



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΞΙΑ
ΦΥΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ»**

**«Φασματικά χαρακτηριστικά επιφανειακών εδαφών
στη Δυτική Ελλάδα»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κυριακούλα Χριστοδουλοπούλου

A.M. 055780011

Επιβλέπων:

Παντελής Ε. Μπαρούχας, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΠΑΤΡΑ, 2020

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΚΕΦ.1- Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ	13
ΚΕΦ. 2- ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ.....	24
ΚΕΦ. 3- ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	42
ΚΕΦ. 4 -ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	57
ΚΕΦ. 5 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	71
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η μελέτη αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος με τίτλο «Τεχνολογίες παραγωγής και διατροφική αξία φυτικών προϊόντων» του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αποτύπωση των φασματικών χαρακτηριστικών επιφανειακών εδαφών στη Δυτική Ελλάδα και συγκεκριμένα για τις περιφερειακές ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας καθώς τα δεδομένα φασματικών υπογραφών εδαφών σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ελάχιστα , ενώ στον Ελλαδικό χώρο σχεδόν ανύπαρκτα. Στα δείγματα που μελετήθηκαν έγινε προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφών . Τα αποτελέσματα της έρευνας επεξεργάστηκαν και έγινε στατιστική ανάλυση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων σύμφωνα με τις μέχρι σήμερα βιβλιογραφικές αναφορές. Η προσπάθεια αυτή έγινε μέσα από την φασματοσκοπία ανάκλασης σε διάχυτη εκπομπή και χρησιμοποιήθηκε μια από τις πιο καινοτόμες τεχνικές για την εκτίμηση των εδαφικών ιδιοτήτων η Παλινδρόμηση Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLSR).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Μπαρούχα Παντελή, επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας εργασίας για την επιστημονική του καθοδήγηση και γνώση, τη γενικότερη ανθρώπινη βοήθεια του καθ' όλο το διάστημα της επίπονης προσπάθειας μου, κυρίως όμως θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις πολύτιμες συμβουλές του και την συνεχή ενθάρρυνση και εμπύχωση μου.

Ευχαριστώ το Εδαφολογικό Εργαστήριο Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας για την παροχή των δεδομένων και εδαφικών δειγμάτων και τη χρήση του εργαστηριακού χώρου κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης μελέτης.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, για την αμέριστη ηθική συμπαράσταση που μου παρείχε σ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αφορά τα φασματικά χαρακτηριστικά επιφανειακών εδαφών στη Δυτική Ελλάδα. Η φασματοσκοπία ανάκλασης αποτελεί σήμερα μια από τις πιο σύγχρονες τεχνικές για την εκτίμηση, άμεσα και χωρίς χρήση καταστρεπτικών τεχνικών στο εδαφικό δείγμα, εδαφικών ιδιοτήτων που είναι χρήσιμες για την άμεση λήψη αποφάσεων σύστασης λίπανσης στη γεωργία ακριβείας. Σε 659 επιφανειακά δείγματα από τη Δυτική Ελλάδα από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας έγινε η καταγραφή των φασμάτων στην περιοχή από 250 έως 2500 nm των εδαφικών δειγμάτων σε σχέση με λευκό υλικό αναφοράς (BaSO_4) σε διάχυτη εκπομπή, με τη χρήση φασματοφωτόμετρου και τεχνική σφαίρα ολοκλήρωσης. Έγινε προσπάθεια εφαρμογής του μοντέλου πρόβλεψης της περιεκτικότητας των εδαφικών δειγμάτων σε οργανική ουσία και ολικό ανθρακικό ασβέστιο με χρήση μεθόδου Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLSR).

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Φασματοσκοπία ανάκλασης εδάφους, εδαφικές ιδιότητες, οργανικός άνθρακας, ολικό ανθρακικό ασβέστιο, Παλινδρόμηση Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων.

ABSTRACT

This study concerns the spectra characteristics of surface soil samples in Western Greece. The reflectance spectroscopy is nowadays one of most state-of the art assessment techniques of soil properties, immediate and without the use of destructive techniques applied on the sample, which is useful for the immediate decision – making on the advice of fertilizing in precision agriculture. There has been a spectra recording on 659 surface samples from Western Greece, in particular from regional areas of Ilia, Achaia and Aitolokarnania, on 250 to 2500 nm in relation to white reference material (BaSO₄) with the use of spectrophotometer with integration sphere technique. There has been an effort of implementing a prediction model for the determination the content of the organic carbon and the total carbonates using Partial Least Square Regression analysis method.

Keywords

Soil sensing, proximal sensing, Reflectance Spectroscopy, soil carbon, total carbonates, Partial Least Square Regression.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

	Σελίδα
Πίν. 3.1. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Αγρινίου. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1931-1940 & 1947-2015(EMY)(Μπαρούχας, 2004).	50
Πίν. 3.2. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Πάτρας. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1931-1940 & 1947-2015(EMY) (Μπαρούχας, 2004).	53
Πίν. 3.3. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Πύργου. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1962-2015 (EMY).	56
Πιν.5.1 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων (μέση, μέγιστη & ελάχιστη τιμή), n=659	72
Πιν. 5.2 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων pH<7(μέση, μέγιστη & ελάχιστη),n=172	73
Πιν. 5.3 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων pH>7(μέση, μέγιστη & ελάχιστη),n=487	74
Πιν. 5.4 Κατηγορίες κλάση κοκκομετρίας εδαφών.	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

	Σελίδα
Εικ.3.1 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gaussen της περιοχής Αγρινίου.	49
Εικ.3.2 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gaussen της περιοχής Αχαΐας.	52
Εικ.3.3 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gaussen της περιοχής Πύργου.	55
Εικ.4.1 Εδαφικά δείγματα από την περιοχή της μελέτης.	57
Εικ.4.2 Προετοιμασία εδαφικού δείγματος	58
Εικ. 4.3 Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδάφους.	61
Εικ. 4.4 Σχεδιάγραμμα με τα τμήματα του φασματοφωτόμετρου (Mamur, 2016).	62
Εικ. 4.5 Φασματοφωτομέτρο εδαφικών δειγμάτων	63
Εικ.4.6 Υλικό αναφοράς (BaSO ₄)	63
Εικ.4.7 Εδαφικό δείγμα	64
Εικ.4.8 Προετοιμασία εδαφικού δείγματος για μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο	65
Εικ.4.9 Τοποθέτηση εδαφικού δείγματος στο φασματοφωτόμετρο	66
Εικ.4.10 Καταγραφή φάσματος εδαφικού δείγματος.	67
Εικ.5.1. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της άμμου% (ALL PH, pH<7, pH>7).	75
Εικ.5.2. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της αργίλου % (ALL PH, pH<7, pH>7).	76

Εικ.5.3. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της ιλύς % (ALL PH, pH<7, pH>7).	77
Εικ. 5.4 Διάγραμμα μέσης τιμής pH(ALL PH, pH<7, pH>7).	78
Εικ. 5.5 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής EC(μS/cm)(ALL PH, pH<7, pH>7).	79
Εικ.5.6 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής ολικού CaCO ₃ (ALL PH, pH<7, pH>7).	80
Εικ. 5.7 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής οργανικής ουσίας %κ,β, (ALL PH, pH<7, pH>7).	81
Εικ. 5.8 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής NO ₃ -N(ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	82
Εικ. 5.9 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής PO ₄ (ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	83
Εικ.5.10 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής K (ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	84
Εικ. 5.11 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής Mg(ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	85
Εικ. 5.12 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Fe(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).	86
Εικ. 5.13 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Zn(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).	87
Εικ. 5.14 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Mn(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).	88
Εικ. 5.15 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Cu(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).	89
Εικ. 5.16 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής B(ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	90

Εικ. 5.17 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Na(ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	91
Εικ. 5.18 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Ca(ppm) (ALL PH, pH<7, pH>7).	92
Εικ. 5.19 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης προσδιορισμού της κοκκομετρικής κλάσης του εδάφους (Πηγή: Gee, G.W and Bauder, J.W., 1986).	93
Εικ.5.20 Διάγραμμα συχνοτήτων κλάσης κοκκομετρίας εδαφών.	95
Εικ.5.21 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης pH (ALL,pH<7,pH>7).	98
Εικ.5.22 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης 11 κλάσεων κοκκομετρίας της μελέτης.	99
Εικ.5.23 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας(clay,sandy clay, silty clay loam, sandy loam, silt).	100
Εικ.5.24 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας(sand, sandy clay loam,silty clay).	101
Εικ.5.25 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας(loam,clay loam, loamy sand).	102
Εικ.5.26 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης οργανικής ουσίας (οργ. ουσία <2% ,οργ. ουσία >2%).	103
Εικ.5.27 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης ολικού ανθρακικού ασβεστίου (CaCO ₃ <5% , CaCO ₃ >5%).	104
Εικ. 5.28 Στατιστικά στοιχεία και διάγραμμα σημαντικότητας ανεξάρτητων μεταβλητών φασματικών περιοχών για εύρος φάσματος 250 - 1435 nm, για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου.	105
Εικ. 5.29 Στατιστικά στοιχεία και διάγραμμα σημαντικότητας ανεξάρτητων μεταβλητών φασματικών περιοχών για εύρος φάσματος 1440 – 2500 nm, για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου.	107

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην επιστήμη του εδάφους, η χρήση της φασματοσκοπίας διάχυτης ανάκλασης στην ορατή και κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία μεταξύ των 250 έως 2500 nm έχει δημιουργήσει μεγάλο ενδιαφέρον στους επιστήμονες που την μελετούν τις τελευταίες δεκαετίες. Η φασματοσκοπία στην ορατή και κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί και μετρά άμεσα χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια χρονοβόρα προεργασία ή παρασκευή χημικών αντιδραστηρίων. Η προετοιμασία των δειγμάτων και η μέτρηση με την VIS-NIR απαιτεί μόνο μερικά λεπτά ανά δείγμα.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι Bowers και Hanks έδειξαν ότι η εδαφική υγρασία συσχετίζεται με τα φάσματα εδάφους. Η φασματοσκοπία ανάκλασης έχει χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη αρκετών ιδιοτήτων εδάφους, όπως είναι ο οργανικός άνθρακας του εδάφους, η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, η αλάτωση του εδάφους, η οργανική ουσία του εδάφους, τα οξείδια του σιδήρου και το χρώμα του εδάφους.

Ένα σημαντικό εργαλείο για τους επιστήμονες είναι η δημιουργία φασματικών βιβλιοθηκών εδάφους. Αυτές οι φασματικές βιβλιοθήκες εκτός από αρχεία δεδομένων των φασματικών υπογραφών, έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν την φασματοσκοπία ανάκλασης και ως εργαλείο ψηφιακής χαρτογράφησης εδάφους.

Οι αναλύσεις φασμάτων ανάκλασης διάχυτης ακτινοβολίας, απαιτούν την εφαρμογή εξειδικευμένων μεθοδολογιών για την ερμηνεία των ιδιοτήτων του εδάφους από τα φάσματα. Μια από τις πιο γνωστές και καινοτόμες μεθοδολογίες είναι η Μερική Ελάχιστη Παλινδρόμηση Τετραγώνων (Partial Least Square Regression - PLSR). Είναι μια πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδος που περιέχει γνωρίσματα της Πολλαπλής Γραμμικής Παλινδρόμησης καθώς και της Παλινδρόμησης

Κύριων Συνιστωσών. Το κύριο χαρακτηριστικό της PLSR, είναι η ικανότητα που έχει να μοντελοποιεί και να αναλύει πολλές μεταβλητές Y ταυτόχρονα και αυτό δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να έχει μια πιο σαφή εικόνα απ' ότι αν υπήρχε ένα μοντέλο για κάθε μεταβλητή Y . Η μέθοδος της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (PLSR) έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων.

Σήμερα, η φασματοσκοπία ανάκλασης αποτελεί αντικείμενο μελέτης από τους επιστήμονες, καθώς είναι μια από τις πιο σύγχρονες τεχνικές για την εκτίμηση εδαφικών ιδιοτήτων που θα είναι χρήσιμες για την ταχύτερη λήψη αποφάσεων σύστασης λίπανσης στη γεωργία ακριβείας αλλά και στην ολοκληρωμένη διαχείριση των καλλιεργειών.

ΚΕΦ.1- Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Έδαφος, είναι το ανώτερο στρώμα του φλοιού της γης, πρόκειται για το καλλιεργήσιμο στρώμα της επιφάνειας με πάχος 35 ως 50 εκατοστά (Encyclopedia of Soil Science, 2008). Αποτελείται από ορυκτά σωματίδια, οργανική ύλη, νερό, αέρα και ζωντανούς οργανισμούς. Το έδαφος ως φυσικός πόρος είναι ζωτικής σημασίας, για ένα υγιές περιβάλλον αλλά και αναγκαίο για την γεωργία καθώς χρησιμοποιείται ως μέσο στήριξης και θρέψης των φυτών. Από το έδαφος, τα φυτά λαμβάνουν τα θρεπτικά στοιχεία και αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τις αγροτικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις καθώς επίσης, το έδαφος χρησιμοποιείται και ως φυσικό φίλτρο του υπόγειου νερού (Encyclopedia of Soil Science, 2008).

Είναι γνωστό, ότι ο σχηματισμός του εδάφους είναι μια πολύ αργή διαδικασία και γι' αυτό το λόγο το έδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη ανανεώσιμος πόρος (Soil, 2020). Ως μη ανανεώσιμος πόρος, υποβαθμίζεται γρήγορα και σχηματίζεται αργά, καθώς αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στις ανθρώπινες δραστηριότητες, στις φυσικές καταστροφές, στις εκχερσώσεις της γης (Lifesos, contamination, 2009-2020). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι για να σχηματιστούν 2 cm γόνιμου εδάφους χρειάζεται έως και 500 χρόνια. Το 95% των προϊόντων για τροφή άμεσα ή έμμεσα προέρχεται από το έδαφος (Soil, 2020). Το έδαφος είναι σημαντικό τόσο για τις δραστηριότητες του ανθρώπου, όσο και για την διατήρηση των οικοσυστημάτων. Επομένως, το έδαφος είναι ζωή (Lifesos, contamination, 2009-2020).

Το έδαφος, όπως αναφέρθηκε είναι ένας μη ανανεώσιμος πόρος, γι' αυτό το λόγο η παρακολούθηση και η πρόληψη της υποβάθμισης είναι

προτεραιότητα για τους επιστήμονες αλλά και για ολόκληρο τον πλανήτη. Έτσι, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων ιδιοτήτων επιφανειακών εδαφών από ολόκληρη την Ευρώπη και η οποία είναι γνωστή με την ονομασία «LUCAS–Land Use and Cover Area frame Survey - Topsoil» (Toth et al., 2013). Η βάση αυτή επικαιροποιείται ανά τακτά διαστήματα και αφορά συλλογή στοιχείων για τις φυσικοχημικές ιδιότητες των εδαφών στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η βάση δεδομένων LUCAS είναι το μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων εδάφους ανοιχτής πρόσβασης για τις ιδιότητες του εδάφους που διατίθενται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης, αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο είναι διαθέσιμο από το European Soil Data Centre (ESDAC, <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>). Επιπλέον, τα δεδομένα LUCAS έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για την διασταύρωση παλαιότερων εδαφολογικών χαρτών (Orgiazzi et al., 2018). Το έδαφος είναι το θεμέλιο όλης της ζωής του πλανήτη, καθώς χωρίς αυτό δεν θα υπήρχε παραγωγή γεωργικών προϊόντων και τροφίμων. Ωστόσο, αυτός ο φυσικός πόρος κινδυνεύει από πολλούς παράγοντες υποβάθμισης και γι' αυτό το λόγο οι άνθρωποι θα πρέπει να μεριμνήσουν για την προστασία του, ώστε το περιβάλλον να είναι κατάλληλο και υγιές για την επιβίωση του.

Η υποβάθμιση του εδάφους οφείλεται στην μη ορθολογική χρήση της γης μέσω της γεωργίας, της κτηνοτροφίας με την χρήση των βοσκοτοπιών, την αστικοποίηση και την βιομηχανία. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα, τη μείωση της γονιμότητας του εδάφους, η οποία παρατηρείται από την απώλεια των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, τη διάβρωση, την αλάτωση και τις έντονες πλημμύρες που οφείλονται στις βροχοπτώσεις και οδηγούν σε άμεσες και μακροπρόθεσμες αρνητικές συνέπειες σε παγκόσμιο επίπεδο (Conserve energy future, What is soil Degradation?, 2020). Η υποβάθμιση του εδάφους έχει αρνητική επίδραση σ' όλους τους τομείς,

όπως στην υγεία του ανθρώπου, τα τρόφιμα, στην αλλαγή του κλίματος, στην προστασία της βιοποικιλότητας, στην προστασία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων. Επίσης, η υποβάθμιση του εδάφους μπορεί να δημιουργήσει αστάθεια στις τιμές των τροφίμων που θα έχει ως αποτέλεσμα ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού να καταλήξει στην φτώχεια. Επιπλέον, τα προβλήματα που προέρχονται από την υποβάθμιση των εδαφών θα πρέπει να αντιμετωπίζονται και εκτός των περιοχών που έχουν το πρόβλημα.

Ο ορισμός της αειφορικής διαχείρισης του εδάφους μέσω του εγγράφου «2015 Παγκόσμιος χάρτης εδαφών». “Η διαχείριση του εδάφους μπορεί να είναι και αειφόρος όταν όλες οι εν γένει ανθρώπινες δραστηριότητες και υπηρεσίες που σχετίζονται με το έδαφος, δεν επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία του εδάφους όσο και τη βιοποικιλότητα σε αυτό” (FAO, 2015).

Ένα υγιές έδαφος αποτελεί προτεραιότητα για τους καλλιεργητές αλλά και για ολόκληρο τον πλανήτη, των οποίων η επιβίωση οφείλεται στην καλή διαχείριση του εδάφους και κατά κύριο λόγο στην γεωργία. Το έδαφος, στην διάρκεια των τελευταίων ετών υποβαθμίζεται τόσο στην Ευρώπη όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η ποιότητα του εδάφους επηρεάζεται από πολλούς κινδύνους. Η διάβρωση, η συμπίεση, η ρύπανση του εδάφους, η βιομηχανία, τα βαρέα μέταλλα, η αλάτωση του εδάφους, η μείωση της οργανικής ουσίας, η ερημοποίηση των εδαφών είναι μερικές από τις αιτίες υποβάθμισης των εδαφών που αφορά ολόκληρο το πλανήτη.

Ο κυριότερος κίνδυνος υποβάθμισης του εδάφους σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η διάβρωση, η οποία οφείλεται στην απομάκρυνση του εδάφους αλλά και στην αποσάθρωση των υλικών του εδάφους κατά την διάρκεια του χρόνου. Ακόμη, η επιρροή του νερού στην επιφάνεια της γης, ο άνεμος, οι ζωντανοί οργανισμοί καθώς επίσης, η χρήση του εδάφους στις

καλλιέργειες, π.χ. η εντατική καλλιέργεια, είναι μερικές από τις αιτίες που οδηγούν στην διάβρωση.

Διάβρωση έχει υποστεί περίπου το 85% του πλανήτη και έχει δημιουργήσει έως και 17% μείωση της παραγωγής των καλλιεργειών. Ειδικά στην Ευρώπη, υπολογίζεται η απώλεια του εδάφους λόγω διάβρωσης είναι της τάξεως των 2.46 t ha⁻¹έτος⁻¹ με συνολική απώλεια 970 MT ετησίως σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις (Chabrillat et al., 2018).

Κατά κύριο λόγο, η διάβρωση του εδάφους προκαλείται μέσα από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Η διάβρωση έχει αρνητικές συνέπειες για τον άνθρωπο αλλά και για το περιβάλλον παγκοσμίως. Η μείωση της απόδοσης της γεωργικής παραγωγής οφείλεται σε μεγάλο ποσοστό στην διάβρωση. Επίσης, η επαναλαμβανόμενη καλλιέργεια είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που προκαλούν την διάβρωση, καθώς οι αγρότες καλλιεργούν με συνεχόμενες καλλιέργειες τα εδάφη ώστε να παράγουν περισσότερα προϊόντα με στόχο την αύξηση των εσόδων τους, χωρίς ωστόσο να δίνουν την δυνατότητα στα εδάφη να «ξεκουράζονται» αλλά μέσω της κακής χρήσης να καταπονούνται με την συνεχή άροση. Ένας άλλος παράγοντας είναι οι έντονες βροχοπτώσεις, που πλήττουν κυρίως τις Μεσογειακές χώρες όπως την Ελλάδα, που έχουν ως αποτέλεσμα να μην μπορεί το βρόχινο νερό να απορροφηθεί από το έδαφος και γι' αυτό το λόγο ορισμένα εδάφη διαβρώνονται πιο εύκολα από την βροχόπτωση σε σχέση με άλλα που είναι πιο ανθεκτικά. Περιοχές που παρατηρείται έντονο το φαινόμενο της διάβρωσης, λόγω των βροχοπτώσεων, παρουσιάζουν πρόβλημα στην συγκράτηση του νερού μ' αποτέλεσμα να υπάρχουν συχνά πλημμύρες. Επιπλέον, η διάβρωση μειώνει την συγκράτηση του νερού και επιταχύνει την απώλεια των θρεπτικών στοιχείων από το έδαφος μέσω της απομάκρυνσης των εδαφικών τεμαχιδίων.

Ένας σημαντικός παράγοντας που θα μπορούσε να συμβάλλει στην αποφυγή της διάβρωσης του εδάφους είναι η βλάστηση, ώστε μέσω αυτής να συγκρατείται το έδαφος με το ριζικό σύστημα και γι' αυτό το λόγο θα πρέπει να αποτρέπονται να πραγματοποιούνται υλοτομίες, καύση γεωργικών υπολειμμάτων και οτιδήποτε άλλο είναι καταστροφικό για την βλάστηση. Αντίθετα, θα πρέπει να γίνεται ορθολογική χρήση του εδάφους κυρίως από τους αγρότες σε περιοχές που υπάρχει έντονη παρουσία διάβρωσης, με την φύτευση κυρίως δενδρωδών καλλιεργειών, που έχουν πιο ισχυρό ριζικό σύστημα, άλλα και με περισσότερη εφαρμογή γεωργικών πρακτικών όπως αμειψισπορά και αγρανάπαυση των εδαφών που καλλιεργούν.

Η συμπίεση του εδάφους είναι η αύξηση της φαινομενικής πυκνότητας σ' ένα έδαφος, που συμβαίνει μετά από πίεση που ασκείται στην επιφάνεια του. Το φαινόμενο της συμπίεσης, παρατηρείται κυρίως τους χειμερινούς μήνες που το έδαφος είναι υγρό ή μετά από έντονες βροχοπτώσεις, έχει ως αποτέλεσμα να συμπιέζεται με την διέλευση των οχημάτων και αυτό να συμβαίνει πιο έντονα στα καλλιεργήσιμα εδάφη με την διέλευση των γεωργικών μηχανημάτων. Η συμπίεση, υποβαθμίζει σε μεγάλο βαθμό την δομή του εδάφους και δυσκολεύει να εισέρχεται ο αέρας στους εδαφικούς πόρους καθώς επίσης, παρεμποδίζει τις λειτουργίες του εδάφους τόσο στην επιφάνεια, όσο και στα κατώτερα στρώματα και την ανάπτυξη των ριζών μέσα στο έδαφος. Για την αποφυγή της συμπίεσης, θα πρέπει να εφαρμόζονται μέτρα ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό. Η συμπίεση εμφανίζεται σ' αργιλώδη εδάφη τα οποία είναι πιο ευαίσθητα από τα αμμώδη. Όταν υπάρχει έντονη εδαφική υγρασία και μεγάλος βαθμός πυκνότητας συσσωματωμάτων, δηλαδή όσο πιο πρόσφατα έχει πραγματοποιηθεί άροση στο έδαφος, είναι πιο έντονο το φαινόμενο της συμπίεσης. Στα εδάφη που εμφανίζεται συμπίεση,

προτείνεται η εφαρμογή της αγρανάπαυσης των καλλιεργήσιμων εδαφών και η μείωση της κατεργασίας του εδάφους.

Η ρύπανση του εδάφους είναι ένας από τους πιο σημαντικούς κινδύνους που υπάρχει σε παγκόσμιο επίπεδο. Η προσθήκη χημικών ουσιών ή ακόμα και διάφορων υλικών έχουν αρνητική επίδραση στο περιβάλλον και στο έδαφος. Οι χημικές ουσίες που υπάρχουν στο έδαφος σε υψηλές συγκεντρώσεις αποτελούν ένα άμεσο κίνδυνο κατά την παραγωγή των τροφίμων και κατ' επέκταση για τον άνθρωπο, καθώς μεταφέρονται μέσω της τροφικής αλυσίδας (FAO, 2015). Η ρύπανση του εδάφους που δημιουργείται από τις χημικές ουσίες, μπορεί να είναι από φυσικούς ρύπους ή να είναι απόρροια της ανθρώπινης δραστηριότητας δηλαδή ανθρωπογενείς ρύποι. Η ρύπανση του εδάφους οδηγεί και στην ρύπανση των υπόγειων υδάτων. Η ανθρωπογενής ρύπανση προέρχεται κυρίως από την βιομηχανία αλλά και από τα γεωργικά, κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα, φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούν κυρίως οι καλλιεργητές χωρίς να εφαρμόζουν την ορθολογική χρήση αυτών. Ωστόσο, η ρύπανση του εδάφους μπορεί να δημιουργηθεί από ατυχήματα, απόβλητα μεταλλείων, ορυχείων και διαρροές πετρελαίου. Επιπλέον, η ρύπανση του εδάφους από βαρέα μέταλλα δημιουργεί έντονη υποβάθμιση του εδάφους με αρνητικές συνέπειες τόσο στο έδαφος όσο και στα υπόγεια ύδατα. Επίσης, η αποσάθρωση των πετρωμάτων μαζί με την παράγωγή αποβλήτων από τις βιομηχανίες παράγουν υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Τα βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni) και το χρώμιο (Cr) είναι από αυτά τα στοιχεία που συσσωρεύονται στο έδαφος και δεν αποικοδομούνται με συνέπεια, μέσω του εδάφους αλλά και των οργανισμών να εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα.

Η ρύπανση του εδάφους δημιουργεί άμεσες ή έμμεσες αρνητικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, τόσο στην υποβάθμιση του εδάφους

όσο και στα υπόγεια ύδατα, την πανίδα, την χλωρίδα, την ανθρώπινη υγεία αλλά και την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη μιας περιοχής, κυρίως ως προς την σημασία του εδάφους ως φυσικός πόρος αλλά και ως προς την χρήση του (Lifesos, contamination, 2009- 2020).

Ένας άλλος κίνδυνος που συμβάλλει στην παγκόσμια υποβάθμιση του εδάφους, είναι και η αλάτωση, η οποία μπορεί να προέρχεται είτε από φυσικές διαδικασίες είτε από ανθρώπινη δραστηριότητα. Η αλάτωση είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα υποβάθμισης του εδάφους που επηρεάζει κυρίως τις άγονες και ημι- άνυδρες περιοχές του πλανήτη (Fourati et al., 2015). Το κυριότερο πρόβλημα που εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό με την αλάτωση, είναι ότι παρουσιάζεται μειωμένη απόδοση των καλλιεργειών και αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άρδευση, που μπορεί να αυξήσει την αλάτωση των εδαφών και κυρίως σε περιοχές ξηρές όπου οι βροχοπτώσεις δεν έχουν διάρκεια, ώστε να μπορούν να ξεπλύνουν τα διαλυτά άλατα του εδάφους. Επίσης, όταν υπάρχει κακή στράγγιση στα εδάφη αυξάνονται οι συγκεντρώσεις των αλάτων και γι' αυτό τα εδάφη αυτά ονομάζονται αλατούχα εδάφη. Άλλες αιτίες αλάτωσης, που δημιουργούνται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι πρακτικές που εφαρμόζουν οι καλλιεργητές όπως η αγρανάπαυση σε περιόδους ξηρασίας με την παρουσία μεγάλης ποσότητας υπόγειου νερού αλλά και η κακή χρήση βαρέων οχημάτων που δημιουργούν συμπίεση με αποτέλεσμα την κακή στράγγιση των εδαφών, όπως και η χρήση λιπασμάτων με υψηλό δείκτη αλατότητας.

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας, περισσότερα από 77 εκατομμύρια εκτάρια γης έχουν ήδη παρουσιάσει προβλήματα από την αλάτωση και περίπου 43 εκατομμύρια εκτάρια έχουν δευτερογενή αλάτωση (FAO, 2007). Οι προβλέψεις δείχνουν ότι το 1/3 των αρδευόμενων εδαφών στις περισσότερες χώρες του πλανήτη έχουν ήδη επηρεαστεί από την αλάτωση ή πρόκειται να επηρεαστούν στο άμεσο

μέλλον. Ενδεικτικά, μια από τις χώρες που έχει πληγεί από την αλάτωση είναι η Τυνησία όπου υπολογίζεται ότι το 10% του εδάφους της που βρίσκεται στο κέντρο και νότια τμήματα της χώρας έχει υποστεί αλάτωση (Fourati et al., 2015).

Επίσης, μια άλλη χώρα που παρατηρείται το πρόβλημα της αλάτωσης είναι σε άγονες και ημι-άνυδρες περιοχές της Σικελίας, όπου η κακή ποιότητα του νερού και η εντατική χρήση του εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα να γίνεται άρδευση των καλλιεργειών με αλατούχα νερά δημιουργώντας αλάτωση. Η αλάτωση συνδέεται και με την ερημοποίηση των εδαφών, καθώς δημιουργεί αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή της καλλιέργειας και οδηγεί στην μείωση της ικανότητας πρόσληψης νερού των φυτών (FAO, 2007). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζεται η λειτουργία του συστήματος μεταξύ εδάφους, νερού, φυτού και να δημιουργεί μείωση της απορρόφησης των θρεπτικών συστατικών και κατά συνέπεια μείωση της παραγωγής των καλλιεργειών (Fourati et al., 2015). Τα αλατούχα εδάφη δημιουργούν μείωση στη διαθεσιμότητα του νερού στις καλλιέργειες και συχνά παρατηρείται τοξικότητα, αλλά και μείωση των θρεπτικών στοιχείων με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του εδάφους. Για να αποτραπεί η αλάτωση στα εδάφη ώστε να είναι πιο γόνιμα, θα πρέπει να ελέγχονται τα επίπεδα του pH, η δομή του εδάφους, η εδαφική υγρασία και να εφαρμόζεται η απαιτούμενη στράγγιση.

Με τον όρο οργανική ουσία ονομάζουμε τα οργανικά συστατικά του εδάφους, τα οποία περιέχουν ζωικά και φυτικά υπολείμματα με τα οποία πραγματοποιούνται διεργασίες αποικοδόμησης. Είναι ένα από τα κύρια συστατικά του εδάφους, καθώς δημιουργεί καλύτερη δομή, καλές συνθήκες αερισμού και διήθησης, ικανότητα συγκράτησης των θρεπτικών στοιχείων και του νερού καθώς και καλύτερη διαθεσιμότητα αυτών. Η οργανική ουσία είναι απαραίτητη για το έδαφος και η διατήρηση της ποσότητας και της ποιότητας της, είναι επιτακτική ανάγκη για το έδαφος

καθώς έτσι μπορεί να διατηρηθεί για αρκετά χρόνια η γονιμότητα των εδαφών (Rames et al., 2019).

