



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους , με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία



Φοιτητής: Χρήστο Τομάνι

ΑΜ: 183871113

Επιβλέπων Καθηγητής

Ηλίας Σταύρακας

Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

Electronic systems for soil nutrients estimation for smart farming applications



Student: Kristo Tomani
Registration Number: 18387113

Supervisor

Ilias Stavrakas
Professor

ATHENS-EGALEO, JULY, 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Ηλίας Σταύρακας, Καθηγητής	Κωνσταντίνος Μουτζούρης, Καθηγητής	Δημήτριος Πυρομάλης, Αν. Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Χρήστο Τομάνι , Ιούλιος , 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χρήστο Τομάνι Του Ανδρέα, με αριθμό μητρώου 18387113 φοιτητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου. Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση στην Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.

Ο Δηλών
Χρήστο Τομάνι



Ευχαριστίες

Απευθύνονται ευχαριστίες, πρωτίστως στον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ηλία Σταύρακα που καθ' όλη την διάρκεια, από την ανάθεση της εργασίας μέχρι και το τέλος της, ήταν εκεί ενθαρρύνοντας την κάθε προσπάθεια. Ο τρόπος προσέγγισης του είναι πάνω από όλα ανθρώπινος και του εύχομαι τα καλύτερα. Στην συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την πίστη και την στήριξη τους σε εμένα. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους στενούς μου φίλους, που ήταν εκεί, όποτε τους είχα ανάγκη, με τον τρόπο τους.

Περίληψη

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, με την πάροδο των χρόνων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το περιβάλλον του πλανήτη. Ένας στοιχειώδης παράγοντας του ,είναι το έδαφος, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για τον άνθρωπο. Η προσφορά του είναι μεγάλη, τόσο για την παραγωγή τροφίμων όσο και για την ρύθμιση της ατμόσφαιρας. Για τον λόγο αυτό, κρίνεται αναγκαία η μελέτη του , με σκοπό την προστασία και την βέλτιστη εκμετάλλευσή του. Τα θρεπτικά συστατικά είναι εκείνα που διαμορφώνουν σε μεγάλο ποσοστό τις ιδιότητες του. Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να αποτελέσει εποικοδομητικό παράγοντα για εξαγωγή συμπερασμάτων. Μέσω συστήματος αισθητήρων που θα μπορεί να λαμβάνει τις χρήσιμες και απαραίτητες πληροφορίες από το έδαφος, ερευνάται ένας άμεσος τρόπος λήψης μετρήσεων που θα μπορεί μελλοντικά να αντικαταστήσει, την μέτρηση των θρεπτικών συστατικών μέσω χρονοβόρων χημικών αναλύσεων. Η αξιολόγηση του συστήματος γίνεται μέσω δειγμάτων χώματος, για τα οποία έχουν παρθεί οι μετρήσεις και μέσω χημικής ανάλυσης . Μέσω ανάλυσης δεδομένων προκύπτουν αξιοσημείωτα συμπεράσματα, τα οποία με την σειρά τους, μπορούν να αποτελέσουν την ώθηση, ώστε μελλοντικά να αυξάνονται και ολοένα τα συστήματα αισθητήρων, που θα μπορούν να συλλέγουν δεδομένα και να αποτελούν μέρος ενός έξυπνου συστήματος.

Λέξεις – κλειδιά

Αισθητήρας εδάφους, Χώμα, Θρεπτικά συστατικά, Μετρήσεις, Ανάλυση δεδομένων

Abstract

The effects of climate change over the years are having a major impact on the planet's environment. One fundamental factor is the soil, which is vital for humans. Its contribution is significant, both for food production and for the regulation of the atmosphere. For this reason, it is necessary to study soil with a view to its protection and optimal exploitation. The nutrients largely determine its properties. The rapid development of technology can be a constructive factor in drawing conclusions. Through a system of sensors that can obtain useful and necessary information from the soil, a direct way of taking measurements is being investigated, which may in the future replace the measurement of nutrients through time-consuming chemical analyses. The system is evaluated by means of soil samples, for which measurements have been taken, and by means of chemical analysis. Through data analysis, remarkable conclusions are drawn, which in turn, can provide the impetus for the future growth of sensor systems that will be able to collect data and form part of an intelligent system.

Keywords

Soil sensor, Soil, Nutrients, Measurements, Data Analysis

Κατάλογος Πινάκων.....	10
Κατάλογος Εικόνων	12
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	16
Σκοπός και στόχοι	16
Μεθοδολογία.....	16
Καινοτομία	17
Δομή	17
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : (Εδαφος)	18
1.1 Ο σημασιολογικός ρόλος του εδάφους.....	18
1.2 Η σύσταση του εδάφους – Εδαφικοί θρεπτικοί παράγοντες	19
1.3 Παράγοντας υγρασία	20
1.4 Ο ρόλος του Ph	21
1.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους	22
1.6 Θερμοκρασία εδάφους.....	24
1.7 Αλατότητα εδάφους.....	25
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Αισθητήρες για εφαρμογές εδάφους.....	27
2.1 Αισθητήρες υγρασίας εδάφους	28
2.1.1 Ογκομετρικοί αισθητήρες	28
2.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας εδάφους	31
2.2.1 Θερμοζεύγη	31
2.2.2 Αισθητήρες ανίχνευσης θερμοκρασίας RTDs.....	33
2.2.3 Θερμίστορς	34
2.3 Αισθητήρες pH εδάφους	37
2.3.1 pH Probes.....	37
2.3.2 Αισθητήρες pH με τρανζίστορ	38
2.4 Αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους	39
2.4.1 EC Meters-Probes	39
2.5 Αισθητήρες θρεπτικών συστατικών	40
2.5.1 Τεχνική με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα.....	40
2.5.2 Ηλεκτροχημική τεχνική.....	40
2.5.3 Οπτική τεχνική.....	40
2.6 Αισθητήρας Εδάφους 7 σε 1 – Αισθητήρας Πειραματικής διαδικασίας.....	41
2.6.1 Εξωτερική εμφάνιση-μέρη αισθητήρα.....	41
2.6.2 Επικοινωνία Αισθητήρα.....	42
2.6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά Αισθητήρα.....	48
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Πειραματική διαδικασία	49
3.1 Σύνδεση αισθητήρα σε κεντρικό υπολογιστή με μετατροπέα USB σε (TTL)RS-485	49
3.1.1 Διάταξη	49
3.1.2 Πρόγραμμα ερμηνείας δεδομένων	52
3.2 Σύστημα αισθητήρα με την χρήση Arduino	58
3.2.1 Διάταξη	58
3.2.2 Πρόγραμμα ερμηνείας δεδομένων	61
3.3 Πρωτόκολλο μέτρησης.....	68
3.3.1 Πρώτη σειρά μετρήσεων (1Lt χώματος με περίπου 20% νερό) , με χαμηλό ποσοστό υγρασίας..	68
3.3.2 Δεύτερη σειρά μετρήσεων (1Lt χώματος με περίπου 50% νερό) , με υψηλό ποσοστό υγρασίας..	70
3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων	71
3.4.1 Καταγραφή- Πίνακες μετρήσεων	71

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

3.4.2	Ανάλυση μετρήσεων – Διαγράμματα.....	103
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Συμπεράσματα.....	124
4.1	Παρατηρήσεις που αφορούν τις μετρήσεις του αισθητήρα με χαμηλό ποσοστό υγρασίας	124
4.2	Παρατηρήσεις που αφορούν τις μετρήσεις του αισθητήρα με υψηλό ποσοστό υγρασίας	126
4.3	Παρατηρήσεις που αφορούν τις διατάξεις	127
4.4	Κύρια συμπεράσματα αισθητήρα εδάφους.....	127
4.5	Μελλοντικές βελτιώσεις.....	128
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	129

Πίνακας 2-1 Τεχνικά χαρακτηριστικά-παράμετροι αισθητήρα	48
Πίνακας 3-1 Διευθύνσεις καταχωρητών αισθητήρα	56
Πίνακας 3-2 Μονάδες μέτρησης μεγεθών.....	57
Πίνακας 3-3 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 1 ^ο	71
Πίνακας 3-4 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 2 ^ο	72
Πίνακας 3-5 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 3 ^ο	72
Πίνακας 3-6 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 4 ^ο	73
Πίνακας 3-7 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 5 ^ο	73
Πίνακας 3-8 Δοσμένες μετρήσεις από το ινστιτούτο ELGO-SWRI που μπορούν να συγκριθούν με τα μεγέθη που μετρά ο αισθητήρας.....	74
Πίνακας 3-9 Μετρήσεις εδάφους A1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	75
Πίνακας 3-10 Μετρήσεις εδάφους A2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	76
Πίνακας 3-11 Μετρήσεις εδάφους A3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	77
Πίνακας 3-12 Μετρήσεις εδάφους B1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	78
Πίνακας 3-13 Μετρήσεις εδάφους B2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	79
Πίνακας 3-14 Μετρήσεις εδάφους B3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	80
Πίνακας 3-15 Μετρήσεις εδάφους C1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	81
Πίνακας 3-16 Μετρήσεις εδάφους C2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	82
Πίνακας 3-17 Μετρήσεις εδάφους C3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	83
Πίνακας 3-18 Μετρήσεις εδάφους D1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	84
Πίνακας 3-19 Μετρήσεις εδάφους D2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	85
Πίνακας 3-20 Μετρήσεις εδάφους D3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	86
Πίνακας 3-21 Μετρήσεις εδάφους E1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	87
Πίνακας 3-22 Μετρήσεις εδάφους E2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	88
Πίνακας 3-23 Μετρήσεις εδάφους E3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	89
Πίνακας 3-24 Μέσες τιμές μετρήσεων θρεπτικών συστατικών με χαμηλό ποσοστό υγρασίας.....	90
Πίνακας 3-25 Τελικές μέσες τιμές θρεπτικών συστατικών μετρήσεων χαμηλού ποσοστού υγρασίας, πολλ/σμένα με σταθερά βάση της υγρασίας.....	91

<i>Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία</i>	
Πίνακας 3-26 Σύγκριση τιμών θρεπτικών αισθητήρα χαμηλού ποσοστού υγρασίας , με θρεπτικών χημικών αναλύσεων του κάθε εδάφους	92
Πίνακας 3-27 Μετρήσεις εδάφους A1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	93
Πίνακας 3-28 Μετρήσεις εδάφους A2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	93
Πίνακας 3-29 Πίνακας . Μετρήσεις εδάφους A3 με υψηλό ποσοστό υγρασία	94
Πίνακας 3-30 Μετρήσεις εδάφους B1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	94
Πίνακας 3-31 Μετρήσεις εδάφους B2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	95
Πίνακας 3-32 Μετρήσεις εδάφους B3 με υψηλό ποσοστό υγρασία	95
Πίνακας 3-33 Μετρήσεις εδάφους C1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	96
Πίνακας 3-34 Μετρήσεις εδάφους C2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	96
Πίνακας 3-35 Μετρήσεις εδάφους C3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	97
Πίνακας 3-36 Μετρήσεις εδάφους D1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	97
Πίνακας 3-37 Μετρήσεις εδάφους D2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	98
Πίνακας 3-38 Μετρήσεις εδάφους D3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας	98
Πίνακας 3-39 Μετρήσεις εδάφους E1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας.....	99
Πίνακας 3-40 Μετρήσεις εδάφους E2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας.....	99
Πίνακας 3-41 Μετρήσεις εδάφους E3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας.....	100
Πίνακας 3-42 Μέσες τιμές μετρήσεων αισθητήρα με υψηλό ποσοστό υγρασίας	101
Πίνακας 3-43 Τελικές μέσες τιμές θρεπτικών συστατικών μετρήσεων υψηλού ποσοστού υγρασίας , πολλ/σμένα με σταθερά βάση της υγρασίας	102
Πίνακας 3-44 Σύγκριση τιμών θρεπτικών αισθητήρα υψηλού ποσοστού υγρασίας , με θρεπτικών χημικών αναλύσεων του κάθε εδάφους	103
Πίνακας 4-1 Ποσοστιαία διαφορά θρεπτικών συστατικών αισθητήρα από της επιθυμητές τιμές του Ινστιτούτου	124

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Το έδαφος στην γεωργία.....	19
Εικόνα 1.2 Τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους.....	20
Εικόνα 1.3 Σύσταση του εδάφους.....	21
Εικόνα 1.4 Είδη εδάφους ανάλογα την τιμή του pH.....	22
Εικόνα 1.5 Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με την μορφή και απόχρωση του εδάφους.....	23
Εικόνα 1.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στο έδαφος.....	25
Εικόνα 1.7 Αλατότητα εδάφους.....	26
Εικόνα 2.1 Ένα σύστημα αισθητήρων προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες.....	27
Εικόνα 2.2 Αισθητήρας FDR/Capacitance.....	28
Εικόνα 2.3 Αισθητήρας TDR.....	29
Εικόνα 2.4 Τενσιόμετρο.....	30
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα της ελκτικής δύναμης σε σχέση με την υγρασία.....	31
Εικόνα 2.6 Διάταξη θερμοζεύγους.....	32
Εικόνα 2.7 Επικάλυψη των probes του θερμοζεύγους.....	33
Εικόνα 2.8 Είδη αισθητήρων RTDs.....	33
Εικόνα 2.9 Συμπεριφορά της ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία ανάλογα το υλικό κατασκευής των RTDs.....	34
Εικόνα 2.10 Είδη θερμίστορ.....	35
Εικόνα 2.11 Συμπεριφορά της ηλεκτρικής αντίστασης με την θερμοκρασία ανάλογα με το είδος του θερμίστορ.....	36
Εικόνα 2.12 Ευαισθητοποίηση αισθητήρων σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας.....	36
Εικόνα 2.13 Δομή pH probe.....	37
Εικόνα 2.14 Η παρουσία των θετικών ιόντων υδρογόνου καθορίζει το pH του εδάφους.....	38
Εικόνα 2.15 Διάταξη ISFET.....	38
Εικόνα 2.16 Η κίνηση των ιόντων προκαλεί την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος κατά την εφαρμογή τάσης στα άκρα.....	39
Εικόνα 2.17 Διάγραμμα συστήματος οπτικής τεχνικής.....	41

<i>Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία</i>	
Εικόνα 2.18 Διαστάσεις αισθητήρα	42
Εικόνα 2.19 Αντιστοίχιση του μοντέλου OSI με του RS-485	44
Εικόνα 2.20 Βασική τοπολογία δικτύου RS-485	45
Εικόνα 2.21 Διάγραμμα μετατροπής σήματος κατά την μεταφορά του σε RS-485	45
Εικόνα 2.22 Επικοινωνία UART σε RS-485 μεταξύ host και slave συσκευής.....	46
Εικόνα 2.23 Δομή πακέτου δεδομένων UART	47
Εικόνα 3.1 Διάταξη με χρήση USB to (TTL)RS-485	49
Εικόνα 3.2 Φυσική διάταξη αισθητήρα με USB σε (TTL) RS-485	50
Εικόνα 3.3 Αναλογικό τροφοδοτικό DC παροχής τάσης.....	50
Εικόνα 3.4 Αισθητήρας εδάφους.....	51
Εικόνα 3.5 Μετατροπέας USB σε TTL RS-485.....	51
Εικόνα 3.6 Εικονικό περιβάλλον QModMaster	52
Εικόνα 3.7 Βασικά χαρακτηριστικά επικοινωνίας.....	54
Εικόνα 3.8 Δομή πακέτου μεταφοράς δεδομένων αισθητήρα	54
Εικόνα 3.9 Ενδεικτικές διευθύνσεις καταχωρητών που αφορούν τα μετρούμενα μεγέθη	55
Εικόνα 3.10 Διάταξη με την χρήση Arduino	58
Εικόνα 3.11 Φυσική διάταξη αισθητήρα με ARDUINO	59
Εικόνα 3.12 Πλακέτα Arduino Uno	59
Εικόνα 3.13 Μονάδα πομποδέκτη RS-485 σε UART.....	60
Εικόνα 3.14 Διάγραμμα pinout πλακέτας Arduino Uno	60
Εικόνα 3.15 Pinout διάγραμμα μετατροπέα RS-485 σε UART	61
Εικόνα 3.16 Μορφή μηνύματος Modbus RTU	62
Εικόνα 3.17 Μορφή μηνύματος request-response	62
Εικόνα 3.18 Παράδειγμα response Νιτρικού Αζώτου	63
Εικόνα 3.19 Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος	69
Εικόνα 3.20 Τελική μορφή δείγματος προς μέτρηση.....	70
Εικόνα 3.21 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη Α	104
Εικόνα 3.22 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη Α	104
Εικόνα 3.23 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη Α	105

<i>Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία</i>	
Εικόνα 3.24 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη Β	105
Εικόνα 3.25 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη Β.....	106
Εικόνα 3.26 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη Β.....	106
Εικόνα 3.27 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη C	107
Εικόνα 3.28 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη C.....	107
Εικόνα 3.29 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη C.....	108
Εικόνα 3.30 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη D	108
Εικόνα 3.31 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη D	109
Εικόνα 3.32 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη D	109
Εικόνα 3.33 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη E	110
Εικόνα 3.34 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη E.....	110
Εικόνα 3.35 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη E.....	111
Εικόνα 3.36 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Α1 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	112
Εικόνα 3.37 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Α2 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	112
Εικόνα 3.38 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Α3 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	113
Εικόνα 3.39 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Β1 σε σχέση με την θερμοκρασία....	113
Εικόνα 3.40 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Β2 σε σχέση με την θερμοκρασία....	114
Εικόνα 3.41 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους Β3 σε σχέση με την θερμοκρασία....	114
Εικόνα 3.42 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C1 σε σχέση με την θερμοκρασία....	115
Εικόνα 3.43 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C2 σε σχέση με την θερμοκρασία....	115
Εικόνα 3.44 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C3 σε σχέση με την θερμοκρασία....	116
Εικόνα 3.45 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D1 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	116
Εικόνα 3.46 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D2 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	117
Εικόνα 3.47 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D3 σε σχέση με την θερμοκρασία ...	117
Εικόνα 3.48 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E1 σε σχέση με την θερμοκρασία	118
Εικόνα 3.49 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E2 σε σχέση με την θερμοκρασία	118
Εικόνα 3.50 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E3 σε σχέση με την θερμοκρασία	119
Εικόνα 3.51 Συμπεριφορά του αισθητήρα στην μέτρηση του pH , με την πάροδο του χρόνου.....	119

<i>Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία</i>	
Εικόνα 3.52 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Νιτρικού Αζώτου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους	120
Εικόνα 3.53 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Φωσφόρου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους	120
Εικόνα 3.54 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Καλίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους	121
Εικόνα 3.55 Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υγρασίας σύμφωνα με τις μετρήσεις τους για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους	121
Εικόνα 3.56 Συσχέτιση μετρήσεων Νιτρικού Αζώτου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους.....	122
Εικόνα 3.57 Συσχέτιση μετρήσεων Φωσφόρου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους.....	122
Εικόνα 3.58 Συσχέτιση μετρήσεων Καλίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους.....	123

Αλφαβητικό Ευρετήριο

NPK: Nitrogen Phosphorus Potassium

IoT: Internet of Things

Ec: Electrical Conductivity

ELGO: Hellenic Agricultural Organization

SWRI: Soil and Water Resources Institute

Το έδαφος αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ανθρωπότητας, κυρίως λόγω της προσφοράς του στο τομέα της παραγωγής τροφίμων, αλλά και στο ρόλο του, ως προς την διατήρηση της ισορροπίας στον πλανήτη. Το γεγονός αυτό, από μόνο του, είναι αρκετό για να αποτελέσει αντικείμενο μελέτης. Είναι αναγκαίο, ο άνθρωπος να μπορεί να λάβει όση μεγαλύτερη πληροφορία γίνεται από το έδαφος, έτσι ώστε να μπορέσει να την χρησιμοποιήσει. Η γνώση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αγροτικές εφαρμογές, μοντέλα προβλέψεων για την κατάσταση του εδάφους και των καιρικών συνθηκών και έρευνες που αφορούν το υπέδαφος. Λαμβάνοντας αυτές της πληροφορίες, είναι πιο εύκολο, να υπάρξει κάποια επέμβαση που έχει σκοπό την προστασία και την καλύτερη δυνατή κατάσταση του εδάφους.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το κομμάτι των μετρήσεων. Ανέκαθεν η μελέτη του εδάφους γινόταν με χημικούς τρόπους, οι οποίοι όμως είναι αρκετά χρονοβόροι. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, η χρήση των αισθητήρων ολοένα αυξάνεται και γίνεται πιο χρήσιμη. Προς αυτή την κατεύθυνση ένα σύστημα αισθητήρων που μπορεί να δίνει άμεσα τις απαραίτητες πληροφορίες οποιαδήποτε στιγμή, όσον αφορά το χώμα, αποτελεί μια λύση που μπορεί να καλυτερεύσει τα επίπεδα βιωσιμότητας του εδάφους. Μάλιστα, ένα σύστημα αισθητήρων έχει την δυνατότητα να αποτελέσει μέρος ενός αυτοματοποιημένου έξυπνου συστήματος Iot, που θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για αγροτική εφαρμογή.

Η αξιολόγηση του συστήματος γίνεται, δοκιμάζοντας τον αισθητήρα σε δείγματα για τα οποία έχουν μετρηθεί με την χρήση χημικής ανάλυσης όλα τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά του κάθε χώματος. Προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα, που αφορούν τόσο την αξιοπιστία του αισθητήρα, όσο και την συμπεριφορά του εδάφους.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί κατά σειρά, η υλοποίηση διάταξης αισθητήρα εδάφους, η προετοιμασία δειγμάτων προς μέτρηση και τέλος η εξαγωγή συμπερασμάτων των μετρήσεων του αισθητήρα συγκριτικά με τις μετρήσεις, που πραγματοποιήθηκαν με χημική ανάλυση.

Σκοπός και στόχοι

Αμφότεροι ο σκοπός και οι στόχοι, του συγκεκριμένου θέματος:

- Κατανόηση της σημαντικότητας του εδάφους
- Πληροφόρηση σχετικά με τους αισθητήρες εδάφους και τις μεθόδους μέτρησης τους
- Ενημέρωση σχετικά με τον αισθητήρα εδάφους 7 σε 1
- Αξιολόγηση αισθητήρα με βάση τις μετρήσεις δειγμάτων μέσω χημικών αναλύσεων

Μεθοδολογία

Σε πρώτη φάση υλοποιήθηκαν οι διατάξεις, οι οποίες είναι λειτουργικές και προσαρμοσμένες στις ανάγκες του αισθητήρα, όσον αφορά την κατάλληλη επικοινωνία του συστήματος. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η προετοιμασία του δείγματος για να είναι δυνατή η λήψη των μετρήσεων, μέσω συγκεκριμένου πρωτοκόλλου. Γίνεται η λήψη των μετρήσεων για το κάθε δείγμα χώματος ξεχωριστά. Τα δεδομένα των μετρήσεων συγκρίνονται άμεσα και έμμεσα με τις μετρήσεις των δειγμάτων που εστάλη από τον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό "Δήμητρα"-Hellenic Agricultural Organisation "Dimitra"- ELGO και το Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων-Soil and Water Resources

Καινοτομία

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιείται στην πειραματική διαδικασία, δεν είναι ευρέως γνωστός, με αποτέλεσμα οι πληροφορίες για αυτόν να είναι ελάχιστες. Το γεγονός αυτό, συμβάλλει ώστε να γίνουν αρκετές δοκιμές στην διάρκεια των μετρήσεων, για να κατανοηθεί πλήρως η λειτουργία του.

Δομή

Η δομή της διπλωματικής εργασίας, χωρίζεται σε 5 μέρη, τα οποία έχουν σκοπό:

1. Την παρουσίαση της σημαντικότητας του εδάφους και των παραγόντων που μπορούν να έχουν άμεση επίδραση σε αυτό
2. Ενημέρωση σχετικά με τους αισθητήρες, που μπορούν να λαμβάνουν τις μετρήσεις των κρίσιμων παραγόντων του εδάφους. Τον τρόπο που μπορούν κάνουν να το ερέθισμα του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα του εδάφους μετρήσιμη τιμή. Ενημέρωση σχετικά με τον αισθητήρα εδάφους 7 σε 1
3. Επεξήγηση της πειραματικής διαδικασίας. Παρουσίαση των διατάξεων που υλοποιήθηκαν και το πρωτόκολλο προετοιμασίας και μετρήσεων των δειγμάτων χώματος
4. Παρουσίαση της ανάλυσης των δεδομένων που μετρήθηκαν. Σύγκριση μετρήσεων αισθητήρα με μετρήσεων χημικής ανάλυσης των δειγμάτων. Διαγράμματα που αφορούν την συμπεριφορά του χώματος με βάση τις εναλλαγές διαφόρων παραγόντων
5. Εξαγωγή συμπερασμάτων για το σύστημα του αισθητήρα, για μελλοντική του χρήση σε ανάλογες εφαρμογές

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : (Έδαφος)

Το έδαφος αδιαμφισβήτητα αποτελεί ένα καιρίο μέρος του οικοσυστήματος αλλά και της ανθρωπότητας, καθώς συμβάλλει σημαντικά στην ζωή, κάθε οργανισμού στον πλανήτη. Για τον λόγο αυτό, η εξέλιξη της τεχνολογίας γύρω από το αντικείμενο αυτό ήταν ραγδαία και ιδιαίτερα στην αγροτική βιομηχανία.

Στο κεφάλαιο αυτό επεξηγούνται οι λόγοι που το έδαφος είναι τόσο σημαντικό για τον άνθρωπο, αλλά και ποιοι είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν την συμπεριφορά του.

1.1 Ο σημασιολογικός ρόλος του εδάφους

Το έδαφος αποτελεί βασική πηγή ζωής, ζωντανών και μη οργανισμών. Αναλυτικότερα αναφέρονται οι λόγοι της κρισιμότητας του [1]:

Παραγωγή τροφής : Το μεγαλύτερο ποσοστό των τροφών που καταναλώνει ο άνθρωπος , προέρχεται από φυτικούς οργανισμούς που βρίσκονται στο έδαφος

Θρεπτικά στοιχεία : Το έδαφος βοηθά στον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων [2], καθώς διαθέτει οργανική ύλη, η οποία ως προϊόν αποσύνθεσης, επιταχύνει την απελευθέρωση θρεπτικών στοιχείων, τα οποία έχουν ζωτικό ρόλο στην ομαλή εξέλιξη των φυτών. Τέτοια είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο

Φίλτρο : Κατέχει την ιδιότητα λόγω της φυσικής του ύλης, το έδαφος, να λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο. Το νερό που διαρρέει τα τοιχώματα του χώματος , στην διαδρομή του, αφαιρεί αρνητικές ουσίες . Ποσοστό νερού, αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται μέσω φυσικού μηχανισμού σε περιόδους ξηρασίας. Αποτρέπει φαινόμενα πλημμυρών

Κλιματική αλλαγή : Καθοριστικό ρόλο στον κύκλο του άνθρακα, καθώς ο άνθρακας αποθηκεύεται στο έδαφος και έτσι δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα [3]. Το γεγονός αυτό συνεισφέρει στον έλεγχο των αερίων, όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Τα παραπάνω έχουν άμεση σχέση μεταξύ τους, αφού αποτελούν αναπόσπαστα κομμάτια της τροφικής αλυσίδας και της ομαλής εκτέλεσης του κύκλου του οικοσυστήματος.



Εικόνα 1.1 Το έδαφος στην γεωργία

1.2 Η σύσταση του εδάφους – Εδαφικοί θρεπτικοί παράγοντες

Οι εδαφικοί θρεπτικοί παράγοντες, είναι πολύτιμα στοιχεία, τα οποία συμβάλλουν στην υγιή εξέλιξη και ανάπτυξη του φυτού. Μάλιστα, κάποια θρεπτικά στοιχεία είναι απαραίτητα, καθώς χωρίς αυτά ο φυτικός παράγοντας αδυνατεί να εξελιχθεί [4]. Τα συγκεκριμένα στοιχεία είναι το άζωτο (Nitrogen), ο φώσφορος (Phosphorus) και το κάλιο (Potassium). Το καθένα από αυτά, συνεισφέρει με τον δικό του τρόπο, σε διάφορους τομείς μέσω του εδάφους. Αναλυτικότερα :

Άζωτο: Το άζωτο αποτελεί την κύρια βάση των αμινοξέων, πρωτεϊνών και χλωροφύλλης [5]. Κατέχει σημαντικό ρόλο στην φωτοσύνθεση ενώ παράλληλα είναι απαραίτητο για την δημιουργία ενζύμων και άλλων ζωτικών κυτταρικών στοιχείων

Φώσφορος : Ο φώσφορος είναι το κύριο συστατικό των νουκλεϊνικών οξέων, της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) και το φωσφολιπιδίων [6]. Τα παραπάνω συμβάλλουν σημαντικά σε διαδικασίες οι οποίες αφορούν την ανάπτυξη των ριζών, την μεταφορά ενέργειας και στην ανθοφορία.

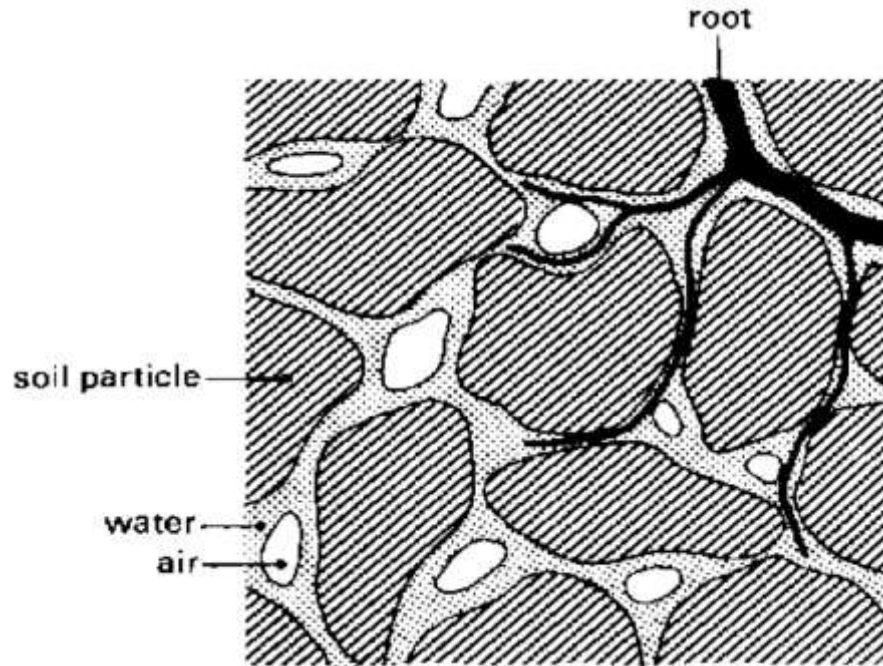
Κάλιο : Το κάλιο, είναι εκείνο που με τις ιδιότητες του ενεργοποιεί τα ένζυμα και βοηθά στην απορρόφηση του νερού. Είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την ενεργοποίηση της οσμωτική πίεσης των υγρών του οργανισμού και κατά συνέπεια στην διατήρηση της ομοιόστασης της περιεκτικότητας του νερού, του φυτικού οργανισμού [7]. Το γεγονός αυτό στηρίζει τον φυτικό οργανισμό σε εξαιρετικά μεγάλες περιβαλλοντικές αλλαγές, που το επηρεάζουν.



Εικόνα 1.2 Τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους

1.3 Παράγοντας υγρασία

Η υγρασία αποτελεί έναν πολύ αξιολογούμενο παράγοντα για την υγεία του εδάφους και κατά συνέπεια την ανάπτυξη των φυτών. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί δίοδο μεταφορών των θρεπτικών συστατικών προς τις ρίζες των φυτών [8]. Μάλιστα, το ποσοστό της υγρασίας θα πρέπει να είναι επαρκές, ανάλογα με το είδος του εδάφους, έτσι ώστε να επιτυγχάνονται οι βιομηχανικές και μικροβιακές διαδικασίες. Συνεισφέρει εξίσου, για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε επιθυμητό βαθμό, αποτρέποντας την διαταραχή στην διαδικασία ανάπτυξης των φυτών [9]. Τέλος, συνεπικουρεί στην δομή του εδάφους, προσφέροντας σταθερότητα.

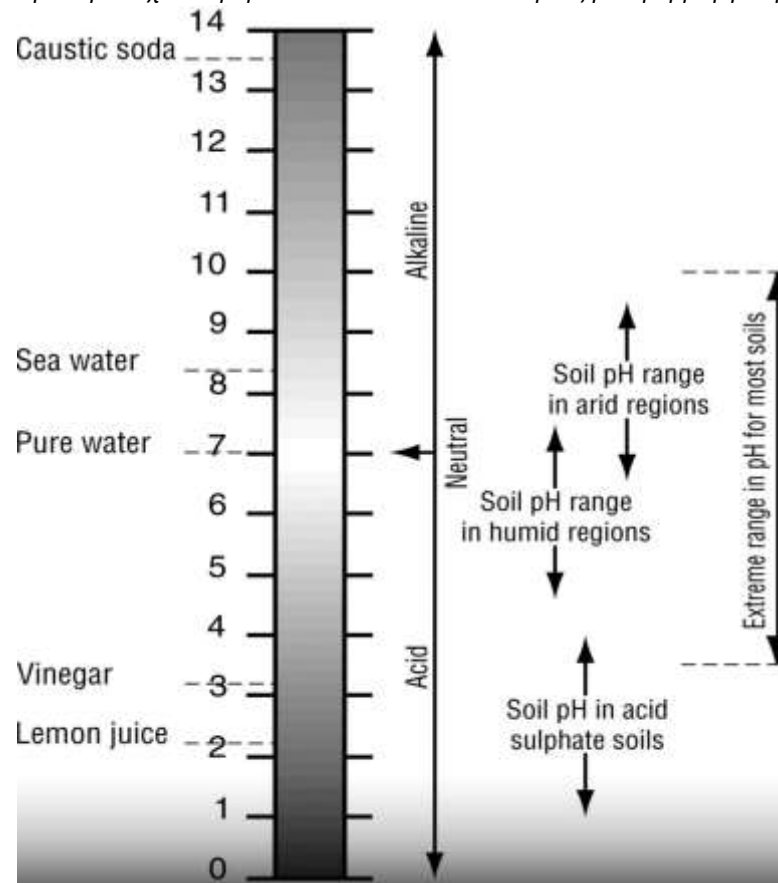


Εικόνα 1.3 Σύσταση του εδάφους

1.4 Ο ρόλος του Ph

Το Ph και η τιμή του, είναι εκείνα που καθορίζουν αν ένα έδαφος είναι όξινο, αλκαλικό ή ουδέτερο. Εφόσον η τιμή του, είναι κατάλληλη, τότε αποτελεί εποικοδομητικό παράγοντα για την υγιή ανάπτυξη των φυτών [10]. Η μέτρηση του, αφορά την μέτρηση της συγκέντρωσης των ιόντων του υδρογόνου. Έτσι, για υψηλές τιμές pH, η συγκέντρωση ιόντων του υδρογόνου είναι χαμηλή, ενώ αντίστοιχα για χαμηλές τιμές έδαφος, η συγκέντρωση ιόντων του υδρογόνου είναι υψηλή. Τα εδάφη, ανάλογα με που κυμαίνονται οι τιμές του pH, μπορούν να χαρακτηριστούν ως [11]:

- Όξινα, για τιμές μικρότερες του 6.5
- Ουδέτερα, για τιμές μεταξύ του 6.5-7.5
- Αλκαλικά, για τιμές μεγαλύτερες του 7.5



Εικόνα 1.4 Είδη εδάφους ανάλογα την τιμή του pH

Η φυσική τιμή του pH, εξαρτάται τόσο από το υπέδαφος, όσο και από άλλες φυσικές διαδικασίες, όπως η βλάστηση, ο χρόνος, η τοπογραφία και το κλίμα. Ενώ με την σειρά του, το pH του κάθε εδάφους ασκεί επιρροή στην ποσότητα και στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Αποτελεί γεγονός πως, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων εναλλάσσεται σύμφωνα με την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Για τον λόγο αυτό ιδανική τιμή για το pH, αποτελεί μια τιμή, η οποία βρίσκεται μεταξύ των τιμών 5.5 και 7.5. Στο συγκεκριμένο εύρος τιμών, η εύρεση των απαιτούμενων θρεπτικών στοιχείων είναι σχετικά εύκολη και έτσι το έδαφος μπορεί να συνεισφέρει, δημιουργώντας ένα εύφορο και υγιές περιβάλλον.

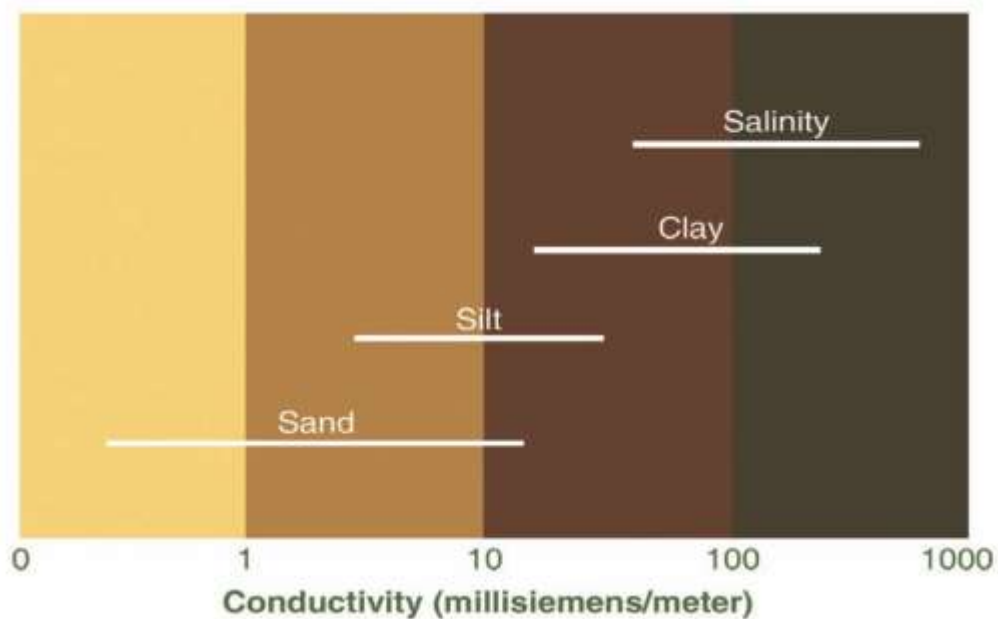
1.5 Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους

Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, θεωρείται η ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί ως αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Ουσιαστικά, πραγματοποιείται μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου και κατά συνέπεια ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του νερού του εδάφους [12]. Η διαδικασία αυτή, επιτυγχάνεται λόγω της κίνησης του νερού μέσω των πόρων του χώματος, στο οποίο τα κατιόντα και ιόντα χημικών ενώσεων αλάτων, διασπώνται με αποτέλεσμα την μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου και την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Electrical Conductivity EC) αποτελεί κρίσιμο δείκτη για την γονιμότητα του εδάφους και τις ποσότητες αλάτων και θρεπτικών ουσιών που βρίσκονται σε αυτό. Μάλιστα, εκείνη που καθορίζει την τιμή της ηλεκτρικής

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
αγωγιμότητας εδάφους, είναι η συγκέντρωση των ιόντων . Μονάδες μέτρησης της είναι οι παρακάτω:

$$\frac{dS}{m} \text{ ή } \frac{mS}{cm}$$

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες. Συγκεκριμένα δίνει πληροφορίες για τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών. Υψηλές τιμές EC έχουν υψηλά ποσοστά, ενώ χαμηλές τιμές EC φανερώνουν έλλειψη θρεπτικών ουσιών. Μέσω της μέτρησης της, ελέγχονται τα επίπεδα αλατότητας του εδάφους, τα επίπεδα της οποίας, εφόσον ξεπεράσουν το ικανοποιητικό όριο αποτελούν τροχοπέδη για την ιδανική απορρόφηση του νερού [13]. Επίσης δίνονται πληροφορίες για την δομή και την υφή του εδάφους, από την οποία μπορούν να διακριθούν διαφορετικοί τύποι εδάφους και διαφορετικά σωματίδια που τα αποτελούν, με αποτέλεσμα να αλλάζει από έδαφος σε έδαφος η διατήρηση της υγρασίας και το πως αυτή απορροφάται. Τα παραπάνω δεδομένα, μπορούν να βοηθήσουν άμεσα στον αγροτικό τομέα και στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, αφού οι μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για την υγρασία και τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Πέρα όμως από αυτό το γεγονός, μπορούν να αποτελέσουν και προνοητικό παράγοντα όσον αφορά περιβαλλοντικούς κινδύνους, αφού σε περιοχές που είναι εκτεθειμένες σε μεγάλο βαθμό από την ρύπανση, οι αλλαγές στην EC φανερώνουν παρουσία ριπών και ποσοστά θρεπτικών ουσιών , πέρα από το επιθυμητό.



Εικόνα 1.5 Τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με την μορφή και απόχρωση του εδάφους

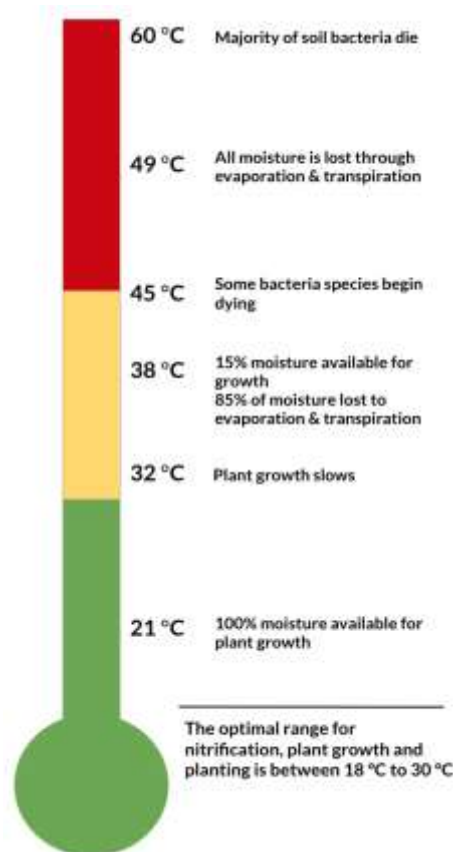
1.6 Θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους, είναι ένας παράγοντας, ο οποίος είναι καθοριστικός για την καλύτερη διαχείριση της παραγωγής της αγροκαλλιέργειας και των οικολογικών συστημάτων. Ελέγχει φέρνοντας σε ισορροπία την βιοχημεία του εδάφους, αλλά και την ανταλλαγή των αερίων εδάφους και ατμόσφαιρας. Η μέτρηση της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει τόσο στο βάθος του χώματος, όσο και στην επιφάνεια, με βάθος έως και 10 εκατοστά [14].

