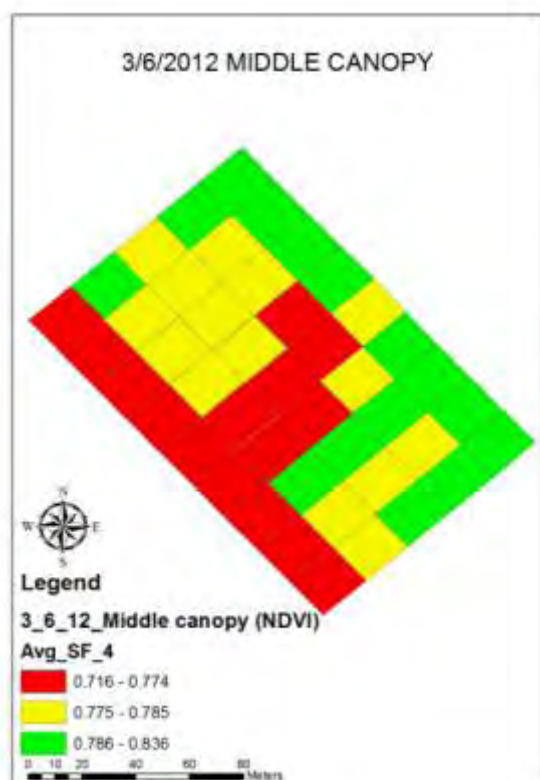
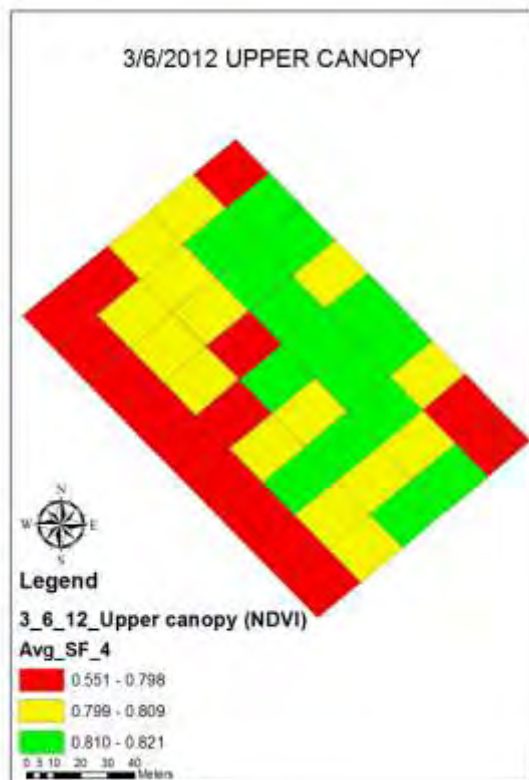
Πίνακας 3.2 Περιγραφικά στατιστικά των εδαφικών χαρακτηριστικών

