



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Περιβαλλοντική και Υγειονομική Μηχανική»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**“ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ
ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ”**

Φραγκιά Τασούλα

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ

ΛΕΚΤΟΡΑΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΡΑΝΥΧΙΑΝΑΚΗΣ

Χανιά 2012

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος Νικόλαο Νικολαΐδη για την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής διατριβής μου και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Φωτεινή Σταμάτη που υλοποίησε τη διδακτορική της διατριβή στο εργαστήριο Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος για την επίβλεψη και σημαντική καθοδήγηση που μου προσέφερε για την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την εργαστηριακό βοηθό του Εργαστηρίου Υδρογεωχημικής Μηχανικής και Αποκατάστασης Εδαφών Μαρία-Λιλιάνα Σαρού καθώς και τον Δρ. Δανιήλ Μωραΐτη καθώς και τον υποψήφιο διδάκτωρ Εμμανουήλ Κοτρωνάκη για τη συμμετοχή και συνεργασία στη δειγματοληψία εδαφών και κατά τη διεξαγωγή των αναλύσεων.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την εργαστηριακή βοηθό του εργαστηρίου Εμπλουτισμού του τμήματος Ορυκτών Πόρων Όλγα Παντελάκη καθώς και τον διευθυντή του εργαστηρίου καθηγητή Ηλία Σταμπολιάδη για την συμβολή τους στην κοκκομετρική ανάλυση με ακτίνες Laser.

Ευχαριστίες αποδίδω ακόμα στον καθηγητή Νικόλαο Καλογεράκη, και στον λέκτορα Νικόλαο Παρανυχιανάκη για τη διάθεση συσκευών και μηχανημάτων των εργαστηρίων τους, καθώς και το προσωπικό των παραπάνω εργαστηρίων για τη βοήθεια που μου προσέφεραν. Τέλος θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για το χρόνο που διέθεσαν ως μέλη της τριμελούς επιτροπής για την αξιολόγηση της παραπάνω εργασίας.

Περιεχόμενα

1.	Περίληψη	1
2.	Εισαγωγή	2
3.	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
3.1	Οι λειτουργίες και η ποιότητα του εδάφους	5
3.2	Οι απειλές για το έδαφος και οι δείκτες ποιότητας	6
3.3	Ο οργανικός Άνθρακας και η Οργανική Υλη του εδάφους	10
3.4	Η συσσωμάτωση και οι παράγοντες που την επηρεάζουν	13
3.4.1	Οργανική ύλη	14
3.4.2	Ανόργανοι συνδετικοί παράγοντες	14
3.4.3	Μύκητες	16
3.4.4	Ρίζες των φυτών	16
3.4.5	Μικροπανίδα του εδάφους	17
3.4.6	Περιβαλλοντικοί παράμετροι	18
3.5	Ο τρόπος σχηματισμού των συσσωματωμάτων και ο κύκλος ζωής τους	19
4.	Λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	23
5.	Μεθοδολογία	26
5.1	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ	26
5.2	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ	26
5.3	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	28
5.3.1	<i>Principal component analysis (PCA)</i>	28
5.3.2	<i>Multiple Regression Analysis (MRA)</i>	28
6.	Αποτελέσματα	29
6.1	Επιλογή Εδαφών Δειγματοληψίας	29
6.2	Πρωταρχικοί παράμετροι που ελέγχουν τη συσσωμάτωση στα εδάφη του ποταμού Κοιλιάρη ...	35
7.	Συμπεράσματα	56
8.	Βιβλιογραφία	58

Περιεχόμενα Πινάκων

<i>Πίνακας 3.1 Περίληψη των δεικτών της υγείας του εδάφους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των λειτουργιών του εδάφους (Kinyangi, 2007).</i>	8
<i>Πίνακας 3.2 Φυσικός, Χημικός και Βιολογικός Χαρακτηρισμός του Εδάφους όπως προτείνεται από τους Dorul και Parkin (1994) σαν βασικοί δείκτες για την ποιότητα του εδάφους [δικτυακός τόπος 4].</i>	9
<i>Πίνακας 6.1 Κατηγορίες γεωλογικού υποστρώματος.</i>	30
<i>Πίνακας 6.2 Περιγραφή των κατηγοριών χρήσεων γης, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων CLC 2000 και για τις κατηγορίες εδαφοκάλυψης.</i>	32
<i>Πίνακας 6.3: Οι βασικοί τύποι χαρτογράφησης της τυπολογίας του εδάφους για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (90% κάλυψη της περιοχής) με βάση το σχεδιασμό της δειγματοληψίας.</i>	34
<i>Πίνακας 6.4 Συντελεστής συσχέτισης (Pearson) και το επίπεδο σημαντικότητας (P-Value) της παραμέτρου WSA-250 με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Δίδεται ακόμα ο συντελεστής συσχέτισης για της παραμέτρους που έχουν σημαντική συσχέτιση.</i>	36
<i>Πίνακας 6.5 Συντελεστές Συσχέτισης των 15 εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών</i>	38
<i>Πίνακας 6.6 Ιδιοτιμή, Αναλογική και Συσσωρευτική συνησφορά των συνηστωσών για την PCA.</i>	39
<i>Πίνακας 6.7 Τα τρία βασικά συστατικά στην PCA.</i>	40
<i>Πίνακας 6.8 Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση, Ελάχιστες και Μέγιστες τιμές των εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση PCA των δύο ομάδων όπως υποδεικνύονται από πρώτο συστατικό.</i>	44
<i>Πίνακας 6.9 Οι τιμές για τις παραμέτρους του εδάφους όπως υποδεικνύονται από τις δύο ομάδες εδάφους.</i>	45
<i>Πίνακας 6.10 Στατιστικά στοιχεία της πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης όλων των δειγμάτων και της κάθε ομάδας ξεχωριστά.</i>	49
<i>Πίνακας 6.11 Εξισώσεις που προέκυψαν από την πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης όλων των δειγμάτων και της κάθε ομάδας ξεχωριστά.</i>	50
<i>Πίνακας 6.12 Οι εξισώσεις που επιλέχθηκαν ότι δίνουν την καλύτερη προσαρμογή για την πρόβλεψη των WSA-250 για κάθε ομάδα ξεχωριστά.</i>	53

Περιεχόμενα Σχημάτων – Διαγραμμάτων

Σχήμα 3.1 Η κρίσιμη ζώνη του εδάφους (Anderson, 2004)	5
Σχήμα 3.2 Σχέση μεταξύ των οδηγών που αλλάζουν το οικοσύστημα του εδάφους (4 ^ο οδηγός είναι η γονιμότητα) σε σχέση με τις λειτουργίες και τις απειλές του εδάφους (Nikolaïdis, 2011).	7
Σχήμα 3.3 Τρόπος σχηματισμού συσσωματωμάτων (Jastrow, 2007).	21
Σχήμα 3.4 Απεικόνιση Λεκάνης Απορροής ποταμού Κουλιάρη.	24
Σχήμα 6.1 Χαρτογράφηση ταξινόμησης των υψομετρικών ζωνών (ψηφιακά δεδομένα από τη βάση δεδομένων της Περιφέρειας Κρήτης. Τα αντίστοιχα στοιχεία περιέχονται στα τοπογραφικά διαγράμματα (1:50000 κλίμακα) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού)	29
Σχήμα 6.2 Ταξινόμηση κατηγοριών γεωλογικών σχηματισμών (ψηφιακά δεδομένα από τη βάση δεδομένων της Περιφέρειας Κρήτης. Τα αντίστοιχα στοιχεία προκύπτουν από τους χάρτες (κλίμακα 1:50000) του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (IGME)).	31
Σχήμα 6.3 Ταξινόμηση κατηγοριών χρήσεων γης (ψηφιακά σύνολα δεδομένων από τη CLC 2000 (Corine Land Cover 2000) βάση δεδομένων η οποία είναι διαθέσιμη από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος).	33
Σχήμα 6.4 Τυπολογία χαρτογράφησης των εδαφών για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κουλιάρη (εξαιρούνται περιοχές σε λευκό χρώμα), πόλεις, δρόμους, παρόχθιες και παραποτάμιας.	35
Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα φόρτισης πρώτου-δεύτερου συστατικού στην PCA.	41
Διάγραμμα 6.2 Αθροιστικό διάγραμμα πρώτου-δεύτερου συστατικού στην PCA.	41
Διάγραμμα 6.3 Διάγραμμα φόρτισης πρώτου-τρίτου συστατικού στην PCA.	42
Διάγραμμα 6.4 Αθροιστικό διάγραμμα πρώτο-τρίτου συστατικού στην PCA.	42
Διάγραμμα 6.5 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης των δειγμάτων της Ομάδας-1 και της Ομάδας-2 για 11 παραμέτρους.	54
Διάγραμμα 6.6 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης για την Ομάδα-2 για 11 παραμέτρους.	54
Διάγραμμα 6.7 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης για την Ομάδα-1 για 6 παραμέτρους.	55

1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει σκοπό την εκτίμηση της κατάστασης των εδαφών στη Λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, η οποία συμπεριλαμβάνεται στα διεθνή παρατηρητήρια της κρίσιμης ζώνης του εδάφους. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε εκτενής δειγματοληψία στη λεκάνη σύμφωνα με την τυπολογία που πρόεκυψε από τις υψομετρικές ζώνες, το γεωλογικό υπόβαθρο και τις χρήσεις γης με τη χρήση των αντίστοιχων θεματικών χαρτών GIS. Συνολικά συλλέχθηκαν 29 δείγματα εδάφους τα οποία αντιπροσωπεύουν το 85% της λεκάνης. Πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον καθορισμό των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την συσσωμάτωση των εδαφών. Για την πραγματοποίηση της μελέτης τα δείγματα εδάφους ελέχθησαν για περισσότερες από 30 παραμέτρους οι οποίες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σχετίζονται με τη συσσωμάτωση των εδαφών. Τα μακρο-συσσωματώματα του εδάφους επιλέχθηκαν ως ο πιο αντιπροσωπευτικός δείκτης της δομής του εδάφους. Με ανάλυση κύριων συνιστωσών (Principal Component Analysis) διερευνήθηκαν και αναδείχθηκαν οι κύριοι εδαφικοί τύποι που συναντώνται στη λεκάνη. Προέκυψε ότι στη λεκάνη υπάρχουν δύο βασικές ομάδες εδαφών οι οποίες μπορούν να περιγραφούν επαρκώς με 15 εδαφικές παραμέτρους. Τα εδάφη της πρώτης ομάδας προέρχονταν κυρίως από περιοχές όπου το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελούνταν από σχιστόλιθους και μάργες με αδρομερή υφή και όξινο pH και σε υψόμετρο μικρότερο από 550 m. Τα εδάφη της δεύτερης ομάδας προέρχονταν από την αλλουβιακή πεδιάδα και από περιοχές με ασβεστομάργες και μάργες με αλκαλικό pH και από ημιορεινές περιοχές με ασβεστόλιθους Τρυπαλίου. Ακολούθησε πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης (Multiple regression analysis) κατά την οποία αναπτύχθηκαν εξισώσεις για την περιγραφή και πρόβλεψη των μακρο-συσσωματωμάτων στους κύριους εδαφικούς τύπους. Το ποσοστό των μακρο-συσσωματωμάτων στο έδαφος σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης περιγράφεται από 6 παραμέτρους στην πρώτη ομάδα εδαφών και από 11 παραμέτρους στη δεύτερη ομάδα.

2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού τα τελευταία χρόνια είχε σαν αποτέλεσμα την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σε τρόφιμα και την ανάγκη για μεγιστοποίηση των γεωργικών αποδόσεων. Παράλληλα, η ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο οδήγησε στην εντατικοποίηση της γεωργίας. Από την πράσινη επανάσταση στις αρχές της δεκαετίας του 1950, η εντατική γεωργία σε όλο τον κόσμο έχει οδηγήσει σε σοβαρή υποβάθμιση μεγάλου ποσοστού της γεωργικής γης και των υδατικών πόρων. Η υποβάθμιση της ποιότητας των εδαφών θα παραμείνει ψηλά στη διεθνή ατζέντα και στις αρχές του 21ου αιώνα καθώς επηρεάζει τη γεωργική παραγωγή και το περιβάλλον και επιδρά στην ασφάλεια των τροφίμων και την ποιότητα ζωής των ανθρώπων [δικτυακός τόπος 1]. Στη σημερινή εποχή μείζον ζήτημα στη διεθνή πολιτική σκηνή είναι το θέμα της επισιτιστικής επάρκειας και ασφάλειας (πως δηλαδή όλοι οι άνθρωποι, ανά πάσα στιγμή, να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε επαρκή, ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα για να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες και τις προτιμήσεις στη διατροφή τους για μια υγιεινή και ενεργό ζωή). Η παραγωγή τροφίμων πρέπει να διπλασιαστεί έως το 2050 για να ανταποκριθεί στη ζήτηση του αυξανόμενου παγκόσμιου πληθυσμού. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να αναπτυχθούν καινοτόμες στρατηγικές για την καταπολέμηση της πείνας, η οποία επηρεάζει ήδη περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο ανθρώπους ανά τον κόσμο [δικτυακός τόπος 2].

Όλη η ζωή στη Γη υποστηρίζεται από το εύθραυστο εκείνο σημείο του πλανήτη που ορίζεται μεταξύ του υψηλότερου σημείου της βλάστησης και του χαμηλότερου ορίου των υπόγειων υδάτων. Αυτό το σημείο ορίζεται ως η κρίσιμη ζώνη του εδάφους (Critical Zone, CZ) λόγω του ουσιαστικού του ρόλου τόσο στα φυσικά οικοσυστήματα όσο και στα διαχειριζόμενα. Η κρίσιμη ζώνη του εδάφους (CZ) είναι ένα σύνθετο μείγμα σε διαρκή αλληλεπίδραση αποτελούμενο από αέρα, νερό, βιοτικούς παράγοντες, οργανική ύλη και ανόργανη. Σε όλη αυτή την κρίσιμη ζώνη χημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται είτε αβιοτικά είτε μέσω κατάλυσης από διάφορους οργανισμούς, παρέχοντας θρεπτικά

συστατικά και ενέργεια για τη διατήρηση των χερσαίων οικοσυστημάτων (Brantley et al., 2007). Η Ευρωπαϊκή Ένωση στην προσπάθεια της να αναπτύξει μια πολιτική ελέγχου σχετικά με τους παράγοντες που απειλούν το έδαφος και τους τρόπους προστασίας του εδάφους έχει δώσει προτεραιότητα στη νέα έρευνα για την αντιμετώπιση των παγκόσμιων απειλών του εδάφους. Για την επίτευξη αυτού του στόχου η έρευνα βασίζεται στη δημιουργία ένας διεθνούς δικτύου παρατηρητηρίων της κρίσιμης ζώνης του εδάφους (Critical Zone Observatories, CZOs) στα οποία θα εστιάσει μια διεπιστημονική επιτροπή από εμπειρογνώμονες εξειδικευμένους σε συγκεκριμένους επιστημονικούς τομείς. Οι ειδικοί στόχοι είναι:

- Να περιγραφεί από την αρχή η επίδραση τη δομής του εδάφους στις λειτουργίες του εδάφους και τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εδαφικό προφίλ.
- Να καθιερωθούν 4 παρατηρητήρια της κρίσιμης ζώνης στην ΕΕ για τη μελέτη των διεργασιών του εδάφους σε επίπεδο αγρού.
- Ανάπτυξη ένας ολοκληρωμένου μοντέλου για την περιγραφή των διεργασιών και των λειτουργιών του εδάφους στην Κρίσιμη Ζώνη.
- Δημιουργία μιας βάσης δεδομένων GIS στα πλαίσια μοντελοποίησης για την οριοθέτηση των εδαφικών απειλών και την εκτίμηση μετριασμού τους σε επίπεδο ΕΕ.
- Ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων στις αλλαγές των χρήσεων γης, του κλίματος και της βιοποικιλότητας στις λειτουργίες του εδάφους και από οικονομικής πλευράς.
- Δημιουργία με διεθνείς εταίρους ένα παγκόσμιο δίκτυο παρατηρητηρίων της Κρίσιμη Ζώνη για την έρευνα του εδάφους.
- Να υλοποιήσει ένα πρόγραμμα ευαισθητοποίησης του κοινού και τη μεταφορά της έρευνας για τη βιωσιμότητα του εδάφους.

Τα παρατηρητήρια της κρίσιμης ζώνης επιλέχθηκαν ως μέρος ενός πειραματικού σχεδιασμού για τη μελέτη των διαδικασιών που συμβαίνουν στο έδαφος και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, σύμφωνα με έναν υποτιθέμενο κύκλο ζωής των εδαφών (soil life cycle), ξεκινώντας από την εδαφογένεση και την εναπόθεση νέου μητρικού υλικού, και φτάνοντας σε πολύ υποβαθμισμένα εδάφη που έχουν υποστεί χιλιετίες εντατικής χρήσης. Η επιστημονική μεθοδολογία για αυτή την έρευνα επικεντρώνεται στον κεντρικό ρόλο της δομής του εδάφους, το σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων και τις διεργασίες του εδάφους. Οι ερευνητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν λεπτομερή ανάλυση και μαθηματική μοντελοποίηση των ιδιοτήτων του εδάφους που είναι συσχετιζόμενες με το σχηματισμό συσσωματωμάτων και τη σχέση που έχουν αυτά με τις βασικές διεργασίες που συμβαίνουν στο έδαφος όπως η ενεργός μεταφορά χημικών στοιχείων, ο μετασχηματισμός των θρεπτικών, ο C και το δυναμικό σύστημα μεταξύ παραγωγής τροφίμων και εδαφικού οικοσυστήματος. Ο ποταμός Κοιλιάρης και κατ' επέκταση η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη ανήκουν στα CZOs (Banwart, 2011). Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη συγκαταλέγεται στα παρατηρητήρια της κρίσιμης ζώνης του εδάφους (Critical Zone Observatories, CZOs) και είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα σοβαρά υποβαθμισμένων εδαφών, λόγω των επιπτώσεων από την εντατική αγροτική εκμετάλλευση της περιοχής, όπως η βόσκηση, για σειρά ετών. Τα εδάφη της περιοχής είναι χαρακτηριστικό δείγμα μεσογειακών εδαφών που βρίσκονται υπό την άμεση απειλή της ερημοποίησης (απώλεια οργανικού άνθρακα), λόγω της αλλαγής του κλίματος, η οποία προβλέπεται από τις IPCC προβλέψεις του ΟΗΕ για την περιοχή στη διάρκεια του επόμενου αιώνα [δικτυακός τόπος 3].

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η διερεύνηση και η κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα εδάφη της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη και η εκτίμηση της ποιοτικής κατάστασής τους. Έμφαση δόθηκε στην εύρεση των κυριότερων φυσικών και χημικών ιδιοτήτων που επηρεάζουν τη δομή και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και η εύρεση της μαθηματικής συσχέτισής τους.

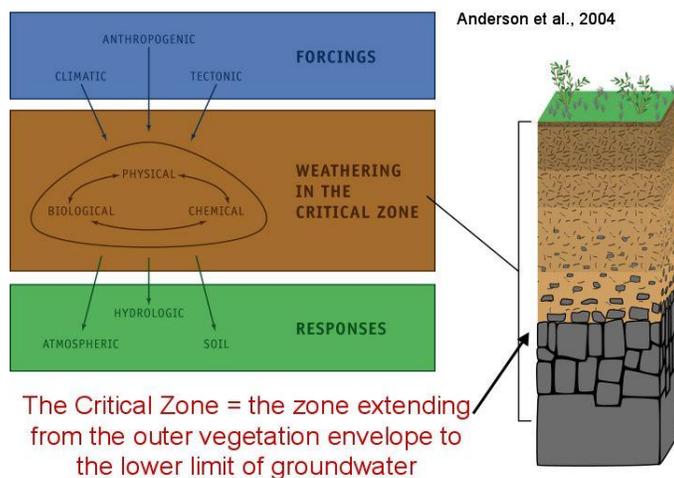
3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος ορίζεται ως το επιφανειακό στρώμα του φλοιού της γης, μεταξύ του υποστρώματος (πέτρωμα), και της κορυφής των δέντρων (Σχήμα 3.1) Το έδαφος είναι ένα από τα πιο σημαντικά τμήματα του φυσικού περιβάλλοντος και σε μεγάλο βαθμό μη ανανεώσιμο. Το έδαφος ως φυσικός πόρος εκτελεί μια σειρά από καθοριστικές περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές λειτουργίες (Blum,2005).

