

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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΑΜΠΕΛΩΝΑ>>

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΣΤΟΥΓΙΑΝΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΕΜΤΟΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ

ΒΟΛΟΣ 2009

<<Εφαρμογή τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνα>>

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή :

Θ. Α. Γέμτος, Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπων

Κ. Κίττας, Καθηγητής Γεωργικών Κατασκευών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

Γ. Δ. Νάνος, Αν. Καθηγητής Δενδροκομίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου, κύριο Θεοφάνη Γέμτο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη βοήθειά του και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εργασίας. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω και τους Καθηγητές – εξεταστές κυρίους Κ. Κίττα, Καθηγητή και Γ. Νάνο, Αν. Καθηγητή για τις πολύτιμες συμβουλές. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κύριο Σπύρο Φουντά για τις πολύτιμες συμβουλές και βοήθειά του σε όλα τα στάδια του πειράματος, καθώς και τον Υποψήφιο Διδάκτορα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας Ταγαράκη Αριστοτέλη για τις συμβουλές του και τη βοήθειά του στη συγγραφή της εργασίας. Τέλος θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες στην οικογένειά μου που με βοήθησαν σε ολόκληρη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στον αμπελώνα του Δημητρίου Τυμπλαλέξη, στο Δημοτικό Διαμέρισμα Μικροθηβών του Δήμου Νέας Αγχιάλου Μαγνησίας, έγινε έρευνα για την δυνατότητα εφαρμογής γεωργίας- αμπελουργίας ακριβείας. Ο αμπελώνας στον οποίο διεξήχθη η έρευνα έχει συνολική έκταση 45 στρέμματα και αποτελείται από τρία χωράφια έκτασης 22, 10 και 11 στρεμμάτων στα οποία έχουν εγκατασταθεί αμπελώνες το 1996, το 2004 και το 2008 αντίστοιχα. Η έρευνα έλαβε χώρα από τον Μάρτιο έως τον Σεπτέμβριο του 2008 στο χωράφι των 10 στρεμμάτων.

Στόχος της έρευνας ήταν η καταγραφή της πιθανής παραλλακτικότητας μέσα στον αγρό. Αρχικά με τη χρήση του υψηλής ακρίβειας RTK-GPS δημιουργήθηκε το ανάγλυφο του χωραφιού καταγράφοντας τις συντεταγμένες και το υψόμετρο κάθε θέσης του αγρού. Στη συνέχεια ακολούθησε μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του αγρού με την χρήση του αισθητήρα EM 38 του οίκου Geonics Limited και δημιουργία του χάρτη φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αμπελώνα. Ο αριθμός των ζωνών που χωρίστηκε ο αμπελώνας με βάση τις τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας ήταν τρεις.

Στο τρίτο στάδιο του πειράματος πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία εδάφους, όπου ο αγρός χωρίστηκε σε εννέα τμήματα παίρνοντας από κάθε τμήμα 6 διαφορετικά δείγματα σε βάθος 0- 30 cm. Στη συνέχεια ακολούθησε προσδιορισμός ορισμένων βασικών στοιχείων και χαρακτηριστικών του εδάφους όπως το pH, η μηχανική του σύσταση, η οργανική του ουσία, το περιεχόμενο ασβέστιο, ο περιεχόμενος φώσφορος, και το περιεχόμενο κάλιο και δημιουργήθηκαν χάρτες για κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά.

Τέλος σε κάθε μια από τις ζώνες φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας τοποθετήθηκαν ασύρματοι αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας οι οποίοι κατέγραφαν επίσης δεδομένα όπως η ατμοσφαιρική υγρασία, η ολική ηλιακή ακτινοβολία (TSR), η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) και η θερμοκρασία του αέρα. Η τοποθέτηση των αισθητήρων πραγματοποιήθηκε εντός των ζωνών καθώς και σε σημεία εντός των ίδιων ζωνών με διαφορετική κλίση εδάφους και μηχανική σύσταση. Οι αισθητήρες είχαν την δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ τους και ανταλλαγής πληροφοριών ενώ τα δεδομένα τους αποθηκεύονταν ασύρματα σε φορητό υπολογιστή που είχε τοποθετηθεί σε αποθήκη εντός του κτήματος.

Τα αποτελέσματα του πειράματος κατέδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα σε αρκετά στοιχεία παρά την μικρή έκταση του αμπελώνα. Επίσης καταγράφηκαν διαφορές στην περιεκτικότητα της υγρασίας στο έδαφος από σημείο σε σημείο του αγρού η οποία φαίνεται πως επηρεάζεται σημαντικά τόσο από την μηχανική σύσταση του εδάφους όσο και από την κλίση του.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Περιεχόμενα.....	iv

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά.....	1
1.2. Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture).....	2
1.3. Συστήματα για την εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας.....	5
1.3.1. Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (GPS).....	6
1.3.1.1. RTK GPS (Real Time Kinematics GPS).....	8
1.3.2. Συστήματα Αισθητήρων.....	10
1.3.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	15
1.3.3.1. Αποτύπωση των δεδομένων.....	17
1.3.3.2. Μέθοδος Kriging.....	18
1.3.3.3. Μέθοδος Inverse Distance.....	18
1.4. Ζώνες διαχείρισης (Management Zones).....	18
1.5. Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών.....	20
1.6. Εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους στα πλαίσια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας.....	22
1.7. Εκτίμηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του εδάφους στα πλαίσια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας.....	23
1.7.1. Εδαφική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Soil Electrical Conductivity, EC).....	24
1.7.2. Φαινόμενη Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του εδάφους (Apparent Electrical Conductivity, ECa).....	25
1.7.3. Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.....	26
1.7.4. Μέθοδοι προσδιορισμού Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας εδάφους.....	27
1.8. Έλεγχος των αρδεύσεων μέσω των συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας.....	28

1.9. Σκοπός της εργασίας.....	30
-------------------------------	----

Κεφάλαιο 2. Αμπέλι

2.1. Γενικά.....	32
2.2. Η αμπελουργία στην Ελλάδα και στον κόσμο.....	33
2.3. Τα προϊόντα της αμπέλου.....	36
2.4. Ετήσιος κύκλος του αμπελιού.....	38
2.5. Στοιχεία οινολογίας.....	40
2.6. Συσχέτιση ποιότητας και παραγωγής με εδαφοχημικούς παράγοντες.....	42
2.7. Αμπελουργία Ακριβείας.....	44

Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Πειραματικός αγρός.....	46
3.2. Ποικιλία αμπέλου.....	47
3.3. Αποτύπωση του αγρού.....	48
3.4. Προσδιορισμός της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στον αγρό (Apparent electrical conductivity, ECa).....	51
3.5. Λήψη δειγμάτων εδάφους.....	55
3.5.1. Προσδιορισμός του pH.....	56
3.5.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας.....	57
3.5.3. Προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου.....	58
3.5.4. Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου καλίου.....	59
3.5.5. Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους.....	60
3.5.6. Προσδιορισμός του ολικού CaCO ₃ στο έδαφος.....	61
3.6. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας του χωραφιού.....	62

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα- Συζήτηση

4.1. Δημιουργία ανάγλυφου του αμπελώνα.....	66
4.2. Χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αμπελώνα.....	67
4.3. Δειγματοληψία εδάφους.....	69
4.4. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας του αμπελώνα.....	72

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα- Μελλοντική εργασία.....	76
Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία	
A) Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία.....	79
B) Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.....	80

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα η έκταση γης που αναλογούσε σε κάθε άνθρωπο για να καλύψει τις διατροφικές του ανάγκες αντιστοιχούσε σε περίπου 1,5 τετραγωνικό χιλιόμετρο. Οι επεμβάσεις του ανθρώπου περιορίζονταν στην κατεργασία του εδάφους, τη σπορά του χωραφιού και τη συγκομιδή ενώ η ενέργεια που χρησιμοποιούνταν περιοριζότανε στην προσωπική του εργασία και σ' αυτή των ζώων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη χαμηλή παραγωγικότητα των καλλιεργειών και τις μικρές αποδόσεις.

Ο σύγχρονος τρόπος ζωής και οι μεγάλες παγκόσμιες διατροφικές ανάγκες οδήγησαν στην εντατικοποίηση της γεωργίας με σκοπό την αύξηση των αποδόσεων. Ταυτόχρονα με τη χρήση μορφών ενέργειας όπως το πετρέλαιο οι ενεργειακές εισροές αυξήθηκαν κατακόρυφα. Έτσι στη σύγχρονη γεωργία, χρησιμοποιείται ενέργεια για την κατεργασία της γης, για την κατασκευή και λειτουργία των γεωργικών μηχανημάτων, για τα σύγχρονα συστήματα άρδευσης, την παρασκευή και εφαρμογή λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων κ.α. Με την είσοδο όλων αυτών των εισροών είχαμε ταυτόχρονα και μια θεαματική άνοδο των αποδόσεων των καλλιεργειών (αύξηση των εκροών).

Πολλές από αυτές τις επεμβάσεις οδήγησαν σε αποτελέσματα επιβαρυντικά για το περιβάλλον. Μέχρι σήμερα ο παραγωγός εφαρμόζει συστήματα συμβατικής γεωργίας στις καλλιεργητικές του πρακτικές τα οποία στηρίζονταν στην εφαρμογή εισροών στον αγρό με βάση τον μέσο όρο των χαρακτηριστικών του χωραφιού. Σε αυτά τα συστήματα γεωργίας οι εισροές εφαρμόζονταν ομοιόμορφα σε ολόκληρο τον αγρό χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τα τοπικά χαρακτηριστικά του εδάφους. Έτσι συχνό είναι το φαινόμενο της υπερβολικής αλλά και άσκοπης λίπανσης των χωραφιών καθώς και των υπερβολικών αρδεύσεων των καλλιεργούμενων εκτάσεων. Όπως εύκολα γίνεται κατανοητό οι επιπτώσεις στο περιβάλλον από τέτοιου είδους γεωργικές πρακτικές είναι ιδιαίτερα επιβαρυντικές, καθώς και η οικονομική επιβάρυνση του παραγωγού είναι αρκετά μεγάλη λόγω της σπατάλης των εισροών (Fluck, 1992).

Πριν από τη δεκαετία του '90 άρχισαν οι πρώτες φωνές, στις ανεπτυγμένες κυρίως χώρες, για προστασία του περιβάλλοντος ενώ από την δεκαετία αυτή αρχίζουν να εμφανίζονται στην ΚΑΠ (Κοινή Αγροτική Πολιτική) της ΕΕ. Οι δυσάρεστες

επιπτώσεις από την αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες με σκοπό την αύξηση της παραγωγής άρχισε να γίνεται άμεσα ορατή ιδιαίτερα στον υδροφόρο ορίζοντα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη στροφή προς άλλα συστήματα καλλιέργειας πιο φιλικά προς το περιβάλλον, τα οποία θα μείωναν τις αρνητικές επιπτώσεις σ' αυτό. Τέτοια συστήματα καλλιέργειας ήταν η βιολογική γεωργία που απαγόρευε κάθε χρήση χημικών στην καλλιέργεια, αλλά και τα ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής που είχαν ως στόχο τη βελτίωση της ασφάλειας των γεωργικών προϊόντων μέσα από μια φιλικότερη στο περιβάλλον, αειφόρο, γεωργία.

Ωστόσο αν και τα συστήματα αυτά είναι περισσότερο φιλικά στο περιβάλλον, η σπατάλη εισροών συνέχισε να υφίσταται. Αυτό οφείλεται στην αδυναμία από πλευράς παραγωγού να καταγράψει και να αξιοποιήσει την παραλλακτικότητα του αγρού του, πράγμα που οδηγεί στην ομοιόμορφη εφαρμογή των εισροών σε όλη την έκταση του αγρού. Έτσι παρατηρείται μια αδυναμία ορθολογικής χρήσης των εισροών λόγω αδυναμίας καταγραφής και αξιοποίησης της παραλλακτικότητας του αγρού.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα δόθηκε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών στην γεωργία. Η ανάπτυξη του Παγκόσμιου Συστήματος Προσδιορισμού της Θέσης (GPS), η χρήση αισθητήρων καταγραφής παραγόντων παραλλακτικότητας του αγρού και η ανάπτυξη λογισμικών βοήθησαν στην αποτύπωση αυτών των παραγόντων σε χάρτες και στην καταγραφή της χρονικής και χωρικής παραλλακτικότητας του αγρού. Η κατανόηση των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση παραλλακτικότητας μπορεί να οδηγήσει και στην ορθότερη διαχείριση των αγρών με σωστή χρήση των εισροών. Η μέθοδος αυτή διαχείρισης των αγρών που βασίζεται στην καταγραφή και διαχείριση της παραλλακτικότητάς τους ονομάστηκε Γεωργία Ακριβείας (National Research Council, 1997).

1.2. Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture)

Μια ερμηνεία που δόθηκε στον όρο Γεωργία Ακριβείας είναι ότι “αποτελεί μια νέα μέθοδο γεωργικής πρακτικής, η οποία χρησιμοποιεί κάθε πληροφορία που αφορά την καλλιέργεια, με σαφήνεια προσδιορισμένη ως προς το χώρο και το χρόνο, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα των εισροών και να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις” (Συλλαίος, 2000).

Με τις συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας, η διαχείριση της καλλιέργειας γίνεται με ομοίμορφο τρόπο σε όλη την έκταση του αγρού χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι διαφοροποιήσεις στη γονιμότητα του εδάφους, στην περιεχόμενη υγρασία του και στις ιδιαιτερότητες του ανάγλυφου του αγρού. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη ή μικρότερη δοσολογία λιπασμάτων, σπόρων και νερού στα διάφορα τμήματα του αγρού. Αποτέλεσμα είναι η μη επίτευξη βέλτιστης απόδοσης στα διάφορα τμήματα της καλλιεργούμενης έκτασης στις περιπτώσεις μικρότερων εισροών από τις απαιτούμενες, αλλά και σε ρύπανση του περιβάλλοντος σε περιπτώσεις υπερδοσολογίας.

Η Γεωργία Ακριβείας έχει ως στόχο την λύση αυτού του προβλήματος με τη σωστή εφαρμογή των εισροών ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις κάθε τμήματος του αγρού. Σκοπός της είναι η καταγραφή παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη της καλλιέργειας, η ανάλυσή τους και η εύρεση διαφοροποιήσεων που θα οδηγήσουν στην ορθή χρήση των εισροών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε τμήματος του αγρού.

Σημαντικό στοιχείο της Γεωργίας Ακριβείας είναι η έννοια της παραλλακτικότητας τόσο ως προς τον χρόνο, όσο και ως προς τα διάφορα τμήματα του αγρού. Πράγματι εξαιτίας της ανομοιομορφίας των ιδιοτήτων του αγρού (έδαφος, παραγωγή, ανάγλυφο) υπάρχουν διαφορές από περιοχή σε περιοχή (χωρική παραλλακτικότητα) και από χρονιά σε χρονιά (χρονική παραλλακτικότητα). Η χωρική παραλλακτικότητα οφείλεται κυρίως στη διαφορετικότητα του εδάφους του αγρού, ενώ η αιτία εμφάνισης της χρονικής παραλλακτικότητας είναι κυρίως οι διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες κάθε χρονιάς και η αλληλεπίδρασή τους με τα λοιπά στοιχεία του αγρού και των καλλιεργητικών φροντίδων. Η σωστή ερμηνεία και παρατήρηση των παραγόντων που είναι υπεύθυνοι για την εμφάνιση της παραλλακτικότητας μας οδηγεί στη σωστότερη διαχείριση των αγρών (Bouma, 1997).

Για την λεπτομερή καταγραφή των υπό εξέταση παραγόντων που γεννούν την παραλλακτικότητα στον αγρό η Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιεί τεχνολογίες και μέσα που καταγράφουν την υπάρχουσα κατάσταση στον αγρό, συγκεντρώνουν τις πληροφορίες και εφαρμόζουν τις εισροές ανάλογα με τις ανάγκες κάθε σημείου του αγρού. Τέτοιες τεχνολογίες είναι (Srinivasan, 2006):

- Συστήματα καταγραφής των παραγόντων παραλλακτικότητας όπως είναι οι αισθητήρες καταγραφής της υγρασίας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, οι εργαστηριακές αναλύσεις του εδάφους, τα Συστήματα Προσδιορισμού της Θέσης ενός σημείου (GPS), η Τηλεπισκόπηση και οι αεροφωτογραφίες.

- Συστήματα που διαχειρίζονται και αξιοποιούν τις παραπάνω πληροφορίες όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) τα οποία είναι λογισμικά τα οποία δημιουργούν τους αντίστοιχους χάρτες.
- Συστήματα μεταβαλλόμενης εφαρμογής των εισροών όπως συστήματα μεταβλητής άρδευσης, λιπασματοδιανομείς με ικανότητα επιλεκτικής εφαρμογής του λιπάσματος κ.α.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε πως τα οφέλη από την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στις σύγχρονες καλλιέργειες είναι (Srinivasan, 2006) :

α) Οικονομικά, αφού οι εισροές γίνονται μόνο στα σημεία και στις ποσότητες που απαιτούνται με αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος παραγωγής.

β) Ποιοτικά, αφού επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της ποιότητας της παραγωγής με τις εισροές να γίνονται στοχευμένα στα σημεία και στις ποσότητες που απαιτούνται.

γ) Ποσοτικά με την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων.

δ) Περιβαλλοντικά, τα οποία παρέχονται με τη Γεωργία Ακριβείας στους παραγωγούς, μέσω ενός πλαισίου πληροφοριών που τους βοηθά να λαμβάνουν φιλικότερες στο περιβάλλον αποφάσεις διαχείρισης των αγρών.

Σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της Γεωργίας Ακριβείας έδωσαν οι νέες τεχνολογίες που εισήχθησαν τις τελευταίες δεκαετίες και στο χώρο της γεωργίας. Σήμερα η Γεωργία Ακριβείας θεωρείται ως το σύστημα διαχείρισης των αγρών του 21^{ου} αιώνα το οποίο θα μπορέσει να συνδυάσει τις γνώσεις που έχουμε κερδίσει με το πέρασμα των ετών από την παραδοσιακή γεωργία με τις σύγχρονες τεχνολογίες της εποχής.

Οι πιο πολλές εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας μέχρι σήμερα έχουν γίνει σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας κυρίως λόγω της ύπαρξης αισθητήρων μέτρησης της παραγωγής που εφαρμόζονται στις μηχανές συγκομιδής. Επίσης σε δεντροκομικές καλλιέργειες έχουν γίνει κάποιες εφαρμογές της με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της επιφάνειας της κόμης των δέντρων με υπέρηχους, αλλά και συστημάτων εφαρμογής λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων σε μεταβλητές δόσεις.



Σχήμα 1.1. Ψεκαστικό για ζιζανιοκτόνο με green seeker εφαρμογής μεταβλητών δόσεων

Σήμερα η Γεωργία Ακριβείας είναι αρκετά διαδεδομένη στη Β. Αμερική και στην Δυτική Ευρώπη. Στις Η.Π.Α. η Γεωργία Ακριβείας αρχικά εφαρμόστηκε κυρίως στις Δυτικές Πολιτείες όπου το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι αρκετά έντονο και υπάρχει ανάγκη σωστής διαχείρισης του νερού. Ωστόσο η παρατεταμένη εξαντλητική εκμετάλλευση των αγρών και οι έντονες ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων οδήγησε στην αύξηση της εφαρμογής της. Το ποσοστό των παραγωγών που εφαρμόζει τέτοια συστήματα έχει φτάσει το 2007 περίπου στο 55% παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξης του 32% μέσα σε μια δεκαετία (Srinivasan, 2006).

Στη χώρα μας η έρευνα για την εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια σε καλλιέργειες βαμβακιού, μήλων, ροδάκινων και αμπελιού. Τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν πως παρά την μικρή έκταση των αγροτεμαχίων υπάρχει σημαντική παραλλακτικότητα στο έδαφός τους.

1.3. Συστήματα για την εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της Γεωργίας Ακριβείας είναι η βελτίωση της παραγωγικότητας του αγρού. Για να επιτευχθεί αυτό, είναι απαραίτητη η γνώση των ιδιοτήτων κάθε τμήματος του αγροτεμαχίου ώστε να προσαρμοστούν στη συνέχεια οι χρησιμοποιούμενες εισροές και καλλιεργητικές πρακτικές ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες κάθε σημείου του αγρού. Η γνώση αυτών των ιδιοτήτων βασίζεται στη συγκέντρωση, ερμηνεία και ανάλυση των τιμών ορισμένων παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο. Τέτοιοι παράμετροι είναι η υγρασία του εδάφους, η ηλεκτρική του αγωγιμότητα, η παραγωγικότητα κ.α.

Για τη συγκέντρωση αυτών των πληροφοριών είναι απαραίτητη η χρήση αισθητήρων καταγραφής τους καθώς και ορισμένων άλλων συστημάτων όπως το Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (GPS) και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) (National Research Council, 1997).

1.3.1. Παγκόσμιο Σύστημα Καθορισμού Θέσης (Global Positioning System, GPS)

Το NAVSTAR/G.P.S. (NAVigation System with Timing And Ranging-Global Positional System) ή απλά 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 (Φωτίου κ.α., 2003).

Το σύστημα σχεδιάστηκε και βρίσκεται υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των Η.Π.Α. Παρόμοιο με το GPS είναι και το ρωσικό σύστημα GLONASS (GLObal Navigation Satellite System) το οποίο για οικονομικούς λόγους δεν έτυχε μέχρι σήμερα ευρείας αποδοχής και χρήσης. Σήμερα η Ε.Ε. προχωρεί και αυτή στην ανάπτυξη του πρώτου πολιτικού συστήματος προσδιορισμού θέσης και πλοήγησης που ονομάζεται Galileo.

Σήμερα αρκετές εφαρμογές καλύπτονται από τις δυνατότητες του G.P.S, όπως η ενημέρωση χαρτών, η πλοήγηση, η διαχείριση στόλου κινουμένων οχημάτων, ο εντοπισμός προεπιλεγμένων θέσεων, οι εφαρμογές GIS κ.α.

Το σύστημα GPS αποτελείται από τρία κύρια τμήματα (Φωτίου κ.α., 2003):

ι) Το δορυφορικό τμήμα που αποτελείται από τους δορυφόρους. Σήμερα γύρω από τη Γη περιστρέφονται περίπου 28 δορυφόροι των σειρών BLOCK II, IIA και IIR εφοδιασμένοι με συστήματα υψηλής τεχνολογίας. Αυτοί είναι ισοκατανεμημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα που σχηματίζουν γωνία 60° μεταξύ τους και καθένα από αυτά σχηματίζει γωνία 55° με το επίπεδο του ισημερινού της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 1978 ωστόσο οι πολιτικές εφαρμογές του συστήματος ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '90. Οι δορυφόροι αυτοί βρίσκονται διαρκώς σε κίνηση, κάνοντας 2 πλήρεις περιφορές γύρω από τη γη σε λιγότερο από 24 ώρες με την ταχύτητά τους να φτάνει τα 1,8 μίλια το δευτερόλεπτο.

ιι) Το τμήμα ελέγχου που αποτελείται από πέντε μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης, πέντε σταθμούς τηλεπικοινωνιών και ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου.

Αυτοί οι σταθμοί εντοπίζουν πιθανά λάθη του συστήματος μετρώντας συνεχώς ψευδοαποστάσεις και τα στοιχεία του σφάλματος μεταβιβάζονται στους δορυφόρους και στους δέκτες GPS για διόρθωση του σφάλματος.

ιι) Το τμήμα των χρηστών που περιλαμβάνει τους δέκτες GPS οι οποίοι λαμβάνουν, επεξεργάζονται τα σήματα και καταγράφουν τις μετρήσεις. Ο δέκτης αποτελείται από την κεραία, τον κυρίως δέκτη και τον υπολογιστή (χειριστήριο- καταγραφικό).

Κάθε ένας από τους δορυφόρους εκπέμπει σε τρεις διαφορετικές συχνότητες. Τα GPS πολιτικής χρήσης χρησιμοποιούν τη συχνότητα L1, στα 1575.42 MHz με δυο κώδικες τον C/A (Course/ Acquisition) και τον P (Precision). Κάθε δορυφόρος διαθέτει ατομικό ρολόι ακρίβειας ενώ εκπέμπει και ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα το οποίο περιέχει διάφορες πληροφορίες, όπως τη θέση του δορυφόρου, το χρόνο εκπομπής του σήματος κ.α. Αυτές οι πληροφορίες για την ακριβή ώρα και θέση του, επιτρέπουν σε έναν κατάλληλο δέκτη (συσκευή GPS) να υπολογίσει τη δική του θέση, η οποία εμφανίζεται στην οθόνη του εκφρασμένη σε συντεταγμένες ενός συγκεκριμένου γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς. Το σύστημα αναφοράς του GPS είναι το WGS84 (World Geodetics System 1984). Οι συντεταγμένες GPS, καρτεσιανές γεωκεντρικές (X,Y,Z) ή ελλειψοειδείς/ γεωδαιτικές (φ,λ,h) μπορούν να μετασχηματίζονται σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα (National Research Council, 1997).

Ο προσδιορισμός θέσης, απόλυτος (absolute positioning) ή σχετικός (relative/ differential positioning) μπορεί να γίνει είτε μετά το πέρας των μετρήσεων ή σε πραγματικό χρόνο ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Στον απόλυτο προσδιορισμό η θέση του δέκτη υπολογίζεται ως προς το γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς ενώ στο σχετικό, η θέση του δέκτη καθορίζεται σε σχέση με κάποιον άλλο δέκτη.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια ενός δέκτη GPS είναι (Φωτίου κ.α., 2003) :

- Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον δέκτη GPS.
- Ο αριθμός των δορυφόρων από του οποίους λαμβάνει σήματα ο δέκτης.
- Η εγκατάσταση του συστήματος.
- Η ικανότητα διαφορικής διόρθωσης του συστήματος.
- Οι παραμορφώσεις των δορυφορικών σημάτων που μπορεί να οφείλονται στην παρεμβολή αντικειμένων της περιοχής (κτίρια κ.α.).
- Οι 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.
- Η ανάκλαση του σήματος πριν καταλήξει στην κεραία του δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους και σε άλλα αντικείμενα της περιοχής.

