



ΑΝΟΙΚΤΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΚΥΠΡΟΥ

# ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

### ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

#### ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Σχέσεις φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους και  
συσχετισμός Ελληνικών δεδομένων από το ευρωπαϊκό σχέδιο LUCAS*

*Κορέλης Ελευθέριος*

Επιβλέπων Καθηγητής  
Μπιλάλης Δημήτριος

Δεκέμβριος, 2015

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ**  
**ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

*Σχέσεις φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους και  
συσχετισμός Ελληνικών δεδομένων από το ευρωπαϊκό σχέδιο LUCAS*

Κορέλης Ελευθέριος

Επιβλέπων Καθηγητής  
Μπιλάλης Δημήτριος

Δεκέμβριος, 2015



## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>9</b>
1.1	Εισαγωγή.....	9
1.2	Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης.....	9
1.3	Σκοποί και στόχοι της μελέτης.....	10
<b>2</b>	<b>Δείκτες Ποιότητας του εδάφους, Βιβλιογραφία.....</b>	<b>12</b>
2.1	Δείκτες ποιότητας εδάφους: Μετρήσεις της λειτουργικής κατάστασης του εδάφους.....	12
2.2	Φυσικοί δείκτες.....	14
2.2.1	Σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους.....	14
2.2.2	Χωρητικότητα διαθέσιμου νερού.....	16
2.2.3	Φαινόμενη πυκνότητα.....	18
2.2.4	Διήθηση (Infiltration).....	20
2.2.5	Διαχωρισμός (Slaking).....	22
2.2.6	Επιφανειακές κρούστες.....	24
2.2.7	Δομή του εδάφους και μακροπόροι.....	25
2.3	Χημικοί δείκτες.....	27
2.3.1	Αντιδρών άνθρακας.....	27
2.3.2	Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.....	29
2.3.3	Νιτρικά του εδάφους.....	32
2.3.4	Εδαφικό pH.....	34
2.4	Βιολογικοί δείκτες.....	36
2.4.1	Γαιοσκώληκες.....	37
2.4.2	Σωματιδιακή οργανική ύλη.....	40
2.4.3	Δυνητικά ανοργανοποιησιμο άζωτο (PMN).....	41
2.4.4	Μεταβολικές ουσίες.....	43
2.4.5	Ένζυμα εδάφους.....	44
2.4.6	Αναπνοή εδάφους.....	49
2.4.7	Ολικός Οργανικός Άνθρακας.....	51
2.5	Ποιότητα εδάφους.....	55
2.5.1	Καλλιεργητικές πρακτικές και δείκτες ποιότητας του εδάφους.....	56
2.5.2	Διαχείριση δασών και δείκτες ποιότητας του εδάφους.....	59
2.5.3	Αλλαγές στη χρήση γης και ποιότητα του εδάφους.....	60

2.5.4	Αστική διαχείριση και δείκτες ποιότητας του εδάφους.....	61
2.5.5	Δείκτες ποιότητας του εδάφους που σχετίζονται απευθείας με την ανθρώπινη υγεία.	62
2.6	Συμπεράσματα .....	64
<b>3</b>	<b>Μεθοδολογία</b> .....	<b>66</b>
3.1	Σκοποί-Στόχοι-Ερευνητικά ερωτήματα.....	66
3.2	Μέθοδος συλλογής δεδομένων. ....	66
3.3	Ανάλυση δεδομένων.....	68
<b>4</b>	<b>Αποτελέσματα</b> .....	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>Συζήτηση - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις</b> .....	<b>78</b>
5.1	Συζήτηση .....	78
5.2	Περιορισμοί .....	81
5.3	Συμπεράσματα .....	82
5.4	Εισηγήσεις .....	82
<b>6</b>	<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές</b> .....	<b>84</b>
<b>7</b>	<b>Παραρτήματα</b> .....	<b>103</b>

## Περίληψη

**Εισαγωγή:** Η υγεία του εδάφους, που αναφέρεται επίσης ως ποιότητα του εδάφους, ορίζεται ως η συνεχιζόμενη ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί ως ένα ζωτικής σημασίας ζωντανό οικοσύστημα. Το έδαφος κατέχει τόσο εγγενείς όσο και δυναμικές ιδιότητες ή ποιότητες. Η υγεία του εδάφους αποτελεί την αξιολόγηση του πόσο καλά αυτό επιτελεί τις λειτουργίες του, με τη χρήση δεικτών, μετρήσιμων δηλαδή φυσικών, χημικών ή βιολογικών ιδιοτήτων, διαδικασιών ή χαρακτηριστικών του εδάφους.

**Σκοπός:** Σκοπός της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής, αποτελεί η δημιουργία ενός μοντέλου συσχέτισης του Οργανικού Άνθρακα του Εδάφους (OC), ως του παράγοντα μεγαλύτερης βαρύτητας για την πρόγνωση της ποιότητας του εδάφους, της αγροτικής αειφορίας και της ανθρώπινης υγείας, με άλλους δείκτες του εδάφους, που καταγράφονται ταυτόχρονα σε εδαφικά δείγματα της Ελληνικής Επικράτειας, ως μια εγγενής ιδιότητα του εδάφους. Στόχος είναι να αποτυπωθεί μαθηματικά η σχέση αυτή, με βάση τον πιο δόκιμο τρόπο, όπως αποτυπώνεται στην πρόσφατη βιβλιογραφία και να γίνει προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων, με βάση γνωστές σχέσεις του οργανικού άνθρακα, με άλλες ιδιότητες του εδάφους.

**Μεθοδολογία:** Τα προς ανάλυση στοιχεία εδάφους, προήλθαν από τη βάση δεδομένων της Μελέτης LUCAS, τα οποία έχουν προκύψει με ενιαίο και αξιόπιστο τρόπο. 491 δείγματα, από το πλήθος των δεδομένων της βάσης LUCAS, επιλέχθηκαν με τη βοήθεια του QGIS, που με βάση την γεωαναφορά τους, αντιστοιχούν στην Ελληνική Επικράτεια. Εξετάστηκαν ως προς τη γραμμική τους συσχέτιση μία σειρά από ανεξάρτητες μεταβλητές-ιδιότητες του εδάφους, χρησιμοποιώντας το συντελεστή γραμμική συσχέτισης του Pearson και, ακολούθως, η επίδρασή τους σε μία εξαρτημένη μεταβλητή, και συγκεκριμένα τον οργανικό άνθρακα (OC), χρησιμοποιώντας πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Η ανάλυση περιελάμβανε την κατανομή μεγέθους σωματιδίων, εκφρασμένη ως ποσοστό αργίλου, ιλύος, άμμου, όπως και το αδρό κλάσμα, το pH σε διάλυμα H<sub>2</sub>O και CaCl<sub>2</sub>, το περιεχόμενο σε CaCO<sub>3</sub>, την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC), το περιεχόμενο σε εξαγωγίμο φωσφόρο (P) και κάλιο (K), καθώς και το ολικό περιεχόμενο σε άζωτο (N).