Λειτουργίες του εδάφους:

- 1) παραγωγή τροφίμων και βιομάζας
- 2) αποθήκευση, διήθηση, μετασχηματισμός ανόργανων και οργανικών συστατικών, μεταξύ των οποίων το νερό και ο άνθρακας
- 3) διατήρηση βιοποικιλότητας και εξασφάλιση οικολογικού ενδιαίτηματος για διάφορους οργανισμούς
- 4) πηγή πρώτων υλών
- 5) διασφάλιση φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος



Σχήμα 3.1 Η κρίσιμη ζώνη του εδάφους (Anderson,2004)

Ως ποιότητα εδάφους σύμφωνα με την Soil Science Society of America Ad Hoc Committee on Soil Quality (S-581) ορίζεται «*Η ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί εντός φυσικών ή διαχειριζομένων οικοσυστημάτων, ώστε να διατηρεί τη φυτική και ζωική παραγωγικότητα του, να συντηρεί και να ενισχύει την ποιότητα του νερού και του αέρα, και να υποστηρίζει την ανθρώπινη υγεία και κατοίκηση*» σύμφωνα με τον Karlen [δικτυακός τόπος 8]. Η συζήτηση για την ποιότητα του εδάφους εστιάζει στα δυναμικά χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζονται από τις διαχειριστικές πρακτικές. Δυναμικά χαρακτηριστικά είναι αυτά που αλλάζουν σε χρόνους ανθρώπινης ζωής, όπως η βιολογική δραστηριότητα τα δομικά χαρακτηριστικά, η κίνηση των θρεπτικών και του νερού. Τα εγγενή χαρακτηριστικά είναι αυτά που αλλάζουν σε γεωλογικούς χρόνους όπως, η υφή, η κλίση του εδάφους η ορυκτολογική σύσταση και το βάθος. Η ποιότητα του εδάφους επηρεάζει την βιωσιμότητα και την παραγωγικότητα των εκάστοτε χρησιμοποιούμενων εκτάσεων. Για τη βελτιστοποίηση των δυνατοτήτων του εδάφους απαιτείτε να υπάρχει μια κατάσταση ισορροπίας μεταξύ της χρήσης των λειτουργιών του εδάφους για αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας του περιβάλλοντος και της υγείας των ζώων και των φυτών που ζουν σε αυτό. (Doran,2002)

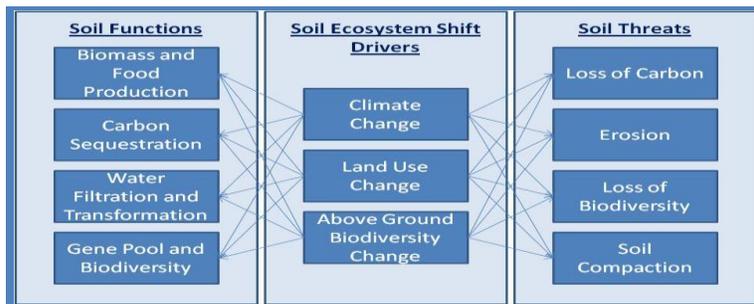
3.2 ΟΙ ΑΠΕΙΛΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

Οι άνθρωποι στη διάρκεια της ιστορίας δεν έχουν καταφέρει να ενσωματωθούν στο οικοσύστημα του εδάφους, αλλά εξαρτώνται άμεσα από αυτό μέσω των υπηρεσιών που τους παρέχει για την επιβίωση τους. (Nikolaidis, 2011). Η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζει τις λειτουργίες του οικοσυστήματος του εδάφους με αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις να προκαλείτε η κατάρρευση του. Η κατανόηση της ποιότητας του εδάφους σημαίνει να κατανοούμε και να διαχειριζόμαστε το έδαφος κατά τέτοιον τρόπο έτσι ώστε να λειτουργεί βέλτιστα σήμερα αλλά και ταυτόχρονα να μην υπάρχει κίνδυνος να υποβαθμιστεί, ώστε να μην τίθεται σε κίνδυνο η μελλοντική του χρήση (Lewandowski et al., 1999).

Οι κυριότερες απειλές για το έδαφος από την ανθρωπογενή δραστηριότητα είναι (Banwart et al., 2011):

1. η έκπλυση των θρεπτικών συστατικών του
2. τοξικότητα από οξέα και μέταλλα
3. η διάβρωση του εδάφους
4. η συμπίεση του εδάφους
5. η μείωση της βιοποικιλότητας λόγω των μονοκαλλιεργειών
6. οι απώλειες σε οργανική ουσία λόγω της αύξησης των εκροών οργανικού άνθρακα
7. η μόλυνση μέσω της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης

Οι μεταβολές στο οικοσύστημα του εδάφους που έχουν μακροχρόνιες συνέπειες τόσο στο τοπίο όσο και στη βιοτική και αβιοτική δομή του εδάφους, μπορεί να συμβούν λόγω των κλιματικών αλλαγών, των αλλαγών στις χρήσεις γης, τη μετατροπή γης με φυσική βλάστηση σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις, τη λίπανση, τη μείωση της υπέργειας βιοποικιλότητας λόγω των καλλιεργητικών πρακτικών καθώς και από την υπερβόσκηση. (Nikolaidis, 2011) (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Σχέση μεταξύ των οδηγών που αλλάζουν το οικοσύστημα του εδάφους (4^{ος} οδηγός είναι η γονιμότητα) σε σχέση με τις λειτουργίες και τις απειλές του εδάφους (Nikolaidis, 2011).

Οι δείκτες ποιότητας του εδάφους μπορεί να είναι φυσικοί, χημικοί ή και βιολογικοί (Πίνακας 3.1). Η επιστημονική κοινότητα έχει εξετάσει διάφορους παράγοντες που υποδεικνύουν την ποιότητα του εδάφους και έχουν προταθεί αρκετοί δείκτες ποιότητας του εδάφους, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες απαιτήσεις για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση των εδαφών σε όλο τον κόσμο (Πίνακας 3.2).

Πίνακας 3.1 Περίληψη των δεικτών της υγείας του εδάφους που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των λειτουργιών του εδάφους (Kinyangi, 2007).

Δείκτες	Λειτουργίες του εδάφους
<p>Οργανική Ύλη του Εδάφους</p>	<p>Δομή, Σταθερότητα Συγκράτηση Θρεπτικών Διάβρωση (Carlen,2002)</p>
<p>Φυσικοί: Σταθερότητα συσσωματωμάτων Διήθηση Φαινόμενη πυκνότητα</p>	<p>Συγκράτηση και Κίνηση Θρεπτικών και Νερού Ενδιαίτημα για την μάκρο και μικρο Πανίδα (Bengtsson, 1998) (Swift et al., 2004)</p>
<p>Χημικοί: pH Εκχλίσιμα θρεπτικά (N-P-K) Κατιόντα (Ca-Mg-K)</p>	<p>Όρια Βιολογικής και Χημικής Δραστηριότητας Διαθέσιμα Θρεπτικά Δυναμικό N & P Απώλεια Ca-Mg-K (Doran & Jones, 1996a) (Drinkwater et al., 1996)</p>
<p>Βιολογικοί: Μικροβιακή Βιομάζα C & N Δυναμικό Ανοργανοποιησίμου Αζώτου (PMN)</p>	<p>Μικροβιακό Δυναμικό Κατάλυσης και Εναπόθεσης C & N Παραγωγικότητα Εδάφους Δυναμικό Ανεφοδιασμού σε N (Cadisch & Giller, 1997) (Doran & Jones, 1996b)</p>

Πίνακας 3.2 Φυσικός, Χημικός και Βιολογικός Χαρακτηρισμός του Εδάφους όπως προτείνεται από τους Dogul και Parkin (1994) σαν βασικοί δείκτες για την ποιότητα του εδάφους [δικτυακός τόπος 4].

Χαρακτηριστικά Εδάφους	Σχέση με την Κατάσταση του Εδάφους ή τις Λειτουργίες του	Αιτιολόγηση Επιλογής σαν Προτεραιότητα στις Μετρήσεις
<p>Δομή του Εδάφους</p> <p>Εδαφικό Προφίλ, Επιφανειακό Έδαφος, Βάθος Ριζόσφαιρας</p> <p>Φαινόμενη πυκνότητα, Διήθηση Νερού</p> <p>Ικανότητα Συγκράτησης Νερού</p>	<p><u>ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u></p> <p>Συγκράτησης και Μεταφορά Νερού και Θρεπτικών</p> <p>Εκτίμηση Παραγωγικότητας και Διαβρωσιμότητας</p> <p>Εκτίμηση Έκπλυσης, Παραγωγικότητας και Διαβρωσιμότητας</p> <p>Συγκράτηση Νερού, Μεταφορά και Διαβρωσιμότητας</p>	<p>Μοντελοποίηση Διαδικασιών Διάβρωσης και Εκτίμηση Παραγωγικότητας</p> <p>Ομαλοποίηση Γεωγραφικών Μεταβλητών και Γεωγραφικού Ανάγλυφου</p> <p>Φυσικά Χαρακτηριστικά και Προσαρμογή των Μετρήσεων σε Ογκομετρική Βάση</p> <p>Διαθέσιμο Νερό για τα Φυτά και τη Μικροβιακή Δραστηριότητα</p>
<p>Ολικός Οργανικός Άνθρακας και Άζωτο</p> <p>pH</p> <p>Ηλεκτρική Αγωγιμότητα</p> <p>Εκχλύσιμο (N-P-K)</p>	<p><u>ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u></p> <p>Κατάσταση Γονιμότητας, Σταθερότητας και Διάβρωσης</p> <p>Κατώτατα Όρια Βιολογικής και Χημικής Δραστηριότητας</p> <p>Κατώτατα Όρια Φυτικής και Μικροβιακής Δραστηριότητας</p> <p>Ενδεχόμενη Απώλεια N και Διαθέσιμων στα Φυτά Θρεπτικών</p>	<p>Διαδικασίες Μοντελοποίησης και Κανονικοποίησης των Χαρακτηριστικών της περιοχής</p> <p>Διαδικασίες Μοντελοποίησης</p> <p>Δείκτες Ποιότητας για την Παραγωγικότητα και το Περιβάλλον</p>
<p>Μικροβιακή Βιομάζα C-N</p> <p>Ανοργανοποιήσιμου Αζώτου (PMN)</p> <p>Αναπνοή Εδάφους, Νερό</p>	<p><u>ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</u></p> <p>Μικροβιακό Δυναμικό Κατάλυσης και Εναπόθεσης C & N</p> <p>Παραγωγικότητα Εδάφους, Δυναμικό Ανεφοδιασμού σε N</p> <p>Μικροβιακή και μερικές φορές Φυτική Περιεκτικότητα και Δραστηριότητα</p>	<p>Διαδικασίες Μοντελοποίησης, Πρώτοι Δείκτες Αναγνώρισης Λανθασμένων Διαχειριστικών Πρακτικών που επηρεάζουν την περιεκτικότητα σε Οργανική Ύλη</p> <p>Διαδικασίες Μοντελοποίησης, Αντιπροσωπευτικοί Δείκτες Μικροβιακής Βιομάζας</p> <p>Διαδικασίες Μοντελοποίησης, Εκτίμησης Μικροβιακής Δραστηριότητας</p>

Υπάρχουν πολλά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν γίνετε η επιλογή των καταλληλότερων δεικτών για τον έλεγχο της ποιότητας του εδάφους. Συνοψίζοντας οι κυριότεροι είναι: (Kinyangi, 2007) (Lewandowski et al., 1999)

- 1) να είναι εύκολα προσβάσιμοι και οικονομικοί.
- 2) να είναι ταυτόχρονα ευαίσθητοι σε αλλαγές λόγω των διαχειριστικών πρακτικών, αλλά σταθεροί σε ανεξάρτητες από τη διαχείριση αλλαγές όπως ο καιρός.
- 3) να μπορούν να μετρούν και να δείχνουν αλλαγές στις λειτουργίες του συστήματος τόσο στο σχεδιασμό-εργαστήριο όσο και στον αγρό (πεδίο).
- 4) να υπάρχουν πάντα στον αγρό ή στην περιοχή και να ανταποκρίνονται στη χρονική και χωρική διακύμανση στις λειτουργίες των οικοσυστημάτων ώστε να μπορούν να ληφθούν διαχειριστικές αποφάσεις.
- 5) να μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αυτούς πολλοί αγρότες,
- 6) να είναι ευαίσθητοι στη διακύμανση εντός τις κάθε αγρο-οικολογικής ζώνης.
- 7) να είναι αντιπροσωπευτικοί των φυσικών, βιολογικών ή χημικών παραμέτρων του εδάφους.
- 8) να μπορούν να αξιολογούνται ποιοτικά και ποσοτικά.

Σύμφωνα με τον Reeves (1997) ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (Soil Organic Carbon, SOC) είναι το πιο σταθερά αναφερόμενο χαρακτηριστικό σε μακροχρόνιες μελέτες για το έδαφος όπου θεωρείτε ο θεμέλιος λίθος για τους δείκτες ποιότητας καθώς είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τους φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες ποιότητας του εδάφους.

3.3 Ο ΟΡΓΑΝΙΚΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ ΚΑΙ Η ΟΡΓΑΝΙΚΗ ΥΛΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το σύνολο σχεδόν του άνθρακα εισέρχεται στο βιοτικό τμήμα των οικοσυστημάτων μέσω της άμεσης πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα από τα φυτά. Το διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται και χρησιμοποιείται από τα φυτά για την παρασκευή διάφορων χημικών

ενώσεων που τις χρησιμοποιούν είτε σαν δομικά συστατικά ή τις χρησιμοποιούν για την αναπνοή και το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχουν απελευθερώνετε πάλι πίσω στην ατμόσφαιρα. Οι ενώσεις που συναντώνται στους ιστούς των φυτών κυρίως είναι η κυτταρίνη (35-45%), η λιγνίνη, η ημικυτταρίνη, τα λιπίδια οι πρωτεΐνες, τα σάκχαρα και το άμυλο. Η μισή περίπου ποσότητα του άνθρακα που έχει αφομοιωθεί από τα φυτά καταλήγει τελικά στο έδαφος με τη μορφή αποσυντιθέμενης οργανικής ύλης. Η αποδόμηση των υπολειμμάτων είναι η κύρια δίοδος της απελευθέρωσης άνθρακα στα εδάφη. Αν και το 55-75% του C των φυτικών υπολειμμάτων ελευθερώνετε στην ατμόσφαιρα ως CO₂ μετά από ένα χρόνο.

Η Οργανική Ύλη του εδάφους που βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους υποβάλλεται σε συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών, ονομάζετε αλλιώς και χούμος, δημιουργείται από τα φυτικά υπολείμματα φύλλα, κλαδιά, ρίζες καθώς και από τα εκκρίματα και υπολείμματα των ζωικών οργανισμών, η αποσύνθεση των υπολειμμάτων αυτών γίνεται μέσω διάφορων μικροοργανισμών και βακτηρίων που βρίσκονται στο έδαφος. Ο χούμος αποτελεί συνήθως ένα λεπτό μαύρο στρώμα με κολλοειδή υφή. Δυο είναι οι κύριες διεργασίες στις οποίες μετέχει η Οργανική Ύλη, η διάσπαση της αρχικής οργανικής ουσίας σε ανόργανα συστατικά (ορυκτογένεση), και η σύνθεση νέων πολύπλοκων οργανικών ενώσεων (χουμοποίηση). Η Οργανική Ύλη του Εδάφους (Soil Organic Matter, SOM) και ειδικότερα ο Οργανικός Άνθρακας του Εδάφους (Soil Organic Carbon, SOC) είναι γνωστό ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατήρηση καθώς και στη βελτίωση πολλών ιδιοτήτων του εδάφους. Σύμφωνα με τους Baldock and Skjemstad, 1999 η Οργανική Ύλη του Εδάφους ορίζετε ως «όλα τα οργανικά υλικά που βρίσκονται στο έδαφος ανεξάρτητα από το που προέρχονται ή το βαθμό αποσύνθεσής τους» και περιλαμβάνει τα στοιχεία C, H, O, N, P και S. Η οργανική ουσία του εδάφους συσσωρεύεται στο έδαφος ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τη βλάστηση, το κλίμα και το σύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών. Η περιεκτικότητα της μεταβάλετε από έδαφος σε έδαφος από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να κυμαίνεται από 0,80% έως 98,0%. Εδάφη με οργανική ουσία <20% χαρακτηρίζονται ως ανόργανα

ενώ με περιεκτικότητα από 20% έως 80% θεωρούνται ως οργανικά (Κουκουλάκης Π., Σιμώνης Α., Γκέρτσος Α., 2000).

Σύμφωνα με το FAO (2005) μερικές από τις πιο σημαντικές λειτουργίες της οργανικής ύλης του εδάφους είναι ότι [δικτυακός τόπος 5]:

1. συμβάλλει στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους, καθώς συγκρατεί τα κατιόντα και τα θρεπτικά συστατικά σε οργανικές μορφές στο έδαφος με αποτέλεσμα οι απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για την ανάπτυξη των φυτών να απελευθερώνονται σταδιακά.
2. δεσμεύει τα σωματίδια του εδάφους μαζί με αποτέλεσμα τη δημιουργία συσσωματωμάτων που βελτιώνουν την δομή του εδάφους και τον αερισμό του.
3. λειτουργεί ως ένα σφουγγάρι στο έδαφος, διατηρώντας την υγρασία του εδάφους, τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη μπορούν να συγκρατήσουν περισσότερο νερό από ό, τι εκείνα με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη.
4. παρέχει τροφή για τους μικροοργανισμούς που ζουν στο έδαφος.

Η ροή του άνθρακα μέσω της οργανικής ύλης του εδάφους είναι ζωτικής σημασίας για τη λειτουργία των χερσαίων οικοσυστημάτων σε πολλά εδάφη. Το κλειδί για τη μεγιστοποίηση της δέσμευσης του άνθρακα είναι ο σχηματισμός και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων [δικτυακός τόπος 6]. Η δημιουργία συσσωματωμάτων παρέχει μια φυσική ασπίδα προστασίας του οργανικού άνθρακα από τους διάφορους παράγοντες που συντελούν στη διάσπαση και αποικοδόμηση του. Τα συσσωματώματα που παραμένουν σταθερά κατά τη διέλευση του νερού (water stable aggregates, WSA) έχουν αναγνωριστεί ως ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της ποιότητας του εδάφους και είναι ευαίσθητα στις αγροτικές πρακτικές, σχετίζονται δε άμεσα με τη διάβρωση του εδάφους, τη δυναμική του άνθρακα και τη μεταφορά των χημικών στοιχείων (Kyung-Hwa Han et al., 2010)

3.4 Η ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΗΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Τα συσσωματώματα του εδάφους είναι η βασική δομική μονάδα του εδάφους. Οι δομές αυτές αποτελούνται από συνενωμένους κόκκους εδάφους (άμμος, άργιλο και ιλύς) που συγκρατούνται μεταξύ τους από ενυδατωμένα ορυκτά της αργίλου, οργανικό υλικό, οργανικές ενώσεις, μύκητες και βακτήρια καθώς και από υφές μυκήτων. Τα κενά μεταξύ των συσσωματωμάτων αποτελούν τους πόρους του εδάφους και είναι ο χώρος στον οποίο συγκρατούνται και ανταλλάσσονται το νερό, ο αέρας, τα μικρόβια, τα θρεπτικά συστατικά και η οργανική ύλη του εδάφους. Η οργανική υλη του εδάφους είναι αυτή που έχει σχετιστεί περισσότερο με το σχηματισμό συσσωματωμάτων. Τα συσσωματώματα παρέχουν μια φυσική προστασία από τις διαδικασίες αποσύνθεσης τις οργανικής ύλη του εδάφους και του αζώτου ενσωματώνοντάς τα μέσα τους με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τους κύκλους επαναφοράς του άνθρακα και του αζώτου στο έδαφος. Οι διαδικασίες αποσύνθεσης είναι περιορισμένες εντός της δομής των συσσωματωμάτων εξαιτίας της διαθεσιμότητας του νερού και του οξυγόνου και λόγω της ενζυμικής προσβασιμότητας καθώς τα βακτήρια, τα πρωτόζωα και οι νηματώδεις για να περάσουν χρειάζονται πόρους > 3 μm, > 5 μm, > 30 μm, αντίστοιχα (Jastrow et al., 2007). Πολλοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων στο έδαφος, όπως τα αρχικά σωματίδια (ιλύς-άργιλος-άμμος) και η φόρτιση των επιφανειών τους, η οργανική ύλη που είναι διαθέσιμη για αποσύνθεση (με υδρόφοβο χαρακτήρα, που προσκολλάτε στις επιφάνειες), τα βακτήρια τα οποία χρησιμοποιούν την οργανική ύλη και παράγουν εκκρίματα τα οποία καταλύουν τη διάσπαση και τη μετατροπή της οργανικής ύλης, οι ρίζες των φυτών (που παράγουν επίσης εκκρίσεις), η διαθεσιμότητα του νερού στο σύστημα, οι μύκητες και η μικρό πανίδα του εδάφους (ασπόνδυλα, σκουλήκια, τερμίτες κ.λπ.) (Nikolaidis and Bidoglio, 2010).