Στην Γεωργία Ακρίβειας ένα από τα ζητούμενα είναι η ακρίβεια εντοπισμού κάθε σημείου του αγροτεμαχίου ώστε να γίνει δυνατή η κατάλληλη εφαρμογή εισροών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε θέσης. Με τους σύγχρονους δέκτες GPS υψηλής ακρίβειας μπορεί να επιτευχθεί ο καθορισμός της θέσης ενός σημείου με ακρίβεια μερικών χιλιοστών. Για τον λόγο αυτό, τέτοιοι δέκτες εφαρμόζονται τα τελευταία χρόνια σε ευρεία κλίμακα και στην γεωργία με αξιόλογα αποτελέσματα.

Η χρήση τους και η εξάπλωσή τους στην Γεωργία Ακρίβειας είναι ραγδαία βρίσκοντας συνεχώς εφαρμογές σε πλήθος εργασιών που σχετίζονται με αυτό τον κλάδο. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για την αυτόματη πλοήγηση γεωργικών μηχανημάτων στον αγρό, για τον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων εγκατάστασης αισθητήρων, για την καταγραφή του ακριβούς σημείου από το οποίο λαμβάνονται εδαφολογικά δείγματα και κυρίως για τη χαρτογράφηση της παραγωγής και τη δημιουργία του ανάγλυφου του αγροτεμαχίου. Για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας σ' αυτές τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται όργανα υψηλής τεχνολογίας και ακρίβειας όπως το RTK GPS.

1.3.1.1. RTK GPS (Real Time Kinematics GPS)

Τα απλά GPS παρέχουν στις εφαρμογές μας ακρίβεια μερικών μέτρων. Οι δέκτες GPS που χρησιμοποιούν τη μεθοδολογία DGPS (Differential GPS) μπορούν να φτάσουν βέλτιστα και σε ακρίβεια 30cm. Η ακρίβεια αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια διορθώσεων που δέχεται ο δέκτης GPS από σταθερούς δέκτες GPS. Ωστόσο η ακρίβεια αυτή δεν είναι αρκετή για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια όπως η χαρτογράφηση του αναγλύφου.

Γι' αυτό απαιτούνται όργανα μεγάλης ακρίβειας όπως το RTK-GPS που δίνουν ακρίβεια 2 εκατοστών του μέτρου. Αυτό αποτελείται από ένα σταθερό σταθμό στα όρια του αγρού (*reference receiver*) που λαμβάνει σήμα από του δορυφόρους και εκπέμπει σήμα προς το δέκτη GPS που κινείται στο χωράφι. Ο δέκτης rover εκτός από

τα δεδομένα του σταθερού δέκτη λαμβάνει και τις δικές του μετρήσεις που τις συνδυάζει με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Η επικοινωνία μεταξύ των δυο δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό το οποίο εγκαθίσταται στους δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. Η επικοινωνία των περισσότερων λογισμικών που παρέχουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες θέσης, ταχύτητας και χρόνου, υπολογισμένες από δέκτες GPS, γίνεται με τη χρήση του μηνύματος NMEA. Ο όρος NMEA (National Maritime Electronics Association) εκφράζει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών συσκευών και κατά συνέπεια και μεταξύ δεκτών GPS (Φωτίου κ.α., 2006).

Τα δεδομένα που εκπέμπονται σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις και τις φάσεις, με ένα πρότυπο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις ώστε να προσδιορίσει τη θέση του. Ο δέκτης αναφοράς παίζει το ρόλο ενός ψευδοδορυφόρου που εκπέμπει δεδομένα στο κινούμενο δέκτη. Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με RTK γίνεται με χρήση των ψευδοαποστάσεων για τον προσδιορισμό της θέσης σε πραγματικό χρόνο και των φάσεων. Αρχικά υπολογίζονται οι διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων βάσει των γνωστών συντεταγμένων του δέκτη αναφοράς, δηλαδή γίνεται αφαίρεση της γνωστής γεωμετρικής απόστασης από την αντίστοιχη ψευδοαπόσταση ενώ εκτός από τους παραπάνω υπολογισμούς, θα πρέπει να επιλυθούν και οι ασάφειες φάσης τόσο για το σταθερό δέκτη όσο και για τον κινούμενο.

Γι' αυτό και τη μέθοδο RTK θα μπορούσαμε να την χαρακτηρίσουμε και ως μέθοδο DGPS με παρατηρήσεις φάσης. Αξίζει να αναφερθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζεται το εξής πρόβλημα: Ο υπολογισμός των διορθώσεων των ψευδοαποστάσεων και η μετάδοσή τους στον κινούμενο δέκτη απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, οπότε ο κινούμενος δέκτης θα λαμβάνει τις διορθώσεις αυτές σε διαφορετικό χρόνο σε σχέση με τις δικές του μετρήσεις. Η λύση γι' αυτό το πρόβλημα δίνεται μέσω του υπολογισμού ενός προτύπου πρόγνωσης για τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που πραγματοποιεί ο σταθερός δέκτης, έτσι ώστε να έχει μέσα σε κάποιο χρόνο έναν ικανοποιητικό αριθμό ψευδοαποστάσεων για τον υπολογισμό του μοντέλου. Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από το μοντέλο πρόγνωσης λαμβάνονται από τον κινητό δέκτη ο οποίος στη συνέχεια μπορεί να υπολογίσει τις διορθώσεις των

ψευδοαποστάσεων για τον τρέχοντα χρόνο που μετρά τις δικές του ψευδοαποστάσεις και να τις διορθώσει.

Αξίζει να σημειωθεί πως η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο DGPS είναι της τάξης του 1m ή και 0.5m ανάλογα κάθε φορά με την απόσταση του σταθερού δέκτη από τον κινούμενο. Η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο RTK είναι της τάξης του 1-2cm.

1.3.2. Συστήματα Αισθητήρων

Μια από τα βασικές ανάγκες για την εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στον αγρό, είναι η γνώση των τιμών μιας ή περισσότερων παραμέτρων της καλλιέργειας που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την απόδοσή της. Σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας είναι να μελετηθεί η παραλλακτικότητα μέσα σε όλη την έκταση του αγρού, κάθε παραμέτρου χωριστά ή περισσότερων παραμέτρων σε συνδυασμό μεταξύ τους, με στόχο την εξεύρεση πιθανής αλληλεπίδρασής τους.

Η ιδανική περίπτωση θα ήταν η δυνατότητα συνεχούς καταγραφής των τιμών αυτών των παραμέτρων. Τα σύγχρονα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα έχουν την δυνατότητα μέτρησης σε τακτά διαστήματα των τιμών κάποιων στοιχείων απευθείας στον αγρό από τον ερευνητή (Srinivasan, 2006). Επίσης τα συστήματα μπορεί είτε να βρίσκονται τοποθετημένα και να λαμβάνουν τιμές από συγκεκριμένα σημεία είτε να έχουν την δυνατότητα μετακίνησης σε όλο το μήκος του αγρού (on-the-go soil sensors) πραγματοποιώντας λήψη τιμών σε ολόκληρη την έκταση του αγρού (Adamchuk et al., 2004).

Η λειτουργία αυτών των συστημάτων βασίζεται στη χρήση αισθητήρων καταγραφής των παραμέτρων της καλλιέργειας που μας αφορούν. Τέτοιοι αισθητήρες είναι: α) μέτρησης εδαφικών παραμέτρων όπως της αγωγιμότητας του εδάφους, της περιεχόμενης υγρασίας του, των θρεπτικών του συστατικών και του pH καθώς και β) αισθητήρες καταγραφής ορισμένων χαρακτηριστικών της καλλιέργειας που η λειτουργία τους βασίζεται στη μέτρηση διαφόρων δεικτών όπως ο Δείκτης Βλάστησης (NDVI) (Srinivasan, 2006).

Ορισμένοι από τους τύπους αισθητήρων που χρησιμοποιούνται είναι:

- **Ηλεκτρικοί και ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες (Electrical and Electromagnetic Sensors)**

Τα συγκεκριμένα συστήματα μέτρησης στηρίζουν την λειτουργία τους στην δημιουργία ηλεκτρικών κυκλωμάτων μετά από εφαρμογή ηλεκτρικού φορτίου στο έδαφος. Ανάλογα με τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους οι τιμές ορισμένων παραμέτρων όπως της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της ειδικής αντίστασης του εδάφους ποικίλουν. Οι τιμές αυτών καταγράφονται από τους αισθητήρες και συσχετίζονται με κάποια φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η περιεχόμενη υγρασία του, η αλατότητα, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία καθώς και άλλα εδαφικά χαρακτηριστικά. Η γρήγορη λήψη μετρήσεων και το χαμηλό κόστος μέτρησης έχουν κάνει τη χρήση αυτών των αισθητήρων ιδιαίτερα διαδεδομένη. (Adamchuk et al, 2004). Ένας από τους πιο διαδεδομένους αισθητήρες τέτοιου τύπου είναι ο αισθητήρας μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους EM-38 του οίκου Geonics (Σχήμα 1.2.)



Σχήμα 1.2. Αισθητήρας μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας EM-38

- **Οπτικοί και ραδιομετρικοί αισθητήρες (Optical and Radiometric Sensors)**

Οι αισθητήρες αυτοί βασίζονται στη λειτουργία τους στη μέτρηση της ανακλώμενης και της απορροφώμενης ενέργειας από τα φυτά και το έδαφος χρησιμοποιώντας δείκτες, όπως είναι ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) και ο Ποσοστιαίος Υπέρυθρος Δείκτης Βλάστησης (IPVI). Οι τιμές της ανακλώμενης και

απορροφώμενης ενέργειας, σχετίζονται με τις τιμές διάφορων φυσικών παραμέτρων όπως είναι η υγρασία του εδάφους και των καρπών, η οργανική ουσία και η μηχανική σύσταση του εδάφους, τα οξείδια σιδήρου του εδάφους και οι ανάγκες της καλλιέργειας σε άζωτο. Με τη χρήση αυτών των αισθητήρων μπορεί να γίνει δυνατή και η πρόβλεψη της παραγωγής, βάσει της ανάκλασης ενέργειας στο φύλλωμα των φυτών, χωρίς να επηρεάζεται η λειτουργία τους από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν (Adamchuk et al., 2004). Ο αισθητήρας NDVI Green Seeker της NTech Industries (Σχήμα 1.3.) χρησιμοποιείται ευρέως για την καταγραφή των αναγκών της καλλιέργειας σε άζωτο.



Σχήμα 1.3. Αισθητήρας NDVI Green Seeker

▪ **Αισθητήρες μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους (Mechanical Soil Sensors)**

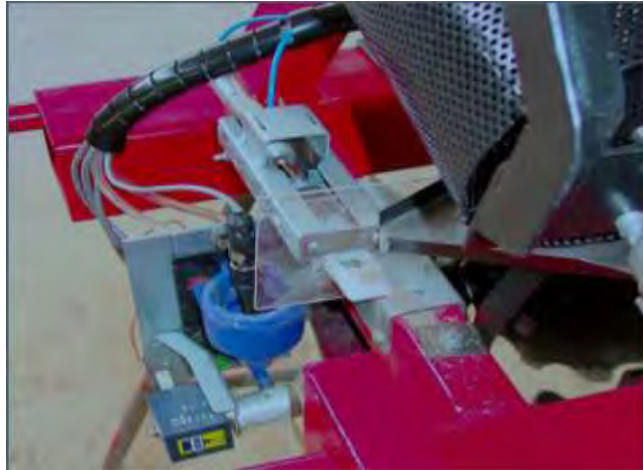
Οι αισθητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται για την καταγραφή φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους όπως της μηχανικής ανθεκτικότητάς του και της φυσικής αντοχής του. Τα χαρακτηριστικά αυτά, σε συνδυασμό με τη γνώση άλλων παραμέτρων (π.χ. εδαφική αγωγιμότητα), μπορούν να παρέχουν επιπλέον χρήσιμες πληροφορίες για την καλλιέργεια και τις απαιτούμενες καλλιεργητικές φροντίδες. Σε ζώνες του αγρού με υψηλές τιμές συνεκτικότητας του εδάφους, που μπορεί να σχηματίστηκαν από τη διέλευση μηχανημάτων μεγάλου βάρους, η ανάπτυξη των ριζών είναι δύσκολη ενώ και η διαθεσιμότητα του νερού για την καλλιέργεια είναι μειωμένη. Η καταγραφή αυτών των περιοχών στον αγρό, δίνει την δυνατότητα εφαρμογής κατάλληλων καλλιεργητικών πρακτικών που θα βελτιώσουν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Οι αισθητήρες αυτοί εφαρμόζονται συνήθως στον ελκυστήρα μετρώντας την αντίσταση του εδάφους σε ορισμένο βάθος (Σχήμα 1.4.) (Adamchuk et al., 2004).



Σχήμα 1.4. Αισθητήρας μέτρησης εδαφικής μηχανικής αντίστασης

- **Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες (Electrochemical Sensors)**

Οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την άμεση εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους, με τη μέτρηση ενός θρεπτικού ιόντος και για τη μέτρηση του pH. Η μέτρηση των εδαφικών ιόντων στον αγρό γίνεται με αισθητήρα κρυσταλλολυχνίας (Ion-Selective Field Effect Transistors, ISFET). Ο αισθητήρας είναι εγκατεστημένος στην άκρη μιας ράβδου στην άλλη άκρη της οποίας βρίσκεται ένας εδαφολήπτης που λαμβάνει δείγματα εδάφους. Κατά τη μετακίνηση μέσα στον αγρό ο εδαφολήπτης λαμβάνει δείγματα από βάθος 10 εκατοστών περίπου και ο αισθητήρας πραγματοποιεί συνεχείς μετρήσεις. Η αρχή λειτουργίας του συστήματος βασίζεται στη μέτρηση του δυναμικού που αναπτύσσεται μεταξύ μιας πηγής δυναμικού του οργάνου μέτρησης και του αισθητήρα. Το δυναμικό που αναπτύσσεται είναι ανάλογο της συγκέντρωση των ιόντων (H^+ , $-PO_4^{-3}$, K^+ κ.α.) του εδάφους. Η εμπορική χρήση αυτών των αισθητήρων ξεκίνησε τα τελευταία χρόνια κυρίως με αισθητήρες μέτρησης του εδαφικού pH (Viscarra Rossel et al., 2004).



Σχήμα 1.5. Αισθητήρας μέτρησης pH

- **Αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής (Yield Sensors)**

Τα συστήματα αυτόματης μέτρησης της παραγωγής ήταν τα πρώτα που εφαρμόστηκαν στη Γεωργία Ακριβείας σε φυτά μεγάλης καλλιέργειας. Αποτελούνται από αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής εγκατεστημένους πριν την αποθήκη καρπού της μηχανής (Σχήμα 1.6.), ένα δέκτη GPS και ένα σύστημα ελέγχου (yield monitor) που ελέγχει και καταγράφει τις μετρήσεις του αισθητήρα (Blackmore et al., 1996).



Σχήμα 1.6. Αισθητήρας μέτρησης παραγωγής βαμβακοσυλλεκτικής μηχανής

- **Αισθητήρες μέτρησης υγρασίας εδάφους**

Οι αισθητήρες μέτρησης υγρασίας του εδάφους αποτελούν ένα διαδομένο τύπο αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως σε μεγάλο αριθμό καλλιεργειών (δενδρωδών και φυτών μεγάλης καλλιέργειας). Οι αισθητήρες αυτοί αναπτύχθηκαν

ιδιαίτερα κατά την τελευταία δεκαετία δίνοντας τη δυνατότητα περιοδικών μετρήσεων της υγρασίας με κατά περιόδους μετρήσεις αλλά και συνεχών μετρήσεων με την χρήση δικτύου ασύρματων αισθητήρων. Ταυτόχρονα καθίσταται εφικτή η μέτρηση και άλλων παραγόντων που επηρεάζουν την παραγωγικότητα της καλλιέργειας όπως της θερμοκρασίας, της ατμοσφαιρικής υγρασίας κ.α. Οι ασύρματοι αισθητήρες εγκαθίστανται σε ειδικούς κλωβούς ή μέσα σε μετεωρολογικούς κλωβούς εντός του αγρού που τους παρέχουν προστασία από ακραίες κλιματικές συνθήκες επιτρέποντας τη συνεχή καταγραφή της εδαφικής υγρασίας (Σχήμα 1.7.).



Σχήμα 1.7. Μετεωρολογικός κλωβός με εγκατεστημένο ασύρματο αισθητήρα μέτρησης της εδαφικής υγρασίας

1.3.3. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems, GIS)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στη Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για υπολογιστικά συστήματα σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τη συλλογή, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση, μοντελοποίηση και απεικόνιση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο (συνδεδεμένα με συντεταγμένες) και μεταβάλλονται στο χρόνο (Longley et al., 2005).

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με το GPS και την Τηλεπισκόπηση επιτρέπουν την καταγραφή όλων των απαραίτητων πληροφοριών για τις καλλιέργειες οι οποίες θα βοηθήσουν στη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητάς τους και στη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων. Οι πληροφορίες που συνήθως χρησιμοποιούνται από τα συστήματα αυτά είναι εδαφικοί παράμετροι (συγκεντρώσεις θρεπτικών στοιχείων, ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους, pH), η παραγωγή, ποιοτικά

χαρακτηριστικά κ.α. Η αποθήκευση των στοιχείων αυτών σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μας δίνει την δυνατότητα παρουσιάσής τους με τη μορφή πινάκων, χαρτών ή άλλων μορφών, εύκολα χρησιμοποιούμενων από τους χρήστες.

Σημαντική δυνατότητα αυτών των συστημάτων, που τα διαφοροποιεί από τη συνήθη απεικόνιση των δεδομένων, είναι η δυνατότητα συνδυασμού μη όμοιων δεδομένων σε μια κοινή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης, τα χαρακτηριστικά και τα στοιχεία που την απαρτίζουν (National Research Council, 1997).

Τα δεδομένα της βάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλούς χρήστες, να επεξεργάζονται, να εμπλουτίζονται και γενικά να αποτελούν μια δυναμική πηγή δεδομένων. Η διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού δίνοντας στο χρήστη δυνατότητες όπως (Φλωράς, 2004):

- Την ικανότητα πρόβλεψης της παραγωγής.
- Την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών (λιπάσματα, άρδευση) που οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής και σε αειφορικότητα.
- Την δυνατότητα συγκομιδής ανάλογα με τις ποιοτικές προδιαγραφές βελτιώνοντας το εισόδημα του παραγωγού.
- Να βοηθήσει στην εξασφάλιση της ποιότητας σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα (ISO, HACCP).
- Τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα.

Ένα μειονέκτημα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών είναι η πολυπλοκότητα του λογισμικού και η δυσκολία της εκμάθησής του έτσι ώστε η χρησιμοποίηση και η ερμηνεία των χωρικών στοιχείων να μη γίνεται με εύκολο και αποτελεσματικό τρόπο. Αυτή η κατάσταση αλλάζει γρήγορα δεδομένου ότι διάφοροι προμηθευτές αναπτύσσουν λειτουργικά προγράμματα GIS προοριζόμενα για χρήση σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έτσι όλο και περισσότερο, το λογισμικό γίνεται φιλικότερο προς το χρήστη και πιο οικονομικό.

Σήμερα πλέον οι εταιρίες προωθούν τις υπηρεσίες GIS ή τα εργαλεία λογισμικού στους καλλιεργητές και τους γεωπόνους. Υπάρχει βεβαίως η 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).

1.3.3.1. Αποτύπωση των δεδομένων

Η παρουσίαση των υπό εξέταση φαινομένων σε χάρτες με πρόγραμμα GIS γίνεται με δύο κύριες μεθόδους. Με την πρώτη μέθοδο παρουσιάζονται τα φαινόμενα σε διανυσματική μορφή (Vector). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρουσιάζουν χαρακτηριστικά χαρτών με σημεία, πολύγωνα και γραμμές με μεγάλη ακρίβεια για την απεικόνιση των χαρακτηριστικών. Αυτή η μέθοδος προτιμάται σε αγροτικές μελέτες με διακριτά όρια επιφανειών.

Η δεύτερη μέθοδος διαχωρίζει την επιφάνεια μελέτης σε σύνολο κυψελίδων. Τα συγκεκριμένα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ονομάζονται Raster και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις ψηφιακής μοντελοποίησης, στατιστικής ανάλυσης, προσομοίωσης προτύπων και εφαρμογές διαχείρισης φυσικών πόρων.

Οι χάρτες που δημιουργούνται με τις δυο μεθόδους στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών απεικονίζονται θεματικά. Τα δεδομένα κατηγοριοποιούνται και αποθηκεύονται σε διαφορετικά θεματικά επίπεδα. Αυτός ο τρόπος οργάνωσης των δεδομένων βοηθά στην εύκολη παρουσίασή τους και στο συνδυασμό με οποιοδήποτε τρόπο μεταξύ τους.

Στην περίπτωση που η συλλογή δειγμάτων του υπό εξέταση παράγοντα από τον οποίο θα δημιουργηθεί ο θεματικός χάρτης γίνει με δειγματοληψία, τα δεδομένα που συλλέγουμε αντιπροσωπεύουν μόνο το σημείο της δειγματοληψίας. Για όλα τα ενδιάμεσα σημεία δεν έχουμε καμιά ένδειξη της τιμής του παράγοντα. Για το λόγο αυτό εφαρμόζουμε τη μέθοδο της εσωεκτίμησης.

Εσωεκτίμηση (interpolation) είναι η μέθοδος εκτίμησης της τιμής του παράγοντα που εξετάζουμε στα ενδιάμεσα σημεία της περιοχής όπου δεν έχουμε δεδομένα, με βάση τις γνωστές τιμές των σημείων δειγματοληψίας. Οι δυο βασικότερες γεωστατιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούμε για να κάνουμε την εσωεκτίμηση, δηλαδή τη δημιουργία μιας συνεχούς επιφάνειας με βάση τα γνωστά σημεία δειγματοληψίας, είναι η μέθοδος Kriging και η μέθοδος Inverse Distance Weighted (Φλωράς, 2004).

1.3.3.2. Μέθοδος Kriging

Η μέθοδος Kriging είναι μια γεωστατιστική μέθοδος η οποία βασίζεται στην έννοια της περιοχοποιημένης μεταβλητής. Η μέθοδος αυτή παράγει χάρτες από ακανόνιστα δεδομένα, δηλαδή δεν έχουν σταθερή απόσταση αλλά είναι τυχαία κατανομημένα. Αυτή η περίπτωση παρουσιάζεται σε πολλά φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο και η γραφική απεικόνιση της μεταβλητής είναι μια συνεχής επιφάνεια. Στην περίπτωση αυτή τα κοντινά σημεία προς τα σημεία με τις γνωστές τιμές παρουσιάζουν συσχέτιση, αφού η μεταβλητή περιγράφει μια συνεχή επιφάνεια, αλλά απομακρυσμένα σημεία δεν έχουν απολύτως καμία συσχέτιση.

Με τη μέθοδο αυτή, είναι δυνατή η εκτίμηση των τιμών ενός παράγοντα σε κάθε σημείο του χώρου γνωρίζοντας τις τιμές του σε διάφορα σημεία με τυχαία διάταξη. Το πλεονέκτημα της μεθόδου σε σχέση με άλλες γεωστατιστικές μεθόδους είναι η αποφυγή της μεροληπτικής εκτιμήσεως στην περίπτωση συσσωρεύσεως σημείων με μετρήσεις σε ορισμένες θέσεις και η εκτίμηση σε κάθε σημείο, του μέτρου του σφάλματος για την επιφάνεια που υπολογίστηκε (Swan et al., 1995).

1.3.3.3. Μέθοδος Inverse Distance

Η μέθοδος Inverse Distance είναι μια γεωστατιστική μέθοδος η οποία βασίζεται στη χρήση του μέσου σταθμισμένου όρου (Surfer guide, 2001). Τα δεδομένα σταθμίζονται κατά την εσωεκτίμηση έτσι ώστε η επιρροή μεταξύ των σημείων να μειώνεται όσο αυξάνει η μεταξύ τους απόσταση.

1.4. Ζώνες διαχείρισης (Management Zones)

Ο στόχος της Γεωργίας Ακριβείας είναι ο εντοπισμός και η ταυτοποίηση της παραλλακτικότητας ενός αγρού και η διαχείριση της παραλλακτικότητας. Κατά συνέπεια ο στόχος της είναι ο εντοπισμός επιμέρους μικρότερων, ομοιόμορφων τμημάτων του αγρού που χρήζουν διαφορετικής μεταξύ τους διαχείρισης. Κατά συνέπεια ως ζώνη διαχείρισης ορίζεται ένα επιμέρους τμήμα ενός αγρού που χαρακτηρίζεται από ένα λειτουργικά ομοιογενή συνδυασμό ιδιοτήτων. (Παπαοικονόμου, 2001).

Η χρήση των ζωνών διαχείρισης είναι ένας εύκολος τρόπος για την ταυτοποίηση, την ταξινόμηση και τη χωροταξική κατανομή της παραλλακτικότητας των χαρακτηριστικών του αγρού. Το μέρος αυτό του αγρού πρέπει να έχει κοινά χαρακτηριστικά που να επιτρέπουν την ενιαία διαχείριση του. Ορισμένα στοιχεία για την οριοθέτηση μιας ζώνης διαχείρισης είναι τα εξής (Παπαοικονόμου, 2001):

- Η ευκολία στην οροθέτησή της.
- Η σταθερότητά της στο χρόνο.
- Η συσχετίσή της με ορισμένα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον παραγωγό όπως η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.
- Ο εύκολος προσδιορισμός της.
- Η δημιουργία οφέλους στον παραγωγό.

Ένα από τα σημεία που πρέπει να διευκρινίσουμε πριν την μελέτη, καταγραφή και απεικόνιση μιας ζώνης είναι ο προσδιορισμός της μεταβλητής που πρέπει να μελετήσουμε και τα κριτήρια επιλογής της. Τα στοιχεία που μας οδηγούν στην επιλογή των υπό εξέταση μεταβλητών είναι κυρίως οικονομικά (εξέταση θρεπτικών στοιχείων-λιπάνσεις) αλλά και περιοριστικά για την καλλιέργεια (εξέταση υγρασίας εδάφους σε περιοχές με έλλειψη νερού).

