



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας

Θέμα Πτυχιακής Εργασίας

« Εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε
εδάφη της αποξηραμένης λίμνης Αγουλινίτσας με
ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. »

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1

Ευαγγελοπούλου Φωτεινή

ΑΜ: 11790

Κωνσταντίνος Κρινάς

ΑΜ: 12020

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Μπαρούχας Παντελής, Επίκουρος Καθηγητής

Αμαλιάδα 2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ	4
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	5
1.2.1 Έδαφος και γονιμότητα του εδάφους.....	5
1.2.2 Φυσικές ιδιότητες και ταξινόμηση του εδάφους.	7
1.2.3 Χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους.....	10
1.2.4 Προβληματικά εδάφη.	11
1.2.5 Κατηγορίες προβληματικών εδαφών.	12
1.2.6 Δημιουργία Αλατούχων Εδαφών	14
1.2.7 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC).....	16
1.2.8 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC _a).....	17
1.2.9 Σημασία Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας	19
1.2.10 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.	19
1.2.11 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.....	21
1.2.12 Αισθητήρες EMI.....	23
2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	24
2.1 Περιοχή Μελέτης- Κλιματολογικά δεδομένα.	24
2.2 Γεωργία ακριβείας και εδαφικά γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα.	26
2.2.1 Γεωργία ακριβείας.....	26
2.2.3 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού - Global Positioning System (GPS)	27
2.2.4 Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών GIS	30
2.2.5 Λογισμικά στοιχεία λειτουργίας των GIS	31
2.2.6 Πρόγραμμα Δημιουργίας Εδαφικών Χαρτών- SURFER11.....	32
2.2.7 Μέτρηση EMI με αισθητήρα Profiler™ EMP-400.....	33
2.3 Δειγματοληψία εδάφους και εργαστηριακές αναλύσεις.....	35
2.3.1 Δειγματοληψία.....	35
2.3.2 Μέτρηση Υγρασίας και Αεροξήρανση των δειγμάτων.	37

2.3.3 Προσδιορισμός υγρασίας: Με καύση της οργανικής ουσίας.....	39
2.3.4 Προετοιμασία δειγμάτων.....	41
2.3.5 Μέτρηση της οξύτητας του εδάφους (pH).....	43
2.3.6 Μέτρηση Ανθρακικού Ασβεστίου CaCO_3	45
2.3.7 Μέτρηση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.....	48
2.4 Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας	49
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	53
3.1 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Αναλύσεων.....	53
3.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	79
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή έλαβε χώρα στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών (πρώην Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας)¹. Ως βασικός στόχος της εργασίας αυτής αποτέλεσε η πληρέστερη κατανόηση των παραγόντων και του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλονται οι χημικές ιδιότητες του pH, του ολικού ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) και κυρίως της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους μιας αποξηραμένης λίμνης. Επιπλέον, παρουσιάζεται και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των μεταβαλλόμενων τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μέσω της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές ευχαριστίες μας στον επιβλέπον καθηγητή μας, τον επίκουρο καθηγητή κ. Μπαρούχα Παντελή για την ανάθεση του παρόν θέματος της πτυχιακής, για την καθοδήγηση και επίβλεψη της παρούσας εργασίας, καθώς και το Εδαφολογικό Εργαστήριο της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας για την πολύτιμη βοήθεια και υποδομών που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης. Επιπλέον θερμές ευχαριστίες στο εργαστήριο ιζηματολογίας του τμήματος γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών καθώς και σε όλους όλους εκείνους που συνέβαλαν στις εργασίες πεδίου στην συλλογή και την ανάλυση των δειγμάτων που διεξήχθησαν για την ολοκλήρωση της μελέτης.

¹ Η παρούσα μελέτη χρηματοδοτήθηκε εν μέρει στα πλαίσια του προϋπολογισμού του έργου «Technological and Business innovation services to stimulate the local Agro-food ecosystems and to support a Cross Border Collaboration among Local Action Groups (TAGs) με κωδικό MIS 5003507 του Προγράμματος Interreg V- A Greece-Italy 2014 2020 και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από εθνικούς πόρους

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έρευνα εστιάστηκε στη μελέτη των εδαφικών ιδιοτήτων εδάφους της αποξηραμένης λίμνης της Αγουλινίτσας καθώς και στον τρόπο με τον οποίο αυτές καθορίζουν τις καλλιεργητικές πρακτικές και τον τρόπο ανάπτυξης των φυτών. Αντικείμενο της πτυχιακής αποτέλεσε η διερεύνηση των εδαφολογικών παραμέτρων της αποξηραμένης Λίμνης και στη πλησιέστερη εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιοχή μελέτης. Για τον σκοπό αυτό διενεργήθηκε εργασία υπαίθρου σε αγρό 40 στρεμμάτων καλλιέργειας βιομηχανικής ντομάτας, όπου πραγματοποιήθηκε ενδεικτική δειγματοληψία εδάφους. Αναλύονται οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από τον αγρό ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες του pH, του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Ec). Τέλος, γίνεται εκτεταμένη αναφορά στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τη χρήση αισθητήρων ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και η συσχέτιση τους με την εργαστηριακή μέθοδο μέτρησης, μέσω διαγραμμάτων διασποράς και χωρικής κατανομής στον αγρό των ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή (Electromagnetic Induction), Proximal Soil Sensing, Ψηφιακή Χαρτογράφηση εδάφους (Digital Soil Mapping), Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (Electrical Conductivity)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.2.1 Έδαφος και γονιμότητα του εδάφους.

Ως έδαφος ορίζεται το ανώτερο στρώμα της επιφάνειας της γης το οποίο προέρχεται από μητρικά υλικά όπως πετρώματα και ορυκτά υλικά, αποτελούμενο από διάφορα συστατικά όπως το νερό, ο αέρας, η οργανική ουσία και τα ανόργανα υλικά.

Το έδαφος αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την διατήρηση της καλλιέργειας και της ανάπτυξης των φυτών. Αποτελεί την κύρια πηγή βιοποικιλότητας και ένα από τα μεγαλύτερα οικοσυστήματα της γης αφού σε αυτό αναπτύσσεται το μεγαλύτερο ποσοστό των μικροοργανισμών. Τα εδάφη κατέχουν την κύρια πηγή για την διατήρηση της ζωής στον πλανήτη καθώς παρέχουν το υπόβαθρο του 95% της παγκόσμιας παραγωγής τροφίμων και βιομηχανικών προϊόντων. Αυτοί είναι μερικοί μόνο από τους λόγους για τους οποίους το έδαφος θα πρέπει να διατηρείται γόνιμο, με άριστες φυσικοχημικές ιδιότητες. Για την προσπάθεια αυτή παρατηρούνται να γίνονται πολλές μεταχειρίσεις από υπευθύνους επιστήμονες αλλά και από τους ίδιους τους παραγωγούς και καλλιεργητές, οι οποίες είναι γνωστές με τον όρο «εισροές» των αγρο-οικοσυστημάτων. Μερικές από τις εισροές αυτές είναι τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα και το νερό άρδευσης. Οι παράμετροι αυτοί αποτελούν από τις πιο σημαντικές εισροές σε μία καλλιέργεια, καθορίζοντας τη γονιμότητα του εδάφους και μεταγενέστερα τις αποδόσεις της καλλιέργειας. Έτσι, λοιπόν όπως θα αναλυθεί και παρακάτω το έδαφος κάθε περιοχής καλλιέργειας παρουσιάζει χωρική παραλλακτικότητα ως προς τις ιδιότητες του, η οποία είναι εφικτό να μεταβάλλεται συνεχώς. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να καταγράφονται οι καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται σε κάθε καλλιέργειας και να παρακολουθείται η περιεκτικότητα των θρεπτικών στοιχείων μέσω εδαφικών αναλύσεων. Με αυτό τον τρόπο επιδιώκεται η διατήρηση της γονιμότητα του

εδάφους με αποτέλεσμα να μειώνονται οι εισροές της κάθε καλλιέργειας.

Ως γόνιμο χαρακτηρίζεται το έδαφος το οποίο παρέχει όλα τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ορθή ανάπτυξη τους, στις επιθυμητές συγκεντρώσεις για το κάθε είδος καλλιέργειας. Σύμφωνα με τους *Arnon & Stout, 1939*, ως απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο ορίζεται κάθε στοιχείο που αποτελεί δομικό χαρακτηριστικό του φυτού και η απουσία του μπορεί να προκαλέσει διαταραχή στον βιολογικό του κύκλο. Είναι γνωστό ότι τα φυτά για την ανάπτυξη τους χρειάζονται 16 βασικά θρεπτικά στοιχεία όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα τα οποία διακρίνονται σε μικροστοιχεία και σε ιχνοστοιχεία ανάλογα με τις συγκεντρώσεις τους στους ιστούς των φυτών. Αυτά ανάλογα με τη μορφή των χημικών ενώσεων που βρίσκονται τους στο έδαφος καθορίζουν τον τρόπο δέσμευσης και εκμετάλλευσης από τα φυτά. Τις περισσότερες φορές όταν τα στοιχεία αυτά δεν βρίσκονται σε αφομοιώσιμες μορφές για τα φυτά, τότε μπορούν να εμφανιστούν διάφορα φαινοτυπικά στοιχεία τα οποία ονομάζονται τροφοπενίες και οφείλονται στην έλλειψη των διαφόρων απαραίτητων στοιχείων.

Πίνακας 1: Θρεπτικά στοιχεία φυτών και μορφή πρόσληψης

	Στοιχείο	Σύμβολο	Μορφή πρόσληψης
Μακροστοιχεία	Άζωτο	N	NO_3^- , NH_4^+
	Κάλιο	K	K^+
	Ασβέστιο	Ca	Ca^{2+}
	Μαγνήσιο	Mg	Mg^{2+}
	Φόσφορος	P	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
	Θείο	S	SO_4^{2-}
Ιχνοστοιχεία	Σίδηρος	Fe	Fe^{2+} , Fe^{3+}
	Χλώριο	Cl	Cl^-
	Βόριο	B	BO_3^{3-}
	Μαγγάνιο	Mn	Mn^{2+}
	Ψευδάργυρος	Zn	Zn^{2+}
	Χαλκός	Cu	Cu^+ , Cu^{2+}
	Μολυβδαίνιο	Mo	MoO_4^{2-}

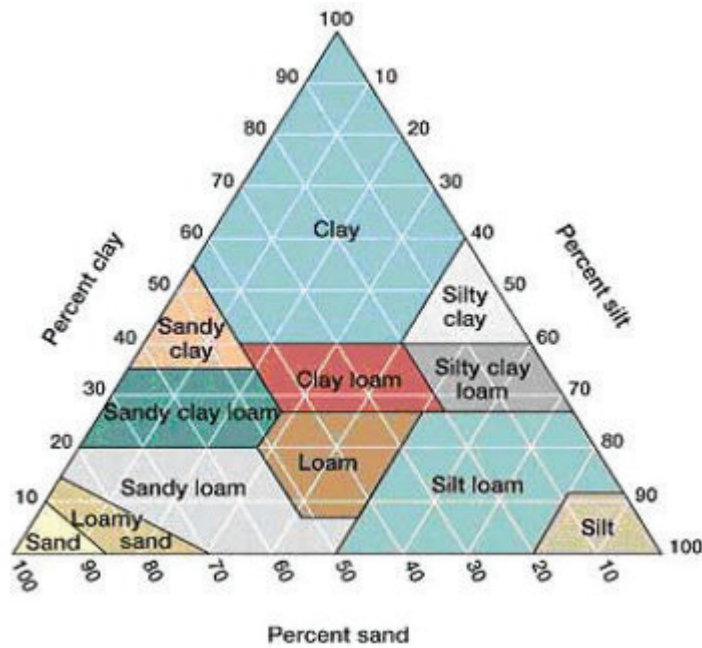
(Πηγή πίνακα 1:

<https://www.google.gr/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwiA65C7m-zkAhUJKIAKHbaKDjkQjRx6BAGBEAQ&url=https%3A%2F%2Frepository.kallipos.gr>

Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει ισορροπία των διαθέσιμων χημικών ενώσεων στο έδαφος ώστε να ολοκληρώνεται ο βιολογικός κύκλος των φυτών. Έτσι λοιπόν, η εκτίμηση των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος αποτελεί ένα από τα βασικότερα κριτήρια μελέτης. Η εκτίμηση της γονιμότητας μπορεί να γίνει μέσω εδαφικών και φυλλοδιαγνωστικών αναλύσεων, έτσι ώστε να δοθεί μία σαφή εικόνα της περιεκτικότητας του εδάφους στα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία τα οποία είναι διαθέσιμα για τα φυτά. Η επίτευξη μιας ορθής εκτίμησης της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος μπορεί να επιτευχθεί μέσω της δειγματοληψίας εδάφους ή φύλλων αντίστοιχα. Η κάθε δειγματοληψία θα πρέπει να ακολουθεί κανόνες, οι οποίοι έχουν ως σκοπό να παρθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα της κάθε περιοχής μελέτης ώστε να είναι εφικτή η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων που θα μας βοηθήσουν στην ανάλυση και τη μελέτη των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους.

1.2.2 Φυσικές ιδιότητες και ταξινόμηση του εδάφους.

Όπως καταγράφηκε από το υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ, το έδαφος διαχωρίζεται ανάλογα με το μέγεθος των εδαφικών τεμαχιδίων του. Η ταξινόμηση των εδαφικών τεμαχιδίων γίνεται με βάση το μέγεθος τους και κατατάσσονται στις τρεις κύριες εδαφικές ομάδες οι οποίες είναι η άμμος, η ιλύς και η άργιλος. Με βάση αυτές τις ομάδες των αμμώδη, αργιλώδη και πηλώδη εδαφών έχουν δημιουργηθεί 12 κλάσεις κοκκομετρικής σύστασης οι οποίες καθορίζονται από τα ποσοστά άμμου, ιλύς, και αργίλου όπως απεικονίζονται στην εικόνα 1.



Εικόνα 1: Κλάσεις Κοκκομετρικής Σύστασης (www.teidasoponias.gr)

(Πηγή εικόνας 1:

https://www.google.gr/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjpoZTtm-zkAhXMbFAKHeKzADgQjRx6BAgBEAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.teidasoponias.gr%2Fsite%2Fnews%2Fextra%2Fmorfologia%2Ffisikes_idiotites_edafous.pdf&psig=AOvAw1730Uln1WpKpFH3cCJUAQb&ust=1569509285049246)

Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό τα αμμώδη εδάφη χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα καθώς η διάμετρος των τεμαχιδίων είναι από 0,05mm - 2mm, με σχετικά μεγάλους πόρους. Τα αμμώδη εδάφη χαρακτηρίζονται από χαμηλή ικανότητα συγκράτησης του εδαφικού νερού γεγονός το οποίο οφείλεται στο μέγεθος των εδαφικών πόρων λόγω του φαινομένου της βαρύτητας και της μικρής ειδικής επιφάνειας. Τα αμμώδη εδάφη έχουν καλή αεροπερατότητα και χαλαρή σύσταση άλλα εξαιτίας της δυσκολίας συγκράτησης νερού είναι πολύ επιρρεπή στην ξηρασία και στη δημιουργία αντίξων συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών.

Τα ιλυώδη εδάφη έχουν διάμετρο εδαφικών τεμαχιδίων από 0,05mm - 0,002mm. Χαρακτηρίζονται από καλή συγκράτηση του εδαφικού νερού σε αντίθεση με τα αμμώδη, όμως υπόκεινται σε υψηλή διάβρωση λόγω της επίδρασης του ανέμου και του νερού.

Τέλος, τα αργιλώδη εδάφη, τα οποία αποτελούν και βασικό θέμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας έχουν μέγεθος εδαφικών τεμαχιδίων $< 0,002 \text{ mm}$. Τα αργιλώδη εδάφη έχουν πολύ καλή ικανότητα συγκράτησης και απορρόφησης του νερού. Τα εδάφη αυτά αποτελούνται από διαφορετικά ορυκτά τα οποία προσδίδουν διάφορες εδαφικές ιδιότητες οι οποίες εξαρτώνται από το είδος της αργίλου. (Brandy και Weil, 2015)

Μερικές από αυτές τις ιδιότητες είναι η ικανότητα συγκράτησης νερού, η πλαστικότητα και η αντοχή. Τα τεμαχίδια της αργίλου όπως προαναφέρθηκε έχουν πολύ μικρό μέγεθος και μπορούν να αναφερθούν και ως κolloειδή κλάσματα, ένα χαρακτηριστικό τους το οποίο είναι αντιστρόφως ανάλογο με τη την ειδική επιφάνεια του εδάφους. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη κατηγορία εδαφών έχουν μεγάλη εξωτερική και εσωτερική επιφάνεια ανά μονάδα μάζας. Πάνω σε αυτές τις επιφάνειες υπάρχουν προσκολλημένα τα αρνητικά και θετικά φορτισμένα φορτία, τα οποία επηρεάζουν τις χημικές ιδιότητες των εδαφών. Τα βασικά ιόντα τα οποία υπάρχουν στα κolloειδή της αργίλου είναι τα Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , H^+ και Na^+ .

Τα ανιόντα και τα κατιόντα τα οποία εμπεριέχονται στο έδαφος προσδένονται πάνω στην εξωτερική στιβάδα με ελκτικές δυνάμεις δημιουργώντας μία ισορροπία μεταξύ των φορτίων τους. Όταν η ισορροπία μεταξύ των κατιόντων και των ανιόντων διαταραχτεί τότε απαντάται το φαινόμενο της Ικανότητας Ανταλλαγής Κατιόντων (ΙΑΚ ή CEC). Στην περίπτωση που ένα φορτισμένο θετικό μόριο μετακινείται μέσα στο εδαφικό διάλυμα τότε ένα άλλο θετικό ιόν ίσου φορτίου τείνει να πάρει την θέση του. Τα κατιόντα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν και ως ανταλλάξιμα κατιόντα. Τα κolloειδή του εδάφους που μπορούν να συγκρατούν τα ιόντα ονομάζονται σύμπλοκο ανταλλαγής κατιόντων και ανιόντων.

Σύμφωνα με τους Brandy και Weil (2015) η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων είναι ο αριθμός των γραμμομορίων θετικού φορτίου που είναι προσροφημένα από μονάδα μάζας cmol/kg . Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ΙΑΚ ενός εδαφικού ορίζοντα είναι κυρίως τα είδη των διαφορετικών κolloειδών της αργίλου και την ισχύ που συγκρατούν τα κατιόντα και τα ανιόντα. Αναφορικά τα κolloειδή της αργίλου είναι τα

εξής: 1) τα κρυσταλλικά πυριτικά ορυκτά, 2) τα μη κρυσταλλικά πυριτικά ορυκτά, 3) τα οργανικά, 4) τα οξείδια σιδήρου και αργίλου.

1.2.3 Χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους

Η χαρτογράφηση των εδαφικών ιδιοτήτων αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο για την βέλτιστη διαχείριση των εισροών μιας καλλιέργειας καθώς και στην κατανόηση της παραλλακτικότητας των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους της περιοχής. Μέσω της χαρτογράφησης δίνεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός πλάνου καλλιεργητικών πρακτικών με σκοπό τη μείωση στο μέγιστο δυνατό ποσοστό των εισροών που υφίσταται σε μια καλλιέργεια, αυξάνοντας τις αποδόσεις και συγχρόνως προστατεύοντας το έδαφος και το περιβάλλον από παραμέτρους που μπορούν να οδηγήσουν στην διάβρωση και στη δημιουργία προβληματικών εδαφών.

Η χωρική παραλλακτικότητα των εδαφών είναι αποτέλεσμα παραγόντων της εδαφογέννεσης. Οι παράγοντες αυτοί αποτελούνται από το κλίμα, το μητρικό υλικό, τους οργανισμούς, τη τοπογραφία και το χρόνο. Έτσι λοιπόν, είναι δυνατόν να διακριθεί σε μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας. Στη μικρή κλίμακα παραλλακτικότητας οι διαφορές εντοπίζονται σε μικρές εκτάσεις και προκύπτει συνήθως από μεταβολές που παρέρχονται από τους παράγοντες της τοπογραφίας και των ανώτερων στρωμάτων του μητρικού υλικού. Στη μεσαία κλίμακα παραλλακτικότητας για να κατανοηθούν οι εδαφολογικές ιδιότητες δημιουργούνται σειρές οι οποίες αντιστοιχούν σε σύνολα εδαφών και περιλαμβάνουν τις λιθοσειρές, τις χρονοσειρές και τοποσειρές, δηλαδή μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι είναι αποτέλεσμα των μητρικού υλικού, του χρόνου δημιουργίας των πετρωμάτων αυτών και τις αλλαγές που παρατηρούνται στο τοπογραφικό ανάγλυφο (*Brandy and Weil, 2015*)

Επιπλέον, η χαρτογράφηση των εδαφών ακολουθεί συγκεκριμένες μεθοδολογίες και συστήματα ανάλυσης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας αποτελεί βασικό κριτήριο για την ανάπτυξη παραμέτρων που καθιστούν εφικτή τη χαρτογράφηση των εδαφών. Μέσου της ραγδαίας ανάπτυξης

του τομέα της γεωργίας ακριβείας και των συστημάτων καλλιέργειας δόθηκε η δυνατότητα της χρήσης των συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS) και της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (EMI) για την διερεύνηση των εδαφικών φυσικοχημικών ιδιοτήτων καθώς και η χρήση ραντάρ που διαπερνούν το έδαφος (GPR), για την αξιολόγηση του εδαφικού προφίλ δίνοντας πληροφορίες σχετικά με τα υλικά ή τις αλλαγές των υλικών του εδάφους στα διάφορα βάθη. Όλα αυτά τα συστήματα βοηθούν στην έγκυρη δειγματοληψία, στη μελέτη των εδαφών μιας περιοχής και επομένως στην βέλτιστη διαχείριση μίας καλλιέργειας όπως θα αναλυθεί στα παρακάτω κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

1.2.4 Προβληματικά εδάφη.

Κατά την εδαφογέννεση τα εδάφη αποκτούν φυσικές και χημικές ιδιότητες τα οποία όπως προαναφέρθηκε είναι προϊόντα της επίδρασης πολλών παραγόντων όπου μερικοί από αυτούς είναι το μητρικό υλικό, το κλίμα, ο χρόνος και ο ανθρωπογενής παράγοντας. Ως προς το μητρικό υλικό, η διάβρωση των ορυκτών και των πετρωμάτων με την επίδραση του χρόνου κατέχουν σημαντικό ρόλο στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών.

Έτσι κάθε τμήμα εδάφους ανάλογα με την τοπογραφία του χαρακτηρίζεται από διαφορετικές χημικές ιδιότητες οι οποίες περιλαμβάνουν το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), την οργανική ουσία κ.α. . Στην παρούσα εργασία έχει δοθεί περισσότερη έμφαση στην επίδραση της αλατότητας και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους προερχόμενο από την αποξήρανση λίμνης και την εκμετάλλευση της συγκεκριμένης έκτασης για την ανάπτυξη καλλιεργειών.

Όταν αναφερόμαστε σε προβληματικά εδάφη, πάντα γίνεται συσχέτιση με κάποιο παράγοντα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, ο οποίος οδηγεί στην παρεμπόδιση ή στην αναστολή της ολοκλήρωσης του βιολογικού κύκλου των φυτών μιας καλλιέργειας. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι κάθε είδος καλλιέργειας έχει

διαφορετικές απαιτήσεις στους διάφορους φυσικοχημικούς παράγοντες. Έτσι λοιπόν, όταν ένα έδαφος χαρακτηρίζεται ως προβληματικό, γίνεται αναφορά σε συγκριμένα χαρακτηριστικά του όπως είναι το pH, η E_c , το $CaCO_3$ κλπ. . Η δημιουργία ενός προβληματικού εδάφους μπορεί να είναι αποτέλεσμα πολλών παραγόντων οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά μεταξύ τους. (Κουκουλάκης, Παπαδόπουλος, 2007)

1.2.5 Κατηγορίες προβληματικών εδαφών.