3.4.1 Οργανική ύλη

Οι Biossannais et al, το 1997 παρατήρησαν ότι η σταθερότητα της δομής του εδάφους και των συσσωματωμάτων μειώνεται καθώς μειώνεται η περιεκτικότητα σε οργανικό άνθρακα. Δύο χρόνια αργότερα, οι Chenu et al.,(1999) υποστηρίζουν αυτή την ιδέα βρίσκοντας ότι η οργανική ύλη του εδάφους αυξάνει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων καθώς συμβάλει στη μείωση της διαβρεκτικότητας και στην αύξηση της εσωτερικής συνοχής των συσσωματωμάτων καθώς η οργανική ύλη που συνδέεται με τα ορυκτά της αργίλου συντελεί στην αύξηση της υδροφοβικότητας των συσσωματωμάτων. Οι Kong et al, το 2004 σε μια μελέτη σε αιθιοπικά συστήματα καλλιέργειας βρήκαν ότι η μακροχρόνια διαχείριση των φυτικών υπολειμμάτων με επιστροφή τους στο έδαφος οδηγεί σε αύξηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων, αύξηση στα επίπεδα του οργανικού άνθρακα (SOC) καθώς επίσης και στη μακροπρόθεσμη δέσμευση του άνθρακα. Και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η δέσμευση του άνθρακα στα μικρο-συσσωματώματα που βρίσκονται μέσα στο κλάσμα των μακρο-συσσωματωμάτων αποτελεί βασικό μηχανισμό και ιδανικό δείκτη της μακροπρόθεσμης δέσμευσης του άνθρακα στο έδαφος των αγροοικοσυστημάτων. Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων και ο κύκλος ζωής τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα και την ποιότητα της οργανικής ύλης και των φυτικών υπολείμματα που προστίθεται στο έδαφος (Abiven et al, 2007), (Abiven et al, 2009).

3.4.2 Ανόργανοι συνδετικοί παράγοντες

Τα οξειδία έχουν αναγνωριστεί ότι είναι πολύ σημαντικά όσον αφορά τη συσσωμάτωση και τη σταθεροποίηση της οργανικής ύλης του εδάφους όντας ο κυρίαρχος παράγοντας δέσμευσης (συνδετική ύλη) σε τροπικά εδάφη (Six et al., 2004). Οι επιδράσεις των οξειδίων και του ασβεστίου σχετίζονται κυρίως με το επίπεδο των μικρο-συσσωματωμάτων αλλά και στις δύο περιπτώσεις επίσης συνδέεται και με τα μακρο-συσσωματώματα μέσω της διέγερσης της μικροβιακής δραστηριότητας σε όξινα εδάφη

στην περίπτωση του ασβεστίου. Η σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων και της οργανικής ύλης του εδάφους επηρεάζεται με τρεις τρόπους από τα οξείδια.

1. Η οργανική ουσία προσροφάτε στις επιφάνειες των οξειδίων
2. Ένας ηλεκτροστατικός δεσμός δημιουργείται μεταξύ των θετικά φορτισμένων οξειδίων και των αρνητικά φορτισμένων ορυκτών της αργίλου
3. Ένα κάλυμμα από οξείδια στην επιφάνεια των ορυκτών δημιουργεί συνδετικές γέφυρες μεταξύ πρωτογενών και δευτερογενών σωματιδίων.

Η τελευταία διαδικασία αναφέρετε σαν αυτή που σχετίζεται περισσότερο με τη μεγαλύτερη σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων σε εδάφη oxisols (πλούσια σε οξείδια) συγκρινόμενα με εδάφη με χαμηλά επίπεδα οξειδίων (Six et al., 2004).

Άλλος ένας παράγοντας που έχει σχετιστεί με τη συσσωμάτωση είναι η περιεκτικότητα σε άργιλο. Οι Douglas and Goss, 1982 αναφέρουν ότι αυξημένη περιεκτικότητα σε άργιλο χρειάζεται υψηλότερα ποσοστά οργανικής ουσίας προκειμένου να διατηρηθεί η σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Οι Virto et al το 2008 στην προσπάθειά τους να αποσαφηνίσουν την επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης του εδάφους και της περιεκτικότητας σε άργιλο στη συσσωμάτωση απέδειξαν ότι η μη συσσωματωμένη άργιλος ήταν λιγότερο εμπλουτισμένη σε οργανικό άνθρακα συγκριτικά με την απομονωμένη άργιλο εντός των συσσωματωμάτων. Αυτό υποστηρίζει την ιδέα ότι η αναλογία 2:1 αργίλου είναι σε θέση να αποθηκεύει περισσότερη οργανική ουσία σχηματίζοντας σταθερά μικρο-συσσωματώματα στο κλάσμα ιλύος ενώ χαλαζίες και καολινίτες βρίσκονται κυρίως στο κλάσμα της αργίλου που δεν είχε σχηματιστεί σε συσσωματώματα. Οι Barré, et al, 2012 διαπιστώνουν ότι τα μικρο-συσσωματώματα έχουν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άργιλο με προτίμηση τη συσσώρευση στη σμεκτική φάση, φάση κατά την οποία τα αργιλικά ορυκτά διογκώνονται όταν έρχονται σε επαφή με το νερό και εμφανίζουν υψηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι αυτή η φάση (σμεκτική) συνέβαλε ιδιαίτερα στη δυναμική των μικρο-συσσωματωμάτων. Ενώ η συμβολή της ήταν μικρότερη στα μακρο-συσσωματώματα όπου η οργανική ύλη είναι κυρίαρχη.

3.4.3 Μύκητες

Ο Rillig το 2004 αναφέρει ότι οι μύκητες arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) παίζουν σημαντικό ρόλο στα αγροοικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένου του ρόλου που έχουν τα εξωτερικά τους μικκύλια στο να προάγουν τη συσσωμάτωση. Η Γλομαλίνη είναι μία γλυκοπρωτεΐνη που παράγεται σε αφθονία στις υφές και τα σπόρια αυτών των μυκήτων-μυκόςριζων στο χώμα και στις ρίζες των φυτών και έχει αποδειχθεί ότι συσχετίζονται με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων. Το 1997 οι Wright και Uradhyaga είχαν αποδείξει ότι η γλομαλίνη σχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με τη συσσωμάτωση και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων κατόπιν υγρής κοσκίνισης σε αποξηραμένα δείγματα, για μεγάλο εύρος εδαφών. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η εύκολα εκχυλίσιμη γλομαλίνη ήταν πιο στενά συσχετισμένη με την σταθερότητα των συσσωματωμάτων συγκριτικά με τη συνολική γλομαλίνη. Οι Helfrich et al. το 2008 διαπίστωσαν ότι το μέγιστο της μακρο-συσσωμάτωσης φαίνεται να παρουσιάζει μια σημαντική καθυστέρηση (28-42 ημέρες) σε εδάφη που έχει γίνει εφαρμογή μυκητοκτόνων συγκριτικά με εδάφη που δεν έχουν υποστεί τέτοια μεταχείριση, υπογραμμίζοντας τη σημασία των μυκήτων στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων.

3.4.4 Ρίζες των φυτών

Οι ρίζες εκκρίνουν ένα γλοιώδης υλικό από πολυσακχαρίτες και διάφορες άλλες ενώσεις που μπορεί να λειτουργεί ως δεσμευτικός και συγκολλητικός παράγοντας, στη συσσωμάτωση του εδάφους (Oades, 1978). Σύμφωνα με τους Six et al, 2004 οι ρίζες των φυτών επηρεάζουν την εν γένει δομή του εδάφους και οι διαδικασίες που σχετίζονται με το πώς οι ρίζες επηρεάζουν τη δομή του εδάφους μπορούν να ομαδοποιηθούν σε πέντε κατηγορίες:

- (1) μέσω της διείσδυσης των ριζών στο έδαφος
- (2) αλλάζοντας το καθεστώς της εδαφικής υγρασίας

- (3) με τις εκκρίσεις των ριζών
- (4) με την αποσύνθεση των νεκρών ριζών
- (5) μέσω της περιπλοκής των ριζών με τα σωματίδια του εδάφους

Ο βαθμός της επιρροής των ριζών στη δομή του εδάφους μέσω των εξιδρώσεων των ριζών είναι πολύ μεταβλητός, καθώς η παραγωγή και η σύνθεση των βλεννωδών εκκρίσεων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως το καθεστώς του νερού, τα είδη των φυτών, το χρόνο (στάδιο ανάπτυξης φυτού), και το βάθος του εδάφους που βρίσκονται οι ρίζες (Six et al, 2004). Μεγάλες ποσότητες οργανική ύλης παρέχονται στα εδάφη από τις ρίζες κυρίως σε περιοχές με θερμό και υγρό κλίμα. Η μεγάλη μικροβιακή δραστηριότητα που αναπτύσσεται στη ριζό-σφαίρα όπου και παράγει σημαντικές ποσότητες από οργανικές συνδετικές ουσίες. Πρέπει όμως παράλληλα να σημειωθεί ότι οι ρίζες, τα ριζικά τριχίδια και οι υφές απορροφούν νερό από το έδαφος που τα περιβάλλει με αποτέλεσμα να προκαλούν μια τοπική ξηρότητα στο έδαφος η οποία μπορεί να συνεισφέρει τόσο στη σταθεροποίηση των μακρο-συσσωματωμάτων αλλά ενδέχεται όμως να προκαλεί και την διατάραξη και την αποσταθεροποίηση τους. (Haynes and Beare, 1997).

3.4.5 Μικροπανίδα του εδάφους

Η μικροπανίδα του εδάφους είναι σημαντικός παράγοντος στο σχηματισμό των μακρο-συσσωματωμάτων. Η μικροπανίδα αποτελείται από γαιοσκώληκες και τερμίτες με κύρια ομάδα στα εδάφη των εύκρατων περιοχών να είναι οι γαιοσκώληκες όπου μπορεί ο πληθυσμός τους να φτάσει τα 1000-2000 άτομα ανά τ.μ. (Six et al, 2004). Οι Bossuyt et al, το 2004 παρατήρησαν ότι σε εδάφη με παρουσία γαιοσκωλήκων η μάζα των μικρο-συσσωματωμάτων εντός των μακρο-συσσωματωμάτων, που περιέχουν καινούργιο και προστατευμένο άνθρακα, είναι τέσσερις φορές μεγαλύτερη συγκριτικά με εδάφη χωρίς γαιοσκώληκες (ποσοστό μικρο-συσσωματωμάτων 25% προς 6% αντίστοιχα). Καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η παρουσία γαιοσκωλήκων έχει άμεση και γρήγορη

επίδραση στο σχηματισμό των μικρο-συσσωματωμάτων και τη σταθεροποίηση του καινούργιου άνθρακα μέσα στα μικρο-συσσωματώματα. Οι γαιοσκώληκες συμβάλουν στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων του εδάφους με το να αξιοποιούν ταυτόχρονα τα φυτικά υπολείμματα και το έδαφος, περνώντας μέσα από το έντερο τους και κατόπιν εκκρίνοντας τα. Αυτά τα εκκρίματα συμβάλλουν στο σχηματισμό τόσο των μικρο-συσσωματωμάτων όσο και των μακρο-συσσωματωμάτων, η σταθερότατων των οποίων εξαρτάτε από την ποιότητα της οργανικής ύλης που καταναλώνετε από τους γαιοσκώληκες. Επιπροσθέτως οι γαιοσκώληκες συντελούν στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων καθώς τρυπώνουν στο έδαφος όπου εναποθέτουν βλεννώδες υλικό στα τοιχώματα των λαγουμιών που μαζί με την παρουσία της αργίλου δημιουργούνται σταθερές δομές (Six et al., 2004).

3.4.6 Περιβαλλοντικοί παράμετροι

Περιβαλλοντικές μεταβλητές όπως οι διαδικασίες ψύξης-απόψυξης, ο κύκλος ξηρασίας-υγρασίας, και οι πυρκαγιές επηρεάζουν σημαντικά τη συσσωμάτωση (Six et al., 2004). Η επιφάνεια των συσσωματωμάτων σχετίζεται ακόμα με τις κλιματικές συνθήκες κάτω από τις οποίες σχηματίστηκε το έδαφος. Όσο ο δείκτης βροχόπτωσης/δυνητικής-εξατμισοδιαπνοής αυξάνετε τόσο το ποσοστό ιλύς-αργίλου που συσσωματώνεται αυξάνετε έως ότου φτάσει μια μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί σε αναλογία βροχόπτωσης/δυνητικής-εξατμισοδιαπνοής από 0.4 έως 0.6 και η ικανότητα του εδάφους να δημιουργεί συσσωματώματα αυξάνετε με σειρά από τα Entisols στα Vertisols και στα Mollisols (Dalal and Bridge, 1996).

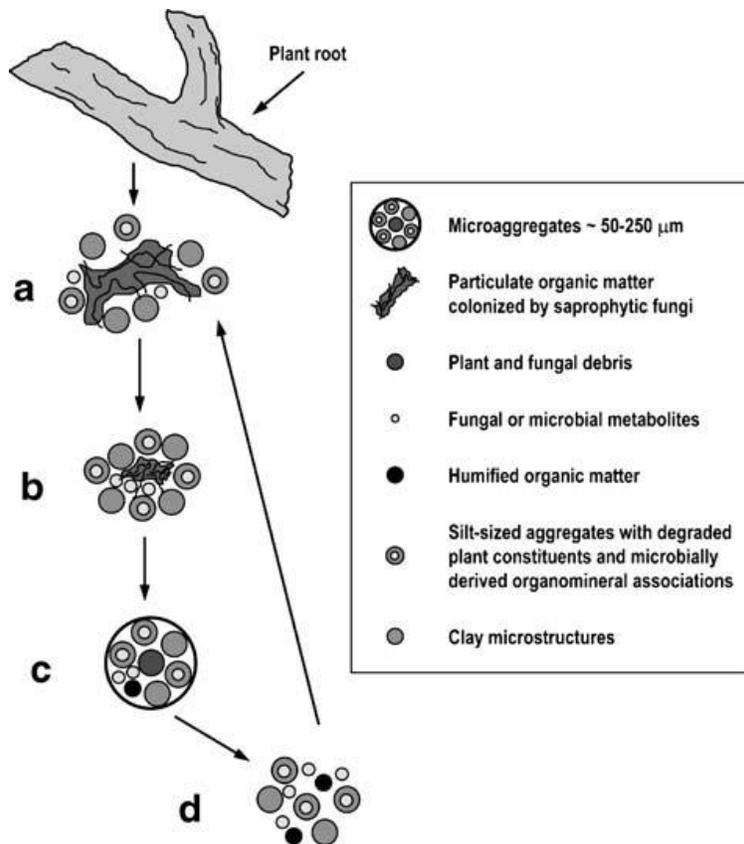
3.5 Ο ΤΡΟΠΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ Ο ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥΣ

Οι Tisdall and Oades (1982) στην προσπάθεια τους να κατανοήσουν τη συσχέτιση μεταξύ της βιολογικής δραστηριότητας του εδάφους, της αποσύνθεσης της σταθεροποίησης της οργανικής ύλης στο έδαφος (SOM), και τη δυναμική των συσσωματωμάτων όρισαν τη διαφορά μεταξύ μικρο και μακρο-συσσωματωμάτων ως μικρότερης και μεγαλύτερης αντίστοιχα διαμέτρου των 250 μm αναφέρουν επίσης ότι οι οργανικοί δεσμευτικοί παράγοντες στο έδαφος ομαδοποιούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. μεταβατικούς-παροδικούς: πολυσακχαρίτες που αποικοδομούνται ταχέως από τους μικροοργανισμούς
2. προσωρινούς: ρίζες και υφές μυκήτων
3. επίμονους: ανθεκτικές αρωματικές ενώσεις που συνδέονται με πολυκατιόντα μετάλλων και δυνατά προσροφημένα πολυμερή

Και προτείνουν το σχηματισμό των μικρο-συσσωματωμάτων και εν συνεχεία τον σχηματισμό τον μάκρο-συσσωματωμάτων με τα μικρο-συσσωματωμάτων να λειτουργούν σαν δομικές μονάδες. Το 1984 ο Oades τροποποιεί αυτή την ιδέα και προτείνει ένα άλλο θεωρητικό μοντέλο κατά το οποίο οι ρίζες και οι υφές καθώς αποσυντίθενται δημιουργούν θραύσματα τα οποία γίνονται ο πυρήνας των μακρο-συσσωματωμάτων εντός των οποίων σχηματίζονται τα μικρο-συσσωματώματα. Καθώς οι ρίζες και οι υφές αποσυντίθενται καλύπτονται με βλεννώδες υλικό που παράγεται από τους διάφορους μικρο-οργανισμούς κατά την αποσύνθεση εκεί προσκολλώνται τα ορυκτά της αργίλου με αποτέλεσμα την επικάλυψη του οργανικού θραύσματος με συνέπεια την καθυστέρηση στην αποδόμηση της οργανικής ύλης. Το τελικό προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι τα μικρο-συσσωματώματα δεσμευμένα σε ένα διάλυμα από χουμικές ενώσεις και βλέννα. Σε συμφωνία με τα παραπάνω οι Nikolaidis και Bidoglio το 2011 αναφέρουν ότι για την εξήγηση του μηχανισμού σύμφωνα με τον οποίο σχηματίζονται τα συσσωματώματα υπάρχουν δύο βασικά θεωρητικά μοντέλα

προσέγγισης. Η πρώτη προσέγγιση προτείνει ένα μηχανισμό κατά τον οποίο τα μικρο-συσσωματώματα ($WSA < 250 \mu m$) που αποτελούνται από οργανικά μόρια συνδεδεμένα με αργιλικά ορυκτά και πολυσθενή κατιόντα σχηματίζουν οργανο-μεταλλικά σύμπλοκα, τα οποία στη συνέχεια συνενώνονται για να σχηματίσουν τα μακρο-συσσωματώματα. Σύμφωνα με το δεύτερο μηχανισμό τα μακρο-συσσωματώματα σχηματίζονται γύρω από τα σωματιδιακό οργανικό υλικό (Particulate Organic Matter, POM). Καθώς τα σωματίδια της οργανικής ύλης (POM) αποσυντίθεται οι βακτηριακές αποικίες δεσμεύουν τα σωματίδια της αργίλου με τα εκκρίματα τους. Η συγκρότηση των σωματιδίων σε μακρο-συσσωματώματα διευκολύνεται από τις ρίζες και από τις υφές των μυκήτων καθώς οι εκκρίσεις τους βοηθούν στην δέσμευση-σύνδεση των σωματιδίων. Με τον τρόπο αυτό, τα μικρο-συσσωματώματα σχηματίζονται εντός των μακρο-συσσωματωμάτων και απελευθερώνονται σταδιακά κατά τη διαδικασία της αποσύνθεσης. Το δεύτερο θεωρητικό μοντέλο για το σχηματισμό των συσσωματωμάτων προτείνεται από τους περισσότερους μελετητές σήμερα (Golchin 1994; Balesdent et al., 2000; Puget et al., 2000; Plante and McGill, 2002; Six et al., 2002a; Six et al., 2002b; Six et al., 2004; Bronick and Lal, 2005, Grandy and Nff, 2008; Helfrich et al., 2008; Nikolaidis and Bidoglio, 2011, Stamati, 2012). Οι Jastrow et al, το 2007 παρουσιάζουν μια σχηματική απεικόνιση για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου σχηματισμού των συσσωματωμάτων (Σχήμα 3.3) αρχικά τα θραύσματα και τα αποσυντιθέμενα φυτικά και ριζικά υπολείμματα επιστρώνονται με τα σωματίδια των ορυκτών και σχηματίζουν τα μικρο-συσσωματώματα η διαδικασία της αποσύνθεσης συνεχίζεται, αλλά με βραδύτερο ρυθμό λόγω της φυσικής προστασίας που τους παρέχεται και τα μικρο-συσσωματώματα σταθεροποιούνται με την καθυστέρηση της αποσύνθεσης και με την πολύ στενή επαφή των ορυκτών του εδάφους εντός των σταθερών μικρο-συσσωματωμάτων παρέχει στην οργανική ύλη τόσο χημική προστασία όσο και προστασία από την υγρασία και το νερό μέσω των δεσμών που αναπτύσσονται με το ορυκτό κλάσμα στη συνέχεια όταν οι οργανικές συνδετικές ουσίες αποσυντεθούν επαρκώς τα συσσωματώματα αποσταθεροποιούνται και το ορυκτό κλάσμα εμπλουτίζεται με νέες οργανο-μεταλλικές ενώσεις και γίνεται διαθέσιμο για να ενσωματωθεί σε νέα μικρο-συσσωματώματα.