Το ποσοστό της οργανικής ουσίας στα εδάφη όταν ακόμα αυτό είναι μικρό είναι σημαντικό, ωστόσο στα περισσότερα εδάφη είναι μεταξύ 2% -10 % . Η οργανική ουσία μπορεί να βρεθεί σε ανόργανα και οργανικά εδάφη. Αιτία μείωσης της οργανικής ουσίας είναι κυρίως οι συνέχεις καλλιέργειες που εφαρμόζουν οι καλλιεργητές, που έχει ως αποτέλεσμα την υποβάθμιση του εδάφους, καθώς τα εδάφη χάνουν μεγάλο ποσοστό των θρεπτικών συστατικών τους. Ως λύση θα ήταν οι καλλιεργητές να εφαρμόζουν πρακτικές όπως είναι αυτή της αγρανάπαυσης.

Η υποβάθμιση των εδαφών λόγω μείωσης της οργανικής ουσίας, είναι ένας σημαντικός κίνδυνος για τους καλλιεργητές γιατί αφορά την γονιμότητα του εδάφους και συμβαίνει κυρίως σε ξηρές περιοχές του πλανήτη. Η μείωση της οργανικής ουσίας παρατηρείται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας καθώς και από το είδος των μικροοργανισμών που συμμετέχει στην διαδικασία της αποικοδόμησης, καθώς επηρεάζονται από τις παραπάνω συνθήκες. Η οργανική ουσία ανήκει στα θρεπτικά συστατικά τα οποία δεν μπορεί να αυξηθούν γρήγορα ακόμα και κάτω από κατάλληλες συνθήκες. Με την αποικοδόμηση των οργανικών υλικών ένα μέρος διατηρείται ως οργανική ουσία και συγκεκριμένα ως χούμος.

Η ερημοποίηση των εδαφών είναι μια σημαντική απειλή υποβάθμισης του εδάφους σε παγκόσμιο επίπεδο, οφείλεται είτε σε φυσικούς, περιβαλλοντικούς παράγοντες είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Ο ορισμός της ερημοποίησης των Ηνωμένων Εθνών είναι η υποβάθμιση της γης σε ξηρές περιοχές που οφείλεται σε αρκετούς παράγοντες, μεταξύ αυτών η κλιματική αλλαγή και η ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως η επαναλαμβανόμενη καλλιέργεια που

πραγματοποιείται από τους παραγωγούς (Earth observatory, Temporary Drought or Permanent Desert?, 2007).

Η ερημοποίηση είναι ένα από τα πιο σημαντικά παγκοσμίως προβλήματα ως προς την υποβάθμιση του εδάφους αλλά και για το περιβάλλον. Το 40%- 41% της έκτασης του πλανήτη καταλαμβάνουν οι ξηρές περιοχές (Bauer, 2007) όπου εκεί κατοικούν 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι (Johnson et al., 2006). Από αυτό το ποσοστό το 10%-20% έχει υποβαθμιστεί ήδη και η συνολική έκταση που επηρεάζεται από την ερημοποίηση ανέρχεται στα 6-12 εκατομμύρια km². Περιοχές με το υψηλότερο επίπεδο ερημοποίησης στο πλανήτη είναι οι περιοχές του Σάχελ της Αφρικής (Earth observatory, Temporary Drought or Permanent Desert?, 2007). Η κυριότερη αιτία ερημοποίησης είναι η διάβρωση των εδαφών, η οποία παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο σε λοφώδεις περιοχές. Επίσης, η αλάτωση με την υποβάθμιση των υπόγειων υδάτων δημιουργεί και αυτή ερημοποίηση των εδαφών. Εκτός της υποβάθμισης του εδάφους, η ερημοποίηση επηρεάζει αρνητικά τον πληθυσμό και την οικονομία μιας περιοχής καθώς με την υποβάθμιση του εδάφους ως φυσικός πόρος για την παραγωγή προϊόντων αλλά και της οικονομίας μέσω του εισοδήματος που προέρχεται από αυτό, μπορεί να δημιουργήσει και μετακίνηση πληθυσμών σ' άλλες περιοχές (Kosmas et al., 1999a).

Η κλιματική αλλαγή παγκοσμίως προκαλεί σημαντικές αλλαγές στα οικοσυστήματα και δημιουργεί προβλήματα στην γεωργική παραγωγή και κατ' επέκταση στα γεωργικά προϊόντα ως προς την ασφάλεια τους. Τα τελευταία χρόνια, η αλλαγή του κλίματος έχει γίνει έντονη, καθώς δημιουργούνται έντονες βροχοπτώσεις και μεγάλες διακυμάνσεις των θερμοκρασιών όπου οφείλεται κατά κύριο λόγο στην συγκέντρωση του CO₂, ο οποίος συνεχώς αυξάνεται.

Το έδαφος ως μη ανανεώσιμος φυσικός πόρος, θα πρέπει να προστατεύεται με την εφαρμογή των νόμων, ως προς την χρήση του ώστε

να μην υπάρχουν ή να είναι όσο το δυνατό σε μικρό ποσοστό οι παραπάνω κίνδυνοι υποβάθμισης των εδαφών. Επίσης, η δημιουργία μηχανισμών και ενημέρωση του πληθυσμού θα συμβάλλουν στην εφαρμογή της ορθολογικής χρήσης του εδάφους και στην προστασία του σε παγκόσμιο επίπεδο (Kosmas et al., 1999a).

ΚΕΦ. 2- ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Φασματοσκοπία είναι ο κλάδος της Φυσικής και ιδιαίτερα της οπτικής ή κυματικής οπτικής που ασχολείται με την έρευνα και τη μελέτη της δομής, της σύστασης και των ιδιοτήτων των φασμάτων της ύλης καθώς και των διάφορων ακτινοβολιών. Είναι η επιστήμη που μελετά την αλληλεπίδραση μεταξύ της ύλης και της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Mohamed et al., 2016). Η φασματοσκοπία ανάκλασης είναι η μελέτη του φωτός ως συνάρτηση του μήκους κύματος που έχει προέρθει από την ανάκλαση. Τα φασματοσκοπικά δεδομένα περιέχουν ένα φάσμα που προέρχεται ως συνάρτηση του μήκους κύματος ή της συχνότητας. Φάσμα είναι οτιδήποτε φαίνεται και μπορεί να χαρακτηριστεί και με την έννοια ενός συνόλου, γεγονότων, θεωριών. Στην οπτική, είναι το οπτικό φαινόμενο που προκύπτει από την αποσύνθεση ή την ανάλυση μιας φωτεινής δέσμης στα επιμέρους συστατικά μήκη κύματος (Mohamed et al., 2016).

Η φασματοσκοπία άρχισε να μελετάται τον 17^ο αιώνα μετά την ανακάλυψη του Νεύτωνα το 1668, όπου έλαβε φάσμα του ηλιακού φωτός με παρεμβολή ενός διάφανου πρίσματος στη πορεία λεπτής φωτεινής δέσμης. Στις αρχές 1800, Joseph von Fraunhofer πραγματοποίησε πειράματα με φασματόμετρα διασποράς, που είχαν ως αποτέλεσμα η μέθοδος της φασματοσκοπίας να είναι πιο ακριβής στις μετρήσεις. Έτσι, η φασματοσκοπία έχει και συνεχίζει να έχει σημαντικό ρόλο στις επιστήμες της αστρονομίας, της φυσικής και της χημείας (Mohamed et al., 2016). Κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, η ορατή κοντά υπέρυθρη φασματοσκοπία ανάκλασης (VIS-NIR) άρχισε να χρησιμοποιείται κυρίως στην βιομηχανία, ωστόσο με την εξέλιξη των οργάνων μέτρησης

φασμάτων έχει προχωρήσει σε σημαντικά βήματα και ιδιαίτερα για τους ερευνητές που ασχολούνται με την γεωργική επιστήμη.

Στην επιστήμη του εδάφους, η χρήση της φασματοσκοπίας διάχυτης ανάκλασης στην ορατή και κοντά στην υπέρυθρη ακτινοβολία (VIS- NIR) μεταξύ των 250 έως 2500 nm, έχει δημιουργήσει μεγάλο ενδιαφέρον στους επιστήμονες που την μελετούν τις τελευταίες δυο δεκαετίες. Η φασματοσκοπία ανάκλασης είναι μια εναλλακτική, μη καταστρεπτική μέθοδος, ένα χαμηλού κόστους εργαλείο, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συλλογή πληροφοριών από μικρές ποσότητες δείγματος για διάφορες ιδιότητες του εδάφους. Η φασματοσκοπία ανάκλασης αποτελεί σήμερα μία από τις πιο σύγχρονες τεχνικές για την εκτίμηση, άμεσα και χωρίς χρήση καταστρεπτικών τεχνικών στο εδαφικό δείγμα, εδαφικών ιδιοτήτων που θα ήταν χρήσιμες για την άμεση λήψη αποφάσεων σύστασης λίπανσης στη γεωργία ακριβείας και γενικότερα στην ολοκληρωμένη διαχείριση των καλλιεργειών. Η εκτίμηση των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων μπορούν να συσχετιστούν και να ληφθούν συμπεράσματα για τις ιδιότητες του εδάφους, μέσα από την μέτρηση του φάσματος ενός δείγματος εδάφους. Σύμφωνα με πολλές έρευνες, προκύπτει ότι η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης είναι μια αξιόπιστη μέθοδος για την ερμηνεία των ιδιοτήτων ενός αριθμού δειγμάτων εδάφους. Η τεχνική της VIS -NIR μπορεί να εφαρμοστεί για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων εδάφους μέσω της εργαστηριακής ανάλυσης ή την αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους (Dongyun et al., 2017).

Ένα μόνο φάσμα του εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό πολλών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως είναι η υφή του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, το ολικό ανθρακικό ασβέστιο κ.ά (Knadel et al., 2018). Η φασματοσκοπία ανάκλασης του εδάφους είναι μια γρήγορη τεχνική για την ποσοτική αξιολόγηση των ιδιοτήτων του εδάφους σε σχέση με τα σημεία όσο και χωροταξικά. Η

ποσοτική προσέγγιση έχει εφαρμοστεί σε πολλούς κλάδους τις τελευταίες δυο δεκαετίες από πολλούς ερευνητές όπως σε κλάδους (π.χ. τρόφιμα, κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα), ενώ έχει γίνει προσέγγιση χαρτογράφησης σε φασματικά μέσω τηλεπισκόπησης (Schwartz et al., 2011).

Η φασματοσκοπία ανάκλασης εδάφους, έχει την δυνατότητα να επεξεργάζεται μια μεγάλη ποσότητα δεδομένων είτε αυτό αφορά σημεία, είτε εικόνα, ώστε μέσα από επεξεργασία δεδομένων με την χρήση μοντέλων να λαμβάνονται συμπεράσματα. Η φασματοσκοπία VNIR-SWIR έχει χρησιμοποιηθεί για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση (Schwartz et al., 2011; Mohamed et al., 2016; Angelopoulou et al., 2017).

Η φασματοσκοπία VIS-VNIR έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί και μετρά άμεσα χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια χρονοβόρα προεργασία ή παρασκευή χημικών αντιδραστηρίων. Η προετοιμασία των δειγμάτων και η μέτρηση με την VIS-NIR απαιτεί μόνο μερικά λεπτά ανά δείγμα (Barouchas, 2004; Hermansen et al., 2017). Επίσης, η φασματοσκοπία VIS-VNIR είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος που δίνει την δυνατότητα να γίνονται επιτόπου μετρήσεις εδάφους, σε πραγματικό χρόνο με μια απλή πηγή φωτισμού είτε αυτό είναι το φυσικό φως (ήλιος) είτε με ένα λαμπτήρα αλογόνου.

Η φασματοσκοπία εδάφους με την τεχνική NIRS χρησιμοποιείται σε πολλούς κλάδους όπως στην επιστήμη των τροφίμων, στην κλωστοϋφαντουργία, την βιομηχανία πετρελαίου. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1960, οι Bowers και Hanks έδειξαν ότι η εδαφική υγρασία συσχετίζεται με τα φάσματα εδάφους. Το έδαφος ως μη ανανεώσιμος πόρος έχει δημιουργήσει το ενδιαφέρον πολλών επιστημόνων και έχει δείξει μέσα από μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί ότι η φασματοσκοπία εδάφους μπορεί να δώσει πολλές ποσοτικές πληροφορίες εδάφους (Schwartz et al., 2011).

Η βιβλιοθήκη του εδάφους με μετρήσεις φασμάτων θεωρείται ένα σημαντικό εργαλείο για τους επιστήμονες. Επίσης, με την είσοδο στην αγορά των εργαστηριακών και φορητών φασματοφωτόμετρων έδωσε την δυνατότητα στους επιστήμονες, που ασχολούνται με το έδαφος να δημιουργήσουν περισσότερες φασματικές βιβλιοθήκες. Αυτές οι φασματικές βιβλιοθήκες εκτός από αρχεία δεδομένων των φασματικών υπογραφών, έχουν ως στόχο να δημιουργήσουν την φασματοσκοπία ανάκλασης και ως εργαλείο ψηφιακής χαρτογράφησης εδάφους. Ακόμη, στόχος των φασματικών βιβλιοθηκών είναι να υπάρξουν περαιτέρω πληροφορίες ώστε να μπορεί να γίνει χρήση των δεδομένων τηλεπισκόπησης ως μετρήσεις in-situ (επί τόπου) ακτινοβολίας ανάκλασης για βαθμονόμηση ή για την επεξεργασία των δεδομένων αλλά και για να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση εργαστηριακών αναλύσεων με την φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης (Brodský et al., 2011).

Ωστόσο, στην παγκόσμια φασματική βιβλιοθήκη εδάφους, υπάρχουν πολλές βιβλιοθήκες, όπως αυτή από εδάφη της Βόρειας Αμερικής που περιλαμβάνει 3794 δείγματα και παρουσιάζονται από τους Brown et al. (2006), τα οποία αναλύθηκαν για τον οργανικό άνθρακα εφαρμόζοντας την μέθοδο της Walkley Black. Ενώ, η φασματική βιβλιοθήκη ICRAF-ISRIC (ICRAF-ISRIC, 2010) περιέχει 4436 δείγματα από 785 προφίλ εδάφους από τις πέντε ηπείρους, από αυτά τα 3643 αναλύθηκαν για τις χημικές τους ιδιότητες αλλά και την υφή του εδάφους και η μέτρηση του οργανικού άνθρακα έγινε με την μέθοδο της Walkley Blank. Η Africa Soil Information Service (υπηρεσία πληροφοριών εδάφους της Αφρικής) είχε συγκεντρώσει μέχρι το 2013 ένα αριθμό δειγμάτων περίπου 17000 δείγματα από 60 περιοχές τα οποία μετρήθηκαν με τις εργαστηριακές μεθόδους ανάλυσης για τις ιδιότητες του εδάφους και με μετρήσεις φασματοσκοπίας (Africa Soil Information Service, 2012). Επίσης, ο Shepherd και ο Walsh (2002), συγκέντρωσαν περίπου 1000 δείγματα

εδάφους για την φασματική βιβλιοθήκη της ανατολικής και νότιας Αφρικής. Η βιβλιοθήκη της Αυστραλίας περιέχει 10677 δείγματα εδάφους τα οποία αναλύθηκαν στον ολικό οργανικό άνθρακα με διαφορετικές μεθόδους (Stevens et al., 2013).

Η πιο μεγάλη φασματική βιβλιοθήκη είναι αυτή της Ευρώπης, η Lucas Soil όπου έχουν συλλεχθεί 20000 δείγματα εδάφους και έχουν πραγματοποιηθεί αναλύσεις για τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους καθώς και μετρήσεις φασματοσκοπίας ανάκλασης VIS-NIR. Η φασματική βιβλιοθήκη LUCAS(Stevens et al., 2013) χαρακτηρίζεται ως μια από τις μεγαλύτερες και έγκυρες βιβλιοθήκες φασματικών δεδομένων, από την οποία δημιουργήθηκαν τα πρώτα μοντέλα βαθμονόμησης Ευρωπαϊκής κλίμακας για την πρόβλεψη της περιεκτικότητας του οργανικού άνθρακα. Υπάρχουν αρκετές δημοσιεύσεις σχετικά με την φασματοσκοπία ανάκλασης και πως αυτή χρησιμοποιείται(Ben-Dor, 2002; Schwartz et al., 2011; Mohamed et al., 2016). Ακόμη, μια μελέτη των Brown et al., (2006) έδειξε ότι η φασματοσκοπία ανάκλασης μπορεί να δώσει συμπεράσματα σε ένα σύνολο δειγμάτων εδάφους και όχι μόνο σ' ένα συγκεκριμένο. Οι Rossel και Behrens (2010)πραγματοποίησαν μια μεγάλη μελέτη με περισσότερα από 1.100 δείγματα εδάφους, χρησιμοποιώντας αλγόριθμους για τη μοντελοποίηση και ερμηνεία των φασμάτων διάχυτης ανάκλασης των εδαφών και την πρόβλεψη ορισμένων ιδιοτήτων εδάφους όπως του ολικού ανθρακικού ασβεστίου, της οργανικής ουσίας κ.α.(Schwartz et al., 2011).

Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία VIS-NIR έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην επιστήμη του εδάφους λόγω των μη καταστρεπτικών τεχνικών και της εύκολης χρήσης της (Anukool et al, 2017). Η φασματοσκοπία ανάκλασης έχει χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη αρκετών ιδιοτήτων εδάφους, όπως είναι ο οργανικός άνθρακας του εδάφους, η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα,

η αλάτωση του εδάφους, τα οξείδια του σιδήρου και το χρώμα του εδάφους(Barouchas, 2004; Marques, 2020).

Το έδαφος περιέχει την μεγαλύτερη ποσότητα οργανικού άνθρακα και λειτουργεί ως πηγή για την ατμόσφαιρα μέσω του διοξειδίου του άνθρακα CO₂, που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως π.χ η χρήση του εδάφους(Allory et al., 2019). Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους, έχει σημαντικό και κρίσιμο ρόλο ως δείκτης των οικοσυστημάτων και αποτελεί βασική συνιστώσα της ποιότητας του εδάφους όσο και την ασφάλεια του εδάφους (Dotto et al., 2017).Επίσης, ο οργανικός άνθρακας είναι από τα βασικά συστατικά της ποιότητας του εδάφους, το οποίο επηρεάζει τις οργανικές ενώσεις και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους(Mohamed et al., 2016).Ο οργανικός άνθρακας είναι μια από τις βασικές ιδιότητες του εδάφους, καθώς επηρεάζει την γονιμότητα του εδάφους, την σταθερότητα των αδρανών υλικών και την ανταλλαγή του CO₂ με την ατμόσφαιρα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρεί ως μια από τις κύριες αιτίες υποβάθμισης, την μείωση του οργανικού άνθρακα στα ευρωπαϊκά εδάφη, καθώς ο οργανικός άνθρακας είναι ένα από τα βασικά στοιχεία για την διατήρηση της ποιότητας του εδάφους και της παραγωγής των τροφίμων. Ωστόσο, το κόστος για την παρακολούθηση των ιδιοτήτων του εδάφους περιορίζει την συλλογή πληροφοριών από πολλά εδάφη (Nocita et al., 2013). Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω είναι ένα γρήγορο και αποτελεσματικό εργαλείο για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων του εδάφους. Η ορατή και κοντά- υπέρυθρη (VIS-NIR) φασματοσκοπία έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση εδάφους και έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια τα τελευταία χρόνια την περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα, αλλά και των άλλων ιδιοτήτων του εδάφους (Dotto et al., 2017).Η μέτρηση της περιεκτικότητας του οργανικού άνθρακα, σύμφωνα με την μέχρι τώρα χημική ανάλυση θεωρείται χρονοβόρα αλλά και με υψηλό κόστος διαδικασία, ενώ η

μέτρηση του οργανικού άνθρακα με την μέθοδο της φασματοσκοπίας διάχυτης ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία είναι εφικτή, καθώς το έδαφος είναι οργανικό και μέσω της ViS-NiR έχει ένα ισχυρό πλεονέκτημα λόγω των ιδιοτήτων απορρόφησης του οργανικού άνθρακα σε σχέση με τις ηλεκτρομαγνητικές φασματικές περιοχές (Shangshi et al., 2019). Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει ότι αν ληφθούν δείγματα από μεγάλης κλίμακας μπορεί να υπάρξουν μεγαλύτερα σφάλματα πρόβλεψης, σε σχέση με δείγματα που λαμβάνονται από μικρής κλίμακας εδάφη, καθώς από δείγματα που λαμβάνονται από ίδιες περιοχές έχουν αρκετές ομοιότητες στα φασματικά χαρακτηριστικά. Και γι' αυτό λόγο, πολλοί μελετητές έχουν προτείνει τα φασματικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από μικρής κλίμακας εδάφη να χρησιμοποιούνται στην βαθμονόμηση των φασματικών μοντέλων (Shangshi et al., 2019) και βάση αυτών να μπορούν να αξιοποιούν το πλεονέκτημα της σταθερής σχέσης μεταξύ φάσματος και οργανικού άνθρακα.

Η συγκράτηση του οργανικού άνθρακά του εδάφους μπορεί να είναι και ένας τρόπος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Gobrecht et al., 2014). Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία ViS-NiR μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια, μόνο με μικρά σφάλματα τον οργανικό άνθρακα τόσο στην ορατή όσο και στην κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία στα μήκη κύματος 1000-2500 nm. Η παρουσία οργανικής ουσίας στο έδαφος μειώνει την ανάκλαση στο φάσμα από 520-800 nm, ειδικότερα όταν η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας είναι μεγαλύτερη από 2%. (Gad et al., 2018).

Ένα στοιχείο της οργανικής ύλης που μειώνει την ανάκλαση του φάσματος στην περιοχή της ορατής κοντά υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι το χουμικό οξύ, ενώ το φουλβικό οξύ δεν επιδρά αρνητικά στην ανάκλαση του εδάφους (Mohamed et al., 2016).

Σύμφωνα, με κάποιες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε εδάφη της Ταϊλάνδης και του Ισραήλ, έδειξαν ότι στα εδάφη της Ταϊλάνδης που χρησιμοποιήθηκαν τεχνικά νευρωνικά δίκτυα, υπήρχε ακριβής πρόβλεψη της οργανικής ύλης ($R^2=0.86$) στην ορατή κοντά υπέρυθη ακτινοβολία (400-1100 nm). Στα εδάφη του Ισραήλ που χρησιμοποιήθηκαν υπερφασματικές εικόνες για την χαρτογράφηση της οργανικής ύλης σε πηλώδη εδάφη έδειξε ότι η μέση τιμή του σφάλματος RMSE (Root Mean Square Error) για τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών ήταν $R^2_m > 0.82$ (Mohamed et al., 2016).

Το 40% της επιφάνειας της γης χαρακτηρίζεται από άγονα και ημι-άνυδρα οικοσυστήματα. Το ανθρακικό ασβέστιο όπως και ο γύψος είναι τα πιο διαδεδομένα ανθρακικά και θειικά άλατα κυρίως σε εδάφη άγονα και ξηρά. Ο γύψος εντοπίζεται μαζί με τον ασβεστίτη και τα διαλυτά άλατα στο έδαφος και έχουν σημαντική επίδραση στις ιδιότητες του εδάφους. Μελέτες έχουν δείξει, ότι σε επιφανειακά εδάφη που περιέχουν γύψο >10% δεν ευνοούνται θετικά οι ιδιότητες του εδάφους όπως είναι η ικανότητα συγκράτησης του νερού και η δομή. Ενώ, σε εδάφη με περιεκτικότητα 10-25 % οι κρύσταλλοι του γύψου μπορεί να συμβάλλουν αρνητικά στη δομή του εδάφους, καταστρέφοντας τη σύνδεση των εδαφικών τεμαχιδίων μεταξύ τους και επομένως τη συνοχή αυτών στη μάζα του εδάφους. Τέλος, όταν τα εδάφη περιέχουν γύψο πάνω από 25% δεν αποτελούν κατάλληλο μέσο για την ανάπτυξη των φυτών (Khayamim et al., 2015).

Ο οργανικός και ο ανόργανος άνθρακας του εδάφους, έχουν σημαντικό ρόλο στις λειτουργίες του εδάφους και γι' αυτό το λόγο η πρόβλεψη των συστατικών του εδάφους, μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για τις ιδιότητες του εδάφους όπως είναι η γονιμότητα του. Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης έχει χρησιμοποιηθεί στην εκτίμηση και του ανόργανου άνθρακα στα εδάφη. Μελέτες έχουν δείξει

ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά των ανθρακικών εντοπίζονται στο φάσμα της ViS-NiR πάνω από 2000nm στα ανθρακικά άλατα(Csorba et al., 2016) και συγκεκριμένα στα 2300-2350 nm (Khayamim et al., 2015). Ενώ, οι απορροφήσεις του γύψου εντοπίζονται σύμφωνα με τους Hunt στα φάσματα 1000, 1200, 1400, 1600, 1740, 1900 και 2200 nm(Khayamim et al., 2015).

Οι αναλύσεις φασμάτων ανάκλασης διάχυτης ακτινοβολίας, απαιτούν την εφαρμογή εξειδικευμένων μεθοδολογιών για την ερμηνεία των ιδιοτήτων του εδάφους από τα φάσματα. Μια από τις πιο γνωστές και χρησιμοποιούμενες μεθόδους είναι η μερική ελάχιστη παλινδρόμηση τετραγώνων (Partial Least Square Regression - PLSR), που έχει εφαρμοστεί για την δημιουργία προγνωστικών μοντέλων, χρησιμοποιώντας φάσματα ανάκλασης που προέκυψαν κάτω από εργαστηριακές συνθήκες και για την συλλογή πληροφοριών που αφορούν τις ιδιότητες του εδάφους του οργανικού άνθρακα και του ανθρακικού ασβεστίου. Η PLSR είναι πιο διαδεδομένη τεχνική βαθμονόμησης λόγω της καλύτερης προσέγγισης που έχει στην πρόβλεψη των ιδιοτήτων του εδάφους σε σχέση με άλλες (Khayamim et al., 2015). Η μέθοδος της PLSR χρησιμοποιεί ολόκληρο το φάσμα ώστε να δημιουργήσει ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων του εδάφους(Csorba et al., 2016). Η PLSR έχει εφαρμοστεί σε πολλές μελέτες για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου(Dotto et al., 2017).

Η ρύπανση του εδάφους προέρχεται από χημικές ουσίες, που οφείλονται σε φυσικούς ρύπους ή από ανθρώπινη δραστηριότητα και την συναντάμε πιο έντονα στις ανεπτυγμένες περιοχές, όπου εκεί υπάρχουν βιομηχανικές εγκαταστάσεις και κυρίως σε βιομηχανίες που ασχολούνται με πυρηνικά (Angeloroulou et al., 2017), αλλά και σε απόβλητα που προέρχονται από την γεωργία, την κτηνοτροφία, τα ορυχεία ή τα μεταλλεία. Επίσης, μια άλλη πηγή ρύπανσης, είναι αυτή που προκύπτει

μετά από ατυχήματα όπως η διαρροή πετρελαίου και η ρύπανση από βαρέα μέταλλα που έχουν ως αποτέλεσμα την μόλυνση του εδάφους αλλά και των υπόγειων υδάτων.

Τα βαρέα μέταλλα στα εδάφη, στα λύματα και στα ιζήματα προέρχονται κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες (Fard et al., 2015) και απελευθερώνονται στο περιβάλλον μέσω του αέρα είτε αυτά προέρχονται από καύση ή επεξεργασία είτε μέσω των επιφανειακών υδάτων και το έδαφος. Είναι γνωστό, οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί η έκθεση των βαρέων μετάλλων στην ανθρώπινη υγεία (πονοκεφάλους, καρδιαγγειακές παθήσεις κ.α.). Τα βαρέα μέταλλα που προκαλούν πιο έντονα προβλήματα και είναι πιο τοξικά σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency USA) στην ανθρώπινη υγεία, στα φυτά και στα ζώα είναι το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb), το νικέλιο (Ni), ο υδράργυρος (Hg) (Fard et al., 2015). Ωστόσο, υπάρχουν και μερικά βαρέα μέταλλα όπως το κοβάλτιο (Co), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn) που θεωρούνται ωφέλιμα για τους οργανισμούς σε μικρές συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα με τις χημικές ενώσεις στις οποίες περιέχονται, δεν μπορούν να καταστραφούν ή να αποικοδομηθούν (Angelopoulou et al., 2017) με αποτέλεσμα μέσω των φυτικών και ζωικών οργανισμών να εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Βαρέα μέταλλα είναι τα μέταλλα που έχουν πυκνότητα 5 ή 6 $\text{gr}\cdot\text{cm}^{-3}$, ωστόσο έχουν βρεθεί και μέταλλα με πυκνότητα από 3,5 έως 7 $\text{gr}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Καμίτσα, 2018).

Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης θεωρείται ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για τον εντοπισμό βαρέων μετάλλων στο έδαφος, καθώς δίνει την δυνατότητα δημιουργίας νέων αισθητήρων στην γεωργία ακριβείας με την εφαρμογή νέων μεθόδων και αξιολόγηση των ιδιοτήτων εδάφους μέσω δορυφορικών αισθητήρων (Fard et al., 2015). Η προσρόφηση και η εκρόφηση των βαρέων μετάλλων ρυθμίζουν την

συγκέντρωση τους στο έδαφος και αυτό επηρεάζεται από τις ιδιότητες του εδάφους και συγκεκριμένα από την ποσότητα και τον τύπο των ορυκτών της αργίλου, την οργανική ύλη, τα οξείδια του σιδήρου και το μαγγάνιο. Η συσχέτιση ανάμεσα στα βαρέα μέταλλα και τα συστατικά του εδάφους που αναφέρθηκαν πιο πάνω, μπορούν να δώσουν μια σημαντική εκτίμηση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων μέσω της φασματοσκοπίας διάχυτης ανάκλασης. Η χρήση της ViS- NiR στα βαρέα μέταλλα πραγματοποιείται σε εδάφη με μικρές συγκεντρώσεις όπως σε γεωργικά εδάφη, εδάφη κοντά και εντός των πόλεων αλλά και σε ιζήματα που βρίσκονται σε ποτάμια (Sun et al., 2019).

Μέσα από τις μετρήσεις της φασματοσκοπίας ανάκλασης ViS-NiR, μπορούν να εντοπιστούν τα συστατικά ρύπανσης του εδάφους με ακρίβεια όπως τα οξείδια του σιδήρου (Fe) (Mohamed et al., 2016). Η απορρόφηση του σιδήρου(Fe) δίνει αποτελέσματα σε περιοχές με μήκη κύματος από 0,4 μm έως 1,3 μm . Ο γκαιτίτης (goethite) δίνει διπλή απορρόφηση κοντά στα 496 nm, ενώ με καθαρό goethite είναι πιο ισχυρή απορρόφηση στα 670 nm και 960 nm απ' ότι στα 496 nm. Ο Μπαρούχας (2004) αναφέρει ότι σε φυσικά και τεχνητά δείγματα γκαιτίτη δίνει μέγιστη απορρόφηση στα 447 nm και 548 nm. Η σχέση σιδήρου (Fe) και βαρέων μετάλλων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα πρόβλεψης. Επίσης, άλλοι ερευνητές έδειξαν ότι ο σίδηρος(Fe) έχει μεγάλη συσχέτιση με τα βαρέα μέταλλα και υψηλή στατιστική διασταυρούμενη επικύρωση(Schwartz et al., 2011). Ακόμη, μια μελέτη που διεξάχθηκε σε εδάφη της βόρειας Τυνησίας για τον εντοπισμό βαρέων μετάλλων όπως Fe, Pb, Zn, Mn, Ni και Cr έδειξε ότι τα αποτελέσματα των φασμάτων που προέκυψαν από την φασματοσκοπία ανάκλασης ViS-NiR από ορυκτά που περιέχουν σίδηρο μπορούν να συσχετιστούν με τους ρύπους των βαρέων μετάλλων και να χρησιμοποιηθούν ως έμμεσοι φασματικοί δείκτες ρύπανσης(Mohamed et al., 2016).