**Αποτελέσματα:** Το μοντέλο που προκύπτει, μπορεί να εκτιμήσει με ποσοστό βεβαιότητας 73,3% τον άνθρακα του εδάφους (OC), από τη διακύμανση των ανεξάρτητων μεταβλητών ποσοστό αργίλου, ιλύος, άμμου, pH σε διάλυμα H<sub>2</sub>O, περιεχόμενο σε CaCO<sub>3</sub>, σε εξαγωγίμο P και K και της CEC.

**Συμπεράσματα:** Αν και το παρόν μοντέλο, μπορεί να ερμηνεύσει σε υψηλό ποσοστό τη διακύμανση του οργανικού άνθρακα, σε σχέση με αριθμό δεικτών εδάφους, υποδεικνύοντας μια εγγενή συσχέτισή του OC με διαφορές παραμέτρους τους εδάφους, δεν περιλαμβάνει βιολογικούς δείκτες, δεν αναφέρεται σε διαφορετικές χρήσεις γης, αλλά και στη διαθεσιμότητα του νερού και τις κλιματολογικές συνθήκες, που συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των επιπέδων του άνθρακα στο έδαφος. Μια επέκταση της ανάλυσης στο σύνολο των Ευρωπαϊκών δεδομένων, θα βοηθούσε να εξαληφθούν διακυμάνσεις που οφείλονται σε εξωτερικούς παράγοντες, αλλά και παράμετροι που σχετίζονται με τη χρήση του εδάφους ή το γεωγραφικό εντοπισμό.

## Summary

**Background:** Soil health, also referred to as soil quality, is defined as the continued capacity of soil to function as a vital living ecosystem. Soil possesses both inherent and dynamic properties, or qualities. Understanding soil health means the assessing of its optimal functionality, by the use of indicators, as measurable physical, chemical, and biological properties, processes, or characteristics of soil.

**Aim:** The purpose of the current post-graduate dissertation, is the formulation of a correlation model of the Soil Organic Carbon (SOC), as the factor with the most important impact for the prediction of soil quality, agricultural sustainability and human health, with other soil indicators, monitored simultaneously in soil samples of the Greek Domain, as an inherent quality. The aim is that this relationship be reflected mathematically, in the most appropriate manner, according to the most recent literature and an attempt is made for the results interpretation, according to known relationships between Organic Carbon with other soil parameters.

**Methods:** Data to be analysed will derive from the LUCAS survey database, that have been obtained with a uniform and standardized manner. 491 out of the entire samples tank of LUCAS database, where isolated with the application of QGIS, that, according to their georeference, correspond to the Greek Domain. A number of soil independent variables were examined for their correlation, according to the Pearson's coefficient of linear regression and, subsequently, for the dependent variable Organic Carbon, with the use of multiple linear regression. The analysis will include the particle size distribution, expressed as the percentage of clay, slit, sand and the coarse fragment, pH in H<sub>2</sub>O or CaCl<sub>2</sub> solution, the CaCO<sub>3</sub> content, the Cation Exchange Capacity (CEC), phosphorus (P) and potassium (K) content, and the total Nitrogen content (N).

**Results:** The current model can predict the 73,3% of the variance of the measured soil Organic Carbon (OC), from the correlation with the independent variables percentage of clay, slit, sand, pH in H<sub>2</sub>O solution, content in CaCO<sub>3</sub>, extractable P, K and CEC.

**Conclusions:** Although the current model may interpret at a high degree the variability of the soil's Organic Carbon relevant to a number of other indicators, suggesting its inherent correlation with various soil's parameters, it does not include biological indicators, nor does incorporate different land uses or known contributors to soil's organic carbon, such as water availability and climate. A further analysis of the total European dataset, would help eliminate the fluctuation relevant to external factors and factors related to land use or geographic localization.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Μπιλάλη Δ. επιβλέποντα Καθηγητή της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής, για την καθοδήγηση και υποστήριξή του, καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.



## Εισαγωγή.

### 1.1 Εισαγωγή.

Η υγεία του εδάφους, που αναφέρεται επίσης ως ποιότητα του εδάφους, ορίζεται ως η συνεχιζόμενη ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί ως ένα ζωτικής σημασίας ζωντανό οικοσύστημα, που συντηρεί τα φυτά, ζώα και ανθρώπους. Το υγιές έδαφος επιτελεί κρίσιμες λειτουργίες, όπως η συνεισφορά στη ρύθμιση των υδάτινων σωμάτων, στη διατήρηση της ζωής των φυτών και ζώων, στο φιλτράρισμα και στη συγκράτηση πιθανών μολυντών, στην ανακύκλωση των θρεπτικών και παρέχοντας φυσική σταθερότητα και υποστήριξη.

Το έδαφος κατέχει τόσο εγγενείς όσο και δυναμικές ιδιότητες ή ποιότητες. Η εγγενής ποιότητα του εδάφους είναι η φυσική ικανότητά του να λειτουργεί, χαρακτηριστικά που δε μεταβάλλονται εύκολα. Η δυναμική ποιότητα του εδάφους, περιγράφει το πως αυτό αλλάζει, ανταποκρινόμενο στη διαχείρισή του.

Η υγεία του εδάφους αποτελεί την αξιολόγηση του πόσο καλά αυτό επιτελεί τις λειτουργίες του και πως αυτές διατηρούνται για μελλοντική χρήση. Η υγεία του εδάφους δε μπορεί να καθοριστεί μετρώντας μόνο την παραγωγή, την ποιότητα του νερού, ή οποιαδήποτε άλλη ανεξάρτητη έκβαση. Δε μπορεί επίσης να μετρηθεί άμεσα και έτσι καταφεύγουμε στην αξιολόγηση δεικτών.

Οι δείκτες αποτελούν μετρήσιμες ιδιότητες του εδάφους ή των φυτών, που παρέχουν στοιχεία για τη λειτουργία του εδάφους. Οι δείκτες μπορεί να είναι φυσικές, χημικές ή βιολογικές ιδιότητες, διαδικασίες ή χαρακτηριστικά των εδαφών. Μπορεί επίσης να είναι μορφολογικά ή οπτικά χαρακτηριστικά των φυτών.