Σχήμα 3.3 Τρόπος σχηματισμού συσσωματωμάτων (Jastrow, 2007).

Τα καινούργια φυτικά υπολείμματα συντελούν στο σχηματισμό των μακρο-συσσωματωμάτων καθώς είναι πηγή άνθρακα για μικροβιακή δραστηριότητα και κατά συνέπεια συντελούν στην παραγωγή συνδετικού υλικού που παράγεται λόγω αυτής της μικροβιακής δραστηριότητας. Αναλυτικότερα τα βήματα στη διαδικασία σχηματισμού των συσσωματωμάτων είναι τα εξής (Stamati, 2012):

t1: Τα μακρο-συσσωματώματα σχηματίζονται γύρω από τα φρέσκα φυτικά υπολείμματα τα οποία στη συνέχεια γίνονται χοντρό σωματιδιακό οργανικό υλικό εντός των συσσωματωμάτων (intra-aggregate particulate organic matter, iPOM).

t2: Στη συνέχεια το λεπτό (iPOM) σχηματίζεται από την αποσύνθεση και την επακόλουθη διάσπαση του χοντρού (iPOM) εντός του συσσωματώματος.

t3: Το λεπτό (iPOM) σταδιακά επιστρώνεται από τα αργιλικά ορυκτά και τα παράγωγα της μικροβιακής δραστηριότητας για να σχηματιστούν τα μικρο-συσσωματώματα εντός των μακρο-συσσωματωμάτων.

t4: Οι συνδετικές ουσίες μέσα στα μακρο-συσσωματώματα σπάνε με αποτέλεσμα να χάνετε η σταθερότητα των μακρο-συσσωματωμάτων αλλά ταυτόχρονα να ελευθερώνονται σταθερά μικρο-συσσωματώματα, που είναι οι δομικές μονάδες για τον επόμενο κύκλο.

Ο Six το 2004 αναφέρει ότι σημαντική πρόοδος έχει σημειωθεί στην κατανόηση των σχέσεων μεταξύ συσσωματωμάτων, ζωντανών οργανισμών του εδάφους και οργανικής ύλης, και υπάρχει μια συνεχιζόμενη εξέλιξη όσο αφορά τα θεωρητικά μοντέλα για την περιγραφή αυτών των σχέσεων. Οι σημαντικότερες έννοιες για την κατανόηση αυτών των σχέσεων είναι:

1. υπάρχει ιεραρχική σειρά στα συσσωματώματα που υπάρχουν στο έδαφος με την Οργανική Ύλη του Εδάφους, SOM να είναι ο σημαντικότερος συνδετικός παράγοντας του εδάφους
2. τα μικρο-συσσωματώματα σχηματίζονται εντός των μακρο-συσσωματωμάτων
3. το σωματιδιακό οργανικό υλικό (particulate organic matter, POM) που προέρχεται από ριζικό σύστημα των φυτών από διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην δυναμική των συσσωματωμάτων
4. η δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων έχει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των μικρο- και μακρο-συσσωματωμάτων
5. η Οργανική Ύλη του Εδάφους, SOM πρωτίστως σταθεροποιείται σε σταθερά μακρο-συσσωματώματα
6. μεταβολές στο ρυθμό του κύκλου ζωής των συσσωματωμάτων επηρεάζουν την σταθεροποίηση της οργανικής ύλης σε όλους τους τύπους εδαφών.

4. ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, στο νομό Χανίων Κρήτης η οποία βρίσκεται 25 km ανατολικά από την πόλη των Χανίων (005-12-489E, 039-22-112N) και καλύπτει συνολική έκταση 130 km². Το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Κοιλιάρη είναι 36 Km. Σε αυτόν συμβάλλουν τέσσερις παραπόταμοι, εκ των οποίων δύο χαρακτηρίζονται ως προσωρινά υδατορέματα (Κεραμιώτης και Αναβρετή), δεδομένου ότι κατά τη θερινή περίοδο παρατηρείται ξήρανση της κοίτης τους [δικτυακός τόπος 3]. Οι άλλοι δύο παραπόταμοι είναι ο Μυλαύλακας και ο Μανταμάς και έχουν μόνιμη ροή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και για αυτό χαρακτηρίζονται ως μόνιμα υδατορέματα. Από το σημείο συμβολής των παραποτάμων και μέχρι τις εκβολές το μήκος του κυρίου τμήματος του ποταμού Κοιλιάρη είναι 3.3 km. Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη υπάρχουν πηγές (Στύλου, Αρμένων και Ζούρμπου) που τροφοδοτούνται από ποσότητες υδάτων που προέρχονται από το καρστικό ασβεστολιθικό σύστημα των Λευκών Ορέων. Η πηγή του Στύλου θεωρείται το βασικότερο σημείο εκφόρτισης του εν λόγω καρστικού συστήματος και μια από τις κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του ποταμού Κοιλιάρη [δικτυακός τόπος 7]. Το κλίμα της περιοχής είναι εύκρατο ημί-άνυδρο, Μεσογειακό δηλαδή χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις και χιονόπτωση στα μεγάλα υψόμετρα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ οι καλοκαιρινοί μήνες είναι ξηροί και θερμοί [δικτυακός τόπος 3]. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο βόρειο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης είναι κατά μέσο όρο 705 mm στα πεδινά και ημι-ορεινά, ενώ στο νότιο τμήμα, ορεινή ζώνη, είναι 2125 mm. Τους χειμερινούς μήνες χιόνι καλύπτει μια έκταση 82km² το οποίο λιώνει μέσα σε λίγες ημέρες στα χαμηλά υψόμετρα ενώ εντός 100-140 ημέρες σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Η μεγαλύτερη υψομετρική κλίση στην περιοχή παρατηρείται στα Λευκά Όρη και είναι της τάξεως του 43%, ενώ κλίσεις της τάξεως του (4%) παρατηρούνται στην κοιλάδα και τις εκβολές του ποταμού Το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 2120 μ [δικτυακός τόπος 7].



Σχήμα 3.4 Απεικόνιση Λεκάνης Απορροής ποταμού Κοιλιάρη.

Οι χρήσεις γης στην περιοχή διαρθρώνονται ως εξής λιβαδοπονικές εκτάσεις με θαμνώδη και χαμηλή βλάστηση χρησιμοποιούμενοι σαν βοσκότοποι καλύπτουν το 58% (101 km²) της συνολικής έκτασης. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις καλύπτουν το 29,4% (51km²), αστικές περιοχές 2,8% (5 km²), περιοχές με δασική βλάστηση 8,5% (14,8 km²), και υδάτινες περιοχές 0,6% (1km²). Η περιοχή δεν έχει βιομηχανικές μονάδες και οι περισσότεροι κάτοικοι απασχολούνται στον τομέα της γεωργίας με τα κύρια καλλιεργούμενα είδη είναι ελιές, πορτοκαλιές και αμπέλια.

Το κύριο γεωλογικό και γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό της λεκάνης απορροής ποταμού Κοιλιάρη είναι οι καρστικοί σχηματισμοί από ασβεστόλιθους και δολομίτες (Νικολαΐδης, 2011). Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από τον ασβεστολιθικό-καρστικό σύστημα στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής που βρίσκεται κάτω από ένα αδιαπέραστο ιζηματογενή ορίζοντα με αποθέσεις από τις μάργες και τους σχιστόλιθους του βόρειου τμήματος, ενώ το βόρειο τμήμα της αποτελείται από αλλουβιακές

εναποθέσεις [δικτυακός τόπος 7]. Πιο συγκεκριμένα, η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από 23,8% Πλακώδεις, 31% Τριπάλι, 9,4% Ασβεστόλιθοι με Μάργες σε Νεογενείς σχηματισμούς, 13% Μάργες σε Νεογενείς σχηματισμούς, 12,8% Σχιστόλιθοι, και 10% τεταρτογενείς αλλουβιακές εναποθέσεις (Banwart et al., 2011) (Stamati, 2012).

Οι πηγές του ποταμού Κοιλιάρη είναι: Στύλος, Αναβρετής και Ζούρμπου. Οι πηγές των Αρμένων και του Στύλος έχουν μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις της ροής τους και έχουν μέση ετήσια ροή: 769 L/s και 2654 L/s αντίστοιχα. Η πηγή του Ζούρμπου στις Καλύβες έχει μέση ετήσια ροή 978 L/s και μικρές εποχιακές διακυμάνσεις. Η ποιότητα του νερού που παρέχεται από τα Λευκά Όρη είναι εξαιρετική. Μόνο σε περιοχές όπου το καρστικό σύστημα επικοινωνεί με τη θάλασσα, η ποιότητα των υδάτων έχει αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων. Η ποιότητα των νερών στις πηγές του Στύλου και των Αρμένων είναι εντός των ορίων του πόσιμου νερού.

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη συγκαταλέγεται στα παρατηρητήρια της κρίσιμης ζώνης του εδάφους (Critical Zone Observatories, CZOs) και είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα σοβαρά υποβαθμισμένων εδαφών, λόγω των επιπτώσεων από την εντατική αγροτική εκμετάλλευση της περιοχής, όπως η βόσκηση, για σειρά ετών. Τα εδάφη της περιοχής είναι χαρακτηριστικό δείγμα μεσογειακών εδαφών που βρίσκονται υπό την άμεση απειλή της ερημοποίησης (απώλεια οργανικού άνθρακα), λόγω της αλλαγής του κλίματος, η οποία προβλέπεται από τις IPCC προβλέψεις του ΟΗΕ για την περιοχή στη διάρκεια του επόμενου αιώνα [δικτυακός τόπος 3].

Από το 2004 η λεκάνη του ποταμού Κοιλιάρη παρακολουθείται και καταγράφονται τα υδρολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά της (Kourgialas et al., 2010, Moraetis et al., 2010, Moraetis et al., 2011). Ένα τηλεμετρικό δίκτυο παρακολούθησης έχει στηθεί στην περιοχή για τη συνεχή λήψη δεδομένων (pH, νιτρικά (NO₃-N), θερμοκρασία νερού(°C), επίπεδα διαλυμένου οξυγόνου (mg/L), στάθμη του ποταμού (m), το επίπεδο του νερό και η θερμοκρασία σε ένα βαθύ πηγάδι στο καρστ, καθώς και δύο μετεωρολογικοί σταθμοί). Παράλληλα γίνονται μηνιαίες επισκέψεις στην περιοχή για ποιοτικές μετρήσεις τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια ύδατα.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

5.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Για να μελετηθούν οι συσχετίσεις μεταξύ της σταθερότητας των συσσωματωμάτων με τις διάφορες ιδιότητες του εδάφους στα πλαίσια της παρούσας διατριβής πραγματοποιήθηκε εκτενής δειγματοληψία στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κουλιάρη σύμφωνα με την τυπολογία που προέκυψε από τις υψομετρικές ζώνες, το γεωλογικό υπόβαθρο και τις χρήσεις γης με τη χρήση των αντίστοιχων θεματικών χαρτών GIS. Η δειγματοληψία έγινε σε βάθη 0-15 cm και 15-30 cm. Συνολικά συλλέχθηκαν 29 δείγματα εδάφους από περιοχές που αντιπροσωπεύουν το 85% της έκτασης της λεκάνης σύμφωνα με την τυπολογία τα οποία ελέγχθησαν για περισσότερες από 30 παραμέτρους.

5.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον καθορισμό των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την συσσωμάτωση των εδαφών. Τα δείγματα εδάφους αναλύθηκαν για περισσότερες από 30 παραμέτρους οι οποίες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σχετίζονται με τη συσσωμάτωση των εδαφών. Μέρος του συνόλου δεδομένων που προέκυψαν από την έρευνα έχει παρουσιαστεί από τους Moraetis et al., 2011 και Stamatii, 2012.

- Ξηρή Φαινομενική Πυκνότητα (dry Bulk Density, BD).
- pH.
- Αγωγιμότητα (conductivity, COND).
- Οργανικός Άνθρακας (Soil Organic Carbon, TOC) (μέθοδος Walkley-Black, χώνευση με διχρωμικό οξύ, Santi et al., 2006).
- Ολικό Άζωτο κατά Kjeldahl (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) (συσκευή χώνευσης Hach; Nessler method, 8075).
- Ανθρακικό Άλας (Carbonates-CaCO₃) (ογκομετρική μέθοδος Bernard).
- Συσσωματώματα (Water Stable Aggregates, WSA) (Elliott, 1986).

- Μέση Διάμετρος (Mean Weight Diameter, MWD).
- Η κατανομή των σωματιδίων (το ποσοστό των κόκκων του εδάφους <2 μm-άργιλο, <20 μm-λεπτή άργιλος και ιλύς, < 53 μm- άργιλος και ιλύς και <1000 μm-χοντρή άμμος).
- Το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (Potential Mineralizable N, PMN) (εκχύλιση με συγκέντρωση 2M KCl, μέτρηση αζώτου μετά από 1 εβδομάδα στους 40 °C και αφαιρείτε το άζωτο μετά από 1 ώρα στους 20 °C) (Nikolaidis et al., 1999; Burton et al., 2007); Ακολούθησε φιλτράρισμα του εκχυλίσματος σε 0.45 μm νάυλον φίλτρα και ανάλυση για NH₄-N (Nessler method 8075).
- Ακόμα μετρήθηκε η ενεργός Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (effective Cation Exchange Capacity, eCEC) και τα ανταλλάξιμα κατιόντα (Na, Mg, K, Ca, Mn) με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το διχλωριούχο βάριο (BaCl₂) (Hendershot and Duquette, 1986).
- Υπολογίστηκε επίσης η αναλογική συνεισφορά των κατιόντων (Na, Mg, K, Ca) στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων σαν ένδειξη του κορεσμού σε βάσεις.
- Έγιναν ακόμα μετρήσεις για τις εκχυλίσιμες μορφές αλουμινίου-μαγγανίου και σιδήρου (Al, Mn, Fe) με τη μέθοδο που χρησιμοποιεί το οξύ οξαλικού αμμωνίου (Acid Ammonium Oxalate) (Mackeague and Day 1966) και με τη μέθοδο (Dithionite-Citrate) (Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, 1972).
- Η αναλογία σιδήρου (Fe-ox/Fe-d) υπολογίστηκε και χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση σαν δείκτης αποσάθρωσης των ορυκτών .

Οι πρότυπες μέθοδοι των παραπάνω αναλύσεων αναλύονται λεπτομερώς στο Soil Sampling and Methods of Analysis, M. R. Carter and E. G. Gregorich, Eds., pp. 71–80, CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition, 2008.

5.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

5.3.1 Principal component analysis (PCA)

Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA) αποτελεί μια μαθηματική διαδικασία, τεχνική ανάλυσης δεδομένων που χρησιμοποιεί τον ορθογώνιο μετασχηματισμό με σκοπό τη δημιουργία καινούργιων μεταβλητών, οι οποίες είναι γραμμικοί συνδυασμοί των αρχικών μεταβλητών έτσι ώστε να είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και να περιγράψουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Οι νέες μεταβλητές ονομάζονται κύριες συνιστώσες (Principal components). Ο μετασχηματισμός γίνεται έτσι ώστε η πρώτη κύρια συνιστώσα (PC1) να εμφανίζει τη μέγιστη διακύμανση (δηλαδή να αντιστοιχεί στη μέγιστη ποικιλία δεδομένων) και η κάθε επόμενη να εμφανίζει συνεχώς χαμηλότερη διακύμανση και ταυτόχρονα να μην εμφανίζει συσχέτιση με τις προηγούμενες της.

5.3.2 Multiple Regression Analysis (MRA)

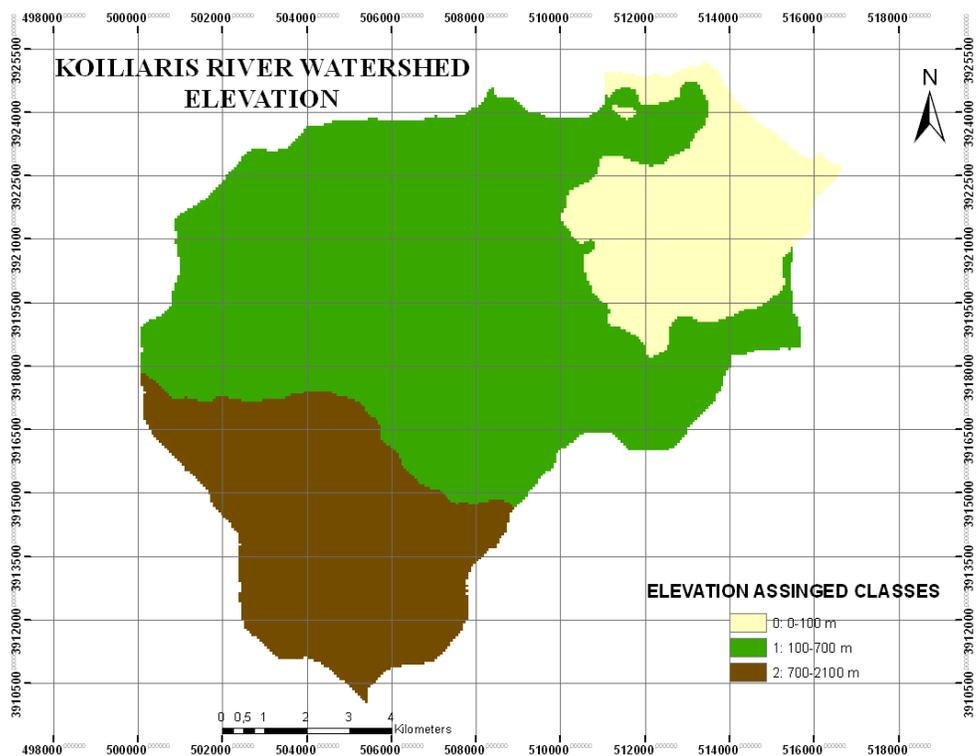
Η πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης είναι μια ευέλικτη μέθοδος ανάλυσης δεδομένων, που είναι κατάλληλη όταν μια ποσοτική μεταβλητή είναι να εξεταστεί σε σχέση με άλλους παράγοντες (που εκφράζονται ως ανεξάρτητοι προγνωστικοί δείκτες ή μεταβλητές). Οι σχέσεις μπορεί να είναι γραμμικές και οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να είναι ποσοτικές ή ποιοτικές και μπορεί κανείς να εξετάσει τις επιπτώσεις μια μεταβλητής ή πολλών μεταβλητών, με ή χωρίς τις επιπτώσεις από άλλες μεταβλητές να λαμβάνονται υπόψιν. Είναι δηλαδή μια στατιστική τεχνική που επιτρέπει την πρόβλεψη μίας μεταβλητής με βάση τις τιμές κάποιων άλλων μεταβλητών.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΑΦΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Στο σχήμα 6.1 παρουσιάζονται οι τρεις υψομετρικές ζώνες:

- 0-200 m (πεδινά)
- 200-800 m (ημι-ορεινά)
- >800 m (ορεινά)