Σύμφωνα με την μελέτη των Ferrer (2009), φασματικά, τα οξείδια του σιδήρου μπορούν να συσχετιστούν με αυτά του Cu και αυτό φαίνεται από τα χαρακτηριστικά απορρόφησης που δίνει ο αιματίτης στο έδαφος κάτω από τα 502 nm. Επίσης, ένας κύριος παράγοντας των βαρέων μετάλλων είναι το pH, καθώς επηρεάζει την κινητικότητα αυτών στα εδάφη είτε άμεσα είτε έμμεσα. Σε τιμές pH πάνω από 6,8 ο Cu και το Cr θεωρούνται δυσκίνητα σύμφωνα με τον Fuller (1977), ενώ η κινητικότητα του Cd χαρακτηρίζεται μέτρια και η κινητικότητα του Cr εξαρτάται από την οξείδωση. Ακόμη, η οργανική ύλη δημιουργεί σύμπλοκα κυρίως με τα βαρέα μέταλλα όπως με το Cu, Cd, Pb και το Cr εξαιτίας της δέσμευσής τους με καρβοξυλικές ή με φαινολικές ομάδες (Angelopoulou et al., 2017). Η πρώτη μελέτη για την πρόβλεψη των βαρέων μετάλλων με φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία δημοσιεύτηκε από τους Malley και Williams το 1997 (Schwartz et al., 2011). Η μελέτη αφορούσε δείγματα από ιζήματα που είχαν συλλεχθεί από την λίμνη Precambrian Shield βορειοδυτικά του Καναδά για την πρόβλεψη βαρέων μετάλλων (Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Mn, Fe). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η ανίχνευση της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων μέσω της μεθοδολογίας PLSR στα ιζήματα, οφείλεται στην οργανική ουσία του εδάφους (Schwartz et al., 2011).

Η αλάτωση του εδάφους θεωρείται μια από τις σημαντικότερες αιτίες υποβάθμισης του εδάφους σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς δημιουργεί σημαντική απώλεια της γεωργικής παραγωγής και είναι ένα από τα κύρια προβλήματα του περιβάλλοντος που απειλεί τα εδάφη. Αλάτωση, εννοούμε την συγκέντρωση υδατοδιαλυτών αλάτων. Συμβαίνει σ' εδάφη που υπάρχει έντονη εξατμισοδιαπνοή κυρίως σε περιοχές που χαρακτηρίζονται άγονες ή ημι-άνυδρες (Fourati et al., 2015) αλλά και σε περιοχές που βρίσκονται δίπλα σε θάλασσα όπου το θαλασσινό νερό εισχωρεί σ' αυτά τα εδάφη αφήνοντας άλατα. Ωστόσο, το πρόβλημα της

αλάτωσης των εδαφών δημιουργείται και μέσω της ανθρώπινης δραστηριότητας, καθώς η ανάγκη των καλλιεργητών να αυξήσουν την γεωργική παραγωγή τους, οδηγούνται στην χρήση αρδευτικού νερού με υψηλή αλατότητα. Επομένως, η αλόγιστη χρήση αρδευτικού νερού με υψηλή αλατότητα σε συνδυασμό με την κακή στράγγιση αλλά και η χρήση λιπασμάτων που περιέχουν συστατικά υπό μορφή υδατοδιαλυτών αλάτων, οδηγούν στην υποβάθμιση του εδάφους μέσα από την αλάτωση. Η αλάτωση συνδέεται άμεσα με την ερημοποίηση των εδαφών. Η μέτρηση της αλατότητας των εδαφών γίνεται με τον προσδιορισμό της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του διαλύματος του εδάφους. Το USSL(1954) δημιούργησε την τεχνική του εκχυλίσματος κορεσμού, ο οποίος είναι ένας τρόπος μέτρησης της αλατότητας του εδάφους που εφαρμόζεται σε μια ποσότητα σε νερό αναφοράς(FAO, 2007). Για την παρακολούθηση της αλάτωσης του εδάφους χρειάζονται σύγχρονα εργαλεία. Η μέχρι τώρα δειγματοληψία και εργαστηριακή ανάλυση με χημικά αντιδραστήρια δεν θεωρείται αποτελεσματική επειδή είναι μια χρονοβόρα διαδικασία με υψηλό κόστος και δεν έχει την δυνατότητα ανάκτησης όλων των χρονικών και χωρικών μεταβλητών και γι' αυτό το λόγο , τις τελευταίες δεκαετίες έχει χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και την χαρτογράφηση της αλάτωσης, σύγχρονες τεχνικές τηλεπισκόπησης όπως πολυφασματικές, υπερφασματικές εικόνες και αεροφωτογραφίες. Επίσης, έχουν χρησιμοποιηθεί σύγχρονες μέθοδοι πολλαπλών μεταβλητών που είναι ευρέως διαδεδομένες, όπως είναι η μέθοδος της μερικής ελάχιστης παλινδρόμησης τετραγώνων (PLSR) μέσω της φασματοσκοπίας ανάκλασης (Fourati et al., 2015). Σύμφωνα με μια έρευνα του Mougnot (1993), οι ζώνες απορρόφησης αλάτων εντοπίζονται στην ορατή και μεσαία υπέρυθη ακτινοβολία εξαιτίας της παρουσίας νερού στο κρυσταλλικό πλέγμα στα 1450 nm και στα 1900 nm αλλά και στα 1400 nm και 2200 nm λόγω της υδοξυλομάδας(Fourati et al., 2015).

Η διαχείριση της καλλιέργειας και η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του εδάφους κρίνεται αναγκαία, καθώς μέσα από την επίβλεψη αυτών επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση της καλλιέργειας. Γι' αυτό το λόγο, η άμεση λήψη αποτελεσμάτων για την κατάσταση της καλλιέργειας και των θρεπτικών στοιχείων είναι απαραίτητη. Η παρακολούθηση των εδαφικών ιδιοτήτων καθ' όλη την διάρκεια της καλλιέργειας, μέσα από την φασματοσκοπία ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία (ViS-NiR) μπορεί να εντοπίσει προβλήματα άμεσα που παρουσιάζονται στην καλλιέργεια και να δώσει με ακρίβεια αποτελέσματα για την διαχείριση της, όπως είναι τα επίπεδα ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ο διαθέσιμος φώσφορος του εδάφους (Gholizadeh et al., 2013). Επίσης, η φασματοσκοπία ανάκλασης, μπορεί να δώσει με ακρίβεια αποτελέσματα στην ορατή περιοχή για το pH και την οργανική ουσία σε σχέση με την πρόβλεψη του αζώτου και του καλίου που δεν δίνει τόσο καλά αποτελέσματα. Οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους, μπορούν να εκτιμηθούν γρήγορα και αποτελεσματικά, μέσω της φασματοσκοπίας ανάκλασης με την τεχνική της μερικής ελάχιστης παλινδρόμησης τετραγώνων (PLSR)(Aitkenhead et al., 2017; Mobasheri et al., 2020). Η φασματοσκοπία ανάκλασης, δίνει την δυνατότητα εκτός από την ανίχνευση των θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος, να εντοπίζει στις καλλιέργειες ασθένειες και επιβλαβείς οργανισμούς, πριν ακόμα αυτά παρατηρηθούν από τον καλλιεργητή (Ren et al., 2008; Vresak et al., 2016). Η φασματοσκοπία στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία, μπορεί να πραγματοποιήσει ταυτοποίηση και να διακρίνει τα ξηρά φύλλα διαφορετικών φυτικών ειδών. Επίσης, μελέτες έχουν δείξει, ότι η διάκριση ζιζανίων και καλλιεργειών είναι εφικτή μέσα από την φασματοσκοπία ανάκλασης όπως αυτή μεταξύ της καλλιέργειας της τομάτας και διάφορων ειδών ζιζανίων. Ακόμη, μια άλλη μελέτη έχει διεξαχθεί για να διερευνήσει ότι μέσα από την φασματοσκοπία κοντά υπέρυθρης ακτινοβολίας (NiR)

μπορεί να εφαρμοστεί συγκεκριμένο ζιζανιοκτόνο για την καταπολέμηση ζιζανίου στην καλλιέργεια ώστε να γίνεται πιο στοχευόμενη η χρήση του, με στόχο την εξάλειψη των ζιζανίων από την καλλιέργεια. Η μελέτη των Liao (2012), για τον εντοπισμό των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς και συγκεκριμένα των φύλλων μέσω της φασματοσκοπίας ανάκλασης (NiR) έδειξε ότι το άζωτο (N) μπορεί να εκτιμηθεί καλά, ενώ ο φώσφορος (P), ο σίδηρος (Fe) και το μαγγάνιο (Mn) μέτρια και το κάλιο (K), ο ψευδάργυρος (Zn) και ο χαλκός (Cu) καθόλου. Επιπλέον, η ποιότητα των προϊόντων που προέρχονται από τις καλλιέργειες και η ανίχνευση των οργανοληπτικών συστατικών μπορούν να εντοπιστούν από την φασματοσκοπία, στην περιοχή του μήκους κύματος μεταξύ 1200 nm με 2200 nm, όπως έγινε με την καλλιέργεια mango για την γεύση των καρπών αλλά και για την αποθήκευση των καρπών (Aitkenhead et al., 2017). Ωστόσο, για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη παρακολούθηση των καλλιεργειών μέσω της φασματοσκοπίας ανάκλασης, θα ήταν σκόπιμο η εξέλιξη της σχεδίασης φορητών οργάνων μέτρησης φασμάτων, που θα ήταν εύκολη η μεταφορά τους στις καλλιέργειες ώστε να πραγματοποιούνται επιτόπου οι μετρήσεις. Αν και τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει σημαντικά βήματα στο τομέα αυτό καθώς έχουν κατασκευαστεί σύγχρονα συστήματα οργάνων με χαμηλό βάρος για την εύκολη μετακίνηση τους, χωρίς υψηλό κόστος όπως συσκευές που μπορούν να προσαρμοστούν σε μικρά μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAV) (Burkart et al., 2014). Επίσης, σημαντική παράμετρος για την λειτουργία των οργάνων μέτρησης φασμάτων είναι ο φωτισμός, ο οποίος αν δεν παρέχεται από τον εξοπλισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή φωτισμού το φυσικό φως του ηλίου. Σύμφωνα με μελέτη, έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή φωτισμού το φυσικό φως του ήλιου για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε άζωτο και χλωροφύλλη σε καλλιέργειες σε δυο μήκη κύματος 610 nm και 1220 nm, καθώς έχει εφαρμοστεί και

σύστημα αποφυγής αρνητικών επιπτώσεων της ηλιακής ακτινοβολίας (Aitkenhead et al., 2017).

Το χρώμα του εδάφους είναι και αυτό ένα χαρακτηριστικό που μπορεί να εκτιμηθεί μέσα από τις σύγχρονες μεθόδους φασματοσκοπίας και να δώσει αποτελέσματα για τις εδαφικές ιδιότητες του εδάφους. Η έννοια του χρώματος δύσκολα μπορεί να χαρακτηριστεί και να δοθεί ορισμός. Επειδή, μερικοί θεωρούν ότι το χρώμα είναι ο τρόπος που άνθρωπος διακρίνει δύο χρώματα. Ωστόσο, υπάρχει και η γνώμη, ότι έννοια του χρώματος είναι η αίσθηση που έχει ο άνθρωπος από το περιβάλλον μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, από τα μήκη κύματος όπως αυτό αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι και επεξεργάζεται το μυαλό. Σύμφωνα, με τους ερευνητές Billmeyer και Saltzman(1981) χρώμα είναι ότι βλέπουμε με το ανθρώπινο μάτι και αντιλαμβανόμαστε με το μυαλό μας. Το χρώμα σύμφωνα με το Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1996),είναι ένα από τα κύρια μορφολογικά χαρακτηριστικά για την έρευνα και την διάκριση των εδαφών. Το χρώμα είναι ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που μπορεί να δώσει εκτίμηση για την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι μπορούμε να διακρίνουμε με ορατό μάτι την περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας από το αν τα εδάφη είναι σκουρόχρωμα που δείχνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα οργανικής ουσίας, σε σχέση με τα ανοιχτόχρωμα εδάφη που υπάρχει λιγότερη και αυτό εντοπίζεται συνήθως σε εύκρατα κλίματα (Μπαρούχας Π., 2004). Το χρωματικό σύστημα Munsell, δημιουργήθηκε από τον A.H. Munsell το 1905 και είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα μεταξύ των χρωματικών συστημάτων. Το κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος Munsell είναι η κατάταξη των χρωμάτων, ώστε η διαφορά μεταξύ δυο χρωμάτων να διατηρείται σταθερή. Το σύστημα Munsell, αποτελείται από ένα κυλινδρικό σύστημα, όπου στο βιβλίο η κάθε σελίδα περιέχει χρώματα (Chips) της ίδιας χροιάς, ενώ οι

τιμές έντασης(Value) και καθαρότητας (Chroma) αυξάνονται από κάτω προς τα επάνω και από αριστερά σε δεξιά. Η έκφραση του χρώματος ακολουθεί πάντα την σειρά χροιά (Hue), ένταση (Value) και τέλος καθαρότητα (Chroma) του χρώματος (HV/C) (Μπαρούχας Π., 2004).

Το χρώμα όπως αναφέρθηκε είναι μια σημαντική ιδιότητα του εδάφους και μελετάται από τους ερευνητές όσον αναφορά την ταξινόμηση και την αναγνώριση των εδαφών(Gholizadeha et al., 2019). Επίσης, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του οργανικού άνθρακα και την ποσότητα του σιδήρου (Fe) στο έδαφος. Μέχρι και πριν λίγα χρόνια, η μέτρηση του χρώματος πραγματοποιούνταν με το χρωματικό σύστημα Munsell. Η μέτρηση γινόταν με υποκειμενικό τρόπο και γι' αυτό το λόγο η μέτρηση του χρώματος μ' αυτό τον τρόπο περιέχει κάποια μειονεκτήματα, όπως ότι οι μετρήσεις είναι υποκειμενικές και μπορεί να προκύψουν σφάλματα από τον μελετητή κατά την διάρκεια της μέτρησης του χρώματος στο εδαφικό δείγμα. Ακόμη, το χρωματικό σύστημα Munsell δεν είναι συνεχές και τέλος περιέχει μικρό αριθμό χρωμάτων (chips) που το κάνουν λιγότερο ακριβή στην εκτίμηση του χρώματος των εδαφικών δειγμάτων(Gholizadeha et al., 2019). Ωστόσο, ήταν αναγκαίο να βρεθούν γρήγορες και ακριβείς μεθόδους για την μέτρηση των χρωμάτων εδάφους και γι' αυτό το λόγο σύγχρονες μέθοδοι φασματοσκοπίας έχουν χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του χρώματος ώστε να λαμβάνονται πληροφορίες μέσα από τα φάσματα , όπως αυτή της φασματοσκοπίας ανάκλασης, η οποία έχει δώσει καλύτερα αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια στην μέτρηση του χρώματος απ' ότι αυτή του βιβλίου χρωμάτων Munsell (Μπαρούχας Π., 2004).Φασματικά δεδομένα έχουν χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του χρώματος καθώς επίσης, για την επίδραση των οξειδίων του σιδήρου στο χρώμα του εδάφους και την επίδραση της οργανικής ύλης στην ανάκλαση των ιδιοτήτων εδάφους(Barouchas et al., 2004). Η οργανική ουσία επηρεάζει σημαντικά

την καθαρότητα του χρώματος. Η παρουσία του φυσικού οξειδίου του σιδήρου όπως ο αιματίτης μπορεί να καλύψει ποσότητες πιο μεγάλες ενός άλλου φυσικού οξειδίου του σιδήρου , όπως αυτού του γκαιίτη και να δημιουργήσει πιο ερυθρή χροιά(Ανδριάνη κ.ά, 2008). Ο γκαιίτης σύμφωνα με την μελέτη των Μπαρούχα Π. και Μουστάκα (2004), μπορεί να διαχωριστεί από τον αιματίτη από την «χροιά». Η ομοιότητα των δειγμάτων στο «χρώμα» μπορεί να φανεί από την επίδραση των συστατικών του εδάφους όπως των οξειδίων του μαγγανίου και της οργανικής ουσίας. Η φασματοσκοπία ανάκλασης στην περιοχή των 380 – 770 nm με την εφαρμογή ενός μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης, μπορεί να εκτιμήσει την μέτρηση του χρώματος χωρίς να επηρεάζεται η ένταση του χρώματος από την οργανική ουσία, είτε υπάρχει αυτή είτε όχι στο εδαφικό δείγμα (Barouchas et al., 2004).

ΚΕΦ. 3- ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

ΑΓΡΙΝΙΟ

Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 37'$, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 23'$ και υψόμετρο βαρομέτρου 25 m. Η περιοχή του Αγρινίου ανήκει στην Αδριατική – Ιόνιο ζώνη και αποτελείται από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις πλειστοκαίνου ηλικίας και νεότερες. Η μεταφορά των υλικών στην περιοχή κατά κύριο λόγο έγινε από τους χείμαρρους και από τους ποταμούς Αχελώο και Ερμίτσα (Μπαρούχας, 2004). Ο Αχελώος διέρχεται από τις οροσειρές του Λάκμωνα, της Πίνδου και τα Τσουμέρκα. Ο ποταμός πηγάζει από τα όρη Λάκμωνος και Περιστερί νότια και νοτιοδυτικά του Μετσόβου. Όπου μέσω του όρος Γαβρόβου, περνάει στην περιοχή της Αιτωλίας και του Βάλτου και στην συνέχεια εκβάλλεται δυτικά του Μεσολογγίου στο Ιόνιο πέλαγος. Την λεκάνη απορροής του Αχελώου συμβάλλουν οι τρεις παραπόταμοι του, ο Αγραφιώτης, ο Μέγδοβας και ο μεγαλύτερος παραπόταμος του Αχελώου ο Ασπροπόταμος και οι τρεις συμβάλουν στην τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών. Ο ποταμός Αχελώος διασχίζει δυο κυρίως γεωλογικές ζώνες, την Ολωνού – Πίνδου και την Αδριατικό – Ιόνιο ζώνη (Μπαρούχας, 2004). Η Αδριατικό – Ιόνιο ζώνη αποτελείται από μια επαλληλία μεγάλων αντικλίνων και συγκλίνων με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ όπου είναι και η διεύθυνση της γεωλογικής ζώνης Ωλόνου- Πίνδου. Η κύρια στρωματογραφική ακολουθία χαρακτηρίζεται από την εβαποριτική σειρά καθώς και την τριαδικά λατυποπαγή περμο-τριαδικής ηλικίας, την ανθρακική σειρά Άνω-Τραδικής – Ηωκαινικής και τον αδιαίρετο φλύσχη. Η εβαποριτική σειρά χαρακτηρίζεται κυρίως από κοιτάσματα ανυδρίτη και γύψους, οι οποίοι τελευταίοι εντοπίζονται κυρίως κατά μήκος των ρηγμάτων. Τα τριαδικά λατυποπαγή εμφανίζουν επιφανειακή εξάπλωση

και εντοπίζονται από τον Αμβρακικό κόλπο έως τις όχθες του Αχελώου. Οι Ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι έχουν σχήμα λεπτοπλακώδη και σε μερικά σημεία περιέχουν κονδύλους πυριτόλιθου (Κουζελή, 2013). Η Αδριατικο-Ιόνιο ζώνη τελειώνει με τον σχηματισμό του φλύσχη όπου έχει μεγάλη ανάπτυξη και πάχος στο ανατολικό μέρος της ζώνης. Αποτελείται από λασπόλιθους μεγάλου πάχους, ψαμμίτες, ιλυόλιθους και λιγότερο από κροκαλοπαγή. Η λεκάνη του Αχελώου λόγω της τοπογραφικής διαμόρφωσή της έχει ως αποτέλεσμα την διαβρωτική ενέργεια των υδάτων απορροής κυρίως στις ορεινές περιοχές και την γρήγορη πρόσχωση των κοιλάδων όπου οι κλίσεις περιορίζονται. Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψομετρική διαφορά μεγαλύτερη των 300 μέτρων ανάμεσα των παρακείμενων κορυφογραμμών και των βαθιών κοιλάδων(Μπαρούχας, 2004).

ΑΧΑΪΑ

Η προς μελέτη περιοχή σε γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 15'$, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 44'$ και υψόμετρο βαρομέτρου 1 m. Στο νομό Αχαΐας βρίσκεται το Παναχαϊκό όρος ανατολικά της πόλης των Πατρών και είναι ο κύριος ορεινός όγκος της περιοχής. Ο ορειογραφικός άξονας του Παναχαϊκού όρους έχει διεύθυνση ΒΒΔ- ΝΝΑ και αυτό συνέβη καθώς η συγκεκριμένη περιοχή επηρεάστηκε από την δημιουργία αλπικών πτυχώσεων(Μανδηλαράς, 2005). Το έδαφος της περιοχής έχει σχηματισθεί σε παλαιές αλλουβιακές αποθέσεις που προήρθαν από πλημμυρικά νερά του ποταμού Πείρου, οι οποίες έχουν στο παρελθόν διαβρωθεί σημαντικά. Η περιοχή ανήκει στην γεωλογική ζώνη Ολώνου-Πίνδου όπου τα εδάφη της σχηματίστηκαν κατά κύριο λόγο από ασβεστόλιθο και φλύσχη. Η διάβρωση της περιοχή έχει επηρεάσει σημαντικά την γεωμορφολογία της συγκεκριμένης περιοχής και γι' αυτό

το λόγο εντοπίζονται δυο γεωμορφικοί τύποι, τα πρόσφατα αλλουβιακά πεδία και οι παλαιοί αλλουβιακοί αναβαθμοί. Τα πρόσφατα αλλουβιακά πεδία περιλαμβάνουν μια στενή λωρίδα κατά μήκος του ποταμού Πείρου και οι παλαιοί αλλουβιακοί αναβαθμοί αποτελούν το κύριο γεωμορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής (Μπαρούχας, 2004).

ΠΥΡΓΟΣ

Η υπό μελέτη περιοχή του Πύργου βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 40'$, γεωγραφικό μήκος $21^{\circ} 18'$ και υψόμετρο βαρομέτρου 10 m. Οι σχηματισμοί που υπάρχουν στο νομό Ηλείας είναι οι γεωλογικές ζώνες Ιόνιας, Τριπόλεως, Πίνδου και Πλειο-Πλειοστοκαινικά ιζήματα από πρόσφατες ή παλαιότερες Τεταρτογενείς αποθέσεις. Η γεωμορφολογία της περιοχής του Πύργου έχει ως γνώρισμα το ομαλό ανάγλυφο σε μεγάλη έκταση της πεδινής ζώνης καθώς και ομαλή μετάβαση στην ημιορεινή και λοφώδη ζώνη. Η επίδραση της τεκτονικής ζώνης είναι πιο μεγάλη στα βόρεια και ανατολικά της περιοχής. Τα γεωμορφολογικά της χαρακτηριστικά διαχωρίζονται στην πεδινή ζώνη, στην ημιορεινή και ορεινή ζώνη. Η πεδινή ζώνη είναι η μεγαλύτερη σε έκταση και αποτελείται από την ευρύτερη περιοχή του Πύργου προς τις εκβολές του ποταμού Αλφειού και την λεκάνη του ποταμού Ενιπέα. Οι σχηματισμοί που δημιουργούνται είναι οι αλλουβιακές προσχώσεις και οι ποτάμιες αποθέσεις. Η ημιορεινή ζώνη βρίσκεται στα κεντρικά και στα βόρεια και γεωλογικά αποτελείται από ψαμμίτες με εναλλαγές από αργίλους και εμφανίζονται στους σχηματισμούς του Βουνάργου. Στην ορεινή ζώνη χαρακτηρίζεται από έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και αποτελείται από συνεκτικά κροκαλοπαγή και ψαμμίτες (Καραπάνος, 2009). Η λεκάνη του Πύργου βρίσκεται νότια του τεκτονικού κέρασ του Λάπιθα και βόρεια από το τεκτονικό κέρασ του Ερύμανθου. Διασχίζει δυτικά των ακτών της

Πελοποννήσου και η έκταση ανέρχεται στα 1500 km² και χαρακτηρίζεται από Μετά-Άνω Μειοκαινική ιζηματογενή ακολουθία, η οποία έχει μεταφερθεί ασύμφωνα επάνω στους σχηματισμούς του αλπικού υπόβαθρου. Στην λεκάνη του Πύργου οι παράγοντες που επηρεάζουν την ιζηματογένεση της περιοχής είναι το φαινόμενο του συνιζηματογενούς τεκτονισμού και η εμφάνιση των εβαποριτών όπου ρυθμίζουν την διαμόρφωση των τεκτονικών δομών (Λαΐνας, 2018).

ΚΛΙΜΑ

Για τον χαρακτηρισμό του κλίματος έγινε χρήση του δείκτη Bagnouls-Gausson (BGI), ο οποίος είναι ένας από τους δείκτες για την εκτίμηση του δείκτη ποιότητας του εδάφους και την εδαφογενετική τους ταξινόμηση (Kosmas et al., 1999b). Με τον δείκτη Bagnouls-Gausson (BGI), ο οποίος είναι στοιχείο του δείκτη ποιότητας κλίματος, μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης ξηρότητας.

Η μέθοδος εστιάζεται στην ταξινόμηση του κλίματος σε σχέση με την διαθεσιμότητα του ύδατος. Όσο υψηλότερος είναι το BGI τόσο μεγαλύτερη είναι η έλλειψη νερού για τα φυτά μιας περιοχής.

Ο υπολογισμός του BGI απαιτεί κλιματικά δεδομένα αρκετών ετών ώστε μια περιοχή να χαρακτηριστεί με την επικρατούσα ξηρασία. Δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του BGI είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και η μέση μηνιαία βροχόπτωση.

Ο δείκτης ξηρότητας υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2t_i - P_i) * k$$

Όπου:

t_i : η μέση θερμοκρασία αέρα για το μήνα i σε 0°C

p_i : η συνολική βροχόπτωση για τον μήνα i σε mm

k : το ποσοστό του μήνα κατά το οποίο $2t_i - p_i > 0$.

(Η τιμή k μπορεί να προσδιοριστεί και από το ομβροθερμικό διάγραμμα)

Ο δείκτης BGI (Kosmas et al., 1999b) διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Πολύ χαμηλή ξηρότητα (very low aridity), BGI < 50
- Χαμηλή ξηρότητα (low aridity) , BGI 50-75
- Μέτρια ξηρότητα (moderate aridity), BGI 75-100
- Υψηλή ξηρότητα (high aridity), BGI 100-125
- Πολύ υψηλή ξηρότητα (very high aridity), BGI 125-1500
- Εξαιρετικά ξηρή ξηρότητα (extremely dry aridity), BGI > 150

Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις και περιοχές δασών και θάμνων. Η ξηρότητα είναι ένας κύριος περιβαλλοντικός παράγοντας που επηρεάζει την πορεία της φυσικής βλάστησης ενώ ο δείκτης ξηρότητας προσδιορίζει τον τύπο του κλίματος σε σχέση με την διαθεσιμότητα του ύδατος. Όσο ψηλότερος είναι ο δείκτης ξηρότητας μιας περιοχής τόσο μεγαλύτερη είναι και η μεταβλητότητα των υδάτινων πόρων και η έλλειψη με την πάροδο του χρόνου, τόσο πιο ευάλωτη είναι η περιοχή. Η μέθοδος έχει και πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι ότι η μέθοδος είναι πολύ απλή με χαμηλές απαιτήσεις δεδομένων, ενώ μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα τουλάχιστον 30 ετών

μετεωρολογικών δεδομένων για να έχουμε ασφαλή συμπεράσματα της μεθόδου.

Οι δείκτης Bagnouls – Gaussen Index (BGI) αποτελεί ένα βασικό εργαλείο για την Ταξινόμηση των Εδαφών. Ως ταξινομικό χαρακτηριστικό, ο χαρακτηρισμός του κλίματος με βάση απλά μετεωρολογικά στοιχεία μας δίνει την δυνατότητα να χαρακτηρίσουμε μια περιοχή (Kosmas et al., 1999b).

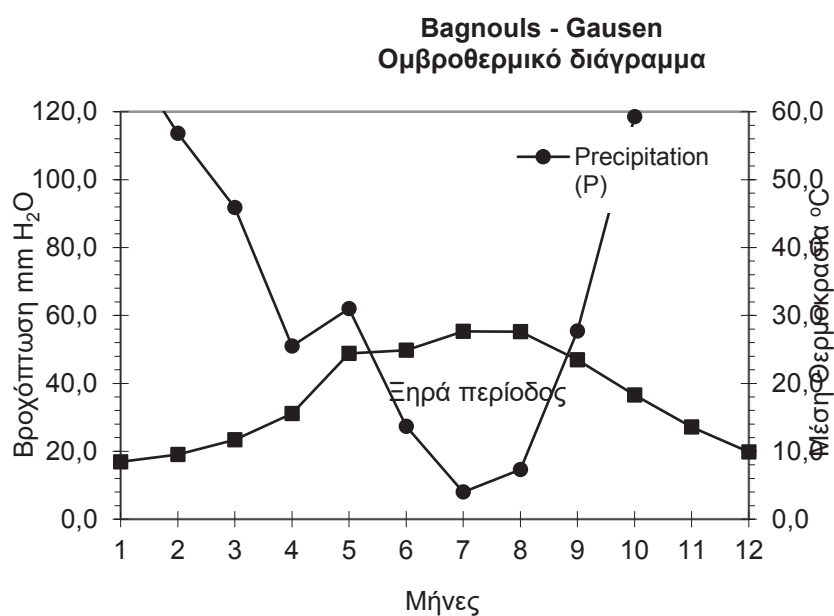
Στην παρούσα εργασία, αξιοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα για τα έτη 1931-2015 από την πλατφόρμα meteo.gr (<http://www.meteo.gr>), την Τεχνική Οδηγία του τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 του Υ.Π.Ε.Κ.Α (Υ.Π.Ε.Κ.Α, 2012) και από τους μετεωρολογικούς σταθμούς των περιοχών Αγρινίου, Πάτρας (Μπαρούχας, 2004) και Πύργου. Παρακάτω παρουσιάζονται τα ομβροθερμικά διαγράμματα Bagnouls-Gaussen και προσδιορίζεται ο δείκτης BGI για κάθε σταθμό.

ΑΓΡΙΝΙΟ

Στην περιοχή του Αγρινίου, σύμφωνα με το σύστημα Bagnoules - Gaussen, το κλίμα χαρακτηρίζεται ως Μέσο- μεσογειακό με ήπιο και υγρό χειμώνα καθώς με έντονη θερινή ξηρή περίοδο (Μπαρούχας, 2004). Το βιοκλίμα της περιοχής είναι ύφυγρο με ήπιο χειμώνα με βάση το κλιματικό διάγραμμα Emberger (Μαυρομάτης, 1980). Οι βροχοπτώσεις που υπάρχουν στην περιοχή είναι σχετικά μεγάλες χωρίς ωστόσο να είναι κατανομημένες ομοιόμορφα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που παρουσιάζονται παρακάτω για την περιοχή του Αγρινίου καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Αγρινίου για τις χρονικές περιόδους 1931-1940 και 1947-2015 (Μπαρούχας, 2004), (www.meteo.gr) (Υ.Π.Ε.Κ.Α, 2012). Το σύνολο της ετήσιας βροχόπτωσης 82,8 mm, το

405,7 mm της ολικής βροχής παρατηρείται τον χειμώνα , ενώ για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο η ολική βροχή είναι 218,4 mm. Η μέση χειμερινή θερμοκρασία είναι 9,3°C, η μέση θερινή θερμοκρασία είναι 26,7°C και η μέση ετήσια θερμοκρασία 17,9°C. Η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία για τους χειμερινούς μήνες είναι -3,5°C για τον μήνα Ιανουάριο και για τους θερινούς μήνες 11,8°C για τον μήνα Ιούνιο, ενώ η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είναι 19,4°C και 38,3°C αντίστοιχα. Στους χειμερινούς μήνες , στις αρχές της άνοιξης και στο τέλος του φθινόπωρου παρουσιάζεται σε μικρή συχνότητα πάχνη ενώ το χιόνι κατά την διάρκεια του χρόνου είναι σχεδόν μηδενικό. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας που παρουσιάζονται παραπάνω και με βάση το Soil Taxonomy το καθεστώς της εδαφικής θερμοκρασίας τάσσεται στο καθεστώς *thermic* (Μπαρούχας, 2004).