Ο παράγοντας της θερμοκρασίας του εδάφους, συμβάλλει άμεσα στην διαδικασία ανάπτυξης των φυτών, μέσω της φωτοσύνθεσης [15], ενώ έτσι βοηθά και στα επίπεδα των θρεπτικών ουσιών, στην συγκράτηση του νερού και στην ανάπτυξη των ριζών. Συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα αζώτου και το φωσφόρου.

Το έδαφος και κατά συνέπεια, η θερμοκρασία, που αυτό αποκτά επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ηλιακή ακτινοβολία, ως ετερόφωτο πεδίο, που είναι η βασική πηγή θέρμανσης. Η στρώση που βρίσκεται στην κορυφή του εδάφους, είναι και εκείνη που είναι εκτεθειμένη στην ενέργεια με αποτέλεσμα οι θερμοκρασίες εκεί να είναι υψηλότερες [16]. Παρόλα αυτά, η τροφοδοσία αυτή, της ηλιακής ενέργειας, εξαρτάται και άλλες αιτίες. Τέτοιες είναι, η εποχή, αφού οι θερμοκρασίες μπορεί να έχουν μεγάλη διαφορά κατά τους κρύους και ζεστούς μήνες. Το χρώμα του χώματος, όσο πιο σκουρόχρωμο είναι τόσο πιο εύκολα μπορούν να απορροφηθούν από το έδαφος οι ακτίνες του ηλίου. Όσον αφορά τις ακτίνες πρόσπτωσης, όσο πιο κοντά είναι η γωνία αυτή στις 90 μοίρες, τόσο πιο μεγαλύτερη είναι και η ενέργεια, που μεταφέρεται στο έδαφος. Τέλος, η υφή του χώματος, η οποία σε συνδυασμό με την υγρασία, προσφέρουν ιδιαιτερότητες στο έδαφος, επηρεάζοντας τον τρόπο που αυτό θερμαίνεται. Για παράδειγμα μια λασπώδης υφή μπορεί να θερμανθεί γρηγορότερα συγκριτικά με μια ξηρή λόγω της μεγαλύτερης θερμικής χωρητικότητας που κατέχει. Αντίθετα μία ξηρή μορφή, επειδή έχει ήδη μια μεγάλη θερμοκρασία θα έχει μικρές μεταβολές, στις τιμές της θερμοκρασίας της.

Συμπερασματικά, η έλλειψη κατάλληλης θερμοκρασίας του εδάφους, ανάλογα βέβαια και με την χρήση που εκείνο απαιτείται, μπορεί να καθυστερήσει την ανάπτυξη των φυτών και να εμποδίσει την ομαλή ολοκλήρωση της διαδικασίας τους, μειώνοντας αισθητά τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών. Στην περίπτωση όμως, που οι τιμές της θερμοκρασίας είναι πολύ μεγάλες τότε, η ποιότητα του εδάφους γίνεται υποδεέστερη, γεγονός που είναι εξίσου αρνητικό. Η ισορροπία τις θερμοκρασίας σε συνδυασμό με την υγρασία μπορούν να δημιουργήσουν ένα εύφορο έδαφος.

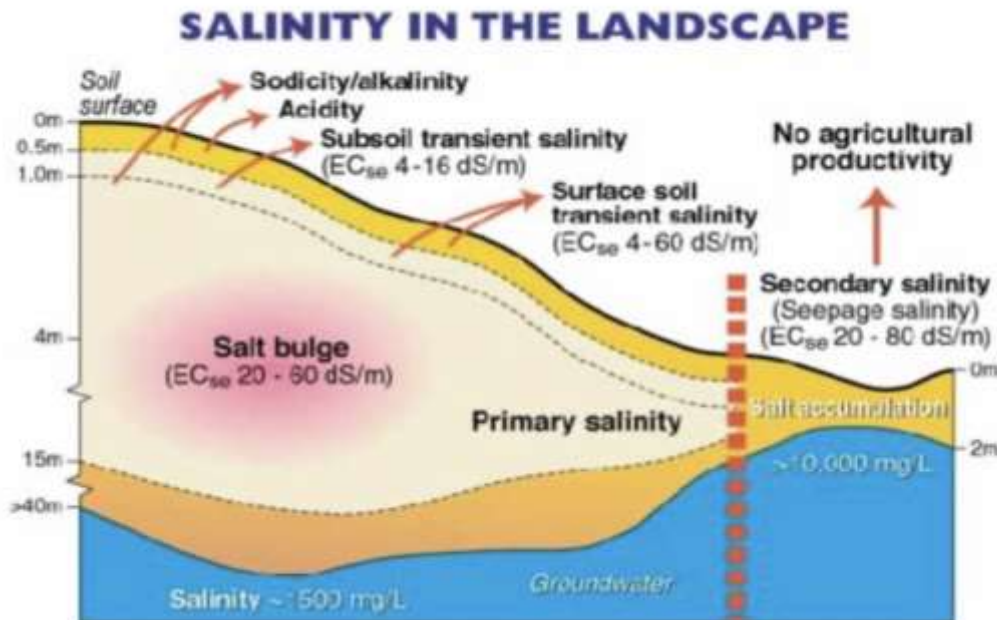


Εικόνα 1.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στο έδαφος

1.7 Αλατότητα εδάφους

Η αλατότητα του εδάφους², αφορά την περιεκτικότητα των αλάτων που παρουσιάζεται σε αυτό. Τα υψηλά επίπεδα της, δεν είναι ωφέλιμα για την ποιότητα του εδάφους [17]. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της διαδικασίας της όσμωσης, η αλατότητα εμποδίζει την ομαλή ανάπτυξη των φυτών καθώς αν το επίπεδο των αλάτων, ξεπεράσει τα όρια ανοχής, τότε τα φυτά αδυνατούν να απορροφήσουν το νερό και τα θρεπτικά στοιχεία που έχουν ανάγκη. Το οσμωτικό στρες [18] που δημιουργείται, έχει να κάνει με την κίνηση των μορίων των αλάτων και του νερού που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του φυτού. Στην ουσία, πραγματοποιείται η διέλευση μορίων από το διάλυμα που έχει την μικρότερη συγκέντρωση προς εκείνο με την μεγαλύτερη, μέσω ημιπερατής μεμβράνης. Το γεγονός αυτό ελαχιστοποιεί την ικανότητα του φυτού να απορροφήσει τις αναγκαίες ποσότητες ουσιών από το έδαφος. Σε συνέχεια του παραπάνω, η δομή και η ποιότητα του εδάφους αλλοιώνεται, καθώς η διείσδυση του νερού στο χώμα γίνεται δυσκολότερη. Οι συνέπειες αυτές, μπορούν να οδηγήσουν

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία ακόμα και στην ερημοποίηση, αφού τα εδάφη με υψηλά ποσοστά αλατότητας παρουσιάζουν αύξηση στην διάβρωση του εδάφους και τάσεις ξηρασίας [19]. Παρόλα αυτά, τα υψηλά ποσοστά αλάτων στο έδαφος, συμβάλλουν στην αντιμετώπιση επιβλαβών οργανισμών και ασθενειών που παράγονται στο έδαφος. Ενώ, τα μέτρια επίπεδα των αλάτων, συνεισφέρουν σε καλύτερη αποστράγγιση του εδάφους, βελτιώνοντας έτσι την δομή του.



Εικόνα 1.7 Αλατότητα εδάφους

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Αισθητήρες για εφαρμογές εδάφους

Οι αισθητήρες αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της εξέλιξης της τεχνολογίας, καθώς είναι οι συσκευές, οι οποίες ενεργοποιούν τον δίαυλο επικοινωνίας του ανθρώπου με το περιβάλλον. Συλλέγουν δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων, την βελτίωση της απόδοσης και την ανάλυση τους.

Έχουν ευρεία εφαρμογή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς. Αναλυτικότερα, στον αυτοματισμό, τα δεδομένα που διαβάζει ένας αισθητήρας μπορούν να αποτελέσουν είσοδο σε κάποιο σύστημα αυτόματου ελέγχου, με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης και τον έλεγχο για την αποφυγή λαθών. Χάρη στους αισθητήρες, είναι δυνατή η παρακολούθηση βασικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, κυρίως σε εργασιακούς χώρους όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις, που ο έλεγχος τους, εξασφαλίζει την ασφάλεια του χώρου και του ανθρώπινου δυναμικού. Υπάρχει όμως και η περιβαλλοντική παρακολούθηση, στην οποία οι αισθητήρες, συλλέγουν πληροφορίες από το περιβάλλον, όπως η ποιότητα του αέρα, του νερού, τα επίπεδα της ρύπανσης και γενικά τις κλιματικές αλλαγές που παρουσιάζονται, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη της κατάστασης του περιβάλλοντος μελλοντικά έτσι ώστε να ληφθούν άμεσα και τα κατάλληλα μέτρα και αποφάσεις. Η συμβολή τους, στον τομέα της υγείας, είναι μεγάλη αφού, η τεχνολογία χρησιμοποιείται όλο και με μεγαλύτερη συχνότητα και οι αισθητήρες συμβάλλουν στον εντοπισμό ασθενειών, αλλά και στην άμεση παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών. Η τάση του ανθρώπου, στο να διευκολύνει τις διαδικασίες στην καθημερινότητα του, έχει οδηγήσει στην δημιουργία, των οικοσυστημάτων IoT, στα οποία οι αισθητήρες είναι απαραίτητοι για να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των συσκευών, για την πραγματοποίηση κάποιες διεργασίας.



Εικόνα 2.1 Ένα σύστημα αισθητήρων προσφέρει χρήσιμες πληροφορίες

Όσον αφορά, την χρήση των αισθητήρων στις εφαρμογές εδάφους, η συλλογή δεδομένων βασικών χαρακτηριστικών του εδάφους, εξάγουν πληροφορίες για την πρόσφατη κατάσταση του εδάφους. Ανάλογα την χρήση του κάθε εδάφους, ο άνθρωπος μπορεί να επέμβει για την βελτίωση του, βασισμένος στις ανάλογες μετρήσεις του αισθητήρα. Ενώ μάλιστα, μπορεί σταδιακά να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδάφους και με την πάροδο των χρόνων, συλλέγοντας για μεγάλο διάστημα

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία πληροφορίες. Η χρήση των αισθητήρων είναι απαραίτητη, τόσο για τον έλεγχο του αντικειμένου του οποίου λαμβάνονται πληροφορίες, όσο και για την βελτιστοποίηση του, στον μέγιστο βαθμό.

2.1 Αισθητήρες υγρασίας εδάφους

Για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του νερού ή της υγρασίας, χρησιμοποιούνται αισθητήρες υγρασίας. Χρησιμοποιούνται κατά βάση, στην γεωργία και για την περιβαλλοντική παρακολούθηση, έτσι ώστε να διασφαλιστούν οι ιδανικές συνθήκες του εδάφους.

2.1.1 Ογκομετρικοί αισθητήρες

Το συγκεκριμένο είδος αισθητήρα μετρά [20] την αναλογία του όγκου του νερού ως προς την μονάδα του όγκου του χώματος και δίνει την μέτρηση σε ποσοστό. Οπότε σε περίπτωση που η τιμή αυτή είναι για παράδειγμα 15%, τότε αυτό πρακτικά σημαίνει πως για κάθε κυβική μονάδα μέτρησης του εδάφους τα 0.15 κυβικά θα είναι η ανάλογη περιεκτικότητα του νερού. Οι αισθητήρες αυτοί, με την σειρά τους χωρίζονται σε διαφορετικά είδη, καθώς βασίζονται σε ξεχωριστές τεχνικές.

2.1.1.1 Αισθητήρες συχνότητας περιοχής ανάκλασης FDR

Οι αισθητήρες FDR(Frequency Domain Reflectometry) ή αλλιώς συχνότητας περιοχής ανάκλασης, ονομάζονται αλλιώς χωρητικοί και υπολογίζουν την διηλεκτρικοί σταθερά και σχετιζόμενες ηλεκτρομαγνητικές παραμέτρους [21]. Μπορούν να παρομοιαστούν με ένα κύκλωμα ενός πυκνωτή. Η εφαρμογή τάσης στα άκρα του αισθητήρα, παράγει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μεταξύ των δύο ράβδων του αισθητήρα που βρίσκονται τοποθετημένοι στο χώμα. Το φορτίο ή η συχνότητα συντονισμού αποθηκεύεται στον πυκνωτή. Με την χρήση παλμογράφου υπολογίζεται η διαφορά των κυματομορφών εξόδου με εκείνη της επιστροφής της συχνότητας [22]. Η διαφορά αυτή με την σωστή διακρίβωση μπορεί να σχετιστεί με την υγρασία του εδάφους.



Εικόνα 2.2 Αισθητήρας FDR/Capacitance

2.1.1.2 Αισθητήρες χρονικής περιοχής ανάκλασης TDR

Οι αισθητήρες TDR (Time Domain Reflectometry), δηλαδή χρονικής περιοχής ανάκλασης μετράνε την διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, η οποία σχετίζεται άμεσα την υγρασία του εδάφους [23]. Πρακτικά αποτελεί ένα σύστημα αισθητήρα, καθώς απαιτεί κυματοδηγούς, συνήθως δύο ή τρεις, γεννήτρια τάσης παλμών και παλμογράφου. Μέσω της γεννήτριας παράγεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το οποίο διαδίδεται στο μήκος των κυματοδηγών που βρίσκονται χωμένοι στο έδαφος. Ο παλμογράφος δίνει την δυνατότητα παρακολούθησης της τάσης και των πλατών των κυματομορφών. Ουσιαστικά, μετριέται η ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, όταν ο παλμός φτάνει στο τέλος του κυματοδηγού. Όσο η υγρασία στο έδαφος αυξάνεται, η διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, δηλαδή η ικανότητα του να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια, αυξάνεται και κατά συνέπεια ο χρόνος διάδοσης του παλμού μειώνεται [22].



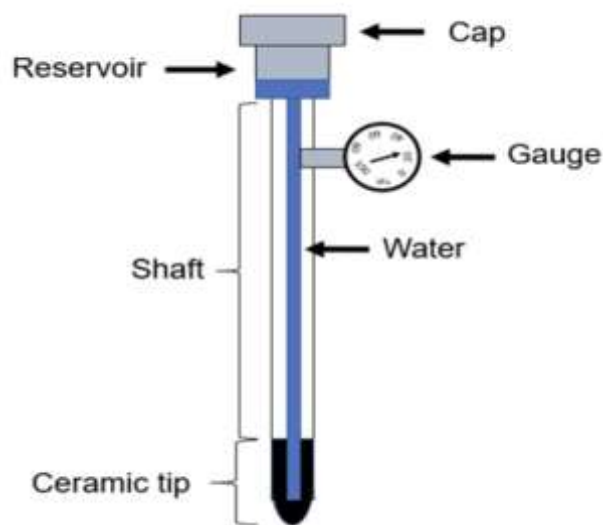
Εικόνα 2.3 Αισθητήρας TDR

2.1.1.3 Τενσιόμετρα

Το τενσιόμετρο είναι ένα αισθητήριο όργανο το οποίο, χρησιμοποιείται αρκετά για τον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους. Στην πραγματικότητα αυτό που μετρά, είναι η έλξη που ασκεί το έδαφος στο νερό που βρίσκεται στους πόρους του. Το νερό κατέχει την ικανότητα, όταν κινείται σε μικρούς χώρους, να έχει αντίθετη κατεύθυνση από την δύναμη που ασκεί η βαρύτητα [24]. Αυτή ακριβώς είναι και η βασική αρχή, που βασίζεται το τενσιόμετρο.

Για τον λόγο αυτό, όσον αφορά την σχεδίαση [25] του, παρατηρείται πως αποτελείται από έναν σωλήνα ο οποίος στο κάτω μέρος, έρχεται σε επαφή με μια πορώδης άκρη η οποία είναι και εκείνη που εισέρχεται στο έδαφος, στο σημείο που πρέπει να γίνει η μέτρηση. Αυτή η πορώδης άκρη αποτελείται συνήθως, από κάποιο κεραμικό υλικό, έτσι ώστε να μην φθείρεται από συνεχή επαφή με το χώμα, στην πάροδο του χρόνου. Στο πάνω μέρος του σωλήνα, υπάρχει ένα καπάκι, από το οποίο γεμίζεται με νερό ο σωλήνας, ενώ σφραγίζεται, για να μην εισέρχεται ατμοσφαιρικός αέρας. Αυτό

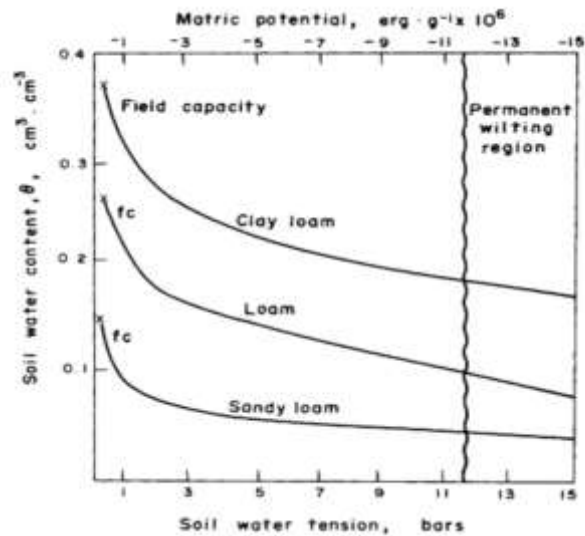
Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία έχει ιδιαίτερη σημασία, αφού ο σωλήνας συνδέεται μέσω διασωλήνωσης με το όργανο μέτρησης, το οποίο μπορεί να είναι ένα μανόμετρο ή μετρητή κενού, μέσω του οποίου μπορεί να μετρηθεί η πίεση.



Εικόνα 2.4 Τενσιόμετρο

Για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση αυτή, αφού τοποθετηθεί το τενσιόμετρο στο χώμα τότε το πορώδες υλικό θα προσπαθήσει να απορροφήσει και να εξάγει το νερό, από το χώμα. Οποιαδήποτε εξαγωγή νερού θα προκαλέσει στον νερό του σωλήνα κίνηση, η οποία θα αποτυπωθεί, άμεσα στο μανόμετρο σε μονάδες μέτρησης της πίεσης, συνήθως τα kPa (kiloPasqual ή σε atm). Το πόσο μεγάλη ή μικρή θα είναι αυτή η τιμή, εξαρτάται από την κατάσταση του εδάφους και της υγρασίας του [26]. Πιο συγκεκριμένα, αν το έδαφος είναι πολύ στεγνό τότε θα είναι πολύ δύσκολο να απορροφήσει ο σωλήνας κάποιο ποσοστό υγρασίας, με αποτέλεσμα η ελκτική δύναμη του εδάφους να είναι μεγαλύτερη και κατά συνέπεια θα πρέπει να ασκηθεί μεγαλύτερη πίεση στο πορώδες υλικό, αρά η τιμή του μανομέτρου θα είναι πολύ μεγάλη. Στην περίπτωση που το χώμα είναι πολύ υγρό, τότε δεν χρειάζεται να ασκηθεί μεγάλη πίεση, αφού οι πόροι του εδάφους δεν είναι σε θέση να διατηρήσουν με την ίδια ευκολία το νερό και έτσι η ένδειξη του μανομέτρου θα έχει ως αποτέλεσμα,

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία μία πολύ μικρή τιμή. Από την μέτρηση της πίεσης, μπορούν να βγουν άμεσα συμπεράσματα για την υγρασία του εδάφους.



Εικόνα 2.5 Διάγραμμα της ελκτικής δύναμης σε σχέση με την υγρασία

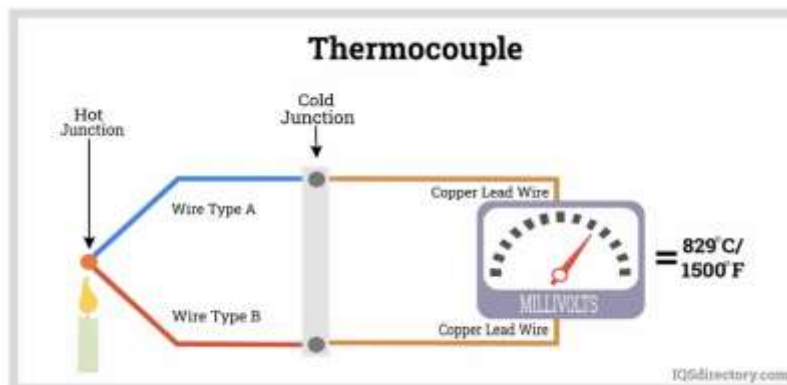
2.2 Αισθητήρες θερμοκρασίας εδάφους

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας του εδάφους, χρησιμοποιούνται οι αισθητήρες θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία είναι καίριος παράγοντας και η μέτρηση της συμβάλλει σημαντικά, στην ανάπτυξη των φυτών και στον κατάλληλο προγραμματισμό της γεωργικής δράσης. Οι αισθητήρες αυτοί, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στους αισθητήρες επαφής και στους ανέπαφους αισθητήρες. Οι αισθητήρες επαφής, όπως αναφέρει και η ονομασία τους έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος.

2.2.1 Θερμοζεύγη

Τα θερμοζεύγη, αποτελούνται από ένα ζεύγος διαφορετικού είδους μετάλλων. Βασίζονται στο Seebeck Effect [27], σύμφωνα με το οποίο όταν δύο διαφορετικά μέταλλα έρχονται σε επαφή μεταξύ τους σε κάποιο σημείο, τότε όταν η θερμοκρασία στο σημείο αυτό όταν μεταβληθεί, παράγεται μέσω των αγωγών μετρήσιμη τιμή τάσης. Για να μπορεί όμως να μετρηθεί η μεταβολή αυτή θα πρέπει να υπάρχει άλλη μία επαφή στην οποία θα θέτεται η θερμοκρασία αναφοράς. Έτσι, η διάταξη ενός θερμοζεύγους αποτελείται 2 κύρια σημεία. Το σημείο επαφής των ανόμοιων μετάλλων, το οποίο θεωρείται το σημείο μέτρησης και το σημείο αναφοράς στο οποίο ορίζεται μία επιθυμητή θερμοκρασία αναφοράς έτσι ώστε να συγκριθεί η διαφορά της θερμοκρασίας [28]. Για να είναι

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία δυνατή η μέτρηση οι αγωγοί καταλήγουν σε όργανο μέτρησης. Στην ουσία ένα θερμοζεύγος λειτουργεί ως μετατροπέας θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς τα ηλεκτρόνια έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά αυτή θα γίνει από το ζεστό σημείο προς το πιο κρύο και η κίνηση αυτή των ηλεκτρονίων παράγει την προσανατολισμένη κίνηση φορτίου άρα και ρεύματος.



Εικόνα 2.6 Διάταξη θερμοζεύγους

Η ηλεκτρεγερτική δύναμη που παράγεται λόγω της διαφοράς της θερμοκρασίας γνωστή και ως electromotive force (emf) εξαρτάται τόσο από το υλικό των μετάλλων, όσο και από την διαφορά θερμοκρασίας των δύο σημείων. Η σχέση αυτή δίνεται παρακάτω:

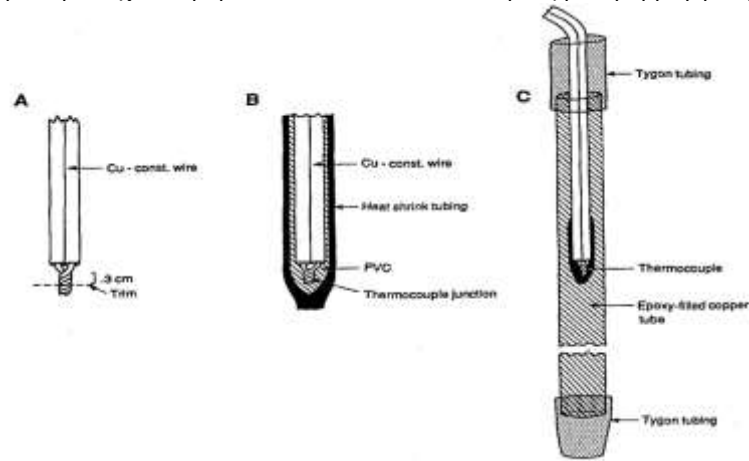
$$d(emf) = N_{A,B}dT$$

Όπου:

- $d(emf)$ είναι η ηλεκτρεγερτική δύναμη που παράγεται
- $N_{A,B}$ είναι η σταθερά Seebeck που αφορά το υλικό των μετάλλων
- dT είναι η διαφορά θερμοκρασίας των δύο σημείων

Ειδικότερα για την χρήση του θερμοζεύγους σε εφαρμογές εδάφους, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν ο χώρος εφαρμογής. Η χρήση του στο χώμα, στο οποίο εγκυμονεί ένα εχθρικό περιβάλλον το οποίο προσφέρεται για υψηλά επίπεδα διάβρωσης. Για τον λόγο αυτό, το θερμοζεύγος πρέπει να είναι προστατευμένο από αυτές συνθήκες, έτσι ώστε να μπορεί να λαμβάνει και να μεταφέρει τις πληροφορίες αξιόπιστα [29].

Το μέρος του αισθητήρα το οποίο βρίσκεται εντός του χώματος, είναι και εκείνο που θα πρέπει να προστατευθεί με τέτοιο τρόπο που το αισθητήριο θα παραμείνει αξιόπιστο όσον αφορά τις μετρήσεις αλλά παράλληλα θα έχει διάρκεια στον χρόνο. Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται ένας τρόπος ώστε το θερμοζεύγος καλύπτεται με τέτοιο τρόπο, διατηρώντας εν τέλει τις ιδιότητες του.



Εικόνα 2.7 Επικάλυψη των probes του θερμοζεύγους

Στην εικόνα A φαίνεται η απλή μορφή του θερμοζεύγους με καλώδια χαλκού. Στην εικόνα B τα καλώδια καλύπτονται με μονωτικό υλικό PVC, αλλά και ειδικό πλαστικό υλικό το οποίο βοηθάει στην προστασία των καλωδίων. Τέλος στην εικόνα C, γίνεται προσθήκη πολυμερείς υλικών τα οποία με την σειρά του προσφέρουν την κατάλληλη μόνωση έτσι ώστε να μην επηρεαστεί καθόλου ακόμα και στην πάροδο του χρόνου η χρήση του θερμοζεύγους.

2.2.2 Αισθητήρες ανίχνευσης θερμοκρασίας RTDs

Είναι γνωστό πως η ηλεκτρική αντίσταση των περισσότερων υλικών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία. Οι αισθητήρες ανίχνευσης θερμοκρασίας, βασίζονται στην αρχή αυτή [30]. Η αντίσταση του υλικού του αισθητήρα μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται και η θερμοκρασία.



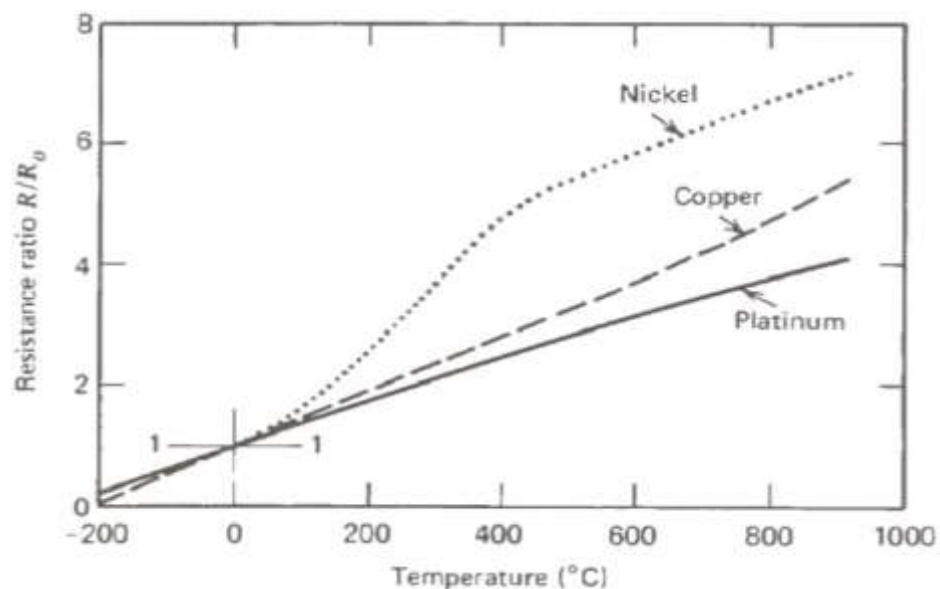
Εικόνα 2.8 Είδη αισθητήρων RTDs

$$R_T = R_0[1 + a(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2]$$

Όπου:

- R_T , είναι η τιμή της αντίστασης στην νέα θερμοκρασία T
- R_0 , είναι η τιμή της αντίστασης στην θερμοκρασία αναφοράς T_0
- Οι συντελεστές a και β είναι συντελεστές της θερμοκρασίας

Το υλικό της υλοποίησης του αισθητήρα προσδίδει διαφορετική συμπεριφορά της αντίστασης σε συνάρτηση με την θερμοκρασία [31]. Συνήθως το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ο λευκόχρυσος ή αλλιώς πλατίνα, καθώς διαθέτει καλύτερη σταθερότητα και γραμμικότητα.



Εικόνα 2.9 Συμπεριφορά της ηλεκτρικής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία ανάλογα το υλικό κατασκευής των RTDs

2.2.3 Θερμίστορες

Είναι αντιστάσεις, οι οποίες είναι ευαίσθητες στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Για αυτό και η ονομασία τους, προκύπτει από τις λέξεις thermal και resistor [32]. Το υλικό που δομεί, τις αντιστάσεις αυτές είναι από ημιαγωγούς, οι οποίοι όμως διαθέτουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την αντίστασή τους και όχι την αγωγιμότητα. Υπάρχουν δύο είδη θερμίστορες. Εκείνοι που έχουν θετικό συντελεστή θερμοκρασίας – Positive Temperature Coefficient (PTC) και εκείνοι που έχουν αρνητικό – Negative Temperature Coefficient (NTC) [33]. Η διαφορά τους, παρουσιάζεται στην συμπεριφορά της τιμής αντίστασης σε σχέση με την θερμοκρασία. Για τα θερμίστορες NTC, η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί την μείωση της τιμής της αντίστασης, ενώ αντίθετα η μείωση της θερμοκρασίας, την αύξηση της τιμής της αντίστασης. Τα θερμίστορες PTC λειτουργούν ως τους

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
αισθητήρες ανίχνευσης της θερμοκρασίας και η αύξηση της θερμοκρασίας προξενεί αύξηση της
τιμής της αντίστασης, ενώ η μείωση της, κάνει και την τιμή της αντίστασης μικρότερη.



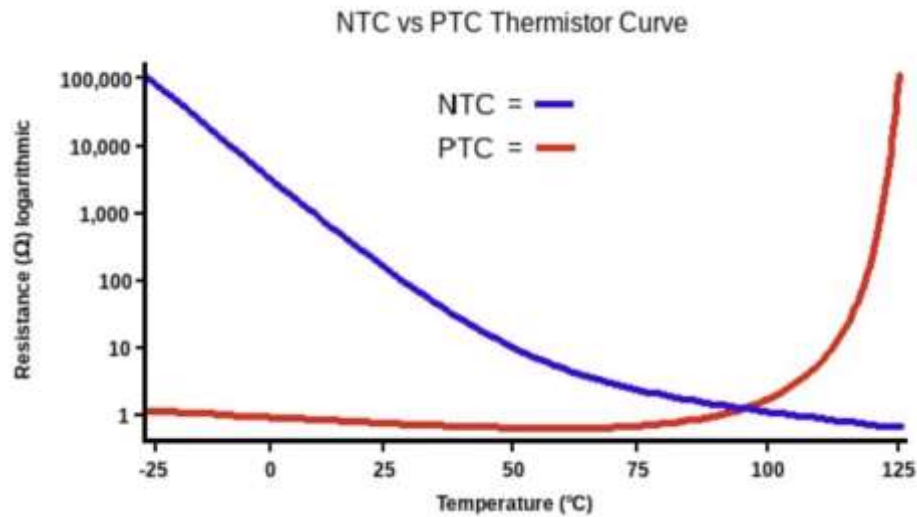
Εικόνα 2.10 Είδη θερμίστορ

Η σχέση της αντίστασης των θερμίστορ με την θερμοκρασία , δίνεται παρακάτω

$$R(T) = R(T_0)\exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

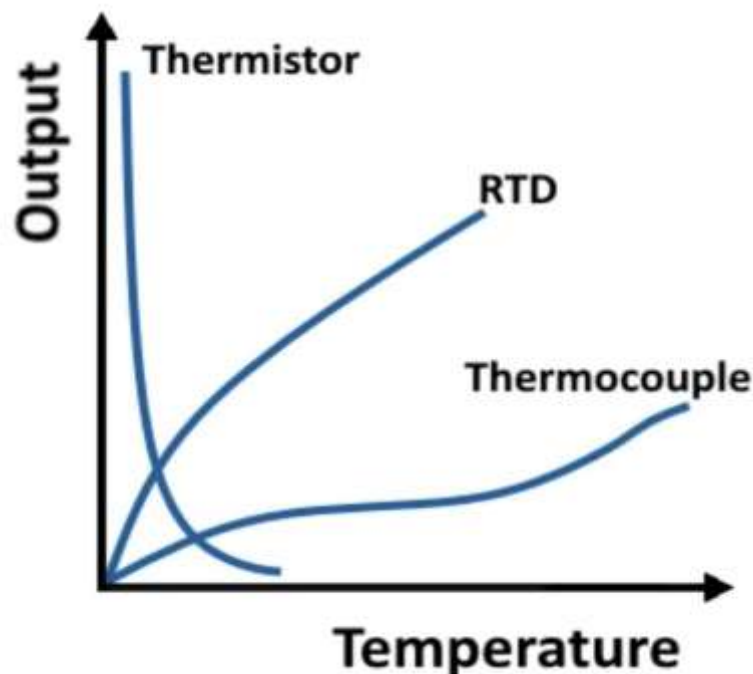
Όπου :

- R_T , η τιμή της αντίστασης στην μετρούμενη θερμοκρασία T
- R_{T_0} , η τιμή της αντίστασης στην θερμοκρασία αναφοράς σε Kelvin ($T_0=298.16$ K)
- B , σταθερά η τιμή της οποίας θεωρείται 4000



Εικόνα 2.11 Συμπεριφορά της ηλεκτρικής αντίστασης με την θερμοκρασία ανάλογα με το είδος του θερμίστορ

Ανάλογα, τις συνθήκες του εδάφους, όσον αφορά την θερμοκρασία του, μπορεί να γίνει μια πιο ιδανική επιλογή αισθητήρα. Η διαφορά των αισθητήρων ανίχνευσης θερμοκρασίας με τα θερμίστορ, λόγω των υλικών που τα δομούν, κάνει το καθένα ειδικό για διαφορετικές θερμοκρασίες. Τα θερμίστορ είναι κατάλληλα για χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ τα RTDs και τα θερμοζεύγη μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για υψηλές. Αυτό οφείλεται στο πόσο ευαίσθητος είναι ο κάθε αισθητήρας, σύμφωνα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας [34].



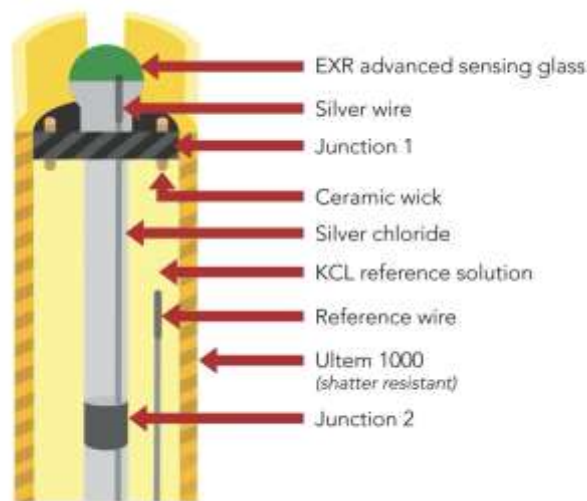
Εικόνα 2.12 Ευαισθητοποίηση αισθητήρων σε σχέση με την αύξηση της θερμοκρασίας

2.3 Αισθητήρες pH εδάφους

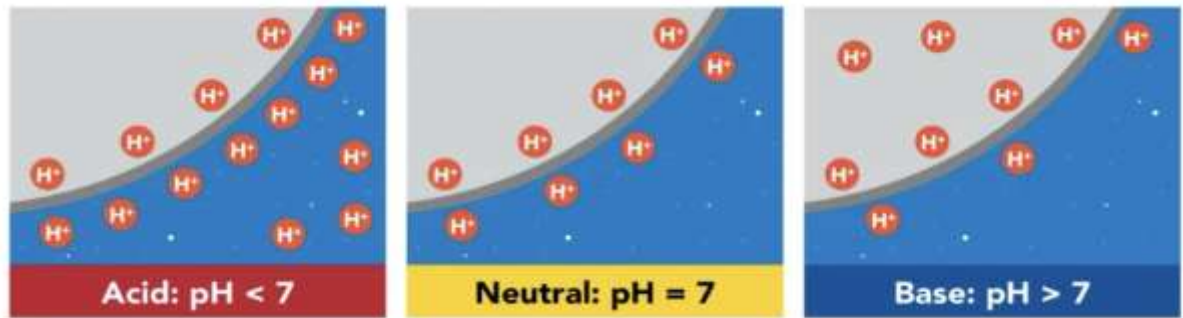
Οι αισθητήρες pH, είναι αισθητήρες που μετρούν την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Σύμφωνα και με την ονομασία τους, η οποία είναι potential of hydrogen, η μέτρηση αυτή επιτυγχάνεται με την μέτρηση της δραστηριότητας των υδρογόνων που βρίσκονται στο έδαφος.

2.3.1 pH Probes

Είναι αισθητήρες, οι οποίοι αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια. Το ένα λειτουργεί ως αισθητήρας καθώς είναι εκείνο, που έρχεται σε επαφή με το χώμα και συγκεκριμένα με το μέρος του χώματος που υπάρχει έντονη δραστηριότητα από χημικές αντιδράσεις, ενώ το άλλο ως σημείο αναφοράς. Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων μετριέται η τάση, που αναπτύσσεται. Ο αισθητήρας λειτουργεί ως μετατροπέας καθώς η έντονη παρουσία θετικά φορτισμένων ιόντων υδρογόνου, που προκύπτουν μέσω ανταλλαγής ιόντων μετάλλου, παράγει τάση μεταξύ των ηλεκτροδίων, η οποία όμως μετατρέπεται σε τιμή pH [35]. Όσο η τιμή της τάσης μεταξύ του εδάφους αυξάνεται, τότε και η συγκέντρωση των θετικά φορτισμένων ιόντων υδρογόνου αυξάνεται. Το έδαφος στην προκειμένη περίπτωση είναι πιο όξινο. Σε αντίθεση περίπτωση θα είναι πιο αλκαλικό.



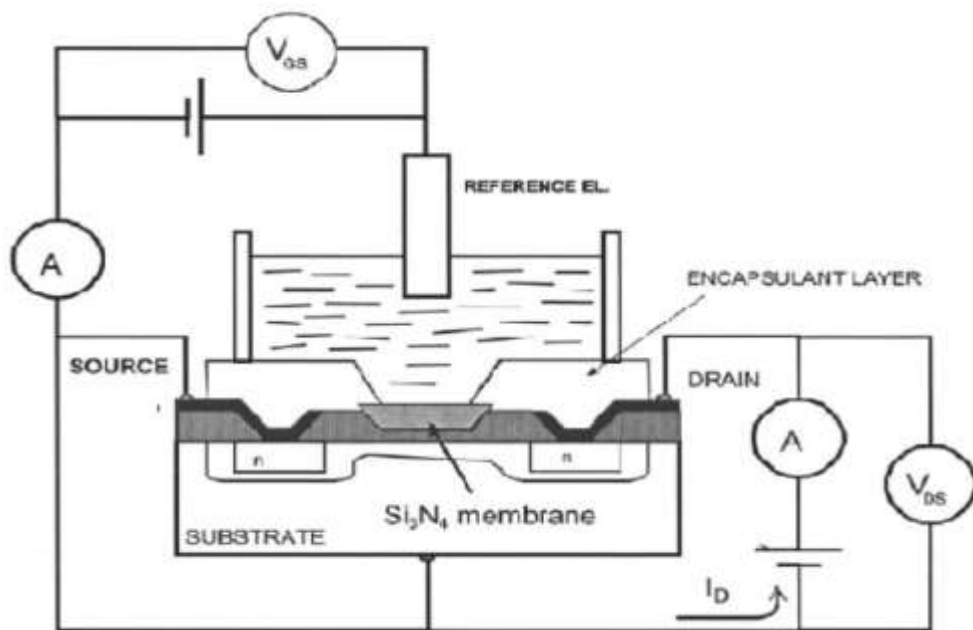
Εικόνα 2.13 Δομή pH probe



Εικόνα 2.14 Η παρουσία των θετικών ιόντων υδρογόνου καθορίζει το pH του εδάφους

2.3.2 Αισθητήρες pH με τρανζίστορ

Η χρησιμοποίηση ενός ISFET (Ion selective field effect transistor), η οποία είναι μία παραλλαγή ενός κανονικού τρανζίστορ και αυτό λόγω του υλικού που αποτελείται η είσοδος του, δηλαδή η πύλη. Η αρχή του βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στον έλεγχο του ρεύματος που ρέει μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων-ημιαγωγών [36].



Εικόνα 2.15 Διάταξη ISFET

Τα ηλεκτρόδια αυτά ως μέρη τρανζίστορ, ονομάζονται πηγή και απαγωγός αντίστοιχα, ενώ το τρίτο ηλεκτρόδιο ενώνεται μαζί τους ονομάζεται πύλη. Η πύλη είναι εκείνη, που έρχεται σε επαφή με το δείγμα μέτρησης και για τον λόγο αυτό είναι ευαίσθητη στα ιόντα του υδρογόνου. Τα θετικά ιόντα του υδρογόνου είναι και εκείνα που δημιουργούν το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ροή ρεύματος μεταξύ πηγής και απαγωγού. Οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή του pH, μπορεί να

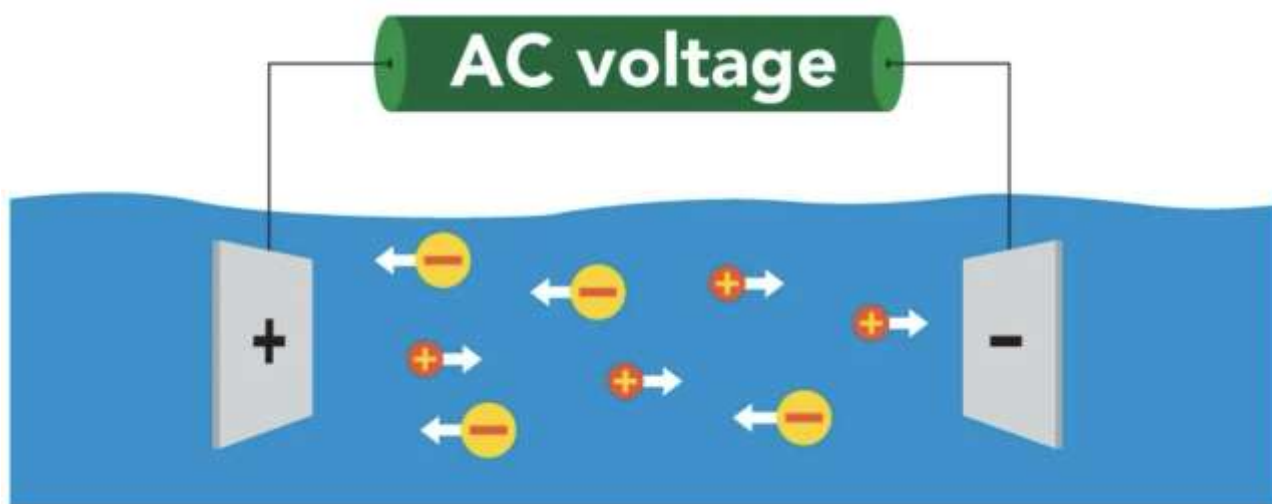
Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία προκαλέσει αλλαγή στην τιμή του ρεύματος που διαρρέει το τρανζίστορ. Για να σταθεροποιηθεί η τιμή του, είναι προτιμότερο να εφαρμοστεί μία σταθερή τάση στα άκρα των ηλεκτροδίων. Τότε η αλλαγή στην τιμή του pH, θα επιφέρει αλλαγή στην τιμή της σταθερής τάσης. Η αλλαγή αυτή μπορεί να υπολογιστεί σε τιμή της κλίμακας του pH.