Τα προβληματικά εδάφη μπορούν να καταταχθούν και να διακριθούν σε κατηγορίες με βάση τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Υπάρχουν συγκεκριμένες κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται τα εδάφη και μπορούν να χαρακτηριστούν ως προβληματικά. Σύμφωνα με τον FAO αυτές οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- i. Αλατούχα- Αλκαλιωμένα εδάφη
- ii. Όξινα εδάφη
- iii. Ασβεστούχα εδάφη
- iv. Οργανικά ή τυρφώδη
- v. Βαριά, αργιλώδη
- vi. Επικλινή με απότομες κλίσεις

Κάθε κατηγορία εδαφών που αναφέρεται παραπάνω ορίζεται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των φυσικοχημικών τους ιδιοτήτων τα οποία τις διαχωρίζουν μεταξύ τους. Στην παρούσα εργασία σύμφωνα με την περιοχή καλλιέργειας που κλινόμαστε να μελετήσουμε θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση στη κατηγορία των Αλατούχων - Αλκαλιωμένων εδαφών.

Με τον όρο αλατούχα εδάφη αναφερόμαστε σε εδάφη τα οποία έχουν υψηλή τιμή αλάτων. Τα άλατα κινούνται στο έδαφος με την μορφή ιόντων διαλυτών αλάτων σε όλη την επιφάνεια του εδάφους συνήθως από τις υγρές περιοχές στις πιο ξηρές ακολουθώντας την πορεία του νερού. Οι περιοχές παρουσίας αλατούχων εδαφών χαρακτηρίζονται από

υψηλό ποσοστό εξατμισοδιαπνοής του νερού από την επιφάνεια του εδάφους. Τα άλατα είναι θειικές και χλωριούχες ενώσεις Na^+ , Mg^{+2} , SO_4^{+2} και HCO^{-3} τα οποία βρίσκονται σε εναλλακτική φάση στο έδαφος, τα οποία τείνουν να ονομάζονται και βασικά κατιόντα. Τα εδάφη αυτά έχουν μεγαλύτερο ποσοστό ιόντων αλάτων μαγνησίου και καλίου. Τα αλκαλικά εδάφη χαρακτηρίζονται από τιμή $\text{pH} > 7$. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα άλατα που βρίσκονται στο εδαφικό διάλυμα κατά την υδρόλυση τους δεν παράγουν H^+ με αποτέλεσμα να μην αυξάνεται το pH . Μια πολύ σημαντική πηγή αλάτων στο έδαφος αποτελεί το νερό άρδευσης, ειδικότερα τις περιοχές με υψηλή θερμοκρασία από υπάρχουν επεκτατικές ανάγκες για άρδευση και το ισοζύγιο εξατμισοδιαπνοής είναι πάνω από 75%.

Επίσης, σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στην ταυτοποίηση των νατριωμένων εδαφών ο δείκτης προσρόφησης νατρίου SAR και το ποσοστό του ανταλλάξιμου Na^+ . Με τον όρο ποσοστό ανταλλάξιμου νατρίου ορίζεται το ανταλλάξιμο νάτριο μετρούμενο σε cmolc / kg προς την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων μετρούμενη σε cmolc / kg .

Όταν η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εδαφικό διάλυμα είναι μεγαλύτερη από 4 dS/m και η τιμή προσρόφησης νατρίου μικρότερη από 15 τότε το έδαφος αυτό τείνει να χαρακτηρίζεται ως αλατούχο. Τα αλατούχα εδάφη τείνουν να έχουν κακή στράγγιση του εδαφικού νερού και αερισμού με αποτέλεσμα οι συνθήκες ανάπτυξης των φυτών της μελλοντικής καλλιέργειας να είναι δυσμενής λόγω των υποβαθμισμένων εδαφών. Ένα χαρακτηριστικό αναγνώρισης των αλατούχων εδαφών είναι το λευκό στρώμα αλάτων που σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους το οποίο δημιουργείται από τα εναπομένοντα άλατα στην επιφάνεια του εδάφους υστέρη από την εξάτμιση του νερού.

Τα αλατούχα - νατριωμένα εδάφη δεν έχουν μεγάλες διαφορές από τα αλατούχα. Η κύρια διαφορά τους οφείλεται στις χημικές τους ιδιότητες δηλαδή στις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του δείκτη ανταλλάξιμου νατρίου. Με τον όρο αλατούχα - νατριωμένα χαρακτηρίζονται τα εδάφη τα οποία έχουν υψηλό ποσοστό ιόντων εναλλακτικού Na^+ στο εδαφικό διάλυμα και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι μεγαλύτερη από τα 4 dS/m καθώς και ο δείκτης

προσρόφησης νατρίου μεγαλύτερο από 13. Αυτές οι τιμές δυσχεραίνουν την ανάπτυξη των φυτών στα εδάφη αυτά τόσο από τα υψηλά επίπεδα αλάτων όσο και από τη δημιουργία συσσωματωμάτων που δημιουργούνται στα κολλοειδή του εδάφους από τη κίνηση των αλάτων. Η ποσότητα των αλάτων που εμπεριέχονται στο νερό άρδευσης λειτουργούν αθροιστικά με αποτέλεσμα τα ιόντα Na^+ να δεσμευτούν στις θέσεις των κολλοειδών του εδάφους προκαλώντας νατρίωση.

Τα νατριωμένα εδάφη όπως μπορούμε να καταλάβουμε χαρακτηρίζονται από το υψηλό ποσοστό ιόντων νατρίου και ανήκουν στην κατηγορία των προβληματικών εδαφών με τις πιο σοβαρές επιπτώσεις στην καλλιέργεια των φυτών. Κύριο αναγνωριστικό των εδαφών αυτών είναι ο υψηλός βαθμός ανταλλάξιμου νατρίου. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των εδαφών αυτών κυμαίνεται σε τιμές μικρότερες των 4 dS/m ενώ ο δείκτης προσρόφησης νατρίου είναι μεγαλύτερος από 15. Η τιμή του pH στα εδάφη αυτά μπορούν να φτάσει και το 10 το οποίο οφείλεται στην διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου. (Κουκουλάκης και Παπαδόπουλος, 2007)

1.2.6 Δημιουργία Αλατούχων Εδαφών.

Οι αλατούχες περιοχές συνήθως διαχωρίζονται ανάλογα με τη γεωγραφική τους περιοχή ως προς αυτές που βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλό γεωγραφικό υψόμετρο, ως προς τις περιοχές που βρίσκονται κοντά στις εκβολές- δέλτα ποταμών καθώς και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από βαριά αργιλώδη αδιαπέραστα εδάφη.

Τα άλατα είναι προϊόν της αποσάθρωσης του μητρικού υλικού, των πετρωμάτων και των ορυκτών. Τα αλατούχα εδάφη αποτελούν ένα από τους συνηθέστερους τύπους εδαφών σε όλο τον κόσμο και κυρίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλό ύψος βροχής ετησίως. Τα ιόντα αλάτων που εμπεριέχονται στο εδαφικό διάλυμα είναι τα Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ και K^+ . Σε φυσιολογικά επίπεδα τα ιόντα των αλάτων αυτών βρίσκονται σε ισορροπία συγκεντρώσεων μεταξύ

τους με το ισοζύγιο της αντίδρασης να τείνει προς τα ιόντα Ca^{+2} και Mg^{+2} . Όταν όμως γίνεται προσθήκη αλάτων στο έδαφος μέσω δραστηριοτήτων οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω, πραγματοποιείτε χημική μεταβολή των αλάτων με το ισοζύγιο να τείνει προς την υπερίσχυση των ιόντων Na^+ και K^+ . Ο βασικότερος τρόπος μεταφοράς των αλάτων στο έδαφος είναι με τη μορφή διαλυτών ιόντων αλάτων στο εδαφικό νερό κινούμενα από τις υψηλότερες περιοχές προς τις χαμηλότερες και από τις πιο υγρές προς τις πιο ξηρές. Η υψηλότερη συγκέντρωση των αλάτων συνήθως βρίσκεται στη περιοχή της ριζόσφαιρας όπου το φαινόμενο αυτό δυσχεραίνει τη δέσμευση του νερού από το ριζικό σύστημα των φυτών λόγω της ωσμωτικής πίεσης. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που συνεργατικά τείνουν να οδηγήσουν στην αύξηση των αλάτων στο έδαφος. Βασικότεροι παράγοντες αποτελούν η τοπογραφική - γεωγραφική θέση και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Όσον αφορά το παράγοντα της γεωγραφικής τοποθεσίας σε αυτή περιλαμβάνονται τα δέλτα των ποταμών και παραθαλάσσιων περιοχών των οποίων οι εκβολές καταλήγουν σε παραπλήσιες περιοχές τις οποίες κατακλύζουν με νερό υψηλής περιεκτικότητας αλάτων. Επιπλέον, ένας από τους κύριους παράγοντες αύξησης των αλάτων είναι η ανθρώπινη παρέμβαση όπου με τις διάφορες καλλιεργητικές πρακτικές και το πέρασμα των χρόνων γίνεται όλο ένα και μεγαλύτερη οδηγώντας στην όξυνση του προβλήματος της εναλάτωσης.

Η κύρια μέθοδος κορεσμού του εδάφους με άλατα μέσω της ανθρώπινης παρέμβασης είναι μέσω του νερού άρδευσης. Κύριος παράγοντας επίδρασης είναι η μεταβολή στο υδατικό ισοζύγιο. Το νερό άρδευσης δεν είναι καθαρό εν αντιθέτως περιέχει άλατα τα οποία μέσω της άρδευσης εισχωρούν στο εδαφικό διάλυμα, εκεί ανάλογα με τη διαλυτότητα τους και με την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων προκαλείται αυξημένη συγκέντρωση Na^+ οδηγώντας στην αποδιοργάνωση του εδάφους και στη δημιουργία συμπαγούς και αδιαπέραστου εδαφικού στρώματος. Έτσι λοιπόν, οι περιοχές με ξηρό κλίμα και χαμηλό ύψος βροχής έχουν και τα περισσότερη έκταση προβληματικών εδαφών. Η κατανομή των αλάτων διαφέρει κατά μήκος του εδαφικού προφίλ ανάλογα με την εκπλύση του νερού άρδευσης και της δέσμευσης του από τα φυτά.

Επιπρόσθετα, η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών σκευασμάτων είναι μερικές από τις επιπρόσθετες εισροές που οδηγούν στην υπέρμετρη εισχώρηση κατιόντων Na^+ στο έδαφος, αυξάνοντας την αλατότητα και συνεπώς οδηγούν στην νατρίωση του εδάφους, ένα φαινόμενο το οποίο επεξηγείτε σε παρακάτω κεφάλαιο. Τέλος, εξίσου σημαντικό ρόλο στη δημιουργία των αλατούχων εδαφών εντάσσεται και ο τύπος του εδάφους δηλαδή η κοκκομετρία του, όπου τα εδάφη βαριάς κοκκομετρικής σύστασης τείνουν να έχουν χαμηλή υδατοπερατότητα και αεροπερατότητα και να οδηγούνται στην συγκράτηση αλάτων, σε αυτά τα εδάφη κατατάσσονται και τα αργιλώδη εδάφη όπως είναι το έδαφος της περιοχής μελέτης της παρούσας εργασίας (Κουκουλάκης, Παπαδόπουλος, 2007, Brandy and Weil, 2015)

1.2.7 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Ένας τρόπος προσδιορισμού της γονιμότητας του εδάφους πέρα από την κοκκομετρική του σύσταση και τα εδαφικά χαρακτηριστικά του είναι η εκτίμηση της περιεκτικότητας των διαλυτών αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει με την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Ως ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζεται η ικανότητα ενός διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή να είναι ένας «καλός» αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Σχετίζεται με την περιεκτικότητα ιόντων στο εδαφικό διάλυμα και έχει ως μονάδα μέτρησης το 1 dS/m. Η εκτίμηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας γίνεται με την μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης (R) το 1 Ohm. Η μέτρηση βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη με το ηλεκτρικό ρεύμα του διαλύματος όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω τύπο σύμφωνα με τους Corwin and Lesch, 2005.

$$EC_t = \frac{k}{R_t}$$

EC_t : η ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος με μονάδες μέτρησης στο S.I : 1 dS/m

Η μονάδα Siemens είναι το αντίστροφο της μονάδας μέτρησης του Ohm.

1.2.8 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC_a)

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σχετίζεται άμεσα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και παρουσιάζει τη συγκέντρωση των ιόντων αλάτων σε ένα εδαφικό διάλυμα. Συνήθως στο εδαφικό διάλυμα όπως αναφέρεται παραπάνω υπάρχουν ανιόντα αλάτων NO^{-3} , SO^{2-} , C^{1-} , HCO^{-} , CO^{2-} , OH^{-} και κατιόντα αλάτων Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , H^{+} , τα οποία συμπεριφέρονται σαν αγωγοί του ηλεκτρισμού.

Ειδικά οι Rhoades et al. (1976) εξέφρασαν μαθηματικά αυτή τη σχέση ως εξής:

$$EC = c \times ECa \times W + S$$

C: συντελεστής μετάδοσης ένδειξης

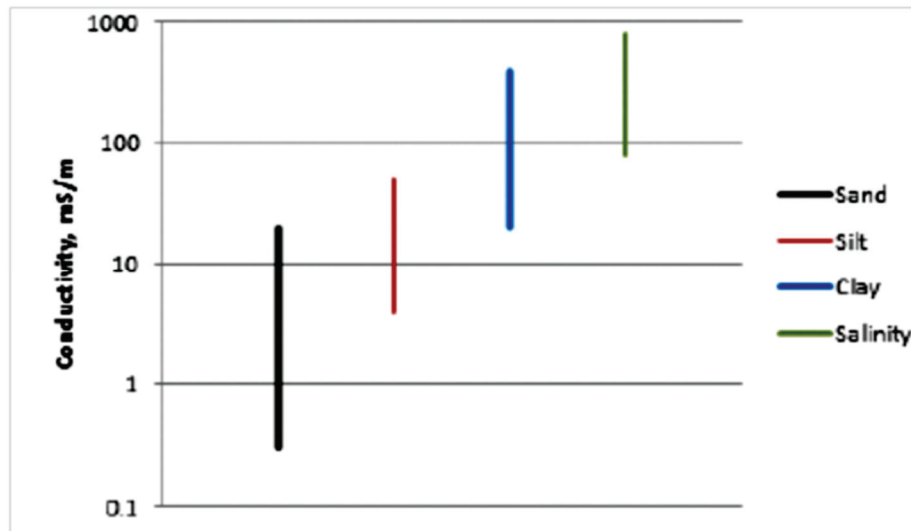
ECa: Αγωγιμότητα νερού εδάφους, άρα εξαρτάται από την περιεκτικότητα αλάτων

W: Περιεκτικότητα σε νερό στο έδαφος

W×ECa: Πραγματική συγκέντρωση αλάτων στην ανάλογη παρουσία νερού.

S: Αγωγιμότητα εδάφους.

Όσον αφορά τη σχέση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της αγωγιμότητας του εδάφους (S), αυτή προσδιορίζεται κυρίως από την υφή του εδάφους, τη θερμοκρασία και το πορώδες του εδάφους. Σχετικά με την υφή του, όσο περισσότερη περιεκτικότητα έχει ένα έδαφος σε άργιλο, τόσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση των αλάτων και χαρακτηρίζεται ως «καλός» αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. (Jung et al., 2005, Φουντάς & Γέμτος, 2015).



Εικόνα 2 : Συμπεριφορά ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανάλογα με την υφή του εδάφους (Barbosa and Overstreet, undated - <https://www.lsuagcenter.com/>)

Σύμφωνα με τον Corwin and Lesch, 2005, υπάρχουν τρεις φάσεις οι οποίες επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, η πρώτη αφορά την υγρή φάση μέσω της οποίας το νερό το οποίο εμπεριέχεται στο εδαφικό πορώδες καταλαμβάνει τους μεγαλύτερους πόρους, η δεύτερη αφορά την στερεή- υγρή φάση όπου χαρακτηρίζεται από την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων που συνδέεται άμεσα με τα κολλοειδή της αργίλου, η τρίτη και η τελευταία φάση αφορά τη στερεή μορφή, η οποία περιγράφει τη συνεχή αλληλεπίδραση του εδαφικού πορώδους. Όπως υποστηρίζεται στην μελέτη τους, η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σχετίζεται άμεσα από αυτές τις τρεις φάσεις καθώς και από τους παράγοντες των i) αλατότητας, ii) από το ποσοστό κορεσμού, iii) από την περιεκτικότητα σε νερό και iv) την φαινομενική πυκνότητα.

Επιπλέον είναι αποδεκτά γνωστό μετρώντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα μπορούμε να προσδιορίσουμε την αλατότητα του εδάφους. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μας δίνει μια ένδειξη για το σύνολο των αλάτων στο έδαφος, αλλά όχι για το είδος των χημικών στοιχείων που την απαρτίζουν.

1.2.9 Σημασία Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες του εδάφους, θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ένας παράγοντας που μας δίνει πληροφορίες για πολλές άλλες παραμέτρους του εδάφους. Μέσου της ηλεκτρικής αγωγιμότητας όπως έχει επισημανθεί σε αυτή την εργασία είναι ο κύριος τρόπος προσδιορισμού της συγκέντρωσης των αλάτων στο έδαφος έτσι λοιπόν μπορούμε να λάβουμε ενδεικτικές πληροφορίες και για το pH του εδάφους. Τα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση αλάτων τείνουν να έχουν και υψηλή τιμή pH ($> 7,5$), με αυτόν τον γίνεται κατανοητό ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του pH. Επιπλέον ένα έδαφος με υψηλή συγκέντρωση αλάτων ανήκει στη κατηγορία των αργιλωδών εδαφών όπου τα κολλοειδή της αργίλου μειώνουν την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Τέλος, εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα και συγκράτηση νερού εμφανίζονται να έχουν υψηλές τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας καθώς το νερό αποτελεί «καλό» αγωγό ηλεκτρισμού καθώς και ένα μέσο εμπλουτισμού του εδάφους με ιόντα αλάτων, οδηγώντας στην αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα για την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα μιας καλλιέργειας, αλληλοεπιδρώντας συγχρόνως και με τις υπόλοιπες παραμέτρους του εδάφους.

1.2.10 Μέθοδοι μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Όπως έχει προ-αναφερθεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα εκφράζει την ποσότητα των αλάτων σε ένα εδαφικό διάλυμα. Στα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση αλάτων η αλατότητα μετριέται ως ολικά διαλυτά στερεά (TDS) ή ως ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC). Επιπλέον, για τον χαρακτηρισμό

των νατριωμένων εδαφών χρησιμοποιούνται οι όροι του ανταλλάξιμου νατρίου (ESP) και ο δείκτης προσρόφησης νατρίου (SAR)

Σύμφωνα με τον Corwin, 2005, υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης της αλατότητας του εδάφους. Μερικές από αυτές τις μεθόδους αποτελούν οι εξής που αναλύονται παρακάτω. Μία από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους αποτελεί η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εδαφικό διάλυμα. Η μεθοδολογία αυτή καθορίστηκε από τους McNeill et. al, 1980, οι οποίοι υποστηρίζαν ότι η συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος μπορεί να μετρηθεί μέσω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο εκχύλισμα της πάστας κορεσμού του εδάφους σε εργαστηριακές μελέτες. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με αυτόν τον τρόπο μας δείχνει τη συγκέντρωση των αλάτων που περιέχονται στο διάλυμα. Κατά αυτή τη μέθοδο αναμιγνύεται απιονισμένο νερό στο εδαφικό δείγμα που έχει παρθεί από τη περιοχή μελέτης και ανακατεύεται μέχρι τη δημιουργία εδαφικής πάστας. Η τιμή της αγωγιμότητας που μετριέται με αυτή τη μέθοδο ορίζεται ως EC_e και έχει ως μονάδες μέτρησης το $1dS/m$.

Επίσης, για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείτε ευρύτατα άλλη μία μέθοδος, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί στις εργαστηριακές μελέτες της παρούσας πτυχιακής εργασίας, με τη δημιουργία πάστας κορεσμού ύστερα από ανάμειξη του εδάφους με νερό σε αναλογία 1:2, η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζετε αναλυτικά στην ενότητα «Υλικά και Μέθοδοι».

Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της αλάτων στο έδαφος είναι μέσω των ολικών διαλυτών αλάτων που είναι μια τεχνική η οποία μπορεί να μετρηθεί και στον αγρό είναι μέσου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης της φαινόμενη ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο υπέδαφος όπως περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

1.2.11 Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

Η EMI (ηλεκτρομαγνητική επαγωγή) είναι μια καθιερωμένη μέθοδος για χαρτογράφηση της EC_a , χρησιμοποιώντας φορητούς αισθητήρες επιτρέποντας τη χαρτογράφηση σχετικά μεγάλων περιοχών σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. (McNeill, 1980).

Για την μέτρηση της φαινομενικής ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιούνται αισθητήρες οι οποίοι μπορούν και καταγράφουν ένα αρχικό μαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργείται από ένα πηνίο πομπού το οποίο παράγει επαγόμενα ρεύματα στο υπέδαφος. Στο υπέδαφος δημιουργείται ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο και η αναλογία μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου μετριοούνται με ένα πηνίο αποδοχής, μπορεί να συσχετιστεί με την EC_a του υπεδάφους κάτω από συνθήκες χαμηλού αριθμού επαγωγής. Το μηχάνημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οριζόντιο και κάθετο δίπολο προσανατολισμού παρέχοντας πληροφορίες για τα διαφορετικά βάρη στο έδαφος (McNeill, 1980).

Οι μέθοδοι της γεωργίας ακρίβειας συνεχώς αναπτύσσονται στον τομέα της δειγματοληψίας εδάφους. Η επιτυχής δημιουργία χαρτών απεικόνισης της χωρικής μεταβαλότητας είναι ένας τομέας της γεωργίας ακριβείας που τα τελευταία χρόνια εμφανίζει μια έντονη ανοδική πορεία καθώς με τη δημιουργία των γεωπληροφοριακών συστημάτων η διαχείριση των πληροφοριών γίνεται ολοένα πιο εύκολη και ακριβής. Η χρήση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (EMI), προσδίδουν την δυνατότητα στους ερευνητές της λεπτομερής έρευνας των χωρικών εδαφικών χαρτών καθώς και τη μελέτη της χωρικής παραλλακτικότητας της έκτασης καλλιέργειας. Η EMI είναι μία μέθοδος μέτρησης των ολικών αλάτων αλλά και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Όπως αναφέρεται σε παραπάνω κεφάλαια η ηλεκτρική αγωγιμότητα αναφέρεται στην περιεκτικότητα του εδάφους σε ιόντα αλάτων και θρεπτικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα. Χαρακτηριστικό των περιοχών με υψηλό δείκτη αλατότητας είναι εδάφη με υψηλή εδαφική υγρασία ή/και υψηλή περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία που σχετίζονται με το ποσοστό της αργίλου στο εδάφος και την συγκράτηση

των κατιόντων από τα κολλοειδή. Χρησιμοποιώντας την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή, για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορούν να εκτιμηθούν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την γονιμότητα του εδάφους και σχετίζονται με τη δομή και την σύσταση του, την διαχείριση των εισροών σε λιπάσματα τα οποία αυξάνουν το ποσοστό νιτρικών και των αλάτων στο έδαφος καθώς και ο έλεγχος της διάβρωσης που υπόκεινται το έδαφος κατά τις καλλιεργητικές πρακτικές. Όλοι αυτοί οι παράμετροι μπορούν αν υπολογιστούν σωστά να οδηγήσουν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης των εισροών ύστερα από δειγματοληψία εδάφους και μελέτης των εδαφικών ιδιοτήτων με εργαστηριακές αναλύσεις.