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας το τελικό στάδιο είναι η δημιουργία ενός ψηφιακού χάρτη του αγρού που απεικονίζει τις ζώνες διαχείρισης, το είδος των εισροών και τις δόσεις που εφαρμόζονται. Για τη δημιουργία των ζωνών χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως η χρήση δορυφορικών εικόνων με εφαρμογή κυρίως των δεικτών βλάστησης NDVI και RVI .

Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η χρήση αισθητήρων μέτρησης διαφόρων παραγόντων που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση τα τελευταία κυρίως χρόνια λόγω της εξέλιξης και βελτίωσης της τεχνολογίας τους καθώς και η χρήση στατιστικών μεθόδων. Οι παράγοντες που μελετώνται με τις παραπάνω μεθόδους είναι αυτοί που προσδιορίζουν τις απαιτούμενες εισροές στον αγρό. Τέτοιοι παράγοντες είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η υγρασία του και η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία. Η μελέτη και καταγραφή τους οδηγεί στη δημιουργία ζωνών μεταχείρισης στις οποίες εφαρμόζουμε και τις κατάλληλες εισροές.

1.5. Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης Δόσης (Variable Rate Technology, VRT)

Αφού επιτευχθεί η δημιουργία των ζωνών διαχείρισης στον αγρό το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή διαφορετικών εισροών σε κάθε ζώνη ώστε να γίνει δυνατή η εφαρμογή εισροών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε ζώνης. Η εφαρμογή αυτών καθίσταται δυνατή με την χρήση Συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών.

Τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable Rate Application Technology) είναι συστήματα γεωργικής μηχανικής, που μεταβάλλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών (σπόρων, λιπασμάτων, νερού, φαρμάκων, κ.λπ.) 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).

Τα σύγχρονα διαθέσιμα εμπορικά συστήματα μπορεί να είναι βασισμένα σε χάρτες (που προκύπτουν από ιστορικά στοιχεία ανάλυσης π.χ. παραγωγής, θρεπτικών στοιχείων κλπ), απαιτώντας ένα σύστημα GPS και μια μονάδα εντολής που περιέχει ένα σχέδιο εφαρμογής του επιθυμητού ποσοστού εισροών για κάθε θέση μέσα στο αγροτεμάχιο ή να είναι συστήματα βασισμένα σε αισθητήρες που περιλαμβάνουν ένα αισθητήρα που προσδιορίζει την ποσότητα της εισροής (π.χ. NDVI για την απαίτηση σε άζωτο) και μια δυναμική μονάδα εντολής η οποία καθορίζει την ποσότητα εφαρμογής για κάθε θέση μέσα στο αγροτεμάχιο (National Research Council, 1997).

Στις βασισμένες σε χάρτες εφαρμογές, οι χάρτες είναι βασισμένοι σε έναν περιορισμένο αριθμό δειγμάτων που μπορεί να οδηγήσει σε λάθη στην εφαρμογή εισροών. Η τεχνολογία συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών, που είναι βασισμένη σε χάρτες υιοθετείται για την λίπανση με φώσφορο, κάλιο και ασβέστιο. Οι μέθοδοι της παραπάνω τεχνολογίας είναι επίσης διαθέσιμες για λιπασματοδιανομείς που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή υγρών λιπασμάτων, άνυδρης αμμωνίας, ζιζανιοκτόνων, για μεθόδους σποράς καθώς επίσης και για τα συστήματα άρδευσης κεντρικού άξονα.

Στους διαθέσιμους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τα συστήματα μεταβλητών εφαρμογών περιλαμβάνονται εκείνοι που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, για την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, την περιεκτικότητα σε νιτρικά άλατα και τη φασματική ανάκλαση της καλλιέργειας.

Οι αισθητήρες που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο προσφέρουν ορισμένα οφέλη σε σχέση με τις βασισμένες σε χάρτες τεχνικές όπως είναι η άμεση και συνεχής μέτρηση που επιτρέπει στο χρήστη π.χ. να μειώσει το ποσοστό λίπανσης στην περιοχή. Οι αισθητήρες αυτοί προσφέρουν την ευκαιρία να αυτοματοποιηθεί η συλλογή δεδομένων για το έδαφος, τη συγκομιδή και τα παράσιτα σε υψηλότερο επίπεδο, κάτι που δεν είναι οικονομικά εφικτό με τις χειρωνακτικές μεθόδους δειγματοληψίας και εργαστηριακών αναλύσεων.

Έχουν όμως και μειονεκτήματα όπως τη δυσκολία απόλυτης συσχέτισης μετρούμενου στοιχείου και πραγματικών ιδιοτήτων του αγρού. Π.χ. η μέτρηση του NDVI και η συσχέτισή του με την επάρκεια αζώτου στο φυτό εξαρτάται από το χρώμα του φυτού (πράσινο, κίτρινο). Το κίτρινο όμως χρώμα εκτός από έλλειψη αζώτου μπορεί να οφείλεται στα σιτηρά και σε υπερβολική υγρασία ή σε παγωνιά που προηγήθηκε (Grove et al., 2007).

Τα αγροτεμάχια είναι ιδιαίτερος ετερογενή. Η αυξανόμενη δειγματοληψία θα οδηγήσει στον ακριβή χαρακτηρισμό της παραλλακτικότητας εντός του αγροτεμαχίου. Οι βελτιώσεις στην τεχνολογία Συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών και στα μοντέλα καλλιεργειών αναμένεται να προωθήσουν γρήγορα μια υψηλότερη χωρική πυκνότητα των μετρημένων παραμέτρων του εδάφους και της καλλιέργειας. Οι αισθητήρες απαιτείται να είναι γρήγοροι, αποδοτικοί και να μπορούν να αξιολογήσουν τους σημαντικούς παράγοντες για την παραγωγή. Οι Moran et al. (1997) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι επίγειοι αισθητήρες παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την οργανική ουσία και την υγρασία του εδάφους, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, τα ποσοστά αζώτου και νιτρικών αλάτων, τη συμπίεση, την εδαφολογική σύσταση, το επίπεδο αλατότητας, την ανίχνευση ζιζανίων και την κάλυψη των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες.

Αυτές οι παράμετροι καθώς επίσης το pH του εδάφους, η διαθεσιμότητα του σε φώσφορο και κάλιο δεν μπορούν να εξακριβωθούν από την τεχνολογία ανίχνευσης από απόσταση. Επιπλέον, η χρήση των επίγειων αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο παρέχει στους καλλιεργητές τον έλεγχο του συγχρονισμού της απόκτησης στοιχείων που δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με τις τεχνικές αισθητήρων από δορυφόρους ή από αεροσκάφη. Οι αισθητήρες που έχουν αναπτυχθεί έχουν τη δυνατότητα να μετρήσουν τις συνθήκες της καλλιέργειας και του εδάφους συμπεριλαμβανομένης της οργανικής ουσίας του εδάφους, της περιεκτικότητας του σε υγρασία, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του θρεπτικού επιπέδου, και του συντελεστή ανάκλασης καλλιεργειών

και ζιζανίων ώστε στην συνέχεια να λάβουν χώρα οι απαραίτητες εργασίες στα σημεία που απαιτείται.

1.6. Εκτίμηση της γονιμότητας του εδάφους στα πλαίσια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας

Μια από τις κυριότερες τεχνικές στα πλαίσια της εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας είναι η χαρτογράφηση του αγρού με βάση τα θρεπτικά συστατικά και τη μηχανική σύσταση του εδάφους. Η καταγραφή των στοιχείων αυτών πραγματοποιείται με δειγματοληψία του εδάφους από διάφορα σημεία του αγρού, ανάλυσή τους και δημιουργία θεματικών χαρτών με σκοπό την εκτίμηση της χωρικής παραλλακτικότητας των θρεπτικών στοιχείων σε ολόκληρη την έκταση του αγροτεμαχίου.

Η δειγματοληψία του εδάφους στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας πραγματοποιείται συνήθως με δύο τρόπους, που σκοπό έχουν τη διαίρεση του αγροτεμαχίου σε μικρότερα τμήματα.

Η πρώτη καλείται “δειγματοληψία πλέγματος” (grid sampling). Κατά τη μέθοδο αυτή το αγροτεμάχιο διαιρείται σε τετράγωνα πλέγματα ίδιας έκτασης και από κάθε πλέγμα λαμβάνονται εδαφικά δείγματα από διάφορα σημεία. Οι θέσεις δειγματοληψίας καταγράφονται με GPS και ακολουθεί εδαφολογική ανάλυση των δειγμάτων (Ferguson, 1994).

Η δεύτερη μέθοδος δειγματοληψίας, βασίζεται στη δειγματοληψία με βάση τις ζώνες διαχείρισης που δημιουργούνται μέσα στον αγρό. Οι ζώνες αυτές δημιουργούνται ύστερα από την μελέτη κάποιου φυσικού χαρακτηριστικού του εδάφους (π.χ. της ηλεκτρικής αγωγιμότητας) ή με συνδυασμό του υπό μελέτη φυσικού χαρακτηριστικού με αεροφωτογραφίες. Από κάθε ζώνη, ανάλογα της έκτασης, συλλέγεται και ο ανάλογος αριθμός δειγμάτων και καταγράφεται το γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος του σημείου δειγματοληψίας με GPS (Srinivasan, 2006).

Μετά την λήψη των δειγμάτων και την κατάλληλη επεξεργασία τους ακολουθεί η εργαστηριακή τους ανάλυση. Κατά την ανάλυση γίνεται προσδιορισμός στοιχείων που καθορίζουν την γονιμότητα του εδάφους όπως η μηχανική του σύσταση, το pH, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, οι περιεκτικότητες θρεπτικών στοιχείων (N, P, K) κ.α.

Οι πληροφορίες αυτές αποτυπώνονται σε ψηφιακούς χάρτες μεγάλης ακρίβειας παρέχοντας τεράστιο όγκο πληροφοριών, οι οποίες οργανώνονται αναλύονται και επεξεργάζονται με κατάλληλα λογισμικά συστήματα (GIS).

Στη συνέχεια οι πληροφορίες αυτές μελετώνται σε συνδυασμό με άλλα στοιχεία του εδάφους, όπως η υγρασία και η ηλεκτρική του αγωγιμότητα. Η μελέτη αυτή βοηθά τις αποφάσεις του παραγωγού σχετικά με τις καλλιεργητικές μεθόδους που πρέπει να ακολουθηθούν και τις απαιτούμενες εισροές στην καλλιέργεια μέσω των λιπάνσεων.

1.7. Εκτίμηση της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του εδάφους στα πλαίσια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά του εδάφους το οποίο μελετάται στην Γεωργία Ακριβείας. Αυτό οφείλεται στην ευκολία καταγραφής της τόσο στον αγρό όσο και στο εργαστήριο και στην σταθερότητα των τιμών της που την καθιστά ένα αξιόπιστο αντικείμενο μελέτης.

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας, η μέτρηση της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται κυρίως για τον εντοπισμό ομοιογενών ζωνών διαχείρισης στο έδαφος του αγρού. Οι ζώνες αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν σαφέστερα με ανάλυση εδαφικών δειγμάτων και να παραχθούν έτσι χάρτες του αγρού εύκολα χρησιμοποιήσιμοι από τους παραγωγούς.

Το έδαφος αποτελείται από τρία μέρη. Τον αέρα που είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, το νερό που είναι καλός και το έδαφος που είναι ενδιάμεσος. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται κυρίως από το συνδυασμό των τριών παραμέτρων αλλά και από άλλους όπως η περιεκτικότητα του εδαφικού διαλύματος σε ιόντα και σε οργανική ουσία.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται επίσης και από ορισμένους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας. Τέτοιοι παράγοντες είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους, η αλατότητά του, το pH, η υγρασία του και το ανταλλάξιμο κάλιο και μαγνήσιο. Η ύπαρξη αισθητήρων μέτρησης αυτών των παραγόντων βοηθά στην παρακολούθηση της μεταβολής των τιμών τους και στην μελέτη της παραλλακτικότητάς τους στον αγρό μέσω των συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας.

1.7.1. Εδαφική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Soil Electrical Conductivity, EC)

Η εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια φυσική ιδιότητα του εδάφους που ορίζεται ως η ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τη μάζα του. Η αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται κυρίως μέσω των τριχοειδών διαστάσεων πόρων που σχηματίζουν μεταξύ τους τα εδαφικά συσσωματώματα. Οι πόροι αυτοί περιέχουν νερό και ιόντα σε διάλυση (εδαφικό διάλυμα). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μετριέται σε milliSiemens ανά μέτρο και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που έχουν επίδραση και στην παραγωγικότητά του (Lund et al., 1999).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι (Friedman, 1980):

- Η υγρασία του εδάφους. Αύξηση της υγρασίας του εδάφους αυξάνει και την ηλεκτρική του αγωγιμότητα.
- Η μηχανική σύσταση του εδάφους. Αμμώδη εδάφη έχουν χαμηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα ιλύος μέση ενώ τα αργιλώδη εδάφη έχουν υψηλή αγωγιμότητα. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο αριθμό τριχοειδών διαστάσεων πόρων που περιέχουν τα αργιλώδη εδάφη σε σχέση με τα αμμώδη με αποτέλεσμα να κατακρατείται σ' αυτά μεγαλύτερη ποσότητα νερού.
- Η παρουσία ηλεκτρολυτών (αλάτων) στο εδαφικό διάλυμα. Αύξηση της αλατότητας συνεπάγεται και αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.
- Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (Cation Exchange Capacity, C.E.C.). Εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα μοντοριλλονίτη, ιλλίτη και βερμικουλίτη έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και συγκρατούν πολλά κατιόντα. Η παρουσία αυτών των κατιόντων στο εδαφικό διάλυμα αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.
- Η οργανική ουσία του εδάφους. Εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα οργανικής ουσίας παρουσιάζουν και υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας εξαιτίας της συγκράτησης από την οργανική ουσία πολλών ιόντων.
- Η μηχανική καταπόνηση του εδάφους. Γενικά η συμπίεση του εδάφους προκαλεί και αύξηση της ηλεκτρικής του αγωγιμότητας.
- Η θερμοκρασία του εδάφους. Πτώση της θερμοκρασίας σε τιμές κάτω από το μηδέν (συνθήκες παγετού), επιφέρει σημαντική μείωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι η μη σημαντική μεταβολή της με την πάροδο του χρόνου. Έτσι μπορεί να αποτελέσει έναν από τους κύριους παράγοντες παρατήρησης σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας. Σε ένα τέτοιο σύστημα η μέτρηση της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ομοιογενών ζωνών διαχείρισης εντός του αγροτεμαχίου. Οι παράγοντες που μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στην τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε ένα έδαφος είναι (McNeill, 1980):

- Η μεταφορά εδάφους από σημείο σε σημείο.
- Το βαθύ όργωμα του εδάφους.
- Η χρήση ως νερού άρδευσης, ύδατος με μεγάλη περιεκτικότητα σε άλατα που θα αυξήσουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδαφικού διαλύματος.
- Η προσθήκη υπερβολικής ποσότητας οργανικής ουσίας.
- Η προσθήκη μεγάλων ποσοτήτων εδαφοβελτιωτικών π.χ. ασβέστη για διόρθωση του εδαφικού pH.

1.7.2. Φαινόμενη Ηλεκτρική Αγωγιμότητα του εδάφους (Apparent Electrical Conductivity, ECa)

Φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (ECa) ονομάζεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα της μάζας του εδάφους η οποία προσδιορίζεται στον αγρό (Corwin and Lesch, 2005).

Όπως αναφέραμε η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ορίζεται ως η ευκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτρόνια) διέρχεται από την μάζα του. Η κίνηση των ηλεκτρονίων εντός του εδάφους γίνεται μέσω του ύδατος που περιέχεται στους εδαφικούς πόρους, μέσω της επιφάνειας των ορυκτών του καθώς και από τα σημεία επαφής εδαφικού διαλύματος και εδαφικών τεμαχιδίων. Έτσι πολλά φυσικά χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η φαινόμενη πυκνότητα, η δομή, το εδαφικό δυναμικό κ.α. επηρεάζουν την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε πραγματικό χρόνο στον αγρό μπορεί να οδηγήσει στη χαρτογράφηση ενός μεγέθους (της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας), το οποίο φαίνεται πως επηρεάζεται από μια σειρά βασικών ιδιοτήτων του εδάφους που καθορίζουν τη γονιμότητά του. Τέτοιες ιδιότητες είναι η μηχανική του σύσταση, η οργανική ουσία, η αλατότητά του κ.α. Έτσι η γνώση της ECa του αγροτεμαχίου μπορεί να μας βοηθήσει στην σωστή εφαρμογή

των εισροών καθώς στη γνώση της παραλλακτικότητας αυτών των παραγόντων μέσα στην έκταση του αγρού (Corwin and Lesch, 2005).

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί ένα γρήγορο, αξιόπιστο, οικονομικό και εύκολο στη μέτρηση χαρακτηριστικό του εδάφους. Η μέτρησή της στον αγρό απαλείφει το κόστος της δειγματοληψίας και των εργαστηριακών αναλύσεων. Οι συσκευές καταγραφής της ECa, με τη βοήθεια GPS, επιτρέπουν τη δημιουργία χαρτών μέσω κατάλληλων λογισμικών. Γι' αυτό η μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι ένα από τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα εργαλεία της Γεωργίας Ακριβείας κατά τη μελέτη της χωρικής παραλλακτικότητας του αγρού. (Corwin and Lesch, 2003).

1.7.3. Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (EC)

Για τον εργαστηριακό προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους έχουν αναπτυχθεί δύο μέθοδοι που βασίζονται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τη χρήση ηλεκτρικού αγωγιμόμετρου. Οι δύο μέθοδοι είναι (Ehsani, 2005):

- Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εκχύλισμα κορεσμού ενός εδαφικού δείγματος που συμβολίζεται ως ECe.
- Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδαφικού υδατικού εκχυλίσματος που ανάλογα με την αναλογία βάρους εδαφικού δείγματος- βάρους υδατικού εκχυλίσματος (π.χ. 1:1, 1:2 κ.α.) η ηλεκτρική αγωγιμότητα που μετράται συμβολίζεται ως EC_{1:1}, EC_{1:2} αντίστοιχα.

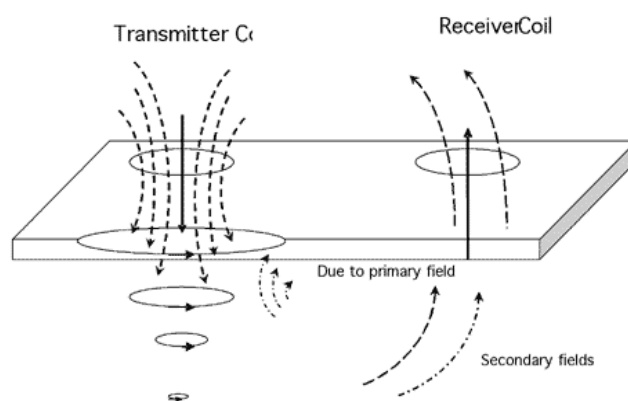
Η πρώτη μέθοδος μέτρησης, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εκχύλισμα κορεσμού, είναι πιο αντιπροσωπευτική και προσεγγίζει καλύτερα τις τιμές της EC σε συνθήκες αγρού. Ωστόσο η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρος και χρειάζεται μεγάλη εμπειρία στην παρασκευή του εκχυλίσματος στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η μέτρηση. Έτσι στις περισσότερες περιπτώσεις η εργαστηριακή μέτρηση της εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας πραγματοποιείται με τη δεύτερη μέθοδο, σε εδαφικό υδατικό εκχύλισμα, λόγω ταχύτητας, ευκολίας και αποτελεσματικότητας σε μεγάλο εύρος εδαφών.

1.7.4. Μέθοδοι προσδιορισμού της Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας του εδάφους (ECa)

Ο προσδιορισμός της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους γίνεται με δύο μεθόδους (Corwin and Lesch, 2003):

- Με τη μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (electromagnetic induction).
- Με τη μέθοδο της επαφής (contact method).

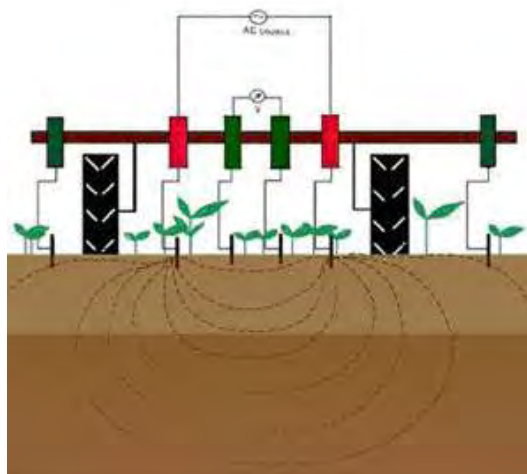
Η πρώτη μέθοδος βασίζεται στη μέτρηση της επίδρασης του εδάφους σε κάποιο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η επίδραση αυτή σχετίζεται με την εδαφική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στο έδαφος γίνεται από μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους αλλά δεν κάνει φυσική επαφή. Ένας αισθητήρας που βρίσκεται εφαρμοσμένος στα άκρα της πηγής του εναλλασσόμενου ρεύματος μετράει το παραγόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που προκαλεί το εναλλασσόμενο ρεύμα (Σχήμα 1.7.). Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους είναι ανάλογη προς την ένταση του παραγόμενου ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (Ehsani, 2005).



Σχήμα 1.7. Αρχή λειτουργίας αισθητήρα EC με τη μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

Με τη δεύτερη μέθοδο υπολογίζεται η ECa κατά τη μέτρηση της πτώσης δυναμικού μεταξύ ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται στο έδαφος. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει συσκευές που διοχετεύουν το ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος, μέσω μεμονωμένων μεταλλικών ηλεκτροδίων που εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 1.8.). Οι συσκευές αυτές έχουν τη δυνατότητα να μετρούν άμεσα την

πτώση της τάσης μεταξύ της πηγής του ηλεκτρικού ρεύματος και του ηλεκτροδίου αισθητήρα που είναι εγκατεστημένος στο έδαφος (Ehsani, 2005).



Σχήμα 1.8. Αρχή λειτουργίας αισθητήρα EC με τη μέθοδο επαφής

Το βάθος εδάφους στο οποίο έχουν ικανότητα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι συσκευές που χρησιμοποιούνται στις δύο μεθόδους, ποικίλει.

Στη μέθοδο εφαρμογής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, στο έδαφος το βάθος μέτρησης της συσκευής εξαρτάται από τον κάθετο ή οριζόντιο προσανατολισμό της, από το ύψος στο οποίο γίνεται η μέτρηση και από την απόσταση των πηνίων της πηγής εναλλασσόμενου ρεύματος. Στη μέθοδο της επαφής, το αποτελεσματικό βάθος μέτρησης της ECa εξαρτάται από την απόσταση τοποθέτησης των ηλεκτροδίων επαφής της συσκευής (Ehsani, 2005).

Οι δύο μέθοδοι μέτρησης της ECa, δίνουν παρόμοια αποτελέσματα και εφαρμόζονται στον αγρό με τη χρήση ειδικών συσκευών, οι οποίες με τη βοήθεια GPS και κατάλληλων λογισμικών δημιουργούν χάρτες της ECa του αγρού.

1.8. Έλεγχος των αρδεύσεων μέσω των συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας

Το νερό για την γεωργία αποτελεί το πολυτιμότερο αγαθό γι' αυτό απαιτείται ορθολογική χρήση και αποδοτική εφαρμογή στη χρήση του. Η υπερβολική άρδευση πέρα από την φυσική σπατάλη νερού και ενέργειας, προκαλεί και διήθηση των θρεπτικών ουσιών, με αποτέλεσμα την απομάκρυνσή τους από τη ριζόσφαιρα και τη μεταφορά τους στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες προκαλώντας τον ευτροφισμό

τους (Buchleiter et al., 1996). Από την άλλη πλευρά, άρδευση κάτω από τις απαιτούμενες ανάγκες της καλλιέργειας προκαλεί στα φυτά υδατικό στρες που οδηγεί σε μείωση της παραγωγής της καλλιέργειας (Nijbroek et al., 2003).

Οι αρδεύσεις μέχρι σήμερα πραγματοποιούνται συνήθως εμπειρικά, με τους παραγωγούς να αρδεύουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και σε λίγες περιπτώσεις μετά την μέτρηση της υγρασίας του εδάφους με ειδικούς αισθητήρες. Τα συστήματα άρδευσης που χρησιμοποιούνται πραγματοποιούν επιφανειακές αρδεύσεις, αρδεύσεις με καταιονισμό ή με σταγόνες (Τερζίδης κ.α., 1997).

Το νερό εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις ομοιόμορφα σε ολόκληρη την έκταση του αγρού ανεξάρτητα από τις κατά τόπους ιδιαίτερες ανάγκες. Αυτό οδηγεί στην εφαρμογή σε ορισμένα σημεία ποσοτήτων νερού υψηλότερων από τις ανάγκες της καλλιέργειας, ενώ σε άλλα πραγματοποιείται εφαρμογή μικρότερων ποσοτήτων νερού από τις απαιτούμενες.

Οι διαφορετικές ανάγκες του αγρού σε άρδευση οφείλονται στην παραλλακτικότητα ορισμένων εδαφικών παραγόντων που επηρεάζουν την ικανότητα συγκράτησης υγρασίας στο έδαφος και τη διαθεσιμότητα του νερού για τα φυτά. Τέτοιοι παράγοντες είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους (αργιλώδη και πηλώδη εδάφη συγκρατούν μεγαλύτερες ποσότητες υγρασίας από αμμώδη εδάφη που στραγγίζουν ευκολότερα), η περιεχόμενη οργανική ουσία του εδάφους κ.α. (Κεραμίδας, 2007).

Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα έχουν προταθεί διάφορες λύσεις που βασίζονται στη χρησιμοποίηση συστημάτων εφαρμογής μεταβλητής άρδευσης (Variable Rate Irrigation, VRI). Ένα τέτοιο σύστημα περιλαμβάνει αισθητήρες καταγραφής παραμέτρων του εδάφους, της καλλιέργειας, των καιρικών συνθηκών καθώς και εξοπλισμό εφαρμογής του νερού. Αυτά τα συστήματα αποτελούνται από ένα κεντρικό περιστρεφόμενο άξονα που επιτρέπει την παροχή νερού ανάλογα με τις ανάγκες κάθε τμήματος του αγρού. Οι ζώνες του χωραφιού που γίνονται οι μεταβλητές αρδεύσεις καταγράφονται σε ειδικό ελεγκτή του συστήματος ο οποίος είναι εφοδιασμένος με GPS και ελέγχει την κίνησή του (Al- Kafaishi et al., 2005). Ένα τέτοιο σύστημα άρδευσης εφαρμογής μεταβλητών δόσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.9.



Σχήμα 1.9. Σύστημα άρδευσης μεταβλητής δόσης

1.9. Σκοπός της εργασίας

Η ύπαρξη παραλλακτικότητας των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους κάνουν δύσκολη την ορθή εφαρμογή των περισσότερων εισροών στον αγρό. Η διαφοροποιημένη εφαρμογή εισροών ανάλογα με τις ανάγκες κάθε σημείου μπορεί να συντελεστεί μόνο με τη χρήση συστημάτων Γεωργίας Ακριβείας. Η μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους απευθείας στον αγρό, οδηγεί στη χαρτογράφηση μιας εδαφικής παραμέτρου που από τη μέχρι στιγμής έρευνα φαίνεται πως επηρεάζεται από άλλες εδαφικές παραμέτρους όπως είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους, η οργανική ουσία, η αλατότητα κ.α. Ταυτόχρονα η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί ένα δείκτη της εδαφικής υγρασίας.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι η διερεύνηση της παραλλακτικότητας ενός αμπελώνα εκτάσεως 10 στρεμμάτων στην περιοχή Μικροθηβών Μαγνησίας. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε με εύρεση της επιρροής κάθε εδαφικού παράγοντα στις τιμές της μετρούμενης φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καθώς και η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υγρασίας. Με αισθητήρα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας EM-38 και GPS δημιουργήθηκαν ζώνες αγωγιμότητας του χωραφιού ενώ πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις χημικών εδαφικών ιδιοτήτων (pH, οργανική ουσία, ανταλλάξιμο K^+ , διαθέσιμος P, Ca), φυσικών εδαφικών ιδιοτήτων (μηχανική σύσταση εδάφους) και μέτρηση υγρασίας με δίκτυο ασύρματων αισθητήρων. Οι παράμετροι αυτοί στη συνέχεια συσχετίστηκαν με την αγωγιμότητα και μεταξύ τους. Επίσης με GPS υψηλής ακρίβειας, τεχνολογίας

RTK, δημιουργήθηκε το ανάγλυφο του αγροτεμαχίου και παρατηρήθηκε η επίδραση του εδαφικού ανάγλυφου σε ορισμένες από τις παραπάνω εδαφικές παραμέτρους.

Κεφάλαιο 2. Αμπέλι

2.1. Γενικά

Το αμπέλι ή άμπελος η οиноφόρος (*Vitis vinifera*) είναι ένα πολυετές φυτό το οποίο καλλιεργείται για τον καρπό του (σταφύλι). Βασικό προϊόν του είναι ο οίνος ο οποίος αποτέλεσε ένα σημαντικό παράγοντα που επηρέασε τον ανθρώπινο πολιτισμό στη μακραίωνη εξέλιξή του. Η ιστορία του φυτού είναι συνυφασμένη με την ιστορία του κρασιού. Το άγριο Ευρωπαϊκό αμπέλι (*Vitis sylvestris*) είναι ενδημικό είδος της ευρύτερης μεσογειακής λεκάνης και επεκτείνεται ως την περιοχή του Καυκάσου που θεωρείται και ο τόπος καταγωγής του.

Οι γνώσεις γύρω από την αρχή και την εξέλιξη της καλλιέργειας της αμπέλου και της παρασκευής του οίνου δεν είναι αρκετά σαφείς. Ωστόσο, φαίνεται ότι η χρήση του καρπού της αμπέλου από τον άνθρωπο, άρχισε από την 7^η π.Χ. χιλιετία, δηλαδή από τις αρχές της Νεολιθικής περιόδου, στις περιοχές του Καυκάσου (Νικολάου, 2008).

Η καλλιέργεια του *Vitis vinifera* ξεκίνησε με τις μεταναστεύσεις λαών που κατοικούσαν στην νότια περιοχή του Καυκάσου στις ακτές της Ανατολικής Μεσογείου, περί την 5^η χιλιετία π.Χ.. Η καλλιέργεια εξαπλώθηκε αρχικά στη Μεσοποταμία, στην Αίγυπτο και στην Ελλάδα και συνεχίστηκε σε βορειότερες χώρες. Στην αμερικάνικη ήπειρο πέρασε περίπου το 1600 μ.Χ. με την άφιξη των πρώτων αποίκων, ενώ στην Βόρεια Αμερική εμφανίστηκαν υβρίδια με ενδημικά είδη *Vitis* της περιοχής. Τα υβρίδια αυτά σήμερα είναι γνωστά ως αμερικάνικα είδη και χρησιμοποιούνται ευρέως ως υποκείμενα.

Σε ότι αφορά την αμπελοκαλλιέργεια στην Ελλάδα αναφέρεται ότι κατά την περίοδο των ομηρικών χρόνων είχε επεκταθεί σε μεγάλη κλίμακα, γεγονός που φαίνεται από το ότι το όνομα πολλών πόλεων και νησιών σχετίζεται με την άμπελο και τον οίνο (Οινόη, Οινούσσεσ κ.α.). Ήδη από τον 8^ο αιώνα π.Χ. ο Ησίοδος έκανε αναφορά στον οίνο και την άμπελο, ενώ οι περισσότερες ιστορικές μαρτυρίες αναφέρουν την Κρήτη ως την πρώτη τοποθεσία στον ελλαδικό χώρο που καλλιεργήθηκε η άμπελος (Σταύρακας, 2001).

Οι πρώτοι φυτοπληθυσμοί του γένους *Vitis* φαίνεται πως είχαν κοινή γεωγραφική διανομή και φύονταν στις αρκτικές περιοχές της Ευρώπης, της Ανατολικής Ασίας, της

Αμερικής και της Γροιλανδίας. Σήμερα είναι γνωστές τρεις ομάδες ειδών του γένους *Vitis* (Σταύρακας, 2001):

α) Η βορειοαμερικάνικη ομάδα με κάποια επέκταση στην Κεντρική Αμερική και τη νότια τροπική και υποτροπική Αμερική. Η ομάδα αυτήν περιλαμβάνει 28 είδη, από τα οποία 18 καλλιεργούνται.

β) Η ομάδα της Ανατολικής Ασίας με περισσότερα από 40 είδη, από τα οποία μόνο η *Vitis amurensis* παρουσιάζει καλλιεργητικό ενδιαφέρον.

γ) Η ευρασιατική ομάδα που περιλαμβάνει μόνο το είδος *Vitis vinifera* L.

Το αμπέλι είναι πολυετές φυτό το οποίο ανήκει στην Οικογένεια Vitaceae με χαρακτηριστικό ξυλώδη αναρριχώμενο βλαστό, που λέγεται πρέμνο. Το μήκος του μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 40 μέτρα ωστόσο στις συστηματικές καλλιέργειες περιορίζεται με κλάδεμα σε ένα έως τρία μέτρα. Ο κορμός του έχει πολλαπλές διακλαδώσεις και αρκετούς βραχίονες και βλαστάρια διάφορων ηλικιών που αυξάνονται από την κορυφή τους.

Τα φύλλα του αμπελιού είναι χαρακτηριστικού παλαμοειδούς σχήματος, οδοντωτά ή πριονωτά και φύονται από το βλαστό με ένα μίσχο. Ωστόσο παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές ανάλογα με την ποικιλία και το είδος της αμπέλου όπως στο χρώμα τους, στην ύπαρξη ή μη χνουδιού στην κάτω επιφάνειά τους και στο μέγεθός τους.

Τα άνθη του είναι μικρά, πράσινου χρώματος που φύονται σε ταξιανθίες σύνθετου βότρυ. Ο καρπός που προκύπτει κατά την ωρίμανσή τους (σταφύλι) έχει, ανάλογα με την ποικιλία, διάφορα σχήματα και χρώματα (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003).

2.2. Η αμπελουργία στην Ελλάδα και στον κόσμο

Διαχρονικά οι εκτάσεις των ελληνικών αμπελώνων παρουσιάζουν αυξομειώσεις. Από τα διαθέσιμα στοιχεία του Δικτύου Πληροφόρησης της Περιφέρειας Θεσσαλίας, το 1988 σε όλη την επικράτεια υπήρχαν 1.613.308 στρέμματα αμπελώνων ενώ το 1989 παρουσιάζεται μια οριακή αύξηση 2.000 στρεμμάτων περίπου. Από το 1990 μέχρι και σήμερα η έκταση των αμπελώνων μειώνεται ενώ σύμφωνα με στοιχεία του 1997 η συνολική έκταση των αμπελώνων ήταν 1.323.175 στρέμματα. Οι προαναφερόμενοι πτωτικοί ρυθμοί της αμπελοκαλλιέργειας είναι της τάξης του 10% την τελευταία πενταετία έως το 1998. Συγκρίνοντας τα διαθέσιμα στοιχεία για τις εκτάσεις των

αμπελώνων της Ελλάδας (186.350ha) με τις αντίστοιχες χωρών μελών της Ένωσης, η χώρα μας βρίσκεται στις τελευταίες θέσεις απέχοντας κατά πολύ από τις εκτάσεις χωρών όπως η Ισπανία (1.210.000 ha) και η Γαλλία (978.000 ha).

Όσον αφορά την γεωγραφική κατανομή των ελληνικών εκτάσεων, ο μεγαλύτερος αριθμός αμπελώνων (στοιχεία του 1996) βρίσκεται στην Πελοπόννησο με 60.419 ha ενώ ακολουθούν η Κρήτη με 50.581ha και η περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας και Ευβοίας με 28.849 ha ενώ η Θεσσαλία είναι πολύ πιο πίσω με 8.696 ha. Όσον αφορά τις εκτάσεις των καλλιεργούμενων ποικιλιών στη χώρα μας, οι οινάμπελοι κατέχουν περίπου το 45% των αμπελώνων, ενώ οι υπόλοιπες εκτάσεις καλλιεργούνται με επιτραπέζιες ποικιλίες και σταφίδα. Η μέση έκταση για την Ελλάδα είναι περίπου 5 στρέμματα για τις ποικιλίες οινοποίησης ενώ για την Ε.Ε είναι 11-70 στρέμματα και για τις επιτραπέζιες ποικιλίες 4 στρέμματα για την Ελλάδα και 7-35 στρέμματα για την Ε.Ε.

Οι ποικιλίες που προορίζονται για επιτραπέζια κρασιά στην Ελλάδα καταλαμβάνουν το 80% περίπου της συνολικής έκτασης των οινάμπελων, σημειώνοντας πτώση της τάξης του 13,4 % από το 1988. Παράλληλα ένα σημαντικό στοιχείο είναι ότι ενισχύεται το μερίδιο των ποικιλιών για κρασιά ποιότητας, αν και παρουσιάζουν μια πτώση της τάξης του 2,6% αντίστοιχα. Η πτώση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μέτρο των επιδοτούμενων εκριζώσεων που εφάρμοσε η Κοινότητα, με σκοπό τον περιορισμό της υψηλής παραγωγής και των συσσωρευμένων αποθεμάτων.

Ως προς τον αριθμό των απασχολούμενων στις αμπελοκαλλιέργειες, στην Ελλάδα υπάρχουν 180.000 καλλιεργητές (στοιχεία του 1998) ή ποσοστό 18,72% του συνόλου των απασχολούμενων στον αγροτικό τομέα. Όπως και για την Ελλάδα έτσι και για την Ε.Ε. συνολικά ο τομέας αμπέλι- κρασί είναι εξαιρετικά σημαντικός μιας που η Ε.Ε. είναι ηγετική δύναμη σε παγκόσμιο επίπεδο με το 55% των παγκόσμιων εξαγωγών οίνου να πραγματοποιούνται από χώρες της Ε.Ε. (και σε μερίδιο αγοράς η Ε.Ε. κατέχει το 74,6% της αξίας του παγκόσμιου εμπορίου οίνου με την Ιταλία να έχει το 26,3%, τη Γαλλία 24,4%, την Ισπανία με 13,1% και την Ελλάδα με 0,9%). Επίσης χαρακτηριστικό της δυναμικότητας της Ευρωπαϊκής οινοπαραγωγής είναι ότι το 37,3% των παραγόμενων οίνων αντιστοιχεί σε κρασιά ποιότητας που προέρχονται από συγκεκριμένες αμπελουργικές ζώνες (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003).

Το κρασί που παράγεται διαφοροποιείται ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε τόπου, την ποικιλία και το έδαφος. Έτσι η ποικιλία Ξινόμαυρο στο

Αμύνταιο δίνει ερυθρώπα (ροζέ) κρασιά ενώ στην Νάουσα έχει διαφορετική συμπεριφορά αφού παράγει ροζέ και ερυθρά κρασιά παρόλο που πρόκειται για την ίδια ποικιλία και οι δυο αμπελώνες ανήκουν γεωγραφικά στη Μακεδονία.

Στα γεωγραφικά διαμερίσματα της Ελλάδας η αμπελουργική έκταση και η μέση ετήσια παραγωγή οίνων είναι (Οι δρόμοι του Ελληνικού κρασιού):

Πελοπόννησος

Αμπελουργική έκταση: 60.419 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 1.525.590 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Αγιωργίτικο, Κορινθιακή (σταφίδα), Μοσχάτο λευκό, Μοσχοφίλερο, Ρεφόσκο, Ροδίτης, Σουλτανίνα (σταφίδα).

Κρήτη

Αμπελουργική έκταση: 50.581ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 959.480 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Βηλάννα, Κοτσιφάλι, Λιάτικο, Μαντηλαριά, Ρωμέϊκο.

Στερεά Ελλάδα & Εύβοια

Αμπελουργική έκταση: 28.849 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 1.988.790hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Σαββατιανό.

Μακεδονία & Θράκη

Αμπελουργική έκταση: 15.500 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 514.760 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Ασύρτικο, Αθήρι, Ροδίτης, Λημνιό, Ξινόμαυρο, Νεγκόσκα, Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc.

Θεσσαλία

Αμπελουργική έκταση: 8.696 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 423.910 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Κρασάτο, Μαύρο Μεσενικόλα, Μοσχάτο Αμβούργου, Μπατίκι, Εινόμαυρο, Σταυρωτό.

Νησιά Ιονίου Πελάγους

Αμπελουργική έκταση: 8.716 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 215.840 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Βερτζαμί, Μαυροδάφνη, Μοσχάτο λευκό, Ρομπόλλα.

Νησιά Αιγαίου Πελάγους

Αμπελουργική έκταση: 9.131ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 151.300 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Αϊδάνι, Ασύρτικο, Λιμνιό, Μαντηλαριά, Μονεμβασία, Μοσχάτο, Αλεξανδρείας.

Δωδεκάνησα

Αμπελουργική έκταση: 3.438 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 128.850 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Αθήρι, Μαντηλαριά, Μοσχάτο λευκό.

Ήπειρος

Αμπελουργική έκταση: 1.022 ha (εκτάρια)

Παραγωγή οίνων: 30.620 hl (εκατόλιτρα)

Ποικιλίες: Ντεμπίνα, Cabernet Sauvignon

2.3. Τα προϊόντα της αμπέλου

▪ Επιτραπέζια σταφύλια

Μερικές ποικιλίες της αμπέλου παράγουν σταφύλια τα οποία χρησιμοποιούνται για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο ως νωπά φρούτα. Οι ποικιλίες αυτές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή επιτραπέζιων σταφυλιών, λόγω των ιδιοτήτων που έχουν και οι οποίες αφορούν την εποχή ωρίμανσης των σταφυλιών, το μέγεθος της

ράγας τους, το σχήμα τους καθώς και λόγω των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών και της γεύσης τους. Τα νωπά σταφύλια περιέχουν σάκχαρα σε μεγάλες ποσότητες, ανόργανα άλατα και βιταμίνες με πολύ σημαντικές διαιτητικές ιδιότητες. Επίσης η περιεκτικότητά τους σε λιπαρές ουσίες και πρωτεΐνες είναι χαμηλή ενώ υψηλή είναι η περιεκτικότητά τους σε φαινολικές ενώσεις που διαθέτουν έντονη αντιοξειδωτική δράση και βακτηριοστατικές ιδιότητες.

▪ Σταφίδες

Η αποξήρανση των σταφυλιών ορισμένων ποικιλιών της αμπέλου και η παραγωγή σταφίδας, δίνει τη δυνατότητα κατανάλωσης των καρπών όλο το χρόνο. Η ξηρά σταφίδα είναι ένα προϊόν πλούσιο σε ενέργεια (3.340 calories/kg) και η περιεκτικότητά της σε σάκχαρα φθάνει το 60-68%. Οι σταφίδες παράγονται από σταφύλια υψηλής περιεκτικότητας σε σάκχαρα, τα οποία έχουν ράγες μικρού μεγέθους, συνήθως χωρίς σπόρους και με λεπτό φλοιό.

▪ Οίνος

Ο οίνος είναι προϊόν της αλκοολικής ζύμωσης του χυμού της σταφυλής, ο οποίος ονομάζεται γλεύκος ή μούστος. Η αλκοολική ζύμωση είναι η ενζυμική μετατροπή των σακχάρων του γλεύκους σε αιθυλική αλκοόλη με τη βοήθεια ζυμομυκήτων της επιφάνειας του φλοιού των ραγών του σταφυλιού. Οι ποικιλίες που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την παραγωγή σταφυλιών προς οινοποίηση αποκαλούνται ποικιλίες οινοποιίας. Στις ποικιλίες αυτές κατά την εποχή ωρίμανσης των σταφυλιών τα οργανοληπτικά τους χαρακτηριστικά επιτρέπουν την οινοποίηση του γλεύκους.

▪ Οξικό οξύ

Μεγάλες ποσότητες μαγειρικού ξυδιού παράγονται από κρασιά με την βοήθεια οξοποιητικών βακτηρίων που μετατρέπουν την αιθυλική αλκοόλη σε οξικό οξύ.

- **Άλλα χρήσιμα προϊόντα**

Πάρα πολλά ακόμη προϊόντα προέρχονται από τα υπολείμματα της οινοποίησης και της αμπελοκαλλιέργειας όπως: Τρυγικό οξύ, έλαια προερχόμενα από τα γίγαρτα, αμπελόφυλλα για μαγειρική χρήση, κληματίδες που ενσωματώνονται στο έδαφος των αμπελώνων, χυμός σταφυλής, συμπυκνωμένα γλεύκη κ.α.

2.4. Ετήσιος κύκλος του αμπελιού

Το αμπέλι ως πολυετές φυτό κατά την διάρκεια του Χειμώνα βρίσκεται σε κατάσταση ληθάργου, που αυξάνει την αντοχή του στις χαμηλές θερμοκρασίες. Η κατάσταση αυτή του φυτού όπου σταματά κάθε ορατή του δραστηριότητα διαρκεί από το στάδιο της φυλλόπτωσης (τέλος βλαστικής περιόδου) έως το στάδιο της δακρύρροιας του φυτού (τέλος Χειμώνα). Η επαναδραστηριοποίηση του φυτού ξεκινά μόλις η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ξεπεράσει τους 15°C, ωστόσο το φυτό την εποχή αυτή είναι πολύ ευαίσθητο στους πρώτους εαρινούς παγετούς (Νικολάου, 2008).

Η πρώτη ορατή εκδήλωση μετάβασης του φυτού από τη χειμερινή ανάπαυση προς τη βλαστική περίοδο είναι η εμφάνιση δακρύρροιας. Κατά το τέλος του Χειμώνα, μετά το κλάδεμα, παρατηρείται εκροή νερού από τις τομές κλαδέματος που αποτελεί ένδειξη της απορρόφησης νερού από τις ρίζες. Η ποσότητα νερού κυμαίνεται από 0,5-5,5 λίτρα ανάλογα του υποκειμένου και της ηλικίας του πρέμνου. Η δακρύρροια περιορίζεται και σταματά λίγο πριν την εκβλάστηση των οφθαλμών.

Η εκβλάστηση αρχίζει με τη διόγκωση των οφθαλμών οι οποίοι μετά από λίγες ημέρες <<ανοίγουν>>. Ως ημερομηνία εκβλάστησης θεωρείται αυτή κατά την οποία το 50% των οφθαλμών έχει <<ανοίξει>>. Η ημερομηνία αυτή ποικίλει ανάλογα με την καλλιεργούμενη ποικιλία, τη θερμοκρασία που επικρατεί στην περίοδο εκβλάστησης και το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Επίσης διάφοροι άλλοι παράγοντες, όπως η φύση του εδάφους, η υγρασία και ο χρωματισμός του, η ημερομηνία κλαδέματος και οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του Χειμώνα επηρεάζουν την ημερομηνία εκβλάστησης (Σταύρακας, 2001).

Οι βλαστοί που προέρχονται από τους οφθαλμούς, επιμηκύνονται σταδιακά και επάνω τους εμφανίζονται τα όργανα του βλαστού τα οποία είχαν προσχηματιστεί την προηγούμενη βλαστική περίοδο μέσα στον οφθαλμό από τον οποίο προήλθε ο βλαστός. Η αύξηση του βλαστού οφείλεται στη δραστηριότητα του ακραίου

μεριστώματος της κορυφής το οποίο βρίσκεται σε συνεχή δραστηριότητα εφόσον οι θερμοκρασίες είναι ευνοϊκές και υπάρχει κανονικός εφοδιασμός του φυτού σε νερό και θρεπτικά στοιχεία. Παράλληλα επιμηκύνονται και τα μεσογονάτια τα οποία είχαν σχηματιστεί εντός των βλαστικών αξόνων των οφθαλμών κατά την προηγούμενη βλαστική περίοδο. Κατά τον πρώτο μήνα μετά την εκβλάστηση ο ρυθμός αύξησης των βλαστών είναι χαμηλός, περί την ανθοφορία φθάνει σε ένα μέγιστο σημείο, ακολούθως πέφτει και πρακτικά σταματά από τα μέσα Ιουλίου. Η ανάσχεση αυτή της αύξησης των βλαστών έχει μεγάλη σημασία γιατί επηρεάζει θετικά την ποιότητα των καρπών.

Η ανθοφορία της αμπέλου εκδηλώνεται από τις ταξιανθίες που αναπτύσσονται στο νεαρό βλαστό λίγες μέρες μετά την εκβλάστηση. Το άνοιγμα των ανθέων δεν είναι ομοιόμορφο σε όλη τη ταξιανθία αλλά πρώτα ανοίγουν τα άνθη της βάσης της ταξιανθίας και ακολούθως τα υπόλοιπα προς το μέσο και το άκρο. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες η διάρκεια ολοκλήρωσης της ανθοφορίας κυμαίνεται από 5-10 ημέρες. Για την εκδήλωσή της η θερμοκρασία πρέπει να ξεπεράσει τους 15 °C με ευνοϊκότερες τις θερμοκρασίες μεταξύ 20-25 °C. Η γονιμοποίηση στις περισσότερες ποικιλίες αμπέλου πραγματοποιείται από τη γύρη άλλων ανθέων (Νικολάου, 2008).

Μετά τη γονιμοποίηση του άνθους ακολουθεί η δημιουργία της ράγας. Το σημαντικότερο στάδιο κατά τη δημιουργία της είναι ο περκασμός ή γυάλισμα της ράγας. Αυτό το στάδιο στις περισσότερες ποικιλίες διαρκεί 5-8 εβδομάδες. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού τα οξέα αρχίζουν να μειώνονται σταδιακά και τα σάκχαρα αυξάνουν. Κατά το τέλος του σταδίου αυτού η αναλογία γλυκόζης και φρουκτόζης είναι περίπου ίση, τα συνολικά σάκχαρα έχουν φθάσει λίγο κάτω από τα ανώτερα επίπεδα και τα οξέα έχουν μειωθεί κατά πολύ. Μετά το στάδιο αυτό τα σταφύλια συγκομίζονται, ενώ ο ακριβής χρόνος συγκομιδής προσδιορίζεται με τον υπολογισμό των σακχάρων και των οξέων. Τα ποσοστά των ουσιών που περιέχονται στο σταφύλι κατά την πλήρη ωρίμανσή διαφέρουν σε μικρό βαθμό από ποικιλία σε ποικιλία και σε γενικές γραμμές είναι (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003):

Νερό	75-80 %
Σάκχαρα	15-25 %
Οξέα	3-8 %
Ανόργανες ενώσεις	2-3 % (κυρίως άλατα K, Ca, Na, Mg, Fe)
Αζωτούχες ενώσεις	1-2 %
Λοιπές ουσίες	4-5 %

2.5. Στοιχεία οινολογίας

Με βάση την ελληνική νομοθεσία: “Οίνος καλείται το ποτό που προέρχεται αποκλειστικά από ολική ή μερική αλκοολική ζύμωση νωπών σταφυλιών ή γλεύκους από νωπά σταφύλια”. Βλέπουμε λοιπόν ότι η πρώτη ύλη της οινοβιομηχανίας, ορισμένη και από το νόμο, είναι η σταφυλή δηλαδή το νωπό προϊόν της αμπέλου. Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν για τη δημιουργία οίνου, είναι η γνώση της πρώτης ύλης δηλαδή της σταφυλής (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003).

Αφού ορισθεί από ειδικούς η κατάλληλη εποχή του τρυγητού, τα σταφύλια συλλέγονται από το χωράφι και μεταφέρονται στο οινοποιείο όπου επεξεργάζονται. Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των σταφυλιών περιλαμβάνει την έκθλιψή τους, το σπάσιμο δηλαδή των ραγών, έτσι ώστε ο χυμός που υπάρχει στις ράγες να ελευθερωθεί και να έρθει σε επαφή με τα στερεά μέρη της σταφυλής και τα κύτταρα των ζωμών που υπάρχουν στον φλοιό της ράγας.