Ο δείκτης ξηρότητας BGI είναι 27,60 και χαρακτηρίζει την περιοχή με πολύ χαμηλή ξηρότητα κυρίως τους μήνες Ιούνιο έως Αύγουστο όπου η υψηλότερη τιμή του δείκτη ξηρότητας παρατηρείται τους θερινούς μήνες όπως φαίνεται και στο παρακάτω ομβροθερμικό διάγραμμα (Εικόνα 3.1).



Εικ.3.1 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gausen της περιοχής Αγρινίου.

Πίν.3.1. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Αγρινίου. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1931-1940 & 1947-2015(EMY)(Μπαρούχας, 2004).

Μήνας	Ύψος βροχής (mm)	Θερμοκρασία αέρα C°			Μέση αέρα (%)	Μέση υγρασία	Αριθμός ημερών δρόσου	Αριθμός ημερών πάχνης	Μέση εξατμισοδιαπνοή (mm)
		Μέγιστη απόλυτη	Ελάχιστη απόλυτη	Μέση μέγιστη Ελάχιστη					
Ιαν	139.9	19.4	-3.5	13.5	3.6	8.5	4	5	38
Φεβ	113.7	21.9	-1.7	14.6	4.2	9.5	6	3	44
Μαρ	91.8	27.3	0.1	16.9	5.9	11.7	8	1	53
Απρ	51.0	29.7	3.5	20.9	8.8	15.6	9	0	73
Μαι	62.0	35.0	7.5	26.0	12.7	24.4	8	0	102
Ιουν	27.3	38.3	11.8	30.6	16.0	24.9	4	0	155
Ιουλ	8.0	41.0	14.9	33.8	18.0	27.7	2	0	190
Αυγ	14.6	41.7	9.1	34.1	18.3	27.6	2	0	196
Σεπ	55.4	37.0	10.7	30.1	15.6	23.5	6	0	141
Οκτ	118.5	32.8	5.4	24.5	12.1	18.3	10	0	87
Νοε	159.6	25.4	1.4	19.1	8.5	13.6	10	1	55
Δεκ	152.1	22.8	-1.7	14.8	5.4	9.9	5	3	39
Σύνολο									
ή μέσοι όροι	82.8	31.0	4.8	23.2	10.7	17.9	74	13	1173

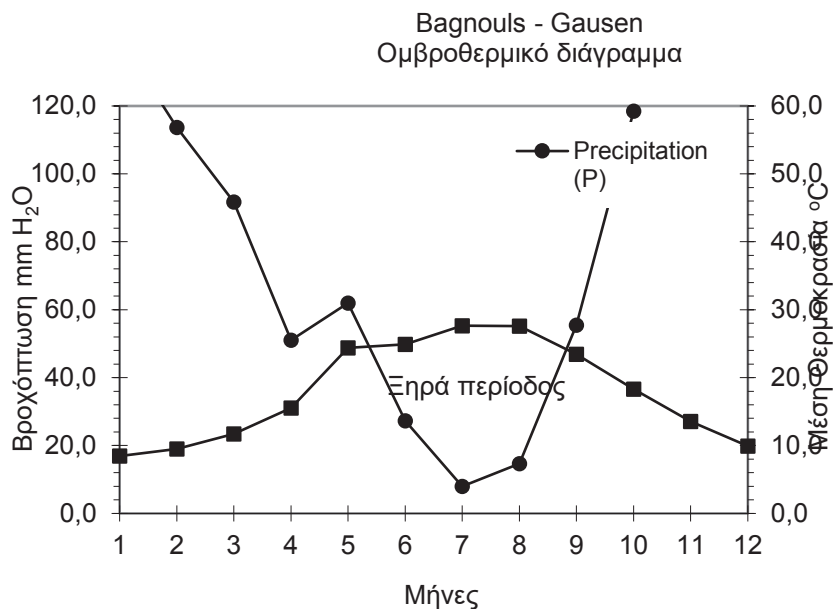
ΑΧΑΪΑ

Σύμφωνα με το σύστημα Bagnoules -Gaussen, το κλίμα της περιοχής της Πάτρας χαρακτηρίζεται ως Μέσο- μεσογειακό με ήπιο και υγρό χειμώνα καθώς με έντονη θερινή ξηρή περίοδο (Μπαρούχας, 2004). Το βιοκλίμα της περιοχής είναι ύφυγρο με ήπιο χειμώνα με βάση το κλιματικό διάγραμμα Emburger (Μαυρομάτης, 1980). Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή είναι σχετικά μεγάλες χωρίς ωστόσο να είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που παρουσιάζονται παρακάτω για την περιοχή της Πάτρας καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της Πάτρας για τις χρονικές περιόδους 1931-1940, 1947-2015 (Μπαρούχας, 2004) (www.meteo.gr), (Υ.Π.Ε.Κ.Α, 2012).

Η μέση χειμερινή θερμοκρασία είναι 10,5 °C, η μέση θερινή θερμοκρασία είναι 25,7 °C και η μέση ετήσια θερμοκρασία 17,8 °C. Η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία για τους χειμερινούς μήνες είναι -0,3 °C για τον μήνα Ιανουάριο και για τους θερινούς μήνες 12,8 °C για τον μήνα Ιούνιο, ενώ η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είναι 21,1 °C και 36 °C αντίστοιχα. Στους χειμερινούς μήνες, στις αρχές της άνοιξης και στο τέλος του φθινόπωρου δημιουργείται σε μικρή συχνότητα πάχνη ενώ το χιόνι κατά την διάρκεια του χρόνου είναι σχεδόν μηδενικό. Από το σύνολο της ετήσιας βροχόπτωσης 63,1 mm, το 349,4 mm της ολικής βροχής παρατηρείται τον χειμώνα, ενώ για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο η ολική βροχή είναι 130,9 mm.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας που παρουσιάζονται παραπάνω και με βάση το Soil Taxonomy (Μπαρούχας, 2004) το καθεστώς της εδαφικής θερμοκρασίας τάσσεται στο καθεστώς *thermic*.

Ο δείκτης ξηρότητας BGI είναι 65,62 και χαρακτηρίζει την περιοχή με χαμηλή ξηρότητα κυρίως τους μήνες Ιούνιο έως Αύγουστο όπου η υψηλότερη τιμή του δείκτη ξηρότητας παρατηρείται τους θερινούς μήνες όπως δείχνει και το παρακάτω ομβροθερμικό διάγραμμα(Εικόνα 3.2).



Εικ.3.2 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gausen της περιοχής Αχαΐας.

Πίν.3.2. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Πάτρας. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1931-1940 & 1947-2015(EMY)(Μπαρούχας, 2004).

Μήνας	Ύψος βροχής (mm)	Θερμοκρασία αέρα C°			Μέση υγρασία αέρα (%)	Μέση εξοσμωδιαπινοή (mm)	Αριθμός ημερών δρόσου	Αριθμός ημερών πάχνης		
		Μέγιστη απόλυτη	Ελάχιστη απόλυτη	Μέση μέγιστη Ελάχιστη						
Ιαν	117.1	21.1	-0.3	14.4	5.8	9.9	72.1	13	2	43
Φεβ	95.0	22.5	-0.6	15.0	6.0	10.5	69.2	15	1	46
Μαρ	75.9	26.1	1.8	16.7	7.1	12.3	67.6	18	0	52
Απρ	47.3	30.0	5.3	19.8	9.8	15.7	67.2	18	0	62
Μαι	27.7	32.9	8.6	24.1	13.2	20.0	64.8	22	0	82
Ιουν	14.0	36.0	12.8	27.8	16.5	24.0	62.5	23	0	103
Ιουλ	2.1	37.1	16.1	30.2	18.6	26.5	59.9	22	0	125
Αυγ	3.9	38.4	16.5	31.0	18.8	26.7	59.7	23	0	136
Σεπ	35.9	36.4	12.8	28.3	16.4	23.5	64.0	24	0	111
Οκτ	101.1	30.8	7.5	24.2	13.3	19.0	68.0	21	0	86
Νοε	99.6	27.3	2.8	19.8	10.0	14.6	72.0	15	0	64
Δεκ	137.3	23.0	-0.3	16.1	7.2	11.3	72.1	13	1	48
Σύνολο ή μέσοι όροι	63.1	30.1	6.9	22.3	11.9	17.8	66.6	18.9	0.4	79.8

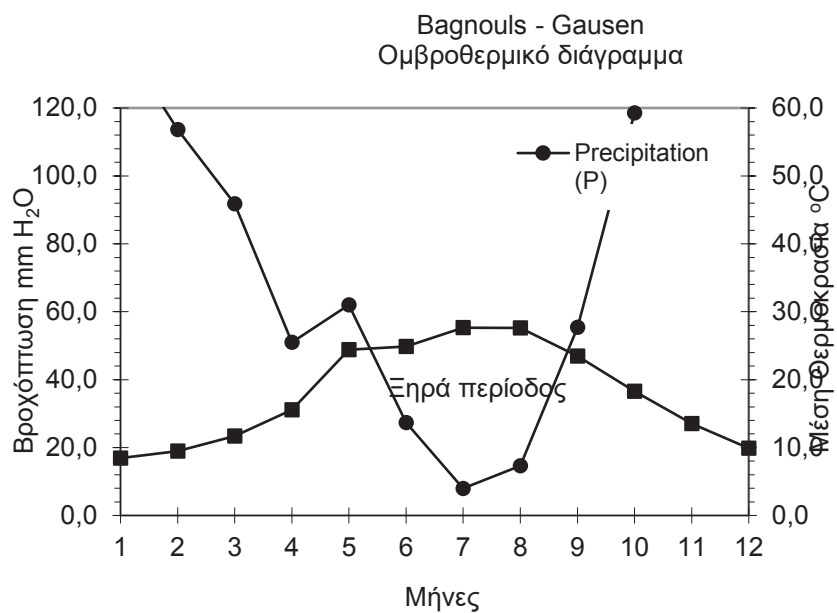
ΠΥΡΓΟΣ

Η περιοχή του Πύργου σύμφωνα με το σύστημα Bagnoules -Gaussen, το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως Μέσο- μεσογειακό με ήπιο και υγρό χειμώνα καθώς με έντονη θερινή ξηρή περίοδο (Μπαρούχας, 2004). Το βιοκλίμα της περιοχής είναι ύφυγρο με ήπιο χειμώνα με βάση το κλιματικό διάγραμμα Emberger (Μαυρομάτης, 1980). Οι βροχοπτώσεις στην περιοχή του Πύργου είναι σχετικά μεγάλες χωρίς ωστόσο να είναι κατανεμημένες ομοιόμορφα. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που παρουσιάζονται παρακάτω για την περιοχή του Πύργου καταγράφηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πύργου για τις χρονικές περιόδους 1962-2015 (www.meteo.gr), (Υ.Π.Ε.Κ.Α, 2012).

Η μέση χειμερινή θερμοκρασία είναι 11,3 °C, η μέση θερινή θερμοκρασία είναι 24,9 °C και η μέση ετήσια θερμοκρασία 18,0 °C. Η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία για τους χειμερινούς μήνες είναι 2 °C για τον μήνα Ιανουάριο και για τους θερινούς μήνες 14,3 °C για τον μήνα Ιούνιο, ενώ η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είναι 20,3 °C και 35,7 °C αντίστοιχα. Το σύνολο της ετήσιας βροχόπτωσης 59,4 mm, το 322,4 mm της ολικής βροχής παρατηρείται τον χειμώνα, ενώ για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο η ολική βροχή είναι 136,3 mm.

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της θερμοκρασίας που παρουσιάζονται παραπάνω και με βάση το Soil Taxonomy (Μπαρούχας, 2004) το καθεστώς της εδαφικής θερμοκρασίας τάσσεται στο καθεστώς *thermic*.

Ο δείκτης ξηρότητας BGI είναι 60,65 και χαρακτηρίζει την περιοχή με χαμηλή ξηρότητα κυρίως τους μήνες Ιούνιο έως Αύγουστο όπου η υψηλότερη τιμή του δείκτη ξηρότητας να παρατηρείται τους θερινούς μήνες όπως δείχνει και το παρακάτω ομβροθερμικό διάγραμμα(Εικόνα 3.3).



Εικ.3.3 Ξηροθερμικό διάγραμμα Bagnoules-Gausen της περιοχής Πύργου.

Πίν.3.3. Μηνιαία μετεωρολογικά δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού Πύργου. Μέσοι όροι μετρήσεων κατά την περίοδο 1962-2015 (ΕΜΥ).

Μήνας	Ύψος βροχής (mm)	Θερμοκρασία αέρα C°				Μέση σχ. υγρασία αέρα (%)	Αριθμός ημερών δρόσου	Αριθμός ημερών πάχνης	Μέση εξαιμισοδιαπνοή (mm)
		Μέγιστη απόλυτη	Ελάχιστη απόλυτη	Μέση μέγιστη	Μέση Ελάχιστη				
Ιαν	122.5	20.3	2.0	14.7	4.9	10.1	-	-	35
Φεβ	112.1	22.2	3.8	15.1	5.1	10.7	-	-	44
Μαρ	102.5	24.6	6.1	17.2	6.3	11.6	-	-	61
Απρ	47.7	27.6	7.5	20.0	8.7	14.4	-	-	92
Μαι	29.4	31.9	12.1	24.7	12.3	17.5	-	-	114
Ιουν	13.4	35.7	14.3	29.0	15.1	22.6	-	-	133
Ιουλ	13.8	36.9	6.1	31.9	17.1	25.7	-	-	168
Αυγ	9.0	37.0	19.2	32.1	17.5	26.5	-	-	169
Σεπ	23.1	32.6	15.0	29.0	15.3	24.8	-	-	145
Οκτ	64.5	28.4	11.4	24.8	12.3	21.1	-	-	102
Νοε	87.4	25.6	7.6	19.4	9.3	17.3	-	-	67
Δεκ	87.8	21.8	3.6	15.8	6.5	13.3	-	-	43
Σύνολο ή μέσοι όροι	59.4	28.7	-4.9	22.8	10.9	18.0	-	-	98

ΚΕΦ. 4 -ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Η μελέτη περιλαμβάνει 659 επιφανειακά εδαφικά δείγματα από τη Δυτική Ελλάδα από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας (Εικ. 4.1). Η συλλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις γενικές αρχές δειγματοληψίας με τέτοιο τρόπο ώστε τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά και ν' ακολουθούν την μεθοδολογία του συστήματος LUCAS (Toth et al., 2013).



Εικ.4.1 Εδαφικά δείγματα από την περιοχή της μελέτης.

Τα δείγματα εδάφους αεροξηράθηκαν, στην συνέχεια έγινε λειοτριβήση με την βοήθεια ιγδίου και πέρασαν από κόσκινο 2 mm (Εικόνα 4.2) .



Εικ.4.2 Προετοιμασία εδαφικού δείγματος.

Στα δείγματα έγινε προσδιορισμός των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των εδαφών, εφαρμόζοντας τις πιο σύγχρονες τεχνικές ανάλυσης σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ανάλυσης εδαφών (Page et al., 1982). Οι φασματικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν στο Εδαφολογικό Εργαστήριο του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Πατρών και οι αναλύσεις των φυσικοχημικών ιδιοτήτων στο Εδαφολογικό Εργαστήριο της Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας (Εικόνα 4.3), στα πλαίσια της προγραμματικής σύμβασης για την υλοποίηση του έργου με τίτλο «Λειτουργία εδαφολογικού εργαστηρίου Περιφέρειας Δυτικής Ελλάδας».

Η μέτρηση της μηχανικής σύστασης έγινε με την μέθοδο Βουγιούκος με την χρήση πυκνόμετρου (άμμος%, ύλης%, άργιλος%). Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν είναι διάλυμα Sodium Polyphosphate-Sodium Carbonate καθώς και αμυλική αλκοόλη για την αποφυγή του αφρίσματος. Σύμφωνα με την μέθοδο, χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένο ξηρό βάρος εδαφικού δείγματος, το οποίο μετά την ανάδευση σε μίξερ ανάδευσης για πέντε λεπτά με το διάλυμα του αντιδραστήριου, μεταφέρθηκε το αιώρημα με την βοήθεια υδροβολέα σε κύλινδρο Βουγιούκου και προστέθηκε νερό μέχρι τελικού όγκου 1130 ml δεδομένου ότι η μέση πυκνότητα των εδαφικών υλικών είναι $2,6 \text{ gr/cm}^3$. Στην συνέχεια, μετρήθηκε η πυκνότητα (gr/lit) και η θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$) του αιωρήματος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, στα 40 δευτερόλεπτα μετά την ανακίνηση των κυλίνδρων Βουγιούκος και μετά από 2 ώρες ηρεμίας του αιωρήματος.

Ο ηλεκτρομετρικός προσδιορισμός του pH και της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) του εδάφους έγινε σε αιώρημα εδάφους-διαλύματος $\text{CaCl}_2(1:2)$ μετά από χρόνο εξισορρόπησης δύο (2) ωρών.

Ο υπολογισμός του ανθρακικού ασβεστίου έγινε με την χρήση αυτόματου φορητού, ψηφιακού οργάνου με ενσωματωμένη αντιστάθμιση της θερμοκρασίας (Barouchas, 2014a, 2014b, 2014c; Love, 2017). Η μέτρηση βασίζεται στην έκλυση CO_2 όταν το εδαφικό δείγμα αντιδρά με $\text{HCL } 1:1$.

Η μέτρηση των $\text{NO}_3\text{-N}$ έγινε με την μέθοδο εκχύλισης νιτρικού αζώτου με διάλυμα 1N Potassium Chloride (KCL) και ο προσδιορισμός έγινε σε σύγκριση με διάλυμα 0,5 N KCl (Blank). Λήφθηκαν φάσματα απορρόφησης (A) στα 210 nm σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης, στο εκχύλισμα των εδαφικών δειγμάτων και στο Blank.

Ο προσδιορισμός εδαφικού φωσφόρου κατά OLSEN έγινε με την χρήση αντιδραστηρίων μικρού όγκου. Ο φώσφορος εκχυλίστηκε από το έδαφος με διάλυμα 0,5 M NaHCO₃ σε pH 8.5. Ο χρωματομετρικός προσδιορισμός του φωσφόρου έγινε με την χρήση των αντιδραστηρίων H₂SO₄, Ammonium molybdate tetrahydrate, Potassium antimonyl tartratetrihydrate και ασκορβικό οξύ. Η διαδικασία του προσδιορισμού του φωσφόρου έγινε σε μικρούς όγκους και η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης, σε μήκος κύματος 880 nm μετά από χρόνο 15 λεπτών.

Ο προσδιορισμός των ανταλλάξιμων κατιόντων (K, Na, Ca & Mg) έγινε με την μέθοδο του οξικού αμμωνίου με διάλυμα 1N οξικού αμμωνίου σε pH 7.00. Η συγκέντρωση του K, Na και του Ca στο διάλυμα προσδιορίστηκε με την χρήση φλογοφωτόμετρου, ενώ του Mg με την βοήθεια φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης.

Ο προσδιορισμός των ανταλλάξιμων ιχνοστοιχείων Fe, Zn, Cu, Mn έγινε με την εκχύλιση με DTPA το οποίο παρασκευάστηκε με τ' αντιδραστήρια Dienthylentriaminpentaacetic Acid (DTPA), Calcium Chloride και Triethanolamine (TEA). Η τιμή του pH του εκχυλιστικού διαλύματος ρυθμίστηκε στο 7.3. Η συγκέντρωση των ιχνοστοιχείων προσδιορίστηκε με την βοήθεια φασματοφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης.

Ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου βορίου (B) στο έδαφος έγινε με την παρασκευή αντιδραστηρίων ρυθμιστικού διαλύματος οξικού αμμωνίου –ETDA(disodium salt) και αντιδραστηρίου αζωμεθίνης σε μικρούς όγκους. Η μέτρηση των πρότυπων διαλυμάτων και των εδαφικών δειγμάτων έγινε σε φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης σε μήκος κύματος 420 nm μετά από χρόνο 30 λεπτών(Μπαρούχας, 2015).

Η εκτίμηση της οργανικής ουσίας πραγματοποιήθηκε με ξηρή καύση. Αφού αφαιρέθηκε η εδαφική υγρασία των δειγμάτων σε

θερμοκρασία 105⁰C για 24 ώρες. Ακολούθησαν ζυγίσεις στις κάψες και 1,0000 gr των εδαφικών δειγμάτων. Η καύση των δειγμάτων έγινε στους 550⁰C για τέσσερις ώρες. Μετά την καύση έγινε ζύγιση των εδαφικών δειγμάτων.

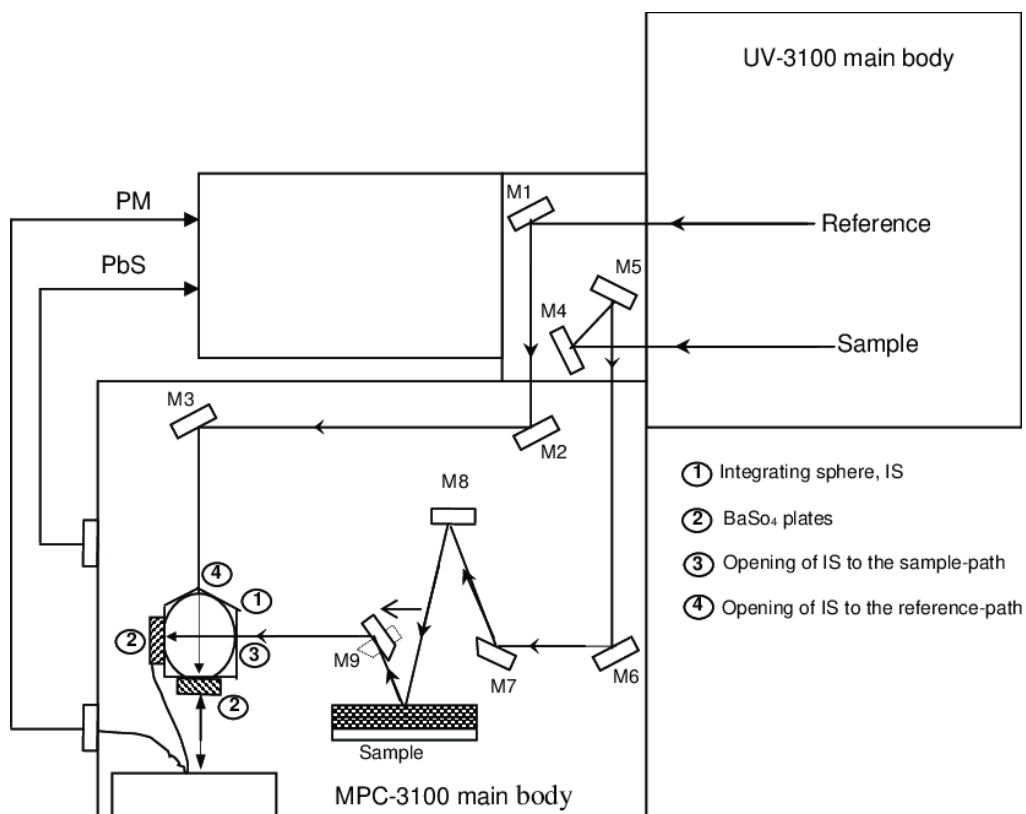


Εικ. 4.3 Προσδιορισμός φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδάφους.

Πραγματοποιήθηκε καταγραφή των φασμάτων στην περιοχή από 250 nm έως 2500 nm, με βήμα 5 nm των εδαφικών δειγμάτων σε σχέση με λευκό υλικό αναφοράς (BaSO_4) σε διάχυτη εκπομπή, με την χρήση φασματοφωτόμετρου και τεχνική σφαίρα ολοκλήρωσης.

Το φασματοφωτόμετρο είναι το όργανο που μετρά την ένταση μιας επιλεγμένης συχνότητας ακτινοβολίας. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές θετικές επιστήμες καθώς και στην αναλυτική χημεία. Το φασματοφωτόμετρο είναι η εξέλιξη ενός άλλου οργάνου αυτού του χρωματόμετρου. Αποτελείται από τέσσερα τμήματα, το πρώτο τμήμα είναι η πηγή παραγωγής ακτινοβολίας, το δεύτερο τμήμα το επιθυμητό μήκος

κύματος δηλαδή η συχνότητα που προέρχεται από την πηγή ακτινοβολίας οπύ δίνει στο τρίτο τμήμα του φασματοφωτόμετρου την μονοχρωματική ακτινοβολία. Στο τρίτο τμήμα εγκαθιστούμε το δείγμα που επιθυμούμε να μετρήσουμε. Στο τελευταίο τμήμα βρίσκεται ο μετρητής της ακτινοβολίας που δεν απορροφάται από το δείγμα (Εικ. 4.4, Εικ.4.5).



Εικ. 4.4 Σχεδιάγραμμα με τα τμήματα του φασματοφωτόμετρου (Mamur, 2016).



Εικ. 4.5 Φασματοφωτόμετρο εδαφικών δειγμάτων

Για την μέτρηση των φασμάτων των εδαφικών δειγμάτων στο φασματοφωτόμετρο ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

- Πριν ξεκινήσουμε την λειτουργία του οργάνου τοποθετούμε το λευκό υλικό αναφοράς (BaSO_4) στο ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο του φασματοφωτόμετρου (Εικ.4.6).



Εικ.4.6 Υλικό αναφοράς (BaSO_4)

- Ανοίγουμε το όργανο από το διακόπτη
- Ανοίγουμε το Η/Υ

- Ανοίγουμε το πρόγραμμα Uvprobe
- Πατάμε Check
- Πατάμε Baseline 250-2500 nm

- Χρησιμοποιούμε για την μέτρηση κυψελίδα ,η οποία είναι κατασκευασμένη από χαλαζία με διαστάσεις Π 1cm X Υ0,5 cm Κ.
- Αφού την καθαρίσουμε καλά με ακετόνη, ανακατεύουμε το δείγμα ώστε να λάβουμε τυχαίο δείγμα (Εικόνα 4.7)



Εικ.4.7 Εδαφικό δείγμα

- Τοποθετούμε το εδαφικό δείγμα στην κυψελίδα και με την βοήθεια μια σπάτουλας διαμορφώνουμε το δείγμα ώστε να εφάπτεται μέσα σ' αυτήν. Συμπιέζουμε το δείγμα με σταθερό βάρος ώστε να μην υπάρχουν κενά μέσα στην κυψελίδα. Κλείνουμε το καπάκι περιμετρικά με σιλοτείπ (Εικόνα 4.8).



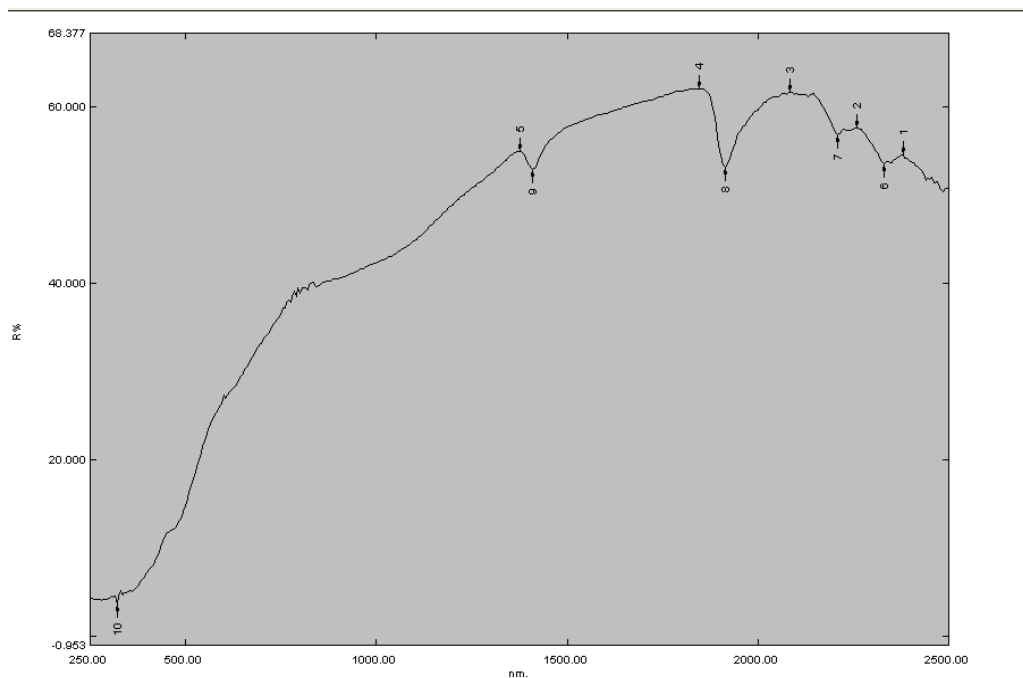
Εικ.4.8 Προετοιμασία εδαφικού δείγματος για μέτρηση στο φασματοφωτόμετρο.

- Τοποθετούμε την κυψελίδα στο ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο του φασματοφωτόμετρου αφού την έχουμε καθαρίσει εξωτερικά με ακετόνη (Εικόνα 4.9).



Εικ.4.9 Τοποθέτηση εδαφικού δείγματος στο φασματοφωτόμετρο.

- Πατάμε start για ν' αρχίσει η μέτρηση και να λάβουμε τα φάσματα των εδαφικών δειγμάτων (Εικόνα 4.10).



Εικ.4.10 Καταγραφή φάσματος εδαφικού δείγματος.

ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (PLSR)

Η αναλυτική χημεία με την δημιουργία νέων χημειομετρικών μεθόδων ανάλυσης έχει γνωρίσει μεγάλη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στο ότι τείνει να δημιουργηθεί η δυνατότητα επεξεργασίας και ψηφιακής καταγραφής δεδομένων για το υπό εξεταζόμενο αντικείμενο αλλά και από ένα μεγάλο σύνολο αντικειμένων. Η μαθηματική μέθοδος της χημειομετρίας, συνδέεται άμεσα με την αναλυτική χημεία καθώς χρησιμοποιούνται στατιστικές μεθόδους με την χρήση πολλών μεταβλητών. Και αυτό δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να λάβει πολλές πληροφορίες σε σχέση με τα δεδομένα που έχει στην διάθεση του (Σιδερούδη, 2006).

Η μέθοδος της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (Partial Least Square Regression, PLSR) θεωρείται από τις πιο καινοτόμες μεθοδολογίες. Είναι μια πολυμεταβλητή στατιστική μέθοδος που περιέχει γνωρίσματα της Πολλαπλής Γραμμικής παλινδρόμησης καθώς και της Παλινδρόμησης Κύριων Συνιστωσών. Η PLSR χρησιμοποιήθηκε από τον Herman Wold το 1966 κυρίως στις πολιτικές επιστήμες και μετέπειτα στην υπολογιστική χημεία, ενώ τα τελευταία χρόνια τείνει να εφαρμοστεί στην νευροαπεικόνιση (Σταυρινίδης, 2011).