Οι δείκτες μπορεί να αξιολογηθούν με ποιοτικές ή ποσοτικές τεχνικές. Μετά τη συλλογή των μετρήσεων, μπορούν να αξιολογηθούν με την αναζήτηση προτύπων και τη σύγκριση αποτελεσμάτων με μετρήσεις που λαμβάνονται σε διαφορετικό χρόνο ή χώρο.

### 1.2. Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης.

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πολλοί διαφορετικοί δείκτες, χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα για την αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους (Soil Quality, SQ), από πολλούς ερευνητές. Η σύγχρονη τάση όμως είναι ο συνδυασμός τους, σε μοντέλα ή εκφράσεις όπου εμπλέκονται ποικίλες παράμετροι. Αυτές οι σχέσεις καλούνται δείκτες ποιότητας του εδάφους (soil quality indices, SQI), που μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό τάσεων της SQ και έτσι να υποδείξουν αν μία ή περισσότερες αλλαγές στις πρακτικές είναι απαραίτητες (Karlen και συν., 2001).

Για την αναγνώριση των στόχων διαχείρισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το εργαλείο για την αξιολόγηση της διαχείρισης του εδάφους, που ανέπτυξαν οι Andrews και συν. (2004) (soil management assessment framework), ενώ με ανάλυση κύριων συστατικών (Principal component analysis, PCA) μπορούν να ανγνωριστούν οι παράμετροι μεγαλύτερης βαρύτητας (Govaerts και συν., 2006; Qi και συν., 2009). Στη συνέχεια οι παράμετροι μπορούν να βαθμονομηθούν ως προς την ειδική τους βαρύτητα και είτε να ενσωματωθούν σε ένα αθροιστικό δείκτη ποιότητας (Bastida και συν., 2006; Mastro και συν., 2008), ή εναλλακτικά, να εφαρμοστεί η ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για την ανάπτυξη ενός μοντέλου, που αξιολογεί την ποιότητα του εδάφους (de Paul Obade και Lal, 2016).

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (Soil Organic Carbon, SOC), έχει προταθεί ως ο πιο σημαντικός, ανεξάρτητος δείκτης της SQ και της αγροτικής αειφορίας, επειδή επηρεάζει τις περισσότερες ιδιότητες του εδάφους (Agius και συν., 2005), ενώ αποτελεί, βιβλιογραφικά, τον πιο πολυχρησιμοποιούμενο δείκτη για την αξιολόγηση της SQ, ακολουθούμενος από το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τα θρεπτικά (δείκτες της γονιμότητας του εδάφους) (Zornoza, 2015).

Αν και πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί σε τοπική κλίμακα, για να περιγράψουν σε συνδυασμένες σχέσεις επιλεγμένων φυσικών, χημικών ή βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους, την ανταπόκριση της ποιότητας του εδάφους, στις πρακτικές διαχείρισης, τα μοντέλα που προκύπτουν έχουν χρησιμότητα περιοριζόμενη στις συνθήκες και το χώρο διεξαγωγής της μελέτης. Μεγαλύτερου γεωγραφικού εύρους μελέτες, θα μπορούσαν να αξιολογήσουν, την εγγενή ποιότητα του εδάφους, όπως αποτυπώνεται με τη συσχέτιση του οργανικού άνθρακα του εδάφους, ως συνάρτηση άλλων χαρακτηριστικών και παραμέτρων του εδάφους.

### **1.3. Σκοποί και στόχοι της μελέτης.**

Σκοπός της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής, αποτελεί η δημιουργία ενός μοντέλου συσχέτισης του Οργανικού Άνθρακα (OC), ως του παράγοντα μεγαλύτερης βαρύτητας για την πρόγνωση της ποιότητας του εδάφους, της αγροτικής αειφορίας και της ανθρώπινης υγείας, με άλλους δείκτες του εδάφους, που

καταγράφονται ταυτόχρονα σε εδαφικά δείγματα της Ελληνικής Επικράτειας. Στόχος είναι να αποτυπωθεί μαθηματικά η σχέση αυτή, με βάση τον πιο δόκιμο τρόπο, όπως αποτυπώνεται στην πρόσφατη βιβλιογραφία και να γίνει προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων, με βάση γνωστές σχέσεις της οργανικής ύλης με άλλες ιδιότητες του εδάφους.

Ιδανικά, η Μεταπτυχιακή αυτή Διατριβή, θα μπορούσε να διερευνήσει, αν ο Οργανικός Άνθρακας του εδάφους (SOC), αποτελεί μια εγγενή ιδιότητα του εδάφους, που επηρεάζεται από δεδομένους δείκτες, ανεξάρτητα της βιολογικής δραστηριότητας, χρήσης γης και παραγωγής, ποιοί δείκτες δείχνουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην πρόγνωση της παρουσίας του άνθρακα στο έδαφος και ποια σχέση συνδέει κάθε ένα από τους δείκτες με τον Οργανικό Άνθρακα, αν υπάρχουν πιθανές ερμηνείες των σχέσεων των δεικτών με τον Οργανικό Άνθρακα και αν θα μπορούσε το εργαλείο αυτό, να έχει γενικότερο χαρακτήρα

Για τους σκοπούς αυτούς θα αναζητηθούν διαδικτυακά δεδομένα μεγάλης έκτασης που χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και εγκυρότητα των εργαλείων συλλογής, με στόχο την μαθηματική επεξεργασία των στοιχείων αυτών.

### Δείκτες Ποιότητας του εδάφους. Βιβλιογραφία.

#### 2.1. Δείκτες ποιότητας του εδάφους: Μετρήσεις της λειτουργικής κατάστασης του εδάφους.

Περιληπτικοί ορισμοί της ποιότητας του εδάφους περιλαμβάνουν την «καταλληλότητα για χρήση» και την «ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί». Συνδυάζοντάς τα, η ποιότητα του εδάφους είναι η ικανότητά του να επιτελεί τις λειτουργίες του, που είναι απαραίτητες για να εξυπηρετεί την προοριζόμενη χρήση του. Οι Doran και Parkin (1994) καθόρισαν την ποιότητα του εδάφους ως την ικανότητά του να λειτουργεί εντός των ορίων οικοσυστήματος και χρήσεων γης, για τη διατήρηση της βιολογικής παραγωγικότητας, τη διατήρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας και την προαγωγή της υγείας των φυτών και ζώων. Άλλοι την έχουν ορίσει ως την ικανότητα ή καταλληλότητα του εδάφους να υποστηρίξει την ανάπτυξη της παραγωγή, χωρίς να προκαλείται υποβάθμιση του εδάφους ή πρόκληση βλαβών στο περιβάλλον (Oliver και συν., 2013). Η ποιότητα του εδάφους αξιολογείται με βάση συγκεκριμένες λειτουργίες του εδάφους (Larson και Pierce, 1994). Επειδή οι λειτουργίες τους εδάφους δεν είναι άμεσα μετρήσιμες, επιλεγμένες φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση των χαρακτηριστικών ποιότητας των εδαφών, που σχετίζονται με συγκεκριμένους στόχους. Αυτές οι ιδιότητες του εδάφους, καλούνται δείκτες ποιότητας του εδάφους.