Παλαιότερα η έκθλιψη των σταφυλιών γίνονταν με πάτημα με τα πόδια σε ειδικά πατητήρια τους “ληνούς”. Σήμερα υπάρχουν ειδικά μηχανήματα, διαφόρων τύπων, για την έκθλιψη των σταφυλιών τα λεγόμενα θλιπτήρια ή κοινώς σπαστήρες που πραγματοποιούν είτε μόνο έκθλιψη των ραγών είτε συνδυάζουν έκθλιψη και αποβοστρύχωση (απομάκρυνση των βοστρύχων) συγχρόνως. Κατά την επεξεργασία αυτή προκύπτει ένα υδατικό διάλυμα διαφόρων οργανικών και ανόργανων ουσιών του σταφυλιού που ονομάζεται γλεύκος.

Η σύσταση του γλεύκους είναι: 70-80% κατά βάρους νερό, 120-300 γραμμάρια ανά λίτρο σάκχαρα (κυρίως γλυκόζη και φρουκτόζη) και ένας αριθμός οξέων, τα κυριότερα από τα οποία είναι το τρυγικό οξύ, το μηλικό οξύ και το κιτρικό οξύ (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003).

Μετά την επεξεργασία των σταφυλιών στα θλιπτήρια ακολουθεί η στράγγιση του γλεύκους, δηλαδή ο αποχωρισμός αυτού από τα υπολείμματα της έκθλιψης των σταφυλιών που ονομάζονται στέμφυλα. Η στράγγιση γίνεται συνήθως κατά την παρασκευή λευκών κρασιών. Τα στέμφυλα αφότου διαχωριστούν περιέχουν ακόμη ένα σημαντικό ποσό γλεύκους το οποίο λαμβάνεται αφού ασκηθεί πίεση σ’ αυτά. Το αναμιχθεί το γλεύκος που προέρχεται από πίεση με το αρχικό γλεύκος εξαρτάται από το είδος του οίνου που θα παραχθεί. Τα γλεύκος που παράγεται μετά την άσκηση μεγαλύτερων πιέσεων είναι χαμηλότερης ποιότητας με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή υψηλής ποιότητας οίνων.

Η απόδοση των σταφυλιών σε γλεύκος κυμαίνεται από 79-82% κατά βάρος ανάλογα με την ποικιλία, τις συνθήκες ωρίμανσης, την υγιεινή κατάσταση των σταφυλιών κ.λ.π. Οι ποικιλίες σταφυλιών με πολλά σάκχαρα πιέζονται δυσκολότερα από αυτές με χαμηλή περιεκτικότητα σακχάρων γι' αυτό και η απόδοσή τους σε γλεύκος είναι συνήθως μικρότερη (Σταύρακας, 2001).

Το γλεύκος που λαμβάνεται μετά από αυτή την διαδικασία περιέχει στερεά συστατικά που προέρχονται από τους φλοιούς, τους βοστρύχους, τα γίγαρτα και την σάρκα των σταφυλιών. Για τον λόγο αυτό πριν από την αλκοολική ζύμωση του γλεύκους προηγείται η διαύγασή του, η απομάκρυνση δηλαδή των στερεών συστατικών του. Αυτή πραγματοποιείται είτε χημικά με τη χρήση θειικού οξέος είτε μηχανικά με φυγοκέντριση.

Μετά το πέρας της διαύγασης του γλεύκους αυτό αφήνεται σε ήπια θερμοκρασία παρουσιάζοντας μετά από μικρό διάστημα ζωηρή αντίδραση που περιλαμβάνει έκλυση αερίου διοξειδίου του άνθρακα, ανύψωση της θερμοκρασίας του και σχηματισμό αιθυλικής αλκοόλης και οξέων. Συγχρόνως, η περιεκτικότητα του γλεύκους σε σάκχαρα μειώνεται σταδιακά και η συγκέντρωσή τους υπολογίζεται εργαστηριακά με διαθλασίμετρο σε μονάδες Baume. Η διάσπαση αυτή καλείται αλκοολική ζύμωση η οποία κατά τις πρώτες μέρες της αντίδρασης είναι έντονη και στη συνέχεια ηπιότερη. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης είναι η μετατροπή του γλεύκους σε κρασί.

Το ποσοστό αιθυλικής αλκοόλης που παράγεται κατά την αλκοολική ζύμωση είναι σημαντικό, καθώς αποτελεί το βασικό παράγοντα ποιότητας του κρασιού. Επίσης η περιεκτικότητα οξέων πρέπει να είναι όσο το δυνατό χαμηλότερη καθώς υψηλές τιμές οξέων δίνουν άσχημη γεύση στο κρασί.

Οι κυριότεροι μικροοργανισμοί που δρουν στην αλκοολική ζύμωση είναι μύκητες της κλάσεως των ασκομυκήτων του γένους των σακχαρομυκήτων. Τα κυριότερα είδη σακχαρομυκήτων που συναντώνται στην παραγωγή οίνου είναι: *Saccharomyces ellisporidea*, *S. Apiculatus* και *S. Pastorianus*. Οι σακχαρομύκητες βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των σταφυλιών και μεταφέρονται στο γλεύκος κατά την έκθλιψη αυτών και την επαφή του χυμού με τα άλλα μέρη της σάρκας τους.

Η πορεία της αλκοολικής ζύμωσης επηρεάζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του γλεύκους. Σε χαμηλές θερμοκρασίες οι μύκητες δρουν αργά ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 35 °C αδρανοποιούνται. Καταλληλότερη θερμοκρασία διεξαγωγής της ζύμωσης είναι 20-30 °C.

Την ολοκλήρωση της αλκοολικής ζύμωσης ακολουθεί η εμφιάλωση του οίνου σε φιάλες. Αυτές, πριν τη χρήση τους και την πλήρωσή τους με οίνο, ξεπλένονται σε ειδικά πλυντήρια με διαλύματα NaOH σε θερμοκρασία 65-85 °C. Μετά τη διαδικασία αυτή ακολουθεί το στέγνωμα της φιάλης, η τοποθέτηση της ετικέτας και ο πωματισμός της που αποτελεί και το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας (Ζαρμπούτης και Τσιβεριώτου, 2003).

2.6. Συσχέτιση ποιότητας και παραγωγής με εδαφοχημικούς παράγοντες

Οι κύριοι συντελεστές που επιδρούν άμεσα στην ποιότητα των προϊόντων της αμπέλου είναι το κλίμα, η ποικιλία της αμπέλου και το έδαφος με την σύστασή του και τη διαθεσιμότητα ορισμένων στοιχείων που επηρεάζουν την ποιότητα των προϊόντων. Στόχος κάθε παραγωγού είναι ο σωστός συνδυασμός των συντελεστών με κατάλληλες επεμβάσεις από την πλευρά του, ώστε η άμπελος να παράγει επαρκώς ώριμες σταφυλές, είτε για οινοποίηση, είτε για κατανάλωση, είτε για σταφιδοποίηση εξασφαλίζοντας και βελτιώνοντας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κάθε ποικιλίας (Σταύρακας, 2001).

Η άμπελος είναι ένα φυτό που μπορεί και αναπτύσσεται σε ένα ευρύ φάσμα εδαφικών τύπων, από αβαθή εδάφη μικρής γονιμότητας, επικλινή, μέχρι σε γόνιμα εδάφη με μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού. Η επίδραση του εδάφους στην αύξηση της αμπέλου και στην ποιότητα των προϊόντων της είναι πολύ σημαντική. Σύμφωνα με τον Saayman (1977) υπάρχει σημαντική επίδραση του τύπου του εδάφους που βρίσκεται εγκατεστημένος ο αμπελώνας με την ποιότητα των σταφυλιών, την ικανότητα συγκράτησης νερού στο έδαφος καθώς και με τη ζωηρότητα των πρέμων.

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του εδάφους που καθορίζουν την καταλληλότητα ενός εδάφους για την εγκατάσταση ενός αμπελώνα και τη σωστή ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των πρέμων, που καθορίζει και την παραγωγικότητά τους, είναι η διαθεσιμότητα νερού στο φυτό από το έδαφος και ο καλός αερισμός του εδάφους (Hamblin, 1985). Οι Rowe (1993) και Wang et al. (2001) υποστήριξαν ότι στις περιπτώσεις που το νερό και η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος δεν αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες ανάπτυξης της αμπέλου, το ριζικό σύστημα του φυτού έχει καλή ανάπτυξη που επιδρά θετικά στη λειτουργία του φυτού, στην παραγωγικότητά του και στην ποιότητα των προϊόντων του.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο του εδάφους που επιδρά στην ανάπτυξη της αμπέλου και στην ποιότητα των σταφυλιών είναι το εδαφικό pH. Το αμπέλι αναπτύσσεται κανονικά σε εδάφη που οι τιμές του pH κυμαίνονται μεταξύ 5 και 8. Σε εδάφη με υψηλό pH η διαλυτότητα των περισσότερων θρεπτικών στοιχείων μειώνεται σημαντικά με αποτέλεσμα αυτά να μην είναι διαθέσιμα για το φυτό. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η μείωση που παρατηρείται στην ικανότητα πρόσληψης από το φυτό μαγνησίου, γεγονός που μειώνει την φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού και την παραγωγή σακχάρων, υποβαθμίζοντας έτσι και την ποιότητα του κρασιού που θα παραχθεί. Από την άλλη, σε εδάφη με $pH < 5$ η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος δεν είναι κανονική με αποτέλεσμα τη μειωμένη πρόσληψη νερού και θρεπτικών συστατικών (Jackson, 2000).

Δυο άλλοι εδαφικοί παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγικότητα και την ποιότητα των καρπών της αμπέλου είναι η συνεκτικότητα και η πυκνότητα του εδάφους. Σε εδάφη που πραγματοποιούνται εργασίες με βαριά μηχανήματα το έδαφος γίνεται συνεκτικό με αποτέλεσμα την μείωση του πορώδους και της αναπνοής του ριζικού συστήματος. Αυτό οδηγεί σε μειωμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος και σε μείωση της απορρόφησης θρεπτικών στοιχείων από το φυτό.

Επίσης η αύξηση της αλατότητας του εδάφους του αμπελώνα σύμφωνα με τους Walker et al. (1996) προκαλεί τοξικά προβλήματα και προβλήματα λόγω της αυξημένης όσμωσης, που οδηγούν σε μείωση της παραγωγής, σε μειωμένη ανάπτυξη των πρέμων και σε αύξηση της συγκέντρωσης οξέων και ιόντων χλωρίου και νατρίου στους καρπούς.

Οι παραπάνω εδαφικοί παράγοντες μαζί με ένα πλήθος ακόμη παραγόντων όπως η μηχανική σύσταση του εδάφους, το χρώμα του, η περιεχόμενη οργανική ουσία κ.α. επηρεάζουν άμεσα την παραγωγικότητα αλλά και την ποιότητα των προϊόντων της αμπέλου. Ο παραγωγός αποσκοπώντας σε αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας πρέπει να εφαρμόζει καλλιεργητικές τεχνικές και επεμβάσεις, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη τις κλιματικές συνθήκες της εποχής, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις αυτών των παραγόντων στην αμπελοκαλλιέργεια.

2.7. Αμπελουργία ακριβείας

Σύμφωνα με τον Bramley (2001) η αμπελουργία ακριβείας είναι η επέκταση εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνες και αποτελεί μια συνεχή κυκλική διαδικασία και απαρτίζεται από τα εξής τέσσερα στάδια:

Στο πρώτο στάδιο (στάδιο παρατήρησης) γίνεται χαρτογράφηση της παραγωγής (yield mapping) στον αγρό, με την χρήση οργάνων μέτρησης της παραγωγής και GPS. Στο στάδιο αυτό μπορούμε να αποκτήσουμε γνώση της παραλλακτικότητας της απόδοσης των πρέμνων σε ολόκληρη την έκταση του αγρού.

Στο δεύτερο στάδιο (στάδιο ερμηνείας) πραγματοποιείται μελέτη του χάρτη παραγωγής και συσχετίσή του με άλλες χρήσιμες πληροφορίες που λαμβάνονται από δορυφορικές φωτογραφίες, χάρτες εδαφικών ιδιοτήτων (π.χ. αγωγιμότητας, θρεπτικών στοιχείων κ.α.), χάρτες αναγλύφου κ.α. χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό (GIS). Οι χάρτες των εξεταζόμενων παραμέτρων δημιουργούνται είτε ύστερα από μέτρηση του υπό εξέταση μεγέθους με κατάλληλο όργανο μέτρησης (π.χ. ηλεκτρική αγωγιμότητα/ EM38) είτε με δειγματοληψία εδάφους από διάφορα σημεία του χωραφίου. Η κάθε πληροφορία σε ένα πρόγραμμα GIS αποτελεί ένα στρώμα που συσχετίζεται με όλες τις υπόλοιπες πληροφορίες. Το αποτέλεσμα της συσχέτισης των πληροφοριών μας οδηγεί στη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης (zone management) και στην εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων.

Στο τρίτο στάδιο της αμπελουργίας ακριβείας (στάδιο εκτίμησης) λαμβάνει χώρα η διαδικασία που σαν σκοπό έχει τη δημιουργία ενός σχεδίου διαχείρισης του αγροκτήματος. Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή του σχεδίου διαχείρισης του προηγούμενου σταδίου με χρήση του χάρτη παραγωγής και συσχετίσή του με τους άλλους χάρτες. Η εφαρμογή του σχεδίου γίνεται με τη χρήση συστημάτων μεταβλητών εφαρμογών. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της διαχείρισης, οδηγούν τους παραγωγούς σε νέες παρατηρήσεις με διαφορετικά αποτελέσματα



Σχήμα 2.1. Κυκλική διαδικασία αμπελουργίας ακριβείας

Κεφάλαιο 3. Υλικά και Μέθοδοι

3.1. Πειραματικός αγρός

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στον αμπελώνα του Δημητρίου Τυμπλαλέξη που βρίσκεται στο Δημοτικό Διαμέρισμα Μικροθηβών, του Δήμου Νέας Αγχιάλου στην Μαγνησία. Η συνολική έκταση του αμπελώνα είναι 45 στρέμματα και αποτελείται από τρία χωράφια έκτασης 22, 10 και 11 στρεμμάτων στα οποία έχουν εγκατασταθεί αμπελώνες το 1996, το 2004 και το 2008 αντίστοιχα.

Το αμπέλι στο οποίο πραγματοποιήθηκε η έρευνα είναι το αμπέλι έκτασης 10 στρεμμάτων, το οποίο βρίσκεται εγκατεστημένο σε επικλινή λοφίσκο, ενώ η υπόλοιπη έκταση του αμπελιού είναι επίπεδη (Σχήμα 3.1.). Στο άνω και κάτω όριο του αμπελώνα διέρχονται αγροτικοί δρόμοι που χωρίζουν τον αμπελώνα από άλλους γειτονικούς αμπελώνες. Στο δεξί τμήμα του αγρού βρίσκεται οπωρώνας μήλων ενώ το αριστερό τμήμα του γεινιάζει με ακαλλιέργητη έκταση.



Σχήμα 3.1. Πειραματικός αμπελώνας

Οι αποστάσεις φύτευσης μεταξύ των πρέμων είναι 0,9 μέτρα και μεταξύ των γραμμών 2,6 μέτρα. Η ποικιλία της αμπέλου που καλλιεργείται στο πειραματικό αγροτεμάχιο είναι “Αγιωργίτικο” και η συνολική παραγόμενη ποσότητα σταφυλιών επεξεργάζεται στο ιδιωτικό οινοποιείο της οικογένειας Τυμπλαλέξη που βρίσκεται στις Μικροθήβες, σε απόσταση 800 μέτρων από το κτήμα για την παραγωγή κρασιού, επωνυμίας <<Κτήμα Τυμπλαλέξη>>.

3.2. Ποικιλία αμπέλου

Η ποικιλία που βρίσκεται εγκατεστημένη στον πειραματικό αμπελώνα είναι η ποικιλία “Αγιωργίτικο”. Η ποικιλία αυτή (γνωστή και σαν Μαύρο Νεμέας, Μαυρούδι Νεμέας, Μαύρο και Μαυράκι), είναι μία από τις πιο εκλεκτές και τις πιο πλούσιες σε χρώμα ελληνικές ερυθρές ποικιλίες σταφυλιών. Οι περισσότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις (περίπου 21.000 στρέμματα) βρίσκονται στη ζώνη παραγωγής οίνων Ονομασίας Προέλευσης Ανώτερης Ποιότητας (Ο.Π.Α.Π.) «Νεμέα».

Η προέλευσή της είναι από τη Νεμέα. Καλλιεργείται ιδιαίτερα στο νομό Κορινθίας όπου καταλαμβάνει το 80% των καλλιεργούμενων αμπελώνων, καθώς και σε πολλά άλλα αμπελουργικά διαμερίσματα της Πελοποννήσου (Αργολίδα, Μεσσηνία), στη Στερεά Ελλάδα, στη Θεσσαλία και την Εύβοια (Νικολάου, 2008).

Τα σταφύλια της ποικιλίας αυτής είναι μέσου μεγέθους, πυκνά, με σφαιρικές ράγες, χυμώδη και με μαλακή σάρκα (Σχήμα 3.2.). Τα πρέμνα διαμορφώνονται σε γραμμοειδή σχήματα και δέχονται βραχύ κλάδεμα. Από την ποικιλία αυτήν προέρχονται ερυθροί οίνοι πλούσιοι σε ανθοκυάνες, που χαρακτηρίζονται από λεπτό άρωμα το οποίο αποκτούν μετά από παλαίωση. Ιδανικότερο υψόμετρο για την παραγωγή των καλύτερων ποιοτικά ερυθρών οίνων, κατάλληλων για παλαίωση, θεωρείται αυτό μεταξύ των 350 και 600 μέτρων, οπότε η συνηθέστερη περιεκτικότητά τους σε αλκοόλη είναι 13% vol. (Σταύρακας, 1997).



Σχήμα 3.2. Σταφύλια ποικιλίας “Αγιωργίτικο”

3.3. Αποτύπωση του αγρού

Η θέση (συντεταγμένες) και το περίγραμμα του αγρού δημιουργήθηκε αρχικά με χρήση ενός RTK GPS και με το λογισμικό Surfer. Σημαντικό στοιχείο στην παραγωγικότητα του αμπελώνα παίζει το ανάγλυφό του καθώς δημιουργεί ζώνες διαφορετικής στράγγισης, διάβρωση κλπ. Ο αμπελώνας οπτικά είχε σημαντικές κλίσεις.

Η δημιουργία του ανάγλυφου του χωραφιού πραγματοποιήθηκε με υψηλής ακρίβειας RTK GPS της εταιρίας *TRIMBLE*. Το σύστημα αποτελείται από τον κινητό δέκτη που πραγματοποιεί τις μετρήσεις, το σταθερό δέκτη που επικοινωνεί με τον κινητό δέκτη με κατάλληλο λογισμικό και πραγματοποιεί διορθώσεις των μετρήσεων και τον ελεγκτή του συστήματος που πραγματοποιεί διορθώσεις των μετρήσεων και επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίζει κάποιες παραμέτρους όπως τον αριθμό των μετρήσεων στην μονάδα του χρόνου και το είδος των δεδομένων που θα καταγραφούν.

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω μοντέλα:

- Ως κινητός δέκτης το μοντέλο *AgGPS 252 receiver* το οποίο καταγράφει τα δεδομένα (Σχήμα 3.3.).
- Ως σταθερός δέκτης το μοντέλο *AgGPS RTK Base* (Σχήμα 3.4.) το οποίο πραγματοποιεί τις απαραίτητες διορθώσεις των μετρήσεων που πραγματοποιεί ο κινητός δέκτης.
- Ως ελεγκτής του συστήματος το μοντέλο *AgGPS 900 controller* (Σχήμα 3.5.) το οποίο συνδέεται με το σταθερό δέκτη.



Σχήμα 3.3. AgGPS 252 receiver



Σχήμα 3.4. AgGPS RTK Base
450/900



Σχήμα 3.5. AgGPS 900 controller

Ο ρυθμός καταγραφής των δεδομένων ρυθμίστηκε να είναι μια μέτρηση ανά 2 s ενώ η ακρίβεια που επιτυγχάνεται με τη μέθοδο RTK είναι της τάξης των 1-2cm. Η συχνότητα στην οποία επικοινωνούν τα όργανα είναι 450 MHz.

Ο κινητός δέκτης αποτελείται από την κεραία με την οποία επιτυγχάνεται η επικοινωνία με το σταθερό δέκτη και το σταθερό τμήμα του. Στο τμήμα αυτό στηρίζεται η κεραία του οργάνου και βρίσκεται η υποδοχή με την οποία συνδέεται η μπαταρία που παρέχει ενέργεια για τη λειτουργία του. Κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων στον αγρό ο κινητός δέκτης τοποθετήθηκε σε πλατφόρμα γεωργικού ελκυστήρα με την κεραία του τοποθετημένη σε σημείο που δεν επηρεαζόταν οι μετρήσεις του από την ύπαρξη άλλων αντικειμένων. Η τροφοδοσία του δέκτη γινόταν με μπαταρία λιθίου 9V.

Ο σταθερός δέκτης GPS φέρει αποσπώμενη κεραία που επιτρέπει την επικοινωνία του με τον κινητό δέκτη. Ο δέκτης αυτός τοποθετήθηκε σε τρίποδα ο οποίος εγκαταστάθηκε σε σημείο του αγροτεμαχίου το οποίο παρείχε άμεση επαφή με τον κινητό δέκτη σε ολόκληρη την διαδρομή του ελκυστήρα. Στη συνέχεια συνδέθηκε με τον ελεγκτή, ρυθμίστηκαν παράμετροι όπως ο ρυθμός καταγραφής των μετρήσεων και η συχνότητα επικοινωνίας των οργάνων, ενώ ελέγχθηκε και η λειτουργία των δύο δεκτών (Σχήμα 3.6.).



Σχήμα 3.6. Εγκατάσταση του RTK GPS στον αγρό

Η αποθήκευση των δεδομένων έγινε σε φορητό υπολογιστή ο οποίος συνδέθηκε με τον κινητό δέκτη. Το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε ήταν το *AgRemote* που παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρία.

Τα αρχεία των δεδομένων είναι σε *format NMEA (National Maritime Electronics Association)* το οποίο είναι ένα διεθνές πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών συσκευών και κατά συνέπεια και μεταξύ δεκτών GPS. Στο αρχείο αυτό καταγράφονται ο χρόνος λήψης των δεδομένων, το γεωδαιτικό πλάτος, το γεωδαιτικό μήκος, ο αριθμός των δορυφόρων που παρατηρούνται, το υψόμετρο του σημείου από τη μέση στάθμη της θάλασσας και η ακρίβεια της μέτρησης. Η ακρίβεια της μέτρησης υπολογίζεται με τον δείκτη ακρίβειας ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 4 ανάλογα με την ακρίβεια καταγραφής των δεδομένων. Οι τιμές 0 και 1 περιλαμβάνουν μη αποδεκτές τιμές (μετρήσεις χαμηλής ακρίβειας), οι τιμές 2 και 3 περιλαμβάνουν τιμές που προκύπτουν μετά από την επίλυση ειδικών κωδίκων που βελτιώνουν την ακρίβεια της μέτρησης, ενώ η τιμή 4 περιλαμβάνει την RTK λύση που η ακρίβειά της φτάνει σε ακρίβεια 2cm (Φωτίου κ.α., 2006).

3.4. Προσδιορισμός της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στον αγρό (Apparent electrical conductivity, ECa) με αισθητήρα EM 38

Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους προσδιορίστηκε στον πειραματικό αμπελώνα με τον αισθητήρα EM 38 του οίκου *Geonics Limited* (Σχήμα 3.7.). 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).



Σχήμα 3.7. Αισθητήρας EM-38 του οίκου Geonics Limited

Η λειτουργία του αισθητήρα βασίζεται στην παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο παράγεται από ένα μικρό πηνίο-πομπό το οποίο βρίσκεται στην πίσω άκρη του οργάνου. Με την είσοδο του παραγόμενου ρεύματος στο έδαφος δημιουργείται ένα πρωτεύον μαγνητικό πεδίο 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, ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του, τα οποία είναι τα εξής (Geonics Limited, 2006):

Αρχικά πραγματοποιείται έλεγχος της μπαταρίας του οργάνου. Ο έλεγχος πρέπει να είναι καθημερινός πριν την έναρξη των μετρήσεων, φέρνοντας το διακόπτη λειτουργίας στη θέση BATT και ελέγχοντας τις ενδείξεις οι οποίες πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ -1500 και -720. Εξαιτίας της υψηλής ευαισθησίας του οργάνου πριν την έναρξη της βαθμονόμησης χρειάζεται απομάκρυνση των μεταλλικών αντικειμένων που βρίσκονται πλησίον του, επειδή επηρεάζονται οι μετρήσεις.

Βήμα 1^ο: Με το EM 38 τοποθετημένο στο έδαφος οριζόντιο με τη μικρή πλευρά προς τα κάτω (Σχήμα 3.8.) ο διακόπτης Mode στρέφεται στην θέση Q/P. Με την βοήθεια του διακόπτη Q/P Zero control ρυθμίζεται η ένδειξη του οργάνου στο μηδέν.

Βήμα 2^ο: Με το όργανο στην ίδια θέση ο διακόπτης mode στρέφεται στην ένδειξη I/P. Με τη βοήθεια των διακοπών I/P Coarse control και I/P Fine control ρυθμίζεται ξανά η ένδειξη του οργάνου στο μηδέν. Επαναφέροντας το διακόπτη mode στη θέση λειτουργίας Q/P ελέγχουμε αν η ένδειξη παραμένει μηδενική. Αν η ένδειξη έχει αλλάξει με το διακόπτη Q/P Zero control ρυθμίζουμε ξανά την ένδειξη στο μηδέν.

Βήμα 3^ο: Ανυψώνουμε το EM 38 σε ύψος 1,5 μέτρων τοποθετημένο με τη μεγάλη του πλευρά παράλληλη με την επιφάνεια του εδάφους (οριζόντια θέση λειτουργίας).

Βήμα 4^ο: Φέρνοντας το διακόπτη Mode στις θέσεις I/P και Q/P, με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στα βήματα 1 και 2 οι ενδείξεις του οργάνου μηδενίζονται.