Έτσι με τη χρήση ζωνών διαχείρισης και διαμέσου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και επομένως η λήψη πληροφοριών σχετικά με τις μεταβλητές τιμές των διαφόρων μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων στο έδαφος καθώς και τα πρότυπα αποστράγγισης και ο βαθμός συμπίεσης του εδάφους.

Είναι ευρέως γνωστό ότι υπάρχει σημαντική μεταβαλότητα μεταξύ των εδαφών. Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί από εδαφολόγους για να κατανοηθεί η χωρική μεταβαλότητα των εδαφικών ιδιοτήτων στο πεδίο και σε κλίμακες τοπιού. Η ηλεκτρομαγνητική επαγωγή προσφέρει τη δυνατότητα συλλογής μεγάλου όγκου πληροφοριών και δεδομένων με σχετικά εύκολο τρόπο, γρήγορο και το πιο σημαντικό για μια επανειλημμένη χρήση, οικονομικό σχετικά με τον παραδοσιακό τρόπο καλλιέργειας. (Doolittle and Brevik,2014)

Οι αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής μετρούν τις αλλαγές στην φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα (ECa) της υπόγειας επιφάνειας χωρίς άμεση επαφή με το εδαφικό δείγμα. Στην βελτιστοποίηση των μετρήσεων και στην λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του αγρού συνήσφερε η ανάπτυξη των τεχνολογιών του συστήματος της παγκόσμιας τοποθεσίας, καθώς και λογισμικά χαρτογράφησης των επιφανιών, όπου ώθησαν την εκτεταμένη χρήση της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής στις καλλιεργητικές πρακτικές. Η ώθηση αυτής της διευρυμένης χρήσης ήταν η ανάγκη για τη δημιουργία ακριβέστερων

χαρτών εδάφους από εκείνους που παρέχονται από τις παραδοσιακές τεχνικές χαρτογράφησης (Altdorff et. al.,2018).

1.2.12 Αισθητήρες EMI

Τα μοντέλα των αισθητήρων ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής που χρησιμοποιούνται στον τομέα της γεωργίας ακριβείας και σε εδαφικές μελέτες περιλαμβάνουν αισθητήρες μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως είναι και ο αισθητήρας μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πτυχιακή εργασία, το profiler EMP-400.

Αυτοί οι αισθητήρες παράγουν ένα πρωταρχικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο δημιουργεί ηλεκτρικά ρεύματα στο έδαφος. Αυτά τα ρεύματα δημιουργούν ένα δευτερεύον ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο διαβάζεται ο το πηνίο υποδοχής του αισθητήρα. Το βάθος της έρευνας (DOI) για τις μετρήσεις ECa που έγιναν με αισθητήρες που αναπτύχθηκαν από την Dualem, Inc. και Geonics Limited θεωρείται συνήθως ως το βάθος της αθροιστικής απόκρισης του 70%. (Doolittle and Brevik,2014)

Όλοι οι αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής υποστηρίζουν επικοινωνία GPS, καταγραφείς δεδομένων και ιδιόκτητο λογισμικό. Μερικοί αισθητήρες EMI, όπως το Profiler EMP-400, διαθέτουν εσωτερικούς δέκτες GPS. Κάθε ένας από τους αισθητήρες έχει ξεχωριστά λειτουργικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και επιλέγονται ανάλογα με τις επιθυμητές κάθε φορά μετρήσεις στο πεδίο. (Jung et al., 2005).



Εικόνα 3: Profiler EMP-400.

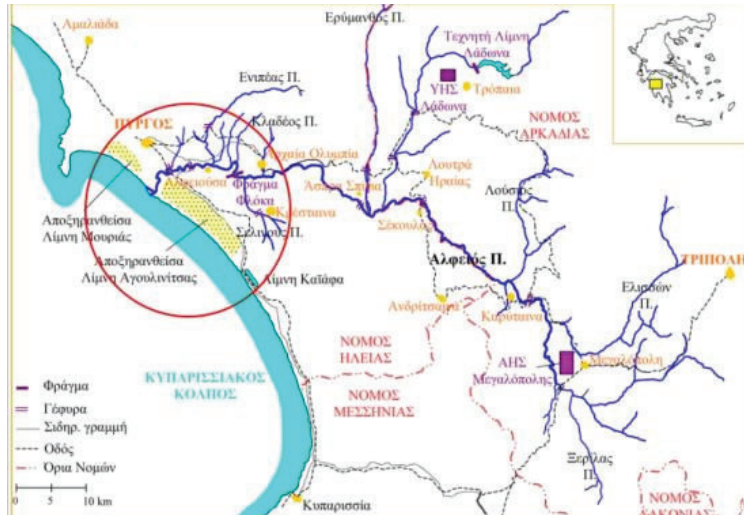
Οι διαφορές στις τιμές μετρήσεων του αισθητήρα σχετίζεται με το βάθος της μέτρησης, τον προσανατολισμό καθώς και το φάσμα συχνότητας μέτρησης, όπως παρουσιάζεται και στο κεφάλαιο παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

2.ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιοχή Μελέτης- Κλιματολογικά δεδομένα.

Η Ελλάδα γεωγραφικά βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 34° και 42° του βόρειου ημισφαιρίου, δηλαδή εντάσσεται στην μεσογειακή λεκάνη και για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται από τα κλιματολογικά δεδομένα της Ανατολικής Μεσογείου, ήπιους και υγρούς χειμώνες με θερμά και ξηρά καλοκαίρια συνδυαζόμενο με υψηλή ηλιοφάνεια καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου ανάλογα με τη τοπογραφική περιοχή. Η Δυτική Ελλάδα στην οποία βρίσκεται και η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, απαρτίζεται από υγρούς χειμώνες με υψηλό βροχομετρικό ύψος και πολύ θερμά καλοκαίρια.

Η αποξηραμένη λίμνη Αγουλινίτσας βρίσκεται στη Δυτική Πελοπόννησο, στο χωριό της Αγουλινίτσας από το οποίο πήρε και το όνομά της, πλέον ονομαζόμενο Επιτάλιο κοντά στη περιοχή του Πύργου, του νομού Ηλείας. Σε κοντινή απόσταση βρίσκονται οι εκβολές του ποταμού Αλφειού του οποίου αποτελούσε τμήμα όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 4. Η λιμνοθάλασσα της Αγουλινίτσας αποξηράθηκε τη δεκαετία του 1968 και έγινε εκμετάλλευση της έκτασης των περίπου 40.000 στρεμμάτων για αγροτικές καλλιέργειες. (Χατζηαποστόλου,2009)



Εικόνα 4: Λεκάνη απορροής και πηγές Αλφειού ποταμού.

Πηγή εικόνας 4 :

<https://www.google.gr/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjBzOrgnOzkAhVDZ1AKHfL2Bv4QjRx6BAGBEAQ&url=http%3A%2F%2Fkpekrestenon.gr%2Falfios%2Fpage15%2520-%2520g.htm&psig=AOvVaw1mrqYfyOjlvQjlbxpZBUvB&ust=1569509521033668>

Σύμφωνα με τα κλιματολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για την περιοχή του Πύργου του Νομού Ηλείας, η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται μεταξύ των θερμοκρασιών των 9,6 οC – 23,3 °C, με την ελάχιστη θερμοκρασία να αντιστοιχεί στους χειμερινούς μήνες και συγκεκριμένα στο μήνα του Ιανουαρίου ενώ η ελάχιστη να εμφανίζετε τους καλοκαιρινούς μήνες και συγκεκριμένα τον μήνα Ιούλιο.

Αντίστοιχα έχει παρατηρηθεί ότι η μέση μηνιαία βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ των 4,5mm – 136,4 mm βροχής με την υψηλότερη τιμή να αντιστοιχεί στον μήνα Ιανουάριο και την χαμηλότερη τιμή να αντιστοιχεί τον μήνα Ιούλιο, με τις συνολικές μέρες βροχής ανά έτος να σημειώνονται τον μήνα του Δεκεμβρίου φτάνοντας τις 12 ημέρες.

2.2 Γεωργία ακριβείας και εδαφικά γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα.

2.2.1 Γεωργία ακριβείας

Γεωργία Ακριβείας ορίζεται ως μια νέα μέθοδος διαχείρισης των αγρών, σύμφωνα με την οποία οι εισροές και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών, καθώς αυτές διαφοροποιούνται στον χώρο και στον χρόνο (Whelan and McBratney, 2000).

Οι εισροές μια καλλιέργειας μπορούν να είναι τα λιπάσματα, τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα, το νερό άρδευσης κ.α.. Βασικό ρόλο στην ανάπτυξη του τομέα της γεωργίας ακριβείας είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας των τελευταίων χρόνων καθώς και η επεκτατική ανάγκη που υπάρχει για την βελτίωση των εδαφών και των τεχνικών καλλιέργειας. Για τους λόγους αυτούς η γεωργία ακριβείας έχει ως θεμελιώδη στόχους την προστασία του εδάφους και του νερού από μελλοντική διάβρωση και μόλυνση αντίστοιχα, να βελτιστοποιήσει και να αξιοποιήσει όλους τους φυσικούς πόρους για την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας, αυξάνοντας συγχρόνως τις αποδόσεις, με όσον το δυνατόν ελάχιστη χρήση αγροχημικών σκευασμάτων.

Για την εφαρμογή σε μια περιοχή μελέτης της μεθόδου της γεωργίας ακριβείας είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την χωρική παραλλακτικότητα. Η έννοια της χωρικής παραλλακτικότητας όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω κεφάλαιο υπάρχει σε κάθε αγρό και καθορίζεται από περιβαλλοντικούς, γεωγραφικούς αλλά και φυσικοχημικούς παράγοντες του εδάφους. Με τον τρόπο αυτό μπορεί κάθε τμήμα του αγρού να διαχειριστεί ως μια ξεχωριστή καλλιέργεια, χρησιμοποιώντας διαφορετικό πλάνο και μεθόδους καλλιέργειας για την άριστη ανάπτυξη των φυτών.

Με τη χρήση των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας δίνεται στον παραγωγό η δυνατότητα διαχείρισης των εισροών στη καλλιέργεια

γεγονός που του μειώνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος καλλιέργειας του σε σχέση με τη συμβατική γεωργία.

Σύμφωνα με την γεωργία ακριβείας γίνεται διεξοδική μελέτη των φυσικοχημικών παραμέτρων του αγρού καλλιέργειας παρακολουθώντας τους περιβαλλοντικούς και εδαφολογικούς παράγοντες μέσω γεωπληροφοριακών συστημάτων τα οποία θα αναλυθούν σε επόμενες ενότητες επιτρέποντας στον καλλιεργητή την εφαρμογή συγκεκριμένων λιπασμάτων και φυτοπροστατευτικών προϊόντων σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στον αγρό σε σχέση με προηγούμενη καθολική χρήση.

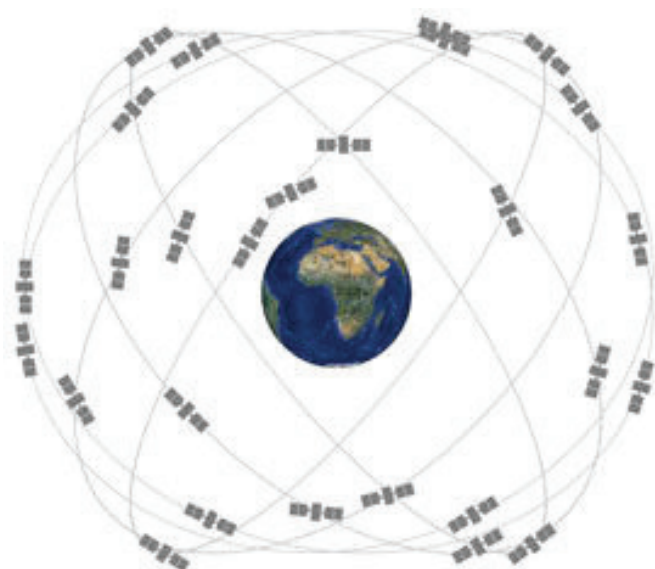
Ο τομέας της γεωργίας ακριβείας στηρίζεται σε καινοτόμες τεχνολογίες και συστήματα καλλιέργειας. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται παρακάτω. Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στη γεωργία ακριβείας είναι το GPS – Σύστημα Παγκόσμιας Πλοήγησης (Global Position System) και το GIS τα οποία επιτρέπει την πραγματοποίηση ακριβή λήψη δειγμάτων. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του GIS είναι δυνατή η ανάλυση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους και η κατανόηση της παραλλακτικότητας του μέσω εδαφικών χαρτών.

2.2.3 Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού - Global Positioning System (GPS)

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία σύμφωνα με τις αρχές της Γεωργίας Ακριβείας, για την ορθή λήψη δειγμάτων και χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε καταγραφή των συντεταγμένων των σημείων δειγματοληψίας. Η καταγραφή της ακριβούς θέσης των δειγμάτων μέσω συντεταγμένων X, Y, έγινε με την χρήση του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού ή διεθνώς γνωστό ως GPS. Σύμφωνα με τις επίσημες κυβερνητικές πληροφορίες των ΗΠΑ σχετικά με το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) και σχετικά θέματα, η τεχνολογία του GPS αναπτύχθηκε για πρώτη φορά στις ΗΠΑ και συγκεκριμένα από το Υπουργείο Άμυνας Ηνωμένων Πολιτειών τη δεκαετία του '70. Αρχικά η τεχνολογία του GPS εξυπηρετούσε μόνο στρατιωτικούς σκοπούς όπως τη χρήση του στα μαχητικά αεροσκάφη, με το πέρασμα των χρόνων όμως έγινε διαθέσιμο και για χρήση από το ευρύ κοινό. Είναι μία τεχνολογία η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολύ

εύκολα από το ευρύ κοινό οποιαδήποτε χρονική στιγμή προσφέροντας πληροφορίες σχετικά με τη τοποθεσία και το χρόνο.

Το παγκόσμιο σύστημα πλοήγησης αποτελείται από ένα σχηματισμό 24 δορυφόρων οι οποίοι περιλαμβάνουν 6 τροχιακά επίπεδα και βρίσκονται σε απόσταση περίπου 20.000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης. Κάθε ένας δορυφόρος συμπληρώνει μια περιστροφή γύρω από την γη μέσα σε 12 ώρες δίνοντας έτσι τη δυνατότητα σήματος από τουλάχιστον 4 δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο της γης 24 ώρες κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. (Φουντάς και Γέπτος,2015)



Εικόνα 5: Σχηματισμός 24 δορυφόρων. (www.gps.gov)

Πηγή εικόνας 5: <https://www.gps.gov/multimedia/images/constellation.jpg>

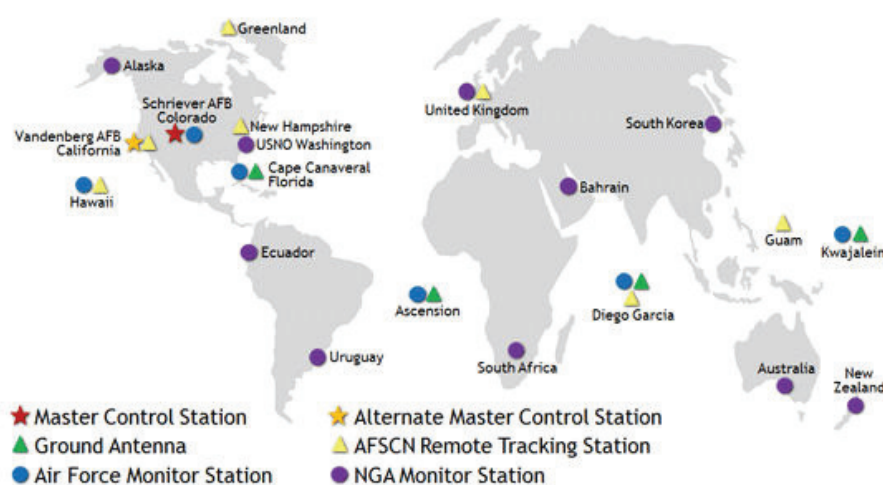
Το GPS αποτελείται από 3 τμήματα :

- A) το σύστημα δορυφόρων
- B) το σύστημα ελέγχου
- Γ) το σύστημα χρήσης.

Το πρώτο τμήμα όπως αναφέρεται παραπάνω αποτελείται από 24 δορυφόρους οι οποίοι σύμφωνα με την θέση τους παρέχουν πληροφορίες κάθε στιγμή μέσα στην ημέρα. Το δεύτερο τμήμα , το τμήμα

ελέγχου, είναι επίγειο παγκόσμιο σύστημα καταγραφής δεδομένων από 5 σταθμούς καταγραφής δεδομένων παγκοσμίως με τον κεντρικό σταθμό να βρίσκεται στη περιοχή του Κολοράντο στις ΗΠΑ.

Οι πληροφορίες δεδομένων οι οποίες μεταδίδονται από τους δορυφόρους συλλέγονται από τους σταθμούς οι οποίοι πραγματοποιούν αναλύσεις, μεταδίδοντας τα στον κεντρικό σταθμό ελέγχου ο οποίος με τη σειρά του ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης. Το τμήμα ελέγχου όπως απεικονίζεται στην εικόνα σύμφωνα με τις επίσημες κυβερνητικές υπηρεσίες των ΗΠΑ σχετικά με το GPS διαθέτει 16 σημεία παρακολούθησης σε όλη τη γη.



Εικόνα 6: απεικόνιση των 16 σημείων παρακολούθησης. (www.gps.gov)

Πηγή εικόνας 6: <https://www.gps.gov/multimedia/images/GPS-control-segment-map.pdf>

Τέλος, το σύστημα χρήσης περιλαμβάνει όλους τους χρήστες του παγκόσμιου συστήματος πλοήγησης που απαρτίζεται από τους πολίτες και το στρατό, οι οποίοι το χρησιμοποιούν για την καταγραφή της θέσης τους και τις πληροφορίες πλοήγησης τους καθημερινά. Το σύστημα GPS είναι ελεύθερας χρήσης χωρίς καμία συνδρομή ή άδεια χρήσης. Η εφαρμογή του είναι απλή και μπορεί να γίνει χρήση μέσω διαφόρων συσκευών ακόμα και από το κινητό τηλέφωνο.

Πλέον αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της γεωργίας ακριβείας και οι κατασκευαστές του GPS έχουν δημιουργήσει ένα σύνολο εξοπλισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις αγροτικές επιχειρήσεις για την ενίσχυση και τη διευκόλυνση των καλλιεργειών. Επιτρέπει τη δημιουργία πλάνου καλλιέργειας με ακρίβεια σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, διευκολύνει την δειγματοληψία εδάφους, την παρακολούθηση των φυτών αλλά και την παρακολούθηση προβλημάτων

και εχθρών της καλλιέργειας όπως για παράδειγμα τα ζιζάνια ή κάποιο έντομο εχθρός.

2.2.4 Σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών GIS

Τα τελευταία χρόνια και με την δραστική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, υπάρχει υπέρμετρη ανάγκη για την αύξηση των αποδόσεων και των εκτάσεων καλλιέργειας. Για τον λόγο αυτό ένα μεγάλο ποσοστό καλλιεργητών κάνουν αλόγιστη χρήση λιπασμάτων, νερού, φυτοπροστατευτικών προϊόντων κ.α. που έχουν αυξήσει το μέγεθος των εισροών της καλλιέργειας ανά καλλιεργητική περίοδο. Θα ήταν λοιπόν λογικό να υπάρχει ανάγκη για την επεξεργασία όλων αυτών των μεταβλητών ώστε να μπορεί να περιοριστεί η υπέρμετρη εισροή γεωργικών εφοδίων. Για τους λόγους αυτούς ήταν αναγκαίο η δημιουργία ενός συστήματος που θα επέτρεπε στους παραγωγούς να μπορούν να παρακολουθήσουν τα ποσοστά των εισροών τους, να συλλέγουν πληροφορίες και να τις επεξεργαστούν με σκοπό τη λήψη αποφάσεων για την διαχείριση της έκτασης καλλιέργειας. Όπως είναι λογικό ένας καλλιεργητής είναι αδύνατον να μπορεί να διαχειρίζεται μόνος του όλες αυτές τις πληροφορίες και να λαμβάνει ορθές αποφάσεις. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας όμως δόθηκε το έναυσμα για την δημιουργία συστημάτων επεξεργασίας των δεδομένων αυτών με γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GSI - Geographical Information Systems)

Σύμφωνα με τα συστήματα GIS τα δεδομένα μετρήσεων των παραμέτρων μέσα σε έναν αγρό απεικονίζονται μέσω ψηφιακών χαρτών όπου σε συνδυασμό με το πρόγραμμα GPS κάθε σημείο αντιστοιχεί σε ένα ζευγάρι συντεταγμένων και έχει καθορισμένη θέση μέσα στις ζώνες καλλιέργειας.

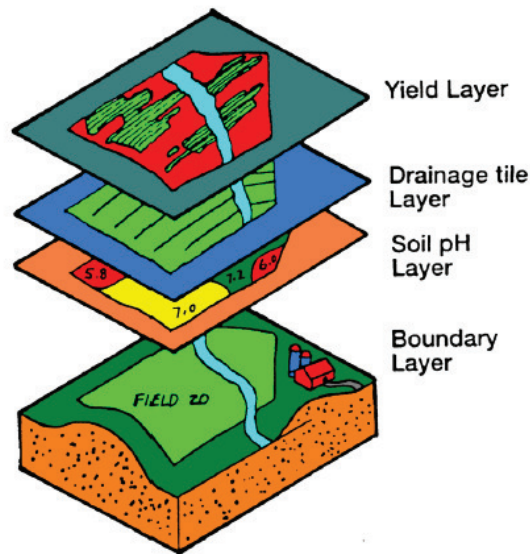
Πολύ σημαντικό εργαλείο που διαθέτουν τα συστήματα GIS είναι ότι μπορούν να επεξεργάζονται πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τις χημικές ιδιότητες του εδάφους όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH, η κατανομή των θρεπτικών στοιχείων καθώς και η μελέτη χαρτών με τα σημεία μιας εδαφοληψίας. Μέσω της δημιουργίας χαρτών μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη χωρική παραλλακτικότητα των εδαφικών ιδιοτήτων ώστε μέσου της ανάλυσης των δεδομένων αυτών να δοθεί η

δυνατότητα διόρθωσης των περιοριστικών παραγόντων ανάπτυξης και παραγωγής.