Οι λειτουργίες του εδάφους περιλαμβάνουν:

- τη διατήρηση της βιολογικής ποικιλότητας, δραστηριότητας και παραγωγικότητας,
- τη ρύθμιση της ροής του νερού και των θρεπτικών,
- τη διήθηση, τις ρυθμιστικές ιδιότητες και την αποικοδόμηση οργανικών και ανόργανων υλικών,
- την αποθήκευση και ανακύκλωση των θρεπτικών και του άνθρακα και
- την παροχή φυσικής σταθερότητας και υποστήριξης.

Η ποιότητα ενός εδάφους, ή η ικανότητά του να λειτουργεί, αξιολογείται με τη χρήση εγγενών και δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές λειτουργούν ως δείκτες της λειτουργικότητας του εδάφους, επειδή είναι δύσκολη η άμεση μέτρησή της και οι παρατηρήσεις μπορεί να είναι υποκειμενικές.

Οι εγγενείς, ή ανεξάρτητες της χρήσης, ιδιότητες του εδάφους, μεταβάλλονται ελάχιστα ή καθόλου με τη διαχείριση. Διαμορφώνονται στο πέρασμα χιλιάδων ετών και είναι το αποτέλεσμα κυρίως των διαμορφωτικών παραγόντων του εδάφους: του κλίματος, της τοπογραφίας, του μητρικού υλικού, των ζωντανών οργανισμών και του χρόνου. Παραδείγματα αποτελούν η υφή του εδάφους, ο τύπος της αργίλου, το βάθος του βραχώδους υποστρώματος και η κατηγορία απορροής.

Οι δυναμικές, ή εξαρτώμενες από τη διαχείριση ιδιότητες του εδάφους, επηρεάζονται από την ανθρώπινη διαχείριση και τη φυσική διαταραχή στην ανθρώπινη χρονική κλίμακα, π.χ. δεκαετίες έως αιώνες. Σημαντικές αλλαγές στις δυναμικές ιδιότητες του εδάφους μπορεί να συμβούν σε μία χρονιά ή καλλιεργητική περίοδο.

Οι δείκτες του εδάφους διαίρουνται συχνά σε Φυσικές, Χημικές ή Βιολογικές κατηγορίες, εξαρτώμενα από το πώς επηρεάζουν τη λειτουργικότητα του εδάφους. Παρόλα αυτά οι κατηγορίες αυτές δεν είναι καλά καθορισμένες, αφού μια ιδιότητα ή δείκτης του εδάφους, μπορεί να επηρεάσει πολλαπλές λειτουργίες του εδάφους ή κατηγορίες.

Μια μήτρα Λειτουργίας του εδάφους - Δείκτης (**Σχήμα 2.1**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή των κατάλληλων δεικτών για την αξιολόγηση μιας ιδιαίτερης λειτουργίας του εδάφους. Πρόσθετα, αν ένας δείκτης έχει ήδη μετρηθεί, η μήτρα αποκαλύπτει τη σχέση του δείκτη με άλλες ιδιότητες του εδάφους, μεγιστοποιώντας τη χρησιμότητα των συλλεχθέντων δεδομένων.

Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν τους δείκτες ποιότητας του εδάφους για να αξιολογήσουν τη λειτουργικότητά του, μιας και αυτή δεν είναι άμεσα μετρήσιμη. Η μέτρηση της ποιότητας του εδάφους, απαιτεί την αναγνώριση των ιδιοτήτων που ανταποκρίνονται στη διαχείριση, επηρεάζουν ή σχετίζονται με περιβαλλοντικές εκβάσεις και είναι δυνατόν να μετρηθούν επακριβώς, με συγκεκριμένους τεχνικούς και οικονομικούς περιορισμούς. Οι δείκτες ποιότητας του εδάφους μπορεί να είναι ποιοτικοί (π.χ. γρήγορη απορροή) ή ποσοτικοί (διήθηση = 2,5 in/hr).

Οι ιδανικοί δείκτες θα πρέπει (Doran και Parkin, 1996):

- να σχετίζονται ισχυρά με διαδικασίες των οικοσυστημάτων,
- να ενσωματώνουν φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες και διαδικασίες του εδάφους,
- να είναι προσβάσιμοι από πολλούς χρήστες,
- να είναι ευαίσθητοι στη διαχείριση και το κλίμα,
- να αποτελούν συστατικά υπαρχόντων βάσεων δεδομένων και
- να είναι ερμηνεύσιμοι.

Soil Quality Indicator	Soil Function				
	Sustain biological diversity, activity, and productivity "D"	Regulate and partition water and solute flow "W"	Filter, buffer, degrade, detoxify organic and inorganic materials "F"	Store and cycle nutrients and carbon "N"	Physical stability and support for plants and structures associated with human habitation "S"
Aggregate Stability <sup>a,c,f</sup>	★★	★★	—	★★	★★★
Available Water Capacity <sup>a,g</sup>	★★★	★★★	—	★★	—
Bulk Density <sup>a,h</sup>	★★★	★★★	—	★	★★★
Earthworms <sup>b,d</sup>	★★★	—	★★★	★★★	★★★
Infiltration <sup>b,e,i</sup>	—	★★	★	—	—
Particulate Organic Matter <sup>a,c</sup>	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
Potentially Mineralizable Nitrogen <sup>a,c</sup>	★★★	—	—	★★★	—
Reactive Carbon <sup>a</sup>	★★	★	★★★	★★	★★
Slaking <sup>b,e,i,j</sup>	★	★★★	—	—	—
Soil Crusts <sup>b,d</sup>	—	★★★	—	—	—
Soil Electrical Conductivity <sup>b</sup>	—	★★★	—	—	—
Soil Enzymes <sup>a</sup>	★★★	—	—	★★★	—
Soil Nitrate <sup>b</sup>	★	★	—	—	—
Soil pH <sup>b,d</sup>	★★	★★★	★★★	★★★	—
Soil Respiration <sup>a,b,c</sup>	★★★	—	★	★★★	★★
Soil Structure and Macropores <sup>b,d</sup>	★★	★★	★	★	★★
Total Organic Carbon <sup>a</sup>	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★

<sup>a</sup> laboratory/office method

<sup>b</sup> field method

<sup>c</sup> time consuming

<sup>d</sup> simple visual observation

<sup>e</sup> variability requires large sample number

<sup>f</sup> perhaps the most informative physical indicator

<sup>g</sup> important for drought prone areas

<sup>h</sup> important for weight to volume conversions, small sampling errors result in significant interpretation problems

<sup>i</sup> effective educational method

<sup>j</sup> qualitative

**Σχήμα 2.1.** Μήτρα Λειτουργίας του εδάφους - Δείκτης: όταν υπάρχει απευθείας σχέση μεταξύ της λειτουργίας και του δείκτη, η αυξανόμενη αξιοπιστία και ευκολία χρήσης της σχετικής μεθόδου αξιολόγησης, παρίσταται με αυξανόμενο αριθμό αστεριών (USDA, 2015).

Υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες δεικτών του εδάφους: χημικοί, φυσικοί και βιολογικοί. Τα τυπικά τεστ του εδάφους, εξετάζουν μόνο τους χημικούς δείκτες. Η ποιότητα του εδάφους ενσωματώνει και τους τρεις δείκτες. Οι κατηγορίες δεν ευθυγραμμίζονται πλήρως με τις ποικίλες λειτουργίες του εδάφους, έτσι η ολιστική θεώρησή τους είναι απαραίτητη.

## 2.2. Φυσικοί δείκτες.

### 2.2.1. Σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους.

Η σταθερότητα των συσσωματωμάτων αναφέρεται στην ικανότητα των συσσωματωμάτων να αντιστέκονται στην αποσύνθεση όταν διαταρακτικές δυνάμεις που σχετίζονται με την άρωση και τη διάβρωση νερού ή εδάφους εφαρμόζονται. Η υγρή σταθερότητα των συσσωματωμάτων αναφέρεται στην αντίσταση του εδάφους στη δράση της κατακρίμνησης και της διάβρωσης του νερού, ενώ η κατανομή μεγέθους των ξηρών συσσωματωμάτων, μπορεί να χρησιμεύσει στην πρόγνωση της αντίστασης στην απόξυση και τη διάβρωση του ανέμου.

Ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων αποτελούν το κυρίαρχο είδος και η ποσότητα της αργίλου, τα προσροφημένα κατιόντα, όπως το Ca και Na και το περιεχόμενο σε οξείδια του σιδήρου. Η έκταση και η συστολή των σωματιδίων της αργίλου κατά την απορρόφηση υγρασίας και τη ξήρανσή τους, μπορεί να μετατοπίσει και να προκαλέσει ρωγμές στη μάζα του εδάφους και να δημιουργήσει συσσωματώματα ή να τα διαχωρίσει. Το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο σίδηρος και το αργίλιο σταθεροποιούν τα συσσωματώματα, με το σχηματισμό γεφυρών οργανικής ύλης - αργίλου. Αντίθετα η σταθερότητα περιορίζεται με τις αυξανόμενες ποσότητες ανταλλάξιμου νατρίου. Η διασπορά προάγεται όταν ποσότητες νατρίου συσσωρεύονται μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους.

Στους δυναμικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, ανήκει η οργανική ύλη και η βιολογική δραστηριότητα στο έδαφος. Οι υφές μυκήτων, συγκολλούν τα σωματίδια για το σχηματισμό συσσωματωμάτων. Άλλοι οργανισμοί του εδάφους, όπως οι γεωσκώληκες, εκκρίνουν συνδετικά υλικά. Τα σωματίδια επίσης συγκολλώνται και σταθεροποιούνται από οργανικές κόλλες από τη βιολογική αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Η φυσική διαταραχή (π.χ. άρωση) επιταχύνει τους ρυθμούς αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, καταστρέφοντας τις υφές των μυκήτων και τα συσσωματώματα. Οι ζώντες οργανισμοί του εδάφους, δημιουργούν συσσωματώματα και τα χρησιμοποιούν ως ενδαίτημα ή καταφύγιο από τη θήρευση.

Αλλαγές στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων αποτελούν πρώιμους δείκτες ανάταξης ή υποβάθμισης του εδάφους. Αποτελεί δείκτη του περιεχομένου σε οργανική ύλη, της βιολογικής δραστηριότητας και της ανακύκλωσης των θρεπτικών στο έδαφος. Γενικά, τα σωματίδια σε μικρά συσσωματώματα (<0,25 mm) συνδέονται από παλιότερες και πιο σταθερές μορφές οργανικής ύλης. Η μικροβιακή αποσύνθεση πρόσφατης οργανικής ύλης, απελευθερώνει λιγότερο σταθερά προϊόντα, που συνδέουν τα μικρά συσσωματώματα σε μεγαλύτερα (>2-5 mm), πιο ευαίσθητα στη διαχείριση, που αποτελούν καλούς δείκτες αλλαγών στην ποιότητα του εδάφους. Η ποιότητα του εδάφους γενικά βελτιώνεται με την αύξηση της αναλογίας μεγάλων προς μικρά συσσωματώματα.

Τα σταθερά συσσωματώματα παρέχουν επίσης μεγάλο εύρος χώρου για πόρους, περιλαμβανομένων των μικρών πόρων εντός και των μεγάλων πόρων μεταξύ των συσσωματωμάτων. Ο χώρος των πόρων είναι ιδανικός για την είσοδο αέρα και νερού στο έδαφος και για τη μετακίνηση του αέρα, νερού, θρεπτικών και ζώντων οργανισμών στο έδαφος. Οι μεγάλοι πόροι που σχετίζονται με μεγάλα σταθερά συσσωματώματα, ευνοούν υψηλούς ρυθμούς διήθησης και κατάλληλου αερισμού για την ανάπτυξη των φυτών. Οι πόροι παρέχουν ασθενείς ζώνες για την ανάπτυξη των ριζών και τη διείσδυση.