2.4 Αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους συνδέεται άμεσα με την υγρασία και την αλατότητα του εδάφους και για αυτό, για την εκτίμηση της, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι αντίστοιχες μετρήσεις. Πέρα όμως από αυτή την διαδικασία, η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να μετρηθεί κατόπιν συγκεκριμένων μετρήσεων.

2.4.1 EC Meters-Probes

Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους, μπορεί να γίνει με την χρήση ηλεκτροδίων τα οποία έρχονται σε επαφή με το έδαφος και μπορούν να μετρήσουν ρεύμα ή τάση. Η μέτρηση αυτή εξαρτάται κυρίως από την συγκέντρωση, αλλά και την δραστηριότητα των ιόντων που βρίσκονται στο σημείο της μέτρησης [37]. Ο ακροδέκτης του αισθητήρα, ο οποίος έχει βυθιστεί στο χώμα, ανάλογα με το φορτίο που παράγεται λόγω των ιόντων, διαρρέεται από ρεύμα από το οποίο και προκύπτει η τιμή της αγωγιμότητας του εδάφους. Όσο πιο έντονο είναι το ηλεκτρικό φορτίο λόγω των ιόντων στο χώμα, τόσο θα αυξάνεται η τιμή του ρεύματος που διαρρέει τον ακροδέκτη. Το γεγονός αυτό προσδιορίζει και υψηλά επίπεδα αγωγιμότητας.



Εικόνα 2.16 Η κίνηση των ιόντων προκαλεί την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος κατά την εφαρμογή τάσης στα άκρα

2.5 Αισθητήρες θρεπτικών συστατικών

Οι αισθητήρες των θρεπτικών συστατικών και ιδιαίτερα του αζώτου (N), φωσφόρου (P) και καλίου(K), για την ανίχνευση τους βασίζονται κυρίως σε τρεις τεχνικές.

2.5.1 Τεχνική με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα

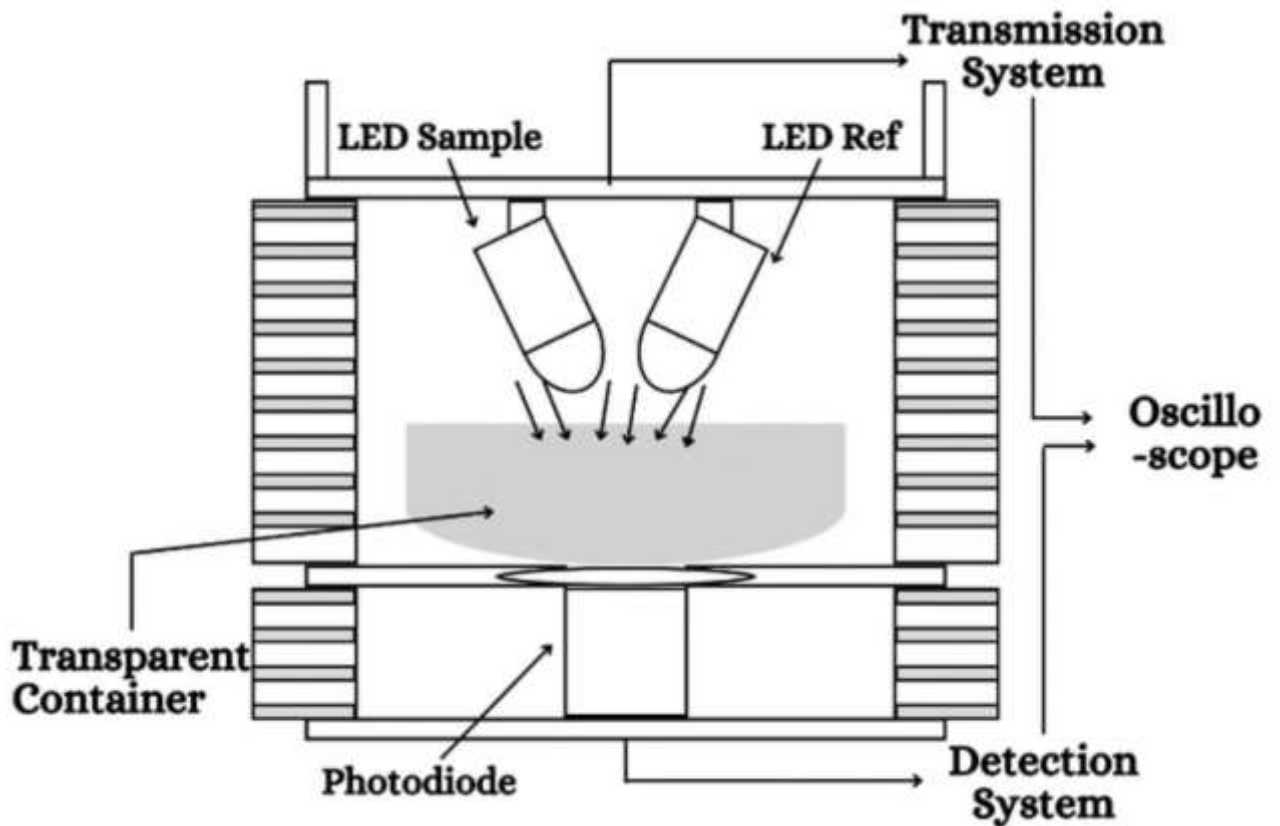
Στην τεχνική αυτή, χρησιμοποιείται η ικανότητα θρεπτικών συστατικών να επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα [38]. Μέσω ηλεκτροδίων ίδιου υλικού, τα οποία τοποθετούνται στο χώμα και εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση στα άκρα τους, μπορεί να παρατηρηθεί το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα με την βοήθεια οργάνου μέτρησης ρεύματος. Ανάλογα με την τιμή ρεύματος προκύπτει και η αντίστοιχη αγωγιμότητα του εδάφους. Οι εναλλαγές στην συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων, επιφέρει αλλαγές στην αγωγιμότητα του εδάφους. Η αύξηση της συγκέντρωσης, αυξάνει την μεταβλητότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας [39]. Η αλλαγή αυτή της αγωγιμότητας και ο προσδιορισμός των θρεπτικών συστατικών γίνεται μέσω της μετατροπής της αγωγιμότητας σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο με την σειρά του χρησιμοποιείται από τον αισθητήρα για την εύρεση των επιπέδων των θρεπτικών συστατικών.

2.5.2 Ηλεκτροχημική τεχνική

Στη τεχνική αυτή ο αισθητήρας είναι προσαρμοσμένος στις χημικές αντιδράσεις του εδάφους και των θρεπτικών στοιχείων [38]. Πρακτικά οι ακροδέκτες του αισθητήρα, αποτελούνται από υλικό το οποίο περιέχει αντιδραστήρια, τα οποία αντιδρούν με χημικές ενώσεις θρεπτικών στοιχείων. Το γεγονός αυτό λόγω της κίνησης ιόντων παράγει ηλεκτρικό σήμα το οποίο μεταφέρεται στον αισθητήρα, που μετράει τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών. Σημαντικό ρόλο στους αισθητήρες αυτούς κατέχουν τα ISE (Ion Selective Electrode) και ISFET (Ion Selective Field Effective Transistor), βασικά μέρη του αισθητήρα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν διαφορετικά υλικά, ανάλογα με τα θρεπτικά στοιχεία που θα πρέπει να εκτιμηθούν [40].

2.5.3 Οπτική τεχνική

Οι αισθητήρες, που χρησιμοποιούν την τεχνική αυτή βασίζονται στην σχέση του φωτός που πέφτει στην επιφάνεια του εδάφους [38]. Το φως που ανακλάται από την επιφάνεια του εδάφους, είναι ικανό να προσδιορίσει κρίσιμα συμπεράσματα για τα χαρακτηριστικά του εδάφους, αλλά και για τα επίπεδα των θρεπτικών στοιχείων. Ιδιαίτερα για την εκτίμηση και τον εντοπισμό των θρεπτικών στοιχείων, χρησιμοποιείται η φασματοσκοπία [41]. Αναλύεται η συμπεριφορά του φωτός, δηλαδή των των δεσμίδων φωτονίων που πέφτουν στο δείγμα. Από την επιφάνεια του δείγματος αντανακλάται και εκπέμπεται φως το οποίο, είναι και εκείνο που αναλύεται για να προκύψουν συμπεράσματα που αφορούν τα θρεπτικά συστατικά του αντίστοιχου εδάφους.



Εικόνα 2.17 Διάγραμμα συστήματος οπτικής τεχνικής

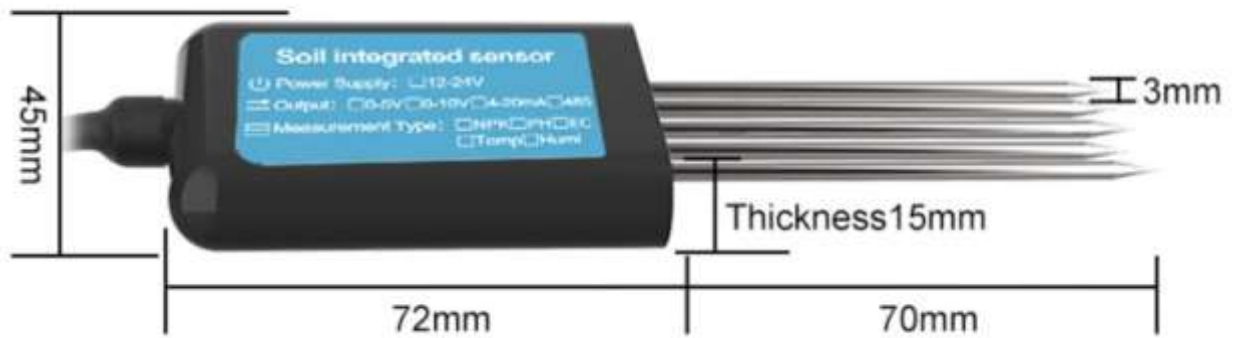
2.6 Αισθητήρας Εδάφους 7 σε 1 – Αισθητήρας Πειραματικής διαδικασίας

Ο αισθητήρας αυτός, όπως αναφέρει και η ονομασία του, μπορεί να μετρήσει 7 διαφορετικούς παράγοντες εδάφους. Οι παράγοντες αυτοί είναι τα θρεπτικά συστατικά (NPK), η υγρασία, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η θερμοκρασία. Η μέτρηση των οποίων μπορεί να δώσει ένα πλήρες πακέτο πληροφοριών για την κατάσταση του εδάφους.

2.6.1 Εξωτερική εμφάνιση-μέρη αισθητήρα

Ο αισθητήρας αποτελείται από 3 κύρια μέρη:

- Τα πέντε probes, που λειτουργούν ως ανιχνευτές
- Το κύριο σώμα, στο οποίο βρίσκεται το κύκλωμα του αισθητήρα
- Το καλώδιο της τροφοδοσίας και μεταφοράς πακέτων δεδομένων



Εικόνα 2.18 Διαστάσεις αισθητήρα

Το γεγονός, ότι ο αισθητήρας για να λαμβάνει κάποια μέτρηση θα πρέπει να έρχεται σε επαφή με το έδαφος είτε να βυθίζεται σε αυτό, απαιτείται η κατασκευή του αισθητήρα να είναι τέτοια που να μην επηρεάζεται από τις συνθήκες του κάθε εδάφους. Για τον λόγο αυτό έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί κατάλληλα. Συγκεκριμένα [42]:

- Ανοξειδωτα ατσάλινα probes, τα οποία δεν μπορούν να επηρεαστούν από την σκουριά και παράλληλα είναι μη ηλεκτρολυτικά έτσι ώστε να γίνεται μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος κατά την επαφή με νερό του χώματος
- Το σημείο που οι ανιχνευτές probes έρχονται σε επαφή με το κύκλωμα του αισθητήρα, υπάρχει επικάλυψη από εποξειδικό υλικό υψηλής πυκνότητας που σφραγίζει την περιοχή αυτή
- Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα του αισθητήρα, που αποτελούν το σημαντικότερο κομμάτι είναι προστατευμένα από ειδικό προστατευτικό κέλυφος

Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν σημαντικά, έτσι ώστε, ο αισθητήρας να αποκτήσει σημαντικές ιδιότητες που θα τον διατηρούν αξιόπιστο στην διάρκεια του χρόνου. Μερικές από αυτές είναι, η αδιαβροχοποίηση, οι μεγάλες αντοχές στις αντίξοες εξωτερικές συνθήκες από άλατα και αλκαλικές ουσίες του εδάφους, αλλά και η σταθεροποίηση και η προστασία του πυρήνα, του αισθητήρα.

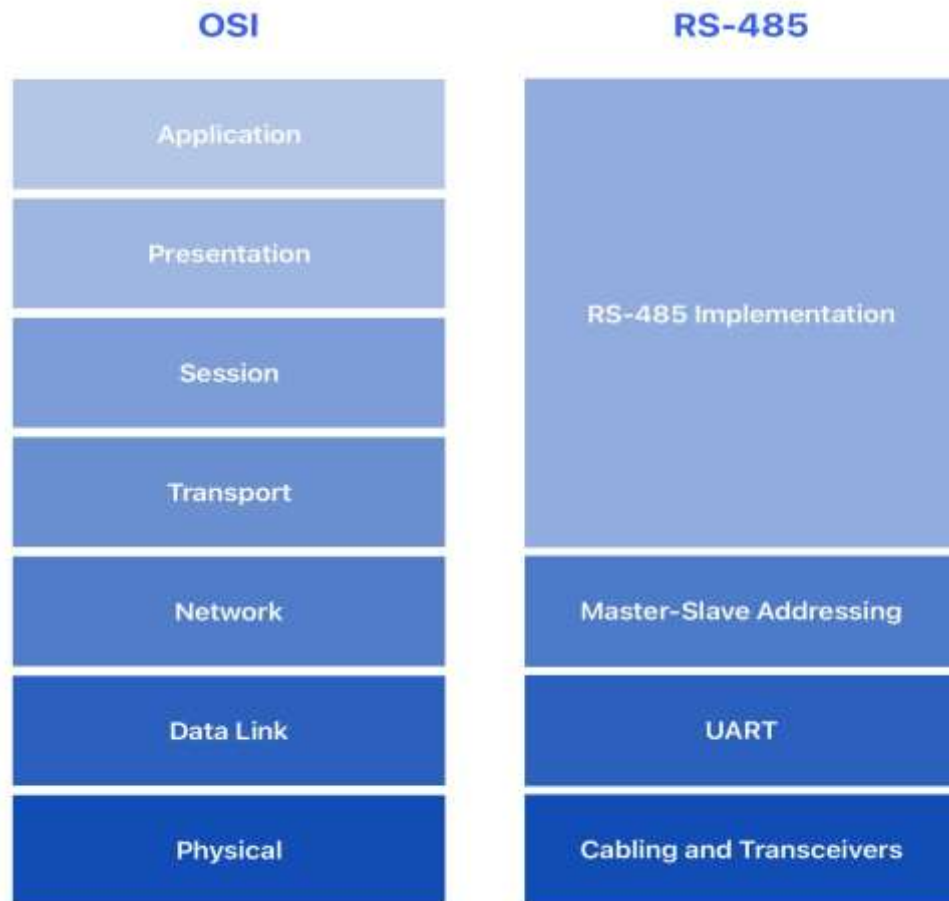
2.6.2 Επικοινωνία Αισθητήρα

Τα δεδομένα που λαμβάνει ο αισθητήρας μέσω των ανιχνευτών και μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα, χρησιμοποιούν την τεχνολογία RS-485 για την μεταφορά τους. Το RS-485, αποτελεί ένα πρότυπο για την ηλεκτρική σηματοδότηση και την επικοινωνία σε φυσικό επίπεδο. Χρησιμοποιείται κυρίως σε αυτοματοποιημένα περιβάλλοντα.

Τα βασικά του χαρακτηριστικά, που το ξεχωρίζουν είναι:

- Η ηλεκτρική διεπαφή και το φυσικό επίπεδο, καθώς το RS-485 είναι εκείνο που ορίζει τις απαιτήσεις του φυσικού επιπέδου, αλλά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που αφορούν την επικοινωνία του αισθητήρα. Για την ασφαλή και αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων, καθορίζονται κρίσιμοι παράγοντες, όπως ο συγχρονισμός των σημάτων και τα κατάλληλα επίπεδα τάσης
- Η point-to-point και multipoint επικοινωνία [43]. Το πρότυπο αυτό υπηρετεί τόσο την επικοινωνία από σημείο σε σημείο, δηλαδή μεταξύ δύο συσκευών, όσο και την χρήση κοινού διαύλου επικοινωνίας, τον οποίο μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολλές συσκευές μέχρι και των αριθμό 32. Οι πολλαπλές συνδέσεις στον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας, προσφέρουν την δυνατότητα χρήση πολλών αισθητήρων, οι οποίοι μπορεί να είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία του εδάφους και να αποτελούν μέρος ενός αυτοματοποιημένου περιβάλλοντος
- Οι μεγάλες αποστάσεις καλωδίωσης [44]. Είναι σχεδιασμένο για να υπηρετεί την αξιόπιστη επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.
- Η ανθεκτικότητα στο ηλεκτρικό θόρυβο [45]. Παραμένει ανεπηρέαστο από ηλεκτρικό θόρυβο, κάτι που οφείλεται στην διαφορική σηματοδότηση που συμβάλλει στην αντιμετώπιση των συνεπειών που προκαλεί η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή. Διασφαλίζεται με αυτόν τον τρόπο, η ακεραιότητα των δεδομένων , κατά την μεταφορά τους.

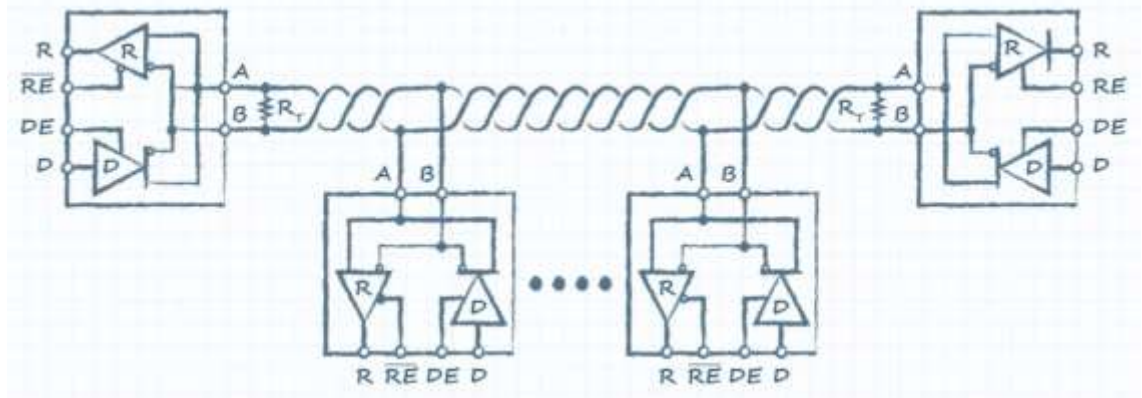
Ως πρότυπο που αφορά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων για την μεταφορά των δεδομένων, το πρωτόκολλο επικοινωνίας του RS-485, μπορεί να αποδοθεί του μοντέλου OSI. Το OSI, δηλαδή Open System Interconnection Model, είναι ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για την περιγραφή ενός συστήματος δικτύωσης [46]. Όσον αφορά την επικοινωνία του υπολογιστικού συστήματος χωρίζεται σε επτά επίπεδα.



Εικόνα 2.19 Αντιστοίχιση του μοντέλου OSI με του RS-485

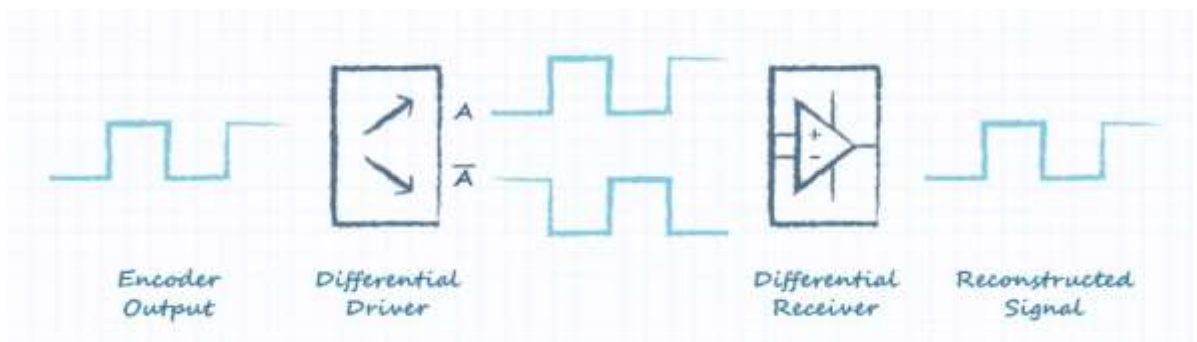
Το φυσικό επίπεδο του μοντέλου OSI, είναι εκείνο που ασχολείται με την μεταφορά των δεδομένων μεταξύ μιας συσκευής και ενός φυσικού μέσου μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, διαχειρίζεται την μετατροπή των ηλεκτρικών σημάτων σε δεδομένα, ορίζοντας παράλληλα τους χρονισμούς, τις τάσεις, αλλά και τον ρυθμό μεταφοράς των δεδομένων [47].

Για την επίτευξη, της διεργασίας αυτής το RS485, βασίζεται στην χρήση δύο γραμμών, "A" και "B", οι οποίες πρέπει να είναι ισορροπημένες και διαφορικές. Ισορροπημένα σήματα αποτελούν δύο γραμμές, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από τον ίδιο αγωγό και μοιράζονται ένα ζεύγος σε ένα συνεστραμμένο καλώδιο με ίδια αντίσταση, για την καθεμία.



Εικόνα 2.20 Βασική τοπολογία δικτύου RS-485

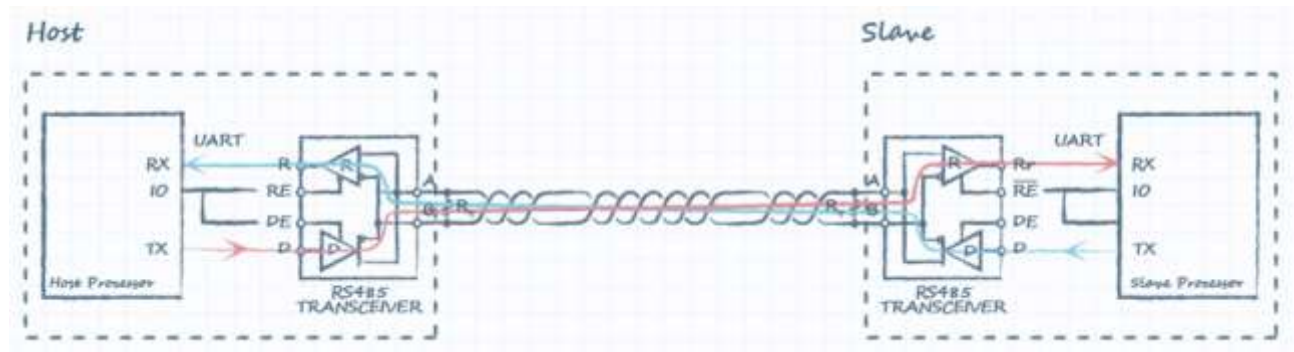
Τα σήματα A και B, αποκαλούνται διαφορικό ζεύγος. Μάλιστα, το ένα είναι το αρχικό σήμα, ενώ το άλλο το ανεστραμμένο του αρχικού [47]. Το σήμα κατά την μεταφορά του, σε μεγάλες αποστάσεις εξασθενεί, για τον λόγο αυτό μέσω διαφορικού πομπού παράγεται το διαφορικό ζεύγος των σημάτων A και B. Μέσω των δύο αυτών σημάτων, ανακατασκευάζεται το τελικό σήμα μέσω διαφορικού ενισχυτή, το οποίο έχει ως αναφορά τις τάσεις μεταξύ των δύο σημάτων και την διαφορά τους. Από εκεί μπορούν τα λογικά επίπεδα (High-Low) του σήματος που μπορεί να ερμηνευθεί από συσκευή υποδοχής. Κατά την ανακατασκευή του τελικού σήματος, τα δύο σήματα καταλήγουν αρχικά στον διαφορικό δέκτη. Η χρήση του είναι αναγκαία, καθώς αντιμετωπίζει τις συνέπειες του θορύβου. Η παρουσία του θορύβου, αντικατοπτρίζεται ως αλλαγή στην τάση. Η αλλαγή αυτή εμφανίζεται ταυτόχρονα και στα δύο σήματα. Η ικανότητα του διαφορικού δέκτη είναι να αγνοεί τις τάσεις που είναι ίδιες, με αποτέλεσμα το τελικό σήμα να παραμένει αναλλοίωτο από τον θόρυβο.



Εικόνα 2.21 Διάγραμμα μετατροπής σήματος κατά την μεταφορά του σε RS-485

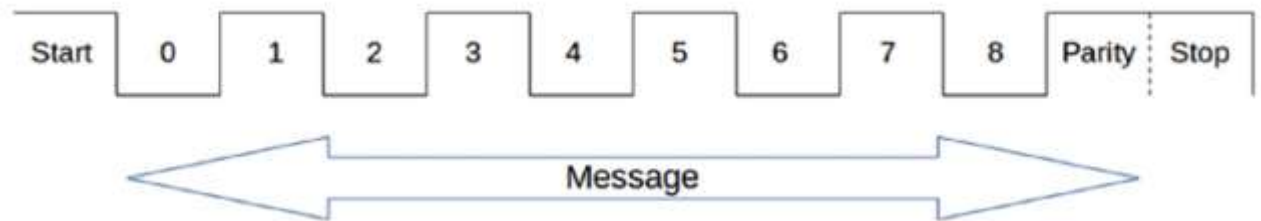
Στο επίπεδο ζεύξης δεδομένων, το RS-485, αποτελεί ένα σύστημα αμφίδρομης επικοινωνίας. Οι συσκευές, που βρίσκονται στον ίδιο δίαυλο, μπορούν να επικοινωνούν και προς τις δύο κατευθύνσεις. Παρόλα αυτά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ημι-διπλή μορφή επικοινωνίας, στην οποία οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιούν εναλλάξ την γραμμή, μία την φορά. Η εντολή για το πότε μπορεί να επικοινωνήσει η κάθε συσκευή, δίνεται από τον κεντρικό υπολογιστή με την χρήση της αντίστοιχης διεύθυνσης της συσκευής.

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
 Για την σειριακή επικοινωνία, στο επίπεδο των δεδομένων το RS-485 χρησιμοποιεί UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Το UART συνδέεται με τον πομποδέκτη του RS-485 και παράλληλα ορίζει την επικοινωνία σε πλήρη αμφίδρομη. Ο κεντρικός υπολογιστής επικοινωνεί μέσω του UART με το RS-485, ενημερώνοντας το, για το πότε θα βρίσκεται σε κατάσταση εκπομπής και λήψης ο κεντρικός επεξεργαστής (host). Η αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιείται και για την επικοινωνία με τις συσκευές-αισθητήρες (slave). Επειδή η διασύνδεση UART, είναι ασύγχρονη, τόσο η κεντρική μονάδα όσο και οι παράλληλες συσκευές, χρησιμοποιούν τα δικά τους ρολόγια για να γνωρίζουν τον ρυθμό της μεταφοράς των δεδομένων, κατά την επικοινωνία.



Εικόνα 2.22 Επικοινωνία UART σε RS-485 μεταξύ host και slave συσκευής

Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω bitstream [48], δηλαδή μιας ροής δυαδικών ψηφίων (bit). Αυτό πραγματοποιείται μέσω της γραμμής μετάδοσης TX προς την είσοδο δεδομένων D ή DI του πομποδέκτη RS-485. Ύστερα πραγματοποιείται η μετατροπή του bitstream σε διαφορικό bitstream, το οποίο και χρησιμοποιείται ως σήμα εισόδου στην είσοδο λήψης του πομποδέκτη RS-485. Στην περίπτωση που δέχεται εντολή η slave συσκευή, όπως για παράδειγμα ένας αισθητήρας, τότε ακολουθείται η ίδια διαδικασία, με την διαφορά ότι τα δεδομένα ύστερα από τις κατάλληλες μετατροπές καταλήγουν στην γραμμή λήψης RX. Καθώς, το bitstream είναι μια ροή δυαδικών ψηφίων, τα δεδομένα είναι ένα παλμός που αποκτά υψηλή τάση (High) ή μηδέν(Low). Διαφορετικά δέχεται τις τιμές "1" ή "0". Όταν το UART, βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας, τότε έχει υψηλή τάση τόσο η γραμμή μεταφοράς, όσο και η γραμμή λήψης. Όταν κάποια συσκευή θέλει να επικοινωνήσει και να μεταφέρει δεδομένα, η γραμμή μεταφοράς γίνεται μηδέν και έτσι γνωστοποιείται ότι θα γίνει μετάδοση των δεδομένων. Ακολουθούν οκτώ bit, στα οποία εμφανίζεται όλη η απαραίτητη πληροφορία. Η μετάδοση τερματίζει στο bit τερματισμού που η γραμμή μεταφοράς αποκτά την τιμή "1". Τα συνολικά bit είναι δέκα.



Εικόνα 2.23 Δομή πακέτου δεδομένων UART

Το επίπεδο του δικτύου, είναι εκείνο που οφείλεται για την βέλτιστη μεταφορά των δεδομένων. Για την καλύτερη διαχείριση του δίαυλου επικοινωνίας, σε περίπτωση που γίνεται προσπάθεια ταυτόχρονης επικοινωνίας, από πολλές συσκευές, η σηματοδότηση γίνεται μέσω την τεχνικής master-slave[43]. Master θεωρείται μία συσκευή ή διαδικασία, η οποία μπορεί να ελέγχει άλλες συσκευές ή διαδικασίες. Το μοντέλο αυτό, ασύγχρονης επικοινωνίας, μέσω του master στέλνει εντολές μεμονωμένα σε κάθε slave συσκευή για το πότε μπορούν να επικοινωνούν στον δίαυλο είτε μέσω της συγκεκριμένης διεύθυνσης της κάθε συσκευής είτε μέσω συνόλου εντολών. Με τον τρόπο αυτό σε ένα σύστημα αισθητήρων, θα καθορίζεται η μεταφορά των δεδομένων χωρίς να καταπονείται ο δίαυλος επικοινωνίας, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει απώλεια κρίσιμης πληροφορίας.

Το επίπεδο εφαρμογής του RS-485, είναι το επίπεδο που ελέγχεται η όλη διαδικασία της επικοινωνίας του διαύλου. Καλύπτει τα σύνολα εντολών ή τις διευθύνσεις της κάθε συσκευής, αλλά και ότι αφορά την ερμηνεία των δεδομένων.

Το RS-485 ως πρότυπο, μπορεί να καθορίσει μόνο τα δύο πρώτα επίπεδα, δηλαδή το φυσικό και εκείνο της σύνδεσης των δεδομένων. Το γεγονός αυτό επιτρέπει, στο επίπεδο της εφαρμογής να χρησιμοποιηθούν ήδη υπάρχοντα πρωτοκόλλα επικοινωνίας, είτε να δημιουργηθούν ξεχωριστά, ανάλογα με την κάθε εφαρμογή.

2.6.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά Αισθητήρα

Τροφοδοσία	DC 5V-30V	
Μέγιστη κατανάλωση	0.5W-24V DC	
Σήμα εξόδου	RS485	
Επίπεδο Προστασίας	IP68	
Μήκος καλωδίου	2M	
Θερμοκρασία λειτουργικότητας	-40°C έως 80°C	
Διαστάσεις	45*15*123MM	
Θερμοκρασία Εδάφους	Εύρος	40°C έως 80°C
	Ακρίβεια	$\pm 0.5^{\circ}C$ (25°C)
	Διακριτική Ικανότητα	0.1°C
Υγρασία Εδάφους	Εύρος	0-100%
	Ακρίβεια	$\pm 2\%$ μεταξύ 0 – 50% $\pm 3\%$ μεταξύ 50% – 100%
	Διακριτική Ικανότητα	0.1%
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα Εδάφους	Εύρος	0 έως 20000 us/cm
	Ακρίβεια	$\leq \pm 3\%FS$ μεταξύ 0 – 10000 us/cm $\leq \pm 5\%$ μεταξύ 10000 – 20000 us/cm
	Διακριτική Ικανότητα	1 us/cm
pH Εδάφους	Εύρος	3-9 pH
	Ακρίβεια	$\pm 0.3 pH$
	Διακριτική Ικανότητα	0.1
Αζωτο, Φόσφορος ,Κάλιο Εδάφους NPK	Εύρος	1-2999 mg/Kg (mg/L)
	Ακρίβεια	$\leq 5\%$
	Διακριτική Ικανότητα	1 mg/Kg (mg/L)

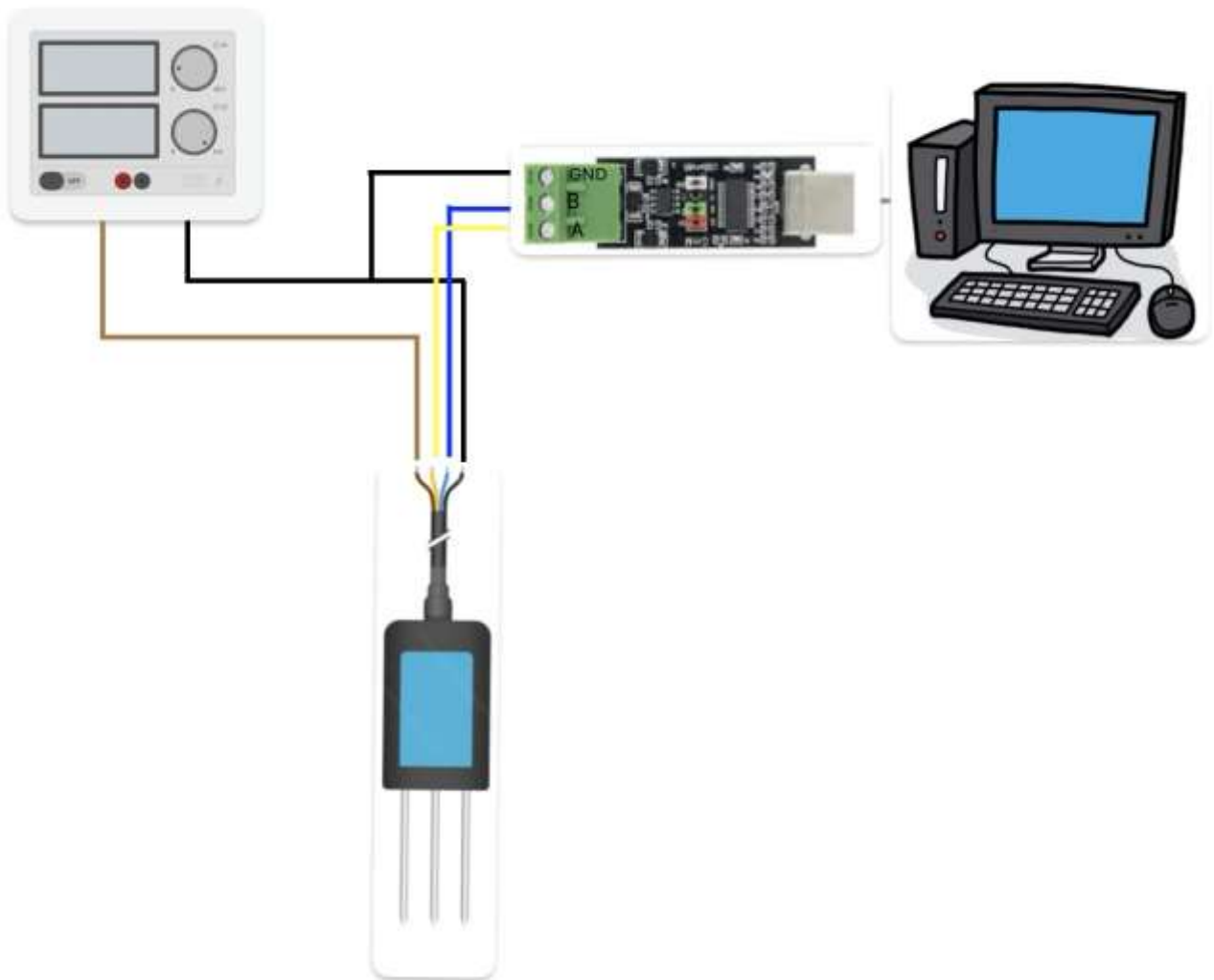
Πίνακας 2-1 Τεχνικά χαρακτηριστικά-παράμετροι αισθητήρα

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: Πειραματική διαδικασία

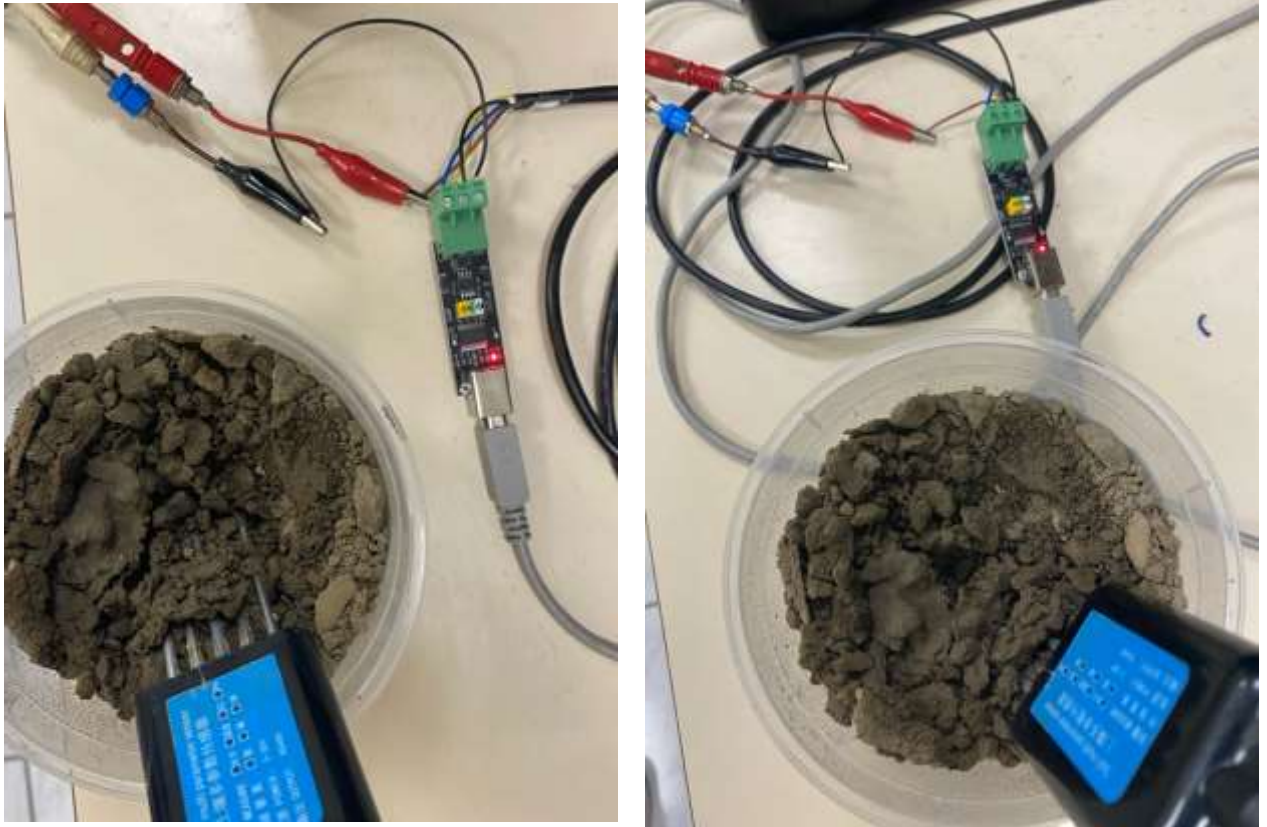
Στην πειραματική διαδικασία, εξετάστηκαν με την βοήθεια του αισθητήρα διαφορετικά είδη εδάφους. Με την μέτρηση, των βασικών παραγόντων που μπορούν να επηρεάσουν τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους εξετάζεται και η αξιοπιστία του αισθητήρα. Οι μετρήσεις αυτές έγιναν μέσω δύο ξεχωριστών διατάξεων .