2.2.5 Λογισμικά στοιχεία λειτουργίας των GIS

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών ορίζονται ως *layers* (στρώματα). Κάθε στρώμα δεδομένων απεικονίζει πληροφορίες σχετικά με κάποια μεταβλητή των εδαφικών ιδιοτήτων. Για να είναι δυνατή η ανάλυση των πληροφοριών αυτών τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελούνται από ένα σύστημα εισαγωγής πληροφοριών (data input) π.χ. δορυφορικές εικόνες και χάρτες χωρικής παρεμβολής. Όλες οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε μία βάση συλλογής και οργάνωσης. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του συστήματος εμφάνισης όλα τα αποτελέσματα απεικονίζονται με τη μορφή χαρτών, πινάκων κ.α., όπως εμφανίζονται σε έναν υπολογιστή. Επίσης διαθέτουν το σύστημα ανάλυσης δεδομένων. Το σύστημα ανάλυσης είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή την διόρθωση λαθών και γεωστατιστική ανάλυση αυτών. Τέλος, απαρτίζεται και από ένα σύστημα αλληλεπίδρασης το οποίο όπως κατανοείται και από την ονομασία του είναι το μέσω επικοινωνίας του χρήστη με το λογισμικό πρόγραμμα.

Το αποτέλεσμα επεξεργασίας των δεδομένων ανάλυσης εμφανίζονται με δύο μορφές αποθήκευσης οι οποίες είναι η διανυσματική μορφή και η μορφή κυψελίδων. Κατά την διανυσματική μορφή οι επεξεργασμένες πληροφορίες εμφανίζονται με τη μορφή σημείων και γραμμών και σε αυτά ανήκουν τα δεδομένα τα οποία έχουν συλλεχθεί με τη μέθοδο της δειγματοληψίας. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται με τη χρήση αισθητήρων απεικονίζονται με τη μορφή κυψέλης γνωστά ως αρχεία grid.



Εικόνα 7: Επίπεδα συλλογής πληροφοριών (Φουντάς και Γέμτος,2015)

Επειδή η απεικόνιση των αποτελεσμάτων όπως αναφέρθηκε παραπάνω επιτυγχάνεται με τη μορφή χαρτών βασικό ρόλο κατέχουν το σύστημα συντεταγμένων και η γεωγραφική θέση των δειγμάτων. Για την καταγραφή των θέσεων δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε πρόγραμμα καταγραφής του γεωγραφικού μήκους και το γεωγραφικού πλάτους καθώς και μετρικό σύστημα το οποίο απεικονίζει τη γη ως μια επίπεδη επιφάνεια. (Φουντάς και Γέμτος,2015)

2.2.6 Πρόγραμμα Δημιουργίας Εδαφικών Χαρτών- SURFER11.

Το SURFER11, είναι ένα λογισμικό της golden software, το οποίο επιτρέπει τη τρισδιάστατη απεικόνιση μιας επιφάνειας. Το surfer11 χρησιμοποιείται εκτενώς για την απεικόνιση τοπίου, ανάλυση επιφανείας, χαρτογράφηση περιγράμματος, λεκάνη απορροής και χαρτογράφηση 3D επιφάνειας, πλέγμα, ογκομετρία άλλα και πολλές άλλες παραμέτρους.

Το πρόγραμμα Surfer μετατρέπει τα δεδομένα XYZ σε χάρτες ανάλυσης δεδομένων. Στηρίζεται στην ανάλυση δεδομένων και τη δημιουργία αρχείων grid καθώς και τη δημιουργία βαριογραμμάτων – variograms . Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας χαρτών οι οποίοι βοηθούν

στην καλύτερη απεικόνιση των εδαφικών παραμέτρων και της χωρικής παραλλακτικότητας που είναι πιθανό να παρουσιάζει μια περιοχή καλλιέργειας.

2.2.7 Μέτρηση EMI με αισθητήρα Profiler™ EMP-400

Τα όργανα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής χρησιμοποιούνται για πολλούς διαφορετικούς τύπους γεωλογικών, μηχανικών και περιβαλλοντικών εφαρμογών. Αυτά περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση των επιφανειακών εδαφών, τη χαρτογράφηση της αλατότητας του εδάφους, τις έρευνες των υπόγειων υδάτων, την ανίχνευση και την οριοθέτηση των αποβλήτων και των συναφών επιφανειακών ρύπων από οξέα και άλατα.

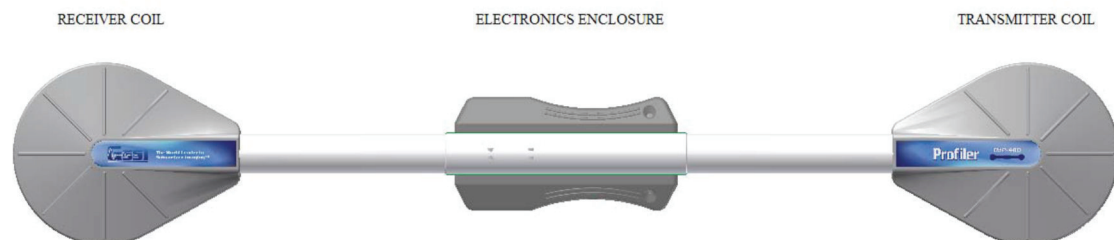
Το Profiler EMP-400 είναι ένας αισθητήρας μετρήσεων ηλεκτρομαγνητικών συχνοτήτων στο πεδίο. Διαθέτει φάσμα συχνοτήτων, από τα οποία δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει κάθε φορά ανάλογα με το είδος το μετρήσεων που επιδιώκει σε κάθε εφαρμογή στο πεδίο. Ο συγκεκριμένος τύπος profiler είναι έτσι σχεδιασμένος ώστε να αποτρέπεται η παρεμβολή του σήματος προσδίδοντας θερμική και δομική σταθερότητα. Έτσι το σήμα παραμένει σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων σε όλο το εύρος μετρήσεων του συστήματος.



Εικόνα 8: PROFILER EMP-400

Το profiler EMP-400 είναι ένας φορητός αισθητήρας μέτρησης της επαγωγικής ηλεκτρομαγνητικής συχνότητας. Το όργανο μέτρησης ζυγίζει περίπου 4,5 kg και όπως φαίνεται στην εικόνα 8, διαθέτει μία χειρολαβή από την οποία ο χρήστης μπορεί να το μεταφέρετε κατά τη διάρκεια των μετρήσεων στο πεδίο. Το όργανο τροφοδοτείται από μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία.

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας λειτουργεί σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων με μονάδα μέτρησης το 1 kHz και το εύρος των μετρήσεων κυμαίνεται από 1000 kHz έως 16000 kHz παρέχοντας στον χρήστη την δυνατότητα να συλλέξει φάσματα από 3 διαφορετικές συχνότητες ταυτόχρονα. Τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται με το Profiler EMP-400 εξάγονται ως τα στοιχεία φάσης της ζεύξης (Q) του πρωτεύοντος μεταδιδόμενου πεδίου με το δεύτερο επαγόμενο πεδίο σε μέρη στο εκατομμύριο συσχετιζόμενα με όλες τις συχνότητες. (User's Manual of Profiler EMP-400, Geophysical Survey Systems, Inc.,2008)



Εικόνα 9: Profiler EMP-400 ,User's Manual Of Profiler EMP-400, Geophysical Survey Systems, Inc

2.3 Δειγματοληψία εδάφους και εργαστηριακές αναλύσεις.

2.3.1 Δειγματοληψία

Η μέθοδος δειγματοληψίας που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη πειραματική μελέτη βασίζεται στις αρχές της συστηματικής χωρικής δειγματοληψίας.

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, κατά τη συστηματική δειγματοληψία τα δείγματα είναι κατανεμημένα στο πλαίσιο μιας γεωγραφικής περιοχής, συγχρόνως η χωρική δειγματοληψία είναι η μέθοδος δειγματοληψίας η οποία πραγματοποιείται όταν δεν είναι διαθέσιμο το δειγματολογικό πλαίσιο. Στη σημειακή δειγματοληψία τα σημεία προσδιορίζονται με την επιλογή σημείων στον χάρτη οριζόμενα από συντεταγμένες X και Y στις οποίες βασίζεται η ορθή λήψη δειγμάτων.

Η δειγματοληψία εδάφους πραγματοποιήθηκε τη Δευτέρα 8 Μαΐου 2017, στη περιοχή του Επιτάλιου, Ηλείας, σε έκταση αγρού με καλλιέργεια ντομάτας. Ο αγρός καλλιέργειας συνολικής έκτασης 40 στρεμμάτων χωρίστηκε σε σειρές δειγματοληψίας ώστε να γίνει η ορθή και αντιπροσωπευτική συλλογή δειγμάτων. Η δειγματοληψία έγινε ανά 0,5 μέτρα σε πλάτος (αντιστοιχούν σε 7 αυλάκια καλλιέργειας) και ανά 4 μέτρα σε μήκος οι σειρές δειγματοληψίας ήταν 9 όπου ονομαστήκαν με τα αντίστοιχα γράμματα της αλφαβήτου (A-I) και τα συνολικά δείγματα που πάρθηκαν ανά σειρά ήταν 9 όπως απεικονίζεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10: Θέσεις δειγματοληψίας, απεικόνιση μέσω ArcGIS Hybrid

Για την δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκαν δειγματολήπτες εδάφους (εικόνα 11). Τα βάθη στα οποία διενεργήθηκε η λήψη εδαφικών δειγμάτων ήταν στα πρώτα 0-30 εκατοστά, στα 30-60 εκατοστά και στα 60-90 εκατοστά αντίστοιχα για κάθε δείγμα. Κατά τη διάρκεια της λήψης των δειγμάτων, σε κάθε σημείο από το οποίο λαμβάνονταν τα δείγματα καταγράφονταν οι συντεταγμένες του με τη χρήση ενός ασύρματου GPS.



Εικόνα 11: Δειγματολήπτης εδάφους (Achema.gr)

Πηγή εικόνας 11:

https://www.google.gr/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEWjt2LDGnezkAhXDUIAKHVZICQoQjRx6BBAgBEAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.achema.gr%2F%25CE%25B4%25CE%25B5%25CE%25B9%25CE%25B3%25CE%25BC%25CE%25B1%25CF%2584%25CE%25BF%25CE%25BB%25CE%25AE%25CF%2580%25CF%2584%25CE%25B5%25CF%2582-%25CE%25B5%25CE%25B4%25CE%25AC%25CF%2586%25CE%25BF%25CF%2585%25CF%2582%2F430-%25CE%25B4%25CE%25B5%25CE%25B9%25CE%25B3%25CE%25BC%25CE%25B1%25CF%2584%25CE%25BF%25CE%25BB%25CE%25AE%25CF%2580%25CF%2584%25CE%25B7%25CF%2582-%25CE%25B5%25CE%25B4%25CE%25AC%25CF%2586%25CE%25BF%25CF%2585%25CF%2582-edelman-%25CE%25B4%25CE%25B9%25CE%25B1%25CE%25BC%25CE%25AD%25CF%2584%25CF%2581%25CE%25BF%25CF%2585-7-cm-soil-sampler-edelman-7-cm.html&psig=AOvVaw0_a_pu_knz15gH2RiwkrL6&ust=1569509740297510

Κάθε δείγμα εδάφους που λαμβάνονταν από κάθε βάθος ξεχωριστά τοποθετούταν σε πλαστική σακούλα και κλείνονταν αεροστεγώς για την μείωση των απωλειών υγρασίας. Σε κάθε σακούλα δείγματος αναγράφονταν ο κωδικός – ID ο οποίος αντιστοιχεί στη σειρά και το βάθος δειγματοληψίας. Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων εδάφους που πάρθηκαν από τον αγρό μελέτης ήταν 243.

2.3.2 Μέτρηση Υγρασίας και Αεροξήρανση των δειγμάτων.

Τα δείγματα εδάφους υστέρα της ολοκλήρωσης της δειγματοληψίας μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Εδαφολογίας του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών (πρώην Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας) όπου υποβλήθηκαν εγκαίρως σε μέτρηση του νωπού βάρους τους. Σε μικρά αλουμινένια ταψάκια με απόβαρο μέσου βάρους 0,38 γραμμάρων αριθμημένων με το ID κάθε δείγματος, ζυγίστηκαν 30,00 gr εδάφους από κάθε σακούλα εδαφικού δείγματος. Ύστερα από τη μέτρηση του νωπού βάρους του εδάφους, κάθε ταψάκι

τοποθετήθηκε στο πυριαντήριο στους 105 °C οπού και παρέμειναν για το χρονικό διάστημα των 24 ωρών ώστε να επιτευχθεί η απομάκρυνση της υγρασίας.



Εικόνα 12: Δείγματα εδάφους στο πυριαντήριο.

Μετά το πέρας των 24 ωρών και αφού είχε ολοκληρωθεί η ξήρανση του εδάφους των δειγμάτων έγινε μέτρηση του ξηρού βάρους κάθε δείγματος. Η καταγραφή των αποτελεσμάτων ζύγισης του νωπού και του ξηρού βάρους των δειγμάτων γινόταν στο πρόγραμμα EXCEL Microsoft Office 365 με το οποίο υπολογίστηκε και η επί τοις % υγρασία των δειγμάτων ($\theta_w - \theta_d / \theta_d$, θ_m %).

Όπου :

θ_w : το νωπό βάρος των δειγμάτων,

θ_d : το ξηρό βάρος των δειγμάτων,

θ_m : η συνολική υγρασία επι της %.



Εικόνα 13: Μέτρηση ξηρού βάρους εδάφους.

Στη συνέχεια οι σακούλες με τα εδαφικά δείγματα υποβλήθηκαν σε αεροξήρανση σε πυριαντήριο στους 37 °C για 48 ώρες για την απομάκρυνση της υγρασίας ώστε να πραγματοποιηθούν οι υπόλοιπες εργαστηριακές αναλύσεις.

2.3.3 Προσδιορισμός υγρασίας: Με καύση της οργανικής ουσίας.

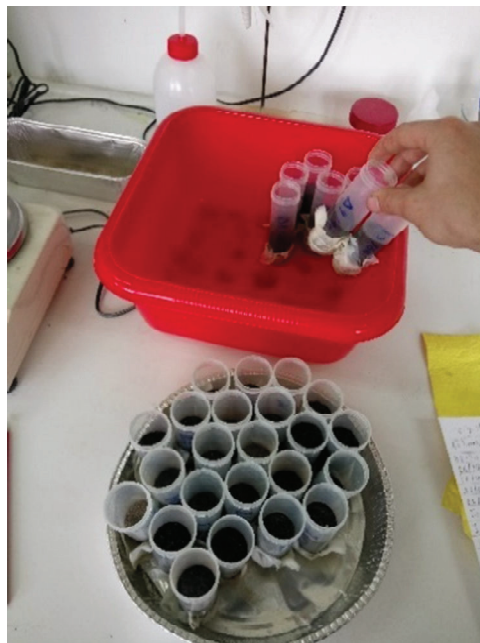
Η διαδικασία προσδιορισμού της υγρασίας ακολουθώντας τη συγκεκριμένη μεθοδολογία πραγματοποιήθηκε ενδεικτικά, σε 30 δείγματα εδάφους.

Αρχικά έλαβε χώρα η αποξήρανση 30 δειγμάτων στα οποία είχε μετρηθεί η υγρασία με την μέθοδο καύσης. Αμέσως μετά την αποξήρανση των δειγμάτων, από κάθε δείγμα εδάφους ζυγίστηκε σε κάψες πορσελάνινης, 1 gr εδάφους.



Εικόνα 14:: Αεροζήρανση δειγμάτων.

Οι κάψες πορσελάνης τοποθετήθηκαν μέσα σε φούρνο υψηλής καύσης στους 550 °C για το χρονικό διάστημα των 6 ωρών. Αμέσως μετά την καύση των δειγμάτων ζυγίστηκαν 25 gr εδάφους το οποία υποβλήθηκαν στην διαδικασία κορεσμού με νερό. Έπειτα τα δείγματα εδάφους τα οποία βρίσκονται σε κορεσμό, ζυγίστηκαν και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν για αεροζήρανση.



Εικόνα 15: Κορεσμός εδάφους με νερό.

Μετά την ξήρανση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε καύση της οργανικής ύλης με υπεροξείδιο του υδρογόνου 100 ml σε αναλογία 1:1 με απιονισμένο νερό.

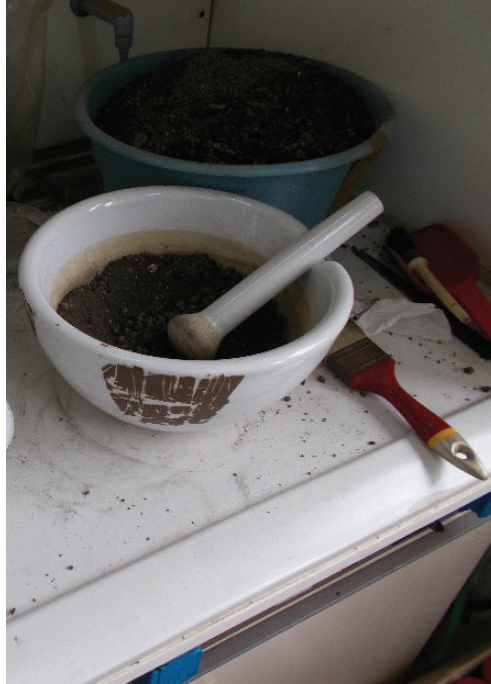
Υστέρα από την δεύτερη ξήρανση τα δείγματα εδάφους υποβλήθηκαν ξανά στην διαδικασία κορεσμού με νερό οπού και πραγματοποιήθηκε δεύτερη ζύγιση για τον προσδιορισμού της ποσότητας του νερού που συγκρατούσαν τα δείγματα λόγω οργανικής ουσίας.



Εικόνα 16: Ζύγιση δειγμάτων

2.3.4 Προετοιμασία δειγμάτων

Ύστερα από την αέρο-ξήρανση των εδαφικών δειγμάτων με τη χρήση του πυριαντηρίου, πραγματοποιήθηκε κονιορτοποίηση του ολικού δείγματος εδάφους με τη χρήση ενός γουδιού πορσελάνης. Κάθε σακούλα εδαφικού δείγματος, τοποθετούνταν μέσα στο σκεύος πορσελάνης ώστε να υποβληθεί σε διαδικασία ομοιογενοποίησης με τη χρήση του γουδιού πορσελάνης όπως απεικονίζεται στην εικόνα 17.



Εικόνα 17: Κονιοποίηση δείγματος με γουδί πορσελάνης

Στη συνέχεια μόλις το έδαφος είχε φτάσει στην επιθυμητή υφή το δείγμα εδάφους με προσοχή περνούσε από κόσκινο των 2 χιλιοστών όπως απεικονίζεται στην εικόνα 18, ώστε να διαχωριστεί από τυχόν πετρώματα ή άλλα σωματίδια



Εικόνα 18: Κοσκίνισμα εδαφικού δείγματος.

Κάθε δείγμα εδάφους μόλις ολοκληρωνόταν η διαδικασία του κοσκίνισματος συλλέγονταν σε ειδικά πλαστικά δοχεία αεροστεγούς σφράγισης (ούρομποξ). Πάνω σε κάθε κύπελλο (ούρομποξ)

αναγράφονται ο κωδικός του κάθε δείγματος ώστε συνεχιστούν με ευκολία οι επόμενες εργαστηριακές αναλύσεις των εδαφικών ιδιοτήτων.

2.3.5 Μέτρηση της οξύτητας του εδάφους (pH)

Το pH αποτελεί παράμετρο η οποία δίνει, περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη εδαφική ιδιότητα, πληροφορίες για τις χημικές αλλά και φυσικές ιδιότητες ενός εδάφους.

Αποτελεί ένα τρόπο έκφρασης της περιεκτικότητας του εδαφικού διαλύματος σε κατιόντα υδρογόνου ή σε ανιόντα υδροξυλίου. Επηρεάζει σε υψηλό βαθμό την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στα φυτά μέσω του ριζικού συστήματος, με συνέπεια να επηρεάζει τον τρόπο ανάπτυξης των φυτών μιας καλλιέργειας.

Με τον όρο pH ορίζεται ως ο αρνητικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων H στο εδαφικό διάλυμα,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

όπου η συγκέντρωση του H⁺ εκφράζεται σε mol/L .

Η αντίδραση των εδαφών μπορεί να είναι όξινη, ουδέτερη ή αλκαλική. Η τιμή του pH σε ένα εδαφικό διάλυμα μπορεί να μετρηθεί σε μία κλίμακα από 0 έως 14. Τα εδάφη τα οποία έχουν pH<7, δηλαδή η συγκέντρωση των H⁺ είναι μικρότερη του 10⁻⁷ ορίζονται ως όξινα εδάφη ενώ αυτά που έχουν pH >7 δηλαδή η συγκέντρωση των H⁺ είναι μεγαλύτερη του 10⁻⁷ χαρακτηρίζονται ως αλκαλικά. Τα εδάφη με pH=7 ονομάζονται ουδέτερα.

Το pH μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα και γρηγορά τόσο στον αγρό όσο και στο εργαστήριο. Στο εργαστήριο η μέτρηση του pH γίνεται με τη ηλεκτρομετρικές μεθόδους. Η χρήση ηλεκτροδίου pH αποτελεί την πιο ασφαλή μέθοδο για τον προσδιορισμό του pH του εδάφους. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται ένα ηλεκτρόδιο υέλου και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς, τα οποία εισέρχονται σε ένα αιώρημα εδάφους – νερού σε αναλογία 1:2 αντιστοίχως.

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ιόντων H^+ στο αιώρημα του εδάφους και στο ηλεκτρόδιο υέλου, δημιουργεί ένα ηλεκτρικό δυναμικό το οποίο έχει σχέση με το pH του εδαφικού διαλύματος. Μια ειδική συσκευή (πεχαμέτρο) χρησιμοποιείται για να μετρηθεί το ηλεκτρικό δυναμικό σε millivolts και να μετατραπεί αυτό σε τιμές pH. Το ηλεκτρόδιο υέλου είναι αυτό που κάνει τη συσκευή αυτή ευαίσθητη στην ενεργότητα των ιόντων H^+ . Επιπλέον ανάλογα με την συσκευή πεχαμέτρου που χρησιμοποιείται μπορεί να υπάρχει και θερμομέτρο μέτρησης της θερμοκρασίας του εδαφικού διαλύματος.

Στη παρούσα εργαστηριακή μέτρηση του pH αντί για νερό χρησιμοποιήθηκε διάλυμα $CaCl_2$, 0,01 M, όπως φαίνεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19: Διάλυμα $CaCl_2$ 0,01 M

Για την μέτρηση του pH του εδάφους ζυγιστήκαν 20gr εδάφους σε ποτήρι ζέσεως των 100 ml και σε αυτό προστεθήκαν 40 ml από το διάλυμα του χλωριούχου ασβεστίου, $CaCl_2$, 0,01M. Τα δείγματα στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στο μηχανικό αναδευτήρα όπου και παρέμειναν για ανάδευση για το χρονικό διάστημα των 3 ωρών.

Για την ακριβή μέτρηση του pH των δειγμάτων σύμφωνα με το πρωτόκολλο μέτρησης πριν από την αρχή των μετρήσεων πραγματοποιούνταν βαθμονόμηση του πεχαμέτρου με τη χρήση standards διαλυμάτων με τιμές pH=4 και pH=7 σύμφωνα με τις κατασκευαστικές αρχές του οργάνου. Με το πέρας της βαθμονόμησης του οργάνου άρχισε η διαδικασία της μέτρησης των δειγμάτων. Τα

δείγματα ύστερα από την ανάδευση τοποθετούν στον εργαστηριακό πάγκο όπου ήταν εγκατεστημένο το όργανο μέτρησης του pH ώστε να υποβληθούν στην διαδικασία μέτρησης. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιούνταν βύθιση του ηλεκτροδίου στο δείγμα για το απαιτούμενο χρονικό διάστημα που χρειάζεται η συσκευή μέτρησης του pH έως ότου να σταθεροποιηθεί η τιμή του πεχαμέτρου. Κάθε τιμή μέτρησης ήταν εκφρασμένη σε δεκαδικό αριθμό. Για την ακριβέστερη μέτρηση των εδαφικών δειγμάτων γινόταν έλεγχος της ορθότητας των τιμών μετρήσεων του οργάνου με τη μέτρηση ενός από 2 standard διαλύματα τα οποία είχαν χρησιμοποιηθεί για την βαθμονόμηση. Ο έλεγχος ορθότητας των μετρήσεων γινόταν ανά 8 δείγματα εδάφους.