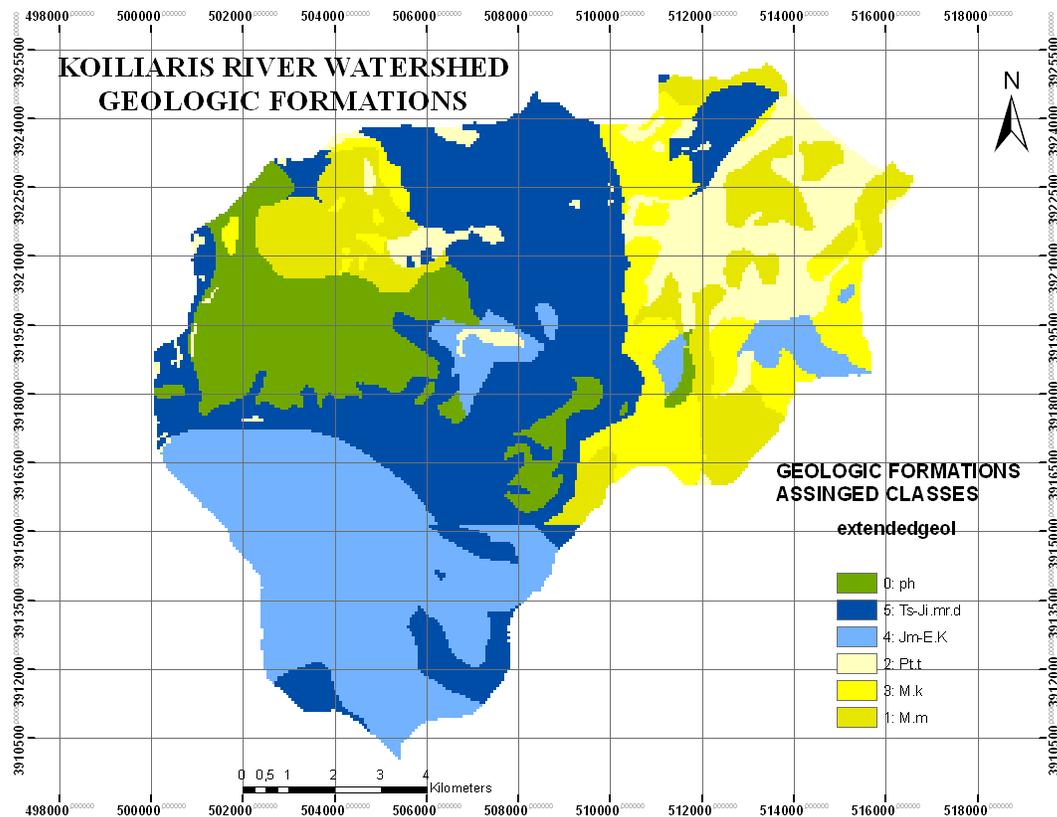


Σχήμα 6.1 Χαρτογράφηση ταξινόμησης των υψομετρικών ζωνών (ψηφιακά δεδομένα από τη βάση δεδομένων της Περιφέρειας Κρήτης. Τα αντίστοιχα στοιχεία περιέχονται στα τοπογραφικά διαγράμματα (1:50000 κλίμακα) της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού)

Το κύριο γεωλογικό και γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό της λεκάνης απορροής ποταμού Κουλιάρη είναι οι καρστικοί σχηματισμοί από ασβεστόλιθους και δολομίτες (Νικολαΐδης, 2011). Όπως προαναφέρθηκε, η γεωλογία της περιοχής (Πίνακας 6.1) αποτελείται από 23,8% Πλακώδεις σχηματισμούς, 31% Τρυπάλι, 9,4% Ασβεστόλιθους με Μάργες σε Νεογενείς σχηματισμούς, το 13% Μάργες σε Νεογενείς σχηματισμούς, 12,8% Σχιστόλιθοι, και 10% Τεταρτογενείς Αλλουβιακές Εναποθέσεις (Banwart et al., 2011). Στο σχήμα 6.2 παρουσιάζεται η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών.

Πίνακας 6.1 Κατηγορίες γεωλογικού υποστρώματος.

Περιγραφή	Σύμβολο	Hydro-class	Κωδικός Κατηγορίας
Αλλουβιακά (Alluvial)	Pt.t	P1	2
Νεογενής σχηματισμοί (κυρίως μάργες) (Neogene formations (mainly marls))	M.m	P3	1
Νεογενής σχηματισμοί (κυρίως ασβεστόλιθοι) Neogene formations (marly limestones)	M.k	P2	3
Φυλλίτες-χαλαζίτες (σχιστόλιθοι)(Phyllites-quartzites (schists))	ph	A2	0
Ασβεστόλιθοι-Τρυπαλίου (Limestones - Trypali Units)	Ts-Ji.mr.d	K1	5
Ασβεστόλιθοι και Δολομίτες σε πλακώδης σχηματισμούς (Limestones and Dolomites – Plattenkalk)	Jm-E.K	K2	4



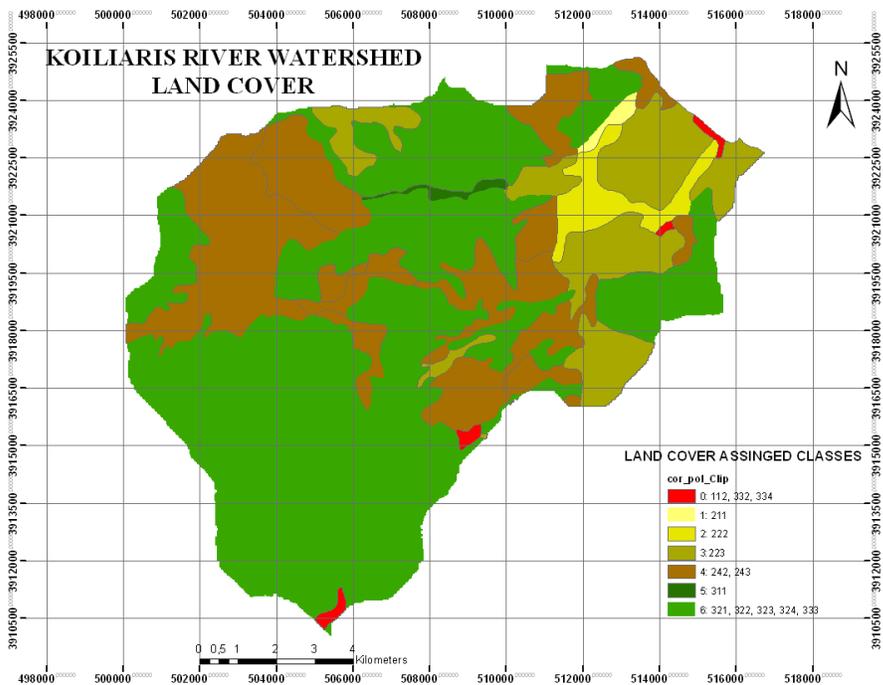
Σχήμα 6.2 Ταξινόμηση κατηγοριών γεωλογικών σχηματισμών (ψηφιακά δεδομένα από τη βάση δεδομένων της Περιφέρειας Κρήτης. Τα αντίστοιχα στοιχεία προκύπτουν από τους χάρτες (κλίμακα 1:50000) του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ)).

Τα εδάφη έχουν διαμορφωθεί κυρίως από την αποσάθρωση ασβεστόλιθων με υψηλή περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά και οξειδία του σιδήρου, που είναι τα κύρια συστατικά στο σχηματισμό συσσωματωμάτων στο έδαφος (Nikolaidis, 2011).

Σύμφωνα με το CORINE 2000 οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη κυρίως είναι 29,4% καλλιεργούμενες εκτάσεις με ελαιόδεντρα, σπρωφόρα δέντρα (κυρίως πορτοκαλιές, λεμονιές) και αμπέλια, λαχανικά το 58% είναι θαμνώδεις περιοχές που χρησιμοποιούνται σαν βοσκότοποι υπολογίζετε ότι τα αιγοπρόβατα που υπάρχουν στην περιοχή είναι της τάξης των $50 \cdot 10^3$. Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζετε αναλυτικά το διαφορετικό επίπεδο των πληροφοριών (CORINE 2000).

Πίνακας 6.2 Περιγραφή των κατηγοριών χρήσεων γης, σύμφωνα με τη βάση δεδομένων CLC 2000 και για τις κατηγορίας εδαφοκάλυψης.

Κωδικός επιπέδου 1	Ετικέτες επιπέδου 1	Ετικέτες επιπέδου 2	Ετικέτες επιπέδου 3	Assigned Class Code
112	Τεχνητές επιφάνειες	Αστικά οικοδομήματα	Ασυνεχείς αστικός ιστός	0
211	Αγροτικές περιοχές	Καλλιεργήσιμες εκτάσεις	Μη αρδευόμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις	1
222		Μόνιμες καλλιέργειες	Οπωροφόρα δέντρα και καλλιεργήσιμοι θάμνοι	2
223			Ελαιόδεντρα	3
242		Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	Συστήματα συγκαλλιέργειας	4
243			Γεωργικές περιοχές με σημαντικούς τομείς φυσικής βλάστησης	
311		Δάση και ημιφυσικές περιοχές	Δάση	Δάση με Πλατύφυλλα Δέντρα
321	Περιοχές με θαμνώδη/ πώδη βλάστηση		Φυσικά λειβάδια	6
322			Θάμνοι και χερσότοποι	
323			σκληρόφυλλική βλάστηση	
324			Μεταβατικές εκτάσεις δασικές –θαμνώδης	
332	Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση		βράχοι	0
333			περιοχές με αραιή βλάστηση	6
334			Καμένες εκτάσεις	0

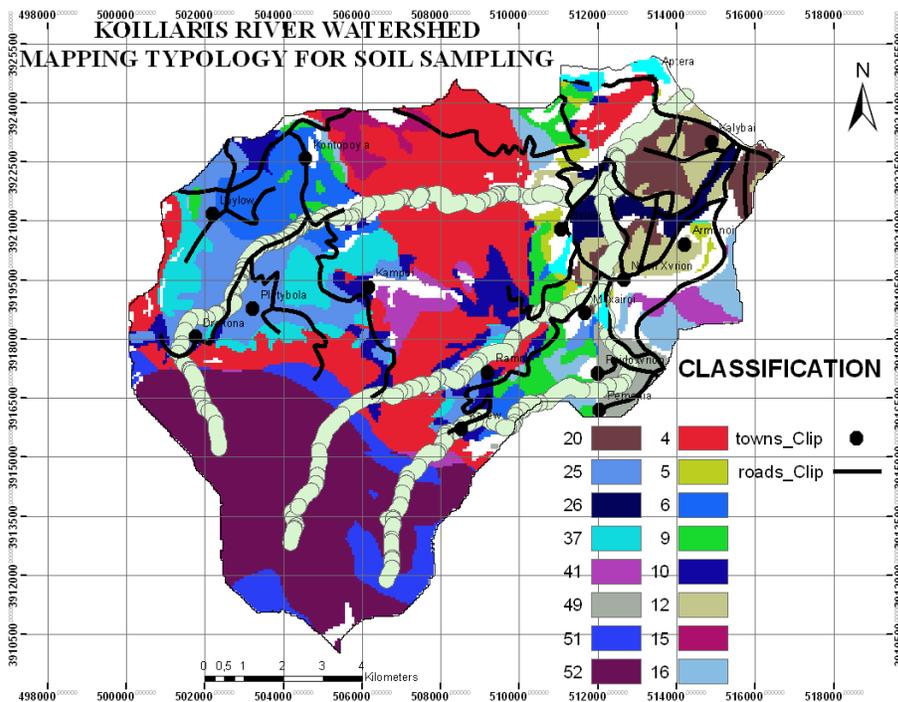


Σχήμα 6.3 Ταξινόμηση κατηγοριών χρήσεων γης (ψηφιακά σύνολα δεδομένων από τη CLC 2000 (Corine Land Cover 2000) βάση δεδομένων η οποία είναι διαθέσιμη από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος).

Από το συνδυασμό των χρήσεων γης, του γεωλογικού υπόβαθρου και των υψομετρικών ζωνών για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη προέκυψαν 58 διαφορετικά είδη οικοσυστημάτων, 16 από αυτά καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης (87,5%) του συνόλου της περιοχής. Στον Πίνακα 6.3 και στο Σχήμα 6.4 που παρουσιάζονται με τον όρο ετερογενή γεωργία εννοούμε περιοχές που καλύπτονται κυρίως από ελαιώνες και δευτερευόντως από αμπελώνες.

Πίνακας 6.3: Οι βασικοί τύποι χαρτογράφησης της τυπολογίας του εδάφους για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (90% κάλυψη της περιοχής) με βάση το σχεδιασμό της δειγματοληψίας.

ID	γεωλογία	χρήσεις γης	υψόμετρο, m	κάλυψη, %	μέση κλίση	κλίση, std
26	Αλλουβιακές	Οπωροφόρα δέντρα	0-100	2.40	2.43	2.55
12	Αλλουβιακές	Ελαιόδεντρα	0-100	4.14	3.43	2.76
20	Μάργες	Ελαιόδεντρα	0-100	3.63	5.8	3.77
5	Calcaric marls Μάργες	Ετερογενής γεωργία	0-100	1.06	7.25	4.5
49	Μάργες	ελαιόδεντρα	100-700	1.82	5.5	3.94
6	Μάργες	Ετερογενής γεωργία	100-700	5.11	6.84	4.37
9	Calcaric marls Μάργες	Ετερογενής γεωργία	100-700	3.60	8.12	4.59
16	Calcaric marls Μάργες	Θάμνοι και πόες	100-700	3.13	7.9	4.21
25	Σχιστόλιθοι	Ετερογενής γεωργία	100-700	7.95	11.8	5.9
37	Σχιστόλιθοι	Θάμνοι και πόες	100-700	4.46	15.06	6.64
15	Τρυπάλι	Ελαιόδεντρα	100-700	1.44	6.24	3.69
10	Τρυπάλι	Ετερογενής γεωργία	100-700	4.53	10.59	6.32
4	Τρυπάλι	Θάμνοι και πόες	100-700	20.09	11.99	6.61
41	Πλακώδης σχηματισμοί	Θάμνοι και πόες	100-700	2.52	9.99	5.52
51	Τρυπάλι	Θάμνοι και πόες	700-2100	17.30	20.35	8.08
52	Πλακώδης σχηματισμοί	Θάμνοι και πόες	700-2100	4.31	18.58	8.28



Σχήμα 6.4 Τυπολογία χαρτογράφησης των εδαφών για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (εξαιρούνται περιοχές σε λευκό χρώμα), πόλεις, δρόμους, παρόχθιες και παραποτάμιες.

6.2 ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥΝ ΤΗ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΤΑ ΕΔΑΦΗ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΟΙΛΙΑΡΗ

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν (συνολικά 31 δίνονται στον πίνακα 6.4) σχετίστηκαν με τους δείκτες σταθερότητας των συσσωματωμάτων (water stable aggregates WSA, WSA μακρο-συσσωματώματα >250 μm, WSA μεγάλα και μεσαία μακρο-συσσωματώματα >1000 μm, και την μέση διάμετρο MWD). Τα μακρο-συσσωματώματα >250 μm βρέθηκε να είναι ο καλύτερος δείκτης και ο πιο στενά συνδεδεμένος με τις εδαφικές παραμέτρους. Οι συντελεστές συσχέτισης των παραμέτρων και το P-value παρουσιάζονται στο πίνακα 6.4 αναφέρετε επίσης και η αλληλοσυσχέτιση των παραμέτρων. Για την ανάλυση έγινε χρήση του στατιστικού πακέτου MINITAB

Πίνακας 6.4 Συντελεστής συσχέτισης (Pearson) και το επίπεδο σημαντικότητας (P-Value) της παραμέτρου WSA-250 με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Δίδετε ακόμα ο συντελεστής συσχέτισης για της παραμέτρους που έχουν σημαντική συσχέτιση.

	WSA-250	Inter-correlated with parameters	
>1000 μm	-0.828 (0)		
eCEC	0.813 (0)		
Ca-BaCl ₂	0.805 (0)	eCEC	0.992
<53 μm^1	0.744 (0)	>1000 μm	-0.874
BS_Na-BaCl ₂	-0.723 (0)		
<20 μm	0.663 (0)	<53 μm , >1000 μm	0.941, -0.836
TKN	0.636 (0)		
Al-ox	0.605 (0.001)		
K-BaCl ₂	0.598 (0.001)		
<2 μm^2	0.594 (0.001)	<20 μm , <53 μm	0.816, 0.768
Mn-ox	0.586 (0.001)	Al-ox	0.846
BD	-0.569 (0.001)		
N-1week	0.558 (0.002)	PMN	0.996
pH	0.54 (0.002)		
PMN	0.539 (0.003)		
Mn-d	0.538 (0.003)	Mn-ox, Al-ox	0.965, 0.798
N-1hour	0.534 (0.003)		
Fe-ox	0.523 (0.004)		
Fe-ox/F-d	0.495 (0.006)		
TOC	0.473 (0.01)	TKN	0.916
Mn-BaCl ₂	-0.417 (0.024)		
C/N	-0.413 (0.026)		
COND	0.375 (0.045)		
Al-d	-0.318 (0.093)		
Mg-BaCl ₂	0.3 (0.114)		
Fe-d	-0.256 (0.18)		

BS_K-BaCl ₂	-0.213 (0.267)		
Na-BaCl ₂	-0.043 (0.826)		
BS_Ca-BaCl ₂	0.15 (0.437)		
BS_Mg-BaCl ₂	0.122 (0.527)		
CaCO ₃	0.065 (0.739)		

Οι παράμετροι που παρουσιάζουν συσχέτιση με τα WSA-250 μεγαλύτερη από 0,5 συμπεριλαμβάνονται στην Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA), προκειμένου να εντοπιστούν οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ των δειγμάτων εδάφους, και τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων μεταβλητών. Ο αριθμός των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν μειώθηκε με την αφαίρεση που παρουσίασαν μεγάλη αλληλοσυσχέτιση (Πίνακας 6.4). Τελικά, οι 15 παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ακόλουθοι:

1. Συσσωματώματα (WSA)<250,
2. ξηρή φαινόμενη πυκνότητα (BD)
3. το pH
4. συνολικό άζωτο κατά Kjeldahl (TKN)
5. κόκκοι <53 μm
6. κόκκοι <2 μm
7. κόκκοι > 1000 μm
8. Κάλιο-(εκχύλιση BaCl₂)
9. ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ECEC)
10. βάση κορεσμού Νατρίου (BS-Na-BaCl₂)
11. Al-ox,
12. Fe-ox,
13. άζωτο N-1 ώρα,
14. το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (PMN),
15. Fe-ox/Fe-d.