Βήμα 5^ο: Με το όργανο στην οριζόντια θέση (η μεγάλη του πλευρά παράλληλα με το έδαφος) σε ύψος 1,5 μέτρων και το διακόπτη Mode στη θέση Q/P, ρυθμίζουμε το όργανο με το διακόπτη Q/P Zero control ώστε να δείξει μια αυθαίρετη τιμή (π.χ. $H=10$ mS/m). Χωρίς να αλλάζουμε το ύψος το EM 38 τοποθετείται με τη μικρή πλευρά προς τα κάτω (κάθετη θέση λειτουργίας) και σημειώνουμε την ένδειξή του (π.χ. $V=16$ mS/m). Αφαιρώντας την κάθετη από την οριζόντια ένδειξη καταγράφουμε μια τιμή (π.χ. $V-H=6$ mS/m).

Βήμα 6^ο: Τέλος, με το διακόπτη Mode τοποθετημένο στη θέση Q/P και το όργανο με τη μεγάλη του πλευρά παράλληλα με το έδαφος ο διακόπτης Q/P Zero control στρέφεται μέχρι η ένδειξη του οργάνου να είναι αυτή που υπολογίστηκε στο βήμα 5 (στην περίπτωσή μας 6 mS/m). Κατά την περιστροφή του οργάνου στην κάθετη θέση λειτουργίας (η μικρή πλευρά του προς τα κάτω) η ένδειξή του πρέπει είναι η διπλάσια (στο παράδειγμά μας 12 mS/m).

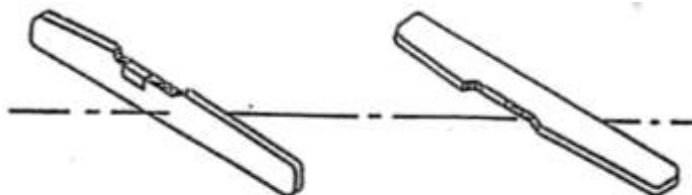
Γενικά μετά τη βαθμονόμηση του οργάνου οι ενδείξεις του θα πρέπει να ακολουθούν την ακόλουθη σχέση:

$$V = 2H$$

Όπου V: η ένδειξη στην κάθετη θέση λειτουργίας

και

H: η ένδειξη στην οριζόντια θέση λειτουργίας.



Σχήμα 3.8. Κάθετη και οριζόντια θέση λειτουργίας του EM 38

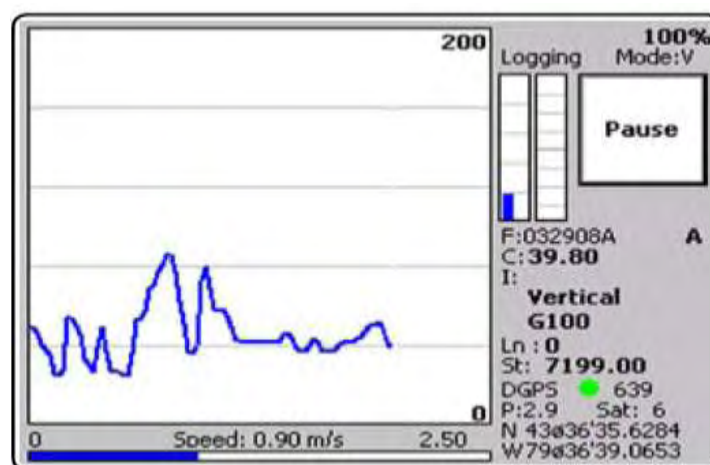
Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα μέτρησης τόσο στην κάθετη θέση λειτουργίας (η μικρή πλευρά του προς τα κάτω) όσο και στην οριζόντια θέση (η μεγάλη πλευρά παράλληλη προς την επιφάνεια του εδάφους). Στην κάθετη θέση έχει δυνατότητα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε βάθος 1,5 μέτρων ενώ 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. Στο πείραμά μας τα δύο όργανα συνδέθηκαν μέσω φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή και επικοινωνήσαν με κατάλληλο λογισμικό (Windows) με τη βοήθεια του οποίου αποθηκεύσαμε τις συντεταγμένες και τις τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας κάθε σημείου του χωραφιού (Σχήμα 3.9.).

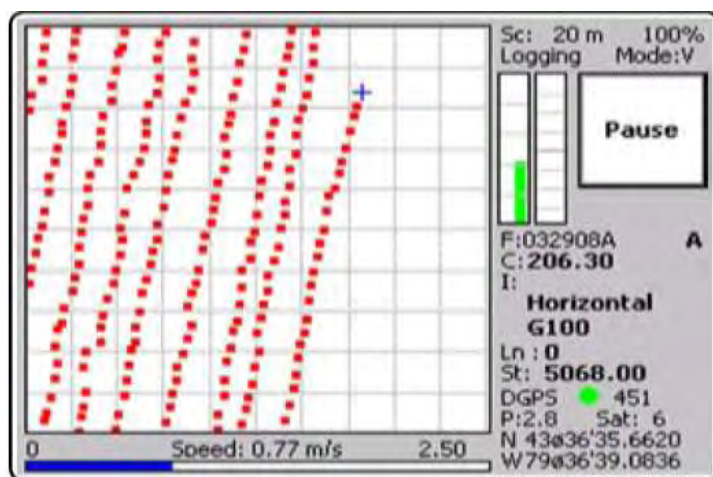


Σχήμα 3.9. Αισθητήρας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής EM 38 συνδεδεμένος με δέκτη GPS μέσω φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή

Το περιβάλλον του λογισμικού είναι ιδιαίτερα φιλικό στο χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τον αριθμό των μετρήσεων που θα πραγματοποιεί ο αισθητήρας στη μονάδα του χρόνου καθώς και να βλέπει στην οθόνη του υπολογιστή τον αριθμό των δορυφόρων που είναι σε επαφή με το GPS κάθε στιγμή στη διάρκεια της μέτρησης και τις συντεταγμένες κάθε σημείου. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη άμεσης παρατήρησης των τιμών της ECa με τη γραφική απεικόνιση της ECa μέσω καμπυλών (Σχήμα 3.10.), καθώς επίσης και η δυνατότητα ελέγχου της διαδρομής που ακολουθείται μέσω της αποτύπωσής της κατά τη διάρκεια της μέτρησης (Σχήμα 3.11.) (Geonics Limited, 2006).



Σχήμα 3.10. Γραφική απεικόνιση της ECa στο περιβάλλον του λογισμικού



Σχήμα 3.11. Αποτύπωση της διαδρομής στο περιβάλλον του λογισμικού

Έπειτα από την βαθμονόμηση του EM 38 στον πειραματικό αμπελώνα και την επικοινωνία του με το GPS μέσω του λογισμικού που εγκαταστήσαμε στον φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή, ακολούθησε η μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους σε ολόκληρη την έκταση του χωραφιού. Οι μετρήσεις γίνανε στο μέσο των γραμμών της καλλιέργειας με το EM 38 τοποθετημένο στην κάθετη θέση λειτουργίας του ευρισκόμενο σε επαφή με την επιφάνεια του εδάφους.

Κατά το πέρας των μετρήσεων δημιουργήθηκε ένα Text αρχείο το οποίο περιείχε στοιχεία όπως: οι τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, οι γεωγραφικές συντεταγμένες κάθε σημείου μέτρησης, ο αριθμός των δορυφόρων που έρχονται σε επαφή με το GPS κάθε χρονική στιγμή, η θέση λειτουργίας του οργάνου (κάθετη ή οριζόντια) κ.α. Το αρχείο αυτό με την χρήση του λογισμικού Geonics DAT38W format που μας παρέιχε η εταιρία, μετατράπηκε σε μορφή XYZ, το οποίο και χρησιμοποιήσαμε για την αποτύπωση των δεδομένων σε χάρτη που απεικονίζει την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του χωραφιού.

3.5. Λήψη δειγμάτων εδάφους

Μετά από τη δημιουργία των αρχικών χαρτών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και τη σαφή διαφοροποίηση του αγρού σε τρεις διακριτές ζώνες ακολούθηθηκε το σχέδιο στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας (*Stratified Random Sampling*) για την παραλαβή δειγμάτων εδάφους. Με αυτή τη μέθοδο το χωράφι χωρίστηκε σε εννέα ίσα τμήματα που καλύπτουν ομοιόμορφα όλη την περιοχή

και μέσα από κάθε τμήμα πήραμε πέντε δείγματα από τυχαίες θέσεις καταγράφοντας με GPS χειρός τις συντεταγμένες κάθε δείγματος.

Συνολικά ελήφθησαν 9 σύνθετα δείγματα καθένα από τα οποία προήλθε από πέντε υποδείγματα. Το βάθος δειγματοληψίας ήταν 0-30cm, ικανό για τη διερεύνηση της παραλλακτικότητας της εδαφικής αγωγιμότητας του εδάφους (Hartsock et al., 2000), ενώ το βάρος κάθε δείγματος ήταν περίπου 1 kg. Σημειώνεται ότι το έδαφος του αμπελώνα δεν είναι βαθύ. Μετά τα 40 -5- εκατοστά υπάρχει στρώμα μάργας. Τα δείγματα ελήφθησαν πριν την πραγματοποίηση της χειμερινής λίπανσης του χωραφιού με τη βοήθεια ειδικού εδαφολήπτη σε αποστάσεις 30 cm περίπου από τα πρέμνα. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε χάρτινες σακούλες και τοποθετήθηκε σε κάθε ένα καρτέλα με τα χαρακτηριστικά κάθε δείγματος (αριθμός σημείου, συντεταγμένες σημείου δειγματοληψίας). Κατόπιν τα δείγματα αναμίχθηκαν, αεροξηράθηκαν για διάστημα 15 ημερών σε θερμοκρασία δωματίου και αφού διήλθαν από κόσκινα 2mm διατηρήθηκαν σε πλαστικές σακούλες διατήρησης δειγμάτων.

Έπειτα από την προετοιμασία των δειγμάτων έλαβαν χώρα οι εξής εργαστηριακές αναλύσεις στο εργαστήριο Εδαφολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας:

3.5.1. Προσδιορισμός του pH

Ο προσδιορισμός του pH των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σε εδαφικό αιώρημα εδάφους- νερού αναλογίας 1:1 με pH-μετρο (Pansu et al., 2006).

Τα αντιδραστήρια και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι:

- i. Ποτήρι ζέσεως 200 ml.
- ii. Πεχάμετρο.
- iii. Ρυθμιστικά διαλύματα με pH=4 και pH=7 για την βαθμονόμηση του πεχάμετρου.
- iv. Αποσταγμένο νερό.
- v. Γυάλινη ράβδος ανάδευσης.

Αρχικά για τον προσδιορισμό του pH πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του πεχάμετρου με τη χρήση των ρυθμιστικών διαλυμάτων γνωστού pH. Στο ποτήρι ζέσεως των 200 ml φέρονται 50 g δείγματος εδάφους και 50 ml απεσταγμένου ύδατος. Ακολουθεί ανάδευση για διάστημα 10 λεπτών με τη γυάλινη ράβδο και το αιώρημα αφήνεται προς εξισορρόπηση. Στη συνέχεια τοποθετείται το ηλεκτρόδιο του πεχάμετρου στην πάνω επιφάνεια του υδατικού αιωρήματος και καταγράφεται η τιμή του pH στην οθόνη του πεχάμετρου.

3.5.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας

Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο Walkley- Black (Walkley, 1947).

Τα αντιδραστήρια και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι:

- i. Κωνική φιάλη των 500 ml.
- ii. Διχρωμικό Κάλιο ($K_2Cr_2O_7$), 1 N.
- iii. Πυκνό θειικό οξύ (H_2SO_4).
- iv. Απιονισμένο νερό.
- v. Πυκνό φωσφορικό οξύ (H_3PO_4).
- vi. Δείκτης διφαινυλαμίνη.
- vii. Διάλυμα $FeSO_4 \cdot H_2O$, 0,5 N.

Για τον προσδιορισμό της οργανικής ουσίας φέρεται στην κωνική φιάλη των 500 ml ένα γραμμάριο δείγματος εδάφους και προστίθενται 10 ml διαλύματος $K_2Cr_2O_7$. Ακολουθεί ανακίνηση έως την πλήρη διασπορά του δείγματος. Στη συνέχεια προστίθενται 20 ml H_2SO_4 και η φιάλη αφήνεται σε ηρεμία για 30 λεπτά. Μετά το πέρας των 30 λεπτών προστίθενται στη φιάλη 10 ml πυκνού H_3PO_4 , 200 ml απιονισμένου ύδατος και 1 ml δείκτη διφαινυλαμίνης. Ακολούθως πραγματοποιείται ογκομέτρηση των δειγμάτων με διάλυμα $FeSO_4 \cdot H_2O$, 0,5 N. Στο σημείο εξουδετέρωσης το χρώμα των δειγμάτων μεταβάλλεται από σκούρο μπλε σε πράσινο. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τη δημιουργία ενός δείγματος- μάρτυρα (“τυφλό” δείγμα) χωρίς όμως την προσθήκη εδάφους.

Ο υπολογισμός της οργανικής ουσίας πραγματοποιείται με τη χρήση της εξίσωσης:

$$\text{Οργανική ουσία} = \frac{0,067x(100 + \nu\gamma\rho\alpha\sigma\acute{\iota}\alpha\%H_2O)x(T - A)}{TxH_{\text{εδάφους}}}$$

Όπου: T= ml “τυφλού” δείγματος.

H= g δείγματος εδάφους.

A= ml δείγματος.

3.5.3. Προσδιορισμός του διαθέσιμου φωσφόρου

Ο διαθέσιμος φώσφορος των εδαφικών δειγμάτων προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του Olsen (Olsen et al., 1954). Κατά τη μέθοδο Olsen χρησιμοποιήθηκαν τα εξής αντιδραστήρια και όργανα:

- i. Διάλυμα NaOH, 5 N.
- ii. Διάλυμα NaHCO₃, 0,5M.
- iii. Θεϊκό οξύ (H₂SO₄), 5N.
- iv. Μολυβδαινικό αμμώνιο (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O.
- v. Τρυγικό καλιοαντιμώνιο KSbO₃·C₄H₄O₆.
- vi. Αντιδραστήριο Α: Δημιουργείται με ανάμειξη δύο διαλυμάτων. Ενός διαλύματος 6gr (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O σε 125 ml απεσταγμένου ύδατος και ενός 0,145 gr KSbO₃·C₄H₄O₆ σε 50 ml απεσταγμένου ύδατος. Τα δύο διαλύματα φέρονται σε φιάλη των 1000 ml στην οποία προστίθενται 500 ml H₂SO₄ 5N και αποσταγμένο νερό μέχρι ο όγκος του διαλύματος να φτάσει 1L.
- vii. Ασκορβικό οξύ.
- viii. Αντιδραστήριο Β: Δημιουργείται με διάλυση 0,528 gr ασκορβικού οξέος σε 100 ml αντιδραστηρίου Α.
- ix. Δείκτης p-νιτροφαινόλης.
- x. Α) Stock 1: Δημιουργείται με διάλυση 1,1gr KH₂PO₄ σε 250 ml αποσταγμένου ύδατος και προσθήκη 4ml H₂SO₄.
Β) Stock 2: 10ml από το Stock 1 φέρονται σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml η οποία συμπληρώνεται ως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.
Γ) Πρότυπο διάλυμα Ρ: 5 ml του Stock 2 φέρονται σε φιάλη των 500 ml η οποία πληρώνεται ως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

Για τον προσδιορισμό του διαθέσιμου φωσφόρου αρχικά κατασκευάζεται πρότυπη καμπύλη με τη χρήση κατάλληλων διαλυμάτων. Τα διαλύματα αυτά δημιουργούνται ως εξής:

10ml διαλύματος NaHCO₃ 0,5N φέρονται σε ποτήρι ζέσεως και προστίθεται μια σταγόνα δείκτη p-νιτροφαινόλης. Το διάλυμα αποκτά κίτρινο χρώμα. Στη συνέχεια προστίθεται διάλυμα H₂SO₄ 5N και μετράται το pH του διαλύματος μέχρι να φτάσει στην τιμή 5. Τα ml του οξέος που απαιτήθηκαν στη διαδικασία καταγράφονται (π.χ. Xml).

Σε 6 ογκομετρικές φιάλες των 50ml προστίθενται από 10ml διαλύματος NaHCO_3 0,5N και σε κάθε μια από 0, 5, 10, 15, 20 και 30ml πρότυπου διαλύματος P. Στη συνέχεια προστίθεται σε κάθε φιάλη Xml διαλύματος H_2SO_4 5N με αποτέλεσμα το pH κάθε διαλύματος να ισούται με 5. Έπειτα σε κάθε φιάλη προστίθεται αποσταγμένο νερό και 8ml αντιδραστηρίου B. Κάθε φιάλη συμπληρώνεται ως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό και ανακινείται. Μετά από 45 λεπτά που οι φιάλες ηρεμούν, μετράται σε σπεκτροφωτόμετρο η απορρόφηση και κατασκευάζεται πρότυπη καμπύλη συγκέντρωσης- ένδειξης του οργάνου.

Αφού δημιουργηθεί η πρότυπη καμπύλη πραγματοποιείται εκχύλιση του διαθέσιμου P από τα δείγματα εδάφους. Για την εκχύλιση φέρονται 5gr δείγματος εδάφους σε φιάλη και προστίθενται 100 ml εκχυλιστικού διαλύματος NaHCO_3 0,5 M. Ακολουθεί ανακίνηση για 30 λεπτά και διήθηση. 10ml του διηθήματος φέρονται σε ογκομετρική φιάλη όπου προστίθενται Xml διαλύματος H_2SO_4 5N και αποσταγμένο νερό. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία για 30 λεπτά και στη συνέχεια προστίθενται 8ml αντιδραστηρίου B και αποσταγμένο νερό έως τελικού όγκου 50 ml. Το διάλυμα ανακινείται και αφήνεται για 45 λεπτά σε ηρεμία. Μετά το διάστημα αυτό ακολουθεί μέτρηση της απορρόφησης σε σπεκτροφωτόμετρο και μέσω της πρότυπης καμπύλης συγκέντρωσης-ένδειξης οργάνου προσδιορίζεται η εκχυλιζόμενη ποσότητα φωσφόρου του δείγματος.

3.5.4. Προσδιορισμός του ανταλλάξιμου καλίου

Για τον προσδιορισμό του ανταλλάξιμου καλίου των εδαφικών δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε εκχυλιστικό διάλυμα $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M και τα ιόντα καλίου προσδιορίστηκαν στο εκχύλισμα με φλογοφωτόμετρο (Μήτσιος, 2003).

Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- i. Διάλυμα $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M.
- ii. Πρότυπα διαλύματα καλίου, 0,10,50,100,150 και 200ppm K^+ / lt.

Σε φιαλίδιο των 50 ml φέρονται 4 gr εδαφικού δείγματος και προστίθενται 33 ml διαλύματος $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1M τα οποία ανακινούνται για 30 λεπτά. Ακολουθεί διήθηση του δείγματος και συλλογή του σε πλαστική φιάλη των 100 ml.

Η μέτρηση του ανταλλάξιμου καλίου του δείγματος γίνεται με τη χρήση φλογοφωτόμετρου το οποίο αρχικά βαθμονομείτε με τη βοήθεια πρότυπων διαλυμάτων καλίου 0, 10, 50, 100, 150 και 200 ppm K^+ / lt. Οι τιμές του φλογοφωτόμετρου

αντιστοιχούνται με τις τιμές της συγκέντρωσης των πρότυπων διαλυμάτων κατασκευάζοντας έτσι πρότυπη καμπύλη συγκέντρωσης πρότυπων διαλυμάτων-ενδείξεων οργάνου.

Μετά την βαθμονόμηση του φλογοφωτόμετρου εισάγεται το προς μέτρηση δείγμα και σημειώνεται η ένδειξη του οργάνου. Με τη χρήση της πρότυπης καμπύλης η ένδειξη του οργάνου για το προς μέτρηση δείγμα αντιστοιχίζεται σε τιμές συγκέντρωσης ανταλλάξιμου εδαφικού καλίου σε ppm K^+ / lt.

3.5.5. Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους

Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους, δηλαδή η εκατοστιαία διανομή της άμμου, της ιλύος και της αργίλου στο έδαφος πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του Βουγιούκου. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα εξής αντιδραστήρια και όργανα:

- i. Διασπορικό οξύ. Παράγεται κατά την ανάμειξη 50gr $NaPO_4$ με 7gr Na_2CO_3 σε 1lt νερού.
- ii. Μίξερ ανάδευσης, πυκνόμετρο και θερμομόμετρο.

Για τον προσδιορισμό της μηχανικής σύστασης του εδάφους ζυγίζονται 50,5 gr εδάφους και 50 ml διασπορικού οξέος τα οποία τοποθετούνται σε γυάλινο δοχείο το οποίο συμπληρώνεται ως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό. Μετά από 24 ώρες σε ηρεμία το μείγμα αναδεύεται σε μίξερ για 20 λεπτά και μεταφέρεται σε ειδικό γυάλινο κύλινδρο όπου προστίθεται αποσταγμένο νερό έως τα 1130ml και γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας (T_1) και της πυκνότητας (P_1) του δείγματος. Μετά από 2 ώρες σε ηρεμία πραγματοποιείται δεύτερη μέτρηση της θερμοκρασίας (T_2) και της πυκνότητας (P_2). Τα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου στο προς εξέταση έδαφος είναι:

- $\% \text{ άμμος} = 100 - 2x(P_1 \pm \Delta_1)$.
- $\% \text{ άργιλος} = 2x(P_2 \pm \Delta_2)$.
- $\% \text{ ιλύς} = 100 - (\% \text{ άμμος} + \% \text{ άργιλος})$.

όπου Δ_1 και Δ_2 οι συντελεστές διόρθωσης της θερμοκρασίας που προκύπτουν από τον πίνακα διορθώσεων των τιμών του πυκνομέτρου.

3.5.6. Προσδιορισμός του ολικού CaCO_3 στο έδαφος

Η μέθοδος προσδιορισμού του ολικού CaCO_3 του εδάφους στηρίζεται στην αντίδραση γνωστής συγκέντρωσης HCl και ογκομέτρηση της περίσσειας HCl με διάλυμα NaOH . Τα αντιδραστήρια και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι:

- i. Διάλυμα HCl 2M.
- ii. Διάλυμα NaOH 0,1M.
- iii. Δείκτης φαινολοφθαλείνης.
- iv. Κωνικές φιάλες 100 ml και 250 ml.
- v. Αποσταγμένο νερό.

Για τον προσδιορισμό του CaCO_3 10 γραμμάρια αεροξηραθέντος εδάφους μεταφέρονται σε κωνική φιάλη των 250 ml και προστίθενται 20 ml διαλύματος HCl 2M. Μετά την εμφάνιση φυσαλίδων ακολουθεί θέρμανση της φιάλης για περίπου 10 λεπτά. Με το πέρας της θέρμανσης ακολουθεί ψύξη της φιάλης και μεταφορά με διήθηση του περιεχομένου της σε ογκομετρική φιάλη των 100 ml που συμπληρώνεται ως τη χαραγή με αποσταγμένο νερό.

Με σιφόνιο μεταφέρονται 10 ml του παραπάνω διαλύματος σε κωνική φιάλη των 250 ml, προστίθενται 50 ml αποσταγμένου ύδατος, λίγες σταγόνες δείκτη φαινολοφθαλείνης και ακολουθεί ογκομέτρηση με διάλυμα NaOH 0,1M έως την εμφάνιση έντονου ροζ χρώματος.

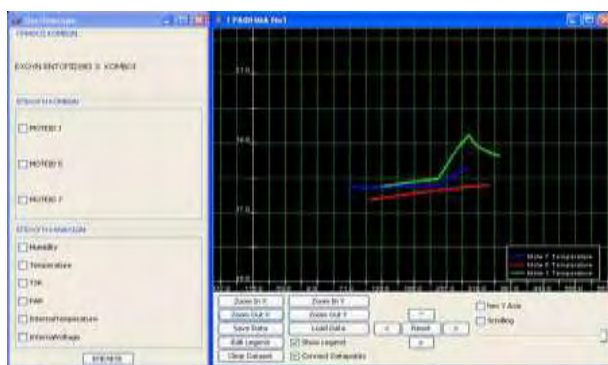
Η ποσότητα του διαλύματος NaOH που καταναλώθηκε στην ογκομέτρηση είναι ίση με την ποσότητα HCl που περιέχεται στο διάλυμα των 10 ml που ογκομετρήθηκε (αντίδραση 1:1). Η ποσότητα αυτή είναι η περίσσεια HCl από την αντίδραση με το CaCO_3 . Η αρχική ποσότητα του οξέος είναι $2\text{mol/l} \times 20\text{ml} = 0,04\text{ mol}$. Η διαφορά της αρχικής ποσότητας με την περίσσεια HCl της ογκομέτρησης αντιστοιχεί στην ποσότητα CaCO_3 που αντέδρασε με το HCl . Με αναγωγή της ποσότητας αυτής στην ποσότητα του αρχικού δείγματος υπολογίζεται η περιεχόμενη ποσότητα CaCO_3 στο δείγμα.

3.6. Αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας του εδάφους

Η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους του αγρού πραγματοποιήθηκε με ασύρματους αισθητήρες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Πρόκειται για ένα σύστημα ελέγχου του περιβάλλοντος του αγρού βασισμένο σε ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων το οποίο λαμβάνει μετρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι αισθητήρες του δικτύου εκπέμπουν σε τακτά χρονικά διαστήματα δεδομένα περιβάλλοντος σε έναν αισθητήρα βάσης (πηγή), ο οποίος με τη σειρά του, χρησιμοποιεί έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή για να αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια βάση δεδομένων.