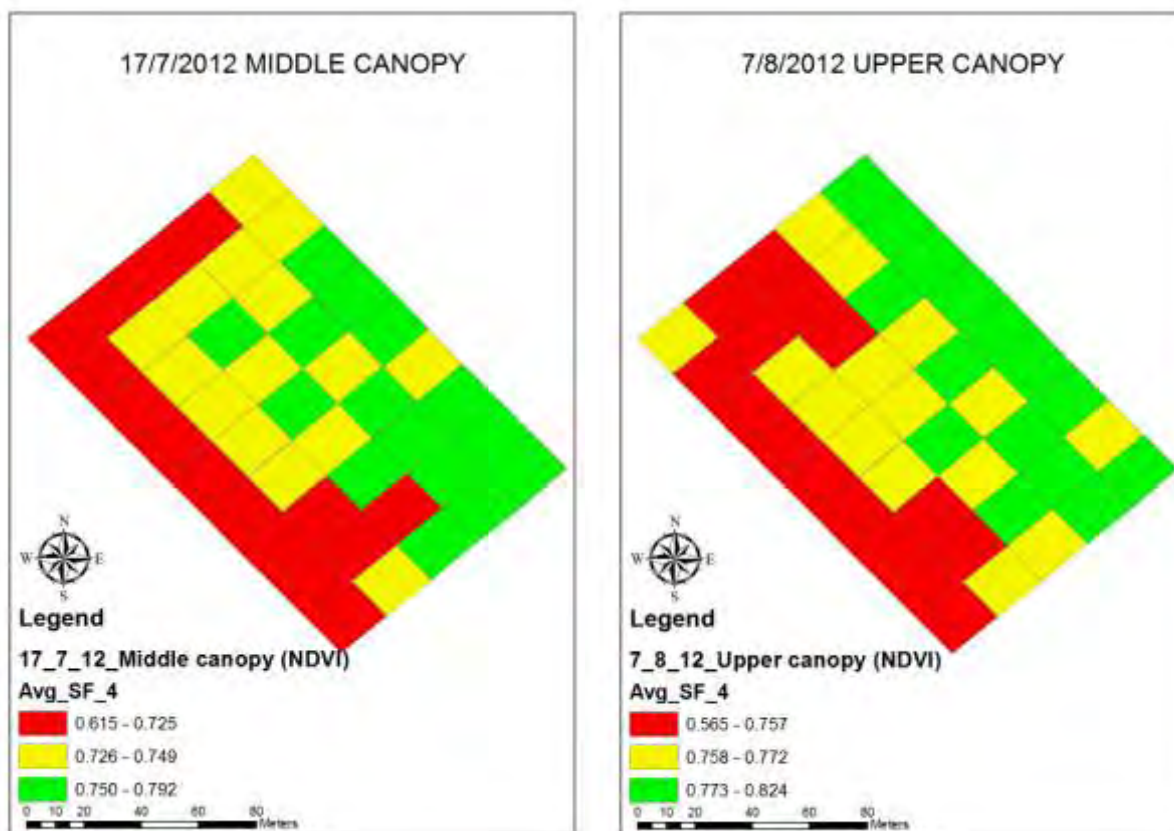
	Μέση τιμή	Ελάχιστο	Μέγιστο	Τυπική απόκλιση	CV %
Άργιλος	26	12,2	34,2	4,6	17,6
Άμμος	39	23,8	61,8	7,8	20

Ιλύς	34,2	20,7	50,2	6,8	19,8
Οργανική ουσία	1	0,6	2	0,2	20
Κάλιο	88,6	34	153	34,9	39,3
Ασβέστιο	2162	1654	3469	344	15,9
ECa	22,8	13,9	34,2	5,9	25,8

3.4 Χαρτογράφηση ευρωστίας των φυτών







Εικ. 3.10 χάρτες παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI

Οι παραπάνω χάρτες δείχνουν ότι οι τιμές του δείκτη NDVI είναι υψηλές στο νότιο και ανατολικό τμήμα του οπωρώνα, ενώ στο βόρειο και δυτικό μέρος είναι χαμηλότερες. Όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές του δείκτη NDVI, τόσο πιο εύρωστα είναι τα δέντρα.

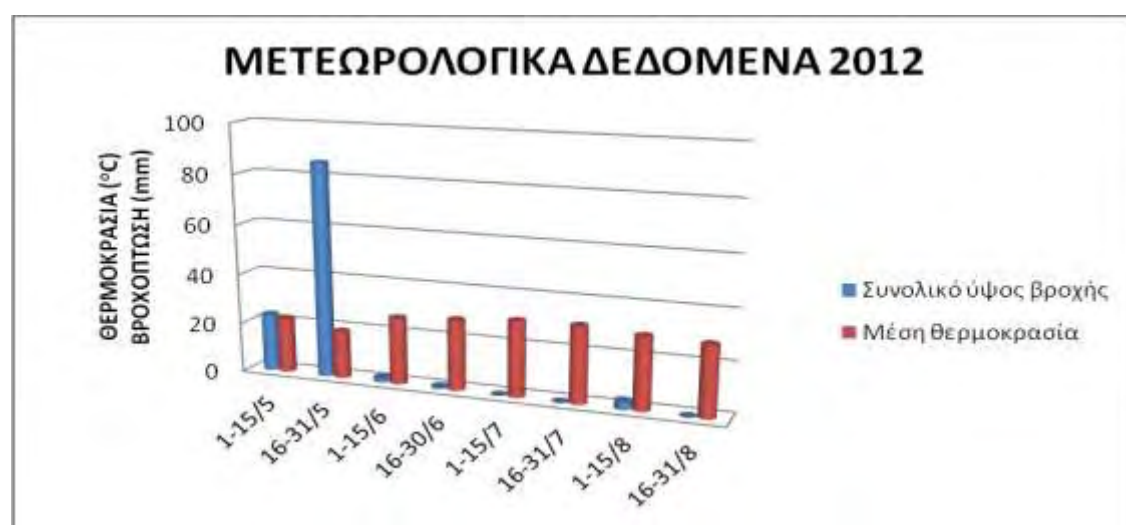
Στον πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (ελάχιστη τιμή, μέση τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) του δείκτη NDVI για τις διάφορες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Η τυπική απόκλιση των τιμών είναι πολύ χαμηλή. Αυτό οφείλεται στο μικρό εύρος των τιμών του δείκτη (0 - 1) , το οποίο δεν επιτρέπει τη μεγάλη διαφοροποίηση των τιμών του NDVI.