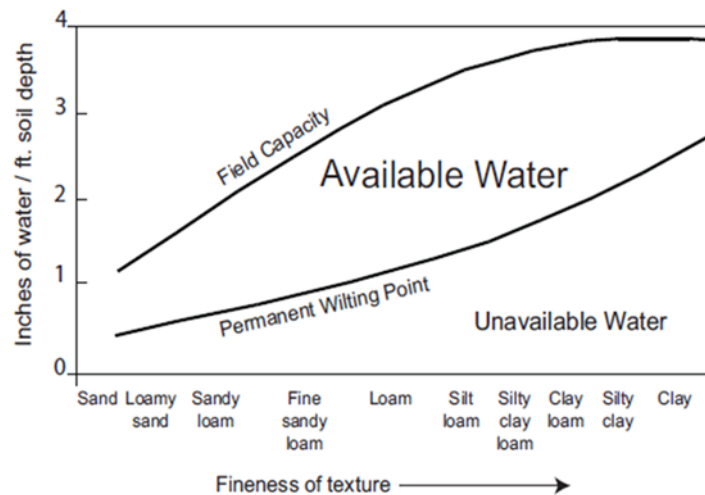
Ασταθή συσσωματώματα αποσυντίθενται κατά τη διάρκεια καταιγίδων και τα διεσπαρμένα σωματίδια γεμίζουν τους επιφανειακούς πόρους και διαμορφώνουν σκληρή κρούστα με τη ξήρανση του εδάφους, μειώνοντας τη διήθηση και την ανάδυση των φυταρίων. Ο αέρας, επίσης αποσπά τα χαλαρά συγκρατημένα σωματίδια, αλλά αυτά με την επιτάχυνσή τους, προσκρούονται στο έδαφος με αρκετή ενέργεια για την αποκοπή περισσότερων σωματιδίων από φτωγά συσσωματωμένα εδάφη.

Παράγοντες όπως οι μέθοδοι άρωσης και οι δραστηριότητες διαταραχής του εδάφους, τα συστήματα συγκομιδής, η βόσκηση, η απομάκρυνση πηγών οργανικής ύλης και η χρήση ζιζανιοκτόνων επιβλαβών για ευεργητικούς για το έδαφος οργανισμούς, επιδεινώνουν τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων (E. Amézketa, 1999).

### **2.2.2. Χωρητικότητα διαθέσιμου νερού.**

Οι ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την χωρητικότητα του διαθέσιμου νερού είναι η υφή, η παρουσία και αφθονία θραυσμάτων βράχου, καθώς και το βάθος του εδάφους και η στρωμάτωσή του. Αυξάνει όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, από την άμμο στην ιλύ και στην αργιλώδη ιλύ. Τα λεπτής υφής εδάφη έχουν μεγαλύτερη επίπτωση μικρών πόρων, που κατακρατούν νερό ενάντια στην ελεύθερη απορροή, οδηγώντας σε μεγαλύτερη διαθέσιμη χωρητικότητα. Παρόλα αυτά, σε σύγκριση με τα καλά συσσωματωμένα εδάφη ιλύος και αργιλώδους ιλύος, η διαθέσιμη χωρητικότητα νερού των κυρίως αργιλωδών εδαφών, τείνει να είναι χαμηλότερη, μιας και τα εδάφη αυτά έχουν ένα αυξημένο μόνιμο σημείο μαρασμού (**Σχήμα 2.2**).

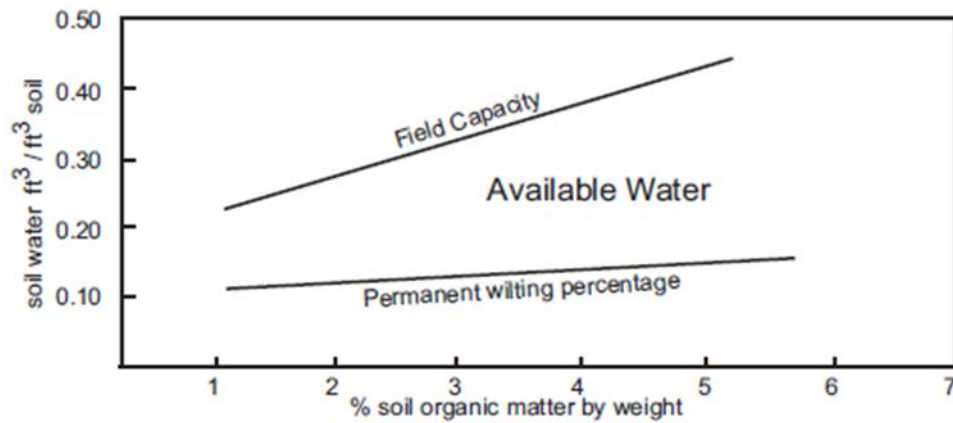




**Σχήμα 2.2.** Γενική σχέση μεταξύ της υγρασίας του εδάφους και της υφής. (Ohio Agronomy Guide, 2005).

Τα τεμάχια των βράχων μειώνουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα του νερού του εδάφους, ανάλογα με τον όγκο τους, εκτός αν είναι πορώδη. Το βάθος του εδάφους και τα στρώματα που περιορίζουν τις ρίζες, επηρεάζουν τη χωρητικότητα του διαθέσιμου νερού, αφού περιορίζουν το διαθέσιμο για ανάπτυξη των φυτών όγκο του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά του ριζώματος των φυτών, θα πρέπει να αξιολογούνται για την κατανόηση των επιδράσεων της, το βάθος του εδάφους και τα περιοριστικά στρώματα, στο διαθέσιμο για την ανάπτυξη των φυτών, νερό. Ένα περιοριστικό στρώμα στα 50cm, μπορεί ουσιαστικά να περιορίσει το διαθέσιμο όγκο εδάφους για ένα φυτό με βαθιές ρίζες, κατά μήκος μιας μη ευνοϊκής διαβάθμισης συγκέντρωσης αλάτων. Τα εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, τείνουν να έχουν μειωμένη χωρητικότητα διαθέσιμου νερού, επειδή περισσότερο νερό κατακρατείται στο σημείο μόνιμου μαρασμού, απ' ό,τι αν το νερό κατακρατούνταν από φυσικές παράμετρους.

Οι δυναμικές παράμετροι που επηρεάζουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα νερού, περιλαμβάνουν την οργανική ύλη, τη συμπίεση και τη συγκέντρωση των αλάτων του εδάφους. Η οργανική ύλη αυξάνει την ικανότητα του εδάφους να κατακρατεί νερό, άμεσα ή έμμεσα. Όταν ένα έδαφος βρίσκεται σε χωρική χωρητικότητα, η οργανική ύλη έχει μεγαλύτερη ικανότητα κατακράτησης από παρόμοιο όγκο ορυκτού εδάφους. Έμμεσα, η οργανική ύλη βελτιώνει τη δομή του εδάφους και τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, οδηγώντας σε αυξημένο μέγεθος και όγκο πόρων. Αυτές οι βελτιώσεις της ποιότητας του εδάφους οδηγούν σε αυξημένη διείσδυση, μετακίνηση του νερού διαμέσου του εδάφους και χωρητικότητα διαθέσιμου νερού (Σχήμα 2.3).