Ο ορισμός της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων είναι η παλινδρόμηση ανάμεσα σε δυο ομάδες μεταβλητών, αυτές της ομάδας των ανεξάρτητων μεταβλητών X και της ομάδας των εξαρτημένων μεταβλητών Y , με στόχο την δημιουργία ενός μοντέλου μεταξύ των δυο ομάδων μεταβλητών X και Y το οποίο θα έχει την ικανότητα πρόβλεψης, δηλαδή να είναι εφικτή η πρόβλεψη των μεταβλητών Y μέσα από τις μετρήσεις των δεδομένων των μεταβλητών X (Γιουμουξούδης, 2015). Το κύριο χαρακτηριστικό της PLSR, είναι η ικανότητα που έχει να μοντελοποιεί και n' αναλύει πολλές μεταβλητές Y ταυτόχρονα και αυτό

δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να έχει μια πιο σαφή εικόνα απ' ότι αν υπήρχε ένα μοντέλο για κάθε μεταβλητή Y . Επομένως, όταν έχουμε Y μεταβλητές οι οποίες είναι συσχετισμένες, αυτές θα πρέπει να αναλύονται ταυτόχρονα από ένα μοντέλο. Στην περίπτωση που οι μετρήσεις των μεταβλητών Y προέρχονται από διαφορετικά αντικείμενα και χαρακτηρίζονται ανεξάρτητες, τότε η μέθοδος της PLSR αδυνατεί να ερμηνεύσει καθώς θα έχει περισσότερες συνιστώσες. Η μέθοδος της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (PLSR) έχει ως σκοπό την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων (Σταυρινίδης, 2011). Η πολλαπλή γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης στηρίζεται στην μέθοδο των Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων. Όταν υπάρχει μεταξύ δυο μεταβλητών X_1 και X_2 έντονη πολυσυγγραμμικότητα δημιουργείται υψηλή διασπορά και συνδιασπορά για το μοντέλο της PLSR. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να λαμβάνουμε διαφορετικές εκτιμήσεις για τις παραμέτρους του μοντέλου μας καθώς είναι από διαφορετικά δείγματα. Σύμφωνα, με τα παραπάνω προκύπτει ότι οι υψηλές διασπορές που προέρχονται από τους συντελεστές της Παλινδρόμησης δημιουργούν πολυσυγγραμμικότητα και μπορούν να εκτιμηθούν με ακρίβεια με την μέθοδο της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (PLSR) καθώς η πολυσυγγραμμικότητα μπορεί και δημιουργεί εκτιμήτριες PLSR με την μέγιστη τιμή.

Η PLSR εντοπίζει τις συνιστώσες του X , οι οποίες έχουν την δυνατότητα να προβλέπουν με το πιο σωστό τρόπο τις συνιστώσες του Y . Ωστόσο, είναι απαραίτητο οι συγκεκριμένες συνιστώσες να αναλύουν την μεγαλύτερη συνδιασπορά ανάμεσα στις συνιστώσες X και Y . Σκοπός της μεθόδου της PLSR, είναι να εξάγει τις λανθάνουσες μεταβλητές όπως αυτές ονομάζονται latent variables, οι οποίες θα δώσουν την πιο κατάλληλη ερμηνεία της μεγαλύτερης διασποράς στην απόκριση ενώ ταυτόχρονα θα οδηγήσει στην μοντελοποίηση των αποκρίσεων και γι'

αυτό το λόγο η μέθοδος της Παλινδρόμησης Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων καλείται Projection to latent structures (Σταυρινίδης, 2011).

Στην περίπτωση που οι εξαγόμενες συνιστώσες σταματήσουν να είναι σημαντικές, τότε ο μελετητής σταματάει. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσα από μια τεχνική που ονομάζεται διασταυρούμενη επικύρωση (Cross Validation), η οποία είναι μια διαδεδομένη τεχνική που πραγματοποιεί μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία καθώς και νέα δειγματοληψία δεδομένων. Η Cross Validation είναι η τεχνική που επιλέγει το καλύτερο αριθμό λανθανουσών συνιστωσών, ώστε να χρησιμοποιηθεί από την PLSR. Κατά την διάρκεια που πραγματοποιείται η Cross Validation, αφαιρούνται οι παρατηρήσεις δηλαδή τ' αντικείμενα από την PLSR και στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός των αποκρίσεων Y των παρατηρήσεων αυτών, όπου στο τέλος γίνεται σύγκριση με τις τιμές που προέρχονται από τις μετρήσεις (Carrascal et al., 2009; Abdi, 2010; Σταυρινίδης, 2011).

Η μέθοδος της μερικής ελάχιστης παλινδρόμησης τετραγώνων (Partial Least Square regression, PLSR), έχει εφαρμοστεί για την δημιουργία προγνωστικών μοντέλων, χρησιμοποιώντας φάσματα ανάκλασης που προέκυψαν κάτω από εργαστηριακές συνθήκες καθώς επίσης, για την συλλογή πληροφοριών που αφορούν τις ιδιότητες του εδάφους. Η PLSR είναι πιο διαδεδομένη μέθοδος βαθμονόμησης λόγω της καλύτερης προσέγγισης που έχει στην πρόβλεψη των ιδιοτήτων του εδάφους (Khayamim et al., 2015). Η μέθοδος της PLSR χρησιμοποιεί ολόκληρο το φάσμα, ώστε να δημιουργήσει ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων του εδάφους (Csorba et al., 2016).

ΚΕΦ. 5 - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η διαχείριση του εδάφους και η αξιολόγηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων κρίνεται απαραίτητη, καθώς μέσα από την επίβλεψη αυτών επιτυγχάνεται η καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας. Η παρακολούθηση των εδαφικών ιδιοτήτων κατά την διάρκεια της καλλιέργειας μπορεί να εντοπίσει προβλήματα άμεσα που παρουσιάζονται στην καλλιέργεια ώστε να αντιμετωπιστούν με ακρίβεια. Η μελέτη περιλαμβάνει 659 επιφανειακά εδαφικά δείγματα από τη Δυτική Ελλάδα από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται δεκαοκτώ ιδιότητες του εδάφους με την μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή ανά ιδιότητα για το σύνολο των δειγμάτων. Κατόπιν, έγινε διαχωρισμός των παραπάνω ιδιοτήτων εδαφών με κριτήριο το pH του εδάφους, σε όξινα ($\text{pH}<7$) και βασικά ($\text{pH}>7$) Πιν5.2 και Πιν5.3. Επιπλέον, παρουσιάζονται διαγράμματα συχνοτήτων με την μέση τιμή ανά ιδιότητα του εδάφους στο σύνολο των δειγμάτων (659 δείγματα), στο σύνολο των δειγμάτων με $\text{pH}<7$ (172 δείγματα) και στο σύνολο των δειγμάτων με $\text{pH}>7$ (487 δείγματα). (Διάγραμμα 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18).

**Πιν.5.1 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων
εδαφικών δειγμάτων (μέση, μέγιστη & ελάχιστη τιμή), n=659**

Ιδιότητα	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Άμμος%	60,11	92,60	9,80
Άργιλος %	20,65	53,00	2,60
Ίλύς %	19,24	58,80	1,40
pH	7,30	8,60	3,83
EC (μS/cm)	464,01	5360,00	44,50
Ολικό CaCO ₃ %	6,74	77,51	0,00
Οργανική ουσία %κ.β	4,00	12,22	0,86
NO ₃ -N (ppm)	74,38	1950,00	5,13
PO ₄ (ppm)	12,06	77,00	0,31
K(ppm)	152,91	820,00	8,00
Mg (ppm)	139,49	766,90	1,23
Fe (ppm)	60,11	991,25	0,88
Zn (ppm)	2,66	54,89	0,00*
Mn (ppm)	16,94	176,80	0,05
Cu (ppm)	12,83	250,95	0,00*
B (ppm)	0,94	2,03	0,39
Na (ppm)	98,52	1544,00	2,00
Ca (ppm)	1925,37	6800,00	20,00

* Τιμές κάτω του ορίου ανίχνευσης.

**Πιν 5.2 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων
εδαφικών δειγμάτων pH<7(μέση, μέγιστη & ελάχιστη), n=172**

Ιδιότητα	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Άμμος %	65,73	89,80	38,60
Άργιλος %	17,05	36,80	4,80
Ίλύς %	17,22	39,40	2,80
pH	6,09	6,94	3,83
EC (μS/cm)	343,00	2580,00	44,50
Ολικό CaCO ₃ %	0,34	2,55	0,00
Οργανική ουσία %κ,β	3,20	8,78	0,92
NO ₃ -N (ppm)	62,48	444,44	16,11
PO ₄ (ppm)	16,84	61,77	1,34
K(ppm)	150,27	820,00	30,00
Mg (ppm)	122,45	364,80	1,23
Fe (ppm)	138,54	991,25	8,96
Zn (ppm)	3,31	45,71	0,13
Mn (ppm)	33,77	176,80	0,98
Cu (ppm)	13,09	93,75	0,02
B (ppm)	0,97	1,50	0,41
Na (ppm)	74,51	308,00	2,00
Ca (ppm)	1105,24	5457,00	20,00

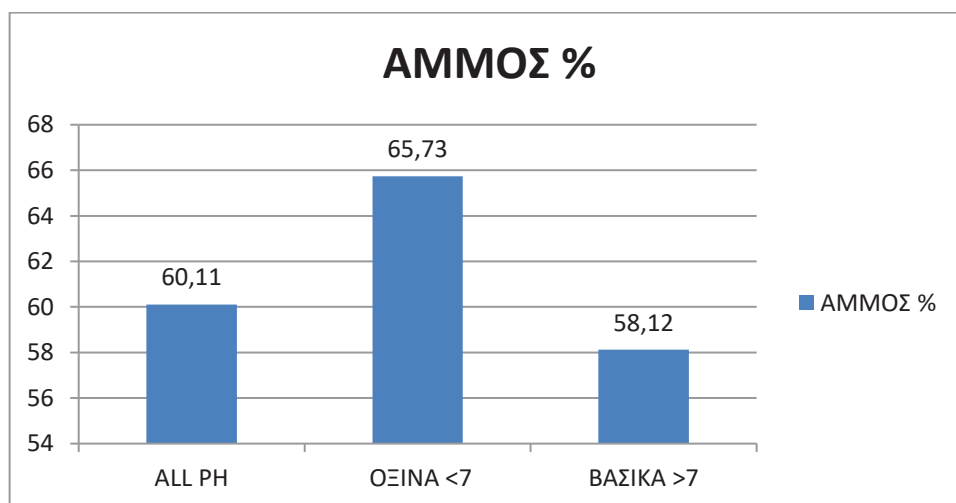
Πιν. 5.3 Μέση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, φυσικοχημικών ιδιοτήτων εδαφικών δειγμάτων pH>7(μέση, μέγιστη & ελάχιστη), n=487

Ιδιότητα	Μέση τιμή	Μέγιστη τιμή	Ελάχιστη τιμή
Άμμος %	58,12	92,60	9,80
Άργιλος %	21,92	53,00	2,60
Ιλύς %	19,96	58,80	1,40
pH	7,74	8,60	6,95
EC (μS/cm)	506,75	5360,00	85,60
Ολικό CaCO ₃ %	8,89	77,51	0,01
Οργανική ουσία %κ,β	4,28	12,22	0,86
NO ₃ -N (ppm)	78,58	1950,00	5,13
PO ₄ (ppm)	10,37	77,00	0,31
K(ppm)	153,84	774,00	8,00
Mg (ppm)	145,51	766,90	1,27
Fe (ppm)	32,41	112,06	0,88
Zn (ppm)	2,44	54,89	0,00*
Mn (ppm)	10,99	73,62	0,05
Cu (ppm)	12,73	250,95	0,00*
B (ppm)	0,93	2,03	0,39
Na (ppm)	107,00	1544,00	4,00
Ca (ppm)	2215,03	6800,00	220,00

* Τιμές κάτω του ορίου ανίχνευσης.

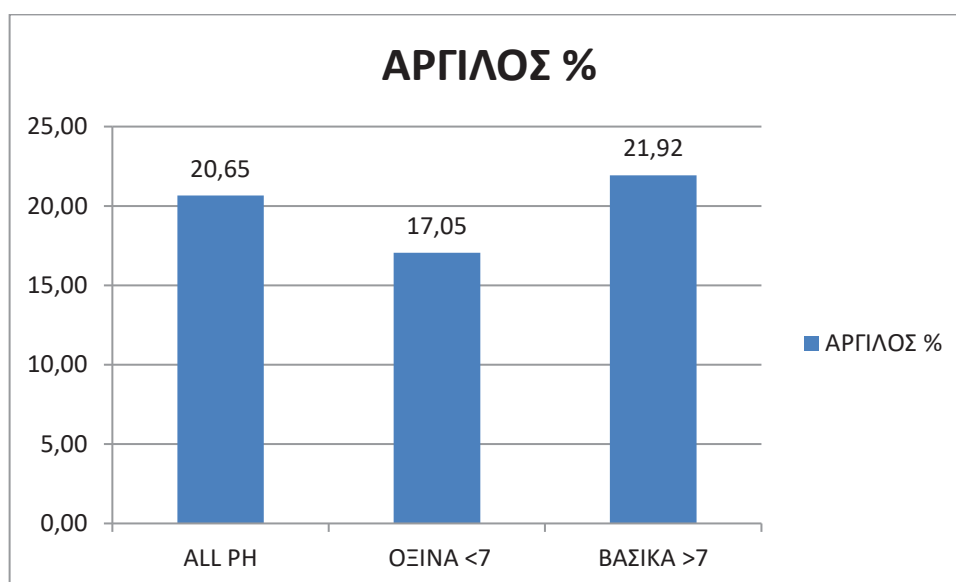
Στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους περιλαμβάνεται η μηχανική σύσταση του εδάφους ή κοκκομετρική σύσταση, δηλαδή την εκατοστιαία περιεκτικότητα του εδάφους σε άμμο, άργιλο και ιλύ. Στα διαγράμματα (Εικ.5.1,5.2,5.3), παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της περιεκτικότητας άμμου, αργίλου και ιλύος

Η μέση τιμή της άμμου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 60,11% με μέγιστη τιμή 92,60% και ελάχιστη τιμή 9,80% (Εικ.5.1). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 65,73% με μέγιστη τιμή 89,80% και ελάχιστη τιμή 36,80% (Εικ.5.1) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή της άμμου είναι 58,12% με μέγιστη τιμή 92,60% και ελάχιστη τιμή 9,80% (Εικ.5.1). Παρατηρούμε ότι η μέση τιμή του ποσοστού της άμμου είναι υψηλότερο στα εδάφη με pH μικρότερο του 7, με αποτέλεσμα σ' αυτά εδάφη να υπάρχει μικρή ικανότητα συγκράτησης υγρασίας και θρεπτικών στοιχείων ενώ ευνοείται η κίνηση του νερού, του αέρα και η ανάπτυξη της ρίζας των φυτών.



Εικ.5.1. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της άμμου% (ALL PH, pH<7, pH>7).

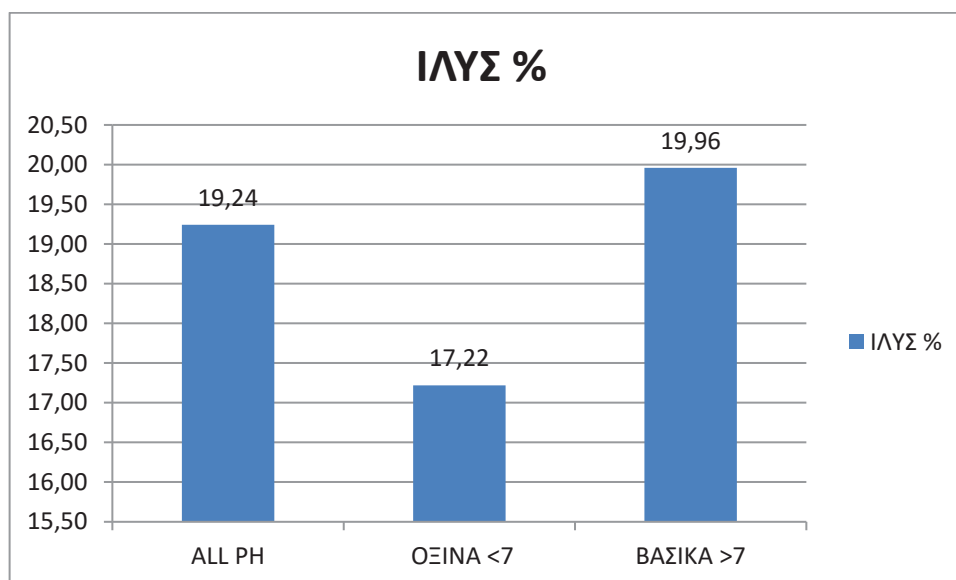
Η μέση τιμή του ποσοστού της αργίλου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 20,65% με μέγιστη τιμή 53,00% και ελάχιστη τιμή 2,60% (Εικ.5.2). Στα δείγματα που το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή 17,05% με μέγιστη τιμή 36,80% και ελάχιστη 4,80%(Εικ.5.2) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή της αργίλου είναι 21,92% με μέγιστη τιμή 53,00% και ελάχιστη τιμή 2,60%(Εικ.5.2). Στο διάγραμμα παρατηρούμε ότι στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7 το ποσοστό της μέσης τιμής της αργίλου είναι μεγαλύτερο από το ποσοστό της αργίλου των εδαφών με pH μικρότερο του 7, δηλώνοντας ότι στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7 η άργιλος εντοπίζεται σε υψηλότερο ποσοστό από αυτών των εδαφών με pH μικρότερο του 7.



Εικ.5.2. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της αργίλου % (ALLPH, pH<7, pH>7)

Η μέση τιμή της ιλύς στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 19,24% με μέγιστη τιμή 58,80% και ελάχιστη τιμή 1,40%(Εικ. 5.3). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 17,22% με μέγιστη τιμή 39,40% και ελάχιστη τιμή 2,80%(Εικ. 5.3) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή της ιλύς είναι 19,96% με μέγιστη

τιμή 58,80% και ελάχιστη τιμή 1,40%(Εικ.5.3). Και εδώ παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα της ιλύς μεταξύ των εδαφών με pH μικρότερο του 7 και των εδαφών με pH μεγαλύτερο του 7 είναι υψηλότερη στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7.

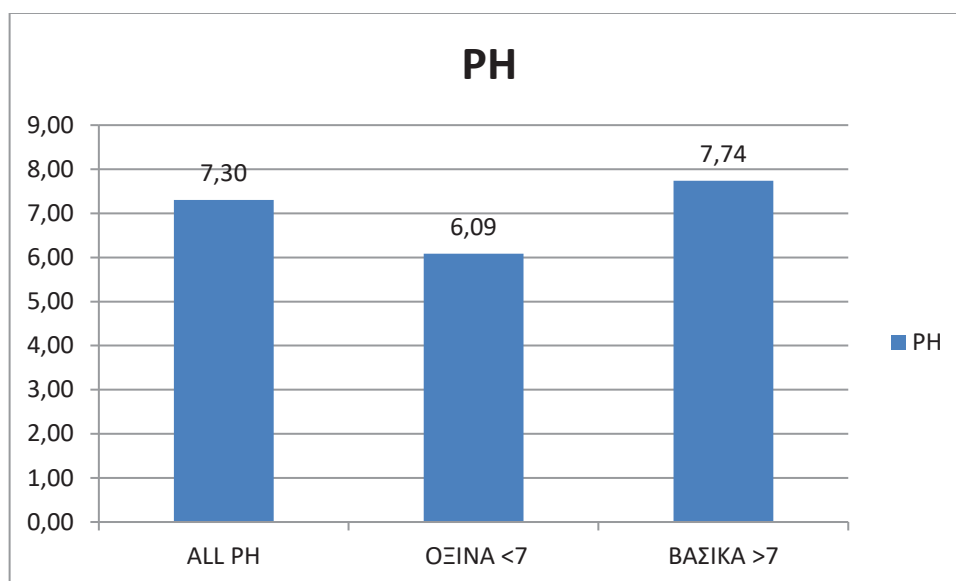


Εικ.5.3. Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής της ιλύς % (ALLPH, pH<7, pH>7).

Από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικ 5.1,Εικ. 5.2,Εικ. 5.3) , προκύπτει ότι επιφανειακά εδαφικά δείγματα από τη Δυτική Ελλάδα από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα της άμμου 60,1%, ακολουθεί η άργιλος με 20,65% και η ιλύς με 19,24%. Επομένως τα περισσότερα εδάφη από την περιοχή αυτή χαρακτηρίζονται ως αμμοπηλώδη.

Το pH αποτελεί σημαντική χημική ιδιότητα για την καλή διαχείριση του εδάφους καθώς επιδρά στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων. Η μέση τιμή στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 7,30 με μέγιστη τιμή 8,60 και ελάχιστη τιμή 3,83(Εικ. 5.4). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 6,09 με μέγιστη τιμή 6,94 και ελάχιστη τιμή 3,83(Εικ. 5.4) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή

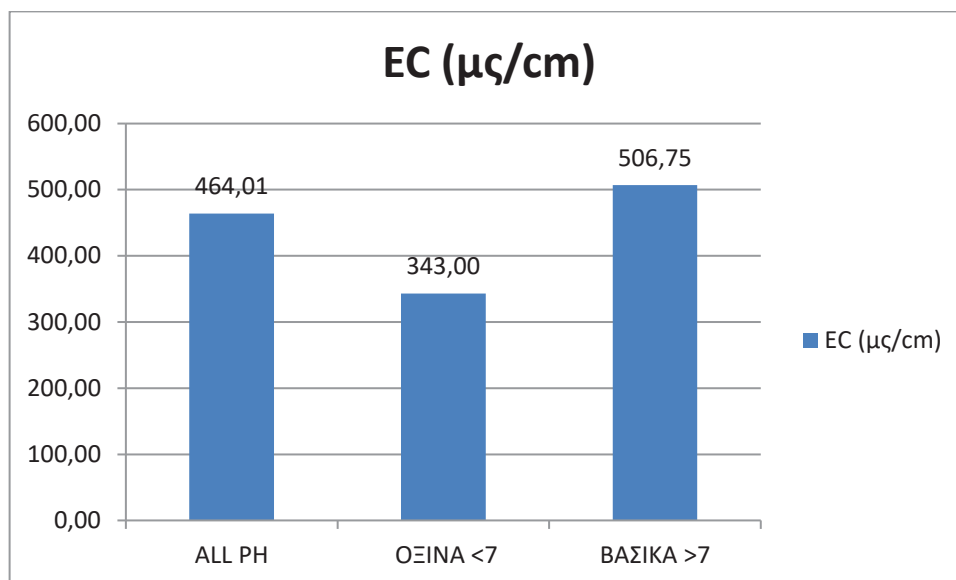
του pH είναι 7,74 με μέγιστη τιμή 8,60 και ελάχιστη τιμή 6,95 (Εικ. 5.4). Από τ' επιφανειακά εδαφικά δείγματα από τη Δυτική Ελλάδα από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας προκύπτει ότι το σύνολο των δειγμάτων στην περιοχή που μελετάται το pH είναι μεγαλύτερο του 7.



Εικ. 5.4 Διάγραμμα μέσης τιμής pH(ALL PH, pH<7,pH>7).

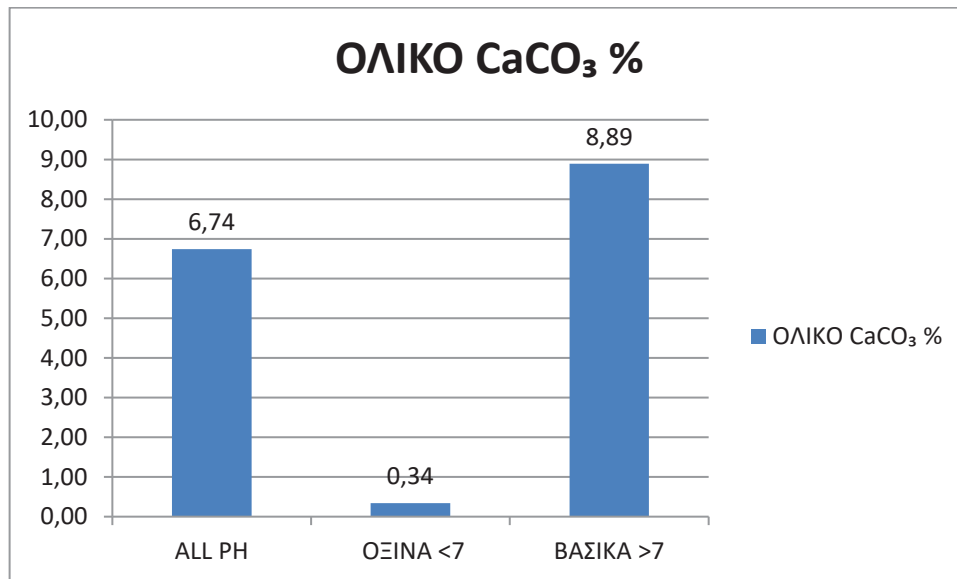
Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους EC χαρακτηρίζει αν ένα έδαφος είναι αλατούχο ή μη αλατούχο. Η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 464,01μS/cm με μέγιστη τιμή 5360μS/cm και ελάχιστη τιμή 44,50 μS/cm (Εικ. 5.5). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 343μS/cm με μέγιστη τιμή 2580μS/cm και ελάχιστη τιμή 44,50 μS/cm(Εικ. 5.5)και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι 506,75 μS/cm με μέγιστη τιμή 5360μS/cm και ελάχιστη τιμή 85,60 μS/cm(Εικ. 5.5). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι υψηλή στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7.

Η υψηλή αλατότητα των εδαφών δημιουργεί προβλήματα στις καλλιέργειες καθώς δημιουργεί έντονη εξατμισοδιαπνοή (Fourati et al., 2015).



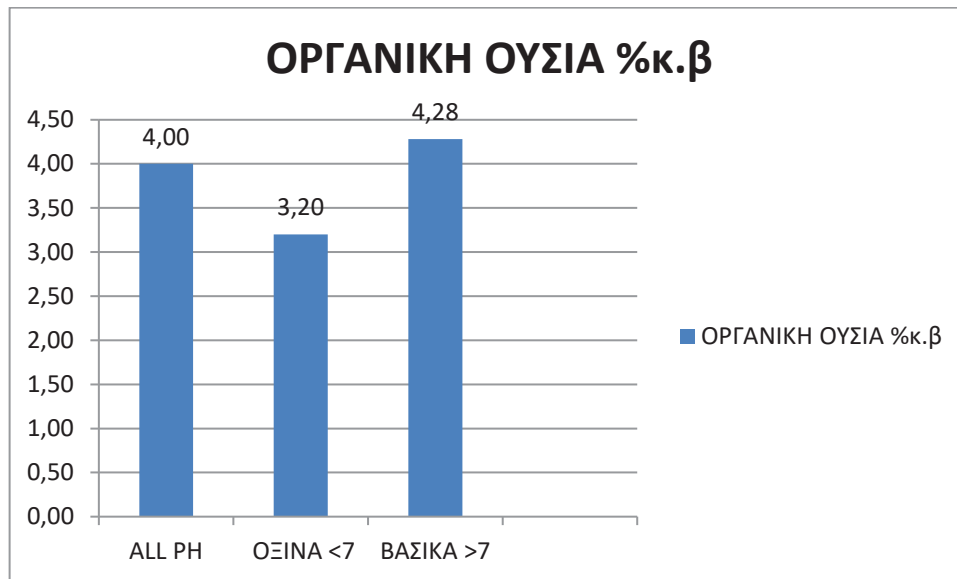
Εικ. 5.5 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής EC(μS/cm) (ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του ολικού CaCO_3 στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 6,74 % με μέγιστη τιμή 77,51% και ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ.5.6). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή 0,34% με μέγιστη τιμή 2,55% και η ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ. 5.6) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του ολικού CaCO_3 είναι 8,89 % με μέγιστη τιμή 77,51% και ελάχιστη τιμή 0,01%(Εικ. 5.6). Από τα στοιχεία του διαγράμματος παρατηρείται μεγάλη περιεκτικότητα ολικού ανθρακικού ασβεστίου στα βασικά εδάφη ενώ χαμηλό ποσοστό στα όξινα εδάφη. Αυτό προκύπτει ότι στα εδάφη με pH μικρότερο του 7 παρατηρείται πολύ μικρή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο ενώ αύξηση της περιεκτικότητας του ανθρακικού ασβεστίου σημειώνεται σε εδάφη που το pH είναι μεγαλύτερο του 7.



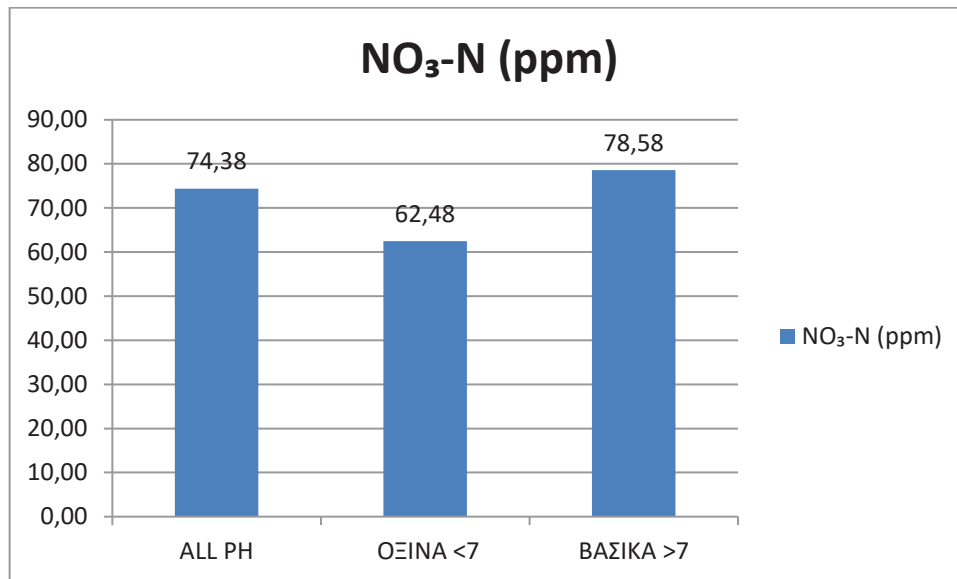
Εικ.5.6 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής ολικού CaCO₃(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η οργανική ουσία αποτελεί κύριο συστατικό του εδάφους. Στο παρακάτω διάγραμμα η μέση τιμή της οργανική ουσίας στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 4% με μέγιστη τιμή 12,22% και ελάχιστη τιμή 0,86%(Εικ. 5.7). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 3,20% με μέγιστη τιμή 8,78% και ελάχιστη τιμή 0,92%(Εικ. 5.7) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή της οργανικής ουσίας είναι 4,28 % με μέγιστη τιμή 12,22% και ελάχιστη τιμή 0,86%(Εικ.5.7). Σύμφωνα, με το διάγραμμα φαίνεται ότι η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7 είναι μεγαλύτερη από τα εδάφη με pH μικρότερο του 7. Η οργανική ουσία είναι απαραίτητη στα εδάφη καθώς δημιουργεί καλύτερη δομή, καλές συνθήκες αερισμού και διήθησης, ικανότητα συγκράτησης των θρεπτικών στοιχείων, του νερού και καλύτερη διαθεσιμότητα αυτών, Επιπλέον, η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας μπορεί να διατηρήσει την γονιμότητα των εδαφών για αρκετά χρόνια.