Στην εικόνα 3.11 παρουσιάζονται οι καιρικές συνθήκες (μέση θερμοκρασία και συνολική βροχόπτωση) από το Μάιο μέχρι τον Αύγουστο του 2012. Τον Μάιο και τον Ιούνιο οι τιμές του NDVI παρουσιάζουν μια σταθερότητα και φαίνεται να είναι κανονικές, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι τιμές μειώνονται. Το Μάιο υπήρξαν πολλές βροχοπτώσεις αλλά και δροσερές θερμοκρασίες. Αυτό, φαίνεται να επηρέασε και τις τιμές εκείνη την περίοδο. Αντίθετα τον Ιούλιο και τον Αύγουστο που υπήρχαν υψηλές θερμοκρασίες και έλλειψη βροχοπτώσεων, οι τιμές μειώθηκαν

(έλλειψη ευρωστίας), που σημαίνει ότι όσο ικανοποιητική και να είναι η άρδευση την περίοδο εκείνη, δεν αποτελεί αναγκαία και ικανή συνθήκη για την ευρωστία των δέντρων, καθώς η ευρωστία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Πίνακας 3.3 Περιγραφικά στατιστικά των μετρήσεων του δείκτη NDVI

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

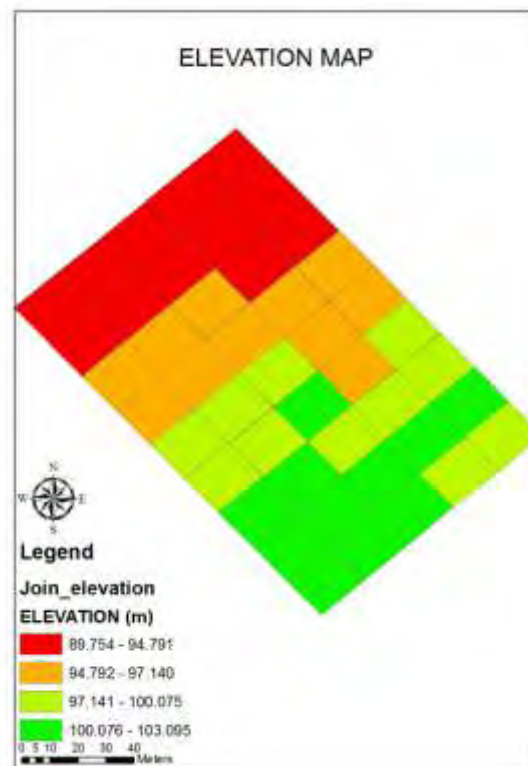


Εικ. 3.11 μετεωρολογικά δεδομένα 2012

3.5 Τοπογραφικό ανάγλυφο του οπωρώνα

Η τοποθεσία του οπωρώνα είναι στην πλαγιά ενός λόφου και αυτό φαίνεται από την μεγάλη υψομετρική διαφορά που δείχνει ο χάρτης. Στη νότια πλευρά του οπωρώνα το υψόμετρο είναι μεγαλύτερο. Με κατεύθυνση προς το βορρά το υψόμετρο μειώνεται. Η υψομετρική διαφορά από το ανώτερο στο κατώτερο σημείο

του οπωρώνα φτάνει τα 15 μέτρα, η οποία θεωρείται σημαντική, καθώς μπορεί να προκαλέσει έκπλυση θρεπτικών συστατικών και διάβρωση του εδάφους.