**Σχήμα 2.3.** Επίδραση της αυξανόμενης οργανικής ύλης στη χωρητικότητα του διαθέσιμου νερού, εδαφών πηλώδων αργίλου. (Hudson, 1994).

Η συμπίεση μειώνει τη χωρητικότητα του διαθέσιμου νερού, μέσω των αρνητικών επιδράσεών της στη χωρική χωρητικότητα και το σημείο μόνιμου μαρασμού. Η συμπίεση μειώνει το συνολικό όγκο των πόρων και την αποθήκευση του νερού, όταν το έδαφος βρίσκεται στη χωρική χωρητικότητα. Η συμπίεση συνθλίβει τους μεγάλους πόρους του εδάφους, σε μικρότερους μικροπόρους. Επειδή οι μικροπόροι κατακρατούν νερό πιο ισχυρά από τους μεγάλους πόρους, περισσότερο νερό κατακρατείται από το έδαφος, στο σημείο μόνιμου μαρασμού. Τα άλατα στο εδαφικό νερό από την εφαρμογή λιπασμάτων, ή από φυσικές ενώσεις αυξάνουν καθώς το νερό του εδάφους μειώνεται. Τα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση αλάτων τείνουν να έχουν μειωμένη χωρητικότητα διαθέσιμου νερού, επειδή περισσότερο νερό κατακρατείται στο σημείο μόνιμου μαρασμού, απ' ό,τι αν το νερό κατακρατούνταν από φυσικούς μόνο παράγοντες.

Το έδαφος αποτελεί κύρια δεξαμενή αποθήκευσης για το νερό. Στα εδάφη όπου υπάρχει ημερήσια βροχόπτωση και παρέχει στο έδαφος με όσο ή και περισσότερο νερό απομακρύνεται από τα φυτά, η χωρητικότητα διαθέσιμου νερού, έχει μικρή σημασία. Ωστόσο, σε εδάφη όπου τα φυτά απομακρύνουν περισσότερο νερό από αυτό που πρέχεται από την κατακρίμνηση, η ποσότητα νερού που κατακρατείται από το έδαφος είναι κρίσιμη (Hillel, 1998).

### 2.2.3. Φαινόμενη πυκνότητα.

Η φαινόμενη πυκνότητα αποτελεί ένα δείκτη της συμπίεσης του εδάφους. Ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη φαινόμενη πυκνότητα αποτελούν η υφή του εδάφους και οι πυκνότητες των ορυκτών του εδάφους (άμμος, ιλύς και άργιλος) και τα σωματίδια της οργανικής ύλης, καθώς και η διευθέτησή τους κατά το πακετάρισμα. Κατά κανόνα, οι περισσότεροι βράχοι έχουν μια φαινόμενη πυκνότητα 2,65 g/cm<sup>3</sup> και έτσι

ιδεατά, ένα έδαφος μέσης υφής με περίπου 50% χώρο πόρων, θα έχει μια φαινόμενη πυκνότητα περίπου 1,33 g/cm<sup>3</sup>. Γενικά, τα χαλαρά πορώδη εδάφη και τα πλούσια σε οργανική ύλη, έχουν μικρότερη φαινόμενη πυκνότητα. Τα αμμώδη εδάφη έχουν σχετικά υψηλή φαινόμενη πυκνότητα, αφού ο συνολικός χώρος των πόρων στην άμμο είναι μικρότερος από αυτό της ιλύος και των αργιλωδών εδαφών. Τα εδάφη λεπτότερης υφής, όπως η ιλύς και τα αργιλοπηλώδη με καλή δομή, έχουν μεγαλύτερο χώρο πόρων και χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα, συγκρινόμενα με τα αμμώδη εδάφη.

Η φαινόμενη πυκνότητα αυξάνει με το βάθος του εδάφους, αφού τα υποεπιφανειακά στρώματα έχουν μειωμένη οργανική ύλη, συσσωμάτωση και διείσδυση ριζών, συγκρινόμενα με τα επιφανειακά στρώματα και για το λόγο αυτό περιέχουν μικρότερο χώρο πόρων. Τα υποεπιφανειακά στρώματα δέχονται επίσης το συμπιεστικό βάρος του υπερκείμενου εδάφους. Οι κύκλοι διαβροχής-ξήρασης, πήξης-τήξης που συμβαίνουν φυσικά στα εδάφη, δεν επηρεάζουν σε γενικές γραμμές τη φαινόμενη πυκνότητα.

Στους δυναμικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη φαινόμενη πυκνότητα ανήκουν οι πρακτικές διαχείρισης της γης και σοδειάς, που επηρεάζουν την επιφανειακή κάλυψη, την οργανική ύλη, τη δομή του εδάφους και/ή την πόρωση. Τα φυτά και η επικάλυψη των υπολειμμάτων προστατεύουν το έδαφος από την επιβλαβή επίδραση των σταγόνων της βροχής και τη διάβρωση του εδάφους. Η καλλιέργεια καταστρέφει την οργανική ύλη του εδάφους και εξασθενεί τη φυσική σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους, καθιστώντας τα επιρρεπή στην επιβλαβή επίδραση του νερού και του αέρα. Όταν τα σωματίδια του διαβρωμένου εδάφους γεμίζουν τους χώρους των πόρων, η πόρωση μειώνεται και η φαινόμενη πυκνότητα αυξάνεται. Η καλλιέργεια μπορεί να οδηγήσει σε συμπιεσμένα εδαφικά στρώματα, με αυξημένη φαινόμενη πυκνότητα. Η κτηνοτροφία και ο καλλιεργητικός και κατασκευαστικός εξοπλισμός, ασκούν πίεση που συμπιέζει το έδαφος, μειώνοντας την πόρωση, ιδιαίτερα στα υγρά εδάφη.

Η φαινόμενη πυκνότητα αντανακλά την ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί για δομική υποστήριξη, για τη μετακίνηση του νερού και των διαλυμάτων και τον αερισμό του εδάφους. Φαινόμενες πυκνότητες μεγαλύτερες της οδού στον **Πίνακα 2.1**, υποδηλώνουν επηρεασμένη λειτουργία. Η φαινόμενη πυκνότητα χρησιμοποιείται επίσης για τις μετατροπές μεταξύ βάρους και όγκου του εδάφους. Χρησιμοποιείται για να εκφράσει τις φυσικές, χημικές και βιολογικές μετρήσεις σε ογκομετρική βάση, για τις αξιολογήσεις της ποιότητας του εδάφους και τις συγκρίσεις των συστημάτων διαχείρισης. Αυτό αυξάνει την εγκυρότητα των συγκρίσεων απομακρύνοντας το σφάλμα που σχετίζεται με διαφορές στην πυκνότητα του εδάφους, τη στιγμή της δειγματοληψίας.