3.1 Σύνδεση αισθητήρα σε κεντρικό υπολογιστή με μετατροπέα USB σε (TTL)RS-485

3.1.1 Διάταξη



Εικόνα 3.1 Διάταξη με χρήση USB to (TTL)RS-485



Εικόνα 3.2 Φυσική διάταξη αισθητήρα με USB σε (TTL) RS-485

Την διάταξη αυτή, δομούν :

- Αναλογικό τροφοδοτικό DC παροχής
- Αισθητήρας εδάφους
- Μετατροπέας USB σε TTL RS-485
- Υπολογιστής



Εικόνα 3.3 Αναλογικό τροφοδοτικό DC παροχής τάσης



Εικόνα 3.4 Αισθητήρας εδάφους

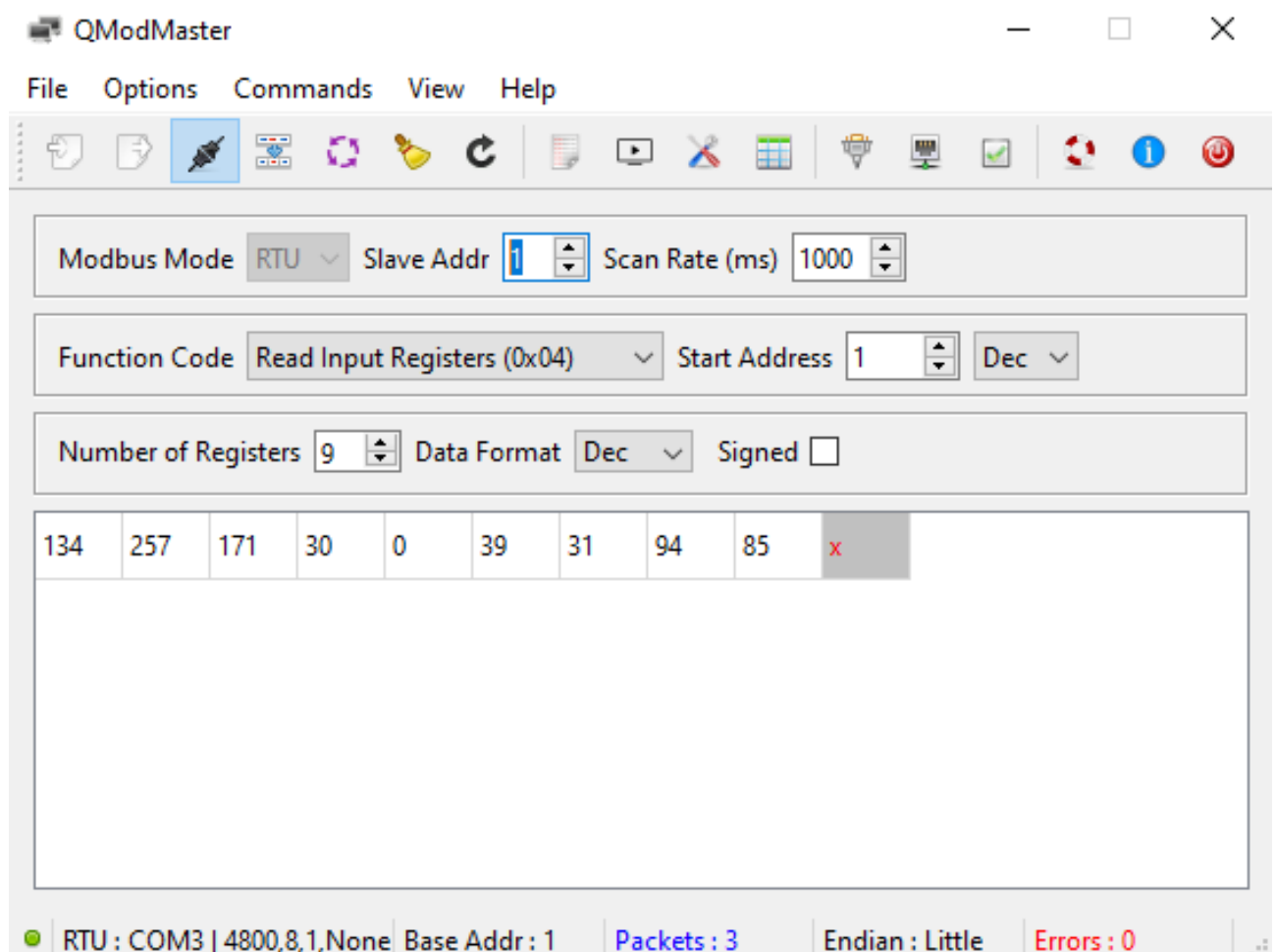


Εικόνα 3.5 Μετατροπέας USB σε TTL RS-485

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
Για την λειτουργία του αισθητήρα, του παρέχεται σταθερή τάση εντός των επιτρεπτών ορίων μέσω τροφοδοτικού τάσης. Το καφέ καλώδιο του αισθητήρα αντιστοιχεί στην τάση παροχής ενώ το μαύρο καλώδιο αντιστοιχεί στην γείωση. Τα δύο αυτά καλώδια συνδέονται στο τροφοδοτικό. Το κίτρινο και το μπλε καλώδιο αντιστοιχούν στα διαφορικά σήματα A και B, λόγω της επικοινωνίας RS-485 . Τα οποία αποτελούν είσοδο στον μετατροπέα στις αντίστοιχες εισόδους A και B του εξαρτήματος της μετατροπής. Η έξοδος του σε USB μπορεί να ερμηνεύσει την πληροφορία του αισθητήρα, μέσω του υπολογιστή.

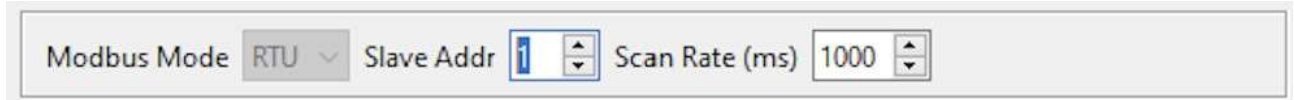
3.1.2 Πρόγραμμα ερμηνείας δεδομένων

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ερμηνεία των μετρήσεων του αισθητήρα, είναι το QModMaster. Είναι μια εφαρμογή η οποία χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας Modbus RTU. Χρησιμοποιεί την διασύνδεση του αισθητήρα, δηλαδή RS-485 και βασίζεται στην αρχιτεκτονική master-slave. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να λάβει τις μετρήσεις του αισθητήρα.



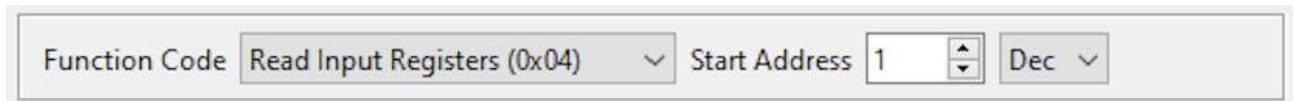
Εικόνα 3.6 Εικονικό περιβάλλον QModMaster

Όσον αφορά το εικονικό περιβάλλον της εφαρμογής, οι παράμετροι ρύθμισης που αφορούν την επικοινωνία με τον αισθητήρα εμφανίζονται στην αρχική οθόνη. Κάτω από την επιφάνεια των εργαλείων, παρατηρούνται οι ρυθμίσεις που αφορούν την μορφή του πρωτοκόλλου της σειριακής επικοινωνίας, το bit που θα βρίσκεται η διεύθυνση του αισθητήρα και τον χρόνο ανάγνωσης των μετρήσεων.



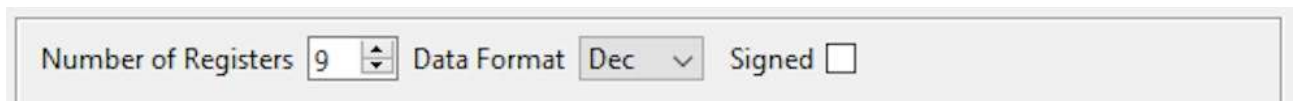
Modbus Mode RTU Slave Addr Scan Rate (ms) 1000

Ακριβώς από κάτω, εμφανίζεται η επιλογή του είδους των καταχωρήτων που αποθηκεύεται η πληροφορία που μεταφέρεται από τον αισθητήρα. Στην περίπτωση που σκοπός είναι μόνο η ανάγνωση των δεδομένων του αισθητήρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι καταχωρητές εισόδου ανάγνωσης (read input registers) είτε οι καταχωρητές ανάγνωσης αναμονής (read holding registers), τα δεδομένα των οποίων αποθηκεύονται και μπορούν να χρησιμοποιούν από άλλες συσκευές ενός συστήματος. Ακολουθεί η διεύθυνση του bit των καταχωρητών, δηλαδή του πρώτου μετά της διεύθυνσης του id του αισθητήρα σε δεκαδικό σύστημα.



Function Code Read Input Registers (0x04) Start Address 1 Dec

Στην επόμενη ρύθμιση επιλέγεται, ο αριθμός των καταχωρητών, στους οποίους αποθηκεύονται οι μετρήσεις και το σύστημα αρίθμησης. Ο αριθμός τους εξαρτάται από τον αισθητήρα και τις μετρήσεις που μπορεί να μεταφέρει. Για τον συγκεκριμένο αισθητήρα εδάφους πέρα από τις 7 βασικούς παράγοντες που μετρά, χρησιμοποιούνται και άλλες διευθύνσεις για χαρακτηριστικά του εδάφους που βασίζονται στις βασικές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα η αλατότητα.



Number of Registers 9 Data Format Dec Signed

Στην επόμενη επιφάνεια, εμφανίζονται οι μετρήσεις του αισθητήρα, με τις τιμές στο δεκαδικό σύστημα. Η κάθε τιμή αντιστοιχεί και σε μία διεύθυνση καταχωρητή, οι οποίες με την σειρά τους αντιστοιχούν σε κάποιον μετρήσιμο παράγοντα του εδάφους.

134	257	171	30	0	39	31	94	85	x
-----	-----	-----	----	---	----	----	----	----	---

Code	8-bit binary
Data bit	8-bit
Parity bit	Do not
Stop bit	1 digit
Error checking	CRC (Redundant Cyclic Code)
Baud rate	Can be set to 2400bit/s, 4800bit/s, 9600bit/s, the factory default value is 4800bit/s

Εικόνα 3.7 Βασικά χαρακτηριστικά επικοινωνίας

Τα δεδομένα που επιστρέφει ο αισθητήρας αποτελούνται από n bytes, καθώς ένας αισθητήρας, μπορεί να έχει την δυνατότητα να μεταφέρει περισσότερα δεδομένα.

Slave machine response frame structure:

address code	function code	Number of valid bytes	Data area	Second data area	Nth data area	Check code
1 byte	1 byte	1 byte	2 byte	2 byte	2 byte	2 byte

Εικόνα 3.8 Δομή πακέτου μεταφοράς δεδομένων αισθητήρα

Για να γίνει η κατάλληλη αντιστοίχιση των δεδομένων, ως προς το τι εκφράζουν, υπάρχουν ενδεικτικοί πίνακες για παρόμοιους αισθητήρες που παρουσιάζουν τις αντίστοιχες διευθύνσεις των καταχωρητών και το τι ερμηνεύουν.

Register Address	PLC or Configuration Address	Content	Operation
0006H	40007(40007)	PH Values (unit 0.01pH)	Read-Only
0012H	40013(40019)	Soil Moisture(unit 0.1%RH)	Read-Only
0013H	40014(40020)	Soil Temperature(unit 0.1°C)	Read-Only
0015H	40016(40022)	Soil Conductivity(unit 1us/cm)	Read-Only
001EH	4001F(40031)	Soil Nitrogen (unit mg/kg)	Read-Only
001FH	40020(40032)	Soil Phosphorus (unit mg/kg)	Read-Only
0020H	40021(40033)	Soil Potassium (unit mg/kg)	Read-Only
0100H	40101(40257)	Equipment Address (0-255)	Read & Write
0101H	40102(40258)	Baud Rate (2400/4800/9600)	Read & Write

Register address	PLC or configuration address	Content	Operation	Definition description
0000 H	40001 (Decimal)	Moisture content	Read only	Real-time value of water content (expanded by 10 times)
0001 H	40002 (Decimal)	Temperature value	Read only	Real-time temperature value (expanded 10 times)
0002 H	40003 (Decimal)	Conductivity	Read only	Real-time conductivity value
0003 H	40004 ((Decimal))	PH value	Read only	PH real-time value (expanded ten times)
0004H	nitrogen	Real-time value of nitrogen content	0004H	nitrogen
0005H	phosphorus	Phosphorus content real-time value	0005H	phosphorus
0006H	Potassium	Potassium content real-time value	0006H	Potassium
0007 H	40005 (Decimal)	salinity	Read only	Salinity real-time value
0008 H	40006 (Decimal)	Total dissolved solids TDS	Read only	TDS Real-time value
0022 H	40035 (Decimal)	Conductivity temperature coefficient	Read and write	0-100 corresponds to 0.0%-10.0% Default 0.0%

Εικόνα 3.9 Ενδεικτικές διευθύνσεις καταχωρητών που αφορούν τα μετρούμενα μεγέθη

Όσον αφορά τον αισθητήρα που χρησιμοποιήθηκε κατά την έρευνα, οι διευθύνσεις αυτές για τα μετρούμενα μεγέθη διαπιστώθηκαν μέσω δοκιμών στο εργαστήριο.

Register address	PLC or Configuration address	Content	Operation	Definition description
0000H	40001(Decimal)	Moisture content	Read only	Real time value of water content (expanded by 10 times)
0001H	40002(Decimal)	Temperature value	Read only	Real time value of temperature (expanded by 10 times)
0002H	40003(Decimal)	Conductivity	Read only	Real time conductivity value
0003H	40004(Decimal)	pH value	Read only	Real time value of pH (expanded by 10 times)
0005H	nitrogen	Real time value of nitrogen content	0005H	nitrogen
0006H	phosphorus	Real time value of phosphorus content	0006H	phosphorus
0007H	potassium	Real time value of potassium content	0007H	potassium
0008H	40005(Decimal)	Salinity	Read only	Real time value of salinity

Πίνακας 3-1 Διευθύνσεις καταχωρητών αισθητήρα

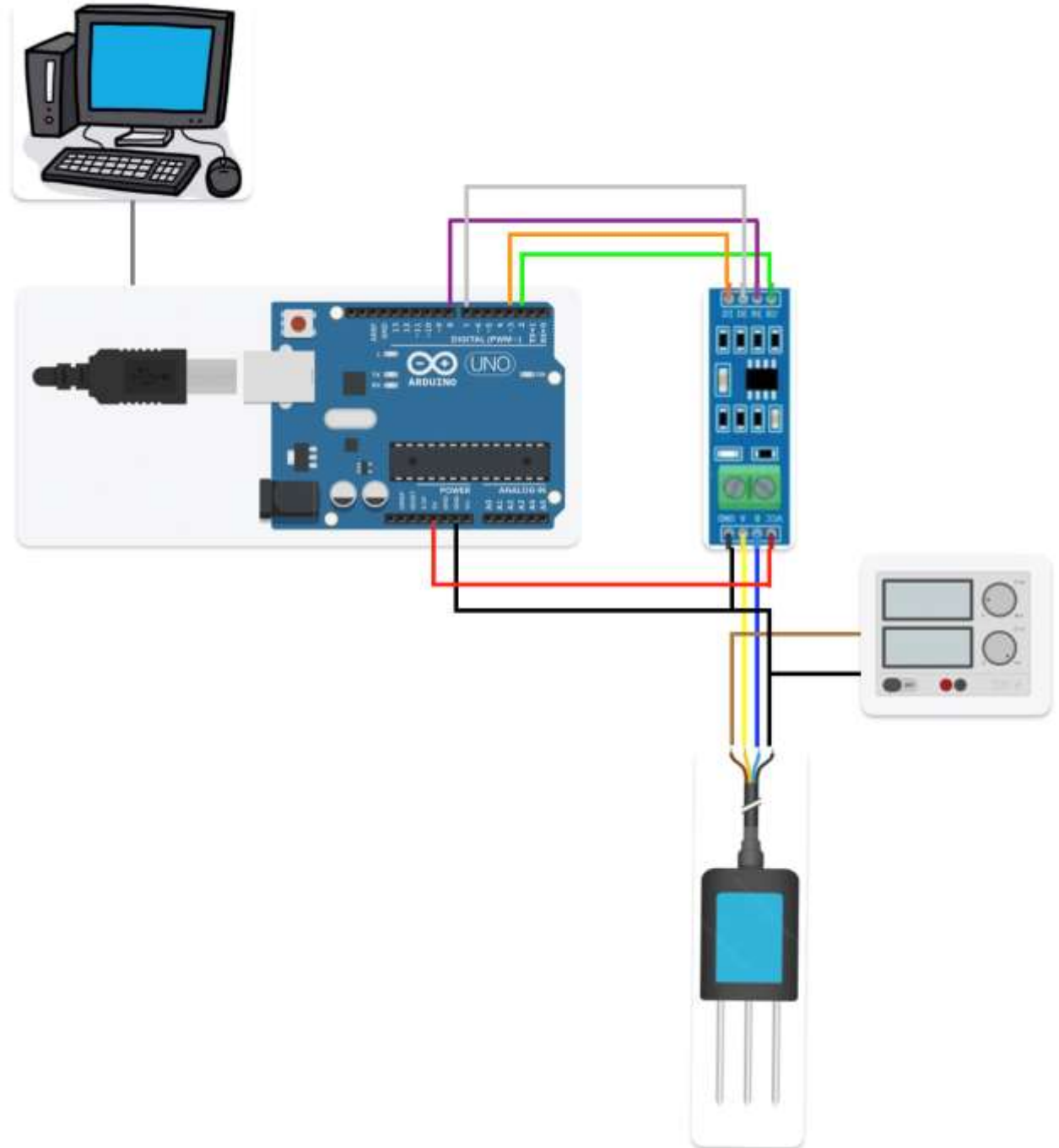
Υγρασία	% , ποσοστό
Θερμοκρασία	°C
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	μS/cm
pH	
Νιτρικό Άζωτο	Mg/Kg ή ppm
Φώσφορος	Mg/Kg ή ppm
Κάλιο	Mg/Kg ή ppm
Άλατα	μS/cm

Πίνακας 3-2 Μονάδες μέτρησης μεγεθών

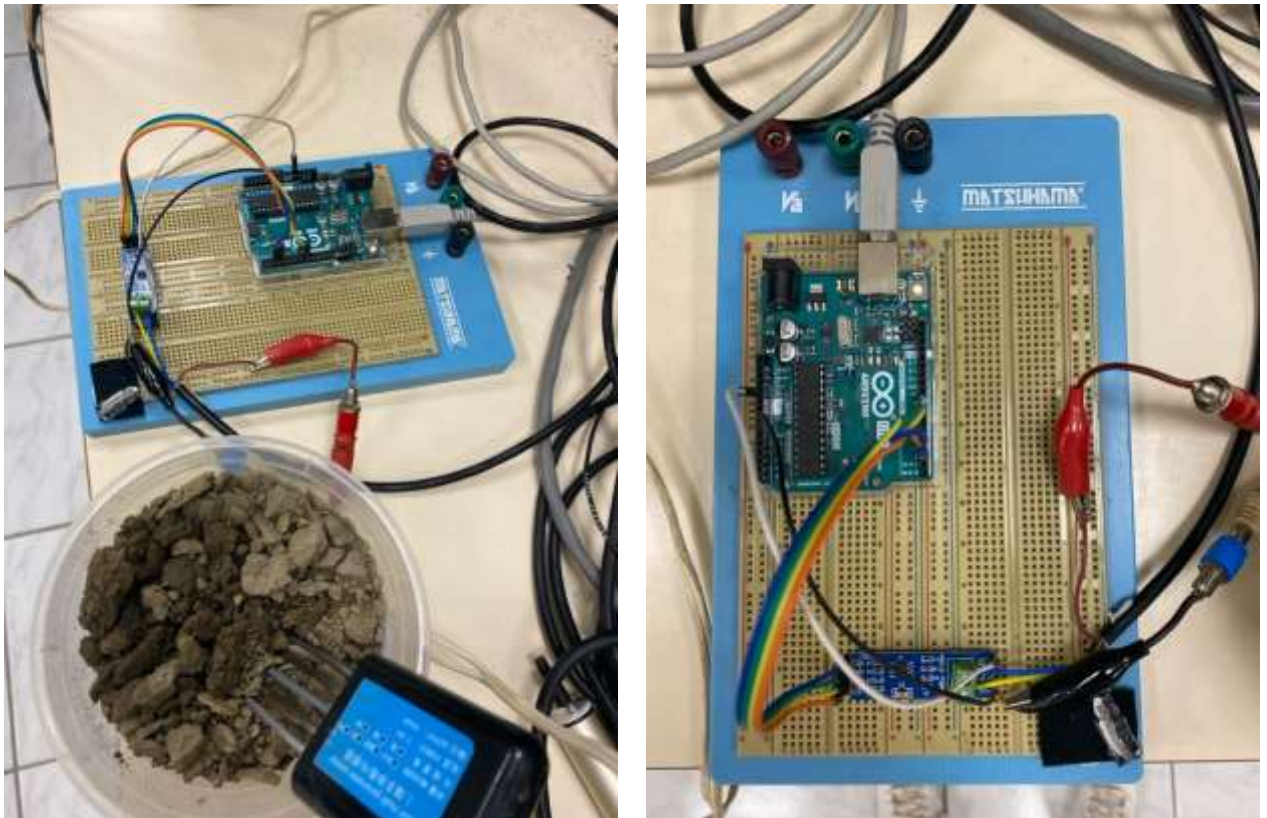
Να τονιστεί πως η μονάδα ppm , δηλαδή parts per million που αφορά την αναλογία μάζας επί το εκατομμύριο (10^6). Όμως 10^6 milligrams ισούνται με 1kg. Οπότε και το 1mg/kg είναι ισοδύναμο με το 1ppm.

3.2 Σύστημα αισθητήρα με την χρήση Arduino

3.2.1 Διάταξη



Εικόνα 3.10 Διάταξη με την χρήση Arduino



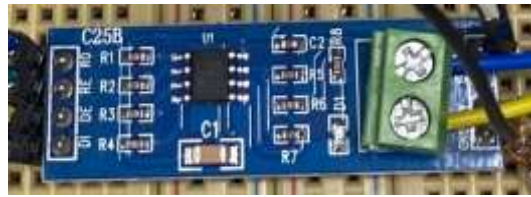
Εικόνα 3.11 Φυσική διάταξη αισθητήρα με ARDUINO

Την διάταξη αυτή, δομούν :

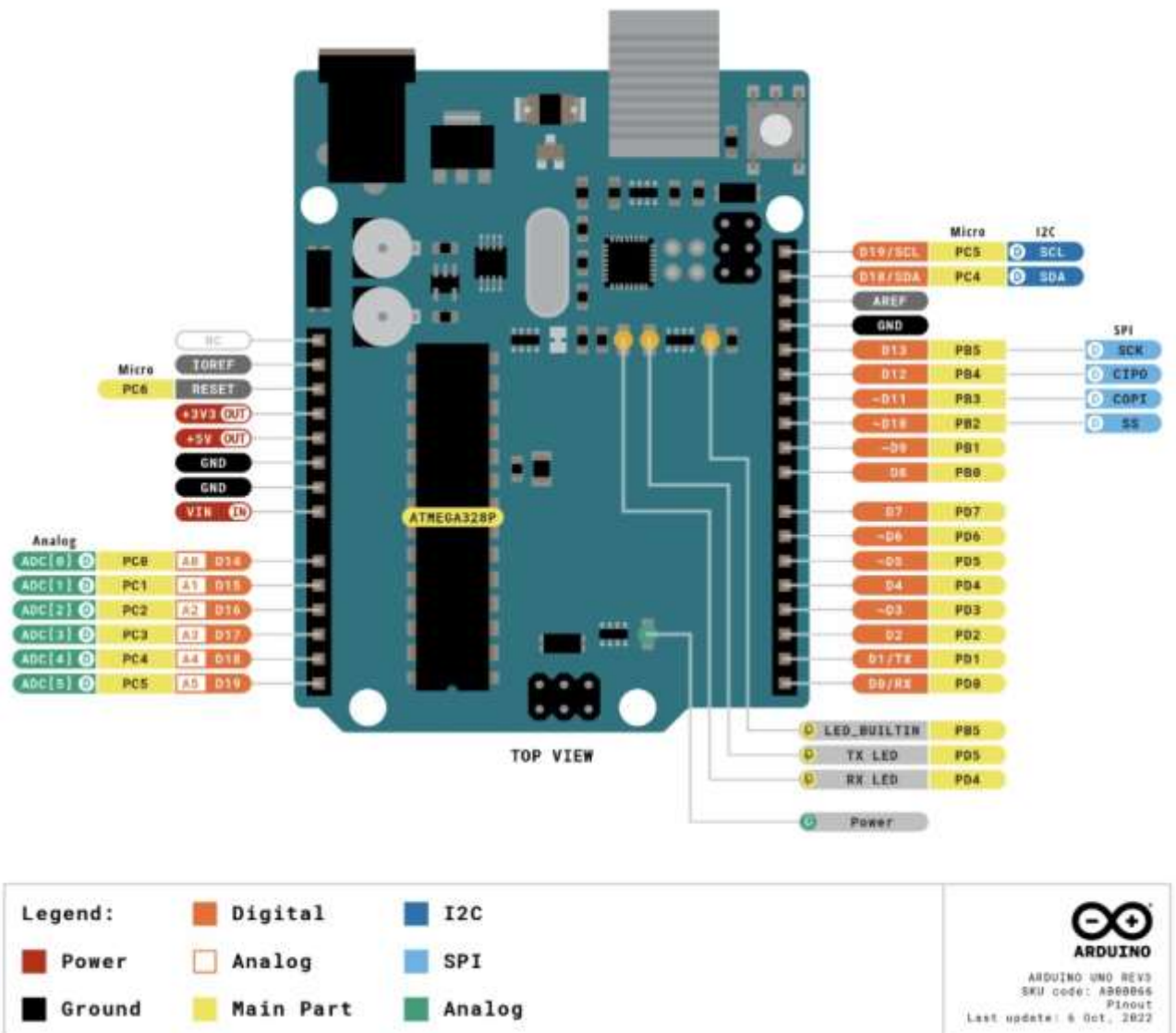
- Ο αισθητήρας εδάφους
- Το τροφοδοτικό
- Πλακέτα Arduino Uno
- Μονάδα πομποδέκτη RS-485 σε UART
- Υπολογιστής



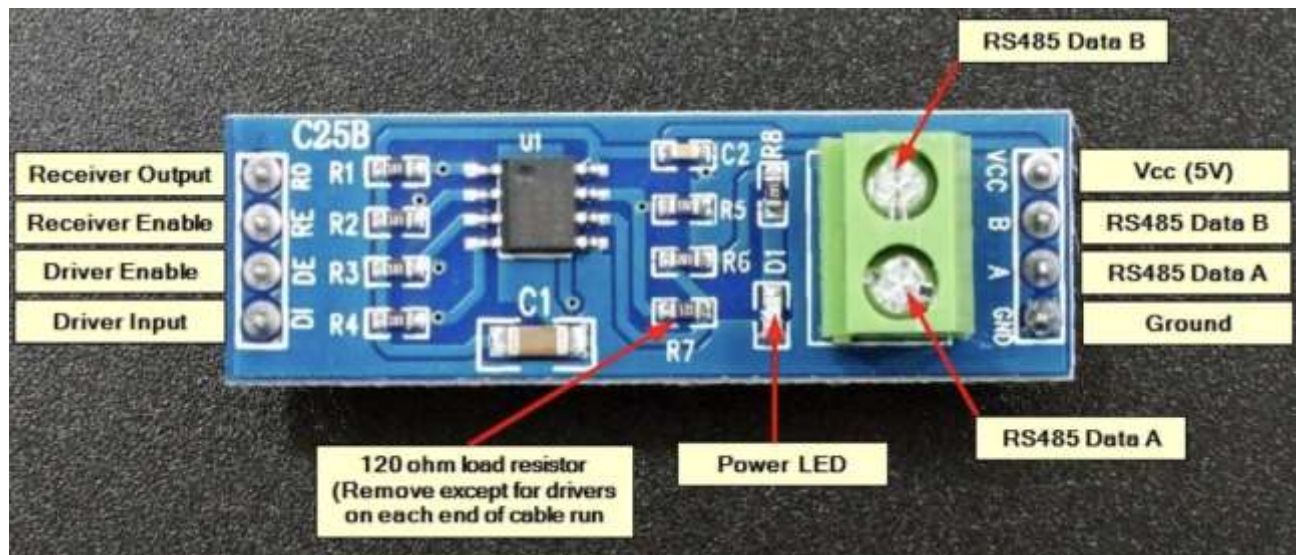
Εικόνα 3.12 Πλακέτα Arduino Uno



Εικόνα 3.13 Μονάδα πομποδέκτη RS-485 σε UART



Εικόνα 3.14 Διάγραμμα pinout πλακέτας Arduino Uno



Εικόνα 3.15 Pinout διάγραμμα μετατροπέα RS-485 σε UART

3.2.2 Πρόγραμμα ερμηνείας δεδομένων

Για να μπορούν να δοθούν οι απαραίτητες εντολές στον μικροελεγκτή του Arduino, έτσι ώστε να έρθει σε επικοινωνία με τον πομποδέκτη και κατά σειρά με τον αισθητήρα για να ληφθούν οι μετρήσεις, θα πρέπει να γραφτεί κομμάτι κώδικα που να καθορίζει την επικοινωνία. Για την επικοινωνία χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Modbus RTU, που είναι της μορφής master-slave. Στην προκειμένη περίπτωση master θεωρείται το Arduino και slave ο αισθητήρας. Ο τρόπος λειτουργίας της επικοινωνίας αυτής, έχει να κάνει με την αίτηση του master στον slave και η απάντηση του slave στον master.



Εικόνα 3.16 Μορφή μηνύματος Modbus RTU



Εικόνα 3.17 Μορφή μηνύματος request-response



Εικόνα 3.18 Παράδειγμα response Νιτρικού Αζώτου

Η τιμή του Νιτρικού αζώτου είναι η 0x0020 στο δεκαεξαδικό σύστημα, άρα αντιστοιχεί στην τιμή 32 στο δεκαδικό .

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στον μικροελεγκτή του Arduino είναι:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>

// RE and DE Pins set the RS485 module
// to Receiver or Transmitter mode
#define RE 8
#define DE 7

// Modbus RTU requests for reading NPK values
const byte temp[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x13, 0x00, 0x01, 0x75, 0xcf};
const byte mois[] = {0x01,0x03,0x00,0x12,0x00,0x01,0x24,0x0F};
const byte econ[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x15, 0x00, 0x01, 0x95, 0xce};
const byte ph[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x06, 0x00, 0x01, 0x64, 0x0b};
const byte nitro[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1e, 0x00, 0x01, 0xe4, 0x0c};
const byte phos[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x01, 0xb5, 0xcc};
const byte pota[] = {0x01,0x03, 0x00, 0x20, 0x00, 0x01, 0x85, 0xc0};

// A variable used to store NPK values
byte values[11];

// Sets up a new SoftwareSerial object
// Digital pins 2 and 3 should be used with a Mega or Mega 2560
SoftwareSerial mod(2, 3);
//SoftwareSerial mod(2, 3);

void setup() {
  // Set the baud rate for the Serial port
  Serial.begin(9600);

  // Set the baud rate for the SerialSoftware object
  mod.begin(9600);

  // Define pin modes for RE and DE
  pinMode(RE, OUTPUT);
  pinMode(DE, OUTPUT);

  delay(500);
}
```

```
void loop() {
  // Read values
  byte val1, val2, val3, val4, val5, val6, val7;
  val1 = temperature()/10.0;
  delay(250);
  val2 = moisture()/10.0;
  delay(250);
  val3 = econductivity();
  delay(250);
  val4 = ph()/10.0;
  delay(250);
  val5 = nitrogen();
  delay(250);
  val6 = phosphorous();
  delay(250);
  val7 = potassium();
  delay(250);

  // Print values to the serial monitor
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(val1/);
  Serial.println(" C");
  Serial.print("Moisture: ");
  Serial.print(val2);
  Serial.println(" %");
  Serial.print("Electrical Conductivity: ");
  Serial.print(val3);
  Serial.println(" uS/cm");
  Serial.print("pH: ");
  Serial.print(val4);
  Serial.println(" ");
  Serial.print("Nitrogen: ");
  Serial.print(val5);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Phosphorous: ");
  Serial.print(val6);
  Serial.println(" mg/kg");
  Serial.print("Potassium: ");
  Serial.print(val7);
  Serial.println(" mg/kg");

  delay(2000);
}

byte temperature(){
  digitalWrite(DE,HIGH);
  digitalWrite(RE,HIGH);
  delay(10);
  if(mod.write(temp,sizeof(temp))==8){
    digitalWrite(DE,LOW);
    digitalWrite(RE,LOW);
    for(byte i=0;i<7;i++){
      //Serial.print(mod.read(),HEX);
      values[i] = mod.read();
    }
  }
}
```



```
        Serial.print(values[i],HEX);
    }
    Serial.println();
}
return values[4];
}

byte moisture(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(moist,sizeof(moist))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}

byte econductivity(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(econ,sizeof(econ))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}

byte pH(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(ph,sizeof(ph))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
}
```

```
    return values[4];
}

byte nitrogen(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(nitro,sizeof(nitro))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}

byte phosphorous(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(phos,sizeof(phos))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}