Εικόνα 20 :Προσδιορισμός του pH με τη χρήση πεχαμέτρου.

2.3.6 Μέτρηση Ανθρακικού Ασβεστίου CaCO_3

Το ασβέστιο Ca αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μακροστοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών επηρεάζοντας σε πολλές μεταβολικές τους λειτουργίες. Το ασβέστιο του εδάφους είναι προϊόν διαφόρων ορυκτών όπως ο ασβεστίτης και ο δολομίτης, όπου με την αποσάθρωση του προσκολλάται στα κolloειδή της αργίλου.

Το ανθρακικό ασβέστιο είναι δυνατόν να βρίσκεται σ' όλα τα μηχανικά κλάσματα του εδάφους (άμμος, ιλύς, άργιλος), σε ποσότητες οι οποίες διαφέρουν μεταξύ τους στα διαφορετικά κλάσματα του εδάφους.

Μέθοδος μέτρησης με τη χρήση αβεστόμετρου Bernard

Για την μέτρηση του ανθρακικού ασβεστίου στα 243 εδαφικά δείγματα από την περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε αβεστόμετρο τύπου Bernard.

Κατά τη μεθοδολογία αυτή χρησιμοποιήθηκε κωνική φιάλη των 250 ml. Σε μία λεπτή επιφάνεια της οποίας έχει μηδενιστεί το απόβαρο ζυγίζεται 1gr εδάφους (εικόνα 21), η ποσότητα εδάφους η οποία ζυγίζεται σχετίζεται με την εκλυόμενη ποσότητα CO₂



Εικόνα 21: Ζύγιση εδάφους για τη μέτρηση του ανθρακικού ασβεστίου

Σε γυάλινη κυβέτα προστίθεται HCl αναλογίας 1:1 (HCl – νερό) έως τα 2/3 αυτής. Η κυβέτα με το HCl τοποθετείται με τη χρήση λαβίδας σε όρθια θέση μέσα στην κωνική φιάλη με μεγάλη προσοχή. Αμέσως μετά με το χέρι πωματίζεται η κωνική φιάλη που περιέχει το δείγμα του εδάφους και το HCl.



Εικόνα 22: Τοποθέτηση κιβέτας με διάλυμα HCl στη κωνική φιάλη

Στη συνέχεια, δίδεται στη φιάλη αρκετή κλίση ώστε να αδειάσει ο δοκιμαστικός σωλήνας από το HCl και ανακινείται ήπια για μικρό χρονικό διάστημα (εικόνα 23). Το παραγόμενο CO₂ συμπιέζει τη στήλη του υγρού στο βαθμολογημένο σωλήνα, η οποία αρχίζει να κατέρχεται μέσα σε αυτόν, η κάθοδος της στάθμης του υγρού παρακολουθείται, έτσι ώστε οι στάθμες του υγρού μέσα σε αυτό και το βαθμολογημένο σωλήνα να βρίσκονται πάντα στο ίδιο ύψος. Όταν η έκλυση του CO₂ σταματήσει η στήλη του υγρού παύει να κατέρχεται. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνεται η ένδειξη που έχει σταματήσει το νερό στον βαθμολογημένο σωλήνα που αντιστοιχεί στον όγκο του CO₂ που εκλύθηκε κατά την αντίδραση.



Εικόνα 23: Όργανο μέτρησης ανθρακικού ασβεστίου.

2.3.7 Μέτρηση Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.

Για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δειγμάτων εδάφους ογκομετρήθηκαν σε αναλογία 1:5, 20ml εδάφους και 100ml νερό, σε δοχείο των 150ml. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον μηχανικό αναδευτήρα για ανάδευση χρονικής διάρκειας 2:30 ωρών.

Υστέρα από το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αυτό αρχίσαν οι μετρήσεις των δειγμάτων στο αγωγιμόμετρο με την βύθιση του ηλεκτροδίου στο δείγμα για το απαιτούμενο χρονικό διάστημα που χρειάζεται έως ότου να σταθεροποιηθεί η τιμή του οργάνου. Οι τιμές μέτρησης έχουν μονάδα μέτρησης $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Εικόνα 24: Μέτρηση αγωγιμότητας με αγωγιμόμετρο.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των δειγμάτων B4/90, B5/90, B6/90, B7/90, Γ2/90, Γ3/90, Γ6/90, Γ7/90, Ε6/90, Ε7/90 ΔΕΝ μετρήθηκε λόγω ελλιπούς ποσότητας εδαφικού δείγματος.

2.4 Ανάλυση χωρικής παραλλακτικότητας

2.4.1 Γεωστατιστική – Μέθοδος Kriging

Η Γεωστατιστική είναι ένας κλάδος της Στατιστικής ο οποίος ασχολείται με χωρικά φαινόμενα και τη χωρική στατιστική (spatial statistics) (Ηλιοπούλου 2017).

Η χωρική παρεμβολή αποτελείται από τρεις κατηγορίες μεθόδων

1. Τη μέθοδο των τοπικών εκτιμήσεων
2. Τη μέθοδο των γενικευμένων εκτιμήσεων
3. Τη μέθοδο της χωρικής συσχέτισης ή αλλιώς μέθοδος kriging

Σε μια σύντομη περιγραφή των μεθόδων αυτών, κατά τη μέθοδο των τοπικών εκτιμήσεων η πρόβλεψη των τιμών στα οποία δεν έχει παρθεί

δείγμα γίνεται μέσω των τιμών των κοντινών σημείων δειγματοληψίας. Ως προς τη μέθοδο των γενικευμένων εκτιμήσεων χρησιμοποιείται το γενικό σύνολο των τιμών των δειγμάτων μιας περιοχής. Τέλος, κατά τη μέθοδο της χωρικής συσχέτισης – μέθοδος kriging είναι η έκφραση της χωρικής παρεμβολής μέσω γεωστατιστικών μεθόδων.

Η γεωστατιστική αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες ανάλυσης των δεδομένων των εδαφικών αναλύσεων. Σε αυτή βασίζονται τα περισσότερα προγράμματα στατιστικής ανάλυσης δεδομένων όπως ένα και αυτά είναι το πρόγραμμα SURFER 11 το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία χαρτών χωρικής παραλλακτικότητας.

Τα βήματα τα οποία ακολουθεί μία γεωστατιστική ανάλυση είναι ο υπολογισμός των πειραματικών βαριογραμμμάτων των αρχικών δεδομένων, η χρήση του κατάλληλου μοντέλου ανάλυσης και η χωρική συσχέτιση των δεδομένων που πάρθηκαν από τα βαριογραμμμάτα.

Στα σημεία στα οποία όπως αναφέρεται παραπάνω δεν έχει πραγματοποιηθεί λήψη δείγματος και δεν ορίζονται από κάποια τιμή τότε χρησιμοποιούμε τη μέθοδο kriging με σκοπό τη δημιουργία εδαφικών χαρτών. Η εκτίμηση των τιμών σε σημεία που δεν υπήρχε δείγμα γίνεται σύμφωνα με τους Φουντά και Γέμτο (2015) με τη σχέση:

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

$$\text{όταν } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$$

όπου $z(x_o)$, η τιμή που εκτιμάται $z(x_i)$ η τιμή του δείγματος και λ_i το βάρος που προσδιορίζεται για την τιμή x_i .

Η μέθοδος αυτή πήρε το όνομα της από τον D.G. Krige έναν μεταλλειολόγο ο οποίος λόγω της φύσης του επαγγέλματός του ήταν ο πρώτος που πραγματοποίησε παρόμοιες τεχνικές μεταβλητών για τον εντοπισμό χρυσού.

Το Kriging είναι μια γεωστατιστική τεχνική παρεμβολής που για τον καθορισμό των τιμών ενός σημείου σε άγνωστες περιοχές, λαμβάνει υπόψη τόσο την απόσταση όσο και τον βαθμό της διακύμανσης μεταξύ γνωστών σημείων δεδομένων.

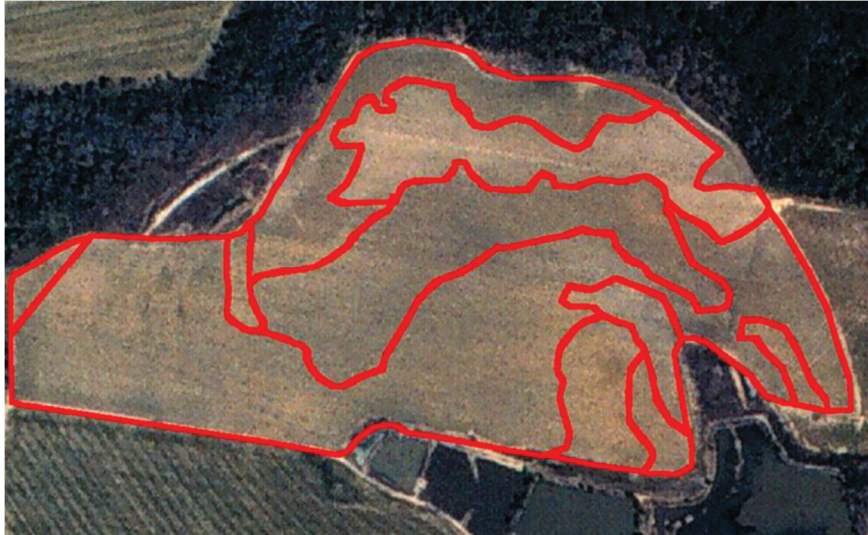
Η μέθοδος kriging απαρτίζεται από διαφορετικά συστήματα ανάλυσης και εμφανίζεται να είναι γραμμικό ή μη γραμμικό. Οι κατηγορίες των διαφορετικών μεθόδων kriging είναι:

- 1) Το απλό kriging
- 2) Το καθολικό kriging
- 3) Το kriging δεικτών

Επιπλέον, η μέθοδος kriging μπορεί να εφαρμοστεί σε επιφανειακά ή σημειακά δεδομένα τιμών μετρήσεων. Σύμφωνα με τους Isaaks & Srivastava, 1989, το kriging βασίζεται στους γραμμικούς συνδυασμούς των δεδομένων μετρήσεων και για τον λόγο αυτό τις περισσότερες φορές εμφανίζεται να είναι γραμμικό. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στα χωρικά δεδομένα και τείνει να μηδενίσει την διασπορά των σφαλμάτων στις μετρήσεις.

2.4.2 Ζώνες διαχείρισης

Με τον όρο «Ζώνες Διαχείρισης» διαχωρίζουμε τα σημεία εκείνα που έχουν κοινά εδαφολογικά χαρακτηριστικά (Φουντάς και Γέμτος, 2015). Οι ζώνες διαχείρισης όπως μπορεί να καταλάβει κάποιος από τον ίδιο τον όρο είναι τμήματα μέσα στην περιοχή καλλιέργειας τα οποία έχουν διαχωριστεί με βάση τα παρόμοια χαρακτηριστικά τους ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Αποτελούν ένα πολύ σημαντικό τομέα της γεωργίας ακριβείας προσδίδοντας την δυνατότητα δημιουργίας πλάνου διαχείρισης των καλλιεργητικών πρακτικών και των εισροών.



Εικόνα 25: Απεικόνιση ζωνών διαχείρισης στον αγρό.(Φουντάς και Γέμτος 2015)

Κατά τη συμβατική γεωργία ο καλλιεργητής εργαζόταν καθολικά σε όλη την καλλιεργούμενη έκταση εφαρμόζοντας τις ίδιες πρακτικές. Παρ'όλο που η δειγματοληψία εδάφους αποτελεί μια πολύ σημαντική μέθοδο προσδιορισμού των εδαφικών ιδιοτήτων και της περιεκτικότητας του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία, ήταν δύσκολο από τους αγρότες να μπορέσουν να διαχειριστούν ξεχωριστά κάθε τμήμα του αγροκτήματος.

Τη λύση σε αυτό το πρόβλημα έδωσε η Γεωργία Ακριβείας και με τη χρήση drones, αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων καθώς όμως και με την ανάλυση των εδαφολογικών αναλύσεων, της μεθόδου άρδευσης, των τοπογραφικών χαρτών κ.α. .

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης φαντάζει να είναι μια δύσκολη και επίπονη πρακτική, αντιθέτως όμως αποτελεί μία διαδικασία η οποία για να λάβει χώρα μέσα σε μια έκταση καλλιέργειας αρκεί η αξιολόγηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους, το όφελος το οποίο θα αποκομίζει ο καλλιεργητής από αυτό τον τρόπο διαχείρισης και τέλος, το αν θα μπορεί ο αγρότης να ανταπεξέλθει σε αυτό το πλάνο.

Η μέθοδος διαχείρισης του αγρού μέσω ζωνών προσδίδει ευκολία στη οριοθέτηση του αγρού, χαμηλό κόστος δημιουργίας καθώς και σταθερότητα στο χρόνο. Ένας αγρός καλλιέργειας μπορεί να χωριστεί σε πολλές ζώνες ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από την έκταση της καλλιεργούμενης έκτασης, την εδαφική παραλλακτικότητα των φυσικοχημικών ιδιοτήτων και τέλος τον εξοπλισμό που διαθέτει ο παραγωγός ώστε να είναι εφικτός ο καταμερισμός των καλλιεργητικών

πρακτικών και η κατανομή των εισροών ανάλογα με το πλάνο καλλιέργειας. Ο κατάλληλος αριθμός ζωνών παραγωγής διαφέρει από έτος σε έτος και σχετίζεται με τις καιρικές συνθήκες και το είδος της καλλιέργειας (Fraisie et al., 2001a).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.

3.1 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Αναλύσεων.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 2.4.1, η δειγματοληψία έγινε κατά μήκος και κατά πλάτος του αγρού μελέτης. Η έκταση των 40 στρεμμάτων χωρίστηκε σε 9 σειρές δειγματοληψίας ονομαζόμενες με τα γράμματα της αλφαβήτου από A-I και συνολικά πάρθηκαν 243 δείγματα εδάφους. Σύμφωνα με την εικόνα παρακάτω μπορούμε να κατανοήσουμε τη θέση δειγματοληψίας κάθε σημείου ξεχωριστά.



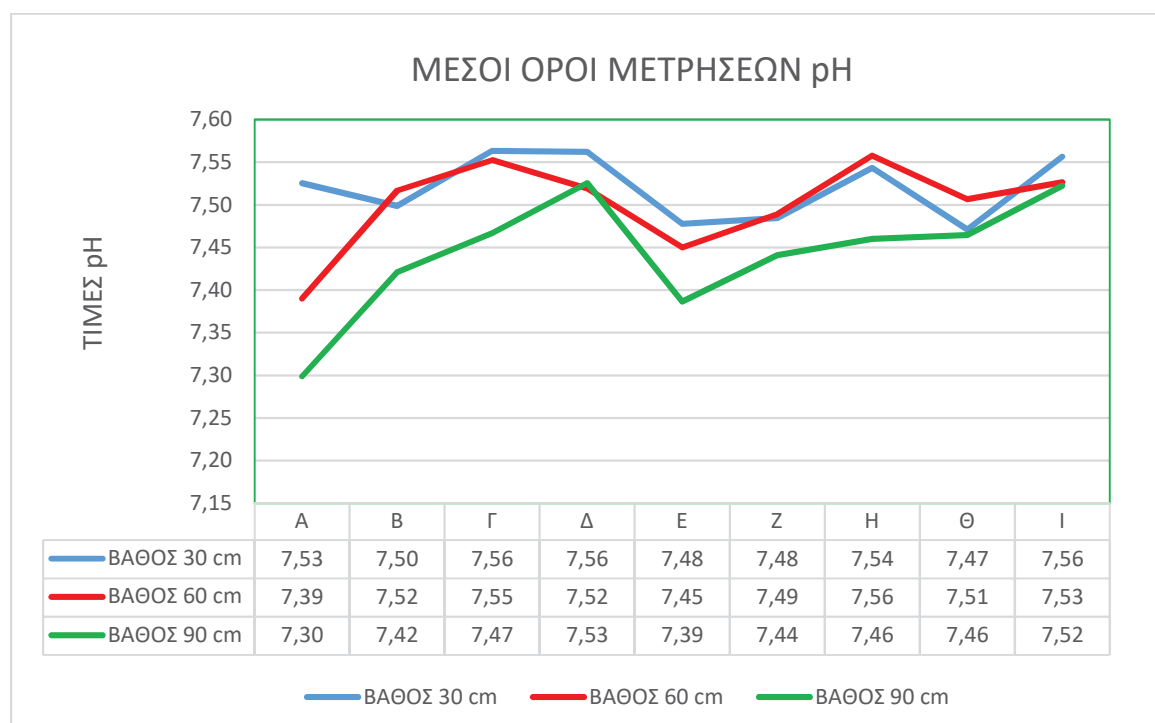
Εικόνα 26: Απεικόνιση σημείων δειγματοληψίας μέσω ArcGIS Hybrid

Πρέπει να σημειωθεί ότι στη δεξιά μεριά του αγρού έχει δημιουργηθεί στραγγιστικό κανάλι το οποίο εξυπηρετεί τις ανάγκες στράγγισης της

καλλιέργειας. Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, η εγκατάσταση του καναλιού στράγγισης έχει επηρεάσει σημαντικά τις χημικές ιδιότητες του εδάφους λόγω της συσσώρευσης των αλάτων.

3.1.1 Αποτελέσματα οξύτητας του εδάφους (pH)

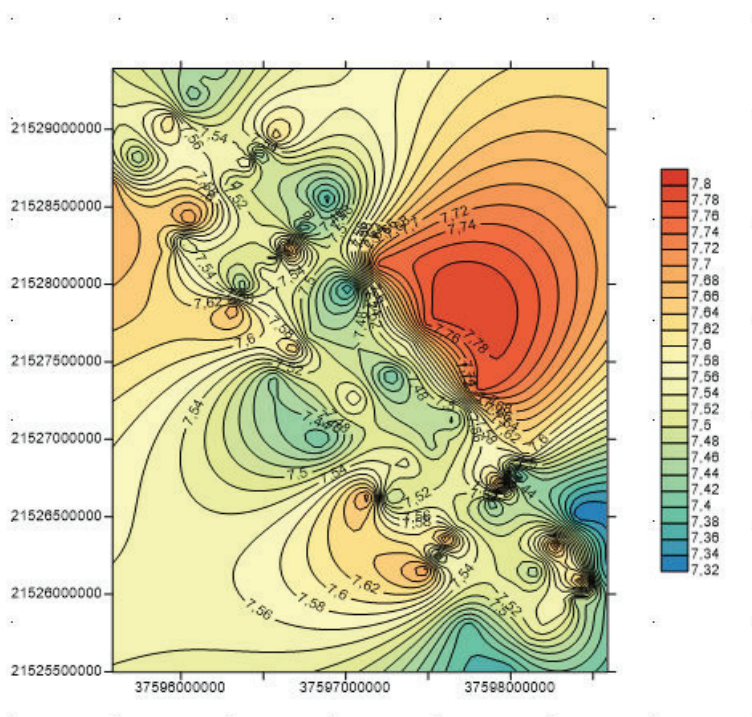
Στο διάγραμμα 1, εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του pH του εδάφους της περιοχής μελέτης ύστερα από τη δειγματοληψία εδάφους που πραγματοποιήθηκε. Συγκεκριμένα απεικονίζονται οι μεσοί οροί των 9 σειρών (Α-Ι) δειγματοληψίας όπου χωρίστηκε η έκταση καλλιέργειας. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε 3 βάθη δειγματοληψίας 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm κατά μήκος του εδαφικού προφίλ. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η μέτρηση των τιμών pH στο βάθος των 30 εκατοστών, με κόκκινο χρώμα οι τιμές στο βάθος των 60 εκατοστών και με πράσινο χρώμα οι τιμές στο βάθος των 90 εκατοστών.



Διάγραμμα 1: Μέσος Ορός μετρήσεων pH ανά βάθος δειγματοληψίας.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές του pH του εδάφους κυμαίνονται από 7,39 να είναι η μικρότερη έως 7,59 να είναι η μεγαλύτερη τιμή δηλαδή ελαφρά αλκαλικό. Επιπλέον οι υψηλότερες τιμές pH εμφανίζονται στο βάθος των 0-30 cm ενώ οι χαμηλότερες τιμές στο βάθος των 60-90 cm. Επίσης μεγάλη διαφορά στην τιμή του pH παρατηρείται στη σειρά Α με τιμή μέσου όρου να είναι 7,53, 7,39 και 7,30 στα βάρη 30cm, 60cm, 90cm αντιστοίχως σε αντίθεση με τη σειρά Ι όπου οι τιμές των μέσων όρων εμφανίζονται να είναι αρκετά υψηλότερες με τιμές 7,56, 7,53, 7,52 στα βάρη 30cm, 60cm, 90cm αντιστοίχως.

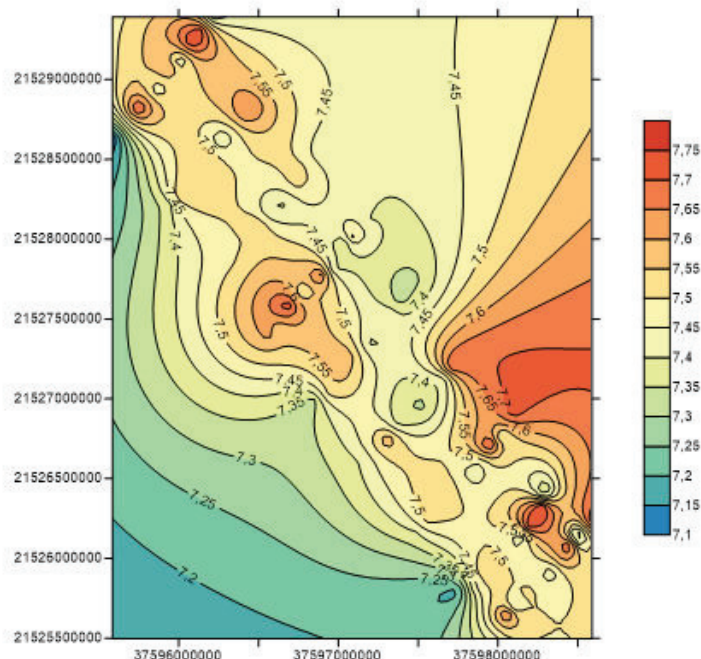
Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η χωρική κατανομή του pH στο αγρό καλλιέργειας όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία στο βάθος των 30cm. Οι υψηλότερες τιμές pH απεικονίζονται με κόκκινο καθώς και οι χαμηλότερες τιμές με μπλε χρώμα. Παρατηρείται ότι η υψηλότερες τιμές του pH επικρατούν στη δεξιά μεριά (σειρά Ι) του χωραφιού μελέτης.