Η αλληλοσυσχέτιση των 15 παραμέτρων παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5

Πίνακας 6.5 Συντελεστές Συσχέτισης των 15 εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών

	BD	pH	TKN	<2 μm	<53μm	>1000μm	K-BaCl2	eCEC	BS_Na-BaCl2	Al-ox	Fe-ox	Fe-ox/F-d	N-1hour	PMN
WSA-250	-0.569	0.54	0.636	0.594	0.744	-0.828	0.598	0.813	-0.723	0.605	0.523	0.495	0.534	0.539
BD		-0.459	-0.637	-0.067	-0.256	0.386	-0.033	-0.46	0.497	-0.619	-0.38	-0.133	-0.515	-0.593
pH			0.474	0.395	0.446	-0.557	0.385	0.728	-0.689	0.245	0.161	0.389	-0.029	0.43
TKN				0.175	0.555	-0.558	0.29	0.715	-0.371	0.736	0.53	0.363	0.626	0.703
<2 μm					0.768	-0.667	0.724	0.599	-0.459	0.192	0.207	0.224	0.136	-0.067
<53μm						-0.874	0.605	0.687	-0.474	0.476	0.33	0.43	0.388	0.258
>1000μm							-0.626	-0.683	0.556	-0.468	-0.438	-0.526	-0.422	-0.332
K-BaCl2								0.711	-0.478	0.181	0.408	0.538	0.328	0.187
eCEC									-0.76	0.564	0.508	0.602	0.443	0.587
BS_Na-BaCl2										-0.396	-0.331	-0.547	-0.279	-0.486
Al-ox											0.751	0.276	0.661	0.557
Fe-ox												0.486	0.748	0.596
Fe-ox/F-d													0.454	0.491
N-1hour														0.649

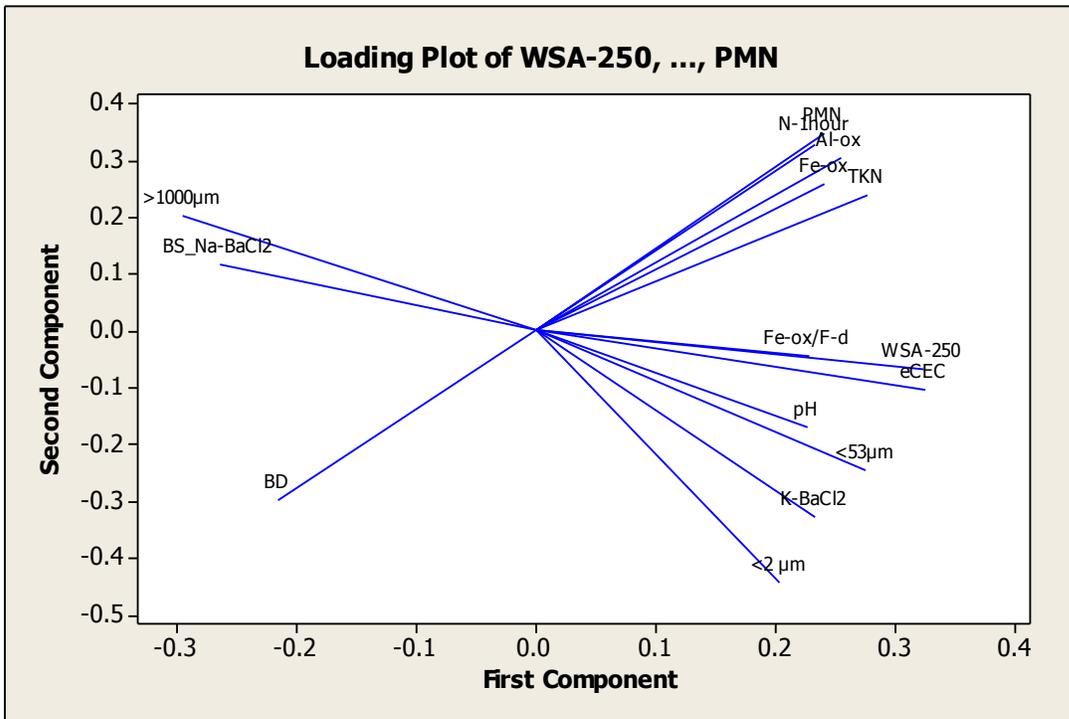
Η ιδιοτιμή συσχέτισης (Eigenvalue) βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη από 1 για τρία συστατικά στην ανάλυση κύριων συνιστωσών (Πίνακας 6.6). Το βάρος φόρτισης από τις τρεις πιο σημαντικές παραμέτρους παρουσιάζετε στον πίνακα 6.7 και στα διαγράμματα 6.1 και 6.3. Στα διαγράμματα φόρτισης (loading plots), οι θετικά και οι αρνητικά συσχετιζόμενες μεταβλητές τοποθετούνται κοντά η μία στην άλλη, ή απέναντι, αντίστοιχα. Στα αθροιστικά διαγράμματα (score plots) (Σχήμα 6.2 και 6.4) τα δείγματα που παρουσίασαν υψηλή τιμή σε μια συγκεκριμένη μεταβλητή τραβηχτήκαν προς την περιοχή του διαγράμματος, όπου βρίσκεται αυτή η μεταβλητή.

Πίνακας 6.6 Ιδιοτιμή, Αναλογική και Συσσωρευτική συνεισφορά των συνηστωσών για την PCA.

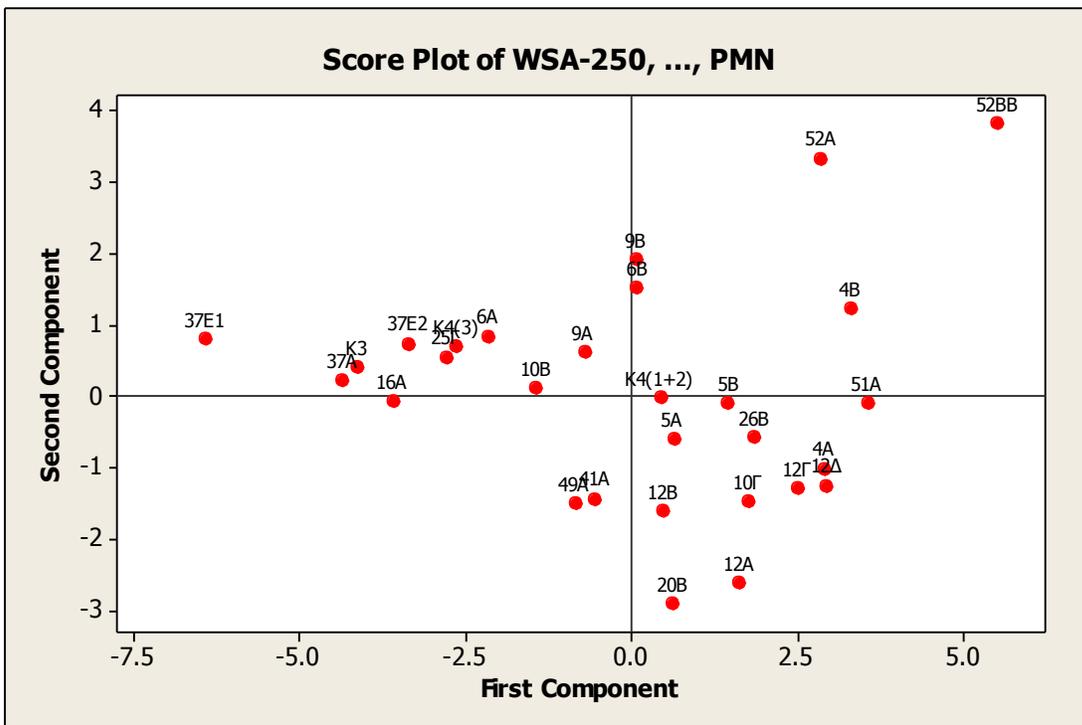
	Eigenvalue (Ιδιοτιμή)	Proportion (Αναλογικά)	Cumulative (Συσσωρευτικά)
1	7.9166	0.528	0.528
2	2.3497	0.157	0.684
3	1.3384	0.089	0.774
4	1.0369	0.069	0.843
5	0.5544	0.037	0.88
6	0.4642	0.031	0.911
7	0.3948	0.026	0.937
8	0.2759	0.018	0.955
9	0.2258	0.015	0.97
10	0.179	0.012	0.982
11	0.096	0.006	0.989
12	0.0802	0.005	0.994
13	0.0403	0.003	0.997
14	0.0286	0.002	0.999
15	0.0192	0.001	1

Πίνακας 6.7 Τα τρία βασικά συστατικά στην PCA.

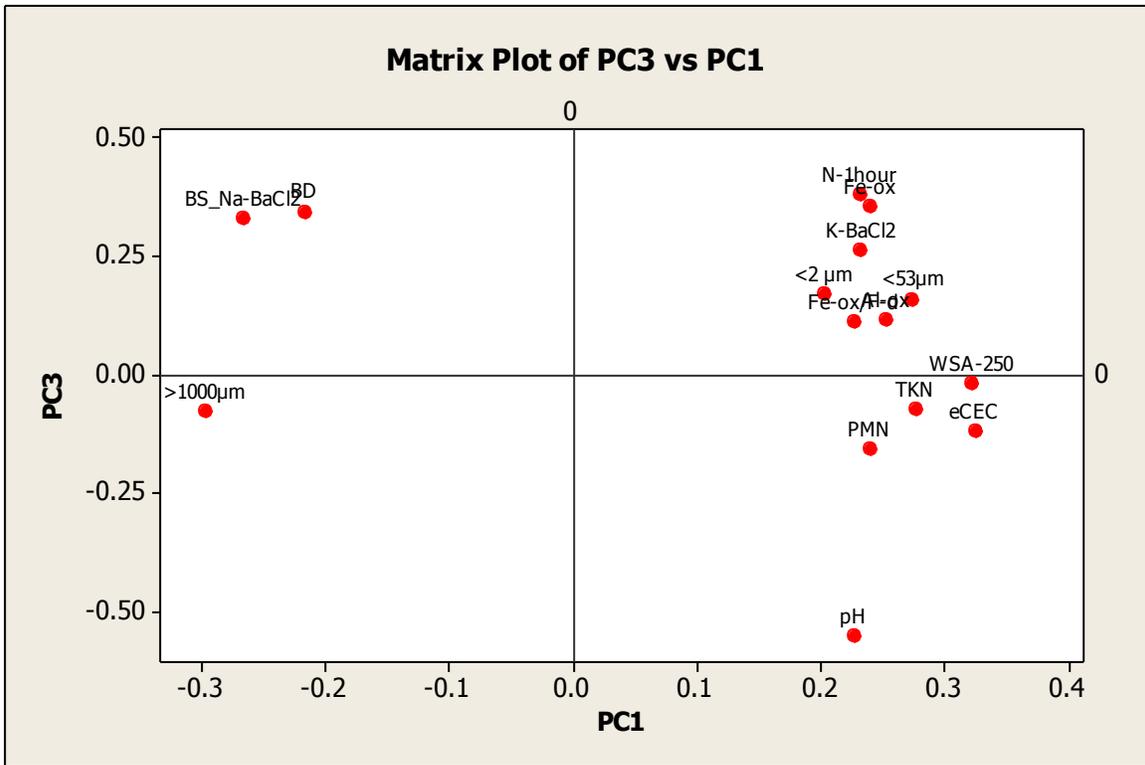
Μεταβλητή	PC1		PC2		PC3
eCEC	0.325	PMN	0.348	N-1hour	0.381
WSA-250	0.323	N-1hour	0.328	Fe-ox	0.354
TKN	0.277	Al-ox	0.303	BD	0.344
<53μm	0.275	Fe-ox	0.258	BS_Na-BaCl2	0.328
Al-ox	0.254	TKN	0.238	K-BaCl2	0.261
Fe-ox	0.241	>1000μm	0.201	<2 μm	0.17
PMN	0.24	BS_Na-BaCl2	0.116	<53μm	0.159
K-BaCl2	0.233	Fe-ox/F-d	-0.044	Al-ox	0.115
N-1hour	0.233	WSA-250	-0.067	Fe-ox/F-d	0.111
Fe-ox/F-d	0.228	eCEC	-0.105	WSA-250	-0.021
pH	0.227	pH	-0.169	TKN	-0.073
<2 μm	0.203	<53μm	-0.247	>1000μm	-0.08
BD	-0.216	BD	-0.299	eCEC	-0.121
BS_Na-BaCl2	-0.265	K-BaCl2	-0.329	PMN	-0.158
>1000μm	-0.296	<2 μm	-0.445	pH	-0.552



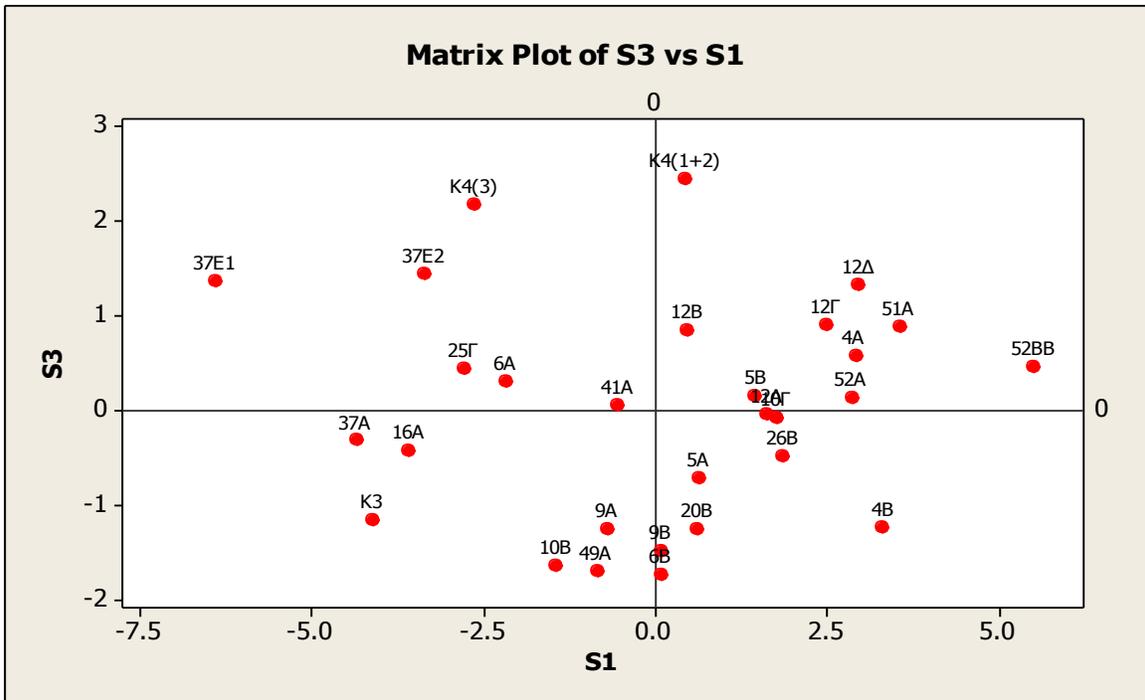
Διάγραμμα 6.1 Διάγραμμα φόρτισης πρώτου-δεύτερου συστατικού στην PCA.



Διάγραμμα 6.2 Αθροιστικό διάγραμμα πρώτου-δεύτερου συστατικού στην PCA.



Διάγραμμα 6.3 Διάγραμμα φόρτισης πρώτου-τρίτου συστατικού στην PCA.



Διάγραμμα 6.4 Αθροιστικό διάγραμμα πρώτο-τρίτου συστατικού στην PCA.

Το πρώτο κριτήριο περιγράφει το 53% της διακύμανσης (Πίνακας 6.6) και διαχωρίζει σαφώς τους δύο εδαφικές ομάδες. Από τα 29 δείγματα, ένα θεωρήθηκε ως ακραία τιμή της Ομάδας-2 (52BB). Η Ομάδα 1 συγκέντρωσε 12 δείγματα εδάφους ενώ η Ομάδα 2 συγκέντρωσε 16 δείγματα εδάφους (οι μέσες τιμές και τα στατιστικά στοιχεία των παραμέτρων του εδάφους από τις δύο ομάδες παρουσιάζονται στον πίνακα 6.8). Τα εδάφη της Ομάδας-1 χαρακτηρίστηκαν, σε σύγκριση με την Ομάδα-2 από αμμώδη υφή, πιο χοντρή άμμο ($22,5 \pm 10,9\%$ έναντι $8,5 \pm 8,3$), μικρότερη περιεκτικότητα σε άργιλο-ιλύ ($48,6 \pm 13,2\%$ έναντι $66,9 \pm 12,3\%$) καθώς και μικρότερη περιεκτικότητα σε άργιλο ($13,8 \pm 4,9\%$ έναντι $25,7 \pm 9,4\%$), υψηλότερη φαινόμενη πυκνότητα, BD ($1,18 \pm 0,09$ έναντι $1,11 \text{ g/cm}^3 \pm 0,08 \text{ g/cm}^3$), χαμηλότερο ποσοστό μακρο-συσσωματωμάτων ($33,8 \pm 14,0\%$ έναντι $64,4 \pm 11,6$), χαμηλότερη περιεκτικότητα σε ολικό άζωτο TKN ($0,16 \pm 0,06\%$ έναντι $0,30 \pm 0,09$), χαμηλότερο pH ($6,45 \pm 1,10$ έναντι $7,43 \pm 0,81$). Επιπλέον, εμφάνισαν χαμηλότερη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ECEC ($2,55 \pm 1,84$ έναντι $8,61 \pm 1,57 \text{ cmol / kg}$) και K ($0,15 \pm 0,09$ έναντι $0,58 \pm 0,32 \text{ cmol/kg}$), που εξήχθησαν από την εκχύλιση με BaCl_2 και υψηλότερο βαθμό κορεσμού σε νάτριο ($1,55 \pm 1,22\%$ έναντι $0,31 \pm 0,12\%$). Οι τιμές $\text{NH}_3\text{-N}$ από εκχύλιση με KCl, μετά από 1-ώρα επώαση στους 20°C ($5,9 \pm 3,1 \text{ MGN / kg}$ έναντι $10,2 \pm 3,6 \text{ MGN / kg}$) και το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο PMN ($54,2 \pm 21,1 \text{ MGN / kg}$ έναντι $89,8 \pm 27,9 \text{ MGN / kg}$) βρέθηκαν να είναι χαμηλότερες στα εδάφη της Ομάδας-1 συγκρινόμενα με αυτά της Ομάδας-2. Τέλος, υπήρχαν ενδείξεις για χαμηλότερα ποσοστά αλουμινίου Al και σιδήρου Fe που εξήχθησαν με τη μέθοδο οξέως οξαλικού αμμωνίου και υψηλότερα ποσοστά αποσάθρωσης, όπως παρουσιάζετε από την χαμηλότερη αναλογία Fe-ox/Fe-d. Το εύρος των τιμών για τις εδαφικές παραμέτρους που υποδεικνύουν την ύπαρξη δυο διαφορετικών εδαφικών ομάδων παρουσιάζεται στον πίνακα 6.9.

Πίνακας 6.8 Μέση Τιμή, Τυπική Απόκλιση, Ελάχιστες και Μέγιστες τιμές των εδαφικών παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση PCA των δύο ομάδων όπως υποδεικνύονται από πρώτο συστατικό.

Παράμετροι	Μονάδες	GROUP-1				GROUP-2			
		mean	std	min	max	mean	std	min	Max
WSA-250	%	33.8	14.0	12.7	54.8	64.4	11.6	44.2	90.5
BD	g/cm ³	1.18	0.09	0.96	1.34	1.11	0.08	0.92	1.21
pH	-	6.45	1.10	4.70	8.13	7.43	0.81	4.72	8.10
TKN	%	0.16	0.06	0.08	0.30	0.30	0.09	0.14	0.49
<2 μm	%	13.8	4.9	7.1	22.7	25.7	9.4	9.5	38.4
<53μm	%	48.6	13.2	31.0	72.5	66.9	12.3	43.1	83.4
>1000μm	%	22.5	10.9	1.4	42.6	8.5	8.3	1.0	27.9
K-BaCl ₂	cmol/kg	0.15	0.09	0.01	0.30	0.58	0.32	0.11	1.05
eCEC	cmol/kg	2.55	1.84	0.53	6.01	8.61	1.57	5.97	10.75
BS_Na-BaCl ₂	%	1.55	1.22	0.33	3.91	0.31	0.12	0.18	0.64
Al-ox	%	0.23	0.15	0.09	0.61	0.57	0.37	0.06	1.26
Fe-ox	%	0.26	0.09	0.10	0.38	0.40	0.13	0.10	0.60
Fe-ox/F-d	-	0.46	0.29	0.16	0.95	0.71	0.21	0.29	1.06
N-1hour	mgN/kg	5.9	3.1	2.3	12.2	10.2	3.6	4.0	17.1
PMN	mgN/kg	54.2	21.1	20.3	93.1	89.8	27.9	37.1	143.0

Πίνακας 6.9 Οι τιμές για τις παραμέτρους του εδάφους όπως υποδεικνύονται από τις δύο ομάδες εδάφους.

Παράμετροι	Μονάδες	Group-2	Group-1	Αριθμός παραμέτρων που απαιτούνται για τις εξισώσεις παλινδρόμησης
WSA-250	%	>54.8	<44.2	
BD	g/cm ³	complex	complex	5
pH	%	complex	complex	5
TKN	%	>0.30	<0.14	5
>1000 μm	%	complex	>27.9	5
eCEC	cmol/kg	>6	<6	5
BS_Na-BaCl2	%	<0.33	>0.64	6
PMN	mgN/kg	>93.1	<37.1	6,7
<2 μm	%	>22.7	<9.5	8
N-1hour¹	mgN/kg	>12.2	complex	9
<53 μm	%	>72.5	<43.1	11
K-BaCl2	cmol/kg	>0.30	<0.11	11
Fe-ox	%	>0.41	complex	12
Al-ox	%	>0.61	complex	14
Fe-ox/F-d		complex	complex	14

1. δεν συνιστάται να χρησιμοποιήσετε αυτήν την παράμετρο για να ομαδοποιήσετε τα εδάφη λόγω του χαμηλού εύρους των διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων εδάφους που εγείρει αβεβαιότητες.