Εικόνα 3.12 Το τοπογραφικό ανάγλυφο του οπωρώνα

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Συσχετίσεις

Οι χάρτες που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αποτελέσματα, δείχνουν πως κατανέμεται η χωρική παραλλακτικότητα του κάθε προς μελέτη παράγοντα, στον οπωρώνα. Η παρατήρηση τους και η σύγκριση και συσχέτιση μεταξύ τους, βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς του οπωρώνα, που βοηθάει τον παραγωγό στην οργάνωση των καλλιεργητικών μεταχειρίσεων που θα κάνει, με σκοπό πάντα την αύξηση της παραγωγής, της ποιότητας, της μείωσης του κόστους και του οικονομικού οφέλους που όλα αυτά συνεπάγονται.

Από την παρατήρηση των χαρτών όπου παρουσιάζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών του οπωρώνα, και τη σύγκριση τους με το χάρτη παραγωγής του οπωρώνα, παρατηρείται ότι όλα τα ποιοτικά χαρακτηριστικά εκτός από το βάρος των καρπών είχαν αρνητική συσχέτιση με την παραγωγή.

Συγκεκριμένα, οι παράγοντες των ποιοτικών χαρακτηριστικών σκληρότητα σάρκας των καρπών, τα διαλυτά στερεά του χυμού των φρούτων, το pH του χυμού και η οξύτητα του χυμού, σε περιοχές του αγρού, παρουσίασαν αρνητική συσχέτιση με την παραγωγή. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ποσότητα της παραγωγής, τόσο μειώνεται η ποιότητα των μήλων. Τα δέντρα παράγουν περισσότερους καρπούς από όσους μπορούν να θρέψουν. Εάν, εκτός των καρποπτώσεων που θα γίνουν, αφεθούν επάνω στο δέντρο από τον παραγωγό όλοι οι καρποί να ωριμάσουν, τότε αυτοί γίνονται μικρού μεγέθους και χαμηλής ποιότητας. Για το λόγο αυτό εφαρμόζεται από τους παραγωγούς η τεχνική του αραιώματος των μήλων, δηλαδή της μείωσης του αριθμού των καρπών, που αποσκοπεί στην μείωση της παραγωγής γενικά με ταυτόχρονη την αύξηση του μεγέθους των καρπών σε κάθε δέντρο και τη βελτίωση της ποιότητας τους, κάνοντας τους καρπούς εμπορεύσιμους. Το αραιώμα πραγματοποιείται είτε με τα χέρια, είτε με χημικά μέσα.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που είναι πιο σημαντικά στο εμπόριο είναι η σκληρότητα σάρκας, η οξύτητα του χυμού και τα διαλυτά στερεά. Η οξύτητα του χυμού εκφράζει την περιεκτικότητα του χυμού σε μηλικό οξύ. Το μηλικό οξύ είναι το κυριότερο οξύ των μήλων και δίνει σε συνδυασμό με τα σάκχαρα την χαρακτηριστική γεύση των καρπών. Τα διαλυτά στερεά αποτελούνται κυρίως από

σάκχαρα. Σημαντική για την ποιότητα είναι και η σχέση διαλυτών στερεών με την οξύτητα του χυμού.

Στη βιβλιογραφία, η Αγγελοπούλου (2008) μελέτησε την ίδια ποικιλία στην περιοχή της Πτολεμαΐδας, και τα αποτελέσματα των ποιοτικών χαρακτηριστικών δείχνουν τους καρπούς εκείνης της περιοχής λίγο πιο μεγάλους, με λιγότερα σάκχαρα και μηλικό οξύ. Οι καρποί της ίδιας ποικιλίας στην παρούσα εργασία στην περιοχή της Αγιάς είναι υψηλότερης ποιότητας. Παρατηρείται έτσι, ότι οι καρποί ακόμα και της ίδιας ποικιλίας, μπορεί να διαφέρουν ως προς τα ποιοτικά χαρακτηριστικά τους από περιοχή σε περιοχή.

Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης των ποιοτικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή :

Πίνακας 4.1 : συσχέτιση ποιοτικών χαρακτηριστικών με παραγωγή

Ποιοτικά χαρακτηριστι κά	σκληρότη τα 1	σκληρότη τα 2	Διαλυτά στερεά	pH	οξύτητα	βάρος
παραγωγή	-0,480*	-0,398*	-0,397*	-0,357*	-0,629*	0,624*

*, η συσχέτιση είναι στατιστικώς σημαντική

Ο συντελεστής συσχέτισης της παραγωγής με σκληρότητα σάρκας 1 και 2 είναι $r = -0,480$ και $r = -0,398$ αντίστοιχα, με τα διαλυτά στερεά $r = -0,357$, με το PH= $-0,357$, με την οξύτητα $r = -0,629$ και με το βάρος $=0,624$.

Από τη συσχέτιση των εδαφικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή, παρατηρείται ότι η άργιλος του εδάφους, το κάλιο και η ηλεκτρική αγωγιμότητα, συνέβαλαν στη διαμόρφωση της παραγωγής. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν $r = 0,164$, $r = 0,233$, $r = 0,121$ αντίστοιχα. Αρνητική συμβολή στην παραγωγή είχαν το ασβέστιο και η άμμος του εδάφους. Οι συντελεστές συσχέτισης ήταν $r = -0,201$ και $r = -0,175$ αντίστοιχα. Κανένα από τα μελετώμενα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν εμφάνισε ισχυρή θετική συσχέτιση με την παραγωγή. Το έδαφος είναι καλά στραγγιζόμενο, μιας και το μεγαλύτερο ποσοστό του είναι άμμος, κάτι που απαιτεί η καλλιέργεια των μήλων. Ωστόσο δεν είχε σημαντική επίδραση στην παραγωγή. Αυτό ίσως να ωφείλεται στο ότι η παραγωγή τη συγκεκριμένη χρονιά μπορεί να επηρεάστηκε περισσότερο από άλλους παράγοντες, όπως οι κλιματικοί, αλλά και το τοπογραφικό

ανάγλυφο του οπωρώνα, ο οποίος επηρεάζεται από την θαλάσσια αύρα του Αιγαίου Πελάγους, έχοντας έτσι ήπιες θερμοκρασίες χειμώνα και καλοκαίρι, μειώνοντας έτσι την θερμική καταπόνηση το καλοκαίρι.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο οπωρώνας είχε σημαντική έλλειψη καλίου. Οι τιμές του καλίου κυμάνθηκαν από 34 mg/kg έως 153 mg/kg, πολύ χαμηλότερα από τις ανάγκες των φυτών που είναι μεταξύ 150 και 250 mg/kg. Το κάλιο βοηθά στη φωτοσύνθεση, στη μεταφορά των σακχάρων, του νερού και των θρεπτικών μέσα στα δένδρα, αλλά και στη σύνθεση των πρωτεϊνών. Είναι σημαντικό στοιχείο και σε περίπτωση έλλειψης καλίου το περίγραμμα των φύλλων αποκτά καφέ χρώμα, ενώ υποβαθμίζεται και η ποιότητα του καρπού.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας συσχέτισης των εδαφικών χαρακτηριστικών με την παραγωγή :

Πίνακας 4.2 : συσχέτιση εδαφικών χαρακτηριστικών με παραγωγή

Εδαφ. Χαρακτ.	ECa	άμμος	άργιλος	ίλυσ	Οργανική ουσία	κάλιο	ασβέστιο
Παραγωγή	0,121	-0,175	0,164	0,088	-0,072	0,233	-0,201

*, η συσχέτιση είναι στατιστικώς σημαντική

Η μελέτη των χαρτών παραλλακτικότητας του δείκτη NDVI και η σύγκριση τους με το χάρτη παραγωγής, δείχνει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της παραγωγής, κυρίως κατά τους μήνες Ιούνιο και μέχρι τα μέσα Ιουλίου. Μετά δεν υπάρχει τόσο μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των δύο αυτών μεταβλητών. Τα ίδια συμπεράσματα βγαίνουν και από τον πίνακα συσχέτισης του δείκτη NDVI με την παραγωγή. Βάσει αυτών, συμπεραίνεται πως οι μετρήσεις του δείκτη NDVI σε πρώιμο στάδιο της καλλιέργειας μπορούν να υποδείξουν την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής.