byte potassium(){
    digitalWrite(DE,HIGH);
    digitalWrite(RE,HIGH);
    delay(10);
    if(mod.write(pota,sizeof(pota))==8){
        digitalWrite(DE,LOW);
        digitalWrite(RE,LOW);
        for(byte i=0;i<7;i++){
            //Serial.print(mod.read(),HEX);
            values[i] = mod.read();
            Serial.print(values[i],HEX);
        }
        Serial.println();
    }
    return values[4];
}
```

Στις πρώτες γραμμές γίνεται η προσθήκη των απαραίτητων βιβλιοθηκών για την σειριακή και I2C επικοινωνία, όπως και ορίζονται οι αριθμοί των pins για το RE(Receive Enable) και DE(Driver Enable) που χρησιμοποιούνται για την RS-485 επικοινωνία. Στην συνέχεια ορίζονται οι πίνακες που περιέχουν συγκεκριμένη διευθυνσιοδότηση bytes που αφορούν το request μήνυμα για κάθε μετρούμενο μέγεθος του αισθητήρα. Όπως και η αρχικοποίηση πίνακα byte που συγκρατεί τις τιμές των απαντήσεων του αισθητήρα. Τα pins 2 και 3 ορίζονται για την χρησιμοποίησή τους για την σειριακή επικοινωνία μέσω λογισμικού. Στο μπλοκ κώδικα που αφορά την συνάρτηση setup καθορίζεται ο αριθμός των αλλαγών του σήματος ανά δευτερόλεπτο, για τις σειριακές πόρτες των hardware και software, αλλά και ορίζονται ως έξοδοι τα pins RE και DE. Ύστερα, ακολουθεί το κύριο κομμάτι του κώδικα, στο οποίο πραγματοποιούνται οι συνεχόμενες αιτήσεις και απαντήσεις του αισθητήρα για το κάθε μετρούμενο μέγεθος αποθηκεύοντας την τιμή μέσω συναρτήσεων. Στο byte της κάθε συνάρτησης, παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία για την λήψη και ανάγνωση της τιμής. Στην αρχή της κάθε συνάρτησης καθορίζεται ότι η συνάρτηση θα επιστρέφει ένα byte, δηλαδή έναν 8-bit unsigned ακέραιος, δηλαδή αφορά μόνο θετικές τιμές. Ακολούθως οι ψηφιακοί έξοδοι RE και DE θέτονται HIGH γνωστοποιώντας ότι θα χρησιμοποιηθεί ο δίαυλος επικοινωνίας για την μεταφορά και την ανάγνωση των δεδομένων. Ύστερα, τα δεδομένα αποθηκεύονται στους πίνακες που βρίσκονται στην αρχή του κώδικα που αποτελούσαν τα μηνύματα αιτήσεων για την ανάγνωση μετρήσεων του αισθητήρα, στέλνονται εφόσον ο αριθμός των bytes ισοδυναμεί με 8. Θέτοντας ξανά τα DE και RE στο LOW, τότε παύει να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ του Arduino και του αισθητήρα. Για την ανάγνωση των δεδομένων που αποθηκεύτηκαν χρησιμοποιείται συνθήκη επανάληψης. Ο βρόχος διαβάζει 7 bytes δεδομένων από αυτά που στάλθηκαν από τον αισθητήρα. Κάθε φορά, αποθηκεύεται στον πίνακα values. Τυπώνεται η τιμή στο δεκαεξαδικό σύστημα. Τέλος η συνάρτηση, επιστρέφει το πέμπτο byte του πίνακα values, στο οποίο περιέχονται και τα δεδομένα των μετρήσεων. Οι τελικές τιμές που τυπώνονται βρίσκονται στο κύριο του κώδικα πριν την δημιουργία των συναρτήσεων. Εκεί μεταφέρονται οι επιστρεπτές τιμές από τις συναρτήσεις και ύστερα εμφανίζονται με τις αντίστοιχες πληροφορίες του κάθε μεγέθους. Ο κώδικας αυτός είναι ικανός να μετρήσει τιμές θρεπτικών μέχρι και 255 mg/Kg καθώς, διαβάζονται 8bit τιμές.

3.3 Πρωτόκολλο μέτρησης

Για την μέτρηση του κάθε δείγματος με την χρήση του αισθητήρα, θα πρέπει προηγηθεί μία προεργασία του δείγματος. Συγκεκριμένα, αν η υφή του χώματος είναι αμμώδης και υπάρχουν μηδενικά ποσοστά υγρασίας, τότε ο αισθητήρας αδυνατεί να λάβει μετρήσεις από το χώμα. Για τον λόγο αυτό, γίνεται συγκεκριμένη επιλογή αναλογίας χώματος και νερού.

3.3.1 Πρώτη σειρά μετρήσεων (1Lt χώματος με περίπου 20% νερό), με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Το στάδιο των μετρήσεων χωρίστηκε σε δύο μέρη. Εκείνο που αφορά την προετοιμασία του δείγματος και εκείνου της λήψης των μετρήσεων, με στόχο την κατανόηση της συμπεριφοράς του αισθητήρα.

Προετοιμασία δείγματος εδάφους

Για το κάθε δείγμα χώματος επιλέχθηκε η συγκεκριμένη ποσότητα του 1 λίτρου. Η επιλογή αυτή οφείλεται στην διευκόλυνση ως προς το ποσοστό νερού που προστίθεται. Το δείγμα του χώματος απλώνεται σε επίπεδη επιφάνεια. Σταδιακά πραγματοποιείται ψεκάσμος στο δείγμα με νερό που αντιστοιχεί στο 20% της ποσότητας του χώματος, δηλαδή 200 mL. Κατά τον ψεκάσμο, γίνεται ανάδευση του δείγματος, έτσι ώστε να αυξηθεί η υγρασία του χώματος και να δημιουργηθεί ενιαίο μείγμα. Το μείγμα αυτό του χώματος, καταλήγει να γίνει πιο πηχτό. Η διαφορά αυτή στην υφή του χώματος είναι ικανή, για να μπορέσουν οι ακροδέκτες του αισθητήρα να έρθουν σε επαφή με το δείγμα και να λάβουν τις απαιτούμενες μετρήσεις. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο κάθε δείγμα, ξεχωριστά.



Εικόνα 3.19 Διαδικασία προετοιμασίας δείγματος

Χρονικό διάγραμμα μετρήσεων

Όσον αφορά το χρονικό περιθώριο για τις μετρήσεις, έπρεπε να εξεταστεί η συμπεριφορά του αισθητήρα με την πάροδο του χρόνου. Σε πρώτη φάση μετά την διαδικασία της προετοιμασίας του δείγματος, το δείγμα τοποθετήθηκε σε δοχείο για πέντε λεπτά. Οι ακροδέκτες του αισθητήρα βυθίζονται στο χώμα και τότε ενεργοποιείται το τροφοδοτικό, για να μπορέσει να γίνει η λήψη των μετρήσεων. Οι μετρήσεις του κάθε δείγματος καταγράφονταν σε συγκεκριμένο λεπτά, εντός της μιας ώρας. Συγκεκριμένα στα λεπτά 1', 2', 3', 4', 5', 7', 10', 12', 15', 20', 25', 30', 40', 50' και 60'. Επιπρόσθετα για κάθε δείγμα λήφθηκαν και δεύτερες μετρήσεις, καθώς γινόταν η παρόμοια διαδικασία μέτρησης μετά από 24 ώρες, όπου τα επίπεδα υγρασίας είχαν υποχωρήσει ως έναν βαθμό.

3.3.2 Δεύτερη σειρά μετρήσεων (1Lt χώματος με περίπου 50% νερό), με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Όπως και στην πρώτη σειρά μετρήσεων, για την μέτρηση των δειγμάτων πραγματοποιείται η κατάλληλη προεργασία του χώματος .

Προετοιμασία δείγματος εδάφους

Για το κάθε δείγμα χώματος επιλέχθηκε η συγκεκριμένη ποσότητα του 1 λίτρου. Η επιλογή αυτή οφείλεται στην διευκόλυνση ως προς το ποσοστό νερού που προστίθεται. Το δείγμα του χώματος απλώνεται σε επίπεδη επιφάνεια. Σταδιακά πραγματοποιείται ψεκασμός στο δείγμα με νερό που αντιστοιχεί περίπου στο 50% της ποσότητας του χώματος, δηλαδή 400-500 mL. Επειδή τα χώματα προέρχονται από διαφορετικά είδη εδάφους αντιδρούν διαφορετικά στην προσθήκη νερού. Αυτό σημαίνει πως κάποια χώματα χρειαστήκαν λιγότερο ή και παραπάνω νερό για να φτάσουν στην κατάλληλη υφή. Κατά τον ψεκασμό, γίνεται ανάδευση του δείγματος, έτσι ώστε να αυξηθεί η υγρασία του χώματος και να δημιουργηθεί ενιαίο μείγμα. Το μείγμα αυτό του χώματος, καταλήγει να γίνει πιο πηχτό και έτσι από την αμμώδη μορφή να εμφανίζεται μία πιο λασπώδης. Η διαφορά αυτή είναι ικανή, για να μπορέσουν οι ακροδέκτες του αισθητήρα να έρθουν σε επαφή με το δείγμα και να λάβουν τις απαιτούμενες μετρήσεις. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο κάθε δείγμα, ξεχωριστά.



Εικόνα 3.20 Τελική μορφή δείγματος προς μέτρηση

Καθώς η συμπεριφορά του αισθητήρα, όσον αφορά τις μετρήσεις στην πάροδο του χρόνου, εξετάστηκε στην πρώτη σειρά των μετρήσεων, σε αυτήν την σειρά δεν κρίθηκε αναγκαίο να ακολουθηθεί το πρώτο πρωτόκολλο μετρήσεων. Μετά την μεταφορά του δείγματος σε δοχείο και την καθίζηση του για πέντε λεπτά, πάρθηκαν άμεσα δέκα μετρήσεις για το κάθε δείγμα ξεχωριστά.

3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων

Τα δείγματα χώματος που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων στάλθηκαν σε συνεργασία με τον **Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό "Δήμητρα" - Hellenic Agricultural Organisation "Dimitra" - ELGO** και το **Ινστιτούτο Εδαφοϋδατικών Πόρων – Soil and Water Resources Institute – SWRI**. Πιο συγκεκριμένα στάλθηκαν 15 δείγματα των δύο με τρία κιλών το καθένα προς αξιολόγηση του αισθητήρα. Τα δείγματα αυτά προέρχονται από πέντε εδάφη Α, Β, C, D και Ε. Το κάθε δείγμα εδάφους έχει και από έναν δείκτη (1, 2, 3). Ο δείκτης αυτός αντιστοιχεί σε διαφορετική συγκέντρωση θρεπτικών στο ίδιο έδαφος.

3.4.1 Καταγραφή- Πίνακες μετρήσεων

ΠΕΡΙΟΧΗ	Μηχανική	ΑΜΜΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	ΙΛΥΣ	ρΗ πολτού	Ec	Ο.Ο.	CaCO ₃	ΝΙΤΡΙΚΑ
	Σύσταση	S%	C %	Si %		mS/cm	%	%	ppm
A1	SL	52	14	34	7,15	2,660	1,86	1,1	71,2
A2	SL	52	14	34	7,20	2,726	1,92	1,3	140,6
A3	SL	52	14	34	7,23	2,680	1,86	1,2	106,9
B1	L	30	22	48	7,46	3,072	2,18	3,1	44,9
B2	L	30	22	48	7,54	3,077	2,01	2,9	84,5
B3	L	30	22	48	7,53	2,904	1,99	3,1	123,3
C1	SiL	24	24	52	7,50	3,160	2,03	3,3	41,9
C2	SiL	24	24	52	7,51	3,140	2,32	3,0	107,7
C3	SiL	24	24	52	7,54	3,151	2,09	3,1	75,1
D1	SiCL	20	28	52	7,54	2,945	2,39	4,1	107,4
D2	SiCL	20	28	52	7,60	2,937	2,25	3,9	168,7
D3	SiCL	20	28	52	7,57	3,038	2,35	4,0	176,3
E1	C	12	50	38	7,50	3,560	2,78	3,6	66,7
E2	C	12	50	38	7,57	3,475	2,91	3,7	94,8
E3	C	12	50	38	7,56	3,344	2,88	3,7	64,5

Πίνακας 3-3 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 1^ο

ΝΙΤΡΙΚΟ ΑΖΩΤΟ	ΦΩΣΦΟΡΟΣ	ΚΑΛΙΟ	Εναλλακ. Mg	Εναλλακ. Ca	Fe	Zn	Mn
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
16,07	17,19	119,82	218,60	>2000	43,40	1,10	25,78
31,75	20,81	137,10	223,58	>2000	40,98	1,12	25,59
24,13	31,31	146,36	219,22	>2000	41,13	1,19	26,56
10,13	24,47	153,38	330,14	>2000	25,27	0,60	11,78
19,07	30,51	159,16	324,29	>2000	25,30	0,64	11,77
27,83	28,37	178,60	330,54	>2000	25,32	0,76	11,76
9,47	23,65	186,97	400,31	>2000	27,76	0,65	13,11
24,31	30,30	209,34	402,74	>2000	26,62	0,70	12,92
16,95	34,81	204,69	389,36	>2000	27,61	0,70	13,10
24,26	32,14	254,30	426,53	>2000	25,89	0,74	12,95
38,09	41,16	281,12	413,67	>2000	25,63	0,76	12,93
39,80	45,53	312,35	408,01	>2000	24,73	0,73	13,01
15,06	29,49	410,76	715,89	>2000	30,58	0,90	15,45
21,40	37,33	437,07	735,87	>2000	31,10	0,85	17,92
14,57	41,24	483,38	746,29	>2000	31,15	1,03	17,47

Πίνακας 3-4 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 2^ο

Cu	Na	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	ΟΛΙΚΟ ΑΖΩΤΟ
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	N %
2,62	85,52	0,103	0,074	0,018	0,719	1,824	0,106
2,59	97,01	0,096	0,077	0,018	0,705	1,789	0,108
2,54	82,44	0,096	0,075	0,017	0,694	1,766	0,105
4,65	112,59	0,089	0,043	0,008	0,622	2,898	0,107
4,59	104,54	0,089	0,043	0,008	0,623	2,832	0,109
4,67	121,27	0,088	0,041	0,008	0,597	2,787	0,089
5,21	134,21	0,092	0,046	0,009	0,634	3,000	0,101
5,16	143,58	0,093	0,046	0,009	0,629	3,006	0,139
5,24	140,09	0,096	0,047	0,008	0,654	3,060	0,122
5,23	130,09	0,121	0,036	0,009	0,602	3,342	0,104
5,25	130,00	0,122	0,036	0,009	0,586	3,316	0,127
5,12	122,71	0,118	0,036	0,008	0,588	3,324	0,130
7,15	91,23	0,109	0,071	0,010	0,996	4,056	0,148
7,24	45,00	0,109	0,070	0,009	1,013	4,111	0,143
7,38	78,68	0,116	0,071	0,010	1,030	4,259	0,149

Πίνακας 3-5 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 3^ο

ΦΩΣΦΟ-ΡΟΣ	ΚΑΛΙΟ	Mg	Ca	Fe	Zn	Mn
Ολικές ppm						
492,8	3389	4202	9439	11300	41,01	382,6
493,1	3397	4235	8525	11190	40,61	383
503,4	3381	4210	8832	11180	42,25	429
642	2648	5426	22410	14110	48,87	518,6
653,5	2680	5340	21850	14080	48,61	529
647	2640	5365	20980	13900	49,19	507,3
610,2	2886	5540	20850	14670	51,8	592,8
651,5	2942	5553	21750	14770	53,46	591,9
645,6	2848	5545	20710	14380	52,93	555,1
698,5	3045	5807	26700	15530	57,65	673,9
709,3	3152	5892	27831	16725	59,34	666,34
711,4	3015	5932	27925	15734	61,25	682,33
640,9	4110	12260	22970	31080	68,37	819,8
616,2	4007	12930	22310	31970	66,26	810,1
641,9	4014	12660	22070	31950	67,32	777,5

Πίνακας 3-6 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 4^ο

Cu	Na	Cd	Co	Cr	Ni	Pb
Ολικές ppm						
19,16	210,5	0,237	7724	47,75	37,56	13,79
18,29	205,6	0,231	7613	49,88	38,75	13,21
18,33	204,8	0,271	8038	48,7	38,42	14,47
33,07	269,5	0,406	11,33	45,51	51,39	22,49
32,22	286,2	0,392	11,46	45,07	52,3	22,11
33,71	290,9	0,36	11,33	44,76	51,38	22,03
36,32	303,3	0,455	12,26	45,6	54,35	24,39
37,92	313,9	0,46	12,3	46,77	55,34	25,29
36,22	296,1	0,429	12,03	44,81	53,55	23,57
41,99	296,9	0,582	13,8	57,63	70,92	28,87
42,45	282,43	0,656	14,23	59,54	68,32	29,55
44,32	300,23	0,612	14,69	55,65	68,99	27,13
52,04	537,7	0,686	15,89	57,62	78,13	38,11
52,43	530,4	0,699	15,86	57,49	77,48	36,94
51,38	534	0,691	16,05	56,85	78,5	36,53

Πίνακας 3-7 Μετρήσεις από ινστιτούτο ELGO-SWRI μέρος 5^ο

Έδαφος	pH πολτού	Ec	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
		mS/cm	ppm	ppm	ppm
A1	7,15	2,660	16,07	17,19	119,82
A2	7,20	2,726	31,75	20,81	137,10
A3	7,23	2,680	24,13	31,31	146,36
B1	7,46	3,072	10,13	24,47	153,38
B2	7,54	3,077	19,07	30,51	159,16
B3	7,53	2,904	27,83	28,37	178,60
C1	7,50	3,160	9,47	23,65	186,97
C2	7,51	3,140	24,31	30,30	209,34
C3	7,54	3,151	16,95	34,81	204,69
D1	7,54	2,945	24,26	32,14	254,30
D2	7,60	2,937	38,09	41,16	281,12
D3	7,57	3,038	39,80	45,53	312,35
E1	7,50	3,560	15,06	29,49	410,76
E2	7,57	3,475	21,40	37,33	437,07
E3	7,56	3,344	14,57	41,24	483,38

Πίνακας 3-8 Δοσμένες μετρήσεις από το ινστιτούτο ELGO-SWRI που μπορούν να συγκριθούν με τα μεγέθη που μετρά ο αισθητήρας

Μετρήσεις με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Αζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
11,8	9,1	22,9	22,9	141	128	7,4	6,7	25	18	17	11	77	70
13,5	8,6	22,9	22,9	142	128	7,4	6,6	25	18	17	11	78	70
11,1	9,6	23	22,9	142	128	7,4	6,6	25	18	17	11	78	79
11,1	9,4	23	22,9	142	128	7,5	6,6	25	18	17	11	78	70
11,1	8,6	23	22,9	142	128	7,5	6,7	25	18	17	11	78	70
14	8,6	23	23	142	128	7,5	6,8	25	18	17	11	78	70
11,3	8,5	23	23	142	128	7,8	6,9	25	18	17	11	78	70
11,1	9	23,1	23,1	142	128	7,9	6,9	25	18	17	11	78	70
11,1	9	23,1	23,1	142	128	7,9	7,1	25	18	17	11	78	70
10,7	8,2	23,2	23,2	143	128	8	7,2	26	18	18	11	78	70
11,6	8,2	23,2	23,3	143	128	8,1	7,4	26	18	18	11	78	70
11,7	8,6	23,3	23,3	143	128	8,1	7,5	26	18	18	11	78	70
11,1	8,2	23,3	23,5	143	128	8,2	7,6	26	18	18	11	78	70
11,1	8,6	23,4	23,6	143	128	8,2	7,7	26	18	18	11	78	70

Πίνακας 3-9 Μετρήσεις εδάφους A1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
8,2	6,5	22,2	22,9	136	124	7,8	8,3	22	17	14	9	74	68
8,9	6,8	22,2	22,9	136	124	8,3	8,4	22	17	14	9	74	68
8,8	8	22,2	23	136	124	8,6	8,7	22	17	14	9	74	68
8,2	8,4	22,2	22,9	136	124	8,7	8,9	22	17	14	9	74	68
8,2	6,5	22,3	23	137	124	8,9	9	23	17	15	9	75	68
8,2	6,8	22,3	23	137	124	9	9	23	17	15	9	75	68
9	8,4	22,4	23	137	124	9	9	23	17	15	9	75	68
9	6,8	22,4	23	137	124	9	9	23	17	15	9	75	68
8,2	6,8	22,4	23	137	124	9	9	23	17	15	9	75	68
9,3	6,8	22,4	23,1	137	125	9	9	23	17	15	9	75	68
8,9	6,7	22,5	23,1	137	125	9	9	23	17	15	9	75	68
8,7	8,1	22,6	23,2	137	125	9	9	23	17	15	9	75	68
9,1	7,2	22,7	23,3	137	125	9	9	23	17	15	9	75	68

Πίνακας 3-10 Μετρήσεις εδάφους A2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
11,1	9,1	22,3	23,2	141	126	7,4	8,6	25	18	17	10	77	69
10,9	9,1	22,3	23,2	141	126	7,3	8,6	25	18	17	10	77	69
11,1	8,6	22,3	23,2	142	126	7,6	9	25	18	17	10	78	69
10,4	10,8	22,3	23,2	142	126	7,9	9	25	18	17	10	78	69
11,1	9,1	22,3	23,2	142	126	8,1	9	25	18	17	10	78	69
11,8	10,2	22,3	23,2	142	126	8,4	9	25	18	17	10	78	69
11,4	10,4	22,4	23,2	142	126	8,9	9	25	18	17	10	78	69
10,7	8,6	22,4	23,3	142	126	9	9	25	18	17	10	78	69
11,1	9,9	22,4	23,3	143	126	9	9	26	18	18	10	78	69
10	9	22,5	23,3	143	126	9	9	26	18	18	10	78	69
10,7	9,7	22,6	23,3	143	126	9	9	26	18	18	10	78	69
12,5	9,5	22,6	23,4	143	126	9	9	26	18	18	10	78	69
11,7	9,6	22,8	23,4	143	126	9	9	26	18	18	10	78	69
11,1	9	22,8	23,4	144	126	9	9	26	18	18	10	79	69

Πίνακας 3-11 Μετρήσεις εδάφους A3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
11,1	6,8	21,7	21,1	137	122	6,8	7,6	23	16	15	8	75	67
12,4	7,4	21,7	21,1	137	122	6,9	7,7	23	16	15	8	75	67
11,1	8,4	21,7	21,1	137	122	7	7,7	23	16	15	8	75	67
11,8	6,8	21,7	21,1	137	122	7	7,8	23	16	15	8	75	67
12,4	7,4	21,7	21,2	137	122	7,1	7,8	23	16	15	8	75	67
12,5	8,3	21,7	21,2	137	122	7,2	7,9	23	16	15	8	75	67
11,1	7,6	21,8	21,2	137	122	7,4	8,1	23	16	15	8	75	67
11,8	8,9	21,7	21,3	137	122	7,5	8,2	23	16	15	8	75	67
11,4	7,6	21,8	21,3	137	122	7,6	8,4	23	16	15	8	75	67
11,2	6,8	21,8	21,4	138	122	7,8	8,6	23	16	15	8	75	67
11,6	7,1	21,9	21,5	138	122	7,9	8,8	23	16	15	8	75	67
11,8	6,8	21,9	21,6	138	122	8	9	23	16	15	8	75	67
12,3	7,6	22	21,7	138	122	8,1	9	23	16	15	8	75	67
11,3	6,8	22,1	21,8	138	122	8,3	9	23	16	15	8	75	67

Πίνακας 3-12 Μετρήσεις εδάφους B1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
10,5	4,8	22	22,4	141	120	7,6	7,5	25	15	17	7	77	66
9,9	5,4	22	22,4	141	120	7,7	7,5	25	15	17	7	77	66
10,4	5	22	22,4	141	120	7,8	7,6	25	15	17	7	77	66
9,3	5,9	22	22,4	141	120	7,8	7,6	25	15	17	7	77	66
9,6	5,6	22	22,4	141	120	7,9	7,7	25	15	17	7	77	66
10,4	6,4	22,1	22,4	141	120	8,1	7,8	25	15	17	7	77	66
9,3	5,6	22,1	22,5	141	120	8,3	8	25	15	17	7	77	66
11,2	5,4	22,1	22,5	141	120	8,4	8,2	25	15	17	7	77	66
11	5	22,1	22,5	141	120	8,5	8,3	25	15	17	7	77	66
10	6,5	22,1	22,5	141	120	8,7	8,5	25	15	17	7	77	66
11,7	4,9	22,1	22,5	141	120	8,8	8,7	25	15	17	7	77	66
9,9	5,6	22,2	22,5	141	120	8,9	8,9	25	15	17	7	77	66
9,9	6,8	22,2	22,5	141	120	9	9	25	15	17	7	77	66
11	5,4	22,2	22,5	141	120	9	9	25	15	17	7	77	66

Πίνακας 3-13 Μετρήσεις εδάφους B2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