Διάγραμμα 2: Χωρική κατανομή του pH στο βάθος των 30 cm

Στο διάγραμμα 3 εμφανίζονται οι τιμές του pH του εδάφους στο βάθος των 60 cm. Από το διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η

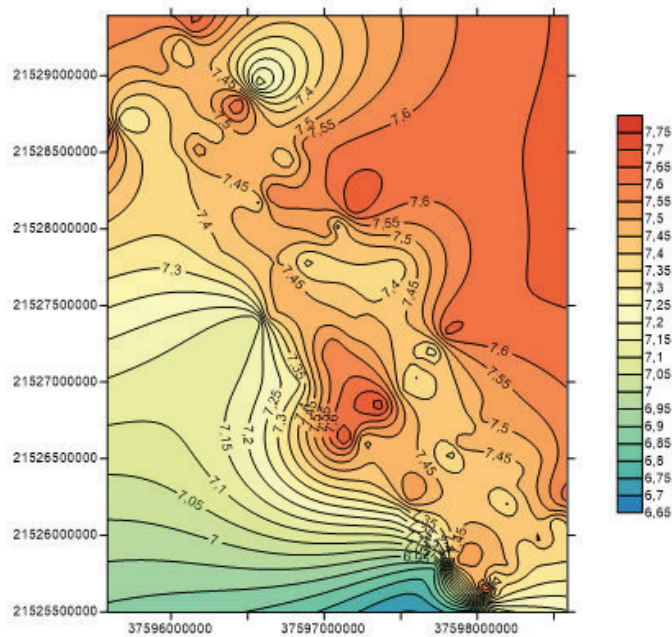
διακύμανση των τιμών pH έχουν μικρότερες διακυμάνσεις μεταξύ τους και με τις υψηλότερες τιμές να επικρατούν κοντά στη μέση του αγρού που σύμφωνα με τις αρχές της δειγματοληψίας αντιστοιχούν στις σειρές Δ και Ε. Οι χαμηλότερες τιμές pH είναι εμφανές ότι επικρατούν στις πρώτες σειρές δειγματοληψίας Α - Γ ενώ η υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στις σειρές Θ-Ι.



Διάγραμμα 3: Χωρική κατανομή του pH στο βάθος των 60 cm

Τέλος, στο διάγραμμα 4, αναπαρίσταται τη χωρική κατανομή του pH στο βάθος των 90 cm. Παρατηρείται ότι τιμές του pH είναι υψηλές σχεδόν σε όλο το σύνολο της έκτασης του αγρού μελέτης. Αυτό οφείλεται στην εισχώρηση των αλάτων στον υπόγειο ορίζοντα μέσω των συνεχόμενων αρδεύσεων με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε ιόντα αλάτων.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο κατέχει και ο τύπος του εδάφους αλλά και η περιοχή καλλιέργειας αφού πρόκειται για τον πυθμένα μιας λίμνης η οποία υπέστη τη διαδικασία της αποξήρανσης και την εκμετάλλευση για γεωργικούς σκοπούς.

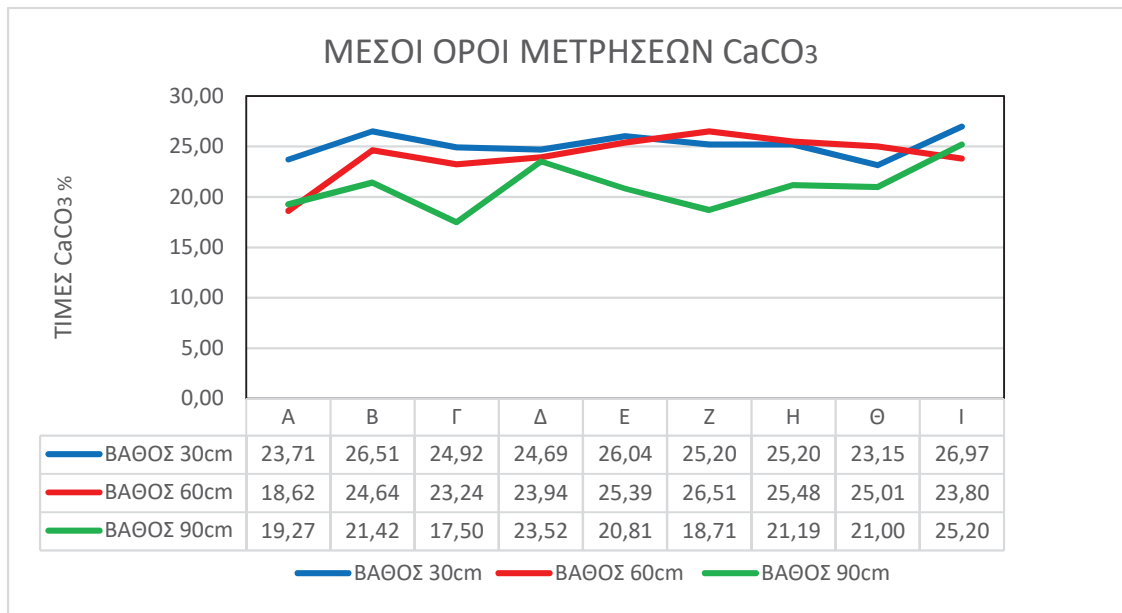


Διάγραμμα 4: Χωρική κατανομή του pH στο βάθος των 90 cm

3.1.2 Αποτελέσματα Ανθρακικού Ασβεστίου (CaCO_3)

Το ασβέστιο Ca^{+2} αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μακροστοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών επηρεάζοντας σε πολλές μεταβολικές τους λειτουργίες. Ως επί τοις εκατό ανθρακικό ασβέστιο, ορίζεται το σύνολο των ανθρακικών αλάτων που περιέχονται σε 100 gr ξηρού εδάφους, εκφρασμένο σε g ανθρακικού ασβεστίου.

Στο διάγραμμα 5 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του ανθρακικού ασβεστίου του εδάφους της περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, απεικονίζεται ο μέσος όρος των τιμών της ανθρακικού ασβεστίου στα 3 βάθη δειγματοληψίας. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι τιμές του μέσου όρου στο βάθος των 30 εκατοστών, με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι τιμές στο βάθος των 60 cm ενώ με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές στο βάθος των 90 εκατοστών.

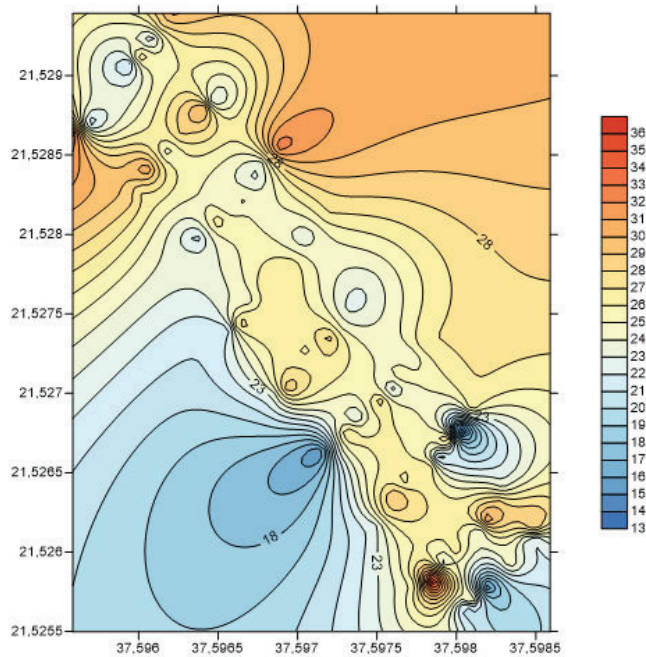


Διάγραμμα 5: Μέσος Όρος μετρήσεων CaCO₃ ανά βάθος.

Στο διάγραμμα 6 παρατηρούμε τον μέσο όρο κάθε σειράς δειγματοληψίας Α-Ι . Από το διάγραμμα είναι εμφανές ότι οι τιμές του CaCO₃ % κυμαίνονται από 17,50 όπου εμφανίζεται η τιμή της σειράς Γ η οποία είναι η χαμηλότερη ένδειξη έως 26,97 όπου είναι η τιμή του μέσου όρου της σειράς Ι και είναι η υψηλότερη τιμή. Επίσης, οι τιμές και στα τρία βάθη δεν εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Η μόνη σύγκριση που μπορούμε να κάνουμε μεταξύ των 3 μέσων όρων είναι ότι οι τιμές ανθρακικού ασβεστίου στο βάθος των 90 cm εμφανίζονται να είναι μικρότερες σε σχέση με τις τιμές που απεικονίζονται στα βάθη των 30cm και 60cm.

Στη συνέχεια, στο διάγραμμα απεικονίζεται η χωρική κατανομή του ανθρακικού ασβεστίου CaCO₃ στη περιοχή καλλιέργειας στο βάθος των 30 cm. Με μπλέ χρώμα εμφανίζονται οι χαμηλές τιμές μέτρησης του ανθρακικού ασβεστίου, κίτρινο χρώμα οι μεσαίες τις μετρήσεων και με βαθύ κόκκινο χρώμα οι υψηλές τιμές μετρήσεων

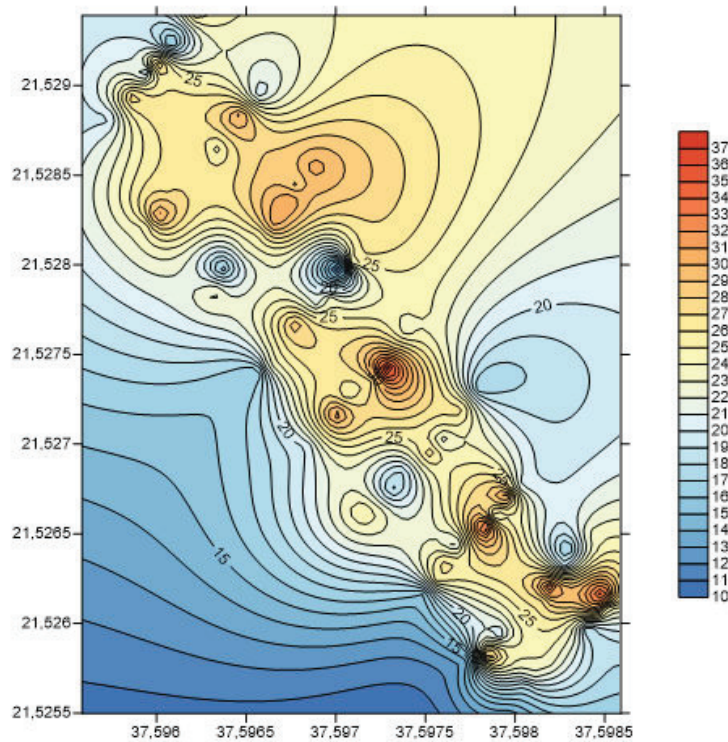
Από το παρακάτω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές ανθρακικού ασβεστίου κατανέμονται στην δεξιά πλευρά του χωραφιού όπου όπως έχει προ αναφερθεί βρίσκεται το αρδευτικό κανάλι. Παρόλα αυτά εμφανίζεται και μια μικρή αύξηση των τιμών και στις σειρές 7-9.



Διάγραμμα 6: Χωρική κατανομή CaCO_3 στο βάθος των 30 cm

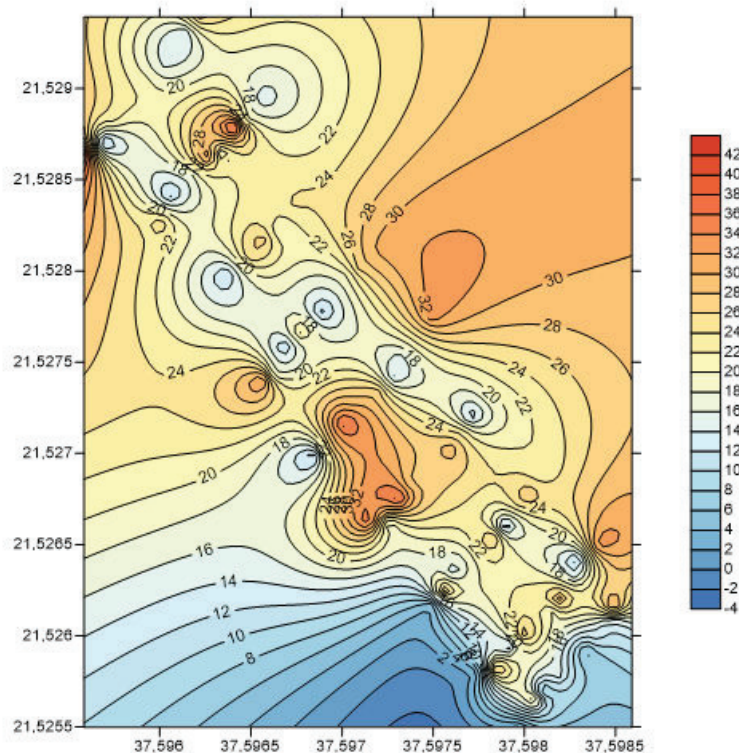
Στο επόμενο διάγραμμα (7) , απεικονίζονται οι τιμές του ανθρακικού ασβεστίου CaCO_3 στο βάθος των 60cm. Οι διακυμάνσεις στα χρώματα που αντιστοιχούν στις τιμές μέτρησης είναι ίδιες με το προηγούμενο διάγραμμα απεικόνισης. Στο μπλέ χρώμα αντιστοιχούν οι χαμηλές τιμές μέτρησης, στο κίτρινο χρώμα οι μεσαίες τιμές και με βαθύ κόκκινο χρώμα οι υψηλότερες τιμές μετρήσεων.

Σε αυτό το βάθος δειγματοληψίας εμφανίζονται χαμηλότερες τιμές μέτρησης σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο βάθη. Είναι εμφανές ότι και σε αυτό το διάγραμμα οι υψηλότερες τιμές απαρτίζονται από τη μέση και προς τη δεξιά μεριά της καλλιεργούμενης έκτασης.



Διάγραμμα 7: Χωρική κατανομή CaCO₃ στο βάθος των 60 cm

Τελειώνοντας με την απεικόνιση των τιμών της χωρικής κατανομής των μετρήσεων του CaCO₃, στο παρακάτω διάγραμμα εμφανίζεται η απεικόνιση της μεταβολής του ανθρακικού ασβεστίου στο βάθος των 90cm. Σε αυτό το βάθος δειγματοληψίας όπως και στη περίπτωση του pH είναι εμφανές ότι υπάρχει μια ευρύτερη κατανομή των αλάτων σε όλη την έκταση μια κάποιες μικρότερες τιμές να εμφανίζονται στις αρχικές γραμμές και προς τις μεσαίες γραμμές δειγματοληψίας δηλαδή στις Δ και Ε, σύμφωνα με την εικόνα 26 που γίνεται η απεικόνιση της κατανομής των δειγμάτων στον αγρό.



Διάγραμμα 8: Χωρική κατανομή $CaCO_3$ στο βάθος των 90 cm

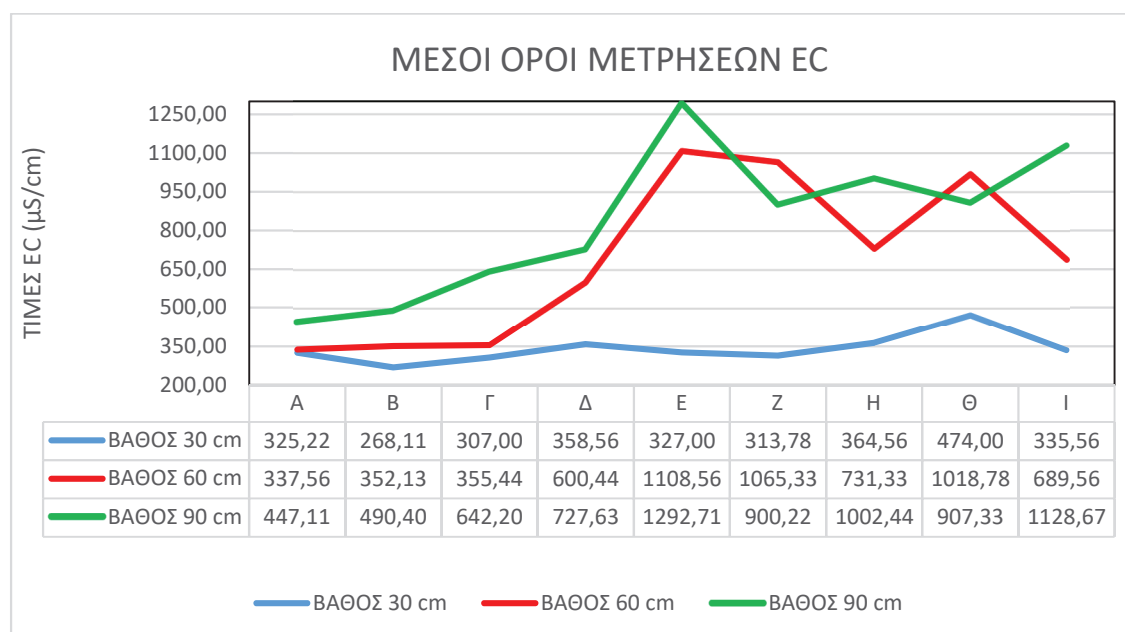
3.1.3 Αποτελέσματα Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας Εδάφους.

Όπως αναφέρθηκε λεπτομερώς στα παραπάνω κεφάλαια ο παράγοντας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην περιοχή καλλιέργειας όπου πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία εδάφους μελετήθηκε με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι με την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή και η άλλη μέθοδος ήταν εργαστηριακά με την μέτρηση των ιόντων αλάτων σε πάστα κορεσμού αναλογίας εδάφους νερού 2:1 αντίστοιχα με τη χρήση ηλεκτρονικού αγωγιμόμετρου.

Παρακάτω απεικονίζεται ο μέσος όρος των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα τρία βάθη δειγματοληψίας. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι τιμές του μέσου όρου στο βάθος των 30 εκατοστών, με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται οι τιμές στο βάθος των 60 εκατοστών ενώ με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές στο βάθος των 90 εκατοστών.

Παρατηρούμε ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζουν να είναι υψηλότερες στο βάθος των 90 cm με τη μεγαλύτερη τιμή μέτρησης να είναι στη σειρά Ε. Το ίδιο παρατηρείται και στο βάθος των 60 cm όπου εμφανίζει την μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τις άλλες σειρές δειγματοληψίας.

Επιπλέον, τα βάθη των 60 και 90 εκατοστών κυμαίνονται σε παρόμοιες τιμές μετρήσεων σε αντίθεση με το βάθος των 30 εκατοστών όπου παρατηρούνται πολύ χαμηλότερες τιμές μέτρησης με την χαμηλότερη να είναι στη σειρά Β με τιμή 268,11 ds/m.

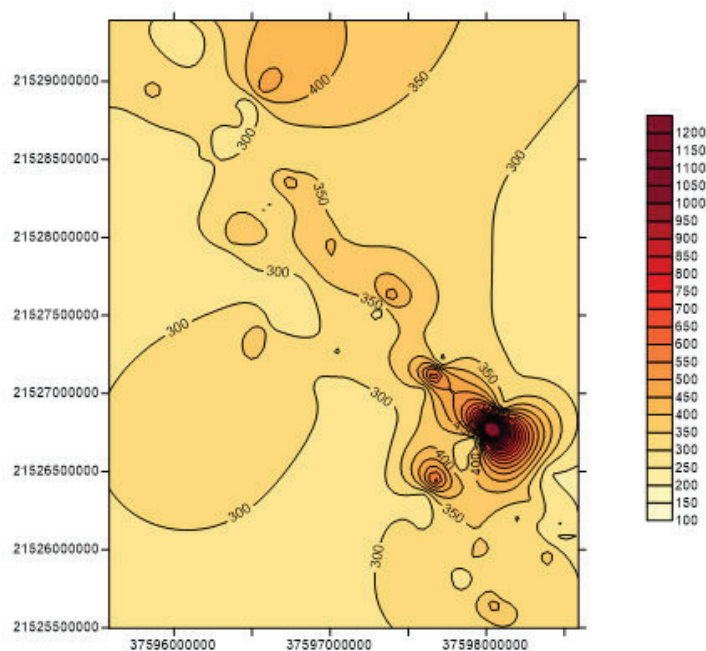


Διάγραμμα 9: Μέσος όρων μετρήσεων EC ανά βάθος

Στα επόμενα 3 διαγράμματα που θα αναλυθούν παρακάτω, παρουσιάζεται η χωρική μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με κριτήριο τις τιμές οι οποίες πάρθηκαν από την εργαστηριακή μέτρηση μέσω του αγωγιμόμετρου.

Αναλυτικότερα, στο διάγραμμα 10 παρουσιάζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο βάθος των 30 cm. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι χαμηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, ενώ με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι υψηλότερες τιμές.

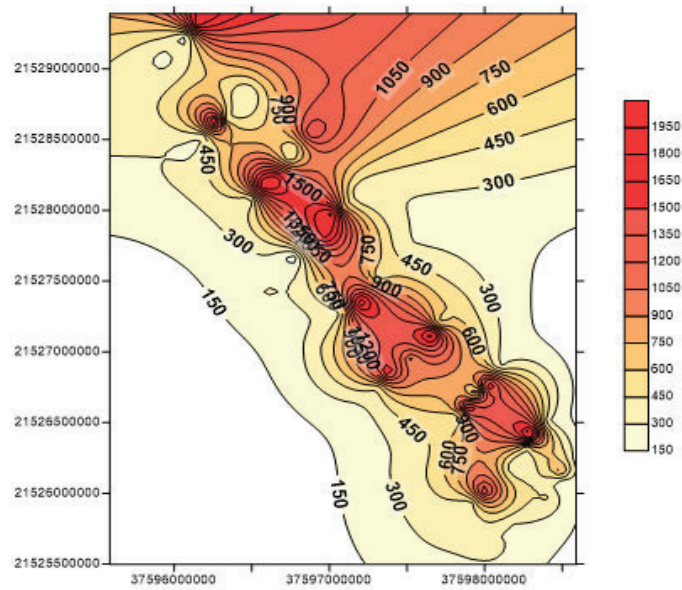
Είναι εμφανές ότι οι υψηλότερες τιμές αγωγιμότητας εμφανίζονται στην πάνω και δεξιά πλευρά του αγρού. Όπως αναφέρθηκε και στο διάγραμμα των μέσων όρων παραπάνω, οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 30 cm δειγματοληψίας δεν είναι τόσο υψηλές όσο και στα δύο άλλα βάθη των 60 και των 90 cm όπως θα παρουσιαστεί και παρακάτω.



Διάγραμμα 10: Χωρική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο βάθος των 30cm

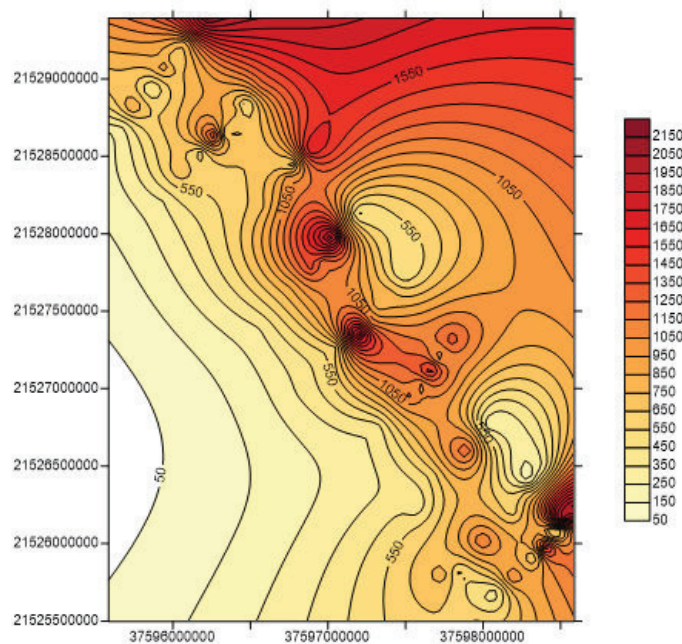
Ως προς το διάγραμμα της χωρικής κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας EC, στο βάθος των 60cm στον αγρό όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα 13. Με κίτρινο ανοιχτό χρώμα εμφανίζονται οι χαμηλές τιμές και με βαθύ κόκκινο χρώμα οι υψηλές τιμές των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Από το παρακάτω διάγραμμα είναι εμφανές ότι οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εμφανίζονται να είναι υψηλές κυρίως από τη μέση του χωραφιού και προς τα δεξιά το οποίο αντιστοιχεί στις σειρές δειγματοληψίας E έως I. Παρ' όλα αυτά το ιδιαίτερη αύξηση τιμών παρατηρείτε στο κέντρο του αγρού σε αντίθεση με το βάθος των 90 εκατοστών όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια στο διάγραμμα 11.