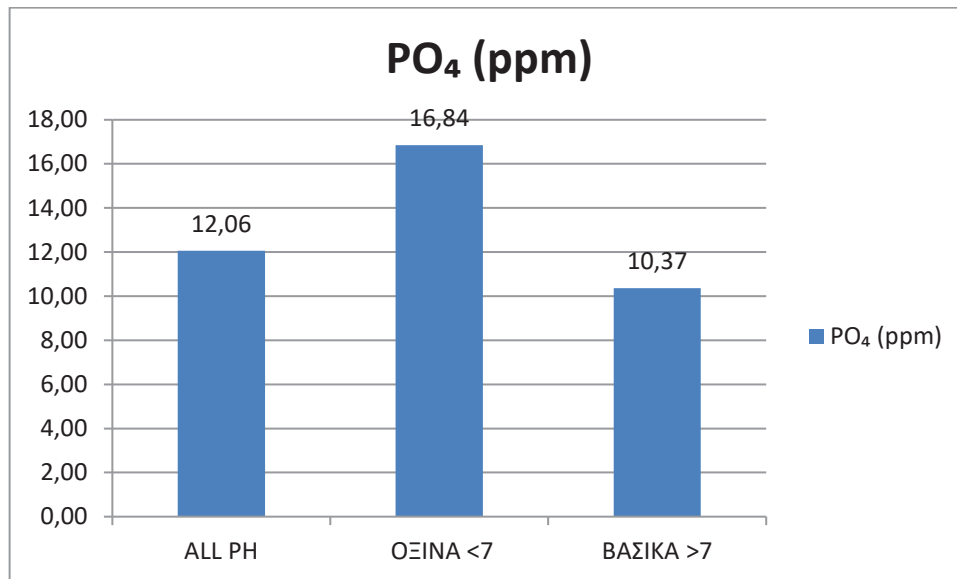
Εικ. 5.7 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής οργανικής ουσίας %κ.β, (ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του αζώτου $\text{NO}_3\text{-N}$ (ppm) στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 74,38 ppm με μέγιστη τιμή 1950 ppm και ελάχιστη τιμή 5,13 ppm (Εικ.5.8). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 62,48 ppm με μέγιστη τιμή 444,44 ppm και ελάχιστη τιμή 16,11 ppm (Εικ. 5.8) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του αζώτου είναι 78,58 ppm με μέγιστη τιμή 1950 ppm και ελάχιστη τιμή 5,13 ppm(Εικ. 5.8). Αυτό που παρατηρούμε στο διάγραμμα είναι ότι όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω, το pH επιδρά στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και αυτό φαίνεται ότι στα όξινα εδάφη παρουσιάζεται έλλειψη των $\text{NO}_3\text{-N}$, (Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007).



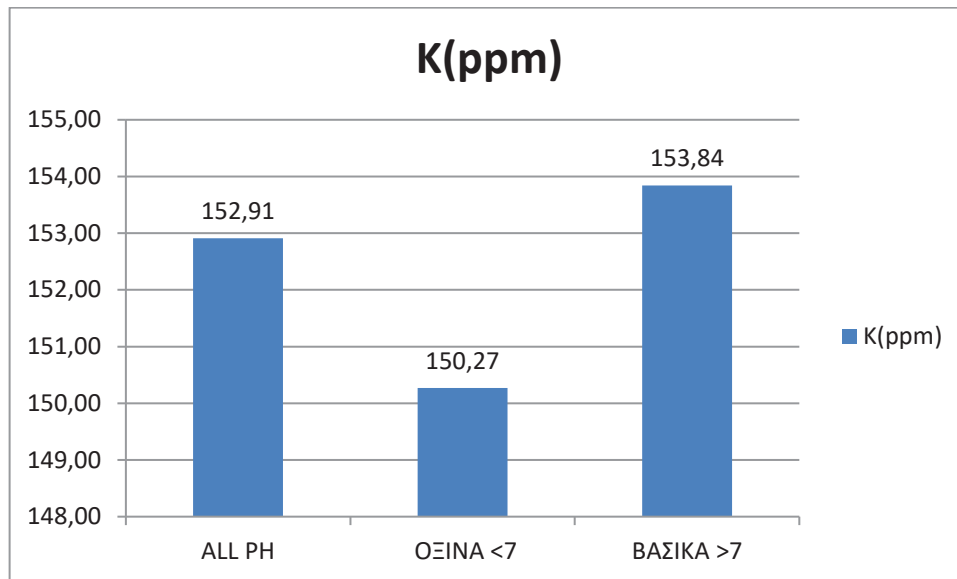
Εικ. 5.8 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής NO₃-N(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).

Ο φώσφορος είναι ένα στοιχείο το οποίο είναι δυσκίνητο στο έδαφος και γι' αυτό το λόγο η διαθεσιμότητα του φωσφόρου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το pH του εδάφους (Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007). Η μέση τιμή του φωσφόρου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 12,06 ppm με μέγιστη τιμή 77,00 ppm και ελάχιστη τιμή 0,31 ppm (Εικ. 5.9). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 16,84 ppm με μέγιστη τιμή 61,77 ppm και ελάχιστη 1,34 ppm(Εικ. 5.9) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του φωσφόρου είναι 10,37 ppm με μέγιστη τιμή 77,00 ppm και ελάχιστη τιμή 0,31 ppm(Εικ. 5.9). Σύμφωνα, με το διάγραμμα παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα του φωσφόρου είναι μεγαλύτερη στα όξινα εδάφη γιατί στα εδάφη αυτά ο φώσφορος απορροφάται πιο εύκολα από το ριζικό σύστημα σε σχέση με τα βασικά εδάφη που η απορρόφηση του φωσφόρου γίνεται πιο δύσκολα (Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007).



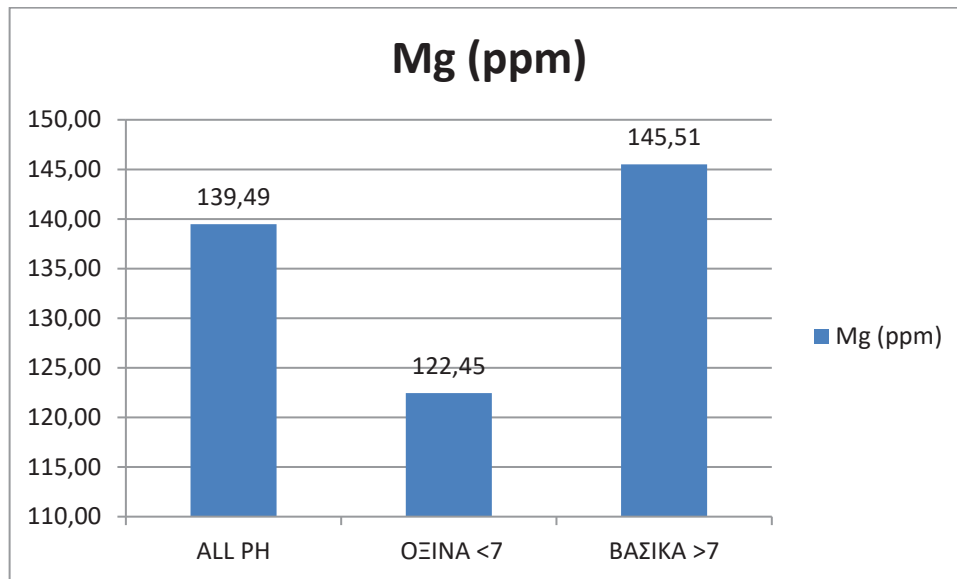
Εικ. 5.9 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής PO₄(ppm) (ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του καλίου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 152,91 ppm με μέγιστη τιμή 820 ppm και ελάχιστη τιμή 8 ppm (Εικ. 5.10). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 150,27 ppm με μέγιστη τιμή 820 ppm και ελάχιστη τιμή 30 ppm (Εικ. 5.10) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή 153,84 ppm με μέγιστη τιμή 774,00 ppm και ελάχιστη τιμή 8 ppm (Εικ. 5.10). Η περιεκτικότητα του καλίου όπως φαίνεται και στο διάγραμμα στα βασικά εδάφη είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα εδάφη που έχουν pH μικρότερο του 7.



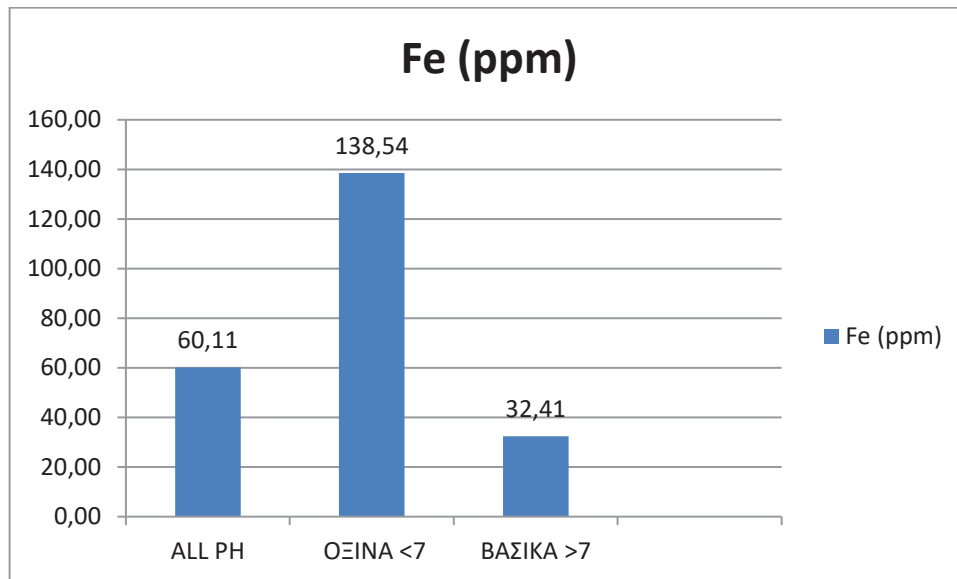
Εικ.5.10 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Κ (ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του μαγνησίου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 139,49 ppm με μέγιστη τιμή 766,90 ppm και ελάχιστη τιμή 1,23 ppm (Εικ. 5.11). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 122,45 ppm με μέγιστη τιμή 364,80 ppm και ελάχιστη τιμή 1,23 ppm (Εικ. 5.11) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του μαγνησίου είναι 145,51 ppm με μέγιστη τιμή 766,90 και ελάχιστη τιμή 1,27 ppm (Εικ. 5.11). Παρατηρούμε ότι υπάρχει στα όξινα εδάφη χαμηλή περιεκτικότητα μαγνησίου καθώς τα εδάφη με pH μικρότερο του 7 επιδρά στην διαθεσιμότητα του μαγνησίου στο έδαφος(Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007).



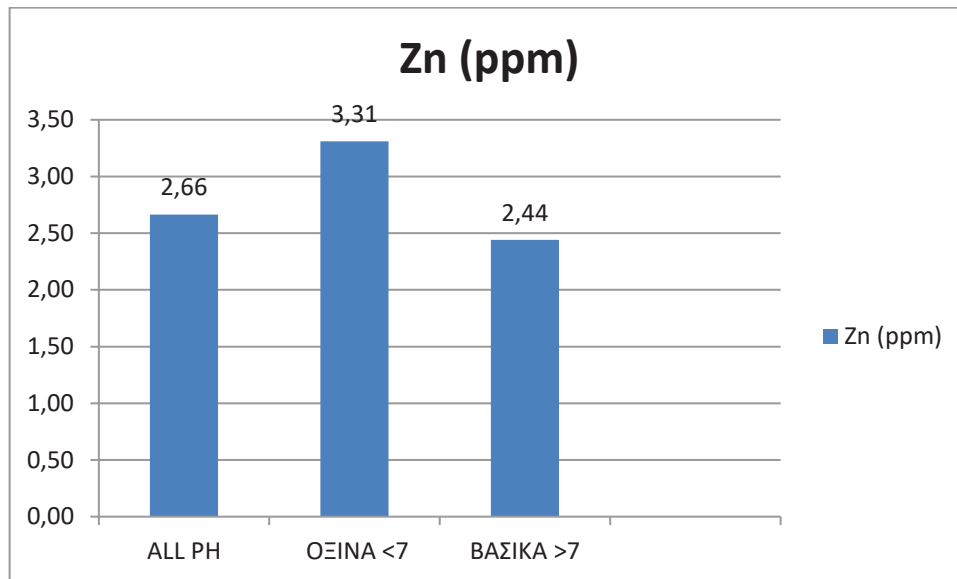
Εικ. 5.11 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέσης τιμής Mg(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του σιδήρου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 60,11 ppm με μέγιστη τιμή 991,25 ppm και ελάχιστη τιμή 0,88 ppm (Εικ.5.12). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή 138,54 ppm με μέγιστη τιμή 991,25 ppm και ελάχιστη τιμή 8,96 ppm (Εικ. 5.12) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή 32,41 ppm με μέγιστη τιμή 112,06 ppm και ελάχιστη τιμή 0,88 ppm (Εικ.5.12). Αυτό που φαίνεται από το διάγραμμα (Εικ. 5.12) είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σιδήρου στα όξινα εδάφη σε σχέση με τα εδάφη που το pH είναι μεγαλύτερο του 7. Στα εδάφη με βασικό pH εμφανίζεται έντονα τροφοπενία σιδήρου στις καλλιέργειες με την εμφάνιση χλώρωσης στα φυτά (Mortvedt J.J, 1986).



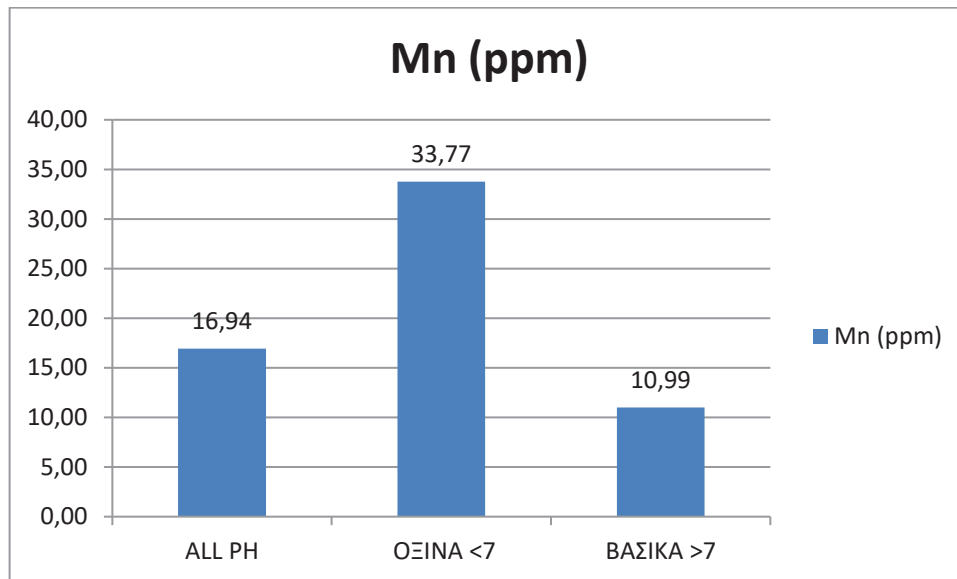
Εικ. 5.12 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Fe(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του ψευδαργύρου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 2,66 ppm με μέγιστη τιμή 54,89 ppm και ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ. 5.13). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση μέγιστη τιμή είναι 3,31 ppm με μέγιστη τιμή 45,71 ppm και ελάχιστη τιμή 0,13 ppm (Εικ. 5.13) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του ψευδαργύρου είναι 2,44 ppm με μέγιστη τιμή 54,89 ppm και ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ. 5.13). Και σ' αυτό το διάγραμμα όπως και στο διάγραμμα του σιδήρου (Εικ.5.12) παρατηρούμε την υψηλή περιεκτικότητα του ψευδαργύρου στα όξινα εδάφη και αυτό δηλώνει ότι επιδρά η τιμή του pH στην διαθεσιμότητα του στοιχείου. Η τροφοπενία ψευδαργύρου δημιουργεί τα προβλήματα στις καλλιέργειες μ' αυτά της έλλειψης του σιδήρου στα εδάφη που το pH είναι μεγαλύτερο του 7 (Lindsay W.L., 1972).



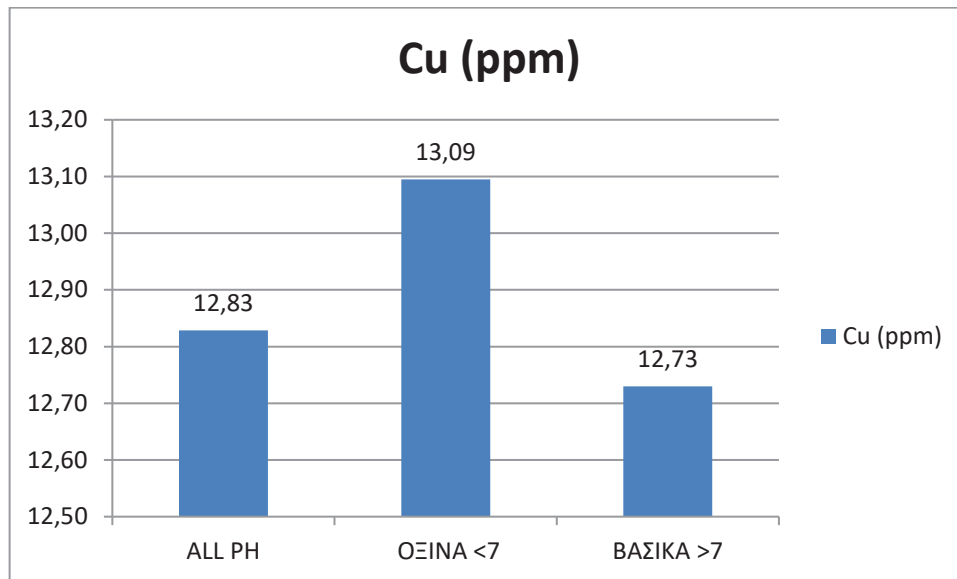
Εικ. 5.13 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Zn(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του μαγγανίου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 16,94 ppm με μέγιστη τιμή 176,80 ppm και ελάχιστη τιμή 0,05 ppm (Εικ. 5.14). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 33,77 με μέγιστη τιμή 176,80 ppm και ελάχιστη τιμή 0,98 ppm (Εικ. 5.14) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή είναι 10,99 ppm με μέγιστη τιμή 73,62 ppm και ελάχιστη τιμή 0,05 ppm (Εικ. 5.14). Παρατηρούμε ότι στα όξινα εδάφη υπάρχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα Mn απ' ότι στα εδάφη με βασικό pH. Αυτό δηλώνει ότι η διαθεσιμότητα του Mn εξαρτάται από την τιμή του pH. Επίσης η χαμηλή περιεκτικότητα του μαγγανίου όπως και των άλλων στοιχείων σιδήρου και ψευδαργύρου οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα του ανθρακικού ασβεστίου στα βασικά εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7 (Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007).



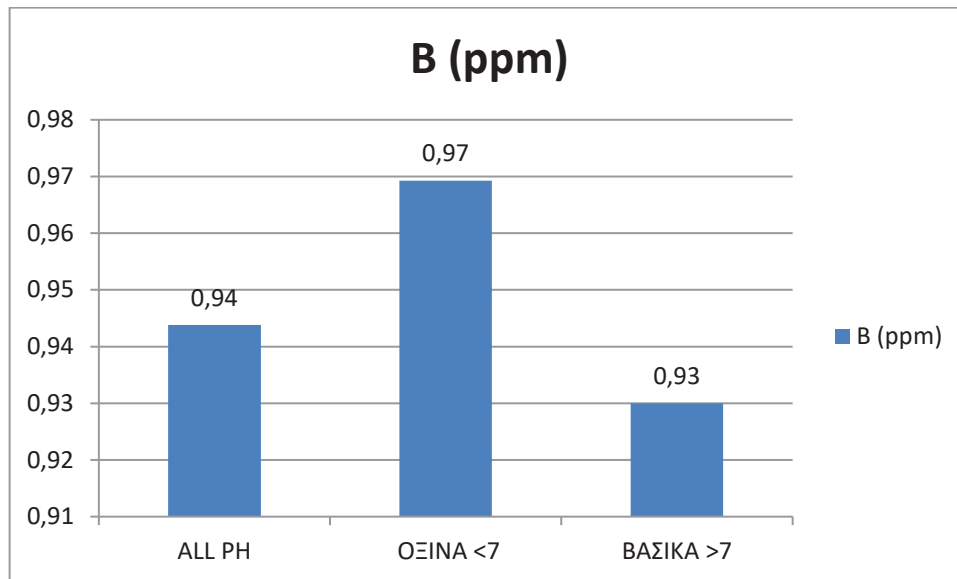
Εικ. 5.14 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Mn(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του χαλκού στο σύνολο των δειγμάτων(ALL PH) 12,83 ppm με μέγιστη τιμή 250,95 ppm και ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ. 5.15). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 13,09 ppm με μέγιστη τιμή 93,75 ppm και ελάχιστη τιμή 0,02 ppm(Εικ. 5.15) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή είναι 12,73 ppm με μέγιστη τιμή 250,95 ppm και ελάχιστη τιμή μηδέν (Εικ.5.15). Σύμφωνα με το διάγραμμα βλέπουμε ότι υπάρχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα του χαλκού στα όξινα εδάφη, η οποία μπορεί να οφείλεται σε δευτερογενή εμπλουτισμό λόγω αυξημένων επεμβάσεων με χαλκούχα σκευάσματα στις καλλιέργειες (Antramidis et al., 2019). Επίσης παρατηρούμε ότι η περιεκτικότητα και σε αυτό το στοιχείο επηρεάζεται από την τιμή του pH όπως αναφέρεται και από τον Κουκουλάκη κ.ά., (2007).



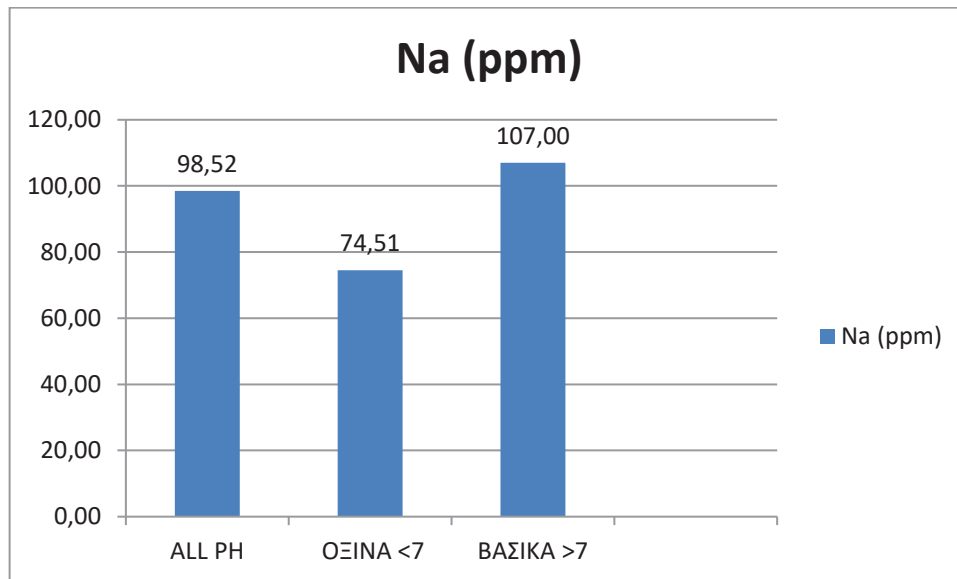
Εικ. 5.15 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Cu(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του βορίου στο σύνολο των δειγμάτων (All PH) ήταν 0,94 ppm με μέγιστη τιμή 2,03 ppm και ελάχιστη τιμή 0,39 ppm (Εικ. 5.16). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 0,97 ppm με μέγιστη τιμή 1,50 ppm και ελάχιστη τιμή 0,41 ppm (Εικ. 5.16) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του βορίου είναι 0,93 ppm με μέγιστη τιμή 2,03 ppm και ελάχιστη τιμή 0,39 ppm (Εικ.5.16). Από τα δεδομένα του διαγράμματος του βορίου βλέπουμε ότι υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα του στοιχείου σε εδάφη με όξινο pH σε σχέση με τα εδάφη που το pH είναι βασικό, βλέποντας ότι και εδώ επηρεάζεται η διαθεσιμότητα του βορίου από την τιμή του pH (Κουκουλάκης Π. κ.ά, 2007).



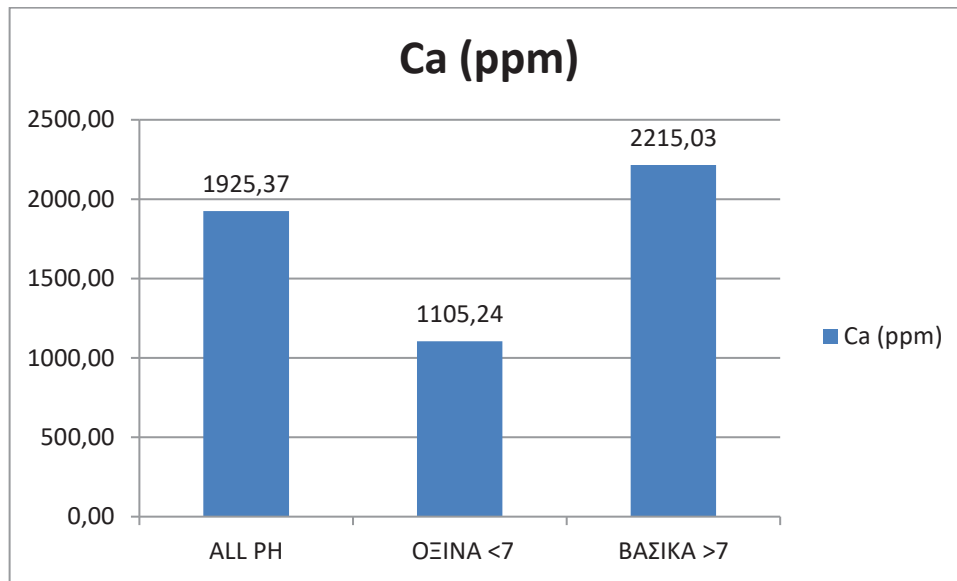
Εικ. 5.16 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής B(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

Η μέση τιμή του νατρίου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) ήταν 98,52 ppm με μέγιστη τιμή 1544 ppm και ελάχιστη τιμή 2 ppm (Εικ.5.17). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 74,51 ppm με μέγιστη τιμή 308 ppm και ελάχιστη τιμή 2 ppm (Εικ.5.17) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του νατρίου είναι 107 ppm με μέγιστη τιμή 1544 ppm και ελάχιστη τιμή 4 ppm (5.17). Η περιεκτικότητα του νατρίου είναι μεγαλύτερη στα εδάφη με pH μεγαλύτερο του 7 από τα εδάφη με pH μικρότερο του 7.



Εικ. 5.17 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Na(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

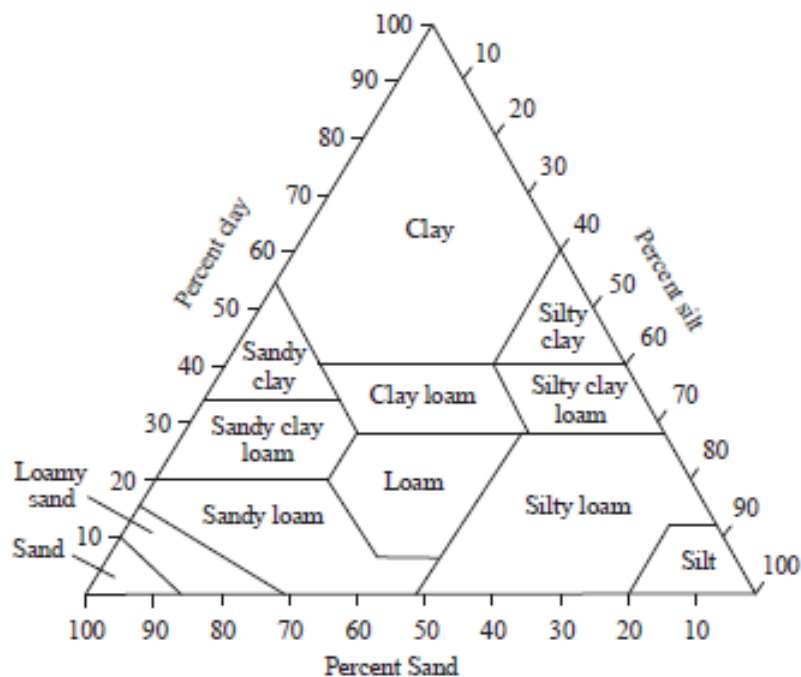
Η μέση τιμή του ασβεστίου στο σύνολο των δειγμάτων (ALL PH) είναι 1925,37 ppm με μέγιστη τιμή 6800 ppm και ελάχιστη τιμή 20 ppm (Εικ. 5.18). Στα δείγματα όπου το pH είναι μικρότερο του 7 η μέση τιμή είναι 1105,24 ppm με μέγιστη τιμή 5457 ppm και ελάχιστη τιμή 20 ppm(Εικ. 5.18) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 η μέση τιμή του ασβεστίου είναι 2215,03 ppm με μέγιστη τιμή 6800 ppm και ελάχιστη τιμή 220 ppm(Εικ. 5.18). Από το διάγραμμα φαίνεται ότι υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα ασβεστίου στα εδάφη με βασικό pH καθώς τα εδάφη αυτά είναι πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο σε σχέση με τα όξινα που υπάρχει απουσία ανθρακικού ασβεστίου.



Εικ. 5.18 Διάγραμμα περιεκτικότητας μέση τιμής Ca(ppm)(ALL PH, pH<7,pH>7).

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΛΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Στην παρούσα μελέτη έγινε ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής κλάσης των επιφανειακών εδαφών σε 659 επιφανειακά εδαφικά δείγματα από την Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας από τις Περιφερειακές Ενότητες Ηλείας, Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας. Με βάση την μηχανική σύσταση τα εδάφη της μελέτης διακρίνονται σε 11 κλάσεις. Ο προσδιορισμός κάθε κλάσης βασίστηκε στο τρίγωνο των κλάσεων μηχανικής σύστασης(Εικ.5.19).



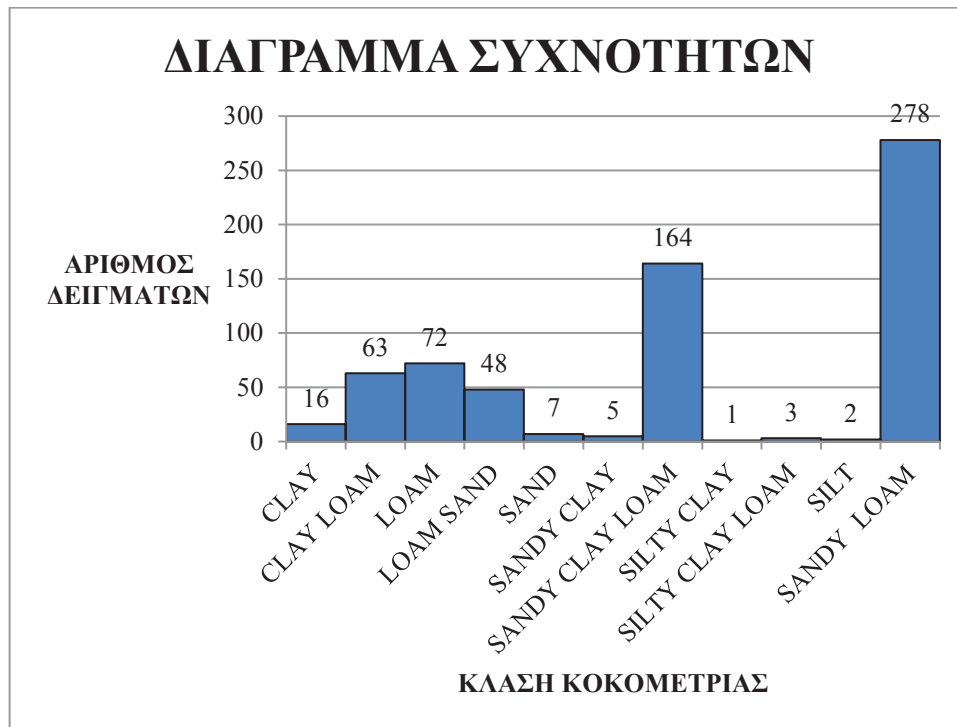
Εικ. 5.19 Τρίγωνο μηχανικής σύστασης προσδιορισμού της κοκκομετρικής κλάσης του εδάφους (Πηγή: Gee, G.W and Bauder, J.W., 1986).