7,6	7,7	21,9	21,3	135	124	7	7,6	22	17	14	9	74	68
7,7	8,2	21,8	21,3	135	124	7,4	7,8	22	17	14	9	74	68
8,3	7,8	21,8	21,3	134	124	7,9	7,9	21	17	13	9	73	68
7,7	7,7	21,8	21,3	135	124	8,2	8	22	17	14	9	74	68
7,7	7,7	21,8	21,3	135	124	8,4	8,1	22	17	14	9	74	68
9,4	9,1	21,8	21,4	135	124	8,7	8,3	22	17	14	9	74	68
7,9	7,6	21,9	21,4	135	124	9	8,5	22	17	14	9	74	68
7,9	7,8	21,9	21,5	135	124	9	8,6	22	17	14	9	74	68
8,1	7,7	22	21,5	136	124	9	8,7	22	17	14	9	74	68
9	7,7	22,1	21,7	136	125	9	8,9	22	17	14	9	74	68
8,1	7,9	22,1	21,8	136	125	9	9	22	17	14	9	74	68
8,8	7,2	22,1	21,8	136	125	9	9	22	17	14	9	74	68
9,5	8,3	22,2	22	136	125	9	9	22	17	14	9	74	68
7,8	7,2	22,2	22,1	136	125	9	9	22	17	14	9	74	68

Πίνακας 3-14 Μετρήσεις εδάφους B3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
10	7,7	21,9	20,8	137	126	7,4	7,6	23	18	15	10	75	69
10,4	7,7	22	20,8	137	126	7,5	7,7	23	18	15	10	75	69
9,3	7,8	22	20,8	137	126	7,6	7,7	23	18	15	10	75	69
9,2	8,8	22	20,8	137	126	7,7	7,8	23	18	15	10	75	69
9,3	7,7	22	20,8	137	126	7,8	7,8	23	18	15	10	75	69
10,9	7,8	22	20,8	137	126	7,9	7,9	23	18	15	10	75	69
9,7	8,4	22	20,9	137	126	8,1	8	23	18	15	10	75	69
9,3	7,7	22,1	20,9	137	126	8,3	8,1	23	18	15	10	75	69
9,7	7,7	22,1	21	137	126	8,4	8,2	23	18	15	10	75	69
10,6	7,8	22,1	21,1	137	126	8,6	8,3	23	18	15	10	75	69
9,3	7,7	22,1	21,2	137	126	8,7	8,4	23	18	15	10	75	69
9,2	7,8	22,2	21,3	138	126	8,8	8,4	23	18	15	10	75	69
10,9	8,3	22,2	21,4	138	126	8,9	8,5	23	18	15	10	75	69
10,7	7,8	22,3	21,5	138	126	8,9	8,6	23	18	15	10	75	69

Πίνακας 3-15 Μετρήσεις εδάφους C1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
11,9	9,7	21,8	21,3	157	126	7,4	8,4	32	18	25	10	86	69
11,1	9,2	21,7	21,3	157	126	7,5	8,8	32	18	25	10	86	69
12	9,6	21,7	21,4	157	126	7,8	9	32	18	25	10	86	69
12,5	10,6	21,8	21,4	157	126	8	9	32	18	25	10	86	69
12,5	9,7	21,8	21,4	157	126	8,2	9	32	18	25	10	86	69
12,3	10,8	21,8	21,5	157	126	8,5	9	32	18	25	10	86	69
11,2	9,3	21,8	21,5	157	126	8,8	9	32	18	25	10	86	69
11,2	11,1	21,9	21,5	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69
11,3	10,7	21,9	21,6	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69
12,3	9,2	21,9	21,7	157	126	9	9	21	18	25	10	86	69
12,2	9,3	22	21,8	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69
11,1	9,5	22	21,9	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69
11,3	9,3	22,1	22	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69
12,2	9,7	22,2	22,1	157	126	9	9	32	18	25	10	86	69

Πίνακας 3-16 Μετρήσεις εδάφους C2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
8,2	9,1	22	21,7	143	131	7,2	7,3	26	20	18	12	78	72
7,9	8,2	22	21,6	143	131	7,5	7,5	26	20	18	12	78	72
8,2	9,6	22	21,6	142	131	7,8	7,7	25	20	17	12	78	72
9,6	8,6	21,9	21,6	138	131	7,3	7,9	23	20	15	12	75	72
10,4	10,4	22	21,6	138	131	7,4	8,2	23	20	15	12	75	72
10	8,5	22	21,6	139	131	8,1	8,7	24	20	16	12	76	72
10,6	8,2	22	21,7	139	131	8,8	9	24	20	16	12	76	72
11,8	8,8	22	21,7	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
10,2	9,6	22	21,7	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
10,5	8,6	22,1	21,8	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
9,6	8,2	22,1	21,8	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
10,7	8,9	22,1	21,9	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
9,6	8,4	22,2	22	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72
10,4	8,2	22,3	22,1	139	131	9	9	24	20	16	12	76	72

Πίνακας 3-17 Μετρήσεις εδάφους C3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
9,5	9,5	22,6	22,2	140	123	8,2	9	24	16	16	8	77	67
9,1	9,4	22,6	22,2	140	124	8,3	9	24	17	16	9	77	68
9,1	9	22,6	22,2	140	124	8,5	9	24	17	16	9	77	68
10,5	8,6	22,6	22,2	140	124	8,6	9	24	17	16	9	77	68
9,1	9	22,6	22,2	140	124	8,8	9	24	17	16	9	77	68
9,2	10,2	22,6	22,3	140	124	9	9	24	17	16	9	77	68
9,1	8,2	22,6	22,3	140	124	9	9	24	17	16	9	77	68
11,8	8,6	22,6	22,3	140	124	9	9	24	17	16	9	77	68
9,1	8,2	22,7	22,3	140	124	9	9	24	17	16	9	77	68
9,3	9	22,8	22,4	140	124	9	9	24	17	16	9	77	68
11,4	8,9	22,8	22,5	141	124	9	9	25	17	17	9	77	68
9,7	8,6	22,9	22,6	141	124	9	9	25	17	17	9	77	68
9,3	9,6	23	22,6	141	124	9	9	25	17	17	9	77	68
11	8,4	23	22,6	141	124	9	9	25	17	17	9	77	68

Πίνακας 3-18 Μετρήσεις εδάφους D1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
10,2	11,8	23,1	22,6	141	145	7,2	7,6	25	27	17	19	77	79
9,9	11,2	23,1	22,6	141	145	7,9	7,7	25	27	17	19	77	79
10,6	11,2	23,1	22,6	141	145	8,3	7,7	25	27	17	19	77	79
10,4	12,8	23,1	22,6	141	145	8,6	8,2	25	27	17	19	77	79
10,4	12,1	23,1	22,6	141	145	8,8	8,4	25	27	17	19	77	79
11,1	12,2	23,1	22,6	141	145	9	8,7	25	27	17	19	77	79
12,1	12	23,1	22,7	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
10,4	11,8	23,2	22,7	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
11,1	11,4	23,2	22,7	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
10,4	11,7	23,2	22,8	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
11,1	12,5	23,3	22,9	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
9,6	11,4	23,3	23	141	145	9	9	25	27	17	19	77	79
12,1	12,5	23,5	23,2	141	147	9	9	25	28	17	20	77	80
11,2	11,1	23,5	23,3	141	147	9	9	25	28	17	20	77	80

Πίνακας 3-19 Μετρήσεις εδάφους D2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
10,7	11,7	22,9	22,3	149	134	7,5	7,7	29	21	21	13	81	73
12,2	9,6	22,9	22,3	149	134	8,1	8,1	29	21	21	13	81	73
11,1	9,3	22,9	22,3	149	134	8,6	8,8	29	21	21	13	81	73
11,1	9,9	22,9	22,3	149	134	8,8	8,9	29	21	21	13	81	73
11,1	11,8	22,9	22,3	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
10,9	9,3	22,9	22,4	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
10	9,3	22,9	22,4	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
11,1	10,4	23	22,5	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
11,7	9,3	23	22,6	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
10	11	23,1	22,7	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
10	9,9	23,1	22,8	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
12,4	11	23,2	22,9	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
11,7	9,7	23,3	23,1	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73
12,4	9,3	23,4	23,3	149	134	9	9	29	21	21	13	81	73

Πίνακας 3-20 Μετρήσεις εδάφους D3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
11,2	9,6	22	22,1	136	127	7	6,8	22	18	14	10	74	69
12,5	11,1	22,1	22,1	136	127	7,1	6,8	22	18	14	10	74	69
11,2	9,8	22,1	22,1	136	127	7,2	6,8	22	18	14	10	74	69
11,8	11,1	22,1	22,1	136	127	7,3	6,8	22	18	14	10	74	69
11,1	9,6	22,1	22,1	136	127	7,3	6,8	22	18	14	10	74	69
12,7	10,4	22,1	22,1	136	127	7,4	6,9	22	18	14	10	74	69
11,4	9,6	22,1	22,2	136	127	7,5	6,9	22	18	14	10	74	69
12,5	10,4	22,1	22,2	136	127	7,6	7	22	18	14	10	74	69
12,3	11,4	22,1	22,2	136	127	7,7	7,1	22	18	14	10	74	69
11,4	9,6	22,1	22,2	136	127	7,8	7,3	22	18	14	10	74	69
11,6	10,4	22,1	22,3	136	127	7,9	7,5	22	18	14	10	74	69
11,8	11,4	22,1	22,3	136	127	8	7,6	22	18	14	10	74	69
12,7	10,2	22,1	22,4	136	128	8,1	7,9	22	18	14	11	74	70
11,8	14,1	22,1	22,4	136	128	8,2	8,2	22	18	14	11	74	70
11,2	11,1	22,1	22,5	136	128	8,4	8,4	22	18	14	11	74	70

Πίνακας 3-21 Μετρήσεις εδάφους E1 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
9,3	10	22,6	21,6	132	123	7,4	9	20	16	12	8	72	67
9,6	11,6	22,6	21,6	132	123	7,6	9	20	16	12	8	72	67
9,3	11,1	22,6	21,6	132	123	7,6	9	20	16	12	8	72	67
9,6	10,5	22,6	21,6	132	123	7,7	9	20	16	12	8	72	67
9,3	10,5	22,6	21,6	132	123	7,8	9	20	16	12	8	72	67
9,3	10,4	22,6	21,6	132	123	7,9	9	20	16	12	8	72	67
9,7	11,5	22,6	21,7	132	123	8,1	9	20	16	12	8	72	67
10	11,1	22,7	21,7	132	123	8,1	9	20	16	12	8	72	67
10,5	11,9	22,7	21,8	132	123	8,3	9	20	16	12	8	72	67
9,6	10,4	22,8	21,9	132	123	8,5	9	20	16	12	8	72	67
10	10,4	22,8	22	132	124	8,6	9	20	17	12	9	72	68
9,7	11,8	22,8	22,1	132	124	8,8	9	20	17	12	9	72	68
9,3	11,8	22,9	22,3	132	124	9	9	20	17	12	9	72	68
9,3	10,7	23	22,5	132	124	9	9	20	17	12	9	72	68
9,7	11,1	23,1	22,6	132	124	9	9	20	17	12	9	72	68

Πίνακας 3-22 Μετρήσεις εδάφους E2 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία		Θερμοκρασία		EC		pH		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
%		°C		μS/cm				ppm		ppm		ppm	
1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
10	10,2	22,3	21,1	130	123	6,9	8,2	19	16	11	8	71	67
9,9	10,9	22,4	21	130	124	6,8	8,3	19	17	11	9	71	68
11,8	11,7	22,3	21,1	130	130	6,8	7,4	19	19	11	11	71	71
11,1	10,4	22,3	21,1	130	130	6,8	7,6	19	19	11	11	71	71
9,3	11,1	22,3	21,1	130	130	6,9	7,8	19	19	11	11	71	71
9,6	11,1	22,3	21	130	132	6,9	7,3	19	20	11	12	71	72
10	12,5	22,3	21	130	132	6,9	8	19	20	11	12	71	72
10,4	11,6	22,3	21	130	132	6,9	8,3	19	20	11	12	71	72
9,5	11,8	22,3	21,1	130	132	7	8,6	19	20	11	12	71	72
9,6	11,1	22,3	21,2	130	132	7,2	8,9	19	20	11	12	71	72
11,8	11,3	22,4	21,3	130	133	7,5	9	19	21	11	13	71	73
11,4	11,1	22,4	21,4	131	133	7,7	9	20	21	12	13	72	73
9,6	11,1	22,4	21,4	131	133	8	9	20	21	12	13	72	73
9,6	11,3	22,3	21,7	131	133	8,3	9	20	21	12	13	72	73

Πίνακας 3-23 Μετρήσεις εδάφους E3 με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Έδαφος	pH		EC		Νιτρικό Άζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
			μS/cm		ppm		ppm		ppm	
A1	7,8	7,07	142,3	128	25,40	18,10	17,40	11,00	77,90	70,60
A2	8,82	8,88	136,8	124,4	22,70	17,00	14,70	9,00	74,70	68,00
A3	8,5	8,94	142,46	126	25,50	18,00	17,50	10,00	78,00	69,00
B1	7,53	8,3	137,4	122	23,00	16,00	15,00	8,00	75,00	67,00
B2	8,36	8,22	141	120	25,00	15,00	17,00	7,00	77,00	66,00
B3	8,57	8,49	135,42	124,4	21,93	17,00	13,93	9,00	73,93	68,00
C1	8,23	8,11	137,27	126	23,00	18,00	15,00	10,00	75,00	69,00
C2	8,54	8,94	157	126	31,27	18,00	25,00	10,00	86,00	69,00
C3	8,4	8,55	139,6	131	24,20	20,00	16,20	12,00	76,27	72,00
D1	8,82	9	140,33	123,93	24,33	16,93	16,33	8,93	77,00	67,93
D2	8,72	8,62	141	145,4	25,00	27,20	17,00	19,20	77,00	79,20
D3	8,8	8,83	149,06	134	29,00	21,00	21,00	13,00	81,07	73,00
E1	7,63	7,25	136	127,2	22,00	18,00	14,00	10,20	74,00	69,20
E2	8,22	9	132	123,33	20,00	16,33	12,00	8,33	72,00	67,33
E3	7,28	8,36	130,26	130,8	19,27	19,67	11,27	11,67	71,27	71,53

Πίνακας 3-24 Μέσες τιμές μετρήσεων θρεπτικών συστατικών με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Έδαφος	1 ^η σταθερά πολ/σμού βάση υγρασίας	2 ^η σταθερά πολ/σμού βάση υγρασίας	Νιτρικό Αζωτο		Φώσφορος		Κάλιο	
			ppm		ppm		ppm	
	1 ^η σειρά μετρήσεων	2 ^η σειρά μετρήσεων	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η	1 ^η	2 ^η
A1	1,00	1,07	25,40	19,43	17,40	11,81	77,90	75,77
A2	1,33	1,30	30,27	22,12	19,60	11,71	99,62	88,49
A3	1,05	1,00	26,66	18,00	18,30	10,00	81,56	69,00
B1	1,00	1,28	22,92	20,46	14,95	10,23	74,74	85,66
B2	1,13	1,69	28,34	25,42	19,27	11,86	87,29	111,85
B3	1,41	1,20	30,96	20,39	19,67	10,79	104,38	81,54
C1	1,18	1,20	27,13	21,56	17,70	11,98	88,48	82,64
C2	0,98	0,96	30,71	17,35	24,56	9,64	84,47	66,50
C3	1,18	1,08	28,58	21,51	19,13	12,90	90,07	77,42
D1	1,19	1,06	29,00	17,98	19,46	9,48	91,77	72,14
D2	1,09	0,80	27,20	21,84	18,50	15,41	83,78	63,58
D3	1,05	0,93	30,39	19,54	22,00	12,10	84,94	67,93
E1	0,98	0,89	21,65	16,00	13,77	9,06	72,81	61,50
E2	1,21	0,86	24,18	14,08	14,51	7,18	87,06	58,04
E3	1,13	0,84	21,80	16,59	12,75	9,84	80,64	60,34

Πίνακας 3-25 Τελικές μέσες τιμές θρεπτικών συστατικών μετρήσεων χαμηλού ποσοστού υγρασίας, πολλαπλασιασμένα με σταθερά βάση της υγρασίας

Οι τιμές του **πίνακα 3-25** για τα θρεπτικά συστατικά, προκύπτουν από τον πολλαπλασιασμό των τιμών των θρεπτικών συστατικών του **πίνακα 3-24** και της σταθεράς πολλαπλασιασμού βάση της υγρασίας. Ο παράγοντας της υγρασίας παρουσιάζεται καίριος, όσο αφορά την συμπεριφορά των θρεπτικών συστατικών. Για τον λόγο αυτό κρίθηκε, πως μπορούν να χρησιμοποιηθεί ως πολλαπλασιαστής η σταθερά αυτή, που προκύπτει με την συμπεριφορά της υγρασίας του κάθε εδάφους. Μέσω της συνάρτησης $MAX([\text{τιμή υγρασίας περιοχής εδάφους } 1,2,3]) / \text{τιμή υγρασίας του αντίστοιχου εδάφους}$, δηλαδή επιλέγεται η μέγιστη τιμή υγρασίας από τις τρεις του κάθε εδάφους και διαιρείται με το αντίστοιχο έδαφος της μέτρησης.

Έδαφος	Νιτρικό Αζωτο		Νιτρικό Αζωτο	Φώσφορος		Φώσφορος	Κάλιο		Κάλιο
	mg/kg		ppm	mg/kg		ppm	mg/kg		ppm
	1η	2η	X.A	1η	2η	X.A	1η	2η	X.A
A1	25,40	19,43	16,07	17,40	11,81	17,19	77,90	75,77	119,82
A2	30,27	22,12	31,75	19,60	11,71	20,81	99,62	88,49	137,10
A3	26,66	18,00	24,13	18,30	10,00	31,31	81,56	69,00	146,36
B1	22,92	20,46	10,13	14,95	10,23	24,47	74,74	85,66	153,38
B2	28,34	25,42	19,07	19,27	11,86	30,51	87,29	111,85	159,16
B3	30,96	20,39	27,83	19,67	10,79	28,37	104,38	81,54	178,60
C1	27,13	21,56	9,47	17,70	11,98	23,65	88,48	82,64	186,97
C2	30,71	17,35	24,31	24,56	9,64	30,30	84,47	66,50	209,34
C3	28,58	21,51	16,95	19,13	12,90	34,81	90,07	77,42	204,69
D1	29,00	17,98	24,26	19,46	9,48	32,14	91,77	72,14	254,30
D2	27,20	21,84	38,09	18,50	15,41	41,16	83,78	63,58	281,12
D3	30,39	19,54	39,80	22,00	12,10	45,53	84,94	67,93	312,35
E1	21,65	16,00	15,06	13,77	9,06	29,49	72,81	61,50	410,76
E2	24,18	14,08	21,40	14,51	7,18	37,33	87,06	58,04	437,07
E3	21,80	16,59	14,57	12,75	9,84	41,24	80,64	60,34	483,38

Πίνακας 3-26 Σύγκριση τιμών θρεπτικών αισθητήρα χαμηλού ποσοστού υγρασίας, με θρεπτικών χημικών αναλύσεων του κάθε εδάφους

Μετρήσεις με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
51	26,3	654	4,9	272	266	359
58,3	26,5	677	5,2	283	277	372
53	26,5	681	5,2	285	279	374
55,2	26,6	685	5,4	287	281	376
55,2	26,6	689	5,5	289	283	378

Πίνακας 3-27 Μετρήσεις εδάφους A1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
62,5	26,4	778	3	332	327	427
63,8	26,4	778	6,4	337	331	433
61,3	26,4	791	6,6	338	333	435
61,1	26,4	795	6,7	340	335	437
65,8	26,4	798	6,9	342	336	438
61,5	26,4	801	7	343	338	440
61,5	26,4	805	7,1	345	340	442
61,5	26,4	807	7,1	346	341	443
63,6	26,4	810	7,2	347	342	445
63,2	26,4	811	7,3	348	343	446

Πίνακας 3-28 Μετρήσεις εδάφους A2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
61,1	25,7	769	3,6	328	322	422
61,7	25,9	774	6,5	330	325	425
63,6	25,9	775	6,6	331	325	426
58,9	25,9	777	6,8	331	326	427
62,1	25,9	780	6,9	333	328	429
58,9	25,9	781	7	333	328	429
59,5	25,9	783	7	334	329	430
62,1	25,9	785	7,1	335	330	431
62,3	25,9	785	7,2	335	330	431
59,5	25,9	786	7,3	366	330	432

Πίνακας 3-29 Πίνακας . Μετρήσεις εδάφους A3 με υψηλό ποσοστό υγρασία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
66,8	24,7	966	7,3	423	418	531
64,8	25,1	978	7,1	428	424	537
68,4	25,2	982	7,3	430	426	540
66,8	25,2	988	7,4	433	429	543
70,1	25,2	990	7,5	434	430	544
67,4	25,2	996	7,6	437	433	547
69,1	25,2	998	7,6	438	434	548
69,7	25,2	1002	7,7	440	435	551
67,4	25,2	1004	7,7	441	436	552
72,1	25,2	1005	7,7	441	437	552

Πίνακας 3-30 Μετρήσεις εδάφους B1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
61,5	24,6	975	3,5	427	422	536
66,2	24,7	996	6,7	437	433	547
62,1	24,7	999	6,8	439	434	549
64,6	24,7	1000	6,9	439	434	550
63,2	24,7	1000	7	439	434	550
63,6	24,7	1003	7,1	440	436	551
62,1	24,7	1005	7,2	441	437	552
67,2	24,7	1005	7,2	441	437	552
66,2	24,7	1007	7,3	442	438	553
63,2	24,7	1008	7,4	443	438	554

Πίνακας 3-31 Μετρήσεις εδάφους B2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
65,8	25,1	973	3,5	426	421	535
63	25,1	978	5,5	428	424	537
67	25,1	980	5,4	429	425	539
65,6	25,1	982	5,5	430	426	540
63,6	25,1	983	5,6	431	426	540
64,2	25,1	985	5,7	432	427	541
64,6	25,1	985	5,9	432	427	541
67	25,1	988	6,2	433	429	543
62,1	25,1	987	6,4	433	428	542
62,1	25,1	998	6,5	433	429	543

Πίνακας 3-32 Μετρήσεις εδάφους B3 με υψηλό ποσοστό υγρασία

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
59,7	25,4	955	3	417	413	525
58,7	25,5	959	6,7	419	415	527
61,5	25,5	961	6,7	420	416	528
58,7	25,5	964	6,8	422	417	530
58,9	25,5	967	6,8	423	418	531
58,9	25,4	971	6,9	425	420	534
62,3	25,4	974	7	426	422	535
60,3	25,5	974	7	426	422	535
59,5	25,4	974	7,1	426	422	535
58,9	25,4	978	7,2	428	424	537

Πίνακας 3-33 Μετρήσεις εδάφους C1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
63	25,2	987	6,8	433	428	542
61,5	25,2	995	7	437	432	547
62,1	25,3	1001	7,1	440	435	550
67,4	25,2	1006	7,3	442	437	553
61,9	25,3	1010	7,4	444	439	555
63,8	25,2	1013	7,6	445	441	557
66,2	25,3	1020	7,7	449	444	561
68,6	25,3	1023	7,8	450	446	562
62,1	25,3	1027	7,9	452	448	564
67,8	25,2	1030	8	454	449	566

Πίνακας 3-34 Μετρήσεις εδάφους C2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
67	24	1004	3,8	441	436	552
68,8	24	1015	6	446	442	558
66,4	24,1	1051	6,9	464	459	578
64,8	24,1	1051	7	464	459	578
68,2	24,1	1054	7,1	465	461	579
69,5	24,1	1056	7,2	466	462	580
66,8	24,1	1057	7,3	467	462	581
69,1	24,1	1061	7,4	468	464	583
64,8	24,1	1061	7,5	468	464	583
66,2	24,1	1063	7,6	469	465	584

Πίνακας 3-35 Μετρήσεις εδάφους C3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
66,4	26,7	1040	7,3	458	454	572
69,1	26,7	1051	7,1	464	459	578
68,2	26,7	1061	7,3	468	464	583
68,8	26,7	1063	7,3	469	465	584
68,8	26,7	1068	7,4	472	468	587