Ο πίνακας 4.3 παρουσιάζει τη συσχέτιση του δείκτη NDVI με την παραγωγή :

Πίνακας 4.3 : συσχέτιση NDVI με παραγωγή

NDVI (άνω και μέση κόμη)	20_5 άνω	20_5 μέση	3_6 άνω	3_6 μέση	26_6 άνω	17_7 άνω	17_7 μέση	7_8 άνω
παραγωγή	,057	,036	,070	,521*	,057	,319*	,521*	,038

*, η συσχέτιση είναι στατιστικώς σημαντική

4.2 Προτάσεις για εφαρμογή από τους αγρότες

Η Γεωργία Ακριβείας σε οπωρώνες μήλων είναι δυνατόν να εφαρμοστεί, ακόμα και από τους ίδιους τους παραγωγούς. Οι παραγωγοί θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη όλες τις παραμέτρους. Πριν την εγκατάσταση του οπωρώνα, θα πρέπει να βεβαιωθεί ο παραγωγός με μελέτη και εδαφικές αναλύσεις, ότι η τοποθεσία και το έδαφος αντίστοιχα, είναι κατάλληλα για την εγκατάσταση του οπωρώνα. Με την πλήρη γνώση των εδαφικών χαρακτηριστικών, μπορούν να γίνουν και μετέπειτα διορθώσεις, με την προσθήκη κάποιων στοιχείων από τον παραγωγό, σε περίπτωση έλλειψης. Η χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας της παραγωγής θα πρέπει να γίνεται κάθε χρόνο, για να γνωρίζει ο παραγωγός πως μεταβάλλεται η παραλλακτικότητα της παραγωγής χωρικά και χρονικά. Επίσης μια μέτρηση του δείκτη NDVI στις αρχές Ιουνίου μπορεί να προβλέψει την τελική παραλλακτικότητα της παραγωγής. Έχοντας αυτά σαν οδηγό, ο παραγωγός μπορεί να κάνει εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών εύκολα, αφού στους ελληνικούς οπωρώνες μήλων η λίπανση συνηθίζεται να γίνεται με τα χέρια. Το κόστος εφαρμογής Γεωργίας ακριβείας σύμφωνα με τις παραπάνω ενέργειες που προτείνονται, είναι σχετικά μικρό για τον παραγωγό, σε σύγκριση με το όφελος από τη μεγιστοποίηση της παραγωγής που προβλέπεται να έχει.

4.3 Συμπεράσματα

Από τις μετρήσεις που έγιναν στον οπωρώνα παρατηρήθηκε ότι υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα σε όλους τους παράγοντες που μελετήθηκαν, αλλά και στην τελική παραγωγή, πράγμα που σημαίνει ότι ο οπωρώνας μπορεί να χωριστεί σε ζώνες διαχείρισης και να γίνει εφαρμογή μεταβλητών δόσεων εισροών.

Συγκεκριμένα :

- Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, εκτός του βάρους των καρπών, εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση με την ποσότητα της παραγωγής
- Κανένα εδαφικό χαρακτηριστικό του οπωρώνα δεν εμφανίζει σημαντική θετική συσχέτιση με την ποσότητα της παραγωγής.
- υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της παραγωγής, κυρίως κατά τις αρχές Ιουνίου και στα μέσα Ιουλίου. Οι μετρήσεις του δείκτη NDVI σε πρώιμο στάδιο της καλλιέργειας μπορούν να υποδείξουν την παραλλακτικότητα της τελικής παραγωγής και να βοηθήσουν στη διαχείριση του οπωρώνα.
- Η υψηλότερη χωρική παραλλακτικότητα παρουσιάστηκε στο κάλιο και τη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα ενώ η μικρότερη στο δείκτη NDVI. Τα δεδομένα του καλίου και της φαινόμενη ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα μπορούσαν να συμβάλλουν στο διαχωρισμό ζωνών διαχείρισης και/η στην βελτίωση του εδάφους.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