Διάγραμμα 11: Χωρική κατανομή ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο βάθος των 60 cm

Στο διάγραμμα 12, απεικονίζεται η κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο βάθος των 90cm. Όπως και στα προηγούμενα διαγράμματα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με κίτρινο χρώμα εμφανίζονται οι μετρήσεις των χαμηλών τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και με βαθύ κόκκινο οι υψηλότερες τιμές μετρήσεων. Σε αυτό το διάγραμμα μπορεί να παρατηρηθεί ότι οι υψηλότερες τιμές συγκεντρώνονται στην περιοχή κοντά στις σειρές Η,Θ,Ι οι οποίες βρίσκονται στην δεξιά πλευρά της έκτασης καλλιέργειας, όπου υπάρχει το αρδευτικό κανάλι, με αποτέλεσμα την υψηλή υγρασία του εδάφους και συσσώρευση των αλάτων τα οποία συνεπάγονται την αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



Διάγραμμα 12: Χωρική κατανομή της EC στο βάθος των 90 cm

3.1.4 Αποτελέσματα Μέτρησης της EC με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε με δυο μεθόδους στην παρούσα πτυχιακή εργασία, με την μέθοδο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και μέσω εργαστηριακών μετρήσεων με τη χρήση αγωγιμόμετρου. Η πρώτη μέθοδος πραγματοποιήθηκε στον αγρό μελέτης κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας του εδάφους. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε το αισθητήριο όργανο Profiler EMP- 400, το οποίο συλλέγει φάσματα από 3 συχνότητες ταυτόχρονα μεταξύ του 1. Στην παρούσα περίπτωση μελέτης συλλέχθηκαν φάσματα από 5 διαφορετικές συχνότητες, στα 1000 kHz, στα 6000 kHz, στα 9000 kHz, στα 12000 kHz και στα 16000 kHz, για τα τρία βάθη δειγματοληψίας των 30cm, 60cm και 90cm.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των τιμών μετρήσεων, οι οποίες συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν.

Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων έγινε με τη χρήση του προγράμματος υπολογιστικού φύλλου, Microsoft EXCEL.

Για την συσχέτιση των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, ρ , (Correlation). Ο συντελεστής συσχέτισης μας προσδιορίζει τη συσχέτιση μεταξύ δυο ιδιοτήτων και συγκεκριμένα στη παρούσα μελέτη τη συσχέτιση μεταξύ των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα 3 βάθη δειγματοληψίας στις διαφορετικές συχνότητες μέτρησης, του εδάφους.

Σύμφωνα με τις στατιστικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος EXCEL οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2:

Πίνακας 2: Τιμές συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των τιμών μετρήσεων της EC στις διάφορες συχνότητες.

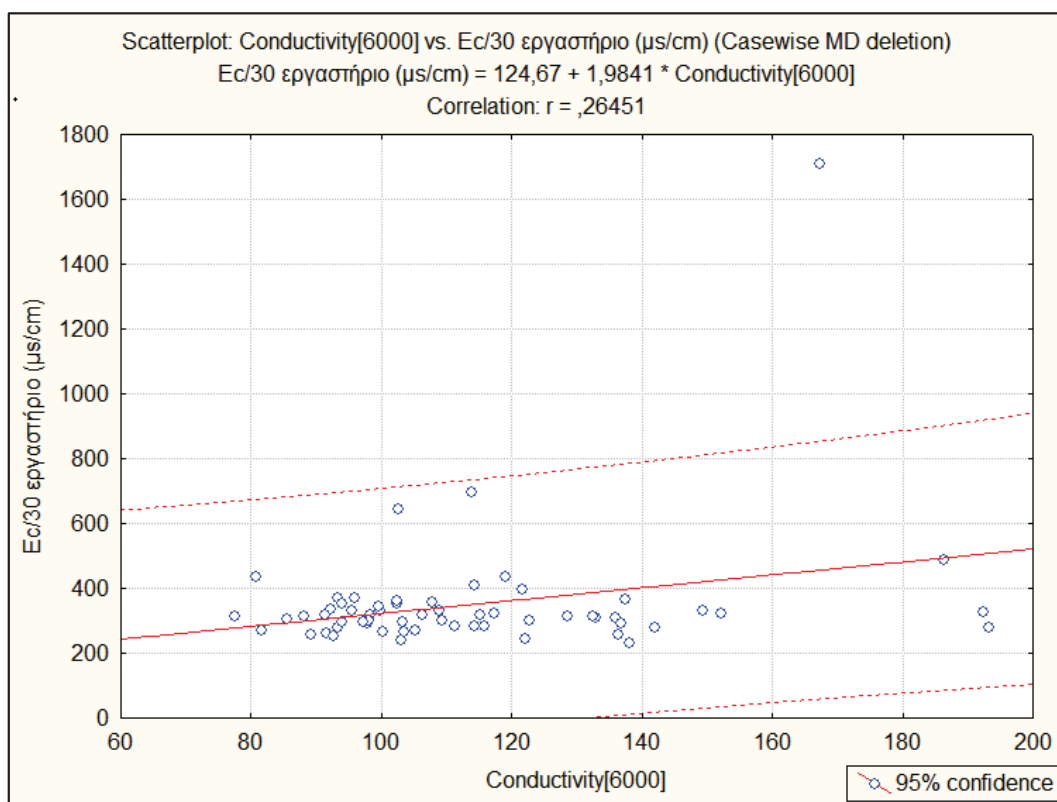
Correlations (ρ)	Ec/30 εργαστηριακών μετρήσεων ($\mu\text{s/cm}$)	Ec/60 εργαστηριακών μετρήσεων ($\mu\text{s/cm}$)	Ec/90 εργαστηριακών μετρήσεων ($\mu\text{s/cm}$)
Conductivity[1000]	-0,03	-0,04	0,16
Conductivity[9000]	0,03	0,13	0,24
Conductivity[16000]	0,06	0,20	0,25
Conductivity[6000]	0,26	0,15	0,16
Conductivity[9000] b	0,28	0,17	0,16
Conductivity[12000]	0,28	0,19	0,16

Στηριζόμενοι στη μέθοδο του correlation (ρ), στατιστικά αποδεκτές τιμές είναι αυτές που τείνουν να είναι ίσες με τη μονάδα. Οι τιμές αυτές στα τρία βάθη δειγματοληψίας εμφανίζονται στις μετρήσεις των συχνοτήτων 6000 kHz, 9000 kHz και 12000 kHz.

Όπως παρουσιάζεται στον πίνακα τιμών του συντελεστή συσχέτισης (ρ), παρατηρείτε ότι στις συχνότητες μέτρησης των 6000kHz, 9000kHz και 12000kHz αντιστοιχούν οι μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης, οι οποίες απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα. Οι τιμές αυτές κατανέμονται στην επιφάνεια του εδάφους και είναι στατιστικά αποδεκτές αφού όπως παρουσιάζεται έχουν συντελεστή σημαντικότητας 95% σύμφωνα με τη στατιστική μέθοδο ανάλυσης του correlation.

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές μεταξύ $-1 < \rho < +1$. Όταν οι τιμές του συντελεστή τείνουν προς το -1 τότε η σχετική συσχέτιση χαρακτηρίζεται ως αρνητική γραμμική συσχέτιση. Όταν όμως οι τιμές τείνουν να είναι κοντά στη περιοχή του $+1$ τότε χαρακτηρίζεται ως τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση. Για την καλύτερη αποτύπωση των αποτελεσμάτων και του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλονται – συσχετίζονται μεταξύ τους γίνεται αναπαράσταση των μετρήσεων μέσω των διαγραμμάτων διασποράς.

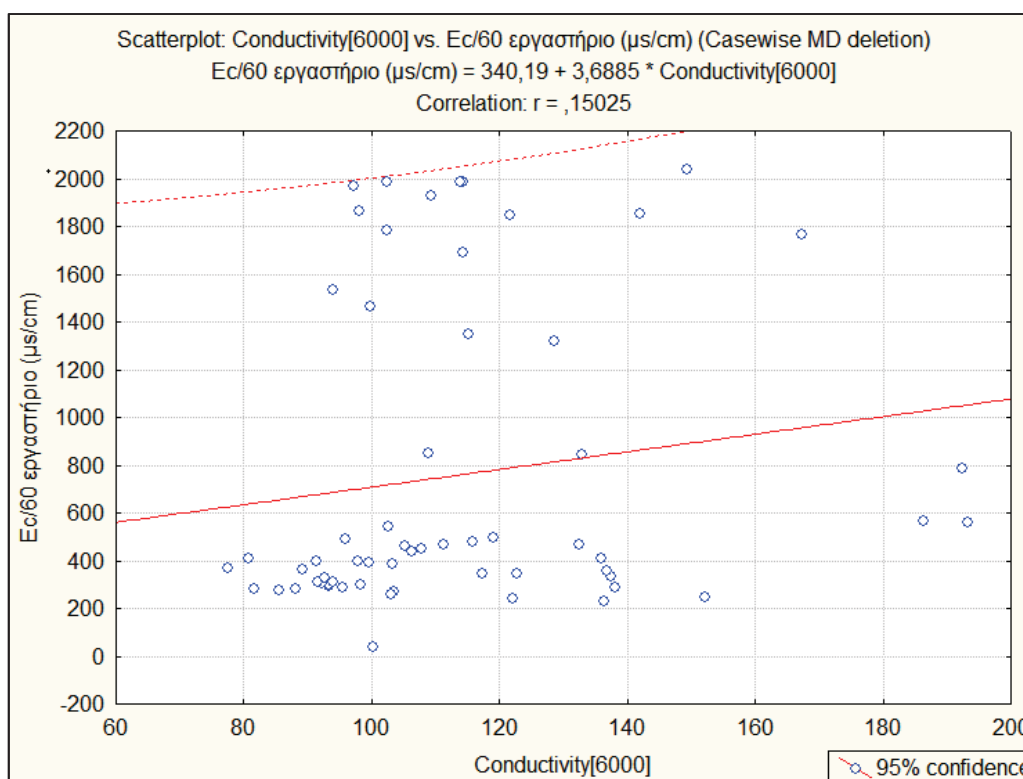
Στο διάγραμμα 13, παρουσιάζονται οι τιμές συσχέτισης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που συλλέχθηκαν μέσω του αισθητήρα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής με τη λήψη φασμάτων στη συχνότητα των 6000 kHz και της αγωγιμότητας που καταγράφηκε από την εργαστηριακή ανάλυση με τη χρήση αγωγιμόμετρου. Στον άξονα των X αντιστοιχούν οι τιμές μέτρησης της αγωγιμότητας στο εργαστήριο, ενώ στον άξονα των Y αντιστοιχούν οι τιμές μετρήσεων στο φάσμα των 6000 kHz. Οι απεικονιζόμενες τιμές μέτρησης αντιστοιχούν στο βάθος των 30cm. Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των αντίστοιχων τιμών των δύο μεθόδων μέτρησης είναι $\rho = 0,26$.



Διάγραμμα 13: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 6000kHz στο βάθος των 30cm

Ο συντελεστής συσχέτισης έχει τιμή $\rho=0,26$, δηλαδή τείνει προς την μονάδα. Με αυτό τον τρόπο γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών με συντελεστή σημαντικότητας 95%.

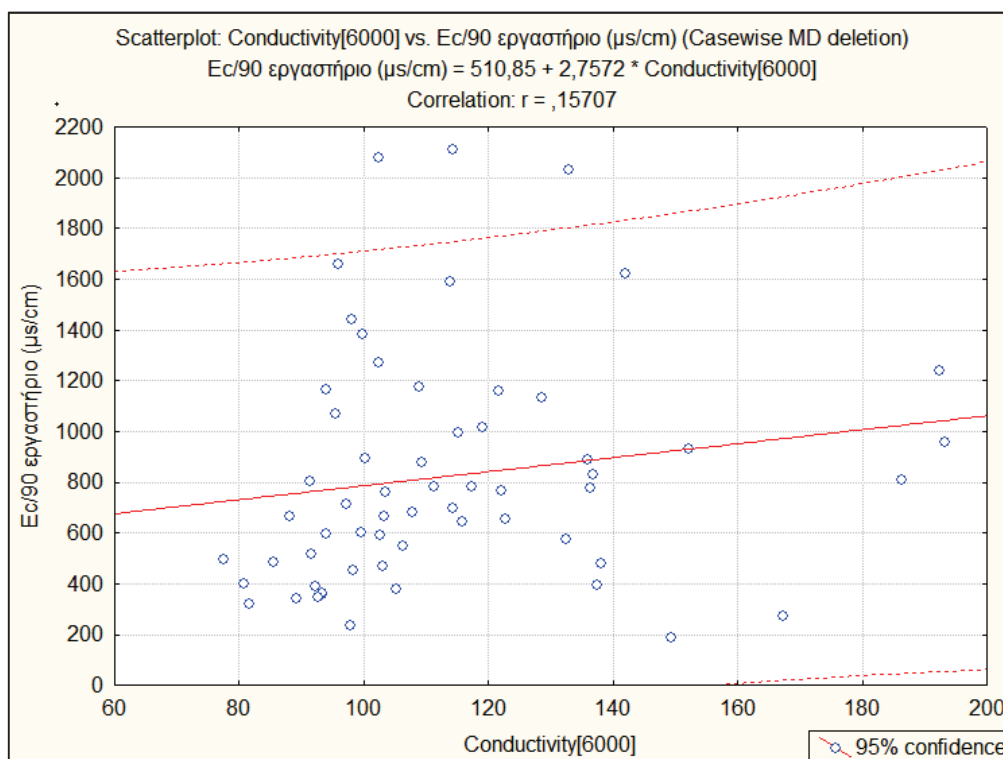
Στο διάγραμμα 13, αποτυπώνονται οι τιμές μέτρησης αγωγιμότητας της εργαστηριακής ανάλυσης σε συσχέτιση τις τιμές που πάρθηκαν με τον αισθητήρα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής στο βάθος των 60cm.



Διάγραμμα 14: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 6000kHz στο βάθος των 60cm

Ο συντελεστής συσχέτισης έχει τιμή $\rho=0,15$, δηλαδή τείνει προς την μονάδα (+1). Με αυτό τον τρόπο γίνεται κατανοητό ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών με συντελεστή σημαντικότητας 95%. Σε αντίθεση με το διάγραμμα στα 30cm παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά των σημείων τα οποία όμως τείνουν να συγκεντρώνονται κοντά στην γραμμή τάσης και υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των τιμών μετρήσεων.

Αντιστοίχως στο διάγραμμα 15, αποτυπώνονται οι τιμές μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο μεθόδων μετρήσεων στο βάθος των 90cm.

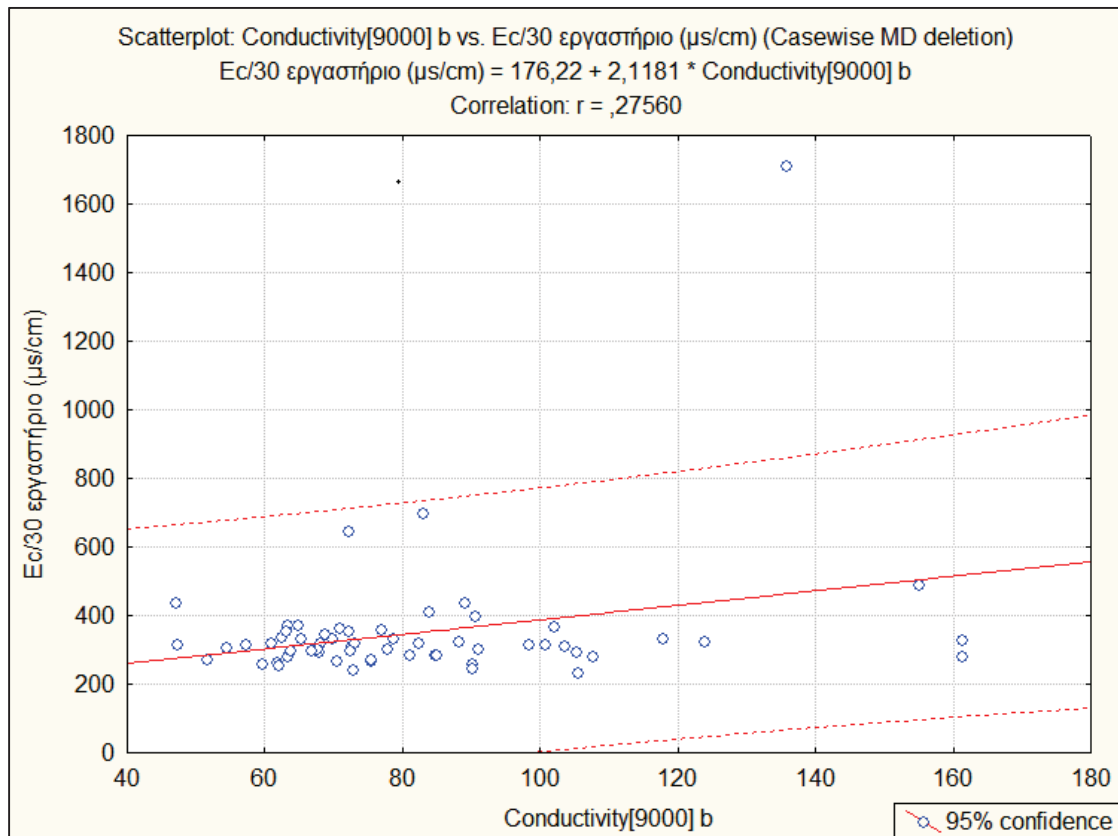


Διάγραμμα 15: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 6000kHz στο βάθος των 90cm

Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμή $\rho=0,16$, οι τιμές εμφανίζονται να είναι συγκεντρωμένες κοντά στην γραμμή τάσης δηλαδή υπάρχει θετική σχετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών.

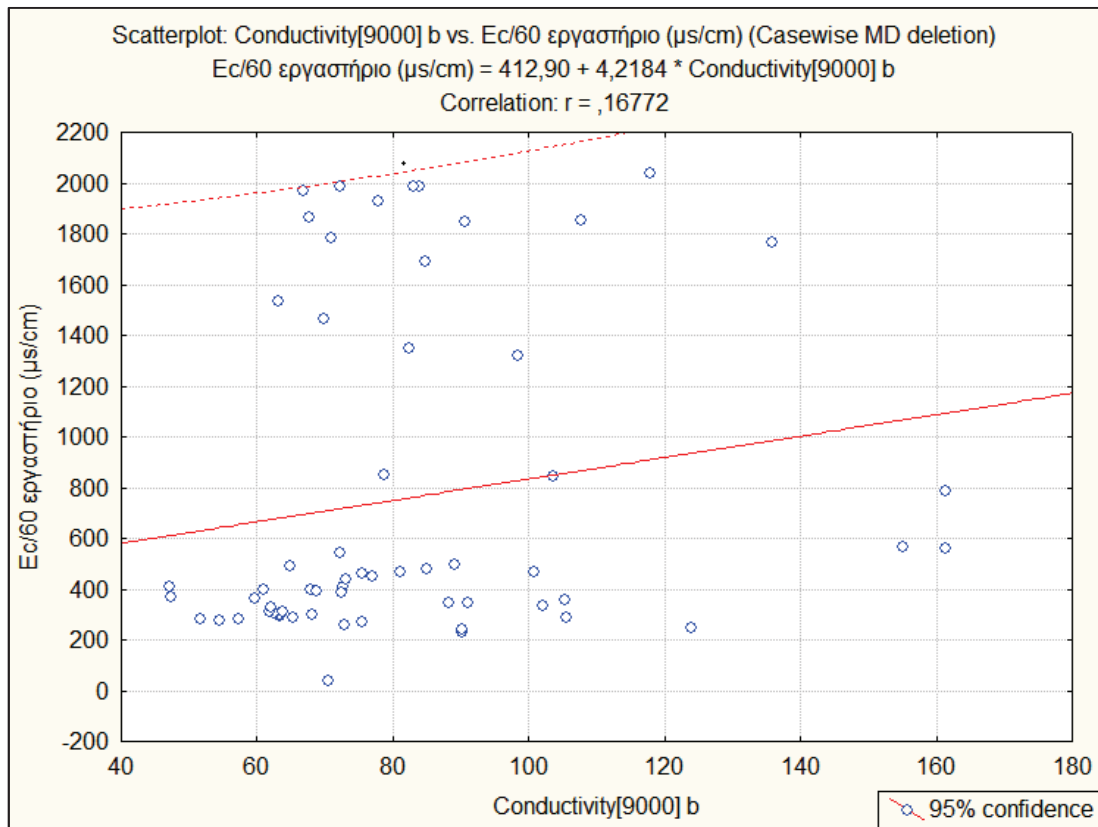
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς μεταξύ των τιμών της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που πάρθηκαν στη συχνότητα των 9000 kHz.

Στο διάγραμμα 16, εμφανίζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο μεθόδων μέτρησης στο φάσμα των 9000kHz. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι $\rho=0,28$ με βαθμό σημαντικότητας 95%, και οι τιμές τείνουν να είναι πολύ κοντά στη γραμμή τάσης, υποδεικνύοντας ότι υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών μέτρησης.



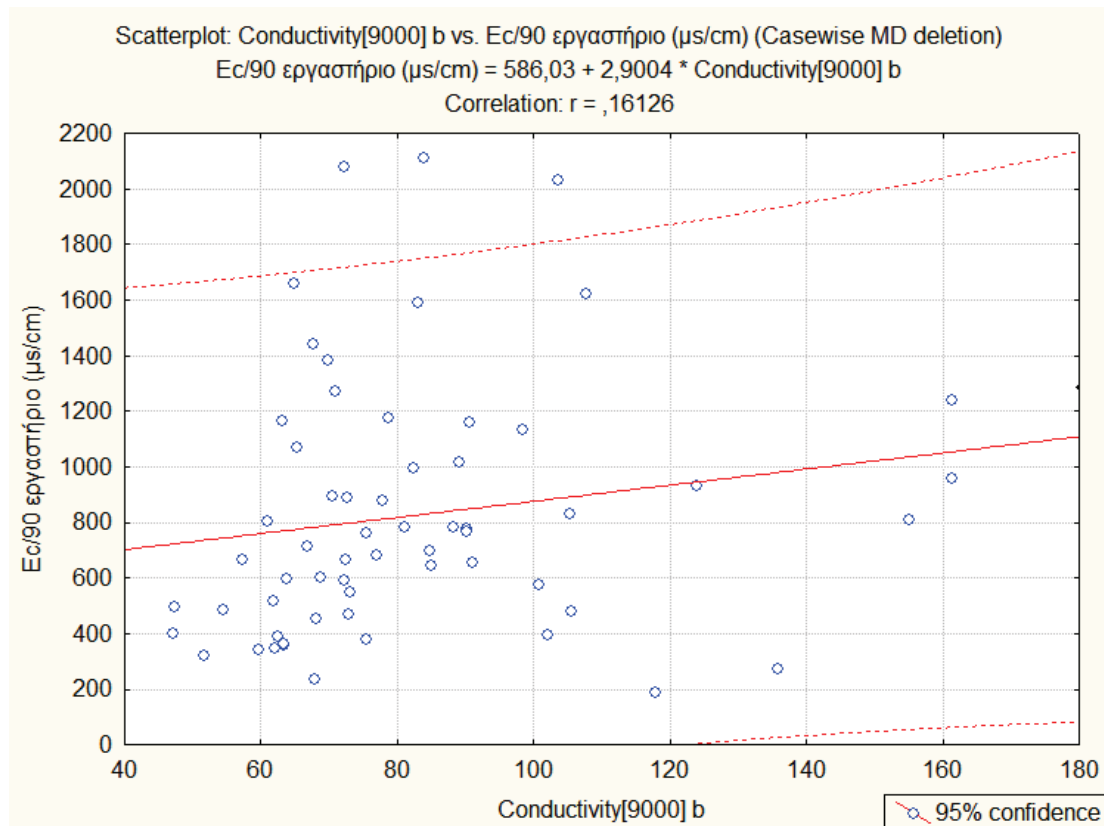
Διάγραμμα 16: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 9000kHz στο βάθος των 30cm

Στο διάγραμμα 17, παρουσιάζονται οι τιμές μετρήσεων στο φάσμα των 9000kHz και στο βάθος των 60cm. Παρατηρείται ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι $\rho=0,17$. Σε σύγκριση με το διάγραμμα διασποράς στο βάθος των 30cm υπάρχει σημαντική διαφορά ως προς τη κατανομή των τιμών μέτρησης. Όμως ο συντελεστής συσχέτισης τείνει προς το +1 υποδεικνύοντας ότι υπάρχει θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών.