Στο πίνακα που ακολουθεί (Πιν. 5.4) παρουσιάζονται οι 11 κοκκομετρικές κλάσεις που προέκυψαν από τα 659 επιφανειακά δείγματα της μελέτης και αριθμός των δειγμάτων που αντιστοιχεί ανά κλάση.

ΚΛΑΣΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
CLAY	1	16
CLAY LOAM	2	63
LOAM	3	72
LOAMY SAND	4	48
SAND	5	7
SANDY CLAY	6	5
SANDY CLAY LOAM	7	164
SILTY CLAY	8	1
SILTY CLAY LOAM	9	3
SILT	10	2
SANDY LOAM	11	278
ΣΥΝΟΛΟ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ		659

Πιν. 5.4 Κατηγορίες κλάση κοκκομετρίας εδαφών.

Στο διάγραμμα συχνοτήτων (Εικ. 5.20) παρουσιάζονται οι 11 κοκκομετρικές κλάσεις και ο αριθμός των δειγμάτων που αντιστοιχεί ανά κλάση. Σύμφωνα με το διάγραμμα ο μεγαλύτερος αριθμός δειγμάτων (278 δείγματα) αντιστοιχεί στην κλάση με αμμοπηλώδη εδάφη. Ακολουθούν τα αμμοαργιλοπηλώδη εδάφη (164 δείγματα), τα πηλώδη εδάφη (72 δείγματα), τα αργιλοπηλώδη εδάφη (63 δείγματα), τα πηλοαμμώδη εδάφη (48 δείγματα), τα αργιλλώδη εδάφη (16 δείγματα) και σε μικρότερο αριθμό δειγμάτων οι υπόλοιπες κλάσεις αμμώδη, αμμοαργιλώδη, ιλυοαργιλοπηλώδη, ιλυώδη και ιλυοαργιλώδη εδάφη.



Εικ.5.20 Διάγραμμα συχνότητων κλάσης κοκκομετρίας εδαφών.

ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ(ανά κατηγορία pH,κοκκομετρικής κλάσης , ολικού ανθρακικού ασβεστίου και οργανικής ουσίας).

Η φασματοσκοπία ανάκλασης είναι μια εναλλακτική μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ιδιότητες του εδάφους ώστε να υπάρξει άμεση λήψη αποφάσεων σύσταση λίπανσης στη γεωργία ακριβείας. Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, η φασματοσκοπία ανάκλασης έχει χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη των ιδιοτήτων εδάφους , όπως είναι ο οργανικός άνθρακας του εδάφους , η περιεκτικότητα σε βαρέα μέταλλα, η οργανική ουσία του εδάφους και το χρώμα του εδάφους(Barouchas, 2004; Gad et al., 2018; Marques, 2020).

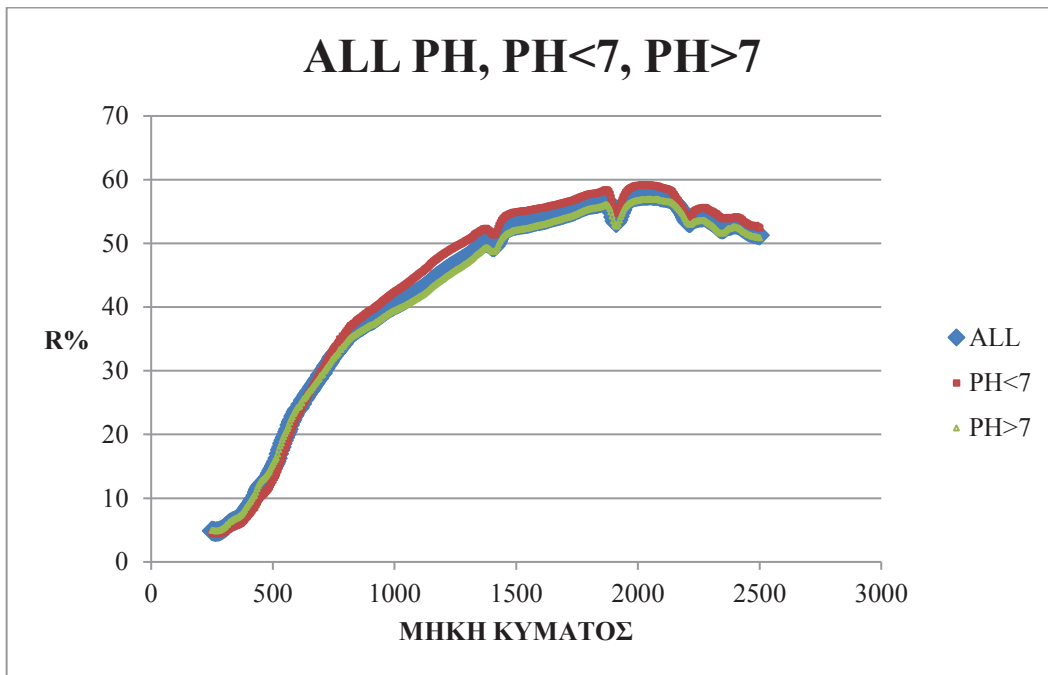
Η βιβλιοθήκη εδάφους με μετρήσεις φασμάτων είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τους ερευνητές και γι' αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί πολλές φασματικές βιβλιοθήκες. Μερικές απ' αυτές είναι η φασματική βιβλιοθήκη της Βόρειας Αμερικής Brown et al., (2006) τα οποία δείγματα αναλύθηκαν για τον οργανικό άνθρακα. Η φασματική βιβλιοθήκη ICRAF-ISRIC (2010) πραγματοποίησε αναλύσεις σε δείγματα ως προς την υφή του εδάφους και του οργανικού άνθρακα. Η φασματική βιβλιοθήκη LUCAS (Stevens et al., 2013) δημιούργησε τα πρώτα μοντέλα βαθμονόμησης Ευρωπαϊκής κλίμακας για την πρόβλεψη της περιεκτικότητας του οργανικού άνθρακα. Επίσης, οι Rossel και Behrens (2010) πραγματοποίησαν μια μελέτη χρησιμοποιώντας αλγόριθμους για την μοντελοποίηση και ερμηνεία των φασμάτων για την πρόβλεψη του ολικού ανθρακικού ασβεστίου και της οργανικής ουσίας κ.α. (Schwartz et al., 2011).

Παρακάτω γίνεται προσπάθεια κατηγοριοποίησης καθώς είναι ένας τρόπος να γίνει ομαδοποίηση των εδαφών ως προς την ολοκληρωμένη

διαχείριση των εδαφών, προκειμένου να τεκμηριωθεί η δυνατότητα καταγραφής διαφοροποιήσεων μέσω των φασμάτων. Η προσπάθεια που γίνεται είναι να αποτυπωθούν οι διαφορές ως προς την χημική ιδιότητα του pH μεταξύ των εδαφών που το pH είναι μικρότερο του 7 και αυτών που το pH είναι μεγαλύτερο του 7. Καθώς, επίσης, και μεταξύ των κλάσεων κοκκομετρίας της μελέτης στην ανάκλαση από 250 έως 2500 nm. Τέλος, γίνεται προσπάθεια κατηγοριοποίησης της οργανικής ουσίας στα δείγματα που η περιεκτικότητα είναι μικρότερη του 2% και στα δείγματα με περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 2% και του ολικού ανθρακικού ασβεστίου στα δείγματα της μελέτης σε περιεκτικότητα μικρότερη του 5% και μεγαλύτερη του 5%.

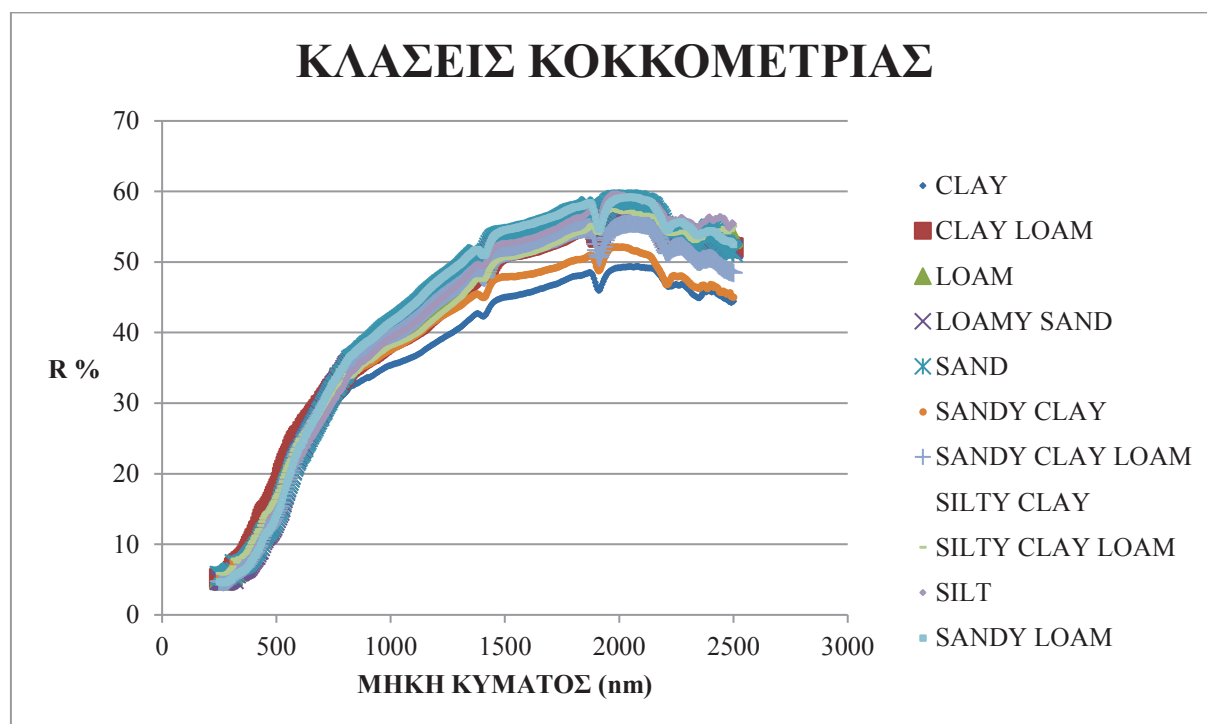
Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ.5.21) παρουσιάζεται η φασματική αποτύπωση στην ανάκλαση από 250-2500 nm για την ιδιότητα του pH στο σύνολο των δειγμάτων (ALL), στα δείγματα με pH μικρότερο του 7 ($\text{pH}<7$) και στα δείγματα με pH μεγαλύτερο του 7 ($\text{pH}>7$). Ο συνολικός αριθμός των δειγμάτων είναι 659 δείγματα, απ' αυτά τα 172 δείγματα χαρακτηρίζονται όξινα με pH μικρότερο του 7 και τα υπόλοιπα 487 βασικά με pH μεγαλύτερο του 7.

Παρατηρούμε ότι μέχρι το τέλος του ορατού φάσματος περίπου στα 800 nm να μην υπάρχει διαφορά μεταξύ των εδαφών με pH μικρότερο του 7 και των εδαφών με pH μεγαλύτερο του 7. Ενώ από την περιοχή του φάσματος άνω των 800 nm έως τα 2500 nm παρατηρείται διαφορά μεταξύ των εδαφών με pH μικρότερο του 7 και pH μεγαλύτερο του 7 με υψηλότερη ανάκλαση των εδαφών με pH μικρότερο του 7. Με βάση τα στοιχεία του διαγράμματος μπορούμε να δούμε ότι με την ομαδοποίηση δυο παραμέτρων του pH (όξινα και βασικά) μπορούμε να εντοπίσουμε διαφορά στα εδάφη μέσω της φασματοσκοπίας ανάκλασης.



Εικ.5.21 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης pH (ALL,pH<7,pH>7).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ.5.22) γίνεται προσπάθεια μέσω της φασματικής αποτύπωσης να παρουσιαστούν οι διαφορές μεταξύ των 11 κλάσεων κοκκομετρίας της μελέτης.

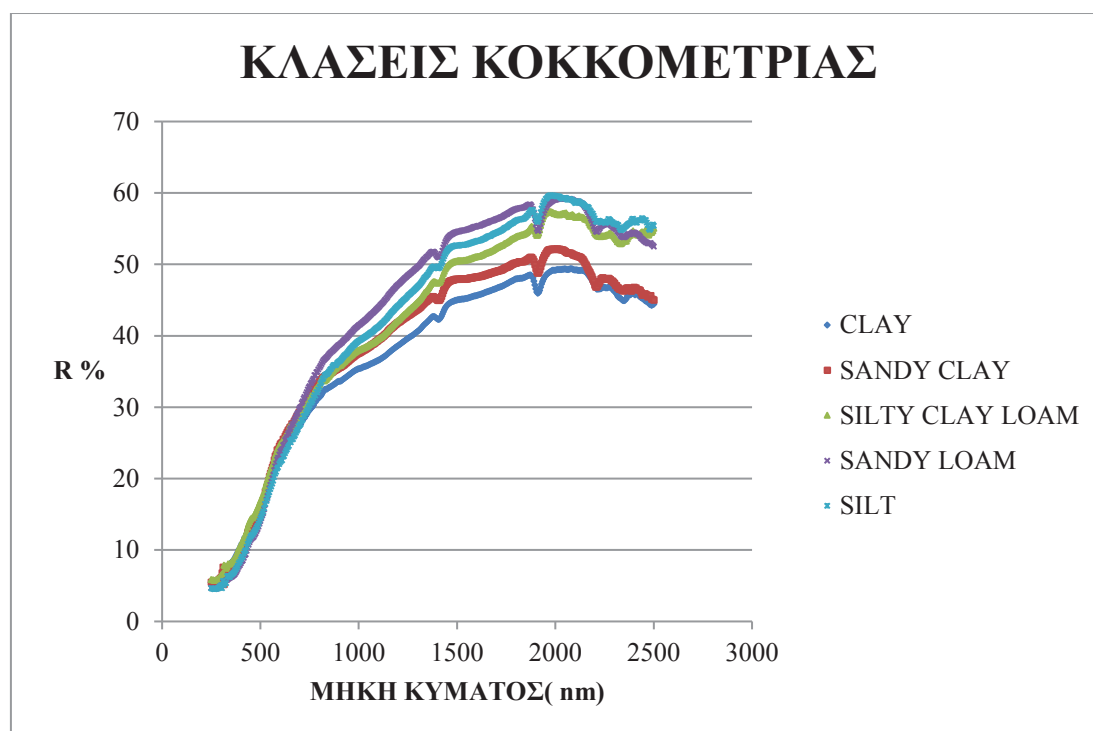


Εικ.5.22 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης 11 κλάσεων κοκκομετρίας της μελέτης.

Ωστόσο, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (Εικ. 5.22) είναι δύσκολο να εντοπιστούν οι διαφορές λόγω του μεγάλου αριθμού των κλάσεων κοκκομετρίας. Και γι' αυτό το λόγο έγινε προσπάθεια να διαχωριστούν οι κλάσεις στα τρία παρακάτω διαγράμματα (Εικ.5.23,Εικ.5.24,Εικ.5.25) για να υπάρχει η δυνατότητα διαφοροποίησης μεταξύ τους.

Στο πρώτο διάγραμμα (Εικ.5.23) παρουσιάζονται πέντε κλάσεις κοκκομετρίας των εδαφών (τα αργιλλώδη εδάφη, τα αμμοαργιλλώδη εδάφη, τα ιλυοαργιλοπηλώδη εδάφη, τα αμμοπηλώδη εδάφη και τα ιλυώδη εδάφη). Σύμφωνα με το διάγραμμα, βλέπουμε ότι στην περιοχή του ορατού

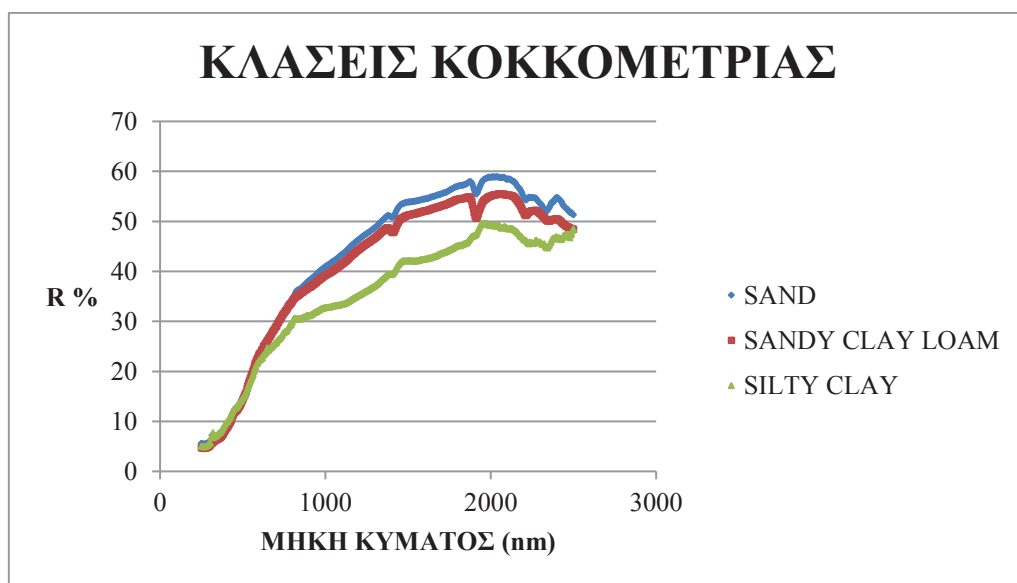
φάσματος έως και το τέλος του ορατού, περίπου στα 800 nm, να μην υπάρχουν διαφορές μεταξύ αυτών των πέντε κλάσεων ενώ μετά την περιοχή του ορατού φάσματος σημειώνονται διαφορές μέχρι και το τέλος του μήκους κύματος που μελετήθηκε στα 2500 nm. Συγκεκριμένα, έντονες διαφορές αποτυπώνονται μεταξύ των αμμοπηλωδων εδαφών, τα όποια χαρακτηρίζουν το μεγαλύτερο αριθμό των δειγμάτων της περιοχής που μελετάται από τα αργιλώδη εδάφη και τα αμμοαργιλώδη. Ενώ μεταξύ των αμμοπηλωδών εδαφών, τα ιλυώδη εδάφη και των ιλυοαργιλοπυλώδη δεν παρουσιάζουν έντονη διαφορά. Η μεγαλύτερη ανάκλαση φαίνεται ότι σημειώνεται στα αμμοπηλώδη εδάφη.



Εικ.5.23 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας (clay, sandy clay, silty clay loam, sandy loam, silt).

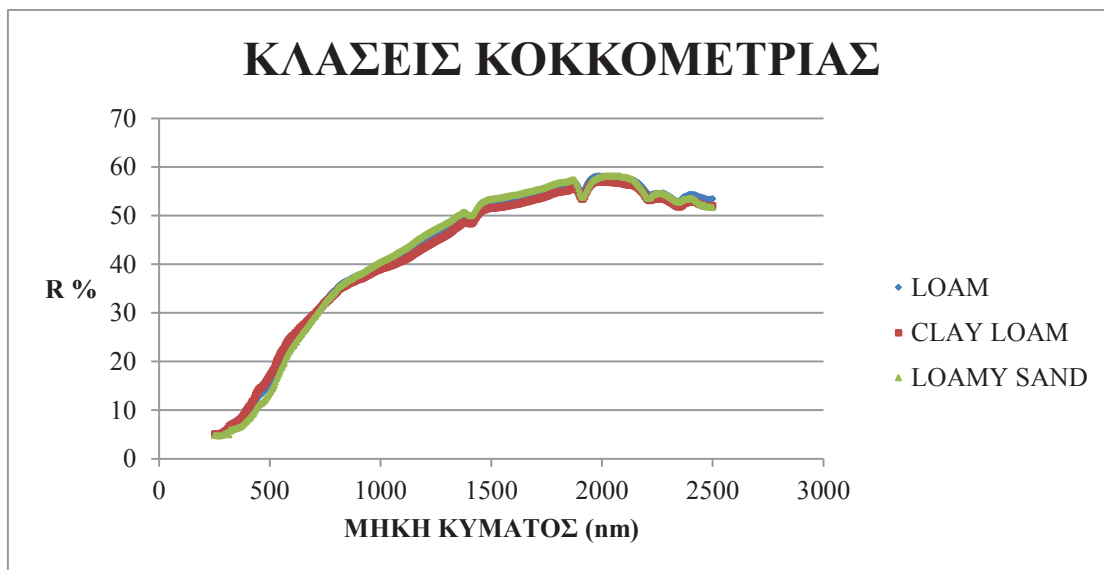
Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ. 5.24) φαίνεται η φασματική αποτύπωση τριών κοκκομετρικών κλάσεων της μελέτης (αμμώδη εδάφη, αμμοαργιλοπηλώδη εδάφη και ιλυοαργιλωδη εδάφη). Και εδώ όπως και

το προηγούμενο διάγραμμα φαίνεται ότι στην περιοχή του ορατού φάσματος μέχρι και τα 800 nm να μην εμφανίζουν διαφορές μεταξύ τους αλλά να παρουσιάζονται διαφορές στην συνέχεια με έντονη διαφορά μεταξύ των εδαφών που χαρακτηρίζονται αμμώδη και των ιλυαργιλώδη εδαφών. Στα αμμώδη εδάφη και στα αμμοργιλοπηλώδη να μην παρουσιάζουν διαφορά μέχρι τα 1500 nm αλλά να εντοπίζεται διάφορα στην φασματική αποτύπωση μετά τα 1500 nm.



Εικ.5.24 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας(sand, sandy clay loam, silty clay).

Στο τρίτο διάγραμμα (Εικ.5.25) βλέπουμε τρεις κοκκομετρικές κλάσεις (πηλώδη , αργιλοπηλώδη και τα πηλοαμμώδη εδάφη) να έχουν παρόμοια φασματική αποτύπωση στα εδάφη από την αρχή της μέτρησης 250 nm έως στα 2500 nm.

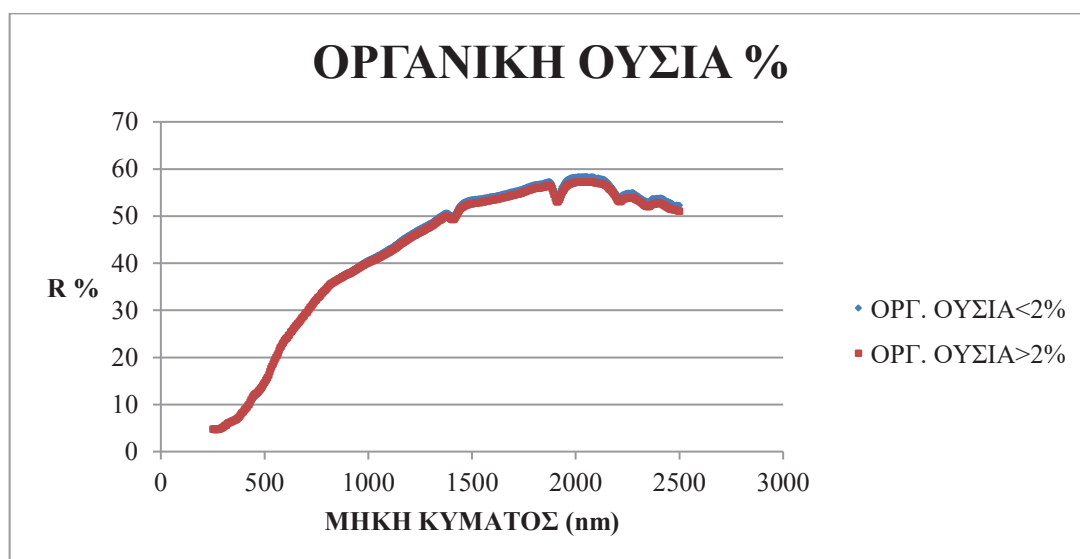


Εικ.5.25 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης κλάσης κοκκομετρίας(loam,clay loam, loamy sand).

Η ορατή κοντά υπέρυθρη φασματοσκοπία έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση του εδάφους και μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια τα τελευταία χρόνια την περιεκτικότητα του οργανικού άνθρακα (Dotto et al., 2017). Η μέτρηση του οργανικού άνθρακα με την φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης στην ορατή κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία είναι εφικτή, καθώς το έδαφος είναι οργανικό και μέσω της φασματοσκοπίας έχει ένα ισχυρό πλεονέκτημα λόγω της απορρόφησης του οργανικού άνθρακα σε σχέση με τις ηλεκτρομαγνητικές φασματικές περιοχές (Shangshi et al, 2019). Η φασματοσκοπία διάχυτης ανάκλασης μπορεί να προβλέψει μόνο με μερικά σφάλματα τον οργανικό άνθρακα τόσο στη ορατή όσο και στην κοντά υπέρυθρη ακτινοβολία στα μήκη κύματος 1000-2500 nm. Η παρουσία της οργανικής ουσίας στο έδαφος μειώνει την ανάκλαση στο φάσμα από 520-800 nm και συγκεκριμένα όταν η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας είναι μεγαλύτερη από 2%(Gad et al., 2018). Το στοιχείο της οργανικής ύλης που μειώνει την ανάκλαση του φάσματος στην περιοχή της ορατής - κοντά υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι το χουμικό οξύ σε αντίθεση με το

φουλβικό οξύ που δεν επιδρά αρνητικά στην ανάκλαση του εδάφους(Mohamed et al., 2016).

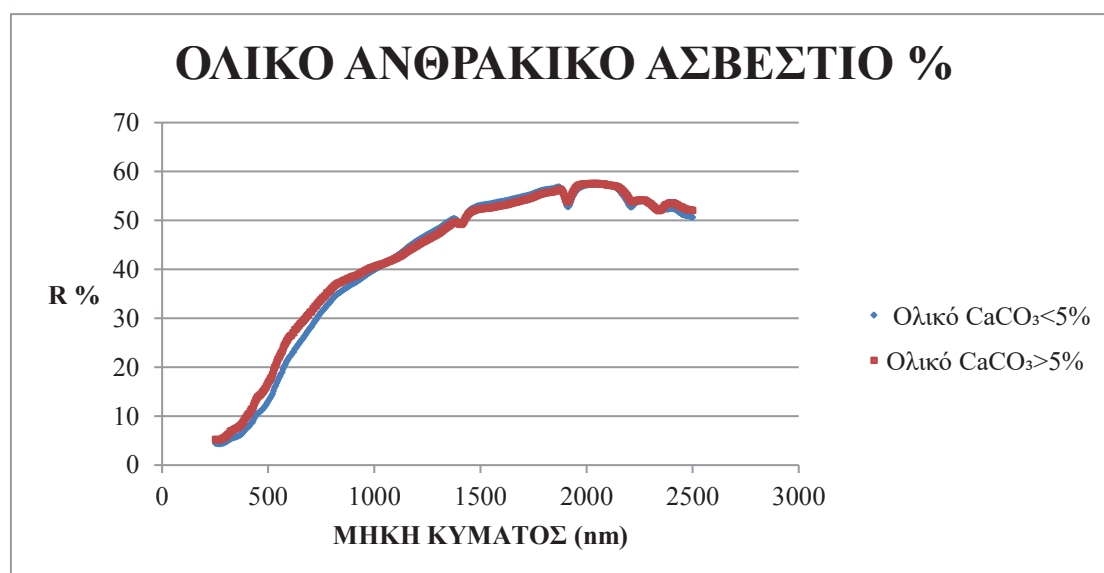
Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ.5.26) παρουσιάζονται σε φασματική αποτύπωση η περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας μικρότερη του 2% και μεγαλύτερη του 2% στα δείγματα της μελέτης. Απ' ότι φαίνεται υπάρχει παρόμοια φασματική αποτύπωση στα δείγματα με οργανική ουσία <2% και στα δείγματα με οργανική ουσία >2%.



Εικ.5.26 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης οργανικής ουσίας (οργ. ουσία <2% ,οργ. ουσία >2%).

Το ολικό ανθρακικό ασβέστιο είναι σημαντικό στις λειτουργίες του εδάφους. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα φασματικά χαρακτηριστικά των ανθρακικών εντοπίζονται στο φάσμα της ViS-NiR πάνω από 2000 nm στα ανθρακικά άλατα(Csorba et al., 2016)και συγκεκριμένα στα 2300-2350 nm (Khayamim et al., 2015). Ενώ, οι απορροφήσεις του γύψου εντοπίζονται στα φάσματα 1000, 1200, 1400, 1600, 1740, 1900 και 2200 nm (Khayamim et al., 2015).

Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικ. 5.27) παρουσιάζεται σε φασματική αποτύπωση η περιεκτικότητα του ολικού ανθρακικού ασβεστίου μικρότερη του 5% και μεγαλύτερη του 5% στα δείγματα της μελέτης. Αυτό που φαίνεται από το διάγραμμα είναι ότι στην περιοχή του ορατού φάσματος υπάρχει διαφορά μεταξύ των δειγμάτων που η περιεκτικότητα είναι μικρότερη του 5% και των δειγμάτων που η περιεκτικότητα είναι μεγαλύτερη του 5%. Ενώ στην συνέχεια από τα 1000 nm έως και στα 2500 nm δεν εντοπίζεται διαφορά μεταξύ τους.



Εικ.5.27 Διάγραμμα φασματικής αποτύπωσης ολικού ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃ <5% ,CaCO₃ >5%).

Η προσπάθεια κατηγοριοποίησης των παραπάνω ιδιοτήτων εδάφους μας δείχνει ότι είναι ένας τρόπος να γίνει ομαδοποίηση των εδαφών και να δώσει την δυνατότητα καταγραφής διαφοροποιήσεων μέσω των φασμάτων ώστε να γίνεται καλύτερη η διαχείριση των εδαφών.