Η αρχιτεκτονική του λογισμικού του παραπάνω συστήματος ελέγχου βασίζεται κυρίως στην τεχνολογία *JAVA* και σε ένα ελεύθερης διάθεσης λογισμικό. Το λογισμικό μπορεί να διακριθεί σε τρία διαφορετικά μέρη:

- 1) Λογισμικό του αισθητήρα: Περιλαμβάνει τις οδηγίες του υλικού που ελέγχουν τη συμπεριφορά του αισθητήρα όπως το ρυθμό δειγματοληψίας, τη συχνότητα αναφοράς στη βάση δεδομένων κτλ. Υλοποιείται χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού *NesC* και τις υπηρεσίες που προσφέρονται από λειτουργικά συστήματα κόμβων (*TinyOS*).
- 2) Εφαρμογή συλλογής και αποθήκευσης μετρήσεων: Αυτό το κομμάτι του λογισμικού είναι υπεύθυνο για τη λήψη των μετρήσεων από τους αισθητήρες και την αποστολή αυτών στη βάση δεδομένων του συστήματος, η οποία βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού *MySQL*, ενώ η εφαρμογή είναι γραμμένη στη γλώσσα προγραμματισμού *JAVA*.
- 3) Εφαρμογή παρουσίασης μετρήσεων: Αυτή η εφαρμογή είναι το κύριο σημείο επαφής ανάμεσα στο χρήστη και στο δίκτυο αισθητήρων. Επιτρέπει την εξέταση των μετρήσεων και την αναπαράστασή τους μέσω ενός γραφικού (Σχήμα 3.12).

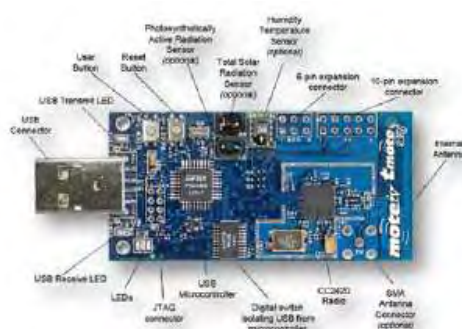


Σχήμα 3.12. Γραφική απεικόνιση των δεδομένων υγρασίας του αισθητήρα

Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται βασίζεται στην ασύρματη πλατφόρμα *MOTEIV TmoteSky* η οποία είναι εξαιρετικά χαμηλής ισχύος και υψηλής μετάδοσης δεδομένων για δικτυακές εφαρμογές αισθητήρων (Σχήμα 3.13.). Η πλατφόρμα αυτή έχει δυνατότητα σύνδεσης αισθητήρων, κεραία, μικροελεγκτή και δυνατότητα προγραμματισμού.

Οι χαμηλής ισχύος λειτουργίες της πλατφόρμας βασίζονται στον πολύ χαμηλής ισχύος *TI MSP430 F1611* μικροελεγκτή. Αυτός ο επεξεργαστής προκειμένου να ελαχιστοποιήσει την κατανάλωση ισχύος, βρίσκεται σε ανενεργή κατάσταση στο χρόνο μεταξύ των μετρήσεων, ενεργοποιείται τάχιστα για να επεξεργαστεί δεδομένα και επιστρέφει πάλι σε ανενεργή κατάσταση. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιεί ένα σειριακό ελεγκτή για να επικοινωνήσει με τον τερματικό υπολογιστή και περιλαμβάνει το *Chirpcon CC2420* ραδιόφωνο, το οποίο είναι συμβατό με το πρωτόκολλο *IEEE 802.15.4* παρέχοντας αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία.

Το ραδιόφωνο παρέχει υψηλής μετάδοσης δεδομένα και καθαρό σήμα. Ελέγχεται από μικροελεγκτή μέσω σειριακής θύρας και μπορεί να κλείσει για λειτουργία χαμηλής ισχύος. Η ενσωματωμένη του κεραία έχει εμβέλεια 50 μέτρων σε εσωτερικούς χώρους και 125 μέτρα σε εξωτερικούς. Επιπλέον η πλατφόρμα, είναι εφοδιασμένη με αρκετούς αισθητήρες όπως θερμοκρασίας, ξηρασίας και φωτός ενώ πάνω της μπορούν να προσαρμοστούν εξωτερικοί αισθητήρες μέσω ενός 10 σημείων εξωτερικού συνδετήρα (Moteiv Corporation, 2006).



Σχήμα 3.13. Ασύρματη πλατφόρμα *MOTEIV TmoteSky*

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας εδάφους *probe Decagon EC-5* (Σχήμα 3.14.). Ο αισθητήρας έχει τη δυνατότητα μέτρησης του περιεχόμενου ογκομετρικού νερού μετρώντας τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, μέσω της χρήσης της τεχνολογίας πεδίου χωρητικότητας/συχνότητας. Επιπρόσθετα, ενσωματώνει έναν υψηλής συχνότητας

ταλαντωτή, ο οποίος επιτρέπει στον αισθητήρα να μετρήσει ακριβώς την υγρασία του εδάφους με ελάχιστες επιδράσεις από την αλατότητα και την υφή του (Decagon Devices, 2006).



Σχήμα 3.14. Αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας εδάφους *probe Decagon EC-5*

Για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους στο αμπέλι χρησιμοποιήθηκαν συνολικά πέντε αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε βάθος 30 εκατοστών σε σημεία με βάση τις ζώνες ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χωραφιού και εντός ίδιων ζωνών σε σημεία με διαφορετική κλίση και μηχανική σύσταση του εδάφους. Η κάθε πλατφόρμα τοποθετήθηκε μέσα σε καλάθι για προστασία της από το νερό της βροχής και τις υψηλές θερμοκρασίες από τυχόν έκθεση στον ήλιο, στο ύψος του φυλλώματος των πρέμων (Σχήμα 3.15.). Οι αισθητήρες μέτρησης της εδαφικής υγρασίας εγκαταστάθηκαν κοντά στη ρίζα των πρέμων για τη μέτρηση της υγρασίας στη ριζόσφαιρα.



Σχήμα 3.15. Εγκατάσταση πλατφόρμας στον αγρό

Επίσης τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας βάσης που συνδέθηκε με φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και ο οποίος επικοινωνούσε ασύρματα με το δίκτυο των υπόλοιπων αισθητήρων οι οποίοι επικοινωνούσαν και μεταξύ τους ασύρματα δημιουργώντας ένα δίκτυο αισθητήρων. Οι τιμές των μετρήσεων του δικτύου αισθητήρων μέσω του αισθητήρα βάσης καταγράφηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του λογισμικού (Σχήμα 3.16.).



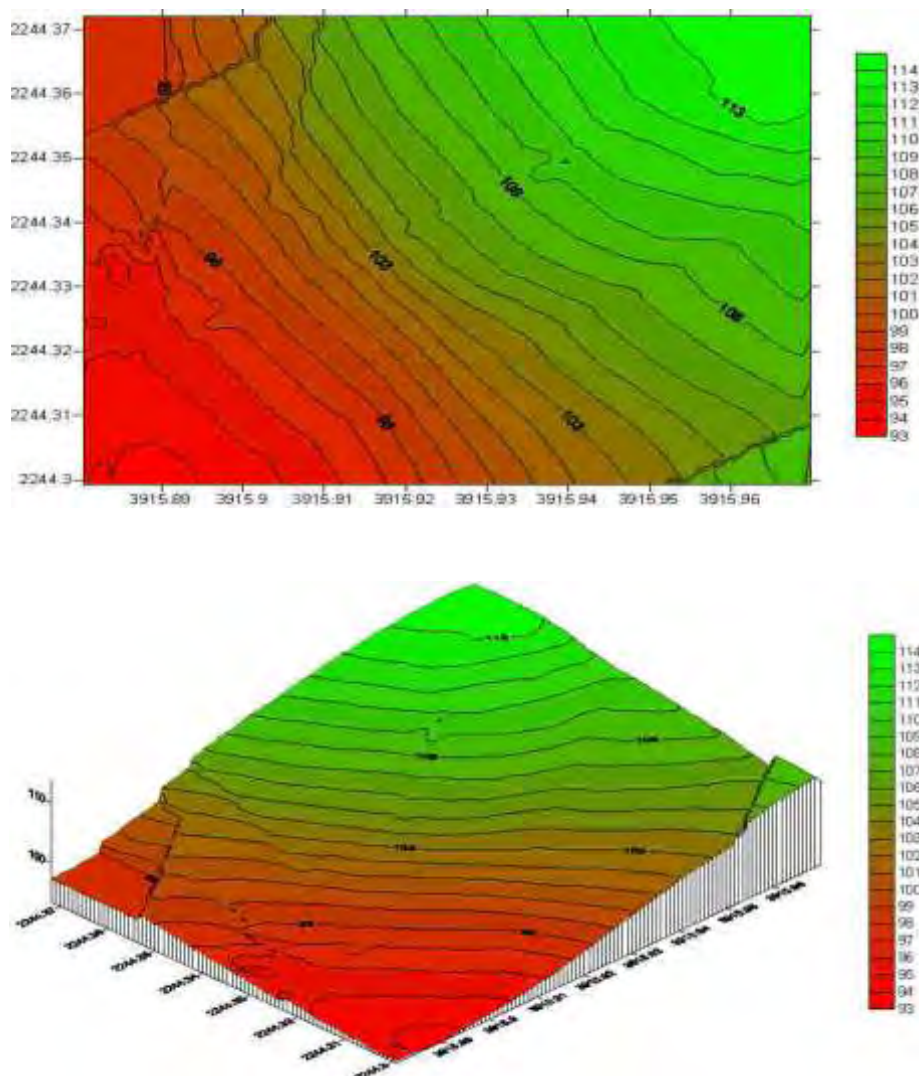
Σχήμα 3.16. Αισθητήρας βάσης συνδεδεμένος με τον Η/Υ

Στη συνέχεια με την χρήση κατάλληλης εξίσωσης που δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρία στο εγχειρίδιο του αισθητήρα οι τιμές των μετρήσεων του συστήματος μετατράπηκαν σε μονάδες μέτρησης υγρασίας (m^3/m^3).

Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα- Συζήτηση

4.1. Δημιουργία ανάγλυφου του αμπελώνα

Το πρώτο στάδιο του πειράματος περιλαμβάνει τη δημιουργία του ανάγλυφου του αμπελώνα. Η δημιουργία του πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του υψηλής ακρίβειας RTK GPS της εταιρίας TRIMBLE. Στο Σχήμα 4.1. παρουσιάζεται ο χάρτης του ανάγλυφου του χωραφιού σε μονοδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση η οποία πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Surfer (Golden Software, Surfer 8.05., 2004).



Σχήμα 4.1. Μονοδιάστατη και τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου του αμπελώνα

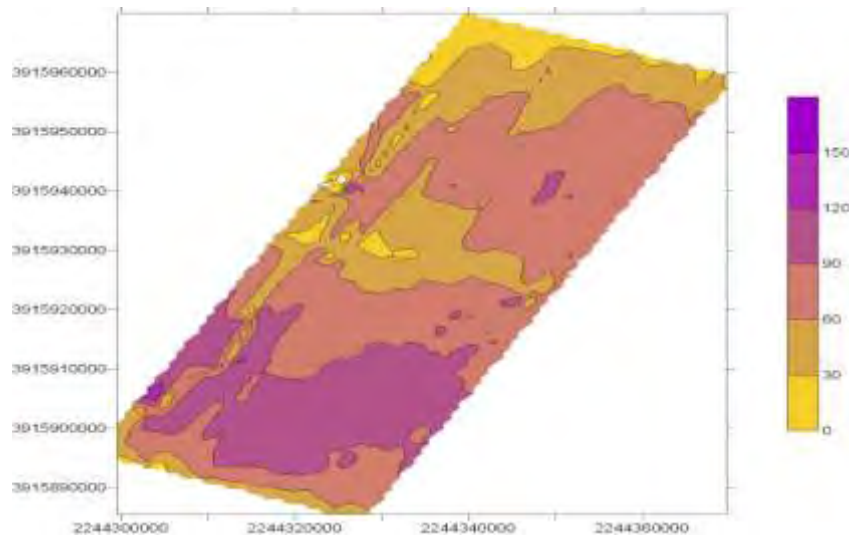
Το υψόμετρο του αμπελώνα κυμαίνεται από 93 μέτρα στο κατώτερο σημείο του αγρού που γειτνιάζει με τον αγροτικό δρόμο έως 114 μέτρα στο ανώτερο σημείο της πλαγιάς που βρίσκεται εγκατεστημένος. Το μήκος του φθάνει τα 158 μέτρα και το πλάτος του τα 61 μέτρα ενώ η μέση κλίση του εδάφους είναι περίπου 14%.

Από την παρατήρηση των χαρτών φαίνεται πως η κλίση του αγρού στα πρώτα 25 μέτρα είναι μεγάλη στο δεξί τμήμα του ενώ στο αριστερό τμήμα του η κλίση είναι μικρή κάτι που γίνεται αντιληπτό από την απόσταση μεταξύ των ισοϋψών που είναι μικρότερη. Στα επόμενα 45 μέτρα του αμπελώνα μεταξύ υψομέτρου 97 και 105 μέτρων η κλίση του χωραφιού είναι μεγάλη (περίπου 20% στα ανώτερα τμήματα) μειούμενη σταδιακά προς το κατώτερο τμήμα του αγρού. Στο πάνω μισό τμήμα του αγρού η κλίση είναι μικρή εμφανίζοντας ωστόσο μεγαλύτερη κλίση στο αριστερό τμήμα του προς την ακαλλιέργητη έκταση που βρίσκεται δίπλα, από ότι στο δεξί τμήμα του που γειτνιάζει με τον οπωρώνα.

Η εικόνα αυτή του ανάγλυφου του αμπελώνα μας προϋδεάζει για διαφορετική συγκράτηση νερού στα διάφορα τμήματά του. Στις θέσεις μεγάλης κλίσης όπως είναι το μέσον του αγρού και το πάνω αριστερό τμήμα του, λόγω της υψηλής κλίσης που παρουσιάζουν, αναμένεται μικρότερη συγκράτηση νερού λόγω μεταφοράς του σε χαμηλότερες θέσεις. Στα σημεία αυτά αναμένεται να παρατηρηθούν και οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος λόγω της έκπλυσής τους ενώ οι τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που επηρεάζεται άμεσα από την εδαφική υγρασία αναμένεται να έχουν τις χαμηλότερες τιμές. Αντίθετα στις θέσεις μικρότερης κλίσης αναμένονται υψηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, καλύτερη συγκράτηση του νερού και κατά συνέπεια μικρότερες απαιτήσεις άρδευσης.

4.2. Χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αμπελώνα

Κατά το δεύτερο στάδιο του πειράματος πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του εδάφους του αμπελώνα, ενός μεγέθους που επηρεάζεται άμεσα από την περιεχόμενη εδαφική υγρασία. Η μέτρησή της πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αισθητήρα μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας EM 38. Στο Σχήμα 4.2. παρουσιάζεται ο χάρτης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του χωραφιού ο οποίος δημιουργήθηκε με το πρόγραμμα Surfer (Golden Software, Surfer 8.05., 2004).



Σχήμα 4.2. Χάρτης φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa) του αμπελώνα

Στο χάρτη γίνεται ορατός ο διαχωρισμός του αμπελώνα σε τρεις ζώνες βάσει των τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους του. Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του αμπελώνα παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές στο χαμηλότερο τμήμα του αγρού ($ECa > 90$ mS/m) όπου η κλίση του εδάφους δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή όπως παρατηρήθηκε και από το χάρτη του ανάγλυφου του αμπελώνα. Στο τμήμα αυτό του αγρού λαμβάνει χώρα και μεταφορά υδάτων από τα υψηλότερα τμήματα του αγρού που έχουν και μεγαλύτερη κλίση με αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές υγρασίας στο έδαφος και κατά συνέπεια εμφάνιση υψηλότερων τιμών φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

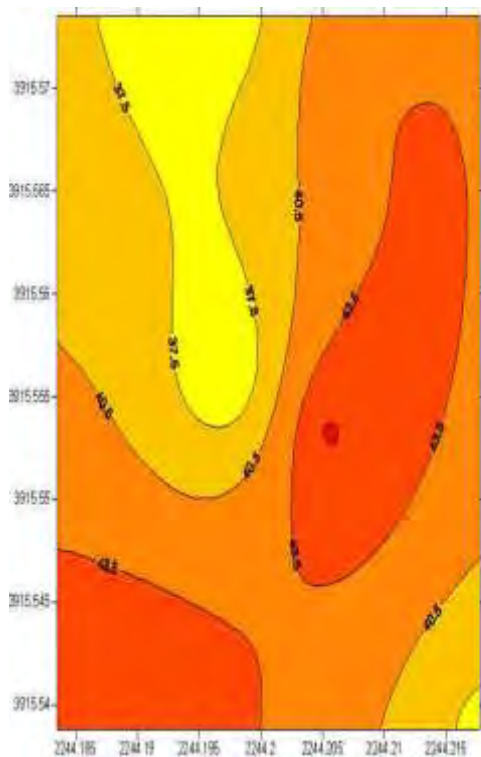
Αντίθετα οι χαμηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζονται στο ανώτερο τμήμα του αγρού και στο μέσο του (ECa : 30-60 mS/m) δηλαδή στα τμήματα του αγρού που παρουσιάζεται και η μεγαλύτερη κλίση του εδάφους. Στο πάνω αριστερό τμήμα του αγρού η κλίση του εδάφους είναι έντονη προς την ακαλλιέργητη έκταση που βρίσκεται δίπλα ενώ και στο μέσον του αγρού η κλίση είναι μεγάλη (περίπου 20%). Έτσι το νερό από αυτά τα σημεία μεταφέρεται ευκολότερα σε χαμηλότερες θέσεις με αποτέλεσμα τη μικρότερη συγκράτησή του σε αυτές τις θέσεις.

Το υπόλοιπο τμήμα του αγρού παρουσιάζει μέσες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τις τιμές να κυμαίνονται από 60 έως 90 mS/m. Στα σημεία αυτά του αγρού η κλίση του εδάφους είναι μέτρια σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές του που παρουσιάζουν ιδιαίτερα υψηλή ή χαμηλή κλίση.

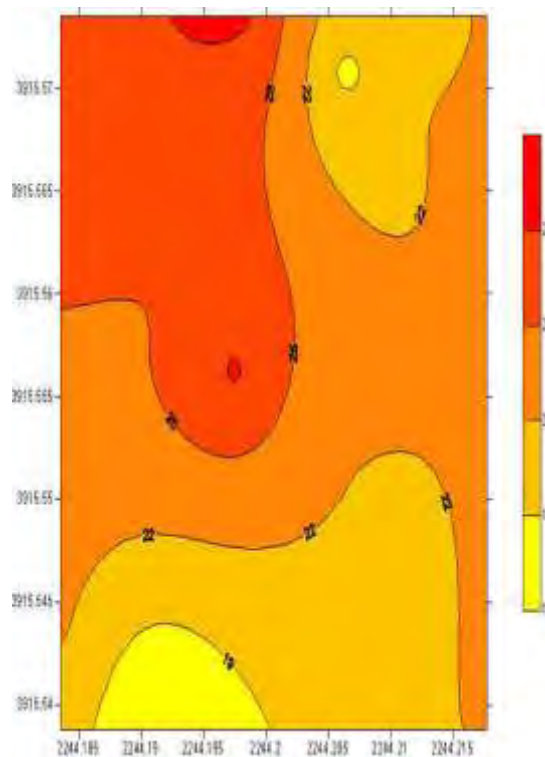
4.3. Δειγματοληψία εδάφους

Μετά από τη δημιουργία του χάρτη της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους έγινε σαφής η διαφοροποίηση του αγρού σε τρεις διακριτές ζώνες με βάση τη φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Σε κάθε μια από αυτές τις ζώνες ακολουθήθηκε το σχέδιο στρωματοποιημένης τυχαίας δειγματοληψίας (*Stratified Random Sampling*) για την παραλαβή δειγμάτων εδάφους. Με αυτή την μέθοδο ο αμπελώνας χωρίστηκε σε εννέα ίσα τμήματα που καλύπτουν ομοιόμορφα όλη την περιοχή και μέσα από κάθε τμήμα ελήφθησαν πέντε δείγματα από τυχαίες θέσεις σε βάθος 0- 30 εκατοστών καταγράφοντας με GPS τις συντεταγμένες της θέσης κάθε δείγματος.

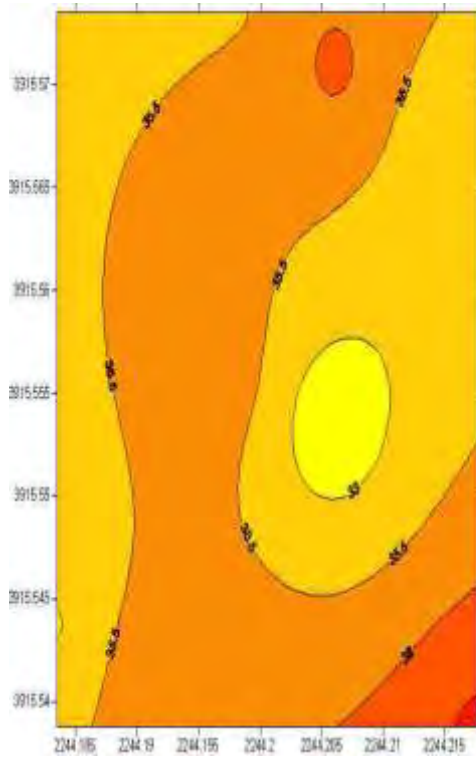
Τα αποτελέσματα των εδαφολογικών αναλύσεων ορισμένων εδαφικών παραμέτρων απεικονίζονται στους χάρτες στα Σχήματα 4.3. έως 4.10. Η δημιουργία των χαρτών πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα Surfer (Golden Software, Surfer 8.05., 2004). Οι συγκεντρώσεις των K^+ και P είναι σε ppm, ενώ οι τιμές της αργίλου, άμμου, ιλύος, οργανικής ουσίας και του ανθρακικού ασβεστίου είναι σε ποσοστιαία αναλογία.



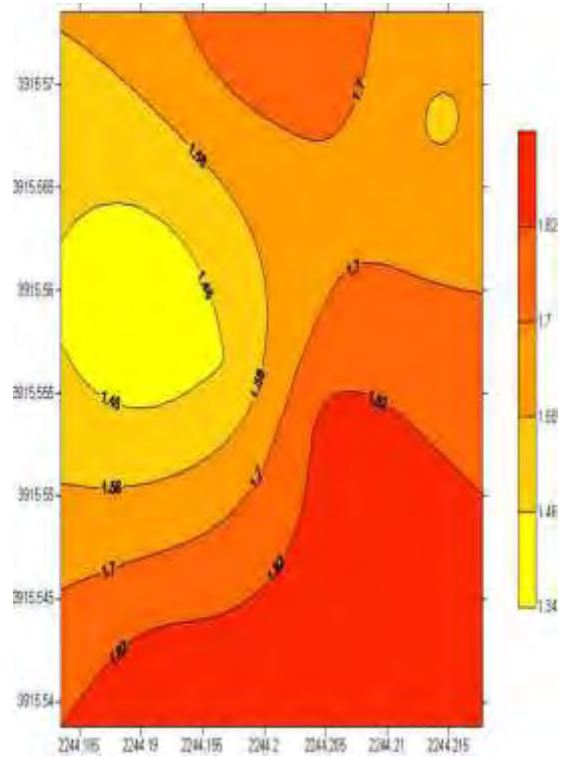
Σχήμα 4.3. Περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο %



Σχήμα 4.4. Περιεκτικότητα του εδάφους σε ιλύ %



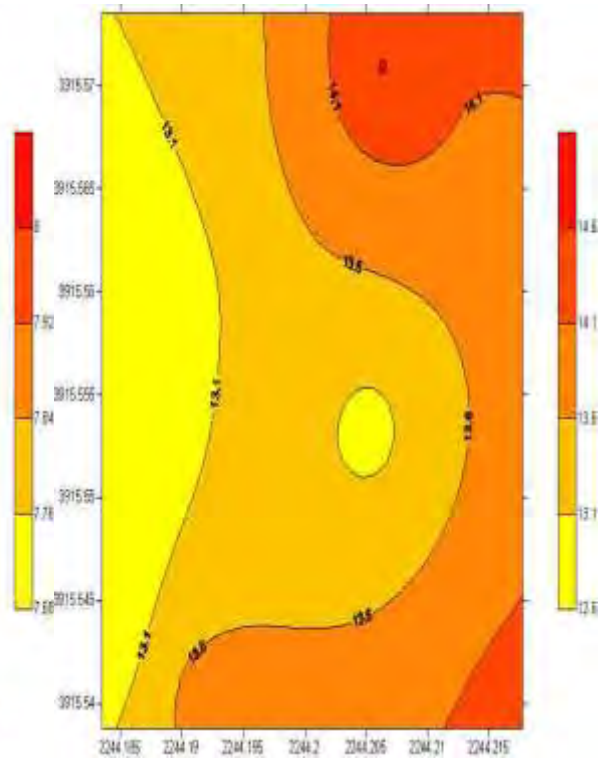
Σχήμα 4.5. Περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο %



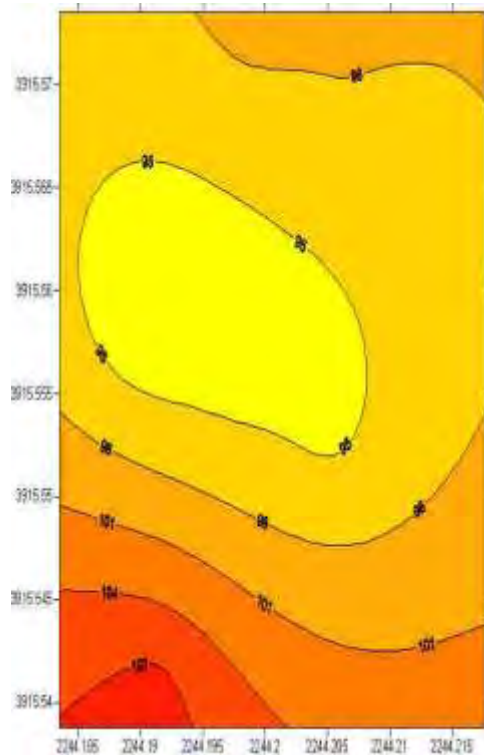
Σχήμα 4.6. Περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία %



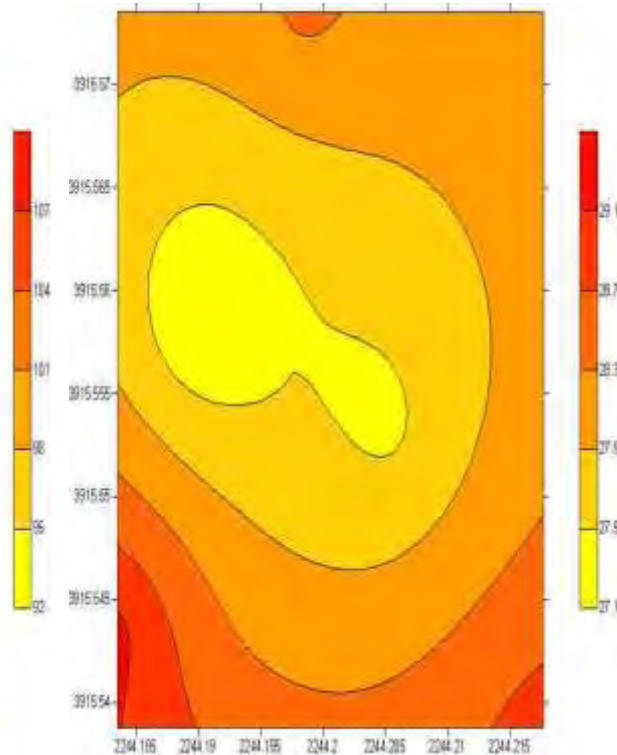
Σχήμα 4.7. Απεικόνιση pH εδάφους



Σχήμα 4.8. Περιεκτικότητα του εδάφους σε CaCO₃ %



Σχήμα 4.9. Περιεκτικότητα του εδάφους σε ppm K⁺



Σχήμα 4.10. Περιεκτικότητα του εδάφους σε ppm P

Από τους παραπάνω πίνακες μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα εδάφη του αμπελώνα είναι αμμοαργιλώδης πηλός με βάση την κατάταξη του USDA. Η περιεκτικότητα του εδάφους στο δεξί τμήμα του αγρού είναι υψηλή σε άργιλο ενώ στο ίδιο τμήμα η περιεκτικότητά του σε άμμο είναι χαμηλή. Η σύσταση αυτή του εδάφους επιτρέπει καλή συγκράτηση της υγρασίας στο δεξί τμήμα του αγρού εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης αργίλου, που συγκρατεί την υγρασία και της χαμηλής συγκέντρωσης άμμου που δεν ευνοεί τη συγκράτηση της υγρασίας. Αντίθετα στο αριστερό τμήμα του αγρού και ιδιαίτερα στο μισό πάνω τμήμα που η περιεκτικότητα της αργίλου είναι χαμηλή και της άμμου παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές της η συγκράτηση της υγρασίας στο έδαφος αναμένεται να είναι μικρότερη εξαιτίας της δομής του εδάφους (Κεραμίδας, 2007).