Palaniaran Annamalai, 2004, Citrus yield system using machine vision, A thesis presented to the graduate school of the university of Florida in partial fulfilment of the requirements for the degree of master of science, University of Florida,

Arnall D., Raun W., Stone M., Johnson G., Girma K., Freeman K., Teal R. and Martin K.(2006). Relationship between coefficient of variation measured by spectral reflectance and plant density at early growth stages in winter wheat, *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1983–1997

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

Stuart J. Birell, Keneth Suduth, Steven Borgelt, 1996. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping, *computers and electronics in agriculture* 14 (1996) 215-233

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.

Bowers, C. G., Roberson, G. T., Cassel, D. K., Naderman, G. C., Brownie, C., (2001). Variable rate liquid nitrogen application for Cotton and Corn production. July 30-August 1 , 2001, 2001 ASAE Annual International Meeting , Sacramento, CA, ASAE, paper no 01-1201.

Bro – Jorgensen j., Brown M., Pettoirelli N., (2007). Using the satellite-derived normalized difference vegetation index (NDVI) to explain ranging patterns in a lek-breeding antelope: the importance of scale

Campbell R. H., S. L. ,Rawlins, s. Han 1994. Monitoring methods for potato yield mapping. ASAE paper 94- 1584, ASAE, St Joseph, Michigan.

Clark, R. L., McGuckin, RL, 1996. Variable rate application equipment for precision farming University of Georgia. Athens, GA, Presentation at the 1996 Beltwide cotton conference

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

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

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

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

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

Doerge T. A., N. R. Kitchen and E. D. , Lund, 1999. Soil Electrical Conductivity Mapping (SSMG-30), Site- Specific management guidelines, Potash and Phosphate Institute. Nogross, GA.

Tom Doerge, 2001. Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox, Presented at the 2001 Wisconsin Fertilizer, Agrilime and Pest Management Conference, Madison, WI, January 16-18.

Elms, M. K., Green, C. J., (1997). Spatial variability of yield in irrigated cotton. In: Dugger, P., Ritcher, D. A., (Eds), Proceedings Beltwide Cotton Conference, 6-10 January 1997, New Orleans, LA. National Cotton Council of America, Memphis, TN, pp. 598-600.

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

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

Geonics Limited, (2006). EM 38 Ground Conductivity Meter Operating Manual. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.

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

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

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

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

M. Koller, S. K. Upadhyaya, 2005, Prediction of processing tomato yield using a crop growth model and remotely sensed aerial images. Published in transactions of the ASAE Vol. 48(6):2335-2341.

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

Won Suk Lee, Thomas F. Burks, John K. Schueller, 2002. Silage yield monitor system, 2002 ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois, USA , July 28-31

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D., Rhind, D., 2005. *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications* (Abridged Edition). John Wiley and Sons Inc., New Jersey. Pp. 343-349.

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

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

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

McKinion, J. M., Jenkins, J. N., Akins, D, Turner , S B,willers J L,Jallas E., Whisler , F D, 2001. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. Computers and electronics in agriculture 32, pp. 213-228.

Mc Neil, J. D. 1992. rapid accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. In: G.C. Topp, W. D. Reynolds and R. E. Green (eds), advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. SSSA spec. Publ.30. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI., pp 209-229.

J. P. Molin, L. A. A. Menegatti, C. Manzzoni, Yield mapping from manually harvested sugar cane in Brazil.

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

M. A. Naser, R Khosla, L. Longchamps, M Moragues, S Haley, R Reich, G. s. McMaster and G. W. Buchleiter (2010). Can active sensor based NDVI consistently classify wheat genotypes?

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

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

E. M. Perry, g. J. fitzgerald, N. Poole, S. Graig, A. Whitlock, 2012, Ndvi from active optical sensors as a measure of canopy cover and biomass, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spaatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS CONGRESS, 25 August- 01 September 2012, Melbourne, Australia

Phillips L., Hansen A., Flather C.(2008). Evaluating the species energy relationship with the newest measures of ecosystem energy: NDVI versus MODIS primary

production, volume 112, issue 12, pp 4381-4392

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.