69,7	26,7	1070	7,5	473	469	588
69,5	26,7	1070	7,5	473	469	588
68,2	26,7	1072	7,6	474	469	589
69,5	26,7	1074	7,7	475	470	590
69,1	26,7	1077	7,8	476	472	592

Πίνακας 3-36 Μετρήσεις εδάφους D1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
68,4	26,4	1154	4,2	513	509	634
69,1	26,5	1163	6,9	518	514	639
67	26,6	1165	7	519	515	640
71,7	26,6	1169	7,1	521	517	642
68,8	26,6	1170	7,4	521	517	643
69,1	26,6	1174	7,6	523	519	645
68,8	26,6	1176	7,7	524	520	646
71,3	26,6	1178	7,9	525	521	647
70,3	26,6	1181	8,2	526	522	649
67	26,6	1183	8,3	527	523	650

Πίνακας 3-37 Μετρήσεις εδάφους D2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
61,9	26,4	1094	3,8	484	480	601
61,5	26,5	1101	6,6	488	484	605
61,5	26,5	1105	7	490	486	607
63	26,6	1107	7,3	491	487	608
61,5	26,6	1110	7,6	492	488	610
63,2	26,6	1112	7,9	493	489	611
63	26,6	1115	8	494	490	613
62,1	26,6	1116	8,2	495	491	613
61,3	26,6	1116	8,3	495	491	613
61,5	26,6	1116	8,5	495	491	613

Πίνακας 3-38 Μετρήσεις εδάφους D3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
81,2	25	1634	3	745	743	898
82,1	26	1636	7,3	746	744	899
79,2	26	1645	7,5	750	748	904
79,2	26	1643	7,9	749	747	903
78	26,1	1643	8	749	747	903
82,3	26,1	1649	8	752	750	906
78	26,1	1649	8	752	750	906
78	26,1	1654	8	754	752	909
79,2	26,1	1651	8	753	751	908
78	26,1	1651	8	753	751	908

Πίνακας 3-39 Μετρήσεις εδάφους E1 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
71,7	26,3	1379	7,6	622	619	758
73,7	26,4	1397	8	631	628	768
69,5	26,4	1402	8,1	633	630	771
69,5	26,4	1412	8,2	638	635	776
69,5	26,4	1415	8,3	639	636	778
71,5	26,4	1420	8,4	642	639	781
72,1	26,4	1422	8,5	643	640	782
70,1	26,4	1427	8,5	645	642	784
69,5	26,4	1429	8,6	646	643	785
72,9	26,4	1441	8,7	652	649	792

Πίνακας 3-40 Μετρήσεις εδάφους E2 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία

Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	pH	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
%	°C	μS/cm		ppm	ppm	ppm
74,9	26,1	1349	4,3	607	604	741
73,7	26,2	1354	7,6	610	607	744
73,9	26,2	1357	7,7	611	608	746
72,3	26,2	1360	7,8	613	610	748
73,7	26,2	1361	7,9	613	610	748
72,7	26,2	1363	8,1	614	611	749
76,6	26,2	1363	8,2	614	611	749
72,1	26,2	1364	8,3	615	611	750
72,1	26,2	1366	8,3	616	612	751
73,9	26,2	1366	8,4	616	612	751

Πίνακας 3-41 Μετρήσεις εδάφους E3 με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Έδαφος	Υγρασία	Θερμοκρασία	EC	ph	Νιτρικό Αζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
	%	°C	μS/cm		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
A1	54,54	26,5	677,2	5,24	283,2	277,2	371,8
A2	62,58	26,4	797,4	6,53	341,8	336,6	438,6
A3	60,97	25,88	779,5	6,6	335,6	327,3	428,2
B1	68,26	25,14	990,9	7,49	434,5	430,2	544,5
B2	63,99	24,69	999,8	6,71	438,8	434,3	549,4
B3	64,5	25,1	983,9	5,62	430,7	426,2	540,1
C1	59,74	25,45	967,7	6,52	423,2	418,9	531,7
C2	64,44	25,25	1011,2	7,46	444,6	439,9	555,7
C3	67,16	24,08	1047,3	6,78	461,8	457,4	575,6
D1	68,73	26,7	1064,6	7,45	470,2	465,9	585,1
D2	69,15	26,57	1171,3	7,23	521,7	517,7	643,5
D3	62,05	26,56	1109,2	7,32	491,7	487,7	609,4
E1	79,52	25,96	1645,5	7,37	750,3	748,3	904,4
E2	71	26,39	1414,4	8,29	639,1	636,1	777,5
E3	73,59	26,19	1360,3	7,66	612,9	609,6	747,7

Πίνακας 3-42 Μέσες τιμές μετρήσεων αισθητήρα με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Έδαφος	Σταθερά πολ/σμού με βάση την υγρασία	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Κάλιο
		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
A1	1,15	324,95	318,06	426,61
A2	1,00	341,80	336,60	438,60
A3	1,03	344,46	335,94	439,51
B1	1,00	434,50	430,20	544,50
B2	1,07	468,08	463,28	586,06
B3	1,06	455,81	451,05	571,58
C1	1,12	475,76	470,93	597,74
C2	1,04	463,37	458,47	579,16
C3	1,00	461,80	457,40	575,60
D1	1,01	473,07	468,75	588,68
D2	1,00	521,70	517,70	643,50
D3	1,11	547,96	543,50	679,13
E1	1,00	750,30	748,30	904,40
E2	1,12	715,79	712,43	870,80
E3	1,08	662,29	658,72	807,95

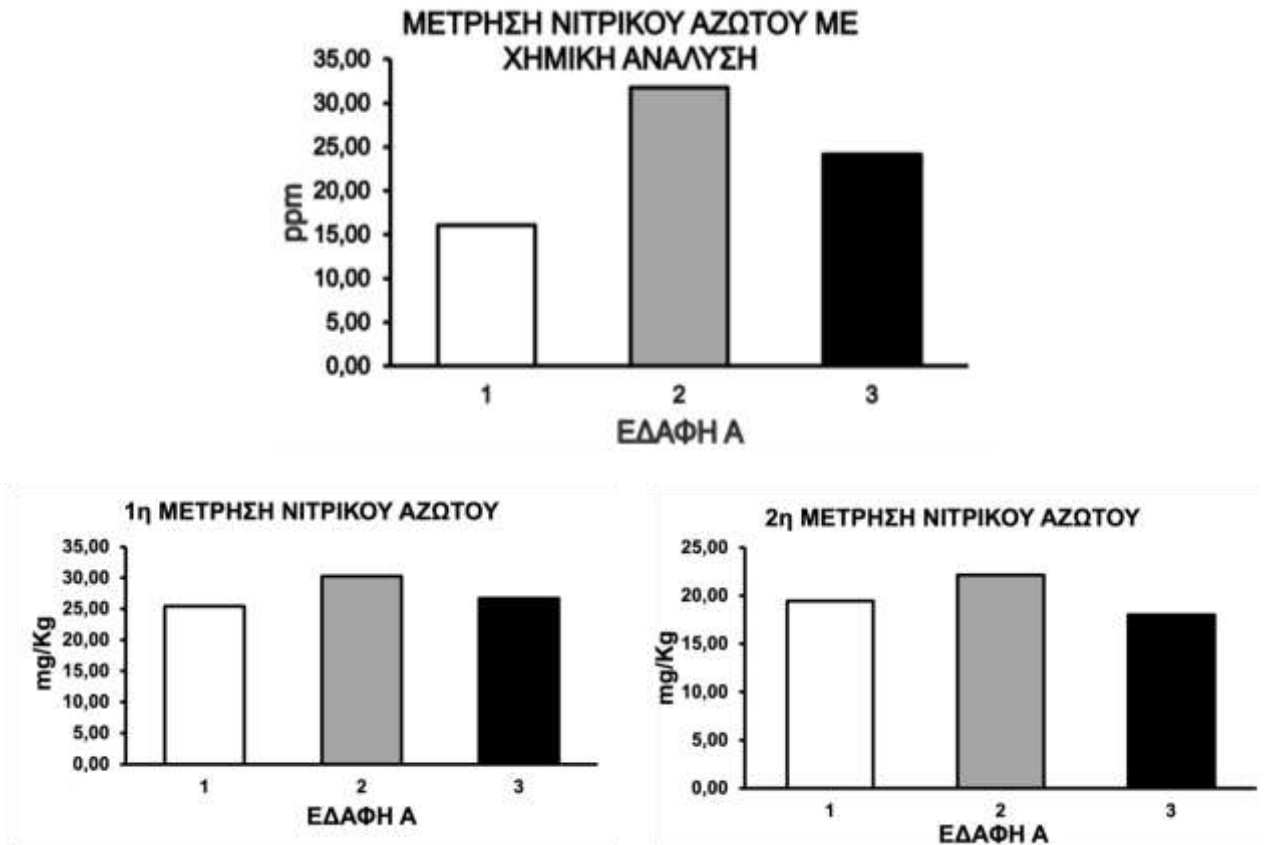
Πίνακας 3-43 Τελικές μέσες τιμές θρεπτικών συστατικών μετρήσεων υψηλού ποσοστού υγρασίας, πολλαπλασιασμένα με σταθερά βάσει της υγρασίας

Όπως και στην πρώτη σειρά μετρήσεων, χρησιμοποιείται η ίδια λογική για την σταθερά πολλαπλασιασμού με βάση την υγρασία, η οποία έχει πολλαπλασιαστεί με τις τιμές των θρεπτικών του **πίνακα 3-42** και έτσι προκύπτουν τα αποτελέσματα των θρεπτικών, του **πίνακα 3-43**.

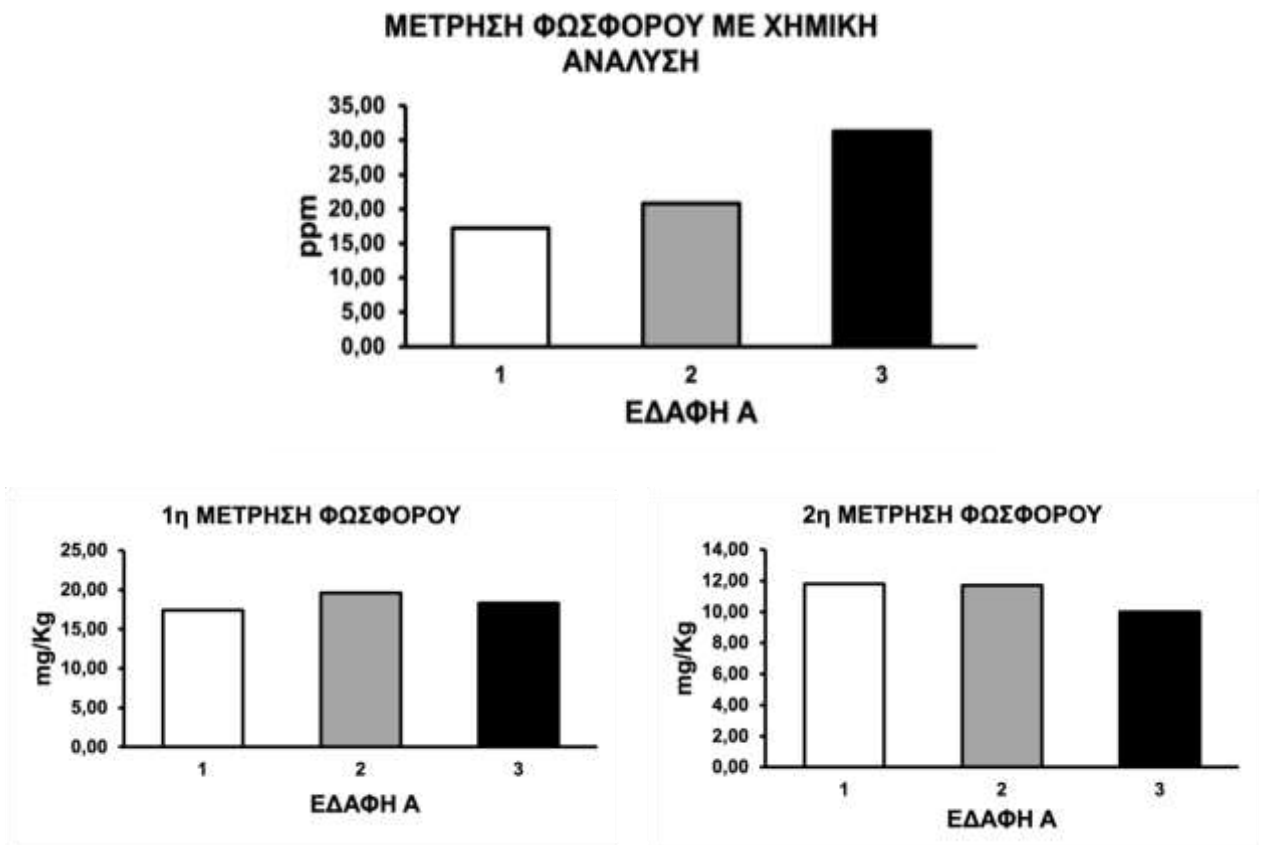
Εδαφος	Νιτρικό Άζωτο	Νιτρικό Άζωτο	Φώσφορος	Φώσφορος	Κάλιο	Κάλιο
	mg/Kg	ppm	mg/Kg	ppm	mg/Kg	ppm
	Αισθ.	Χ.Α	Αισθ.	Χ.Α	Αισθ.	Χ.Α
A1	324,95	16,07	318,06	17,19	426,61	119,82
A2	341,80	31,75	336,60	20,81	438,60	137,10
A3	344,46	24,13	335,94	31,31	439,51	146,36
B1	434,50	10,13	430,20	24,47	544,50	153,38
B2	468,08	19,07	463,28	30,51	586,06	159,16
B3	455,81	27,83	451,05	28,37	571,58	178,60
C1	475,76	9,47	470,93	23,65	597,74	186,97
C2	463,37	24,31	458,47	30,30	579,16	209,34
C3	461,80	16,95	457,40	34,81	575,60	204,69
D1	473,07	24,26	468,75	32,14	588,68	254,30
D2	521,70	38,09	517,70	41,16	643,50	281,12
D3	547,96	39,80	543,50	45,53	679,13	312,35
E1	750,30	15,06	748,30	29,49	904,40	410,76
E2	715,79	21,40	712,43	37,33	870,80	437,07
E3	662,29	14,57	658,72	41,24	807,95	483,38

Πίνακας 3-44 Σύγκριση τιμών θρεπτικών αισθητήρα υψηλού ποσοστού υγρασίας , με θρεπτικών χημικών αναλύσεων του κάθε εδάφους

3.4.2 Ανάλυση μετρήσεων – Διαγράμματα

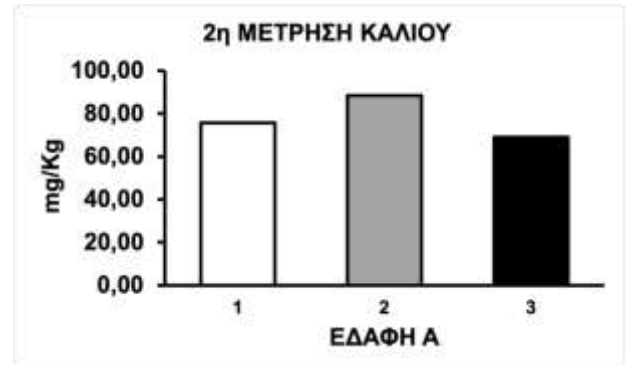
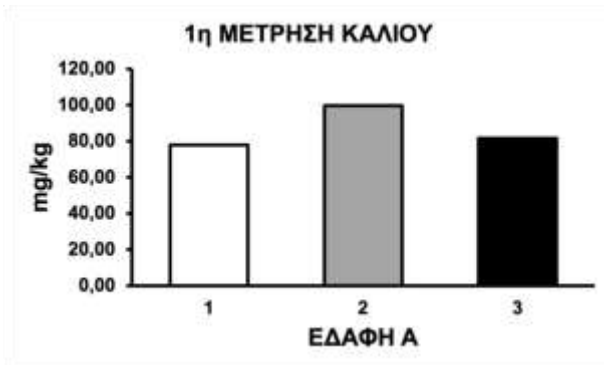
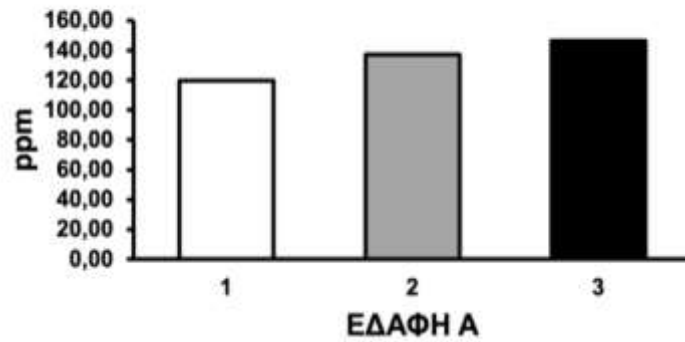


Εικόνα 3.21 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη Α



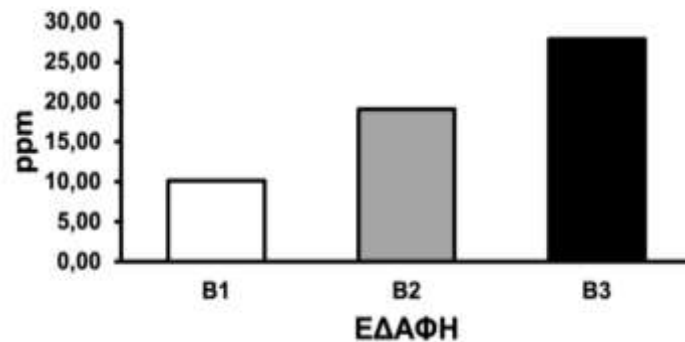
Εικόνα 3.22 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη Α

ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΚΑΛΙΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

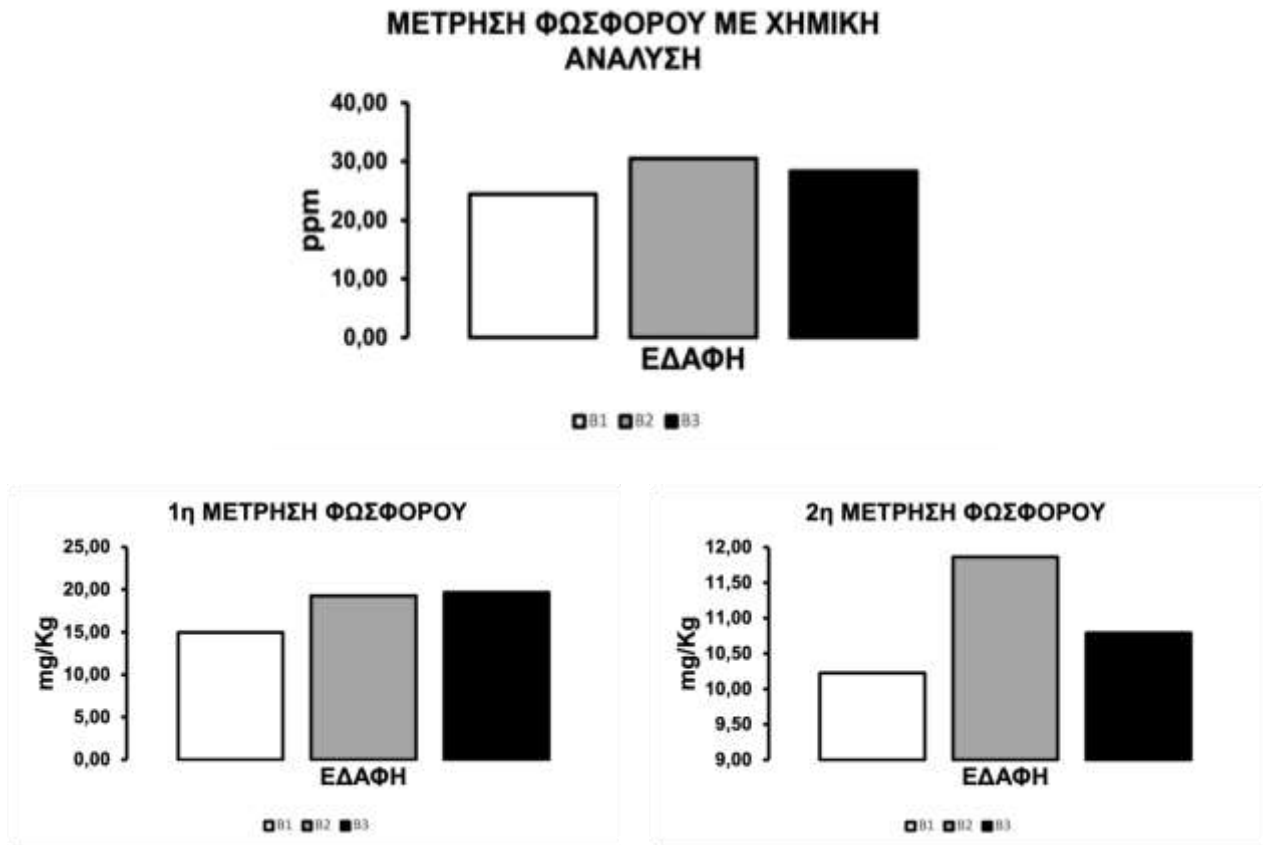


Εικόνα 3.23 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη Α

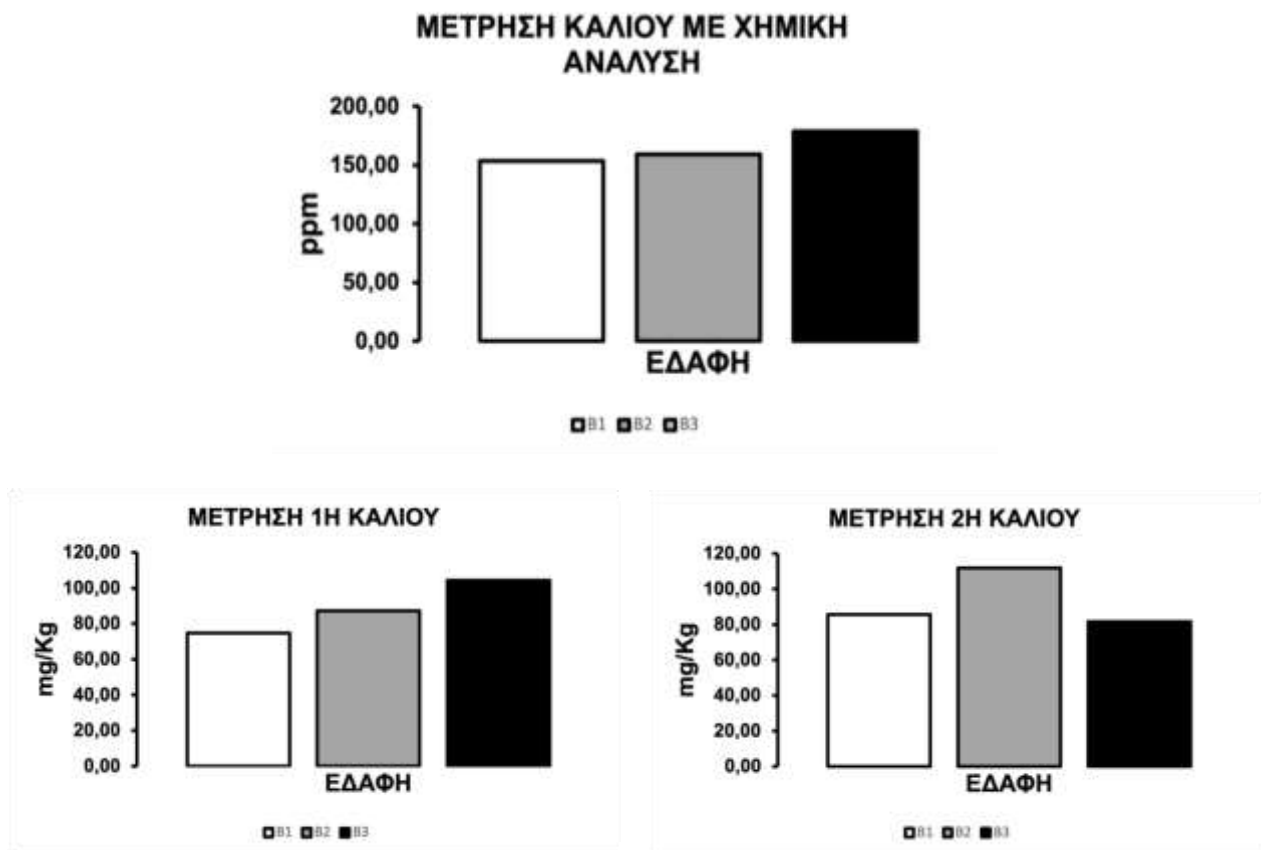
ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ



Εικόνα 3.24 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη Β

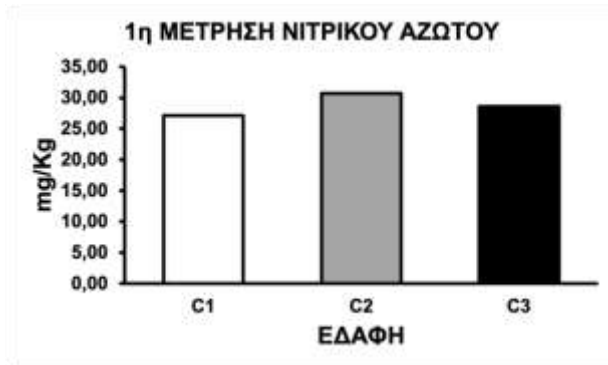
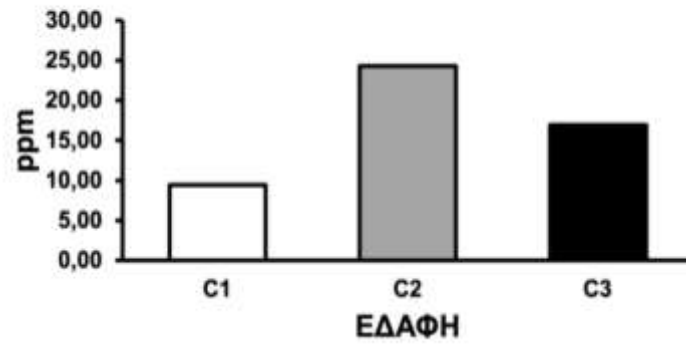


Εικόνα 3.25 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη Β



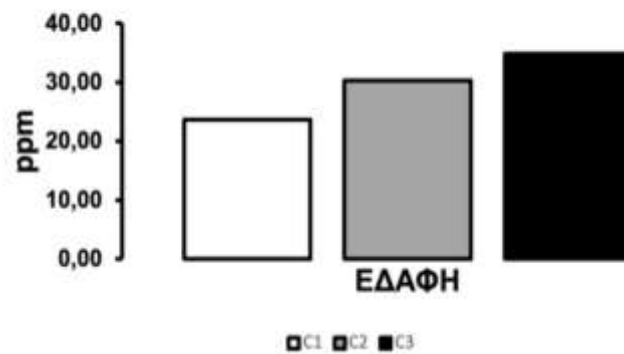
Εικόνα 3.26 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη Β

ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

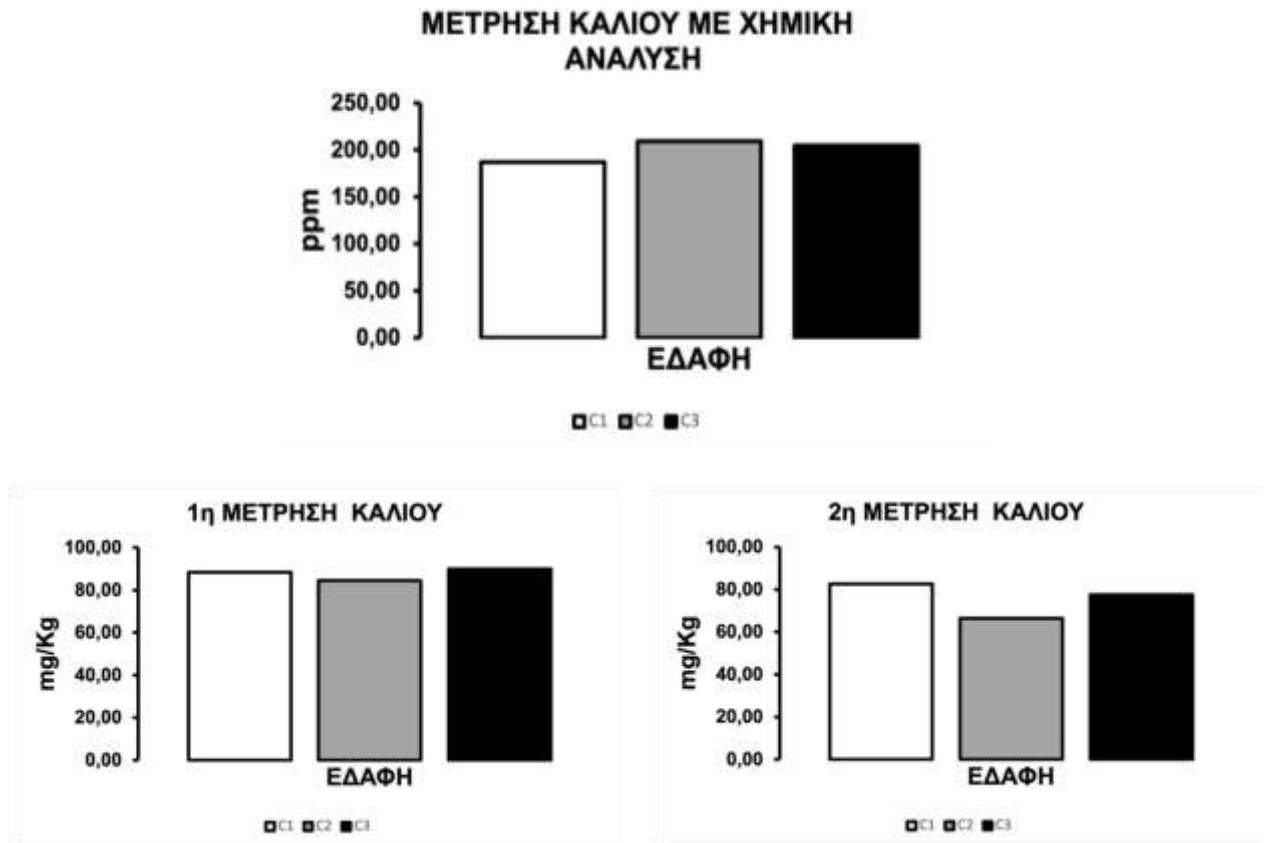


Εικόνα 3.27 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη C

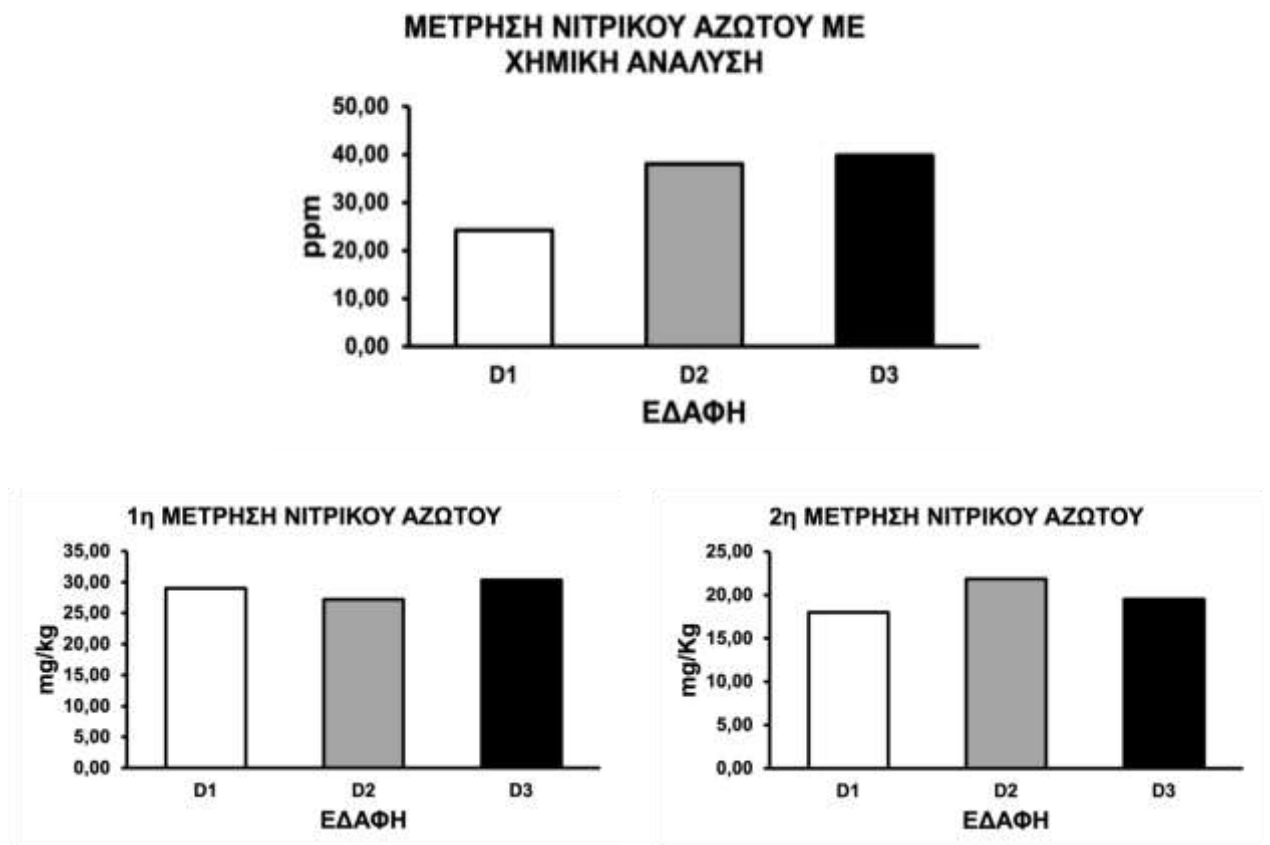
ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ



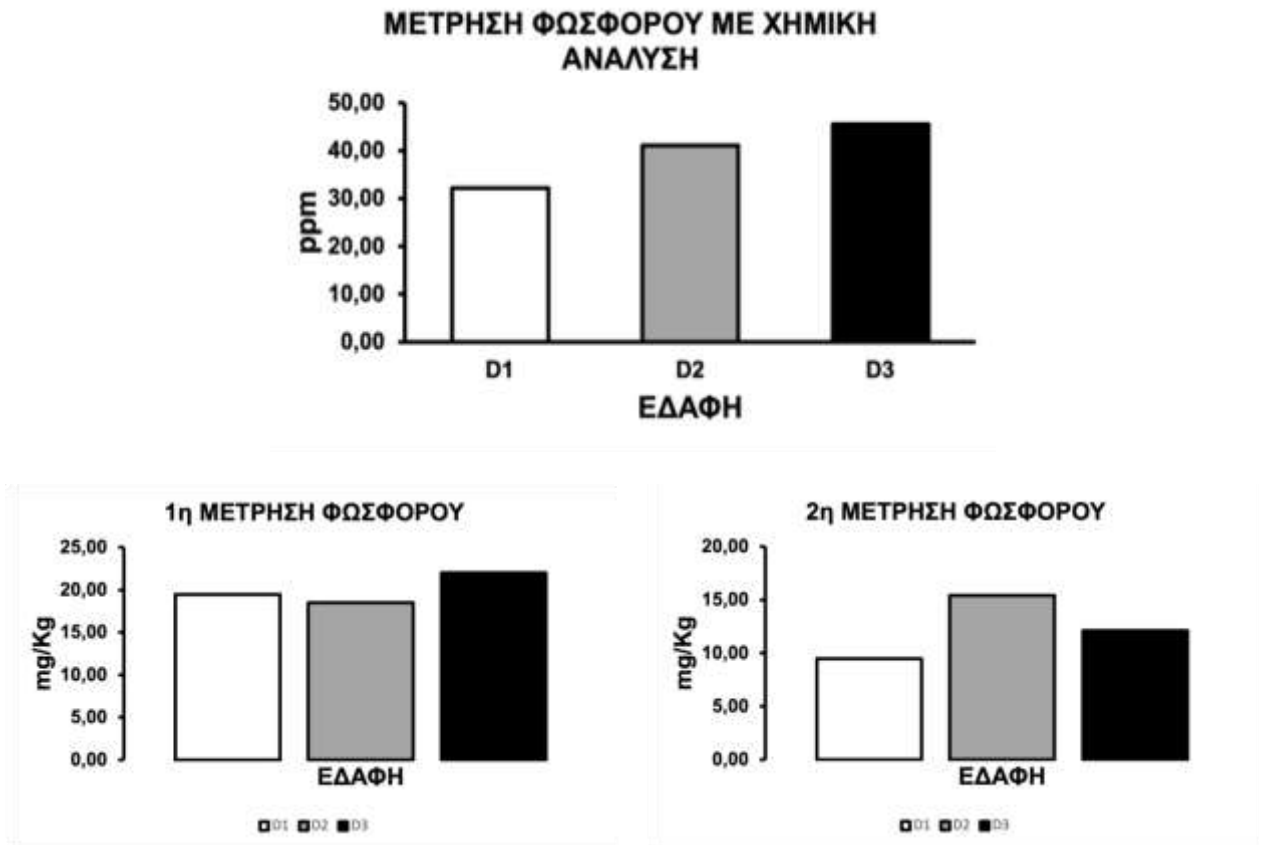
Εικόνα 3.28 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη C



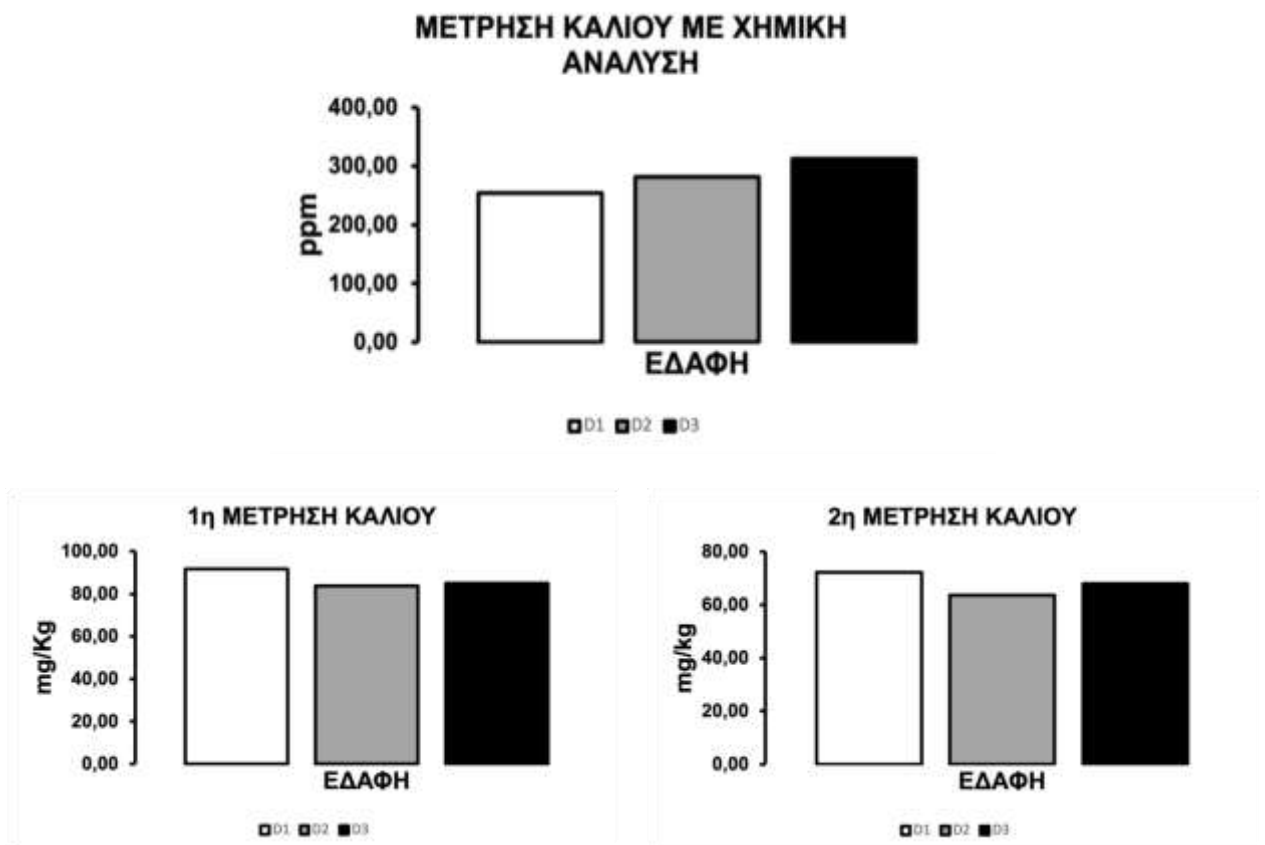
Εικόνα 3.29 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη C



Εικόνα 3.30 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη D

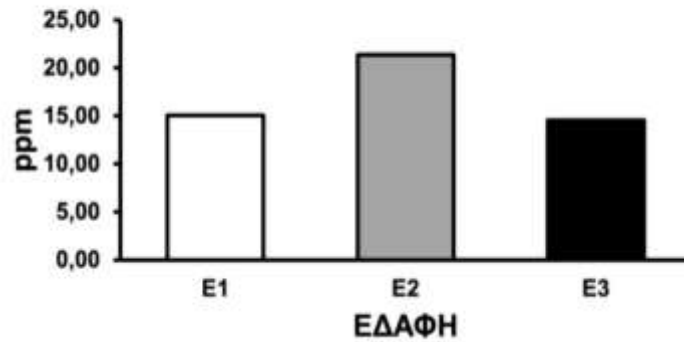


Εικόνα 3.31 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη D



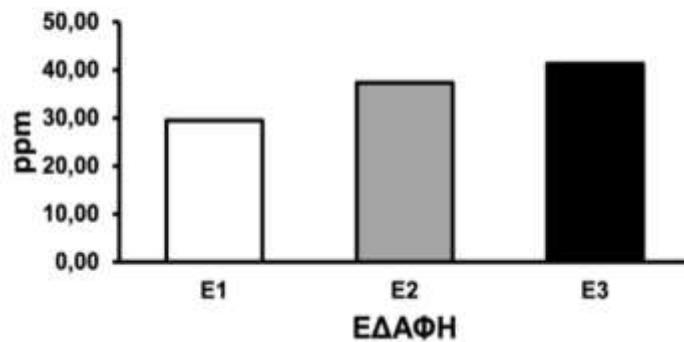
Εικόνα 3.32 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη D

ΜΕΤΡΗΣΗ ΝΙΤΡΙΚΟΥ ΑΖΩΤΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

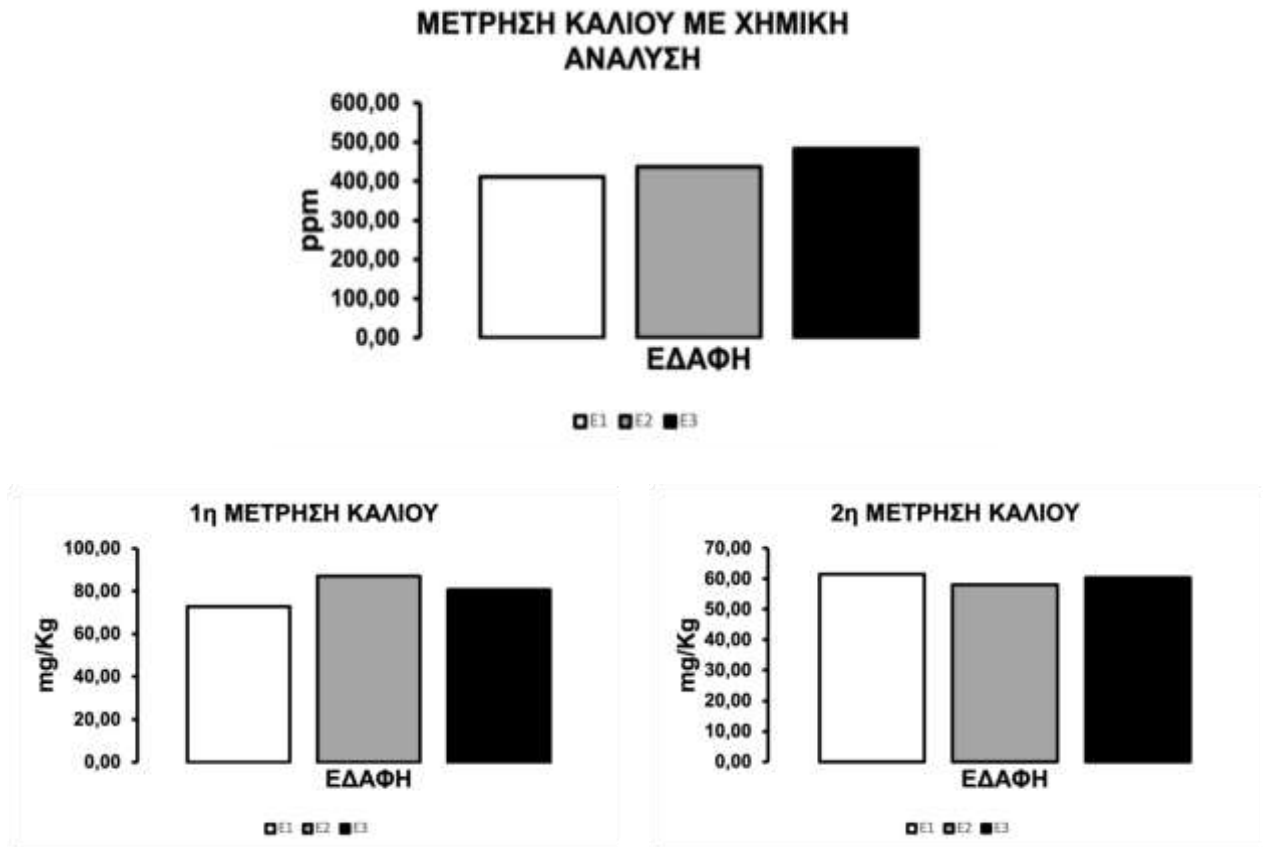


Εικόνα 3.33 Συμπεριφορά Νιτρικού Αζώτου για τα εδάφη E

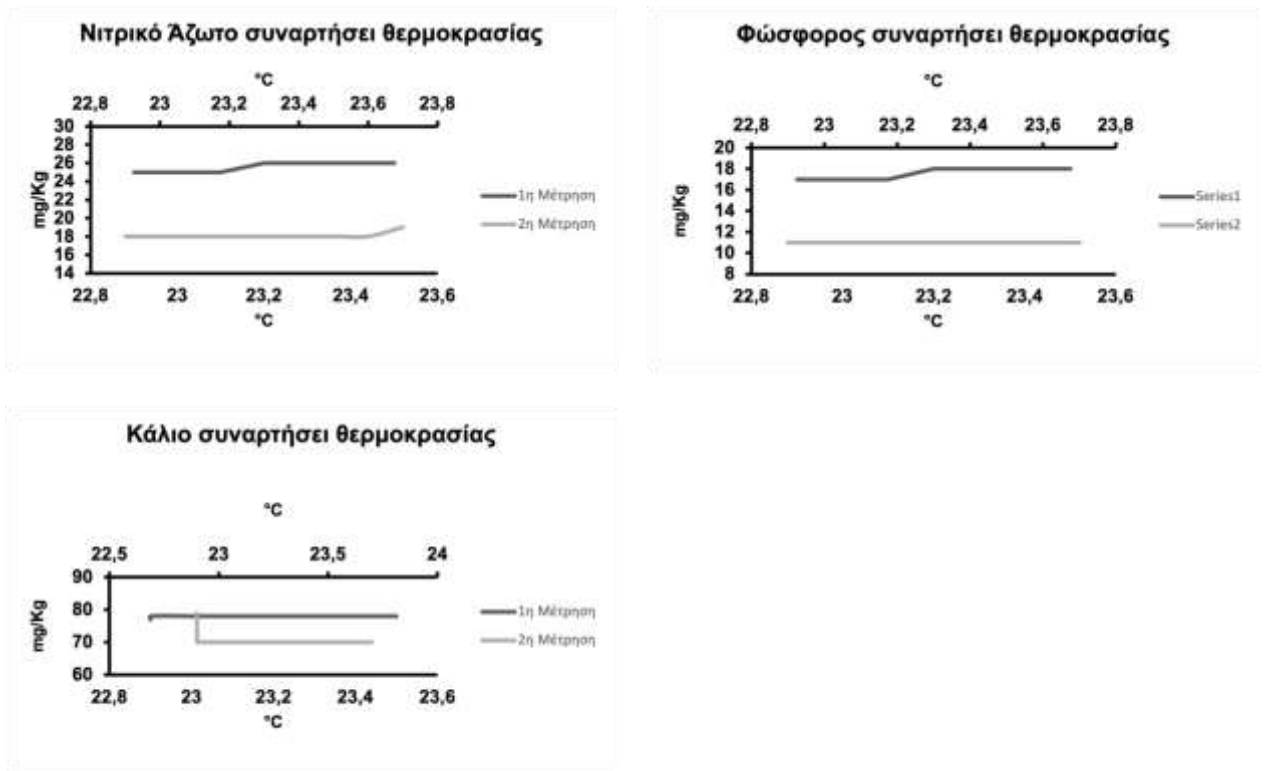
ΜΕΤΡΗΣΗ ΦΩΣΦΟΡΟΥ ΜΕ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ



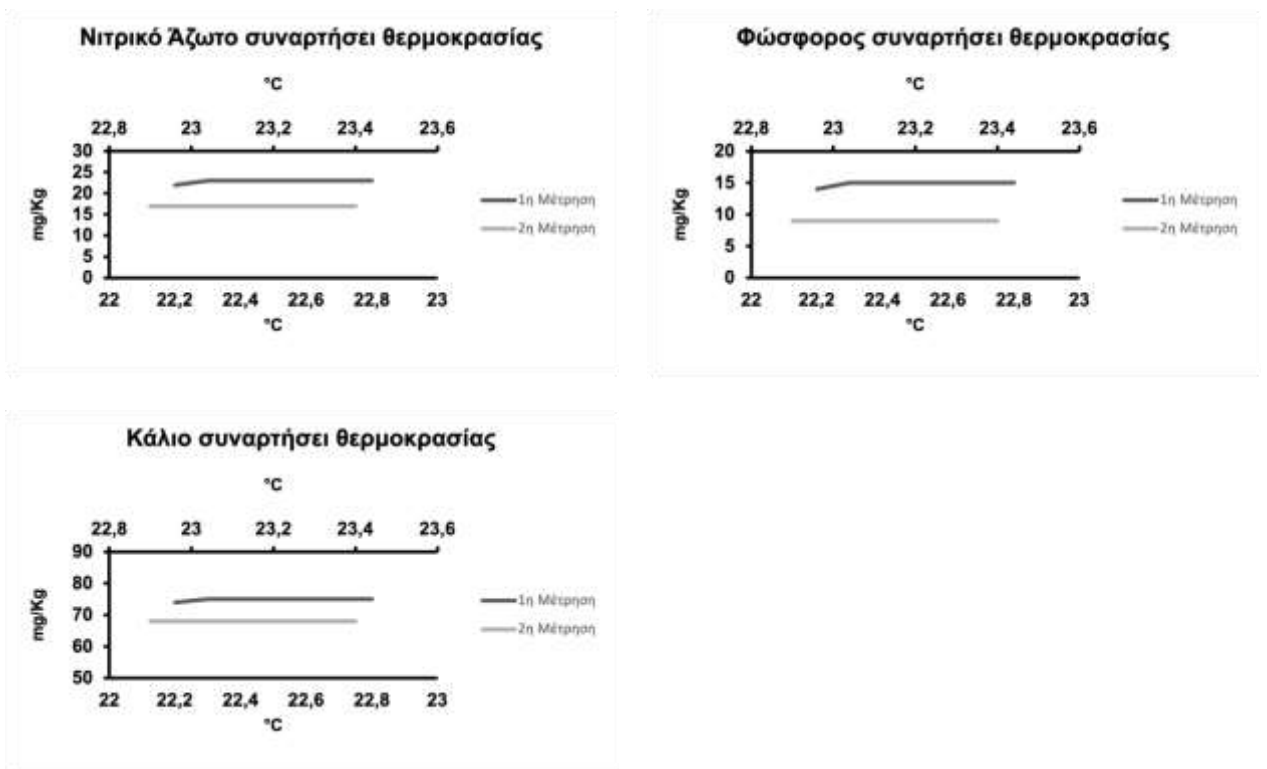
Εικόνα 3.34 Συμπεριφορά Φωσφόρου για τα εδάφη E



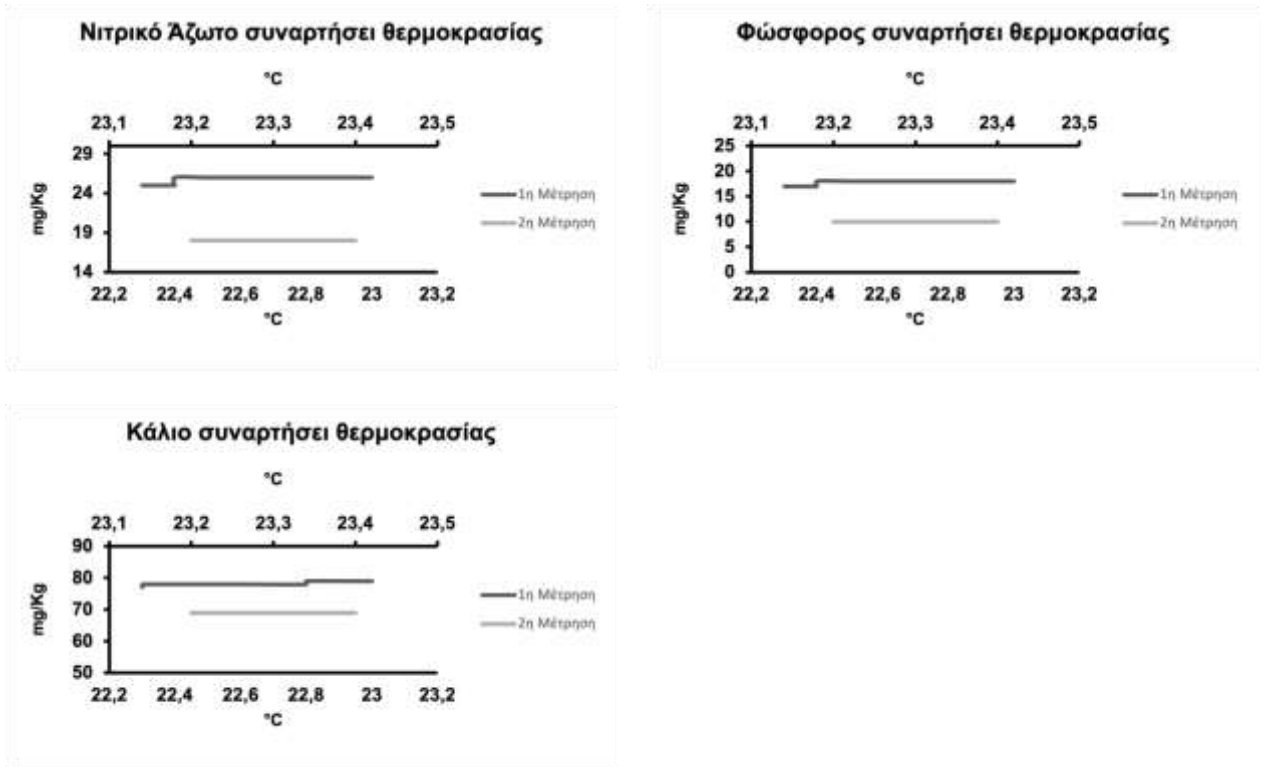
Εικόνα 3.35 Συμπεριφορά Καλίου για τα εδάφη E



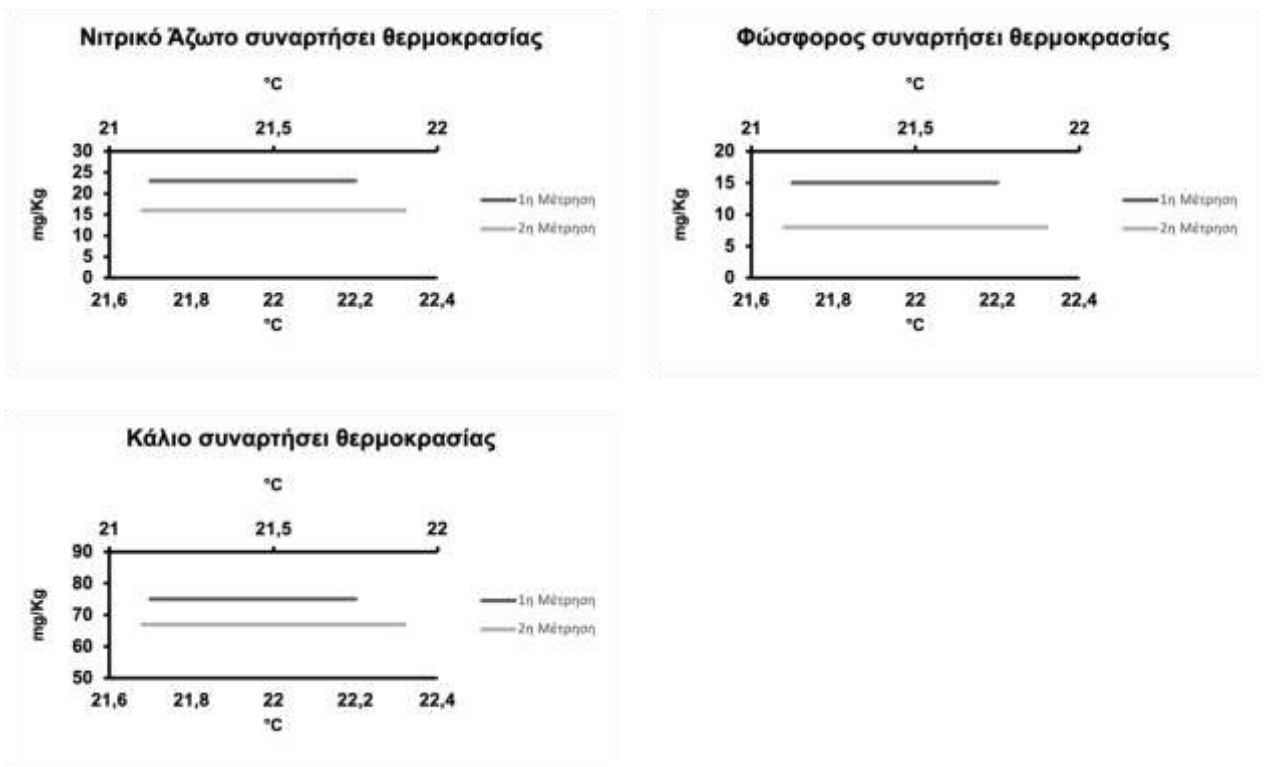
Εικόνα 3.36 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους A1 σε σχέση με την θερμοκρασία



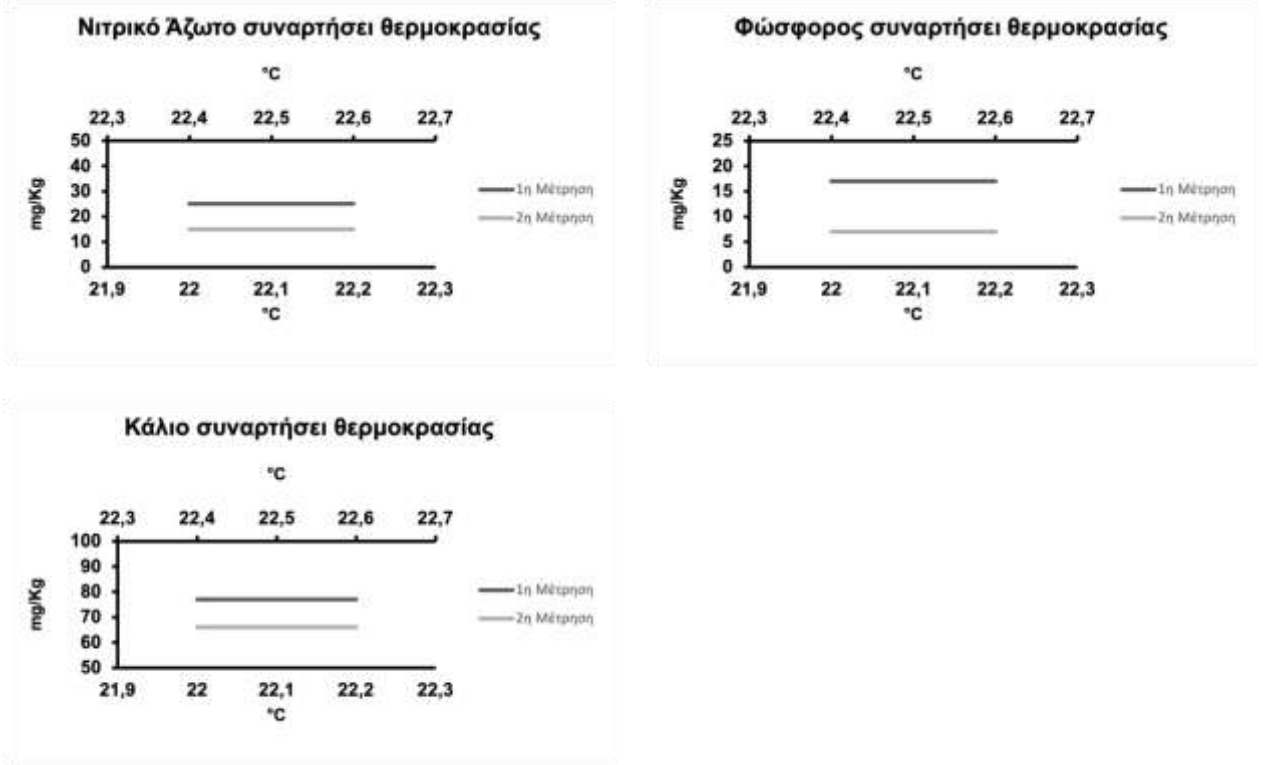
Εικόνα 3.37 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους A2 σε σχέση με την θερμοκρασία



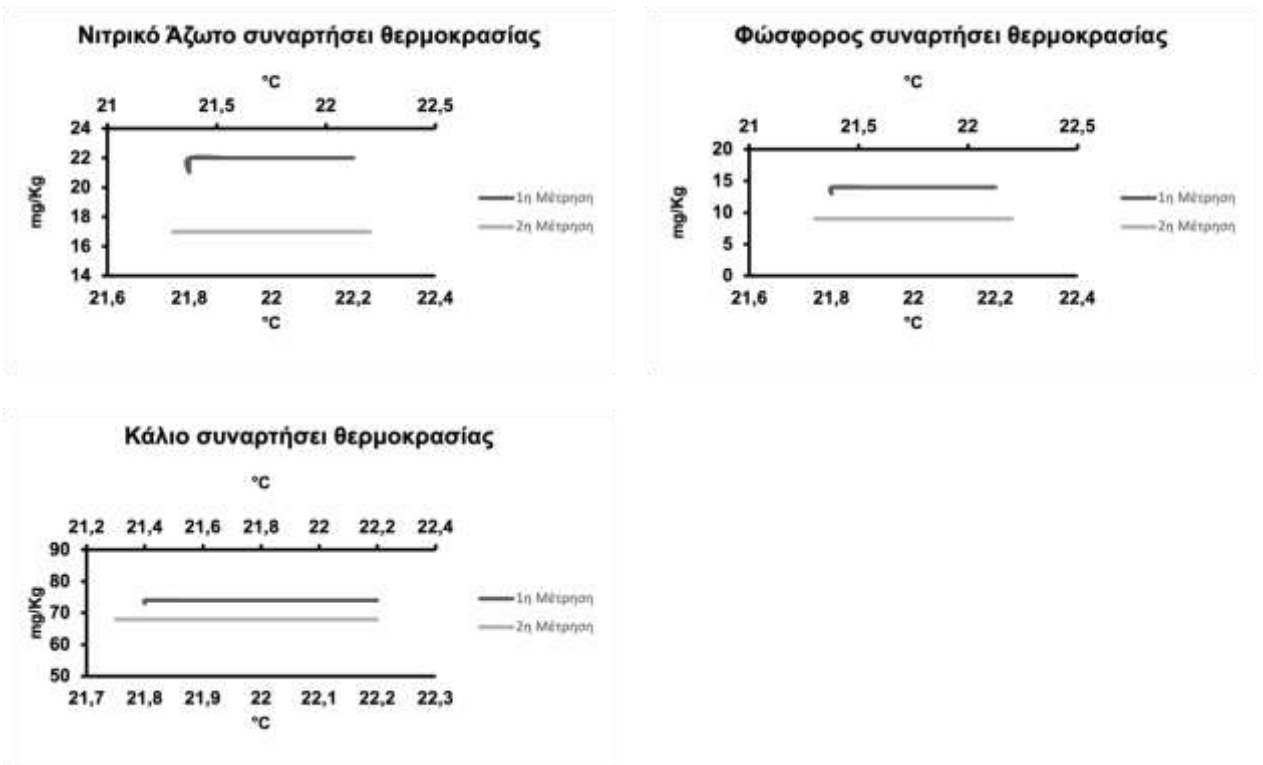
Εικόνα 3.38 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους A3 σε σχέση με την θερμοκρασία



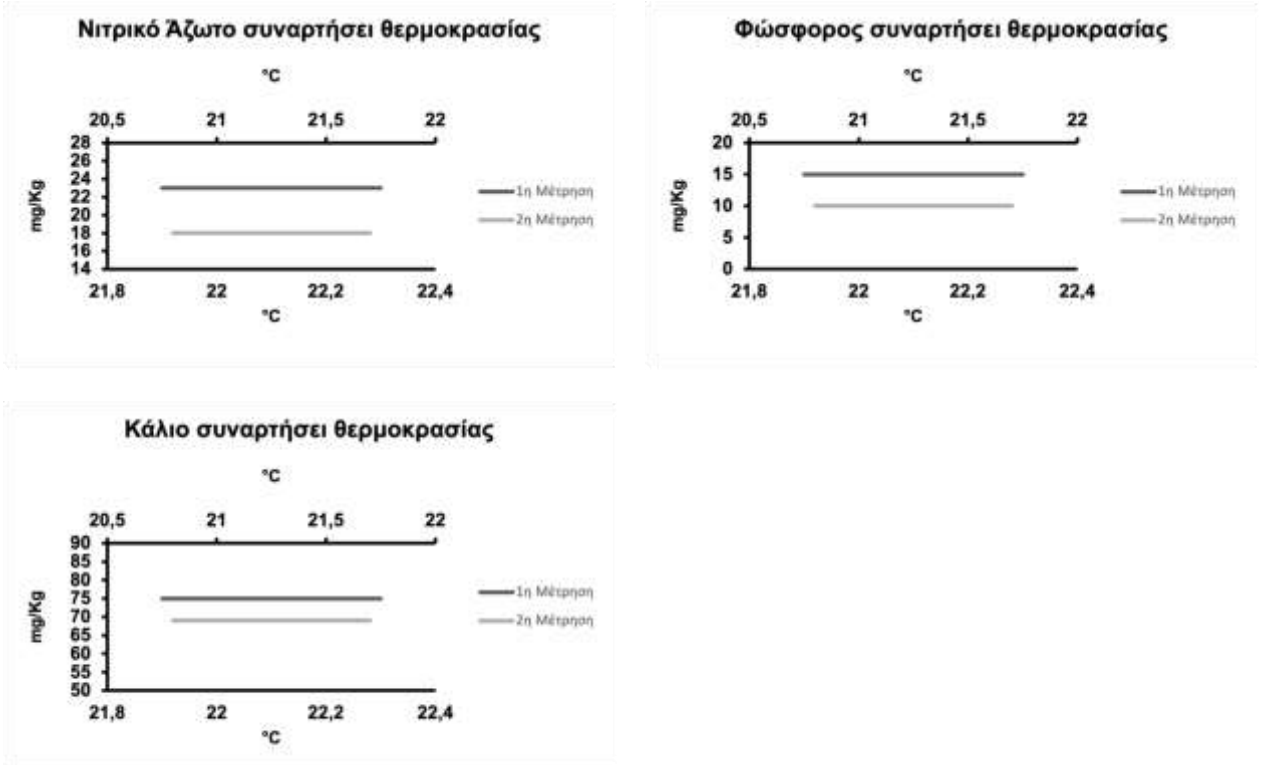
Εικόνα 3.39 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους B1 σε σχέση με την θερμοκρασία



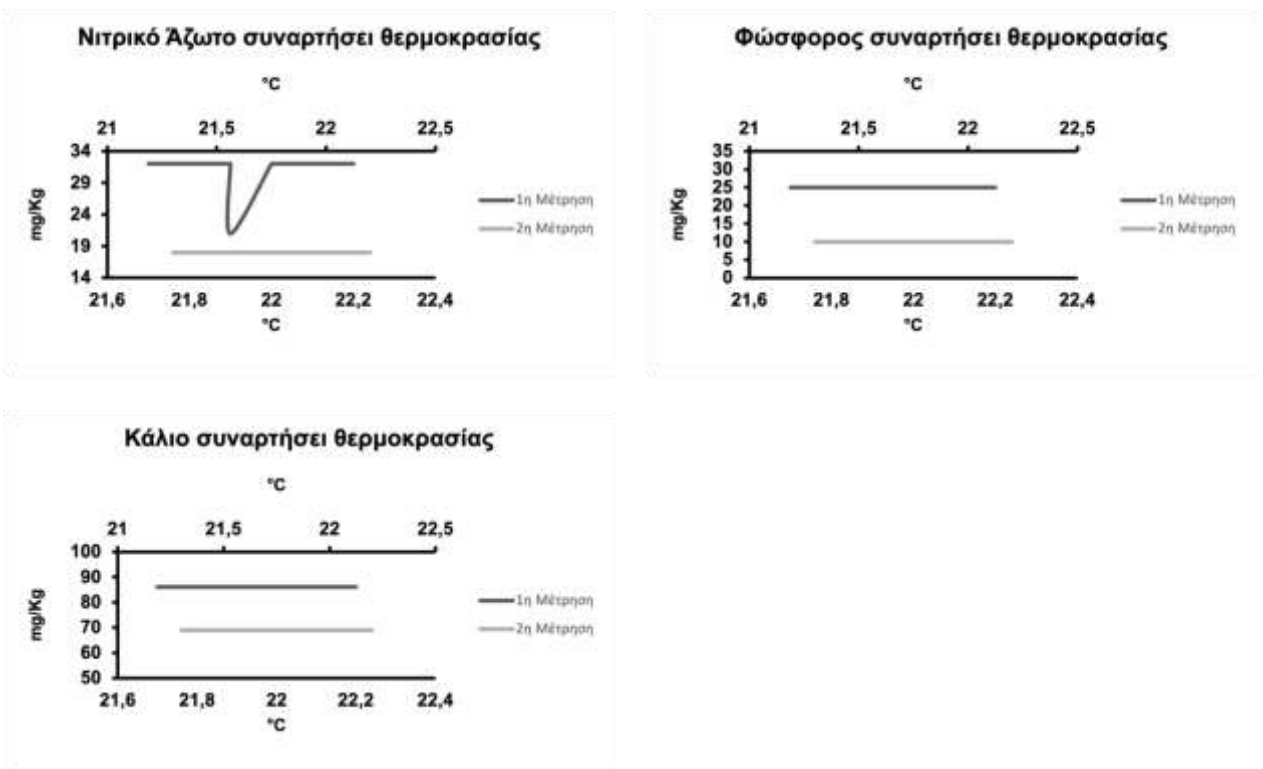
Εικόνα 3.40 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους B2 σε σχέση με την θερμοκρασία



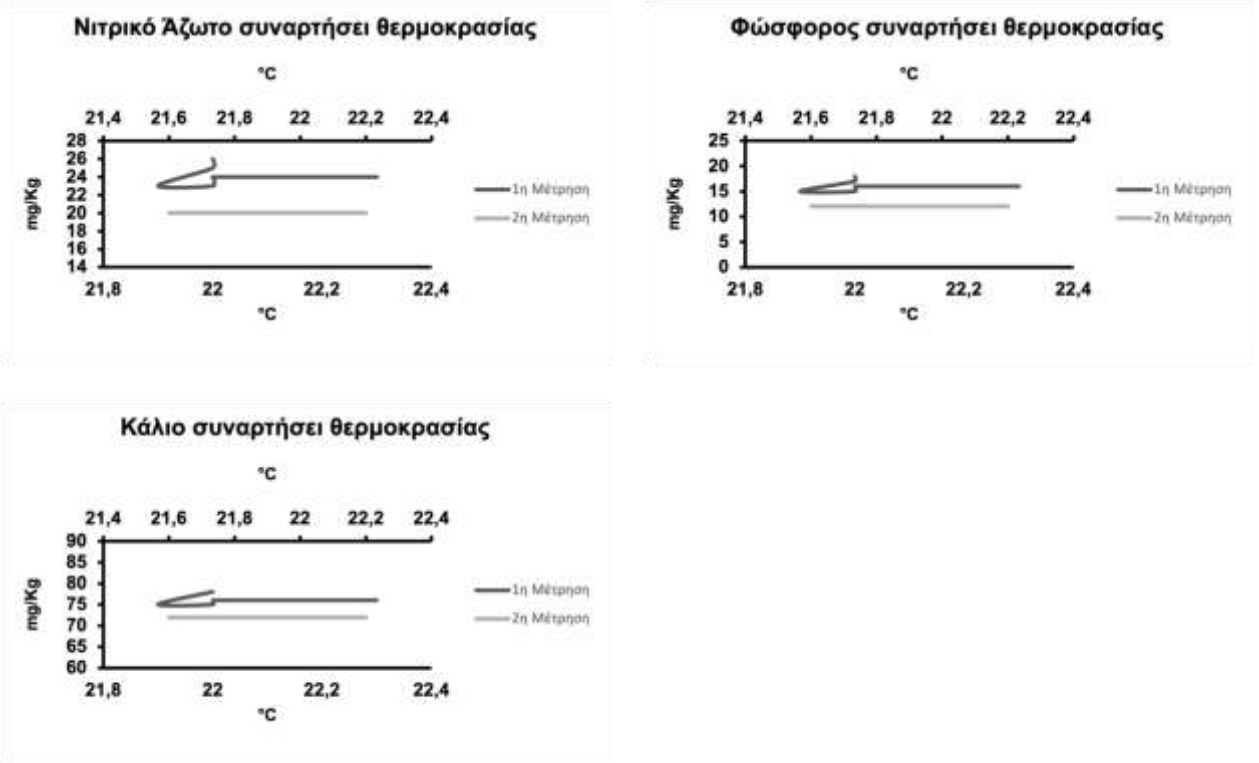
Εικόνα 3.41 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους B3 σε σχέση με την θερμοκρασία



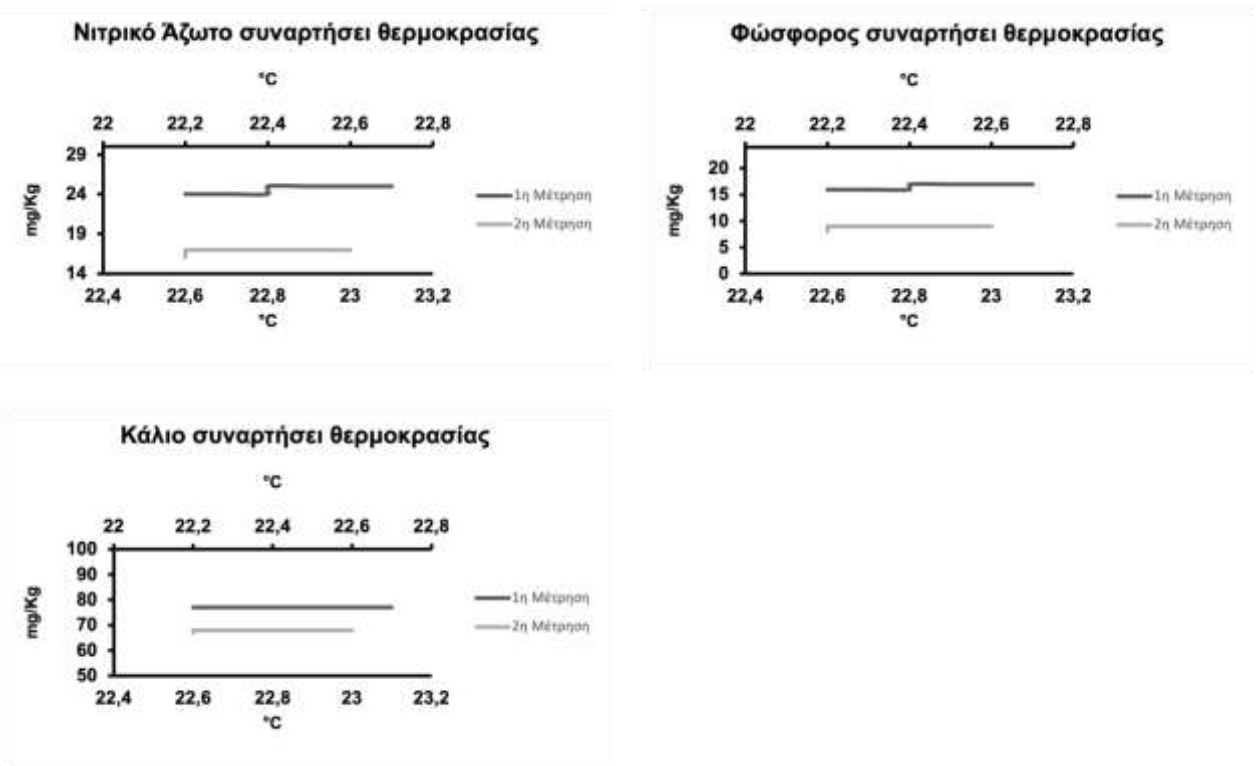
Εικόνα 3.42 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C1 σε σχέση με την θερμοκρασία



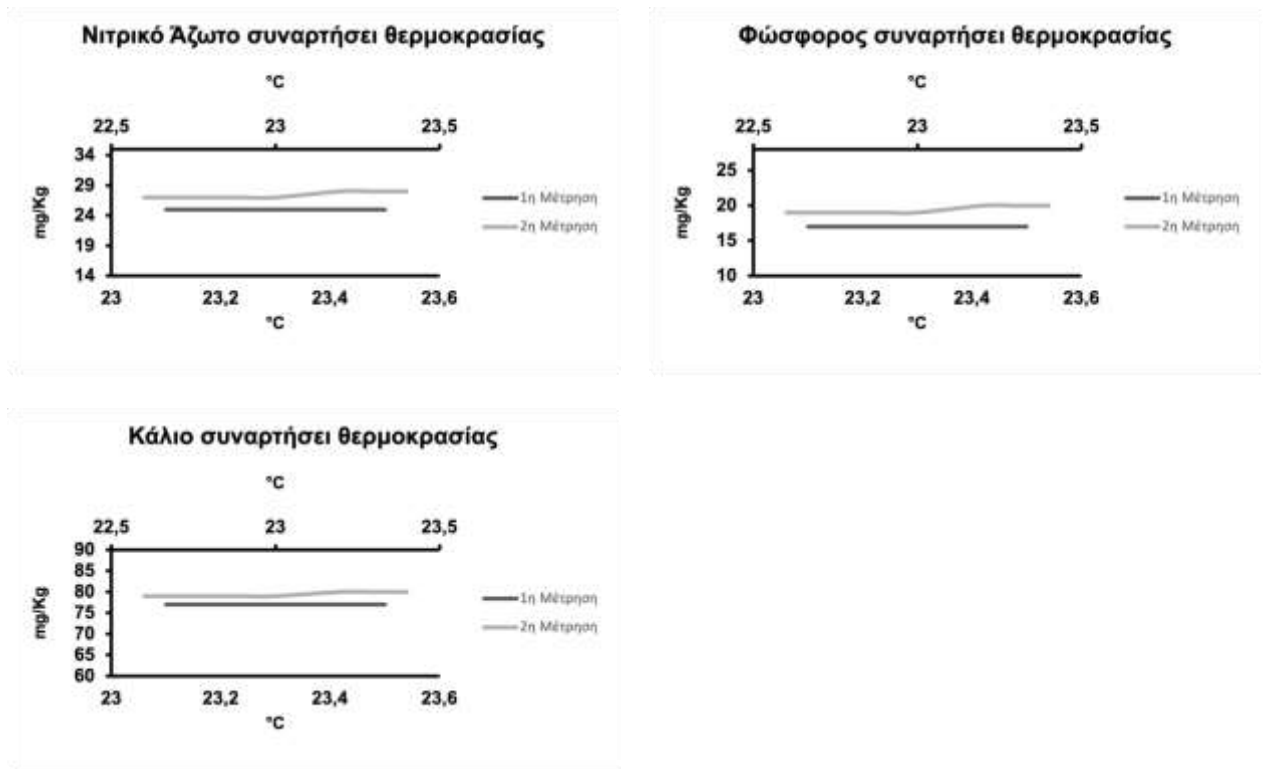
Εικόνα 3.43 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C2 σε σχέση με την θερμοκρασία



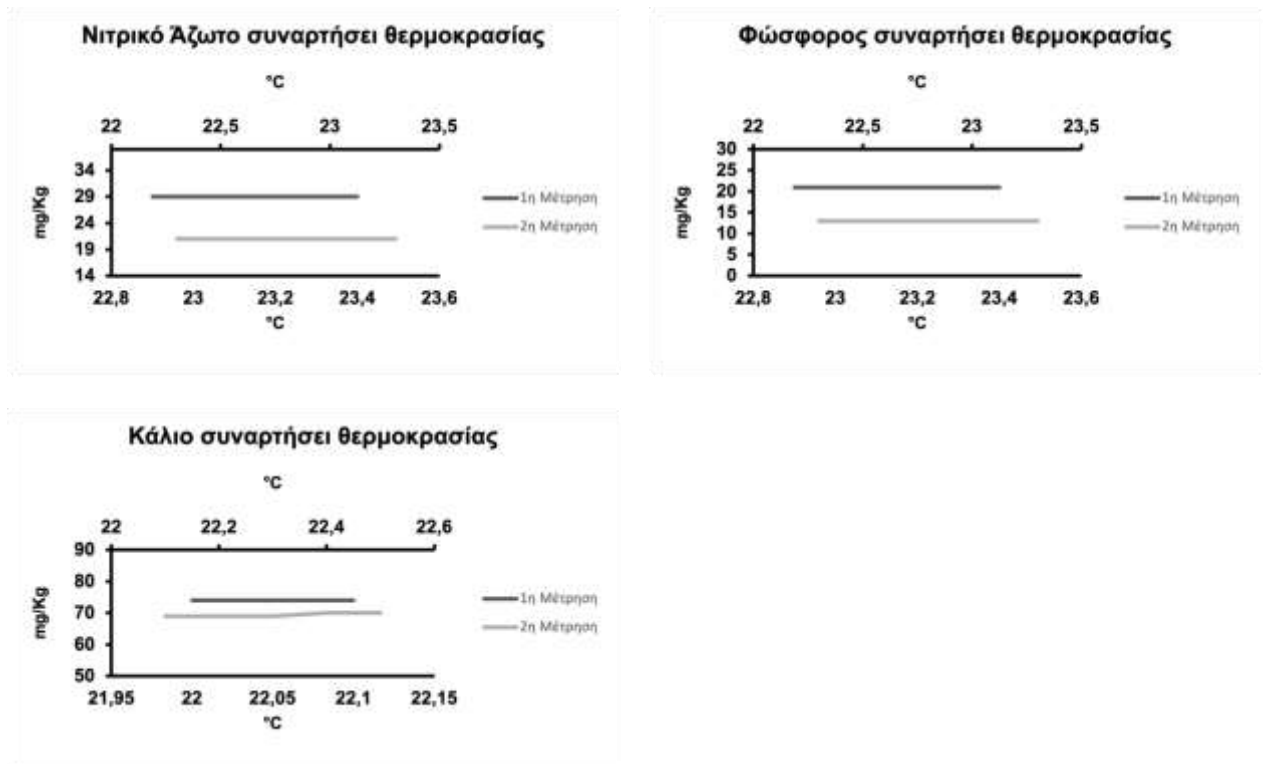
Εικόνα 3.44 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους C3 σε σχέση με την θερμοκρασία



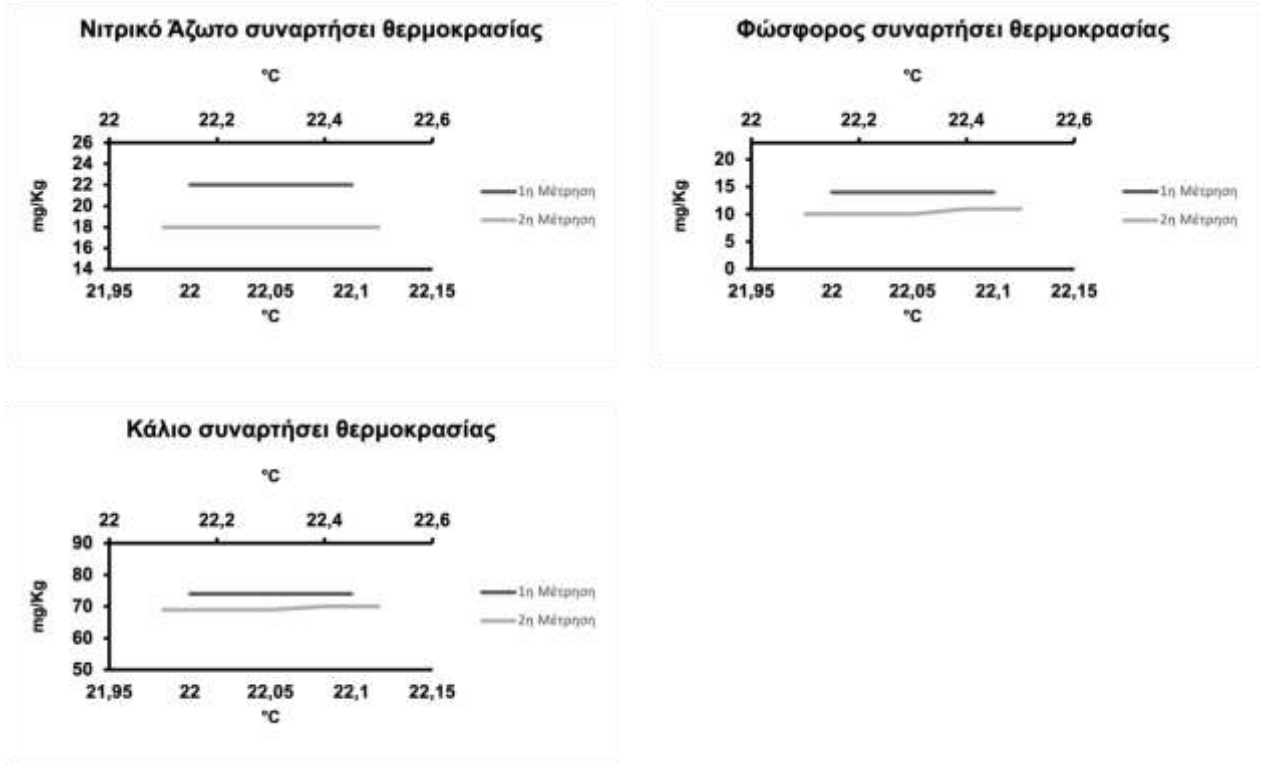
Εικόνα 3.45 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D1 σε σχέση με την θερμοκρασία



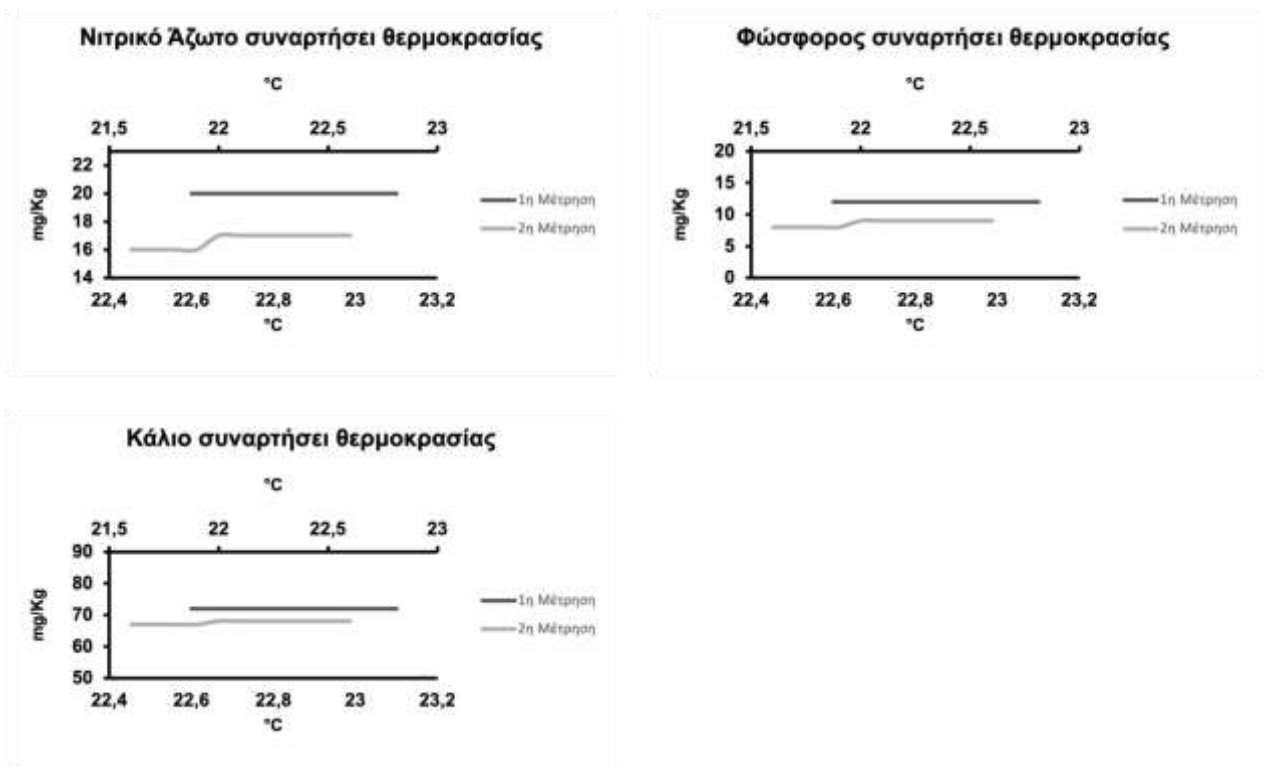
Εικόνα 3.46 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D2 σε σχέση με την θερμοκρασία



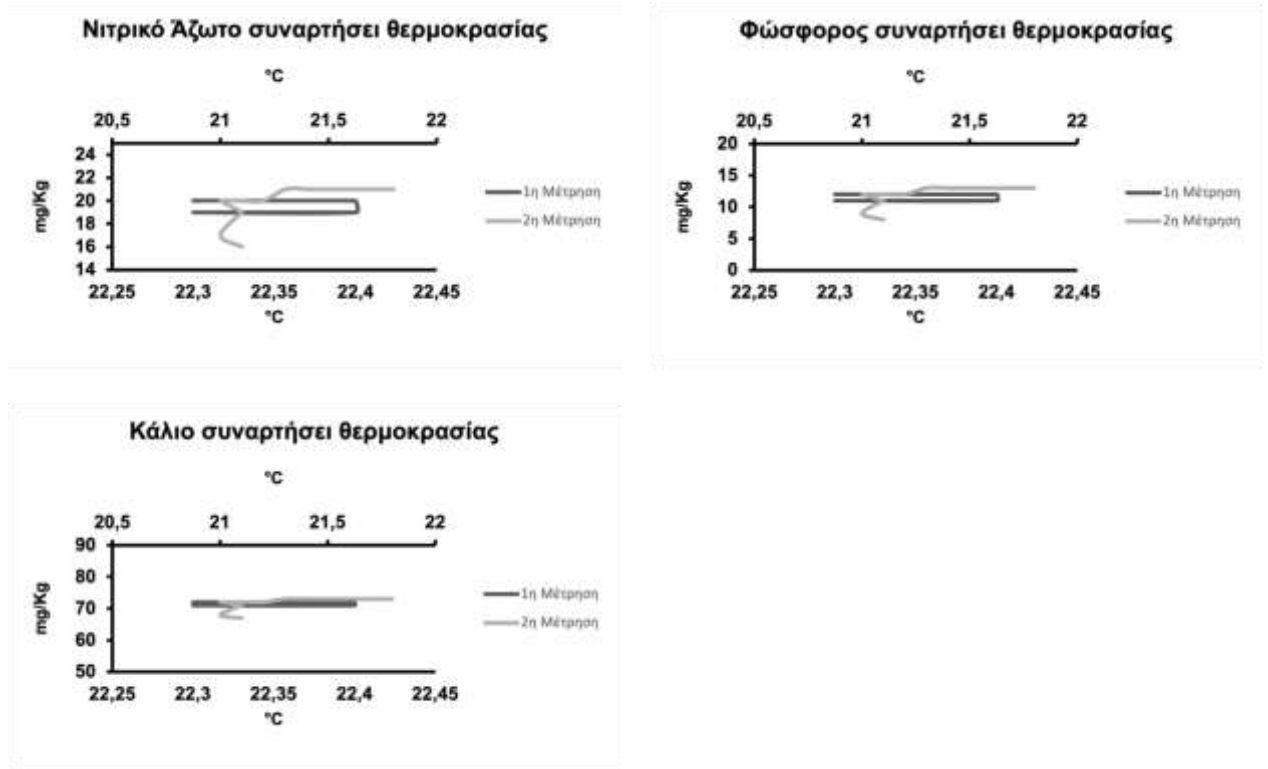
Εικόνα 3.47 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους D3 σε σχέση με την θερμοκρασία



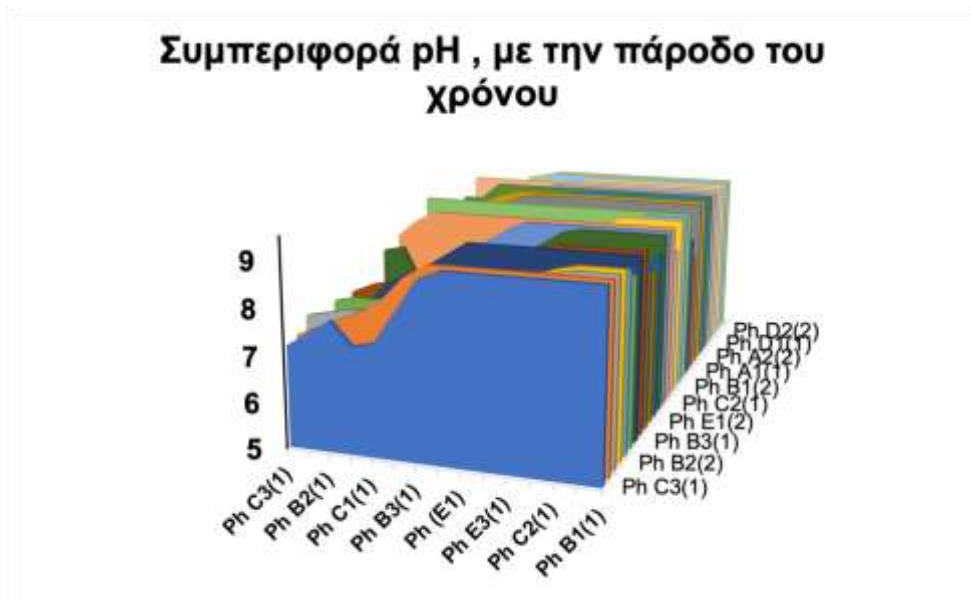
Εικόνα 3.48 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E1 σε σχέση με την θερμοκρασία



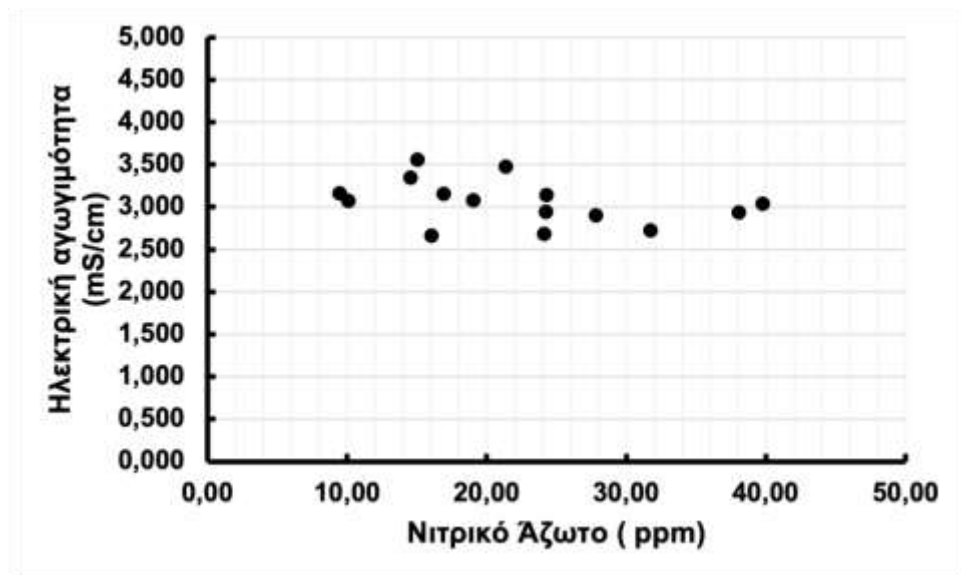
Εικόνα 3.49 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E2 σε σχέση με την θερμοκρασία



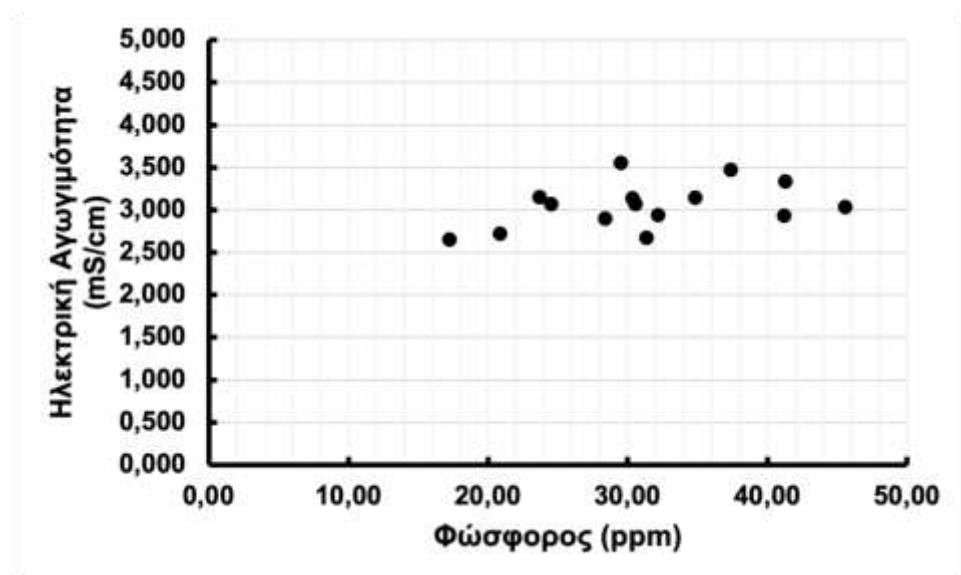
Εικόνα 3.50 Συμπεριφορά θρεπτικών συστατικών εδάφους E3 σε σχέση με την θερμοκρασία



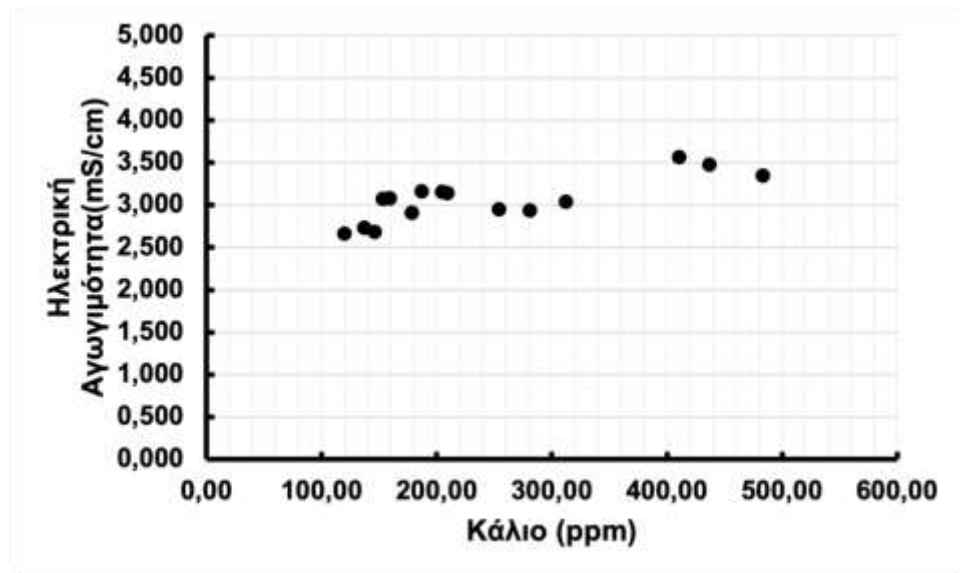
Εικόνα 3.51 Συμπεριφορά του αισθητήρα στην μέτρηση του pH, με την πάροδο του χρόνου



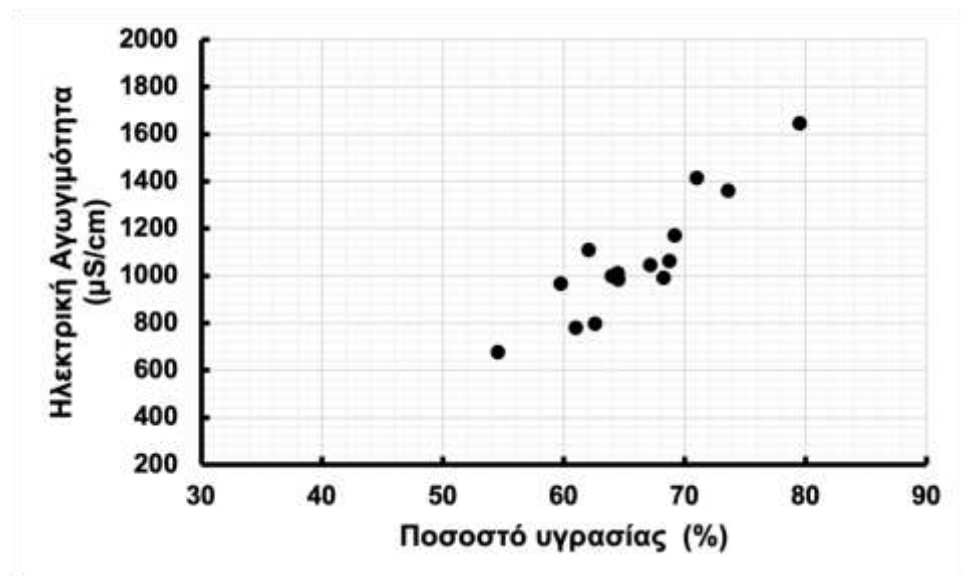
Εικόνα 3.52 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Νιτρικού Άζώτου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους



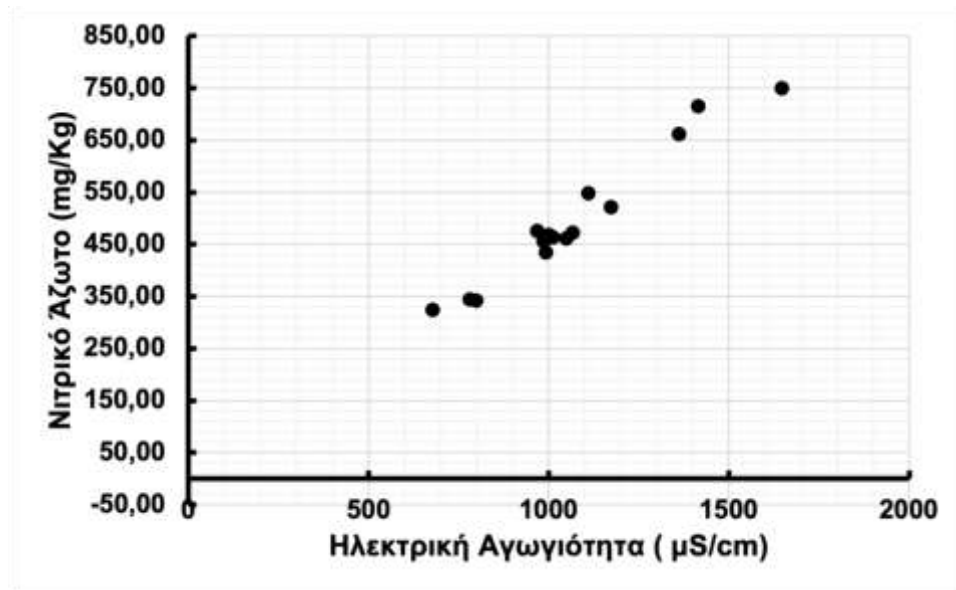
Εικόνα 3.53 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Φωσφόρου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους



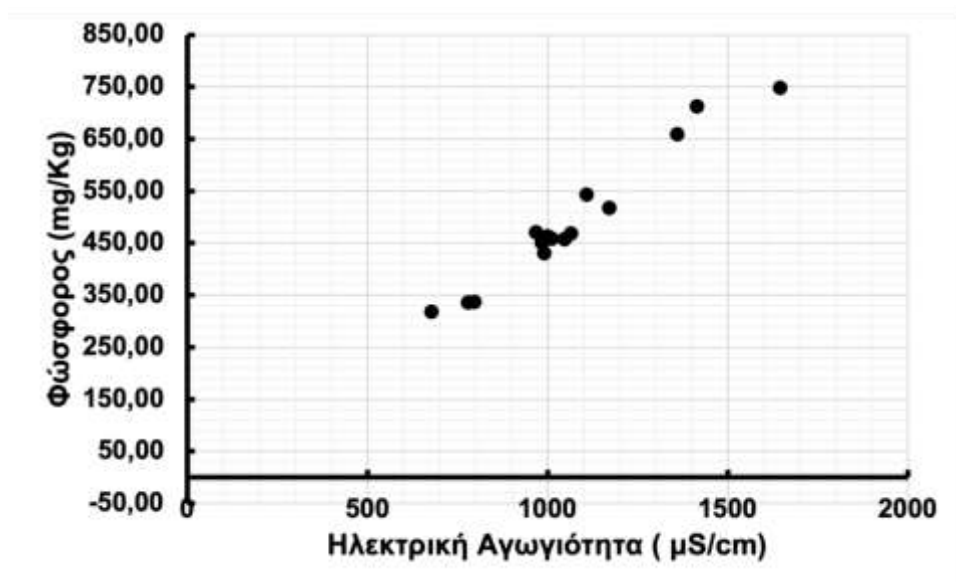
Εικόνα 3.54 Συσχέτιση μετρήσεων μέσω χημικών αναλύσεων Καλίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για όλα τα δείγματα εδάφους



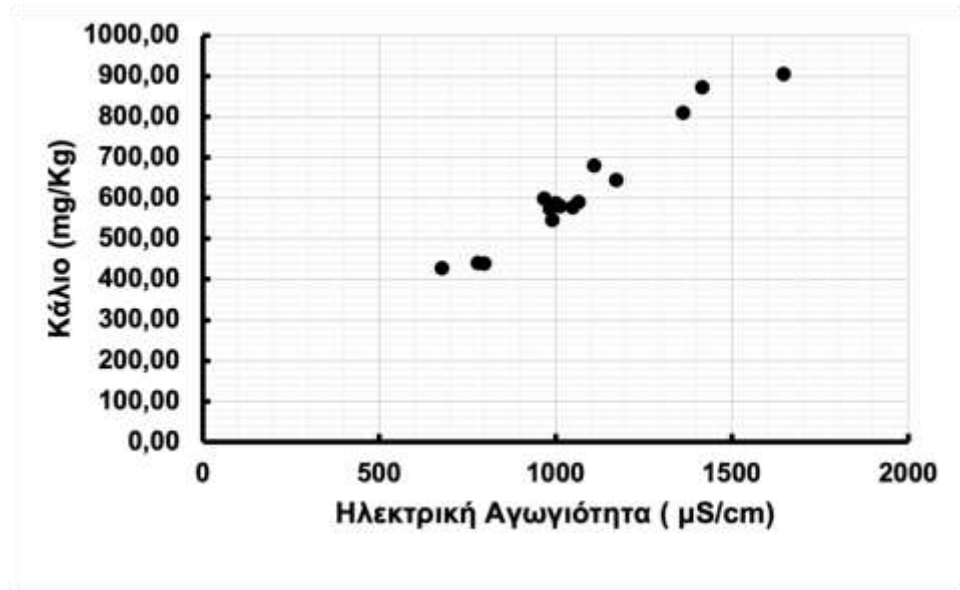
Εικόνα 3.55 Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και υγρασίας σύμφωνα με τις μετρήσεις τους για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους



Εικόνα 3.56 Συσχέτιση μετρήσεων Νιτρικού Αζώτου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους



Εικόνα 3.57 Συσχέτιση μετρήσεων Φωσφόρου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους



Εικόνα 3.58 Συσχέτιση μετρήσεων Καλίου και ηλεκτρικής αγωγιμότητας για υψηλά ποσοστά υγρασίας όλων των δειγμάτων εδάφους

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής, διαπιστώθηκαν κρίσιμα συμπεράσματα για την αξιοπιστία του αισθητήρα και για τον τρόπο που συμπεριφέρεται. Όπως και επίσης τυχόν προβλήματα που αφορούν τις διατάξεις, τον κώδικα και την σειριακή επικοινωνία. Τέλος προέκυψαν αναμενόμενα στοιχεία για την συμπεριφορά του εδάφους.

4.1 Παρατηρήσεις που αφορούν τις μετρήσεις του αισθητήρα με χαμηλό ποσοστό υγρασίας

Σε αυτό το πρώτο στάδιο των μετρήσεων που χρησιμοποιείται χαμηλό ποσοστό υγρασίας, ο Πίνακας 3-26 παρουσιάζει άμεσα τις τιμές των θρεπτικών συστατικών που έλαβε ο αισθητήρας αλλά και εκείνες που πάρθηκαν μέσω χημικών αναλύσεων. Στις περισσότερες από αυτές υπάρχει μεγάλη απόκλιση στις τιμές. Παρακάτω εμφανίζεται πίνακας που φανερώνει σε ποσοστά την απόχλη της κάθε τιμής του αισθητήρα, από την αντίστοιχη επιθυμητή δοσμένη.

Εδάφη	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 1 ^{ης} μέτρησης Νιτρικού Αζώτου	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 2 ^{ης} μέτρησης Νιτρικού Αζώτου	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 1 ^{ης} μέτρησης Φωσφόρου	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 2 ^{ης} μέτρησης Φωσφόρου	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 1 ^{ης} μέτρησης Καλίου	Ποσοστιαία Διαφορά τιμών 2 ^{ης} μέτρησης Καλίου
A1	58%	21%	1%	-31%	-35%	-37%
A2	-5%	-30%	-6%	-44%	-27%	-35%
A2	10%	-25%	-42%	-68%	-44%	-53%
B1	126%	102%	-39%	-58%	-51%	-44%
B2	49%	33%	-37%	-61%	-45%	-30%
B3	11%	-27%	-31%	-62%	-42%	-54%
C1	187%	128%	-25%	-49%	-53%	-56%
C2	26%	-29%	-19%	-68%	-60%	-68%
C3	69%	27%	-45%	-63%	-56%	-62%
D1	20%	-26%	-39%	-70%	-64%	-72%
D2	-29%	-43%	-55%	-63%	-70%	-77%
D3	-24%	-51%	-52%	-73%	-73%	-78%
E1	44%	6%	-53%	-69%	-82%	-85%
E2	13%	-34%	-61%	-81%	-80%	-87%
E3	50%	14%	-69%	-76%	-83%	-88%

Πίνακας 4-1 Ποσοστιαία διαφορά θρεπτικών συστατικών αισθητήρα από της επιθυμητές τιμές του Ινστιτούτου

Για την εύρεση του ποσοστού αυτού χρησιμοποιήθηκε ο τύπος, για το κάθε δείγμα και θρεπτικό συστατικό ξεχωριστά:

$$\frac{\text{μέτρηση αισθητήρα} - \text{επιθυμητή τιμή μέτρησης}}{\text{επιθυμητή τιμή μέτρησης}} \times 100$$

Φαίνεται πως οι μετρήσεις για το κάλιο μπορούν να χαρακτηριστούν “χειρότερες” καθώς παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά.

Για τον παραπάνω λόγο κρίθηκε αναγκαίο να εξεταστεί, η συμπεριφορά θρεπτικών με βάση τις μετρήσεις του αισθητήρα για τα εδάφη A, B, C, D και E. Όπως είναι γνωστό για το κάθε έδαφος παρήχθησαν 3 δείγματα που έχουν διαφορετικές συγκεντρώσεις θρεπτικών μεταξύ τους. Εξετάζεται η συμπεριφορά του αισθητήρα στα 3 δείγματα του κάθε εδάφους.

Για το **έδαφος A** παρατηρείται, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.21, Εικόνα 3.22 και Εικόνα 3.23**

- Οι μετρήσεις του Νιτρικού Αζώτου έχουν την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης
- Οι μετρήσεις του Φωσφόρου και του Καλίου δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά με εκείνες της χημικής ανάλυσης

Για το **έδαφος B** παρατηρείται, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.24, Εικόνα 3.25 και Εικόνα 3.26**

- Η 1^η μέτρηση του Νιτρικού Αζώτου, έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης
- Η 2^η μέτρηση του Φωσφόρου, έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης
- Η 1^η μέτρηση του Καλίου, έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης

Για το **έδαφος C** παρατηρείται, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.27, Εικόνα 3.28 και Εικόνα 3.29**

- Η 1^η μέτρηση του Νιτρικού Αζώτου, έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης
- Οι μετρήσεις Φωσφόρου και Καλίου, δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά με εκείνες της χημικής ανάλυσης

Για το **έδαφος D** παρατηρείται, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.30, Εικόνα 3.31 και Εικόνα 3.32**

- Οι μετρήσεις Νιτρικού Αζώτου, Φωσφόρου και Καλίου, δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά με εκείνες της χημικής ανάλυσης

Για το **έδαφος E** παρατηρείται, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.33, Εικόνα 3.34 και Εικόνα 3.35**

- Η 1^η μέτρηση του Νιτρικού Αζώτου, έχει την ίδια συμπεριφορά με εκείνη της χημικής ανάλυσης
- Οι μετρήσεις Φωσφόρου και Καλίου, δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά με εκείνες της χημικής ανάλυσης

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
Να τονιστεί πως, στις μετρήσεις θρεπτικών που δεν είχαν την ίδια συμπεριφορά, οι αποκλίσεις δεν ήταν μεγάλες και η συμπεριφορά τις περισσότερες φορές κατά 66%, δηλαδή 2/3 των εδαφών, είχαν την επιθυμητή συμπεριφορά. Επίσης παρατηρείται πως διακρίνεται το Νιτρικό Άζωτο, καθώς οι μετρήσεις του αισθητήρα για αυτό εξήγαγαν πως είχε την κατάλληλη συμπεριφορά σχεδόν σε όλα τα εδάφη. Αποτελεί άλλωστε το σημαντικότερο θρεπτικό συστατικό του εδάφους.

Οι μετρήσεις του αισθητήρα, με το πρώτο πρωτόκολλο μετρήσεων εξήγαγαν σημαντικές πληροφορίες για την συμπεριφορά του αισθητήρα κατά την διάρκεια των μετρήσεων:

- Οι τιμές των θρεπτικών άλλαζαν ελάχιστα ως καθόλου. Ακόμα και οι μετρήσεις που έγιναν την επομένη μέρα έδειξαν ότι οι αλλαγές δεν ήταν χαώδεις
- Η υγρασία επηρεάζει άμεσα τα θρεπτικά συστατικά και την συγκέντρωσή τους
- Η θερμοκρασία, η οποία είναι παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την υγρασία και κατά συνέπεια τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών συστατικών, ήταν αδύνατο να δράσει. Το γεγονός αυτό φαίνεται στα διαγράμματα στις σελίδες **112-119**. Αυτό οφείλεται, στις μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας, κάτι που είναι λογικό καθώς η διαδικασία λήψης μετρήσεων έγινε στο ίδιο περιβάλλον, στον χώρο εργαστηρίου.