Η περιεκτικότητα του αγρού σε οργανική ουσία είναι ελαφρώς χαμηλή, χαρακτηριστική ενός τυπικού εδάφους Ελληνικού αμπελώνα. Ιδιαίτερα στο αριστερό πάνω τμήμα του η περιεκτικότητά της είναι ιδιαίτερα χαμηλή με τιμές που φτάνουν έως 1,35%. Έτσι, επειδή η οργανική ουσία αποτελεί και έναν από τους παράγοντες που επιδρούν θετικά στη συγκράτηση της υγρασίας του εδάφους, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η συγκράτηση της υγρασίας δεν είναι ιδιαίτερα καλή στο

συγκεκριμένο τμήμα του αγρού, σε συνάρτηση και με τη μηχανική σύσταση του εδάφους που δεν ευνοεί επίσης την καλή συγκράτηση υγρασίας σε αυτό το τμήμα (Κεραμίδας, 2007).

Το pH του εδάφους είναι ελαφρώς αλκαλικό με τιμές που κυμαίνονται από 7,59 έως 8,01 χωρίς να επηρεάζουν αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών. Οι υψηλές τιμές του οφείλονται κυρίως στην υψηλή περιεκτικότητα CaCO_3 του εδάφους (12,6- 14,6%). Η ανάπτυξη των φυτών της αμπέλου αναστέλλεται σε εδάφη με $\text{pH} < 5$ εξαιτίας της μη καλής ανάπτυξης του ριζικού συστήματος, ενώ σε εδάφη με $\text{pH} > 8$ η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων ελαττώνεται σημαντικά λόγω της χαμηλής διαλυτότητάς τους (Jackson, 2000).

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι το έδαφος έχει ικανοποιητική συγκέντρωση καλίου και υψηλή συγκέντρωση φωσφόρου σε ολόκληρη την έκταση του αγρού. Σύμφωνα με το Νικολάου (2008) ικανοποιητικές για το αμπέλι θεωρούνται οι υψηλότερες των 15 ppm περιεκτικότητες για το φώσφορο και 100- 120 ppm για το κάλιο. Οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις των δύο παραπάνω βασικών θρεπτικών στοιχείων παρατηρούνται στα σημεία του χωραφιού με μεγάλη κλίση όπως στο μέσον του αμπελώνα, προφανώς λόγω έκπλυσης των θρεπτικών. Αντίθετα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις τους παρατηρούνται στο κατώτερο τμήμα του αγρού γεγονός που οφείλεται στη μετακίνηση των θρεπτικών στοιχείων προς τα χαμηλότερα τμήματά του. Αξίζει να σημειωθεί πως ο χαμηλός εφοδιασμός της αμπέλου σε φώσφορο και κάλιο οδηγεί στην αναστολή της ανάπτυξης του φυτού (Νικολάου, 2008).

4.4. Μέτρηση της εδαφικής υγρασίας του αμπελώνα

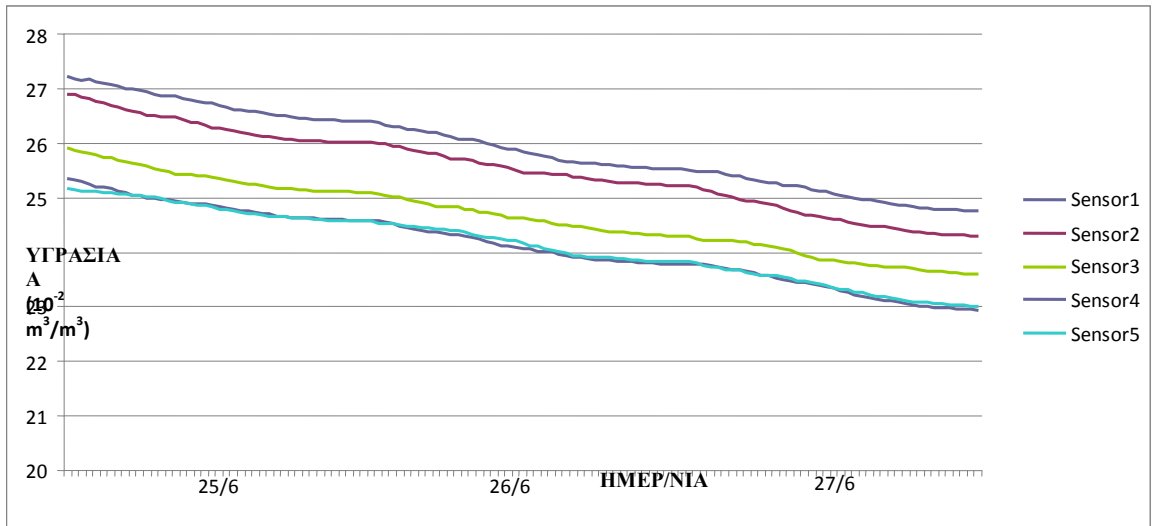
Μετά τη δημιουργία των χαρτών του ανάγλυφου, της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της μηχανικής σύστασης του εδάφους τοποθετήθηκε στον αγρό δίκτυο ασύρματων αισθητήρων μέτρησης της υγρασίας του εδάφους. Οι αισθητήρες (probe Decagon EC-5) τοποθετήθηκαν στις ζώνες διαφορετικής φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού στα σημεία που φαίνονται στο Σχήμα 4.11. σε συνάρτηση με τις ζώνες μηχανικής σύστασης και την κλίση του εδάφους.



Σχήμα 4.11. Θέσεις εγκατάστασης αισθητήρων μέτρησης της υγρασίας

Οι αισθητήρες 4 και 5 τοποθετήθηκαν στις ζώνες του αγρού με τις χαμηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, με τον αισθητήρα της θέσης 4 ωστόσο να βρίσκεται σε σημείο με μικρότερη κλίση από τον αισθητήρα στη θέση 5 ενώ στην περιοχή αυτή και η περιεκτικότητα της άμμου είναι υψηλή. Ο αισθητήρας 1 τοποθετήθηκε στη ζώνη με τις υψηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενώ οι αισθητήρες 2 και 3 τοποθετήθηκαν σε περιοχές του αγρού με μέσες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τον αισθητήρα 3 να βρίσκεται σε σημείο του αμπελώνα με μεγαλύτερη κλίση και με υψηλότερη περιεκτικότητα άμμου από τον αισθητήρα στη θέση 2.

Κατά τη διάρκεια ενός τετραήμερου από τις 24/6/2008 έως τις 28/6/2008 η εδαφική υγρασία που καταγράφηκε από τους πέντε αισθητήρες παριστάνεται γραφικά στο Σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12. Γραφική απεικόνιση δεδομένων υγρασίας από τους αισθητήρες

Από τα παραπάνω αποτελέσματα γίνεται αντιληπτό πως οι υψηλότερες τιμές υγρασίας στον αγρό καταγράφονται από τον αισθητήρα 1 ο οποίος βρίσκεται στη ζώνη με τις υψηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa). Επίσης στην ίδια ζώνη η περιεκτικότητα του αγρού σε άργιλο και σε οργανική ουσία είναι ιδιαίτερα υψηλή, γεγονός που ευνοεί την καλύτερη συγκράτηση υγρασίας του εδάφους, ενώ και η κλίση του εδάφους είναι μέση (7%) επιτρέποντας τη συγκράτηση νερού που προέρχεται από τα υψηλότερα τμήματα του εδάφους που εμφανίζουν μεγαλύτερη κλίση.

Οι αισθητήρες 2 και 3 που βρίσκονται σε ζώνες με μέσες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας καταγράφουν τις αμέσως επόμενες υψηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας. Ωστόσο ο αισθητήρας που βρίσκεται στη θέση 2 καταγράφει υψηλότερες τιμές υγρασίας από τον αισθητήρα στη θέση 3 ενώ και ο ρυθμός μείωσης των τιμών είναι ελαφρώς μεγαλύτερος στον αισθητήρα 3. Αυτό οφείλεται κυρίως στη μεγαλύτερη κλίση του εδάφους στη θέση 3 καθώς και στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε άργιλο στην θέση 2 που βοηθά στην καλύτερη συγκράτηση του νερού σε αυτή τη θέση.

Τέλος οι αισθητήρες 4 και 5 που τοποθετήθηκαν στα σημεία του αμπελώνα που καταγράφηκαν και οι χαμηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζουν και τις χαμηλότερες τιμές εδαφικής υγρασίας. Επίσης στα σημεία αυτά η περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και οργανική ουσία είναι η χαμηλότερη από

ολόκληρη την έκταση του χωραφιού πράγμα που δεν ευνοεί την καλή συγκράτηση νερού στα σημεία αυτά.

Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα- Μελλοντική εργασία

Κατά την πρώτη χρονιά διεξαγωγής του πειράματος στο συγκεκριμένο αγρό, παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στο ανάγλυφο του αγρού, στη μηχανική σύσταση του εδάφους, στις τιμές της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και στις τιμές της εδαφικής υγρασίας που καταγράφηκαν με τους ανάλογους αισθητήρες.

Παρά την μικρή έκταση του αγρού η εφαρμογή τεχνολογιών Αμπελουργίας Ακριβείας έχει μεγάλο ενδιαφέρον καθώς παρουσιάζεται μεγάλη παραλλακτικότητα σε πολλά στοιχεία του εδάφους. Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa) του εδάφους που καταγράφηκε με τον αισθητήρα EM 38 κυμαίνεται σε τιμές 0- 120 mS/m οι οποίες αποτυπωμένες στον χάρτη σχηματίζουν τρεις ευδιάκριτες ζώνες μικρής, μέσης και υψηλής φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Με την εγκατάσταση αισθητήρων μέτρησης υγρασίας μέσα σε κάθε ζώνη, καταγράφηκαν υψηλότερες τιμές περιεχόμενης υγρασίας στις ζώνες με υψηλές τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ενώ οι χαμηλότερες τιμές καταγράφηκαν στις ζώνες με τις χαμηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Ακόμη μέσα στις ίδιες ζώνες φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, οι τιμές υγρασίας ήταν υψηλότερες σε τμήματα του αγρού με μικρή κλίση και υψηλότερη περιεκτικότητα αργίλου από τμήματα μεγαλύτερης κλίσης και υψηλής περιεκτικότητας σε άμμο. Επίσης παρουσιάζεται μια διακύμανση της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία η οποία επηρεάζεται κυρίως από την κλίση του εδάφους.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως εξαιτίας της παραλλακτικότητας του αγρού οι ανάγκες κάθε ζώνης είναι διαφορετικές. Όμως αυτή την παραλλακτικότητα που υπάρχει στο έδαφος, ο παραγωγός δε μπορούσε να την αντιληφθεί καθώς τον ενδιέφερε πιο πολύ ο μέσος όρος των στοιχείων του αμπελώνα. Με τη χρήση της Γεωργίας Ακριβείας ο παραγωγός θα μπορέσει να επιτύχει μείωση των εισροών (με την εντονότερη άρδευση των ζωνών του αγρού με χαμηλότερες τιμές φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας που επιτυγχάνεται με αλλαγή του συστήματος άρδευσης) καθώς επίσης και φιλικότερα αποτελέσματα προς το περιβάλλον με την εφαρμογή των απαραίτητων δόσεων λιπασμάτων ανάλογα με τις ανάγκες κάθε τμήματος του αγρού.

Ειδικότερα για τις ανάγκες άρδευσης του αμπελιού, όπως είναι γνωστό, οι ανάγκες της καλλιέργειας σε νερό ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση των σταφυλιών ως τροφή ή την επεξεργασία τους και την παραγωγή οίνου με τις ανάγκες της

καλλιέργειας στην πρώτη περίπτωση να είναι μεγαλύτερες από τη δεύτερη (Νικολάου, 2008). Στο πειραματικό τεμάχιο που πραγματοποιήθηκε η έρευνα όπου η συνολική παραγωγή χρησιμοποιείται για παραγωγή οίνου οι ανάγκες του φυτού σε νερό για την παραγωγή οίνου υψηλής ποιότητας είναι περιορισμένες.

Ο παραγωγός με τον σαφή διαχωρισμό του εδάφους του αμπελώνα σε δύο τμήματα, με το άνω τμήμα να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές εδαφικής υγρασίας από το κάτω τμήμα, μπορεί να μειώσει τις αρδεύσεις στο κάτω τμήμα όπου οι τιμές της υγρασίας είναι υψηλότερες πετυχαίνοντας μείωση των εισροών νερού και καλύτερη ποιότητα σταφυλιών. Η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων νερού στα δύο τμήματα του αγρού μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταφορά της γεννήτριας άρδευσης από το υψηλότερο τμήμα του αμπελώνα που βρίσκεται τώρα στο μέσο του και τη χρήση δύο δικτύων που το πρώτο θα χρησιμοποιείται για την άρδευση του άνω τμήματος του χωραφιού και το δεύτερο για την άρδευση του κάτω τμήματός του.

Βέβαια σε άλλες περιπτώσεις η εφαρμογή των απαιτούμενων εισροών ανάλογα με τις ανάγκες του αμπελώνα σε κάθε θέση του, απαιτεί και τη χρήση των κατάλληλων οργάνων εφαρμογής μεταβλητών δόσεων (συστήματα ελεγχόμενης εφαρμογής λιπασμάτων κ.α.).

Η χρήση αυτών των νέων τεχνολογιών καταγραφής των παραμέτρων απαιτεί επαναληψιμότητα των μετρήσεων καθώς και απόκτηση περισσότερων γνώσεων γύρω από τον τρόπο χρήσης και λειτουργίας των οργάνων καταγραφής. Έτσι παρά το μεγάλο χρονικό διάστημα κατά το οποίο εγκαταστάθηκαν οι αισθητήρες υγρασίας στον αγρό πλήθος προβλημάτων δεν επέτρεψαν την συλλογή ικανοποιητικού αριθμού δεδομένων.

Ωστόσο τα δεδομένα αυτά αποτελούν μια βάση πάνω στην οποία θα βασιστεί η συνέχιση του πειράματος τα επόμενα έτη. Η καταγραφή επιπλέον χρήσιμων δεδομένων όπως η συγκέντρωση βορίου και άλλων στοιχείων του εδάφους που επιδρούν στην ποιότητα του παραγόμενου οίνου, η καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της παραγωγικότητας του αμπελιού θα βοηθήσει στο διαχωρισμό του χωραφιού σε περιοχές υψηλής ποιότητας και σε περιοχές χαμηλότερης ποιότητας.

Τέλος είναι σημαντικό να δημιουργηθούν και ζώνες διαχείρισης, όπου τα εδαφικά χαρακτηριστικά που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα, θα συγκριθούν με τις ζώνες διαχείρισης που προκύπτουν από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και θα μπορούν να επαληθευτούν τα δεδομένα. Για να μπορούμε να υπάρξει σιγουριά για τα αποτελέσματα απαιτείται να συνεχιστεί το πείραμα και τις επόμενες χρονιές, ώστε να επαναληφθούν οι μετρήσεις υγρασίας και φαινόμενης

ηλεκτρικής αγωγιμότητας οι οποίες στη συνέχεια θα συσχετισθούν με διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά καθώς και με άλλες εδαφικές παραμέτρους.

Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία

A) Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

1. Βέργος, Γ., (2003). Εφαρμογές παγκοσμίου δορυφορικού συστήματος εντοπισμού θέσης, Διδακτικές σημειώσεις, Σέρρες.
2. Ζαρμπούτης, Ι., Τσιβεριώτου, Μ., (2003). Στοιχεία Αμπελουργίας και Οινολογίας, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα.
3. Κεραμίδας, Β., Σινάνης, Κ., (2007). Εδαφολογία, Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
4. Μήτσιος, Ι.Κ., (2003). Γονιμότητα εδαφών- Θρεπτικά στοιχεία φυτών και βαρέα μέταλλα- Μέθοδοι και εφαρμογές. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
5. Νικολάου, Ν. Α., (2008). Αμπελουργία. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.
6. Παπαοικονόμου, Μ., Αγροχημικά ΑΒΕΞ (2002). Οδηγός Γεωργίας Ακριβείας. Τμήμα τεχνικής υποστήριξης.
7. Σταύρακας, Δ., (2001). Μαθήματα γενικής αμπελουργίας. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
8. Σταύρακας, Δ., (1997). Μαθήματα αμπελογραφίας. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας. Βόλος.
9. Συλλαίος, Ν., (2000). Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση και στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
10. Τερζίδης, Γ.Α., Παπαζαφειρίου, Ζ., (1997). Γεωργική Υδραυλική. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
11. Φλωράς, Σ., (2004). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
12. Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ., (2003). Το δορυφορικό σύστημα GPS. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
13. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2006), GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
14. Οι δρόμοι του Ελληνικού κρασιού, www.wineroads.gr.
15. Δίκτυο πληροφόρησης και υποστήριξης του πληθυσμού της θεσσαλικής υπαίθρου, Περιφέρεια Θεσσαλίας, <http://www.thessalia.gr/diktio/>.

B) Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Adamchuk, V.I., Hummel, J.W., Morgan, M.T., Upadhyaya, S.K., (2004). On- the-go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 44, pp.71-91.
2. Al-Kufaishi, S.A., Blackmore, B.S. and Sourell, H., (2005). The potential contribution of precision irrigation to water conservation. (Paper presented at the 5th European conference on precision agriculture). In: Stafford, J.V. *Precision agriculture 2005*. pp. 943-950.
3. Blackmore, B.S., Marshall, C.J., (1996). Yield Mapping: Errors and Algorithms. In: Robert, P.C., Rust, R.H and Larson, W.E., (1996). *Proceedings of the third international conference on precision agriculture*. Minneapolis, MN. June 23-26, 1996. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
4. Bouma, Johan, (1997). Precision agriculture: introduction to the spatial and temporal variability of environmental quality. In: Lake, J.V., Bock, Gregory, Goode, Jamie, (1997). *Precision Agriculture: spatial and temporal variability of environmental quality*. Ciba Foundation, Symposium 210. England. pp.5-15.
5. Bramley, R.G.V., (2001). Progress in the development of precision viticulture-variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. CSIRO Land and Water and Cooperative Research Centre for Viticulture Private Bag No. 2, Glen Osmond, SA 5064, Australia.
6. Buchleiter, W., Gerald, H., Dale, F., and Richard, W.J. (1996). Economic analysis of on-farm irrigation scheduling. In: Camp, C.R., Sadler, E.J., (1996). *Evapotranspiration and irrigation scheduling*. Proceedings of the International Conference, San Antonio, Texas. pp 986-991.
7. Chong, C., Kumar, S.P., (2003). “Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges” *Proceedings of the IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 47-59.
8. Clark, R.L., McGuckin, R.L. (1996). Variable Rate Application Equipment for Precision Farming. University of Georgia, Athens, GA. Presentation at the 1996 Beltwide Cotton Conference.
9. Corwin, D.L., Lesch, S.M., (2003). Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, Principles and guidelines. *Agronomy Journal*, Vol. 95, No. 3, pp. 455- 471.

10. Corwin, D.L., Lesch, S.M., (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* Vol. 46, pp. 11-43.
11. Decagon Devices, (2006). ECH₂O Soil moisture sensor operator's manual for models EC-20, EC-10 and EC-5. Decagon Devices, Inc Pullman WA, USA.
12. Ehsani, Reza, (2005). Soil Electrical Conductivity (EC) sensors. The Ohio State University. <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/>.
13. Ferguson, R.B., Hergert, G.W., (2001). Soil Sampling for Precision Agriculture. University of Nebraska Cooperative Extension EC 00-154.
14. Fluck, R.C., (1992). Energy in Farm Production: Energy in world agriculture, Vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp.18-34.
15. Friedman, S.P., (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. *Computers and Electronics in Agriculture* 46 (2005), pp.45-70.
16. Geonics Limited, (2006). EM 38 Ground Conductivity Meter Operating Manual. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
17. Geonics Limited, (2006). Operating Instructions, EM38xp Version 1.01, EM38 Data logging system for Windows XP based field computer. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
18. Grove, J.H., Pena-Yewtukhiw, E.M., (2007). The potential of “precision” recommendations for site-specific phosphorus, potassium and lime applications. (Paper presented at the 6th European conference on precision agriculture). In: Stafford, J.V. *Precision agriculture 2007*. pp. 689-695.
19. Hamblin, A.P., (1985). The influence of soil structure on water movement, crop root growth, and water uptake. *Advances in Agronomy* Vol. 38, pp. 95-158.
20. Hartsock, N.J., Mueller, T.G., Thomas, G.W., Barnhisel, R.I., Wells, K.L. and Shearer, S.A., (2000). Soil electrical conductivity variability. In: Robert, P.C. et al., *Proceedings 5th international conference on precision agriculture*. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI.
21. Jackson, R., (2000). *Wine science: Principles and applications* (2nd edition). Academic Press (U.K.), pp. 204-229.
22. Lanyon, D.M, Cass, A., and Hansen, D., (2004). The effect of soil properties on vine performance. CSIRO Land and Water Technical Report No. 34/04, pp. 10-15.

23. 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.
24. McNeill, J.D., (1980). Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Tech. Note TN-6. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
25. McNeill, J.D., (1980). Electrical conductivity of soils and rocks. Technical Note TN-5. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
26. McNeill, J.D., (1992). Rapid, accurate mapping of soil salinity by electromagnetic ground conductivity meters. Geonics Limited, Mississauga, ON, Canada.
27. Moran, M.S., Inoue, Y., Barnes, E.M., (1997). Opportunities and limitations for image -based remote sensing in precision crop management. Remote Sensing of Environment. Vol. 61: pp. 319-346.
28. Moteiv Corporation, (2006). Tmote Sky Ultra Low Power Wireless Sensor Operating Manual. Moteiv Corporation, San Francisco, CA, USA.
29. National Research Council, (1997). Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 1-15.
30. Nijbroek, R., Hoogenboom, G., and Jones, W.J., (2003). Optimizing irrigation management for spatially variable soybean field. Agricultural Systems 76, pp. 359-377.
31. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., (1954). Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dep. Of Agric. Circ. pp.939-941.
32. Pansu, Marc, Gautheyrou, Jacques, (2006). Handbook of soil analysis: Mineralogical, organic and inorganic methods. pp. 551-566.
33. Rowe, R.N., (1993). Grapevine devigoration. The Australian and New Zealand Wine Industry Journal Vol. 8, pp. 326-328.
34. Saayman, D., (1977). The effect of soil and climate on wine quality. In: International symposium on the quality of the vintage, Cape Town. Oenological and Viticultural Research Institute, Stellenbosch, pp. 197-208.
35. Srinivasan, Ancha, (2006). Handbook of precision agriculture: Principles and Applications. Food Products Press, Binghamton, N.Y. pp.19-85, 414-426.
36. Swan, A.R.H., Sandilands, M., (1995). Introduction to Geological Data Analysis. Oxford: Blackwell Science, Ltd., pp. 446.
37. Surfer Guide, Golden Software, 2001.

38. Viscarra Rossel, R.A., Thylen, L., Gilbertsson, M., McBratney, A.B., (2004). Development of an on-the-go soil sensing system for determination of soil ph and lime requirement. 7th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management, July 25-28, Minneapolis, Minnesota, USA.
39. Walker, R.R., Blackmore, D.H., Clingeleffer, P.R., (1996). Salinity-vine vigour interactions and their effects on fruitfulness and yield of sultana on Ramsey rootstock and own roots. Australian Dried Fruits Association News, pp. 16-18.
40. Walkley, A., (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effects of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. Vol. 63. pp. 251-263.
41. Wang, S., Okamoto, G., Hirano, K., Lu, J. and Zhang, C., (2001). Effects of restricted rooting volume on vine growth and berry development of Kyoho grapevines. American Journal of Enology and Viticulture. Vol. 52, pp. 248-253.