Τα εδάφη στην Ομάδα-1 ήταν από τις περιοχές όπου το μητρικό υλικό ήταν Σχιστόλιθοι, ή Μάργες με αμμώδη υφή και όξινο pH. Οι διαβρωμένοι Σχιστόλιθοι είναι γνωστό ότι έχουν επηρεάσει τα εδάφη της λεκάνης σε συγκεκριμένες περιοχές. Ωστόσο, σε αυτήν την ομάδα υπήρχαν ορισμένα εδάφη με αλκαλικό pH ή σημαντικά υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανοργανοποιησιμο άζωτο (TKN) συγκριτικά με το μέσο όρο της

ομάδας. Οι κύριοι παράγοντες που χαρακτηρίζουν την Ομάδα-1 είναι η χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC), η αμμώδης υφή και η χαμηλή περιεκτικότητα σε άργιλο. Όλα τα εδάφη της Ομάδα-1 προέρχονται από υψόμετρο κάτω των 550 μ., όπου υπάρχουν Σχιστόλιθοι και Μάργες. Τα δείγματα εδάφους που συγκεντρώνονται στην Ομάδα-1 που βρέθηκαν στην περιοχή ταυτοποιούνται στις ελληνικές ταξινομικές ομάδες του εδάφους: Καφέ και καφέ-κόκκινα αλκαλικά Μεσογειακά εδάφη. Σύμφωνα με τον FAO τα εδάφη με Σχιστόλιθους είναι πετρωλιθικά εδάφη με βάση κορεσμού >50% eutric Lithosols (Σχήμα 6.2). Τα εδάφη στην Ομάδα-2 ως επί το πλείστον προέρχονται είτε από την αλλουβιακή πεδιάδα και από ορισμένες αλκαλικές μάργες (calcaric), το έδαφος έχει ασβεστολιθικό υλικό μεταξύ 20 και 50 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους ή στα 20 εκατοστά και έχει ενοποιημένο πέτρωμα -βράχο- ή σκληροποιημένο στρώμα, οποιοδήποτε από τα δυο είναι πιο ρηχό, είτε από την ημιορεινή περιοχή που βρίσκονται οι Ασβεστόλιθοι Τρυπαλίου. Τα περισσότερα εδάφη ήταν καλλιεργήσιμες εκτάσεις, με ελαιώνες ή πορτοκαλιές (σε υψόμετρο 9-465 m) συμπεριλαμβάνονται επίσης θαμνώδεις εκτάσεις σε ασβεστολιθικά εδάφη (582-1098 μ.). Τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως calcaric Regosols (ασβεστολιθικά εδάφη όπου το μητρικό υλικό είναι μη ενοποιημένο, λεπτό-κοκκώδες υλικό, και συχνά εμφανίζει αθροίσεις ανθρακικού ασβεστίου, ή γύψου) και calcaric Lithosols (ασβεστολιθικά-πετρωλιθικά εδάφη), αντίστοιχα, σύμφωνα με την κατάταξη του FAO σε συνδυασμό με ασβεστολιθικές καφέ ρεντζίνες (rendzines) των εδαφών της Μεσογείου και τις καφέ ρεντζίνες του εδάφους σύμφωνα με την ελληνική ταξινόμηση (Σχήμα 6.2). Όλα τα εδάφη της Ομάδας-1 και έξι από τα δεκαέξι εδάφη της Ομάδας-2 παρουσίασαν WSA>250 κάτω από την οριακή τιμή του 60% που υποδηλώνει τα αγρονομικά πολύτιμα εδάφη (Banwart et al., 2011).

Πολλαπλή Ανάλυση Παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των εξισώσεων όπου μέσω των παραμέτρων του εδάφους να μπορεί να γίνει πρόβλεψη των μακρο-συσσωματωμάτων (makro-WSA). Η Πολλαπλή Ανάλυση Παλινδρόμησης με χρήση όλων των παραμέτρων για όλα τα δείγματα εδάφους παρουσίασε τη χαμηλότερη προσαρμογή σε σύγκριση με την παλινδρόμηση για την κάθε ομάδα χωριστά και μόνο, ακόμα και όταν χρησιμοποιήθηκαν λιγότεροι παράμετροι (Πίνακας 6.10). Οι εξισώσεις που

αναπτύχθηκαν για την πρόβλεψη των WSA-250 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.11. Το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών (R-Sq) βρέθηκε να είναι μεγαλύτερο από 90% με ποσοστό ίσο ή μεγαλύτερο για 9 και 6 παραμέτρους σε συνδυασμό τόσο για την Ομάδα-2 όσο και για την Ομάδα-1, αντίστοιχα. Το περιεχόμενο των εδαφών σε μακρο-συσσωματώματα αποδίδετε ικανοποιητικά όπως φάνηκε από την Πολλαπλή Ανάλυση Παλινδρόμησης (R-Sq> 95%) όταν χρησιμοποιούνται 7 παράμετροι για την Ομάδα-1:

1. ξηρή φαινόμενη πυκνότητα (BD)
2. pH
3. ολικό άζωτο (TKN)
4. κόκκοι>1000μm,
5. ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ECEC)
6. βάση κορεσμού νατρίου BS_Na-BaCl₂
7. το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (PMN)

Η Εξίσωση που προκύπτει να είναι η καταλληλότερη για την πρόβλεψη στην ομάδα 1 είναι (Πίνακας 6.11) : $WSA-250 = 307 - 112 BD - 18.5 pH - 1.44 >1000\mu m + 10.9 eCEC + 0.190 PMN - 232 TKN + 6.49 BS_Na-BaCl_2$

Ικανοποιητική προσαρμογή δίνει και η εξίσωση με έξι παραμέτρους (R-Sq = 93%) χωρίς να χρησιμοποιείτε το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (PMN) που εργαστηριακά είναι αρκετά χρονοβόρα διαδικασία. Με εξίσωση (Πίνακας 6.11) : $WSA-250 = 301 - 112 BD - 16.4 pH - 200 TKN + 5.60 BS_Na-BaCl_2 - 1.46 >1000\mu m + 10.5 eCEC$

Για την Ομάδα-2 11 παράμετροι χρησιμοποιούνται με καταλληλότερη εξίσωση για την πρόβλεψη (Πίνακας 6.11) : $WSA-250 = 258 - 70.5 BD - 20.4 pH - 15.7 TKN - 2.14 >1000\mu m$

+ 6.98 eCEC - 22.2 BS_Na-BaCl₂ + 0.600 PMN - 0.574 <53μm + 1.34 <2 μm - 3.20 N-1hour - 19.9 K-BaCl₂.

1. φαινόμενη πυκνότητα (BD),
2. pH,
3. ολικό άζωτο (TKN),
4. κόκκοι > 1000 μm,
5. κόκκοι <53 μm,
6. κόκκοι <2 μm,
7. ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ECEC),
8. βάση κορεσμού νατρίου BS_Na-BaCl₂
9. το δυνητικά ανοργανοποιήσιμο αζώτο (PMN)
10. μέτρηση ανόργανου αζώτου (N) μετά από εκχύλιση με KCl (N-1hour)
11. K -BaCl₂.

Η εξίσωση με τις 11 παραμέτρους που αναπτύχθηκε έδωσε R-Sq 95%. Οι 11 παράμετροι απαιτούν την ίδια εργαστηριακή δουλειά, μετρήσεις, με τις 7 παραμέτρους. Οι περισσότερες μελέτες με σκοπό την πρόβλεψη της σταθερότητας των συσσωματωμάτων έχουν διερευνήσει μόνο την περιεκτικότητα του εδάφους σε συνολικό άνθρακα (SOC), ενώ οι λίγες μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει περισσότερες εδαφολογικές παραμέτρους, δεν έχουν καταφέρει να αποδώσουν υψηλή προβλεψιμότητα (Stamati, 2012).

Πίνακας 6.10 Στατιστικά στοιχεία της πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης όλων των δειγμάτων και της κάθε ομάδας ξεχωριστά.

Συνδιασμός ομάδας-1 και ομάδας-2 (28 δείγματα εδάφους)		S	R- Sq,%	R- Sq(adj),%
14	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2, Fe-ox, Al-ox, Fe-ox/F-d	8.676	90.8	80.8
12	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2, Fe-ox	8.221	90.4	82.8
11	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2	7.975	90.4	83.8
9	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour	7.542	90.3	85.5
8	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm	7.809	89.1	84.5
7	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN	7.622	89.0	85.2
6	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, PMN	7.482	88.9	85.7
6	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2	7.888	87.7	84.1
5	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC	7.933	86.9	84.0
ομάδα-2 (16 δείγματα εδάφους)				
14	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2, Fe-ox, Al-ox, Fe-ox/F-d	4.014	99.2	88.0
12	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2, Fe-ox	4.401	97.1	85.5
11	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour, <53 μm, K-BaCl2	4.934	95.2	81.8
9	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2 μm, N-1hour	4.707	93.4	83.5
8	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN, <2	6.232	86.5	71.0

	μm			
7	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN	7.461	77.9	58.5
6	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, PMN	7.984	71.5	52.4
5	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC	7.612	71.2	56.8
ομάδα-1 (12 δείγματα εδάφους)				
8	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, , PMN <2 μm	5.048	96.5	87.0
7	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2, PMN	4.566	96.1	89.4
6	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC, BS_Na-BaCl2	5.524	92.9	84.4
5	BD, pH, TKN, >1000μm, eCEC	6.197	89.3	80.4

*το δείγμα 52BB αποκλείστηκε από όλους τους υπολογισμούς ως ακραία τιμή

Πίνακας 6.11 Εξισώσεις που προέκυψαν από την πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης όλων των δειγμάτων και της κάθε ομάδας ξεχωριστά.

Συνδιασμός ομάδας-1 και ομάδας-2	
14	WSA-250 = 195 - 64.0 BD - 10.0 pH - 50.5 TKN - 0.092 <2 μm + 0.079 <53μm - 1.12 >1000μm - 1.9 K-BaCl2 + 3.98 eCEC - 1.73 BS_Na-BaCl2 + 0.6 Al-ox + 3.8 Fe-ox - 7.7 Fe-ox/F-d - 0.88 N-1hour + 0.180 PMN
12	WSA-250 = 204 - 73.6 BD - 10.7 pH - 38.8 TKN + 0.081 <2 μm + 0.058 <53μm - 1.04 >1000μm - 2.6 K-BaCl2 + 3.57 eCEC - 1.46 BS_Na-BaCl2 + 4.5 Fe-ox - 1.15 N-1hour + 0.186 PMN
11	WSA-250 = 205 - 71.7 BD - 10.7 pH - 38.1 TKN + 0.105 <2 μm + 0.023 <53μm - 1.08 >1000μm - 2.9 K-BaCl2 + 3.63 eCEC - 1.43 BS_Na-BaCl2 - 1.06 N-1hour + 0.187 PMN
9	WSA-250 = 207 - 72.5 BD - 10.7 pH - 31.4 TKN + 0.117 <2 μm - 1.07 >1000μm

	+ 3.31 eCEC - 1.76 BS_Na-BaCl2 - 1.14 N-1hour + 0.190 PMN
8	WSA-250 = 159 - 58.7 BD - 6.40 pH - 36.1 TKN + 0.076 <2 μm - 0.937 >1000μm + 2.82 eCEC - 1.69 BS_Na-BaCl2 + 0.124 PMN
7	WSA-250 = 163 - 59.5 BD - 6.52 pH - 39.5 TKN - 0.969 >1000μm + 3.04 eCEC - 1.56 BS_Na-BaCl2 + 0.116 PMN
6	WSA-250 = 167 - 65.4 BD - 6.42 pH - 49.8 TKN - 0.990 >1000μm + 3.39 eCEC + 0.129 PMN
6	WSA-250 = 159 - 55.2 BD - 6.19 pH - 13.4 TKN - 0.872 >1000μm + 2.89 eCEC - 3.43 BS_Na-BaCl2
5	WSA-250 = 169 - 69.0 BD - 5.85 pH - 32.2 TKN - 0.896 >1000μm + 3.74 eCEC
ομάδα-2	
14	WSA-250 = 258 - 122 BD - 18.9 pH - 70.3 TKN - 0.040 <2 μm + 0.684 <53μm - 2.02 >1000μm - 20.7 K-BaCl2 + 6.15 eCEC - 6.1 BS_Na-BaCl2 - 18.4 Al-ox + 83.0 Fe-ox + 7.5 Fe-ox/F-d - 4.38 N-1hour + 0.608 PMN
12	WSA-250 = 267 - 75.0 BD - 20.7 pH - 53.4 TKN - 2.21 >1000μm + 6.99 eCEC - 25.1 BS_Na-BaCl2 + 0.600 PMN - 0.192 <53μm + 0.672 <2 μm - 4.12 N-1hour - 20.4 K-BaCl2 + 30.4 Fe-ox
11	WSA-250 = 258 - 70.5 BD - 20.4 pH - 15.7 TKN - 2.14 >1000μm + 6.98 eCEC - 22.2 BS_Na-BaCl2 + 0.600 PMN - 0.574 <53μm + 1.34 <2 μm - 3.20 N-1hour - 19.9 K-BaCl2
9	WSA-250 = 190 - 81.7 BD - 13.4 pH + 2.8 TKN + 0.880 <2 μm - 1.43 >1000μm + 3.12 eCEC + 2.9 BS_Na-BaCl2 + 0.508 PMN - 1.91 N-1hour
8	WSA-250 = 94.2 - 46.9 BD - 6.26 pH + 25.5 TKN + 0.845 <2 μm - 1.10 >1000μm

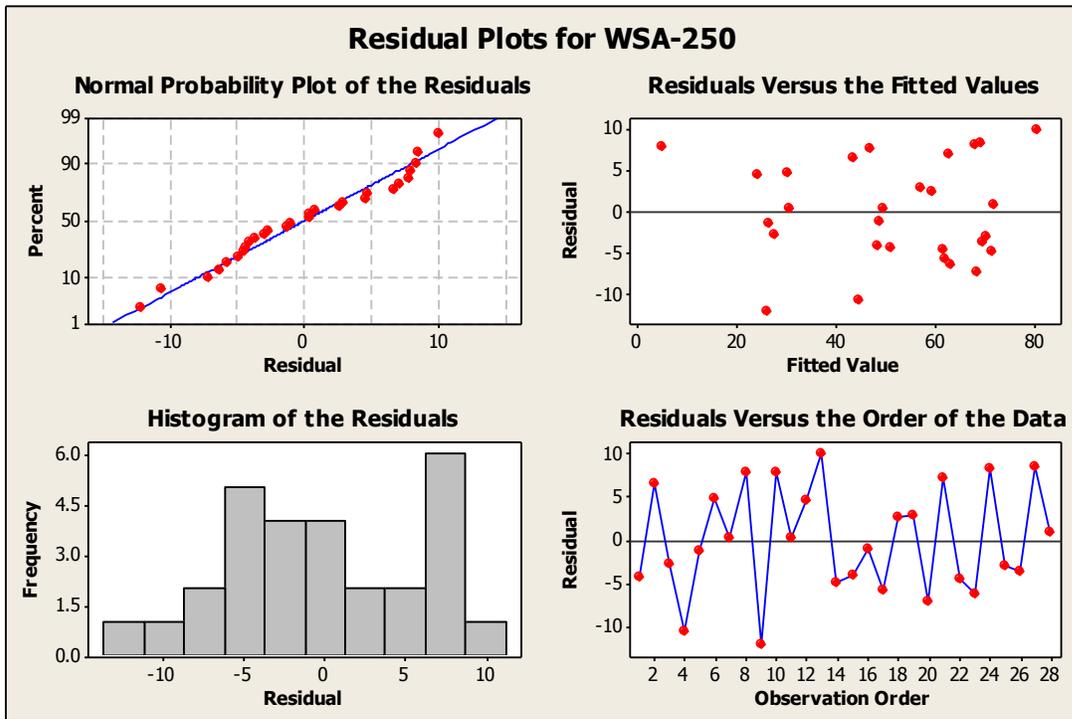
	+ 1.64 eCEC + 13.4 BS_Na-BaCl ₂ + 0.344 PMN
7	WSA-250 = 104 - 22.0 BD - 6.28 pH + 6.0 TKN - 1.35 >1000μm + 2.47 eCEC + 7.6 BS_Na-BaCl ₂ + 0.201 PMN
6	WSA-250 = 91.7 + 2.5 BD - 6.62 pH + 57.5 TKN - 0.895 >1000μm + 1.34 eCEC - 6.0 BS_Na-BaCl ₂
5	WSA-250 = 91.4 + 0.1 BD - 6.69 pH + 57.7 TKN - 0.903 >1000μm + 1.54 eCEC
ομάδα-1	
8	WSA-250 = 324 - 122 BD - 18.0 pH - 221 TKN - 1.51 >1000μm + 11.1 eCEC + 6.38 BS_Na-BaCl ₂ + 0.123 PMN - 0.355 <2 μm
7	WSA-250 = 307 - 112 BD - 18.5 pH - 1.44 >1000μm + 10.9 eCEC + 0.190 PMN - 232 TKN + 6.49 BS_Na-BaCl ₂
6	WSA-250 = 301 - 112 BD - 16.4 pH - 200 TKN + 5.60 BS_Na-BaCl₂ - 1.46 >1000μm + 10.5 eCEC
5	WSA-250 = 241 - 82.0 BD - 11.9 pH - 134 TKN - 1.25 >1000μm + 6.12 eCEC

Στον πίνακα 6.12 παρουσιάζονται οι εξισώσεις που τελικά επιλέχτηκαν για την πρόβλεψη των WSA-250 με R-Sq 95% για την ομάδα 1 R-Sq 93% για την ομάδα 2 και R-Sq 90% για τις 2 ομάδες μαζί.

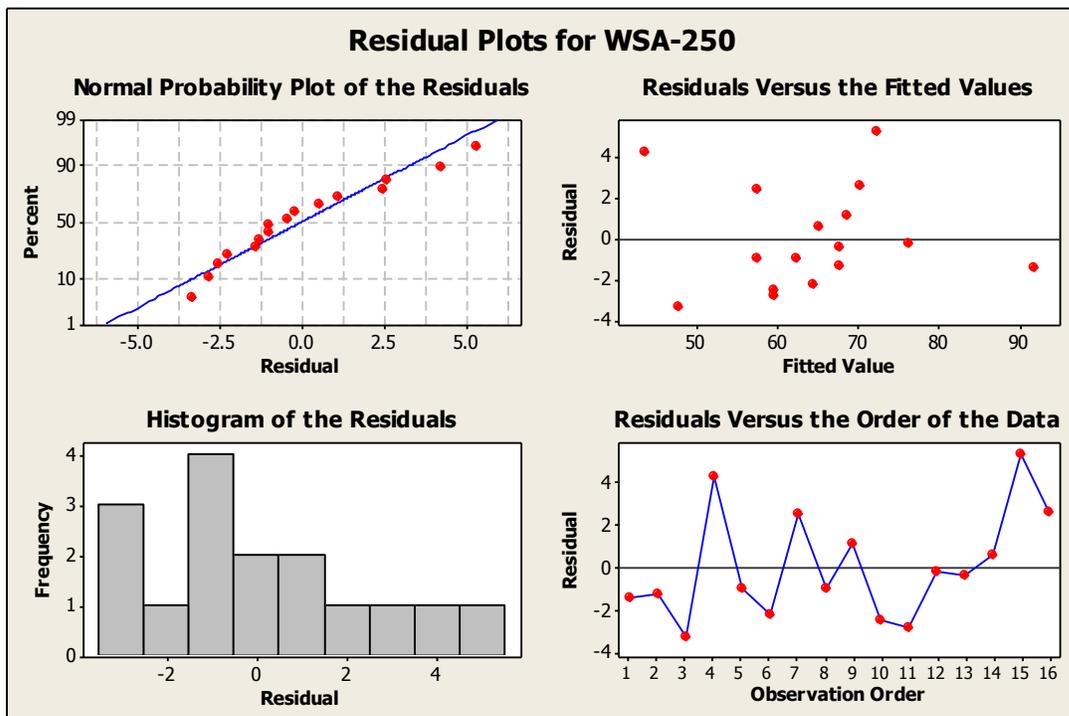
Πίνακας 6.12 Οι εξισώσεις που επιλέχθηκαν ότι δίνουν την καλύτερη προσαρμογή για την πρόβλεψη των **WSA-250** για κάθε ομάδα ξεχωριστά.