- Η συμπεριφορά του pH, όσο ο αισθητήρας βρισκόταν εντός του χώματος ήταν η ίδια για κάθε δείγμα εδάφους. Συγκεκριμένα σύμφωνα και με την **Εικόνα 3.51**, είχε ανοδική τάση και έτσι μέχρι το τέλος των μετρήσεων γινόταν 9, που είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει ο αισθητήρας. Αυτό οφείλεται στην κίνηση των ιόντων υδρογόνου. Όποτε για την τιμή pH του πολτού η ιδανική τιμή ήταν εκείνη που έδειχνε στις πρώτες μετρήσεις

Επιπρόσθετα από τις δοσμένες τιμές των χημικών αναλύσεων παρατηρείται η σχέση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τα θρεπτικά συστατικά. Στις εικόνες: **Εικόνα 3.52, Εικόνα 3.53 και Εικόνα 3.54**, οι μετρήσεις από όλα τα δείγματα, σχηματίζουν ευθείες που είναι παράλληλες προς τον άξονα x. Αυτό σημαίνει πως για όλα τα δείγματα επιτεύχθηκε η μέτρηση μέσω χημικών αναλύσεων με το ίδιο ποσοστό υγρασίας, αφού οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι πολύ κοντά.

4.2 Παρατηρήσεις που αφορούν τις μετρήσεις του αισθητήρα με υψηλό ποσοστό υγρασίας

Αυξάνοντας δραματικά τα ποσοστά της υγρασίας, αυτό που εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί, είναι πως οι τιμές θρεπτικών συστατικών, υγρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας εκτοξεύονται. Οι πίνακες: **Πίνακας 3-42 και Πίνακας 3-43** παρουσιάζουν τις τιμές που απέχουν πάρα πολύ εκείνες που έγιναν μέσω χημικής ανάλυσης. Παρόλα αυτά, επιβεβαιώνεται σε μεγάλο βαθμό η σχέση υγρασίας και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Στην **Εικόνα 3.55** φαίνεται πως οι μετρήσεις των δειγμάτων που εξετάστηκαν, για την υγρασία και την ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσιάζουν μια ευθεία που φανερώνει ότι είναι ανάλογα ποσά. Τέλος, σύμφωνα με τις εικόνες: **Εικόνα 3.56, Εικόνα 3.57 και Εικόνα 3.58** τα θρεπτικά συστατικά των δειγμάτων φαίνονται να έχουν και αυτά ανάλογη εξάρτηση από την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα δείγματα μεταξύ τους για να έρθουν στην ίδια υφή ή έστω κοντά, είχαν διαφορετικές απαιτήσεις στην υγρασία. Παρατηρείται πως από το Α έδαφος στο Ε η προσθήκη του ποσοστού του νερού αυξανόταν για να επέλθει η ίδια μορφή χώματος προς μέτρηση.

4.3 Παρατηρήσεις που αφορούν τις διατάξεις

Όσον αφορά το κομμάτι των διατάξεων παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα. Η 1^η διάταξη λειτούργησε κανονικά χωρίς να παρουσιαστούν δυσκολίες και οι μετρήσεις που παρουσιάζονται πάρθηκαν με αυτόν τον τρόπο. Η 2^η διάταξη ήταν αδύνατο να λειτουργήσει. Όπως ειπώθηκε, για την σειριακή επικοινωνία του αισθητήρα θα πρέπει να το request μήνυμα από το Arduino να έχει την κατάλληλη διευθυνσιόδοτηση για την υγρασία, την θερμοκρασία, την ηλεκτρική αγωγιμότητα, το pH και τα θρεπτικά συστατικά NPK. Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν για την διεργασία αυτή, από διάφορες διαδικτυακές πηγές δεν λειτούργησαν, καθώς κυκλοφορούν διάφορες παραλλαγές του αισθητήρα χωρίς να βρεθεί η κατάλληλη. Το γεγονός αυτό ώθησε στο να επιστρέφονται μηδενικές τιμές κάθε φορά που γινόταν μέτρηση, κάνοντας αδύνατη την συλλογή δεδομένων με αυτόν τον τρόπο.

4.4 Κύρια συμπεράσματα αισθητήρα εδάφους

Συνολικά, ο αισθητήρας την τωρινή στιγμή είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθεί άμεσα σε κάποια εφαρμογή. Καθώς για να γίνει κάτι τέτοιο θα πρέπει να αποτελέσματα των δεδομένων που συλλέγει είναι άμεσα και ακριβή. Χωρίς να χρειαστεί κάποιος, δηλαδή να ακολουθήσει την διαδικασία ανάλυσης δεδομένων για να βγάλει τα συμπεράσματα, κάτι που είναι αρκετά χρονοβόρο. Παρόλα αυτά στην μακρινή εικόνα ο τρόπος συμπεριφοράς του στις μετρήσεις δεν είναι απαγορευτικός. Ενώ τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα, σαν κατασκευή το ξεχωρίζουν στην διάρκεια του χρόνου, διατηρώντας την απόδοση του σε αντίξοες συνθήκες. Η μορφή επικοινωνίας του το ξεχωρίζει καθώς το RS-485 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλες αποστάσεις, που υπάρχουν τέτοιες στον αγροτικό τομέα και παράλληλα να υποστηρίξει ταυτόχρονα πολλούς αισθητήρες. Με την κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να γίνει ακόμα πιο αξιόπιστος. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να ακολουθεί συγκεκριμένη διαδικασία. Το δύο πρώτα στάδια της οποίας πραγματοποιήθηκαν στην διπλωματική αυτή και έχει να κάνει με τις πρώτες μετρήσεις του αισθητήρα σε ένα σχετικά σταθερό περιβάλλον έχοντας ως σημείο αναφοράς της μετρήσει του εδάφους των χημικών αναλύσεων, έτσι ώστε να γίνει και η ανάλογη σύγκριση. Οι πληροφορίες που προέκυψαν από αυτήν την διαδικασία χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις στον αισθητήρα, που μπορούν να αφορούν τόσο το hardware όσο κάποια αλλαγές στο software και τον κώδικα της επικοινωνίας. Στην συνέχεια πραγματοποιείται πάλι η δοκιμή του αισθητήρα για να φανεί η πρόοδος του στην συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές έρευνες συνεισφέροντας στην καλύτερη βαθμονόμηση.

4.5 Μελλοντικές βελτιώσεις

Η κύρια βελτίωση, αφορά την βαθμονόμηση του αισθητήρα. Η ακρίβεια και η συνέπεια του στις μετρήσεις με το πέρασμα του χρόνου, είναι αυτά που θα το κάνουν ακόμα πιο αξιόπιστο. Από εκεί και πέρα, οι δυνατότητες που υπάρχουν όσο εξελίσσεται η τεχνολογία είναι μεγάλες. Αυτό σημαίνει πως μπορεί να αποτελέσει μέρος ενός έξυπνου συστήματος IoT για αγροτικές και όχι μόνο εφαρμογές. Να δημιουργηθεί κάποια εφαρμογή που να ελέγχει όλους τους παράγοντες του εδάφους και οι αισθητήρες εδάφους να ενημερώνουν άμεσα τον χρήστη για τα επίπεδα των θρεπτικών συστατικών. Έτσι η επέμβαση θα είναι άμεση, ίσως ακόμα και αυτοματοποιημένη, διευκολύνοντας σε μεγάλο βαθμό την ζωή του ανθρώπου.

1. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils (14th ed.). Prentice Hall
2. Lal, R. (2015). Soil health and carbon management. Food and energy security, 4(2), 117-130
3. FAO. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations
4. Gupta, U. C., & Gupta, S. C. (1998). Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Nutrition. In Soil, Crop and Water Management Systems for Rainfed Agriculture in the Sudano-Sahelian Zone (pp. 109-126)
5. Georges Hofman & Oswald Van Cleemput(2004), soil and Plant Nitrogen ,International Fertilizer Industry Association
6. Larsen, S. (1967). *Soil Phosphorus. Advances in Agronomy, 151–210*
7. Reitemeier, R. F. (1951). *Soil Potassium. Advances in Agronomy, 113–164*
8. Paul, E.A., & Clark, F.E. (1996). Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press
9. Campbell, G.S., & Norman, J.M. (1998). An Introduction to Environmental Biophysics
10. Neina, D. (2019). The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation. Applied and Environmental Soil Science, 2019, 1–9
11. <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/ph-levels#>
[Ηλεκτρονικά]
12. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Electrical%20Conductivity.pdf> [Ηλεκτρονικά]

13. Rhoades, J. D., & Corwin, D. L. (1981). Determining soil electrical conductivity-depth relations using an inductive electromagnetic soil conductivity meter. *Soil Science Society of America Journal*, 45(2), 255-260
14. Eric Anderson, Bruce MacKellar. Soil temperatures and planting timing – Part 1 of 3: Optimal soil temperature for planting. 2019. Michigan State University Extension
15. Kaspar, T. C., Bland, W. L. (1992, October). Soil Temperature and Root Growth. *Soil Science*, 154(4), 290-299
16. Abu-Hamdeh, Nidal. (2003). Thermal Properties of Soils as affected by Density and Water Content. *Biosystems Engineering*. 86. 97-102. 10.1016/S1537-5110(03)00112-0
17. Qadir, M., Quillerou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... & Drechsel, P. (2014). Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*, 38(4), 282-295
18. <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/salinity/impacts> [Ηλεκτρονικά]
19. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681
20. Dane, J. H., & Topp, C. G. (2002). *3.1 Water Content. SSSA Book Series*
21. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/understanding-soil-water-content-and-thresholds-for-irrigation-management.html> [Ηλεκτρονικά]
22. He, H., Turner, N. C., Aogu, K., Dyck, M., Feng, H., Si, B., ... Lv, J. (2021). Time and frequency domain reflectometry for the measurement of tree stem water content: A review, evaluation, and future perspectives. *Agricultural and Forest Meteorology*, 306

23. <https://www.instrumentchoice.com.au/news/what-are-volumetric-soil-moisture-sensors-how-do-they-work-which-one-is-right-for-me> [Ηλεκτρονικά]
24. Wallhan, E. F. (1939). *Use of Tensiometers for Soil Moisture Measurement in Ecological Research. Ecology*, 20(3), 403–412
25. https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/a_comp03.aspx [Ηλεκτρονικά]
26. Sensors of Soil Moisture Measurement, Ayushi Trivedi, Nirjharnee Nandeha, Yogesh Rajwade and K V R Rao, 3, ICAR-Central Institute of Agricultural Engineering, Bhopal, India
27. https://dducollegedu.ac.in/Datafiles/cms/ecourse%20content/Applied%20Physics_Thermoelectric%20effect.pdf [Ηλεκτρονικά]
28. <https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple.html>
29. Berard, R. G., & Thurtell, G. W. (1990). Soil temperature measurements. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 293–299
30. <https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple/rtd-sensors.html> [Ηλεκτρονικά]
31. A Comparative Study about Accuracy Levels of Resistance Temperature Detectors RTDs Composed of Platinum, Copper, and Nickel Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences NJES 26(3)216-225, 2023
32. <https://www.teamwavelength.com/thermistor-basics/> [Ηλεκτρονικά]
33. Becker, J. A., Green, C. B., & Pearson, G. L. (1946). *Properties and uses of thermistors — Thermally sensitive resistors. Electrical Engineering*, 65(11), 711–725
34. <https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple/thermistors.html> [Ηλεκτρονικά]

35. Sachin Kumar, Ritula Thakur, Babankumar shyam Bansod & Manish Kumar (2015). *Soil pH Sensing Techniques and Technologies – A review*
36. <https://atlas-scientific.com/blog/how-does-a-ph-probe-work/> [Ηλεκτρονικά]
37. Lund, E. D., Logsdon, S., Clay, D., Moore, D., & Tsegaye, T. (2008). *Soil Electrical Conductivity*
38. Laxmi C. Gavade, Mr. A.D. Bhoi , *N, P, K Detection & Control for Agriculture Applications using PIC Controller: A Review* .Vol. 6 Issue 04, April-2017
39. Han, E., & Kim, S. (2016). *A Review of Sensor Technology for Soil Electrical Conductivity Measurement*. *Sensors*, 16(12), 2011
40. Menezes-Blackburn, D., et al. (2018). *A Review of the Use of Phosphorus Proxies in Agriculture: Phosphorus in Soil and Plant Health*. *Agronomy*, 8(11), 235
41. Mohd Yusof, K., Isaak, S., Che Abd Rashid, N., & Ngajikin, N. H. (2016). *NPK DETECTION SPECTROSCOPY ON NON-AGRICULTURE SOIL*. *Jurnal Teknologi*, 78(11)
42. <https://www.jxct-iot.com/product/showproduct.php?id=197> [Ηλεκτρονικά]
43. Jia, H., & Guo, Z. (2010). *Research on the Technology of RS485 over Ethernet*. *2010 International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment*
44. Su Xunwen, Wang Shaoping, Zhu Dongmei, & Zhu, Q. (2010). *RS-485 serial port pseudo-full-duplex communication research and application*. *2010 Prognostics and System Health Management Conference*

45. Ha-Sung Kong, Kwang-Sun Kang & Jong-Seog Yang, *Noise elimination method in automatic fire detection equipment in accordance with communication distance*, Vol 10, No3(2016), pp. 41-50
46. Sumit Kumar, Sumit Dalal & Vivek Dixit, *THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS* , Vol. 2, Issue 3, pp: (461-466) (2014)
47. <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained> [Ηλεκτρονικά]
48. Gupta, A. (2019). *UART Communication. The IoT Hacker's Handbook*, 59–80

Πηγές εικόνων

- Εικόνα 1.1 <https://www.zurich.com/en/media/magazine/2021/how-soil-supports-life-on-earth-and-could-help-win-the-fight-against-climate-change> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 1.2 <https://croptivate.com/our-philosophy/nutrients/> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 1.3 <https://www.slideshare.net/slideshow/water-science-13-available-soil-water-150912ed/53673722> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 1.4 <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/ph-levels#> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 1.5 [13]
- Εικόνα 1.6 https://wiki.ubc.ca/Soil_Temperature_%28Thermometers%29 [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 1.7 [17]
- https://www.researchgate.net/publication/228776735_Land_degradation_processes/figures?lo=1 [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 2.1 <https://iiasa.ac.at/news/oct-2023/employing-artificial-intelligence-in-transition-to-healthy-soils> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 2.2 <https://extension.umn.edu/irrigation/soil-moisture-sensors-irrigation-scheduling#time-domain-reflectometry-%28tdr%29-sensors-1869261> [Ηλεκτρονικά]
- Εικόνα 2.3 <https://extension.umn.edu/irrigation/soil-moisture-sensors-irrigation-scheduling#time-domain-reflectometry-%28tdr%29-sensors-1869261> [Ηλεκτρονικά]

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
Εικόνα 2.4 <https://www.rcdmonterey.org/images/docs/publications/How-to-Use-Tensiometer-English-Reader-final.pdf> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.5 <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/soil-water-characteristic-curve> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.6 <https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple.html> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.7 [29]

Εικόνα 2.8 <https://www.iqsdirectory.com/articles/thermocouple/rtd-sensors.html> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.9 [31]

Εικόνα 2.10 <https://www.teamwavelength.com/thermistor-basics/> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.11 <https://www.seeedstudio.com/blog/2020/10/27/thermistors-ntc-and-ptc-thermistors-explained/> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.12 <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-temperature-with-thermocouples-rtds-and-thermistors.html> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.13 <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-temperature-with-thermocouples-rtds-and-thermistors.html> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.14 <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-temperature-with-thermocouples-rtds-and-thermistors.html> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.15 https://www.researchgate.net/profile/Manish-Kumar-787/publication/276145904_Soil_pH_Sensing_Techniques_and_Technologies_-_A_Review/links/55517f5908ae739bdb921d25/Soil-pH-Sensing-Techniques-and-Technologies-A-Review.pdf [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.16 <https://atlas-scientific.com/blog/how-do-conductivity-meters-work/> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.17 https://www.researchgate.net/publication/366175377_Soil_Nutrients_Analysis_Techniques_and_Crop_Fertilizers_Prediction-A_Review/figures?lo=1 [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.18 <https://www.jxct-iot.com/product/showproduct.php?id=197> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.20 <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.21 <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.22 <https://www.cuidevices.com/blog/rs-485-serial-interface-explained> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 2.23 [48]

Εικόνα 3.7 <https://khunsomsak.medium.com/7-in-1-soil-sensor-e7063e6646fb> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.8 <https://khunsomsak.medium.com/7-in-1-soil-sensor-e7063e6646fb> [Ηλεκτρονικά]

Ηλεκτρονικά συστήματα για την ανίχνευση θρεπτικών συστατικών εδάφους με εφαρμογή στην έξυπνη γεωργία
Εικόνα 3.9 <https://drive.google.com/file/d/1o4dCYjezNtKOGQ-wII0Ji5hKu9edk3i/view>
[Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.14 <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.15 <https://forum.arduino.cc/t/novus-n1050-temp-controller-to-esp32-and-rs485-ttl-converter/1181368> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.16 <https://lastminuteengineers.com/soil-npk-sensor-arduino-tutorial/> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.17 <https://lastminuteengineers.com/soil-npk-sensor-arduino-tutorial/> [Ηλεκτρονικά]

Εικόνα 3.18 <https://lastminuteengineers.com/soil-npk-sensor-arduino-tutorial/> [Ηλεκτρονικά]