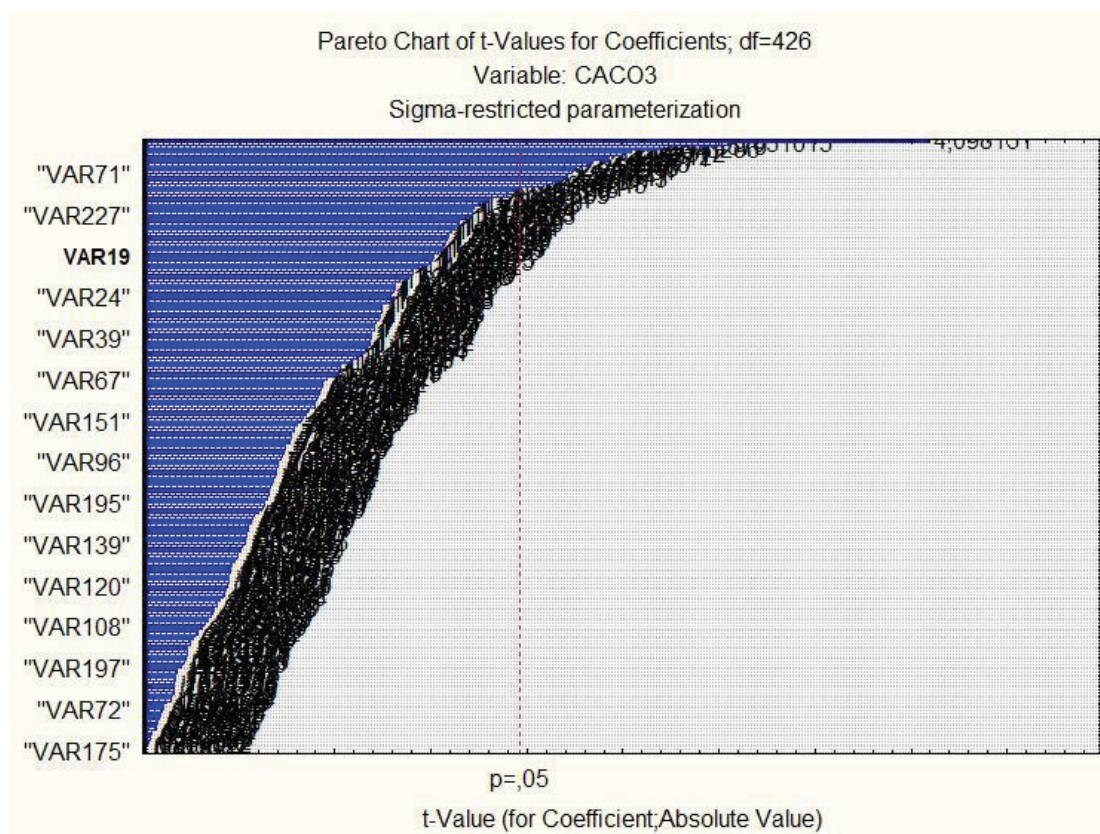
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕΡΙΚΩΝ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ (PLSR)

1. Πρόβλεψη του ολικού ανθρακικού ασβεστίου με χρήση φασμάτων ανάκλασης χωρίς καμία επεξεργασία (RAWDATA) σε δύο φασματικές περιοχές

Φασματική περιοχή 250 - 1435 nm

Dependent Variable	Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1 in PLS_XRISTOD_SET1.stw)										
	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
CACO3	0,848656	0,720217	0,563907	37616,91	238	158,0542	14613,02	426	34,30287	4,607610	0,00

Effect	Descriptive Statistics for Dependent Variables (Spreadsheet1 in PLS_XRISTOD_SET1.stw)					
	N	CACO3 Mean	CACO3 Std.Dev.	CACO3 Std.Err	CACO3 -95,00%	CACO3 +95,00%
Total	665	6,759494	8,869021	0,343926	6,084180	7,434807



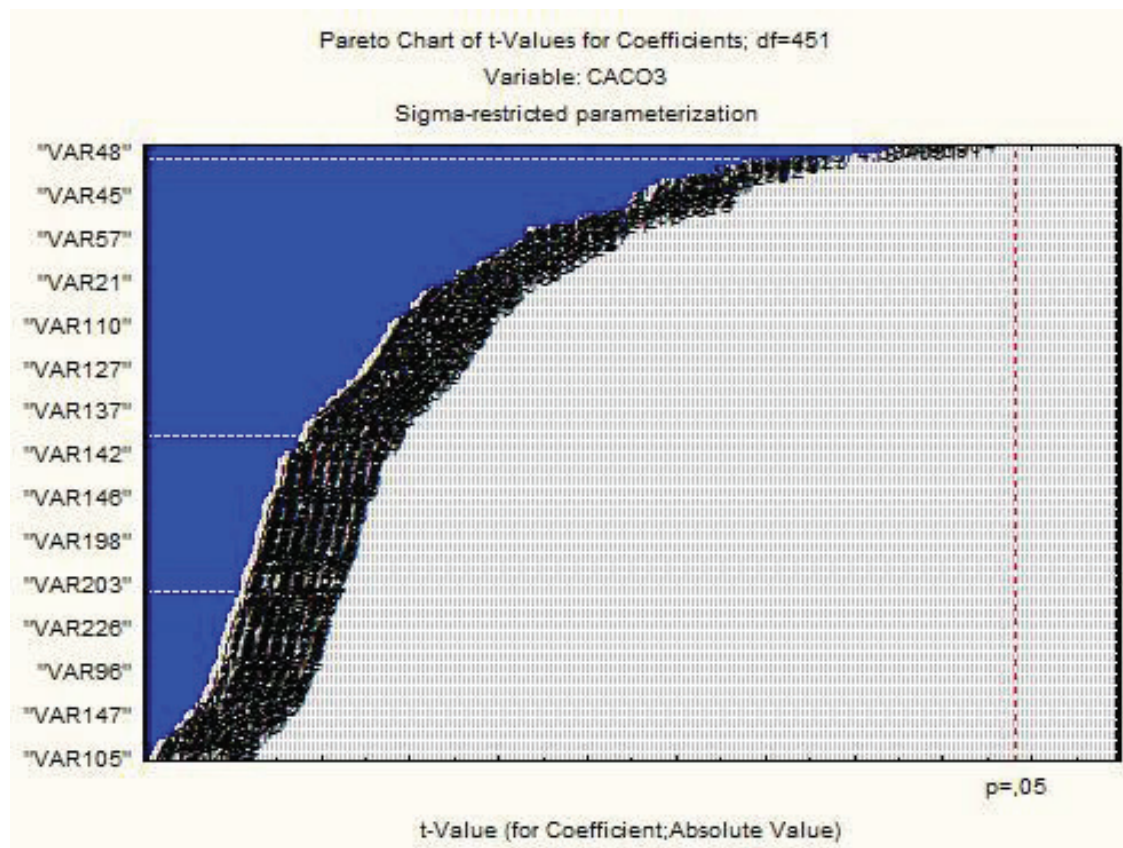
Εικ. 5.28 Στατιστικά στοιχεία και διάγραμμα σημαντικότητας ανεξάρτητων μεταβλητών φασματικών περιοχών για εύρος φάσματος 250 - 1435 nm, για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου.

Στον άξονα Y του διαγράμματος της εικόνας 5.28 απεικονίζονται οι πιο σημαντικές φασματικές περιοχές για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου σε ανεπεξέργαστα δείγματα, όπως αυτά ανακτήθηκαν από το φασματοφωτόμετρο διάχυτης ανάκλασης. Αυτές αντιστοιχούν σε μήκος κύματος (nm), από κάτω προς τα πάνω, ως εξής: **1030, 515, 1140, 695, 755, 850, 1130, 635, 910, 490, 350, 275, 250, 1290, 510 nm**. Το σύνολο αυτών των φασματικών περιοχών μπορεί να προβλέψει την περιεκτικότητα των εδαφικών δειγμάτων σε ανθρακικό ασβέστιο όταν συμπεριληφθούν στο πολλαπλό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (coefficient of determination), εκφράζει το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας που ερμηνεύεται από την πολλαπλή παλινδρόμηση και αποτελεί μέτρο της προσαρμογής της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων στα δεδομένα. Στην πιο πάνω περίπτωση $R^2 = 0,72$

Φασματική περιοχή 1440 – 2500 nm

Dependent Variable	Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet2 in PLS_XRISTOD_SET2.stw)										
	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
CACO3	0,868780	0,754778	0,638964	39422,00	213	185,0798	12807,93	451	28,39895	6,517136	0,00

Effect	Descriptive Statistics for Dependent Variables (Spreadsheet2 in PLS_XRISTOD_SET2.stw)					
	N	CACO3 Mean	CACO3 Std.Dev.	CACO3 Std.Err	CACO3 -95,00%	CACO3 +95,00%
Total	665	6,759494	8,869021	0,343926	6,084180	7,434807



Εικ. 5.29 Στατιστικά στοιχεία και διάγραμμα σημαντικότητας ανεξάρτητων μεταβλητών φασματικών περιοχών για εύρος φάσματος 1440 – 2500 nm, για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου.

Στον άξονα Y του διαγράμματος της εικόνας 5.29, απεικονίζονται οι πιο σημαντικές φασματικές περιοχές για την πρόβλεψη του ανθρακικού ασβεστίου σε ανεπεξέργαστα δείγματα, όπως αυτά ανακτήθηκαν από το φασματοφωτόμετρο διάχυτης ανάκλασης. Αυτές αντιστοιχούν σε μήκος κύματος (nm), από κάτω προς τα πάνω, ως εξής: **1870, 2080, 1825, 2475, 2360, 2335, 2075, 2055, 2030, 1980, 1895, 1450, 1630, 1570, 1585 nm**. Το σύνολο αυτών των φασματικών περιοχών μπορεί να προβλέψει την περιεκτικότητα των εδαφικών δειγμάτων σε ανθρακικό ασβέστιο όταν συμπεριληφθούν στο πολλαπλό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (coefficient of determination), εκφράζει το ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας που ερμηνεύεται από την πολλαπλή παλινδρόμηση και αποτελεί μέτρο της προσαρμογής της ευθείας

ελαχίστων τετραγώνων στα δεδομένα. Στην πιο πάνω περίπτωση $R^2 = 0,754$. Οι Csorba et al. (2016) αναφέρουν τη δυνατότητα προσδιορισμού του ανθρακικού ασβεστίου σε μήκος κύματος μεγαλύτερο από 2000 nm ενώ οι Khayamim et al. (2015) στα 2300-2350 nm.

2. Πρόβλεψη του ολικού οργανικού άνθρακα με χρήση φασμάτων ανάκλασης χωρίς καμία επεξεργασία (RAWDATA) σε δύο φασματικές περιοχές

Φασματική περιοχή 250 - 1435 nm

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet1 in PLS_XRISTOD_SET1.stw)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
OM	0,537662	0,289080	-0,108101	115427291	238	484988,6	283864538	426	666348,7	0,727830	0,996705

Φασματική περιοχή 1440 – 2500 nm

Test of SS Whole Model vs. SS Residual (Spreadsheet2 in PLS_XRISTOD_SET2.stw)											
Dependnt Variable	Multiple R	Multiple R ²	Adjusted R ²	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
OM	0,541165	0,292860	-0,041111	116936424	213	548997,3	282355405	451	626065,2	0,876901	0,862860

Με βάση τους πιο πάνω πίνακες, το σύνολο των φασματικών περιοχών των φασμάτων διάχυτης ανάκλασης δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η φασματοσκοπία ανάκλασης αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη μη καταστρεπτική μέθοδος για τον προσδιορισμό του ανθρακικού ασβεστίου.

Η φασματική απεικόνιση των εδαφικών δειγμάτων από την Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας, έδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις όταν τα δείγματα κατηγοριοποιήθηκαν με βάση το pH και την κοκκομετρική κλάση.

Το σύνολο των φασματικών περιοχών των φασμάτων διάχυτης ανάκλασης σε μη επεξεργασμένη μορφή, δεν μπορεί να προβλέψει ικανοποιητικά την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανικό άνθρακα.

Τα φάσματα ανάκλασης σε μη επεξεργασμένη μορφή έδωσαν σημαντικές συσχετίσεις πρόβλεψης του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος, ειδικότερα όταν έγινε συνδυασμός φασματικών δεδομένων σε σύνολο δεκαπέντε φασματικών περιοχών.

Η φασματική περιοχή 1440 – 2500 nm έδειξε ότι μπορεί να προβλέψει καλύτερα την περιεκτικότητα των εδαφικών δειγμάτων σε ανθρακικό ασβέστιο όταν συμπεριληφθούν συγκεκριμένες μπάντες του φάσματος στο πολλαπλό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Αν και οι βιβλιογραφικές αναφορές καταδεικνύουν ως ιδανικότερη περιοχή εκτίμησης του ανθρακικού ασβεστίου μεγαλύτερη από 2000 nm, από την ανάλυση των συγκεκριμένων επιφανειακών δειγμάτων, η εκτίμηση μπορεί να είναι καλύτερη όταν συμπεριληφθούν στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης και φασματικές περιοχές μεγαλύτερες από τα 1435 nm.

Προτείνεται περαιτέρω αριθμητική επεξεργασία των φασματικών δεδομένων, προκειμένου να διερευνηθούν και άλλες προσεγγίσεις εκτίμησης του ανθρακικού ασβεστίου και του οργανικού άνθρακα στα εδάφη της Δυτικής Ελλάδας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdi Herve, 2010. Partial least squares regression and projection on latent structure. Focus Article. DOI: 10.1002/wics.51

Africa Soil Information Service, 2012. Analyzing Africa's Soils with Infrared Spectroscopy. AfSIS Newsletter: 5.

Aitkenhead J Matt., Gaskin J Graham., Lafouge Noemie and Hawes Cathy, 2017. PHYLIS: A Low-Cost Portable Visible Range Spectrometer for Soil and Plants Published online 2017 Jan 7. doi: [10.3390/s17010099](https://doi.org/10.3390/s17010099)

Allory Victor, Cambou Aurélie, Moulin Patricia, Schwartz Christophe, Cannavo Patrice, Vidal-Beaudet Laure, Barthès G. Bernard, 2019. Quantification of soil organic carbon stock in urban soils using visible and near infrared reflectance spectroscopy (VNIRS) in situ or in laboratory conditions. Science of the Total Environment 686 (2019) 764–773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.192>

Angelopoulou Theodora & Dimitrakos Agathoklis & Terzopoulou Evangelia & Zalidis George & Theocharis John & Stafilov Trajce & Zouboulis Anastasios, 2017. Reflectance Spectroscopy (Vis-NIR) for Assessing Soil Heavy Metals Concentrations Determined by two Different Analytical Protocols, Based on ISO 11466 and ISO 14869-1. Water Air Soil Pollut (2017) 228:436 <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3609-9>

Anukool Raja, Somsubhra Chakrabortya, Bogdan M. Dudab, David C. Weindorf,, Bin Li, Sourav Roya, M.C. Sarathjith, Bhabani Sankar Dasa, Laura Paulette, 2017. Soil mapping via diffuse reflectance spectroscopy based on variable indicators: An ordered predictor selection approach. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.043>

Avramidis Pavlos, Barouchas Pantelis, Dünwald Thomas, Unkel Ingmar and Panagiotaras Dionisios, 2019. The Influence of Olive Orchards

Copper-Based Fungicide Use, in Soils and Sediments—The Case of Aetoliko (Etoliko) Lagoon Western Greece. *Geosciences*, 9, 267; doi:10.3390/geosciences9060267.

Barouchas, P.E. and N.K. Moustakas, 2004. Soil colour spectral analysis employing linear regression models. I. Effects of organic matter. *Int. Agrophysics*, 18: 1-10

Barouchas P., 2014a. Automatic portable and digital calcium carbonate measuring instrument practicable for soil samples – A device characterized by incorporated temperature – counter balancing means, potential communication and location of the geographical position of the measurement, Greek Industrial Property Organization (OBI), Patent No GR1008089 (B) — 2014-01-21, Int. Cl. G01N33/24; G01N7/18 (valid until 20-10-2032)

Barouchas P., 2014b. Automatic portable and digital soil calcimeter. Publication number: WO2014060782 A1, World Intellectual Property Organization, WIPO. Publication

Barouchas, P.E., 2014c. FOG II - A new innovative portable instrument for the total calcium carbonate soil testing. 20th World Congress of Soil Science, June 8-13, 2014 - Jeju, KOREA, Friday, 13 June 2014, P4-106, AF2494.

Barouchas Pantelis E., Moustakas Nicholas, Liopa-Tsakalidi Aglaia. 2013. A rapid procedure to calculate lime requirements based on single titration with base. *Archives of Agronomy and Soil Science*, (59): 317-325. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/03650340.2011.621421>

Bauer, Steffan, 2007. "Desertification". In Thai, Khi V.; et al. (eds.). *Handbook of globalization and the environment*. CRC Press. ISBN 978-1-57444-553-4.

- Ben-Dor, E., 2002. Quantitative remote sensing of soil properties. *Advances in Agronomy*, 75, pp.173–243.
- Billmeyer, F. W and Saltzman M., 1981. Principles of color. 2nd ed Wiley New York.
- Brodský Lukáš, Klement Aleš, Penížek Vít, Kodešová Radka and Borůvka Luboš, 2011. Building Soil Spectral Library of the Czech Soils for Quantitative Digital Soil Mapping. *Soil & Water Res.*, 6, 2011 (4): 165–172
- Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG, 2006 Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* 132: 273–290.
- Burkart, A.; Cogliati, S.; Schickling, A.; Rascher, 2014. U. A novel UAV-based ultra-light weight spectrometer for field spectroscopy. *IEEE Sens. J.* 2014, 14, 62–67.
- Carrascal Luis M., Galvan Ismael and Gordo Oscar, 2009. Partial least squares regression as an alternative to current regression methods used in ecology. *Oikos* 118: 681_690, 2009doi: 10.1111/j.1600-0706.2008.16881.x.
- Chabrillat S., Ben-Dor E. ,Cierniewski J., Gomez C , Schmid T. ,B. van Wesemael, 2018. Imaging Spectroscopy for Soil Mapping and Monitoring, *Surveys in Geophysics*, 40:361–399.
- Conserve energy future, What is soil Degradation?, 2020, Available from: <https://www.conserve-energy-future.com/causes-effects-solutions-soil-degradation.php>
- Csorba Ádam, Láng Vince, Szalay Kornél D, Michéli Erika , László, 2016. Prediction of Soil Organic Carbon and Calcium Carbonate Content Based on Reflectance Spectroscopy and Multivariate Modelling Methods.

<https://www.researchgate.net/publication/265800243> Available from:
László Fenyvesi Retrieved on: 11 November 2016.

Dongyun Xu, Wanzhu Ma, Songchao Chenc, Qingsong Jianga, Kang He, Zhou Shi, 2017. Assessment of important soil properties related to Chinese Soil Taxonomy based on vis–NIR reflectance spectroscopy. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.11.029>

Dotto Andre Carnieletto , Ricardo Simao Diniz Dalmolina, Alexandre ten Catenb, Sabine Grunwaldc, 2017. A systematic study on the application of scatter-corrective and spectral derivative preprocessing for multivariate prediction of soil organic carbon by Vis-NIR spectra. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.006>.

Earth observatory, Temporary Drought or Permanent Desert?
Published Jan3, 2007

<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Desertification/desertification2.php>

ESDAC, <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/>

Encyclopedia of soil science, 2008. ISBN: 978-1-4020-3994-2
Springer Dordrecht, Berlin, Heidelberg, New York.

FAO, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. ISBN 978-92-5-108960-6.

FAO, 2007. Advances in the assessment and monitoring of salinization and status of biosaline agriculture. Reports of expert consultation held in Dubai, United Arab Emirates, 26–29 November 2007. World Soil Resources Reports No. 104. ISBN: 978-92-5-106439-9

Fard Ramin Samiei & Matinfar Hamid Reza, 2015. Capability of vis-NIR spectroscopy and Landsat 8 spectral data to predict soil heavy metals in polluted agricultural land (Iran). Received: 13 December 2015 Arab J Geosci (2016) 9: 745 DOI 10.1007/s12517-016-2780-4

Ferrier G., Hudson-Edwards K.A. & Pope R.J., 2009. Characterisation of the environmental impact of the Rodalquilar mine, Spain by ground-based reflectance spectroscopy. Journal of Geochemical Exploration, 100(1), 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.03.001>.

Fourati Hela Triki & Bouaziz Moncef & Benzina Mourad & Bouaziz, Samir, 2015. Modeling of soil salinity within a semi-arid region using spectral analysis, DOI 10.1007/s12517-015-2004-3

Fuller, W.H., 1977. Movement of selected metals, asbestos, and cyanide in soil: applications to waste disposal problems. United States. National Technical Information Service. PB;(USA). Fuller, W.H. (1977). Movement of selected metals, asbestos, and cyanide in soil: applications to waste disposal problems. United States. National Technical Information Service. PB;(USA).

Gad Allah Abd, Mohamed E.S, Saleh A.M., Belal A.B., 2018. Application of near-infrared reflectance for quantitative assessment of soil properties. National Authority for Remote Sensing and Space Sciences (NARSS), Cairo, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 21 (2018) 1–14. Pages 1-14, ISSN 1110-9823.

Gee, G.W and Bauder, J.W., 1986. Particle size analysis. In: A. Klute (Editor), Methods of Soil Analysis. Part 2, 2nd-ed. Agronomy Monograph 9. ASA and SSSA. Madison, WL, pp.383-441

Gholizadeh Asa, Saberioon Mohammadmehdi, Rossel Raphael A. Viscarra, Boruvka Lubos, Klement Ales, 2019. Spectroscopic measurements and imaging of soil colour for field scale estimation of soil organic carbon. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113972>

Gholizadeh A.; Soom, M.A.M.; Saberioon, M.M.; Boruvka, L., 2013. Visible and near infrared reflectance spectroscopy to determine chemical properties of paddy soils. *J. Food Agric. Environ.* 2013, 11, 859–866.

Gobrecht Alexia, Roger Jean-Michel, Bellon-Maurel Véronique , 2014, Irstea, UMR ITAP, Montpellier, France. Major Issues of Diffuse Reflectance NIR Spectroscopy in the Specific Context of Soil Carbon Content Estimation: A Review *Advances in Agronomy*.

Hermansen Cecilie, Knadel Maria , 2017. Complete Soil Texture is Accurately Predicted by Visible Near-Infrared Spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal* doi:10.2136/sssaj2017.02.0066

ICRAF-ISRIC, 2010. A Globally Distributed Soil Spectral Library: Visible Near Infrared Diffuse Reflectance Spectra. World Agroforestry Centre (ICRAF) and ISRIC - World Soil Information. Available: http://www.africasoils.net/afsis_files/ICRAFISRICSoilVNIRSpectralLibrary.pdf. Accessed 26 March 2012. ISSN 0065-2113 <http://dx.doi.org/10.1016/B978>

Johnson, Pierre Marc; et al., eds., 2006. *Governing global desertification: linking environmental degradation, poverty and participation*. Ashgate Publishing. ISBN 978-0-7546-4359-3.

Khayamim Fatemah, Wetterlind Johanna, Khademi Hossein, Robertson A.H. Jean, Canod Angel Faz and Stenberg Bo, 2015. Using visible and near infrared spectroscopy to estimate carbonates and gypsum

in soils in arid and subhumid regions of Isfahan, Iran. ISSN: 0967-0335
doi: 10.1255/jnirs.1157

Knadel Maria, Arthor Emmanuel, Weber Peter, 2018. Soil Specific Surface Area Determination by Visible Near-Infrared Spectroscopy. Soil Sci. Soc. Am. J. 82:1046–1056 doi:10.2136/sssaj2018.03.0093

Kosmas C., Kirkby M., Geeson N., 1999a. The medalus project Mediterranean desertification and land use. European communities.

Kosmas, C., Kirkby, M. and Geeson, N., 1999b. Manual on: Key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development, EUR 18882, 87 p.

Liao, H.B.; Wu, J.G.; Chen, W.R.; Guo, W.D.; Shi, C.H., 2012. Rapid diagnosis of nutrient elements in fingered citron leaf using near infrared reflectance spectroscopy. J. Plant Nutr. 2012, 35, 1725–1734.

Lifesos, contamination, 2009- 2020, Available from:

<http://www.lifesos.eu/index.php/el/pollution>

Lindsay W.L., 1972. Zinc in Soils and plant Nutrition. Advances in Agronomy volume 24, 1972 Pages 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60635-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60635-5).

Love, S., 2017. Field Methods for the Analysis of Mud Brick Architecture. Journal of Field Archaeology. 42, 1-13.

Malley, D.F. & Williams, P.C., 1997. Use of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy in Prediction of Heavy Metals in Freshwater Sediment by Their Association with Organic Matter. Environmental Science & Technology, 31(12), pp.3461-3467.

Mamur Hyati, 2016. Ternary Semiconductor AGS Thin films. Isbn: 978-3-659-97618-6.

Marques Maria Jose, Álvarez Ana María, Carral Pilar, Esparza Iris, Sastre Blanca and Bienes Ramón, 2020. Estimating Soil Organic Carbon in Agricultural Gypsiferous Soils by Diffuse Reflectance Spectroscopy *Water* 2020, 12, 261; doi:10.3390/w12010261.

Mobasheri Mohammad Reza, Amani Meisam, Fathi-Almas Roghayeh, Mahdavi Sahel & Zabihi Hamid Reza, 2020. Developing a model for soil potassium estimation using spectrometry data, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51:6, 794-803, DOI:10.1080/00103624.2020.1733002.

Mohamed E. S., Ali A. M., Shirbeny M. A. El, Afaf A. Abd El Razek, and I. Yu. Savinc, 2016. Near Infrared Spectroscopy Techniques for Soil Contamination Assessment in the Nile Delta. *Soil Chemistry* Published: 15 June 2016

Mortvedt J.J, 1986. Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems, *Journal of Plant Nutrition*, 9:3-7, 961-974 <https://doi.org/10.1080/01904168609363496>

Mougenot B., 1993. Effet des sels sur la reflectance et teledetection des sols salis. *Cah. Orstom, sér.pédol* 18: 45-54
Mougenot B (1993) Effet des sels sur la réflectance et télédetection des sols salés. *Cah. Orstom, sér.pédol* 18: 45-54

Nocita Marco , Stevens Antoine, Toth Gergely , Panagos Panos , Bas van Wesemael , Montanarella Luca, 2013. Prediction of soil organic carbon content by diffuse reflectance spectroscopy using a local partial least square regression approach. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.022>

Orgiazzi A, C. Ballabio, P. Panagos, A. Jones & Fernandez- O. Ugalde, 2018. LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: A review. 2018. *European Journal of Soil Science*, 69(1): 140-153, DOI: 10.1111/ejss.12499

Page, A.L., Miller, R.H. and Buxton, D.R., 1982. *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*. Agronomy 9. 2nd ed. Am. Soc. of Agronomy, Inc. Madison, WI.

Rames Thangavel, Nanthi S. Bolan, Mary Beth Kirkham, Hasintha Wijesekara, Manjaiah Kanchikerimath, Cherukumalli Srinivasa Rao, Sasidharan Sandeep, Jörg Rinklebe, Yong Sik Ok, Burhan U. Choudhury, Hailong Wang, Caixian Tang, Xiaojuan Wang, Zhaoliang Song, Oliver W. Freeman II, 2019. Soil organic carbon dynamics: Impact of land use changes and management practices: A review, *Advances in Agronomy*, Volume 156. ISSN 0065-2113
<https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.02.001>

Ren, W.B.; Han, J.G.; Zhang, Y.W.; Guo, H.Q., 2008. The application of near-infrared reflectance spectroscopy in seeds quality certification. *Spectrosc. Spectr. Anal.* 2008, 28, 555–558.

Rossel, R.A.V. & Behrens, T., 2010. Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. *Geoderma*, 158(1-2), pp.46-54.

Schwartz Guy, Eshel Gil and Ben-Dor Eyal, 2011. *Reflectance Spectroscopy as a Tool for Monitoring Contaminated Soils, Soil Contamination*, MSc Simone Pascucci (Ed.), ISBN: 978-953-307-647-8, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/soilcontamination/reflectance-spectroscopy-as-a-tool-for-monitoring-contaminated-soils>.

Shangshi Liu, Shen Haihua, Chenc Songchao, Zhao Xia, Biswas Asim, Jia Xiaolin, Shi Zhou, Fang Jingyun, 2019. Estimating forest soil

organic carbon content using vis-NIR spectroscopy: Implications for large-scale soil carbon spectroscopic assessment.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.04.003>

Shepherd KD, Walsh MG , 2002. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society of America Journal* 66: 988–998. *sols salis. Cah. Orstom, ser.pedol* 18: 45-54

Soil, 29 January 2020, Available from:
http://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm

Soil Survey Staff., 1996. *Keys to soil taxonomy*, 8th ed. Soil Conservation Service USDA, Washington, DC.

Stevens A, Nocita M, Toth G, Montanarella L, van Wesemael B, 2013. Prediction of Soil Organic Carbon at the European Scale by Visible and Near InfraRed Reflectance Spectroscopy. *PLoS ONE* 8(6): e66409. doi:10.1371/journal.pone.0066409

Sun Weichao, Skidmore K. Andrew, Wang Tiejun, Zhang Xia, 2019, China. Heavy metal pollution at mine sites estimated from reflectance spectroscopy following correction for skewed data. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.021> *Environmental Pollution* 252 (2019) 1117e1124.

Tóth, G., Jones, A., Montanarella, L. (eds.), 2013. *LUCAS Topsoil Survey. Methodology, data and results*. JRC Technical Reports. Luxembourg. Publications Office of the European Union, EUR26102 – Scientific and Technical Research series – ISSN 1831-9424 (online); ISBN 978-92-79-32542-7; doi: 10.2788/97922.

USSL Salinity Laboratory, 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils*. US Department of Agriculture Handbook, No. 60, 160 p

Vresak, M.; Olesen, M.H.; Gislum, R.; Bavec, F.; Jorgensen, J.R., 2016. The use of image-spectroscopy technology as a diagnostic method for seed health testing and variety identification. PLoSONE2016, 11, e0152011.

www.meteo.gr, Κόμβος Προγνώσεων Καιρού

Ανδριάνη Γ. Ε., Μπαρούχας Ε. Π. και Μουστάκας Κ. Ν., 2008. Σχέσεις μεταξύ οξειδίων του σιδήρου οργανικής ουσίας και χρωματικών χαρακτηριστικών σε εδάφη της Δυτικής Ελλάδας. 12^ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο, 22-24 Σεπτεμβρίου 2008. Πρακτικά Συνεδρίου, σελ 291-304.

Γιουμουξουδης Χρήστος, 2015. Μοντελοποίηση απόκρισης σήματος φαρμακομορίων με χρήση τεχνικής αρνητικού μοριακού μορίου ιοντισμού και ηλεκτροψεκασμού (ΕΣΙ-ΛΨ-ΜΣ), Μεταπτυχιακή εργασία, Θεσσαλονίκη.

Καμίτσα Παναγιώτα, 2018, Πάτρα. Ρύπανση εδαφών από Βαρέα μέταλλα στην Ελλάδα ,επιπτώσεις στο περιβάλλον και αποκατάσταση. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο ,Διπλωματική Εργασία.

Καραπάνος Ηλίας, 2009. Υδρογεωλογικές- Υδροχημικές παράμετροι της αποξηραμένης λίμνης Μουριάς (Ν. Ηλείας) ως παράγοντες για τον καθαρισμό κριτηρίων εφαρμογής αποκατάστασης και αειφορικής διαχείρισης υγροτόπων. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστημίου Πατρών, τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.

Κουζελή Ευλαμπία, 2013. Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην κατασκευή βάσης υδρογεωλογικών δεδομένων. Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών , τμήμα Γεωλογίας.

Κουκουλάκης Π., Παπαδόπουλος Α., 2007. Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωση τους. ISBN: 9789603516934.

Λαΐνας Β. Σπυρίδων, 2018. Κατολισθητικά φαινόμενα και βροχοπτώσης Παραμετρική εκτίμηση της επικινδυνότητας για κατολίσθηση στους γεωλογικούς σχηματισμούς της Βορειοδυτικής Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστημίου Πατρών, τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.

Μανδηλαράς Δημήτριος, 2005. Περιβαλλοντική – Υδρογεωλογική έρευνα στη λεκάνη του Γλαύκου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστημίου Πατρών, τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.

Μαυρομάτης Γ., 1980. Το Βιοκλίμα της Ελλάδας- Σχέσεις κλίματος και φυσικής βλαστήσεως – Βιοκλιματικοί χάρτες ,Δασική Έρευνα, τόμος 1,παράρτημα.

Μπαρούχας Π., 2004. Ανάλυση φασματικών χαρακτηριστικών χρώματος έδαφος της τάξεως των Alfisols”. Διδακτορική διατριβή, Γ.Π.Α., Αθήνα.

Μπαρούχας Παντελής, 2015. Σημειώσεις Εδαφολογικού Εργαστηρίου, Μέθοδοι ανάλυσης εδαφικών δειγμάτων γεωργικής προέλευσης εδαφολογικού εργαστηρίου Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας.

Σιδερούδη Θεοχαρία, 2006. Φασματοσκοπική μελέτη οφθαλμικών παθήσεων και ανίχνευση μορίων φαρμάκων, Διδακτορική διατριβή, Πάτρα.

Σταυρινίδης Σταύρος-Κων/νος, 2011. Παλινδρόμηση Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων.

Υ.Π.Ε.Κ.Α ,Τεχνική Οδηγία του τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010, Απρίλιος 2012. Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών , Β έκδοση.