Zhihao Qin, Minghua Zhang, Thomas Christensen Wenjuan Li and Huajung Tang, 2003, Remote sensing analysis of Rice disease stresses for farm pest management using wide-band airborne data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IV*: 225-2217, July 21-25, 2003, Toulouse , France

Rawlins S L., Campell G. S., Hess J. r., 1995. Yield mapping of potato. In : *Proceedings of site-specific management for agricultural systems*. March 27-30, 1994. MN.ASA, CSASSA. Madison, WI. 59-68.

Sabins, Floyd F. Jr. 1978, p.1. In *Remote sensing principles and interpretation*, W. H. Freeman and company San Francisco. In: *remote sensing in precision agriculture : An educational primer contents*

N. Saldana, J. M. Cabrera , R. J. Serwatowski and C. Gracia, 2006. Yield mapping system for vegetables picked up with a tractor-pulled platform, *Spanish journal of agricultural research* (2006) 4(2), 130-139

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

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

Smith, J. L. and J.W Doran, 1996. measurement and use of PH and electrical conductivity for soil quality analysis. In J. W. and A. j. Alice (eds) . *Methods for assessing soil quality* . SSSA spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI, pp169-185.

Stafford, J V, 2000. Implementing precision agriculture in 21st Century J. Agr. Engng Res. 76, pp. 267-275.

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

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

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

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

J. A. Thomasson, R Sui, G. C. Wright, A. J. Robson 2006, Optical peanut yield monitor: Development and testing, applied engineering in agriculture, Vol 22(6):809-818

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

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

Laurimar G. Vendrusculo, Amy F. Kaleita, 2011, Modeling zone management in precision agriculture through Fuzzy C- means technique at spatial database, Presentation at the 2011 ASABE Annual International Meeting sponsored by ASABE

gault House , Louisville, Kentucky, August 7 -10, 2011.

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

Wheelan BM andMcBratney AB(2000). The null hypothesis of precision agriculture management. Precision Agriculture, 2: 265-279.

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

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

Chenghai Yang, James H. Everitt, Qian Du, Bin Luo, Jocelyn Chanussot, 2013. Using high resolution airborne and satellite imagery to asses crop growth and yield variability for precision agriculture, Proceedings of the IEEE, Vol 101, No 3

Q. U. Zaman, K. C. Swain, A. W. Schumann, D. C. Percival, 2010. automated low cost yield mapping of wild blueberry fruit, applied engineering in agriculture vol 26(2): 225-232

H. Zhang, Y. Lan, R Lacey, W. C. Hoffman, J. K. Westbrook, 2011, Spatial analysis of Ndvi readings with different sampling densities, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 2151-0032, Vol. 54 :349- 354

Ελληνική Βιβλιογραφία

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

Βασιλακάκης, Μ., 2004. Γενική και Ειδική Δενδροκομία. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη,

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.

Λιάκος Β., 2013. Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη διαχείριση οπωρώνων μηλιάς. Διδακτορική Διατριβή.

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

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.

Παπαοικονόμου, Μ, Αγροχημικά ΑΒΕΞ (2003). Οδηγός Γεωργίας Ακριβείας. Τμήμα τεχνικής υποστήριξης. Σελ. 9-10.

Σταματιάδης, Σ. , 2011. Η Γεωργία Ακριβείας στην καλλιέργεια βάμβακος. Νέες τεχνικές καλλιέργειας. Μάρτιος 2011 στην ιστοσελίδα www.agronews.gr

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

Ταγαράκης Α., 2014. Σύγχρονη διαχείριση αμπελώνων με χρήση συστημάτων πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών στο πλαίσιο εφαρμογής γεωργίας ακριβείας. Διδακτορική διατριβή.

Τάνος, Α, Αγγελοπούλου, Σ. Φουντάς, Θ. Α. Γέμτος, Γ. Δ. Νάνος και Α. Χατζηνίκος. Ζώνες διαχείρισης βάσει χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. 5^ο εθνικό συνέδριο γεωργικής μηχανικής 2007, πρακτικά

Φλωράς, Σ., 2004. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.

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