Διάγραμμα 17 :διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 9000kHz στο βάθος των 30cm

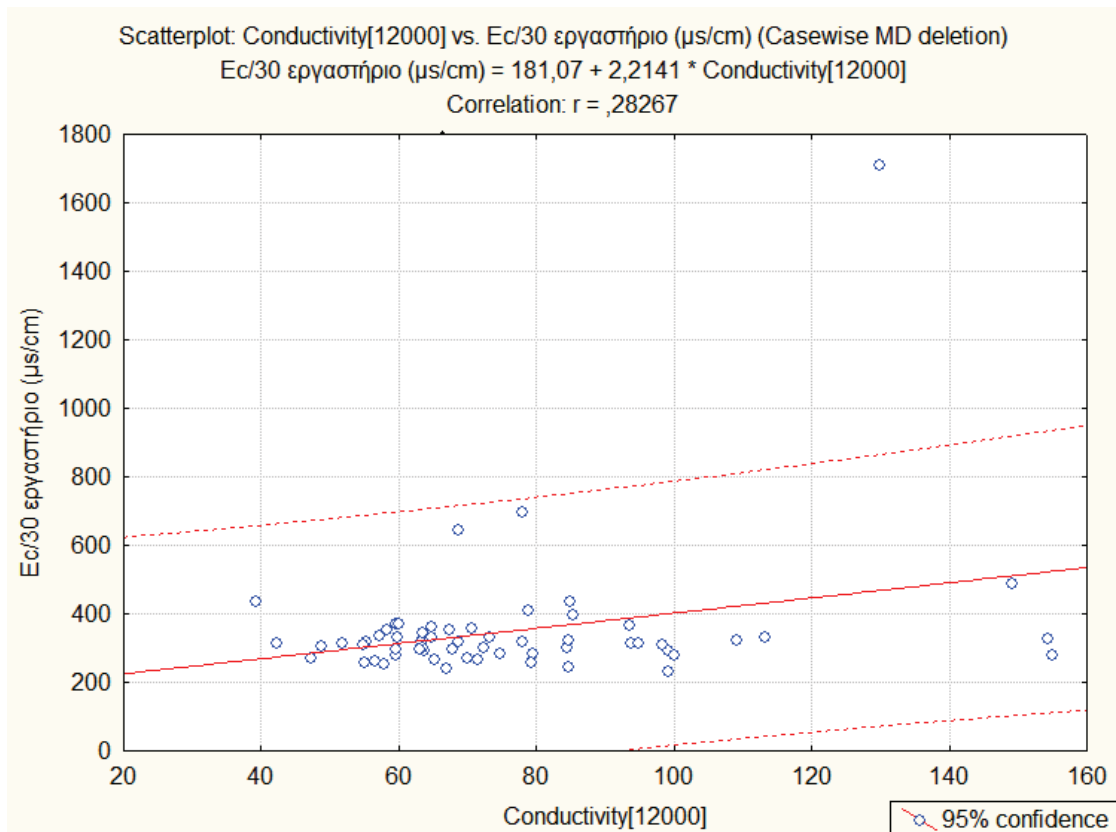
Στο επόμενο διάγραμμα διασποράς οι τιμές των μετρήσεων εμφανίζονται να έχουν μεγαλύτερη διασπορά μεταξύ τους σε αντίθεση με τα δύο προηγούμενα βάθη δειγματοληψίας. Ο συντελεστής συσχέτισης των τιμών είναι $\rho=0,16$ υποδεικνύοντας ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων μέτρησης.



Διάγραμμα 18: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 9000kHz στο βάθος των 90cm

Επιπρόσθετα, παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που πάρθηκαν από τις μετρήσεις στο εργαστήριο καθώς και μέσω του αισθητήρα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής στη συχνότητα των 12000 kHz.

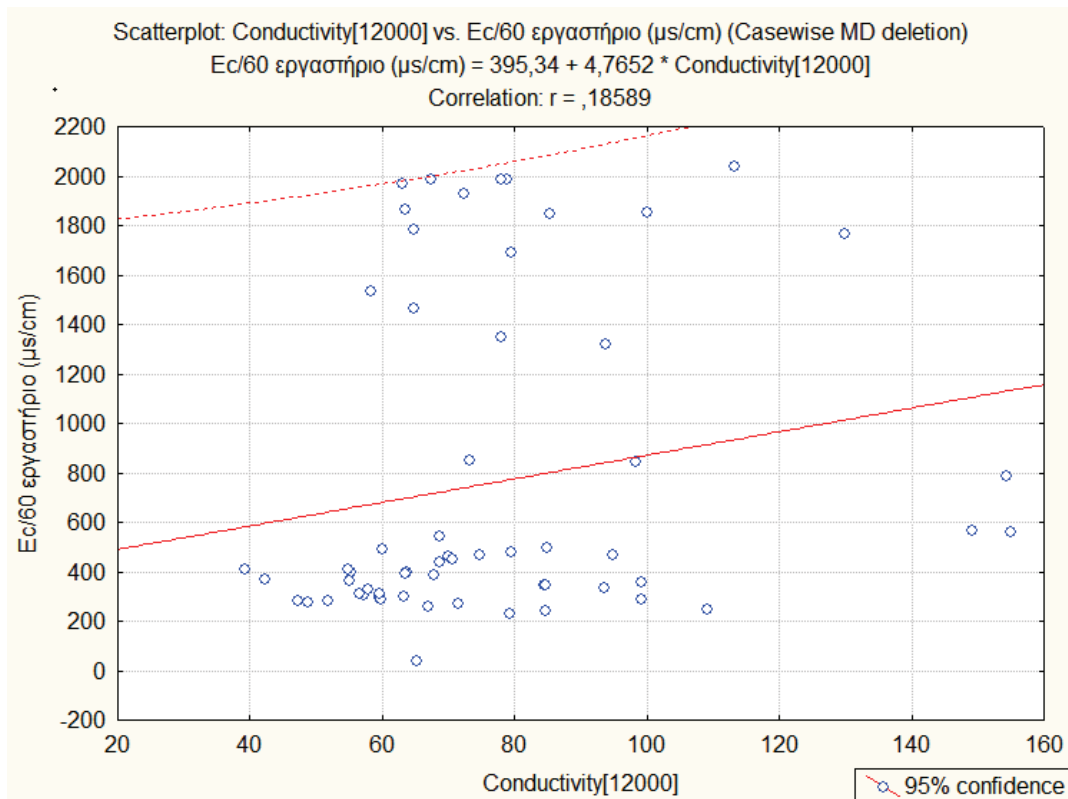
Στο διάγραμμα 19, απεικονίζονται οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των δύο μεθόδων μέτρησης στα 30cm και στη συχνότητα μέτρησης 12000kHz. Παρατηρείτε ότι και σε αυτή τη συχνότητα μέτρησης στο βάθος των 30cm οι τιμές τείνουν να είναι πολύ κοντά στη γραμμή τάσης και ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τη τιμή $\rho=0,28$ και ο βαθμός σημαντικότητας να κυμαίνεται στο 95%.



Διάγραμμα 19: διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 12000kHz στο βάθος των 30cm

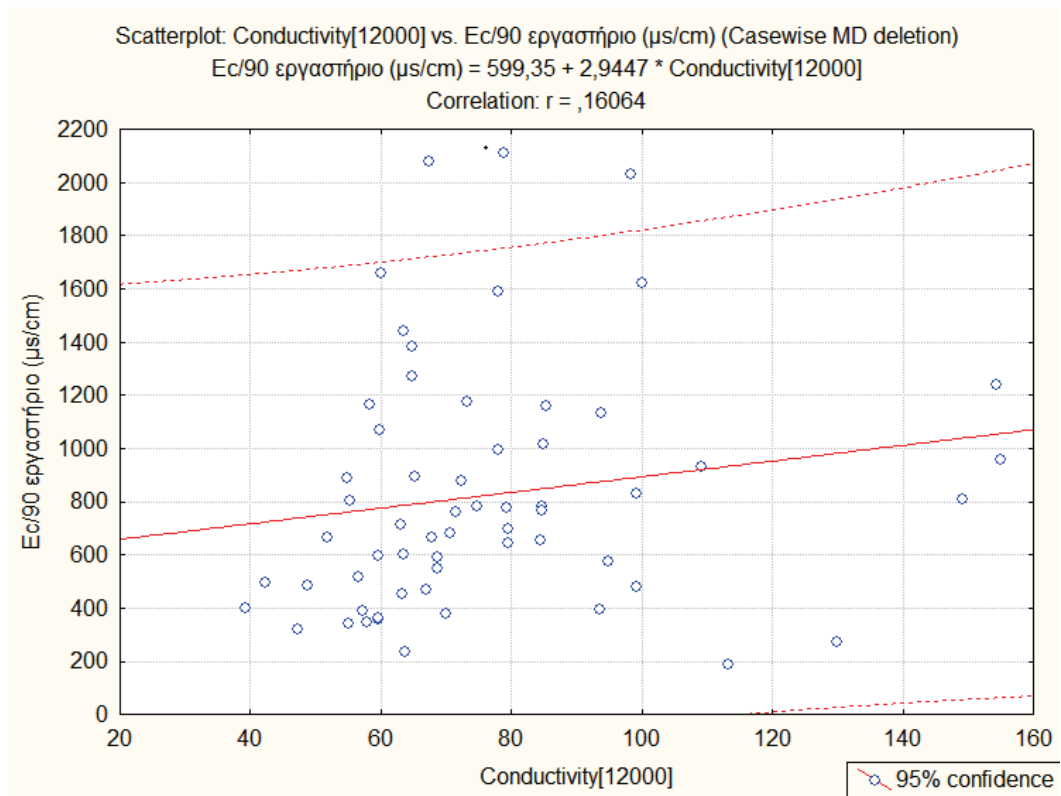
Στη συνέχεια, στο διάγραμμα 20, παρουσιάζονται οι τιμές των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο φάσμα συχνότητας 12000 και στο βάθος των 60cm.

Παρατηρείται ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι χαμηλότερος από τον συντελεστή στα 30cm. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης στο βάθος των 60cm είναι $\rho=0,18$ και οι τιμές τείνουν να απομακρύνονται από την γραμμή συσχέτισης. Επειδή όμως η τιμή του συντελεστή τείνει να είναι κοντά στη μονάδα, παρατηρούμε ότι υπάρχει γραμμική συσχέτιση των αποτελεσμάτων.



Διάγραμμα 20: Διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 12000kHz στο βάθος των 60cm

Τέλος, στο διάγραμμα 21, αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μέσω των εργαστηριακών μετρήσεων και της συσχέτισης μεταξύ τους. Στο συγκεκριμένο βάθος μέτρησης ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμή $\rho=0,16$. Οι τιμές φαίνονται να πλησιάζουν τη γραμμή τάσης, όπου σύμφωνα και με τη τιμή του συντελεστή συσχέτισης που τείνει προς την μονάδα (+1), έχουν θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους.



Διάγραμμα 21 διάγραμμα διασποράς της συχνότητας 12000kHz στο βάθος των 90cm

3.2 Συζήτηση Αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Ύστερα από την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας εδάφους και από την εργαστηριακή ανάλυση των αποτελεσμάτων μπορούμε να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα ξεχωριστά για κάθε παράγοντα μέτρησης τον οποίο έχουμε μελετήσει.

Ακολουθώντας τη σειρά με την οποία έχει γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων στο προηγούμενο κεφάλαιο από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα για το pH του εδάφους του αγρού καλλιέργειας.

Οι τιμές του pH οι οποίες πάρθηκαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις, στα τρία βάθη δειγματοληψίας, οι τιμές των μέσων όρων κυμαίνονται από 7,44 έως 7,54. Σύμφωνα με τις τιμές αυτές το έδαφος της έκτασης καλλιέργειας μπορεί να χαρακτηριστεί από ουδέτερο έως ελαφρά αλκαλικό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υψηλές τιμές pH τείνουν να επικρατούν στη δεξιά μεριά του αγρού. Ο παράγοντας ο οποίος οδηγεί στην αύξηση του pH του εδάφους είναι η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο εδαφικό διάλυμα. Στην παρούσα μελέτη αυτό οφείλεται στην ύπαρξη υψηλής εδαφικής υγρασίας στο έδαφος το συνδυαστικά με την ύπαρξη αρδευτικού καναλιού τείνει να αυξάνει της συγκράτηση αλάτων, ευνοώντας της αύξηση του pH και του ανθρακικού ασβεστίου.

Όπως και στην περίπτωση του pH, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της χωρικής κατανομής του ανθρακικού ασβεστίου και των εργαστηριακών μετρήσεων της προηγούμενης ενότητας παρατηρούμε ότι και σε αυτόν τον εδαφικό παράγοντα οι τιμές του ανθρακικού ασβεστίου φαίνονται να είναι μεγαλύτερες στην περιοχή των σειρών Z-I αλλά και στο βάθος των 90cm. Το ανθρακικό ασβέστιο επηρεάζει σημαντικά τις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους με αποτέλεσμα να επηρεάζει την γονιμότητα του. Το ανθρακικό ασβέστιο είναι αφομοιώσιμο από τα φυτά όταν βρίσκεται στη μορφή του ανταλλάξιμου ασβεστίου. Οι τιμές του CaCO_3 στα τρία βάθη μελέτης σύμφωνα με τις εργαστηριακές αναλύσεις κυμαίνονται από 17,5-26,97 επι της % CaCO_3 .

Τέλος, ηλεκτρική αγωγιμότητα μετρήθηκε με δύο τρόπους στην παρούσα εργασία όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια. Ο πρώτος τρόπος μέτρησης, μέσω της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής διενεργήθηκε στην αγρό κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας ενώ ο δεύτερος τρόπος πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο με τη χρήση αγωγιμόμετρου.

Με βάση τη συσχέτιση των μετρήσεων που πάρθηκαν και από τις δύο μεθόδους μέτρησης η εκτίμηση της χωρικής κατανομής της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να γίνει μόνο στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους (βάθος 30cm) σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης και τις στατιστικές αναλύσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω ώστε να είναι εφικτό να δοθεί σαφής εκτίμηση του τρόπου διαχείρισης του αγρού.

Είναι πρακτικά αδύνατο να μπορέσουμε να καταγράψουμε όλες τις μεταβολές των φυσικοχημικών ιδιοτήτων μέσα ένα αγρό καλλιέργειας. Για την βέλτιστη μελέτη όμως μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα σημεία δειγματοληψίας μέσα στον αγρό και να δημιουργήσουμε ζώνες μελέτης οι οποίες έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά και θα διευκολύνουν τις καλλιεργητικές μεταχειρίσεις.

Όπως έχει αναφερθεί, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ο τομέας της γεωργίας ακριβείας έχει αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο ποσοστό τα τελευταία χρόνια. Με την χρήση των γεωπληροφοριακών συστημάτων μπορούμε να λάβουμε πληροφορίες και δεδομένα σχετικά με την καλλιεργούμενη που κλεινόμαστε κάθε φορά να μελετήσουμε.

Στην παρούσα μελέτη με βάση τα αποτελέσματα τα οποία πάρθηκαν από τις εργαστηριακές αναλύσεις μπορούμε να κατανοήσουμε ότι ένας τρόπος διαχωρισμού της έκτασης καλλιέργειας είναι σε δύο τμήματα όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 27: ζώνη διαχωρισμού αγρού

Συμπερασματικά, από τα αποτελέσματα των μετρήσεων γίνεται κατανοητό ότι οι υψηλότερες τιμές μετρήσεων επικρατούν στην πλευρά στην οποία υπάρχει το στραγγιστικό κανάλι. Ένας τρόπος διαχωρισμού του αγρού είναι μεταξύ των σειρών Α-Δ και Ε-Ι. Στην περιοχή των γραμμών Α-Δ οι τιμές των εδαφικών ιδιοτήτων φαίνεται να είναι χαμηλότερες σε σχέση με τη περιοχή των γραμμών Ε-Ι. Με τον διαχωρισμό της έκτασης καλλιέργειας σε 2 ζώνες είναι εφικτή η καλύτερη πρόβλεψη και μελέτη των καλλιεργητικών πρακτικών από τον καλλιεργητή, η εξοικονόμηση των ετήσιων εισροών καθώς και η βελτιστοποίηση της γονιμότητας του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ηλιοπούλου Πολυξένη, 2015. «Γεωγραφική Ανάλυση», σελ. 166-171, εκδόσεις: ΣΕΑΒ, ΚΑΛΛΙΠΟΣ. ISBN: 978-960-603-132-8.

Κουκουλάκης Πρόδρομος Χ., Παπαδόπουλος Αριστοτέλης Η., 2007. «Προβληματικά εδάφη και η βελτίωση τους», σελ.23-39,97-106, 216-224, εκδόσεις: Σταμούλη Α.Ε. ISBN: 978-960-351-693-4.

Φουντάς Σ., Γέμτος, Θ., 2015. «Γεωργία ακριβείας», Εκδόσεις Κάλλιπος, σελ. 8-26. ISBN: 978-960-603-135-9.

Χατζηαποστόλου Αδαμαντία, Πάτρα, 2009. «Γεωλογικές – εδαφολογικές παράμετροι της αποξηραμένης Λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθορισμό κριτηρίων, εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής, διαχείρισης υγροτόπων», Διδακτορική Διατριβή.

Brandy, Nyle C., Weil, Ray R., 2015. «Εδαφολογία. Η φύση και οι ιδιότητες των εδαφών ». Εκδόσεις: Έμβρυο. ISBN:960-8002-62-3

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Altdorff Daniel, Galagedara Lakshman, Nadeem Muhammad, Cheema Mumtaz, Unc Adrian. 2018. Effect of agronomic treatments on the accuracy of soil moisture mapping by electromagnetic induction. published by Elsevier B.V, pp. 96-106.

Arnon, D.I. and Stout, P.R. .1939.The Essentiality of Certain Elements in Minute Quantity for Plants with Special Reference to Copper, *Plant Physiol*, Apr. 14(2): 371–375.

Corwin, D.L. and Lesch, S.M. .2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Published by *Computers and Electronics in Agriculture Journal*, 46, pp.11–43.

Corwin L. Dennis, 2005. Geospatial Measurement of Apparent Soil Electrical Conductivity for Characterizing Soil Spatial Variability. In book: *Soil-Water-Solute Process Characterization - An Integrated Approach*, Edition: First, Chapter: 18, Publisher: CRC Press, Editors: Javier Alvarez-Benedi, Rafael Munoz-Carpena, pp.639-672.

Doolittle A. James, Brevik C. Eric. .2014.The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty, *Geoderma* 223–225, pp.33–45.

Fraisse, C. W., Sudduth, K. A., Kitchen, N. R. .2001. Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. Vol. 44(1): 155-166, published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan.

Isaaks, H., Edward and Srivastava, R., Mohan. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York, p. 561, ISBN 0-19-505012-6, ISBN 0-19-505013-4.

Jung, W., Kitchen, N., Sudduth, K., Kremer, R., Motavalli, P. .2005. Relationship of apparent soil electrical conductivity to claypan soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, pp. 883–892.

McNeill, JD, 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Geonics Ltd., Technical Note TN-6, pp.5-16.

Rhoades, J.D., Raats, P.A.C., Prather, R.J. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J. 40, 651–655.

User's manual of PROFILER EMP-400,2008, Geophysical Survey Systems, Inc. 04.01.2015.

Whelan, B. M., Bratney, Mc A. B. .2000. The “Null Hypothesis” of Precision Agriculture Management. Precision Agriculture,2,265-279, Kluwer Academic Publishers.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Εθνική Μετεωρολογική υπηρεσία (Hellenic national meteorological service), χ.ε.,

EMY : <http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology>

Εθνική Μετεωρολογική υπηρεσία (Hellenic national meteorological service), χ.ε.

EMY:http://www.hnms.gr/emy/el/climatology/climatology_city?perifereia=West%20Greece&poli=Pyrgos

Επίσημες κυβερνητικές πληροφορίες των ΗΠΑ σχετικά με το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS) και σχετικά θέματα (Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics)

GPS.GOV: <https://www.gps.gov/applications/agriculture/>

Surfer help, Golden Software, user's manual, 2008, Golden Software: http://surferhelp.goldensoftware.com/surfer.htm#t=surface/idm_Surface.htm

«ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ»

Τίτλος εργασίας: « Εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εδάφη της αποξηραμένης λίμνης Αγουλινίτσας με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή» ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1

Με πλήρη επίγνωση του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι, για την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας (ΔΕ) κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η ΔΕ δεν είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα & Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία):

Κωνσταντίνος Κρινάς

Υπογραφή (Όνομα - Επώνυμο Ολογράφως, υπογραφή):

.....

Ημερομηνία (Ημέρα - Μήνας - Έτος):

.....

«ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ»

Τίτλος εργασίας: « Εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εδάφη της αποξηραμένης λίμνης Αγουλινίτσας με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. » ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1

Με πλήρη επίγνωση του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ενυπογράφως ότι, για την ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας (ΔΕ) κάθε βοήθεια είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται λεπτομερώς στην εργασία αυτή. Έχω αναφέρει πλήρως και με σαφείς αναφορές, όλες τις πηγές χρήσης δεδομένων, απόψεων, θέσεων και προτάσεων, ιδεών και λεκτικών αναφορών, είτε κατά κυριολεξία είτε βάσει επιστημονικής παράφρασης. Αναλαμβάνω την προσωπική και ατομική ευθύνη ότι σε περίπτωση αποτυχίας στην υλοποίηση των ανωτέρω δηλωθέντων στοιχείων, είμαι υπόλογος έναντι λογοκλοπής. Δηλώνω, συνεπώς, ότι αυτή η ΔΕ δεν είναι προϊόν λογοκλοπής άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας.

Όνομα & Επώνυμο Συγγραφέα (Με Κεφαλαία) :

Φωτεινή Ευαγγελοπούλου

Υπογραφή (Όνομα – Επώνυμο Ολογράφως, υπογραφή) :

.....

Ημερομηνία (Ημέρα – Μήνας – Έτος) :

.....