	Αριθμός παραμέτρων	Παράμετροι	Εξισώσεις
Ομάδα 1	6	BD, pH, TKN, >1000 μ m, eCEC, BS_Na-BaCl ₂	WSA-250 = 301 - 112 BD - 16.4 pH - 200 TKN + 5.60 BS_Na-BaCl ₂ - 1.46 >1000 μ m + 10.5 eCEC
Ομάδα 2	11	BD, pH, TKN, >1000 μ m, eCEC, BS_Na-BaCl ₂ , PMN, <2 μ m, N-1hour, <53 μ m, K-BaCl ₂	WSA-250 = 258 - 70.5 BD - 20.4 pH - 15.7 TKN - 2.14 >1000 μ m + 6.98 eCEC - 22.2 BS_Na-BaCl ₂ + 0.600 PMN - 0.574 <53 μ m + 1.34 <2 μ m - 3.20 N-1hour - 19.9 K-BaCl ₂
Ομάδα (1+2)	11	BD, pH, TKN, >1000 μ m, eCEC, BS_Na-BaCl ₂ , PMN, <2 μ m, N-1hour, <53 μ m, K-BaCl ₂	WSA-250 = 205 - 71.7 BD - 10.7 pH - 38.1 TKN + 0.105 <2 μ m + 0.023 <53 μ m - 1.08 >1000 μ m - 2.9 K-BaCl ₂ + 3.63 eCEC - 1.43 BS_Na-BaCl ₂ - 1.06 N-1hour + 0.187 PMN

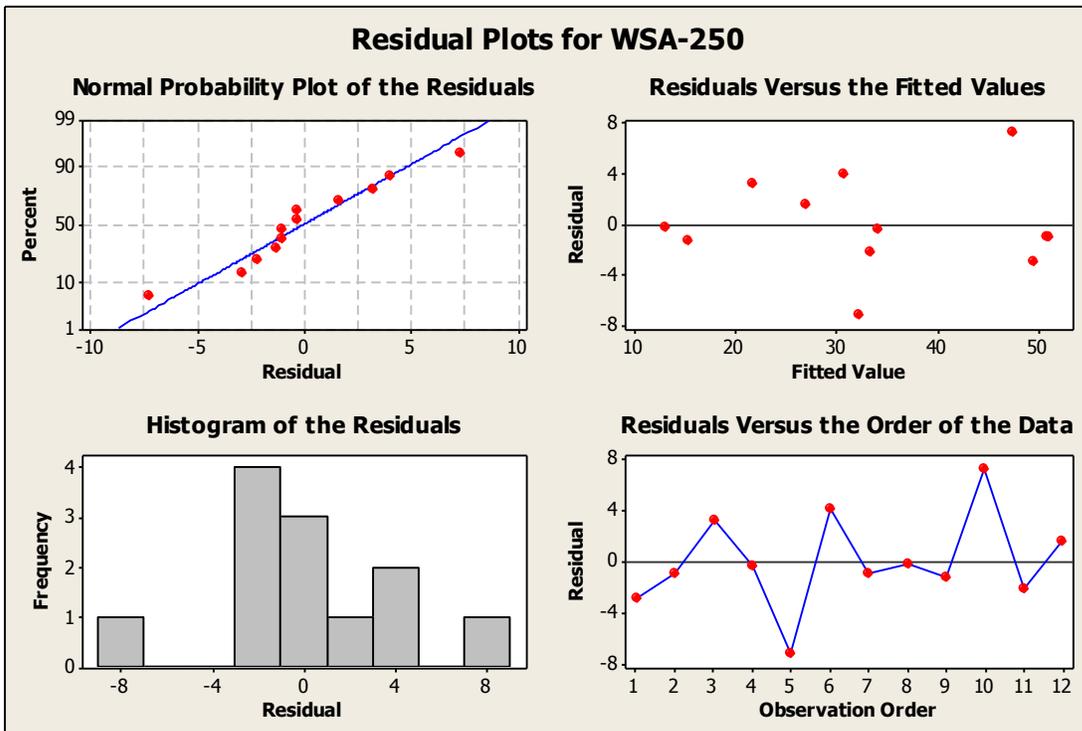
Ακλουθούν τα διαγράμματα όπου παρουσιάζονται λεπτομερή στοιχεία για τις εξισώσεις που επιλέχτηκαν. Το διάγραμμα 6.5 αφορά και τις δυο ομάδες μαζί το διάγραμμα 6.6 την ομάδα 2 και το διάγραμμα 6.7 την ομάδα 1. Στον πρώτο τομέα κάθε διαγράμματος εμφανίζεται μια προσεγγιστική γραμμική συσχέτιση που συμβαδίζει με την κανονική κατανομή, ακριβώς από κάτω ακολουθεί το ιστόγραμμα της κανονικής κατανομής. Ενώ πάνω και δεξιά παρουσιάζεται η διασπορά γύρω από την ανεξάρτητη μεταβλητή καθώς φαίνεται να μην ακολουθεί συγκεκριμένο μοτίβο αλλά να είναι τυχαία συμπεράνουμε ότι ένα γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης είναι κατάλληλο για τα δεδομένα μας.



Διάγραμμα 6.5 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης των δειγμάτων της Ομάδας-1 και της Ομάδας-2 για 11 παραμέτρους.



Διάγραμμα 6.6 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης για την Ομάδα-2 για 11 παραμέτρους.



Διάγραμμα 6.7 Πολλαπλή ανάλυση παλινδρόμησης για την Ομάδα-1 για 6 παραμέτρους.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της κατάστασης των εδαφών της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη. Πραγματοποιήθηκε μελέτη για τον καθορισμό των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν την συσσωμάτωση των εδαφών. Πραγματοποιήθηκε εκτενής δειγματοληψία εδαφών (29 δείγματα) βάσει της τυπολογίας των εδαφών με τη χρήση θεματικών χαρτών GIS (γεωλογικό υπόβαθρο, τύποι εδαφών, χρήσεις γης, και υψομετρική ζώνη). Τα δείγματα εδάφους χαρακτηρίστηκαν για περισσότερες από 30 παραμέτρους οι οποίες σύμφωνα με τη βιβλιογραφία σχετίζονται με τη συσσωμάτωση των εδαφών. Η ανάλυση κύριων συνιστωσών (principal component analysis) υπέδειξε ότι στη λεκάνη υπάρχουν δύο βασικές ομάδες εδαφών οι οποίες μπορούν να περιγραφούν επαρκώς με 15 εδαφικές παραμέτρους.

Τα εδάφη της πρώτης ομάδας προέρχονταν κυρίως από περιοχές όπου το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελούνταν από σχιστόλιθους και μάργες με αδρομερή υφή και όξινο pH και το υψόμετρο ήταν μικρότερο από 550 m. Τα εδάφη της δεύτερης ομάδας προέρχονταν από την αλλουβιακή πεδιάδα και από ημιορεινές περιοχές με ασβεστομάργες και μάργες με αλκαλικό pH. Τα περισσότερα εδάφη ήταν καλλιέργειες με ελιές (υψόμετρο 9-383 m) και μια υπο-ομάδα αποτελούνταν από θαμνώδεις εκτάσεις σε ασβεστόλιθους (υψόμετρο 592-1098 m).

Η πρώτη ομάδα εδαφών σε σχέση με τη δεύτερη χαρακτηριζόταν από σημαντικά μικρότερο ποσοστό μακρο-συσσωματωμάτων τα οποία βρέθηκε ότι σχετίζονται κυρίως από τη μικρότερη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (ΙΑΚ) του εδάφους και την πιο αδρομερή υφή τους (περισσότερη χονδρόκοκκη άμμος και μικρότερο ποσοστό αργίλου και ιλύος).

Το ποσοστό των μακρο-συσσωματωμάτων στο έδαφος περιγράφηκε με πολυκριτηριακή ανάλυση παλινδρόμησης από 6 παραμέτρους στην πρώτη ομάδα εδαφών: ξηρή πυκνότητα, pH, ολικό άζωτο, κόκκοι >1000μm, ΙΑΚ, και βαθμός κορεσμού σε Νάτριο και από 11 παραμέτρους στη δεύτερη ομάδα: ξηρή πυκνότητα, pH, ολικό άζωτο, κόκκοι >1000 μm, κόκκοι <53 μm, κόκκοι <2 μm, ΙΑΚ, ΔΑΑ, ανταλλάξιμο άζωτο, Κάλιο που εκχυλίστηκε με BaCl₂ και βαθμός κορεσμού σε Νάτριο.

Οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την πρόβλεψη της σταθερότητας των συσσωματωμάτων έχουν συσχετίσει τα συσσωματώματα μόνο με την εδαφική οργανική ύλη

(όπως παρουσιάζεται στην ανασκόπηση των Krull et al., 2004), ενώ λίγες μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει περισσότερες εδαφικές παραμέτρους δεν είχαν καταφέρει να πετύχουν υψηλή προβλεψιμότητα (π.χ. Chappell et al., 1999 και Idohu, 2011, και οι δύο εργασίες για τροπικά εδάφη). Οι Dimogiannis et al., (2008) συσχέτισαν την σταθερότητα των συσσωματωμάτων με 10 εδαφικές παραμέτρους για 10 εδαφικά δείγματα από την κεντρική Ελλάδα (Θεσσαλία), αλλά η εργασία τους δεν κατέληξε σε κάποια εξίσωση για την πρόβλεψη των συσσωματωμάτων.

Στην παρούσα εργασία με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για δειγματοληψία των εδαφών και τη σωστή επιλογή των εδαφικών παραμέτρων που εξετάστηκαν αναπτύχθηκαν εξισώσεις που μπορούν να περιγράψουν τη συσσωμάτωση των εδαφών πολύ ικανοποιητικά.

Ο βαθμός συσσωμάτωσης των εδαφών καθώς και οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν προέκυψε ότι είναι διαφορετικά σε διαφορετικούς τύπους εδαφών. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη με ίδια τυπολογία (όπως παρουσιάστηκε με τους θεματικούς χάρτες για την δειγματοληψία) και παρόμοιες κλιματικές συνθήκες, π.χ. από άλλες περιοχές της Κρήτης. Η μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιοχές αξιοποιώντας ακόμη την γνώση του ειδικού επιστήμονα για την επιλογή των εδαφικών παραμέτρων που θα εξεταστούν για την εκάστοτε περιοχή.

Η παρούσα εργασία μπορεί να συμπληρωθεί με την εξέταση του ρόλου της ορυκτολογικής σύστασης των αργίλων των εδαφών στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων και την σχέση της συσσωμάτωσης με τις εδαφικές παραμέτρους.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία μπορούν να αξιοποιηθούν από γεωστατιστικά εργαλεία ώστε να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή εδαφικών παραμέτρων, οι οποίες είναι ενδεικτικές της ποιότητας του εδάφους και να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για την εκτίμηση της ποιότητας/υποβάθμισης του εδάφους που θα συνδέει την κατάσταση των εδαφών με συγκεκριμένες λειτουργίες του εδάφους και απειλές που αυτό δέχεται. Με τη χρήση των γεωστατιστικών εργαλείων μπορεί ακόμη να μειωθεί ο απαιτούμενος αριθμός δειγμάτων για την επέκταση και εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ευρύτερη κλίμακα.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abiven, S., Menasseri, S., Angers, D.A., and Leterme, P., 2007. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials, *European Journal of Soil Science*, vol.58, p. 239-247.
2. Abiven, S., Menasseri, S., and Chenu, C., 2009. The effects of organic input over time on soil aggregate stability – a literature analysis, *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 41,p. 1-12.
3. Banwart, S., Bernasconi, S.M., Bloem, J., Blum, W., Brandao, M., Brantley, S., Chabaux, F., Duffy, C., Kram, P., Lair, G., Lundin, L., Nikolaidis, N., Novak, M., Panagos, P., Ragnarsdottir, K.V., Reynolds, B., Rousseva, S., de Ruyter, P., van Gaans, P., van Riemsdijk, W., White, T., Zhang, B., 2011. Assessing Soil Processes and Function in Critical Zone Observatories: hypotheses and experimental design. *Vadose Zone Journal* vol.10, pp 974-987.
4. Brantley S.L., Goldhaber M.B., Ragnarsdottir K.V., 2007. Crossing Disciplines and Scales to Understand the Critical Zone. *Mineralogical Society of America, Elements* vol.3 pp. 307-314.
5. Bissonnais Y., Arrouays D., 1997. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *European Journal of Soil Science*, vol. 48, p. 39-48
6. Bossuyt H., Six J., Hendrix P.F., 2005. Protection of soil carbon by microaggregates within earthworm casts. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 37, Issue 2, p. 251–258.
7. Burton, J., Chen, C., Xu, Z., Ghadiri, H., 2007. Soluble organic nitrogen pools in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia. *Soil Biology and Biochemistry* vol.39, p.2723–2734.
8. Chappell, N.A., Ternan, J.L., Bidin, K., 1999. Correlation of physicochemical properties and sub-erosional landforms with aggregate stability variations in a tropical ultisol disturbed by forestry operations. *Soil and Tillage Research* 50, 55–71.
9. Chenu C., Bissonnais Y., Arrouays D., 1999. Organic Matter Influence on Clay Wettability and Soil Aggregate Stability. *Soil Science Society of America Journal* Vol. 64 No. 4, p. 1479-1486.
10. Dalal, R.C., Bridge, B.J., 1996, Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils, M.R. Carter, B.A. Stewart, Editors , *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. *Advances in Soil Science*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL (1996), pp. 263–307.
11. Dimoyiannis, D.G., Tsadilas, C.D., Valmis, S., 2008. Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 29, 1239–1251.
12. Doran J., 2002. Soil health and global sustainability: translation science into practice. *USDA-ARS/UNL Faculty*, paper 181.
13. Douglas J.T., Goss M.J., 1982. Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil and Tillage Research* vol. 2, Issue 2, p. 155–175.
14. Elliott, E.T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* vol. 50, p. 627–633.

15. Fernandez-Ugalde O., Barré P., Hubert F., Virto I., Girardin C., Ferrage E., Caner L., Chenu C., 2012. To what extent clay mineralogy affect soil aggregation? Insights from fractionation analyses conducted on soils under different land-uses. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 14, EGU2012-6427.
16. Fotini Stamati, 2012, Ph.D. Dissertation: Carbon and Nitrogen Cycling in Agricultural Lands. Department of Environmental Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece.
17. Haynes R.J., Beare M.H., 1997. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 29, Issues 11–12, p. 1647–1653.
18. Helfrich M., Ludwig B., Potthoff M., Flessa H., 2008. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 40, Issue 7, p. 1823–1835.
19. Hendershot, W.H. and M. Duquette. 1986. A simple barium chloride method for determining cation exchange capacity and exchangeable cations. *Soil Biology and Biochemistry* vol. 50, p. 605-608.
20. Idowu, O.J., 2011. Relationships between aggregate stability and selected soil properties in Humid Tropical environment. *Commun. in Soil Science and Plant Analysis* 34, 695-708.
21. Jastrow J.D., Amonette J.E., Bailey V. L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic Change* vol. 80, Numbers 1-2, p. 5-23.
22. Kinyangi, J., 2007. Soil health and soil quality: a review. Draft publication. Available on: <http://www.cornell.edu.org>; Accessed on: www.worldagroinfo.org. Accessed 23 Dec 2011.
23. Kong A., Six J., Bryant D., Denison R. F., Kessel C., 2004. The Relationship between Carbon Input, Aggregation, and Soil Organic Carbon Stabilization in Sustainable Cropping Systems. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 69 No. 4, p. 1078-1085.
24. Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., and Nikolaidis, N.P. 2010. An integrated framework for the hydrologic simulation of a complex geomorphological river basin. *Journal of Hydrology* 381, 308-321.
25. Krull, E.S., Skjemstad, J.O., Baldock, J.A., 2004, Functions of Soil Organic Matter and the effect on soil properties. GRDC report, Project CSO 00029.
26. Lewandowski, A, Zumwinkle, M., Fish, A., 1999. Assessing the soil system: a Review of soil quality literature, Minnesota Department of Agriculture, Energy and Sustainable Agriculture, St. Paul, MN.
27. Moraetis, D., Efstathiou, D., Stamati, F.E., Tzoraki, O., Nikolaidis, N.P., Schnoor, J.P., Vozinakis, K. 2010. High frequency monitoring for the identification of hydrological and bio-geochemical processes in a Mediterranean river basin. *Journal of Hydrology* vol. 389, p. 127-136.
28. Moraetis, D., Stamati, F., Kotronakis, E., Fragia, T., Paranychnianakis, N. and Nikolaidis, N. P., 2011. Identification of hydrologic and geochemical pathways using high frequency sampling, REE aqueous sampling and soil characterization at Koiliaris Critical Zone Observatory. *Applied Geochemistry* vol. 26, S101-S104,
29. Nikolaidis, N.P., Bouraoui, F., Bidoglio, G., 2012. Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed, *Hydrology and Earth System Sciences* vol. 9, 1–27.
30. Nikolaidis, N.P., Chheda, P., Lackovic, J.A., Guillard, K., Simpson, B., Pedersen, T., 1999. Nitrogen mobility in biosolid-amended glaciated soils. *Water Environmental Resources* vol. 71, p. 368-376

31. Nikolaidis, N.P. and Bidoglio G., 2011. Modeling of Soil Organic Matter and Structure Dynamics: A Synthesis Review. *Geoderma* (submitted revisions).
32. Nikolaidis, N.P., 2011. Human impacts on soils: Tipping points and knowledge gaps. *Applied Geochemistry* vol. 26, S230–S233.
33. Oades J. M., 1978. Mucilages at the root surface. *Journal of Soil Science* vol. 29, Issue 1.
34. Oades J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil*, vol., p. 319–337.
35. Reeves D.W., 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil & Tillage Research* vol. 43, Issues. 1–2, p. 131–167.
36. Rillig M.C., 2012. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Science*. vol. 84, p. 355–363.
37. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Deneff K., 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics *Soil & Tillage Research* vol. 79 p. 7–31.
38. *Soil Sampling and Methods of Analysis*, M. R. Carter and E. G. Gregorich, Eds. CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton, Fla, USA, 2nd edition, 2008 pp. 71–80.
39. Tisdall J. M., Oades J. M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils *Journal of Soil Science*, vol.33, p.141-163.
40. Virto I., Barré P., Chenu C., 2008. Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale. *Geoderma* vol. 146, Issues 1–2, p. 326–335.
41. Winfried E. H. Blum, 2005. Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* vol. 4, No.3
42. Wright S.F., Upadhyaya A., 1998. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* vol. 198, p. 97–107.
43. Κουκουλάκης Π., Σιμώνης Α., Γκέρτσης Α., Η οργανική ουσία του εδάφους. Το πρόβλημα των ελληνικών εδαφών. ΕΚΔΟΣΕΙΣ: Σταμούλη Α.Ε. – 2000. ISBN: 960-351-310-5 Σελίδες: 491.

Διαδικτυακοί τόποι

- 1.<http://soils.usda.gov/use/worldsoils/papers/land-degradation-overview.html>
Eswaran, H., R. Lal and P.F. Reich. 2001, Land degradation: an overview, 2nd. International Conference on Land Degradation and Desertification, Khon Kaen, Thailand. Oxford Press, New Delhi, India.
- 2.<http://www.un.org/News/Press/docs/2009/gaef3242.doc.htm>
General Assembly GA/EF/3242 Sixty-fourth General Assembly Second Committee Panel Discussion (AM) United nations Food Production Must Double by 2050 to Meet Demand from World's Growing Population, Innovative Strategies Needed to Combat Hunger, Experts Tell Second Committee Panel Discussion Addresses 'New Cooperation for Global Food Security
- 3.<http://www.soiltrec.eu/site2.html>
- 4.http://www.infric.or.jp/english/KNF_Data_Base_Web/PDF_KNF_Conf_Data/C3-3-068.pdf D.L. Karlen, Effects of Soil and Crop Management Practices on Soil Quality
- 5.<ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/sb80e.pdf> FAO: The importance of Soil Organic Matter
- 6.http://www.csrees.usda.gov/funding/nri/highlights/2006_no4.pdf McCarthy, New mechanism of carbon sequestration in soils,
- 7.<http://www.koiliaris.tuc.gr/index.php>
- 8.<http://soilquality.org/basics/definitions.html> Soil Quality. Published Soil Quality Definitions