**Πίνακας 2.1.** Γενική σχέση της φαινόμενης πυκνότητας του εδάφους με την ανάπτυξη των ριζών, βασισμένη στην υφή του εδάφους (USDA, 2015).

Soil Texture	Ideal bulk densities for plant growth (g/cm <sup>3</sup> )	Bulk densities that restrict root growth (g/cm <sup>3</sup> )
Sandy	< 1.60	> 1.80
Silty	< 1.40	> 1.65
Clayey	< 1.10	> 1.47

Η υψηλή φαινόμενη πυκνότητα αποτελεί δείκτη χαμηλής πόρωσης του εδάφους και συμπίεσης του εδάφους. Μπορεί να προκαλέσει περιορισμούς στην ανάπτυξη των ριζών και περιορισμένη μετακίνηση του αέρα και νερού διαμέσου του εδάφους. Η συμπίεση μπορεί να οδηγήσει σε ρηχό ρίζωμα και περιορισμένη ανάπτυξη των φυτών, επηρεάζοντας την παραγωγή και μειώνοντας τη διαθέσιμη κάλυψη της βλάστησης, για την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Με τη μείωση της διήθησης του νερού από το έδαφος, η συμπίεση οδηγεί σε αυξημένη απορροή και διάβρωση από περιοχές με κλίση ή πλημμυρισμένα εδάφη σε επίπεδες περιοχές. Γενικά κάποια συμπίεση του εδάφους για τον περιορισμό της μετακίνησης του νερού διαμέσου του εδαφικού προφίλ, είναι επωφελής σε άνυδρες συνθήκες αλλά σε συνθήκες υγρασίας η συμπίεση μειώνει την παραγωγή (Hillel, 1998).

#### **2.2.4. Διήθηση (Infiltration).**

Ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη διείσδυση (infiltration) είναι η υφή του εδάφους, (ποσοστό άμμου, ιλύος και αργίλου) και η μεταλλολογία της αργίλου. Το νερό μετακινείται πιο γρήγορα διαμέσου των μεγάλων πόρων στα αμμώδη εδάφη, σε σχέση με τους μικρούς πόρους των αργιλωδών εδαφών, ειδικά αν η άργιλος είναι συμπίεσμένη ή έχει περιορισμένη ή καθόλου δομή ή συσσωμάτωση (**Πίνακας 2.2**). Σε συνάρτηση με την ποσότητα και το είδος των μετάλλων της αργίλου, πολλά αργιλώδη εδάφη αναπτύσσουν ρωγμές συρρίκνωσης καθώς ξηραίνονται, δημιουργώντας έναν άμεσο αγωγό για την είσοδο του νερού στο έδαφος. Τα αργιλώδη αυτά εδάφη έχουν υψηλές ικανότητες διήθησης, καθώς το νερό μετακινείται σε αυτές τις ρωγμές συρρίκνωσης, αν και σε άλλες περιπτώσεις, όταν οι ρωγμές δεν είναι παρούσες, ο ρυθμός διήθησής τους είναι χαρακτηριστικά αργός.

**Πίνακας 2.2.** Σταθεροί ρυθμοί διείσδυσης για τις γενικές ομάδες υφής του εδάφους, σε διαβρεγμένα σε βάθος εδάφη (Hillel, 1998).

Soil Type	Steady Infiltration Rate (in/hr)
Sands	> 0.8
Loams	0.2 - 0.4
Clays	0.04 - 0.2

Οι δυναμικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διήθηση είναι το κλίμα και η γεωγραφική εντόπιση, όπως και οι πρακτικές διαχείρισης και οι απαιτήσεις της καλλιέργειας καθώς και το διαθέσιμο περιεχόμενο σε εδαφικό νερό, που επηρεάζουν την ικανότητα του εδάφους να απορροφήσει πρόσθετο νερό. Οι πόροι και οι ρωγμές είναι σε γενικές γραμμές ανοικτές σε ένα ξηρό έδαφος. Πολλοί από αυτούς είναι γεμάτοι με νερό ή διογκούμενοι κλειστοί, με τη διαβροχή του εδάφους και ο ρυθμός διήθησης είναι μεγαλύτερος όταν το έδαφος είναι ξηρό. Με τη διαβροχή του εδάφους, ο ρυθμός διήθησης περιορίζεται στο βαθμό που το νερό μετακινείται διαμέσου του πιο περιοριστικού στρώματος, όπως ένα συμπιεσμένο στρώμα ή ένα στρώμα πυκνής αργίλου.

Η διήθηση επηρεάζεται από τις πρακτικές διαχείρισης της παραγωγής και της γης, που επηρεάζουν το σχηματισμό επιφανειακής κρούστας, από τη συμπίεση και την οργανική ύλη του εδάφους. Χωρίς την ευεργητική προστατευτική επίδραση της κάλυψης της βλάστησης ή των καταλοίπων, το γυμνό έδαφος είναι επιρρεπές στην απ' ευθείας επίδραση και τις διαβρωτικές δυνάμεις των σταγόνων της βροχής που αποκολλούν σωματίδια του εδάφους. Τα σωματίδια αυτά γεμίζουν και μπλοκάρουν τους επιφανειακούς πόρους, συνεισφέροντας στην ανάπτυξη επιφανειακών κρουστών που περιορίζουν τη μετακίνηση του νερού στο έδαφος.

Η συμπίεση που είναι το αποτέλεσμα της κτηνοτροφίας και των οχημάτων κυκλοφορίας, ιδιαίτερα σε υγρά εδάφη και η συνεχής άρωση στο ίδιο βάθος, οδηγεί στο σχηματισμό plow pan κάτω από το βάθος άρωσης. Τα συμπιεσμένα ή τα αδιαπέραστα εδαφικά στρώματα, έχουν μειωμένους χώρους πόρων και περιορισμένη μετακίνηση του νερού διαμέσου του εδαφικού προφίλ.

Η οργανική ύλη του εδάφους επηρεάζει τη διήθηση διαμέσου της θετικής της επίδρασης στο σχηματισμό σταθερών συσσωματωμάτων. Τα έντονα συσσωματωμένα εδάφη έχουν αυξημένο χώρο πόρων και διείσδυση. Εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη επίσης προσφέρουν ιδανικό ενδαίτημα σε ζώντες οργανισμούς του εδάφους, όπως οι γεωσκώληκες, που διαμέσου των σκαπανικών τους δραστηριοτήτων, αυξάνουν το χώρο

των πόρων και δημιουργούν συνεχείς πόρους που συνδέουν τα επιφανειακά και τα υποεπιφανειακά στρώματα.

Η διαχείριση που μειώνει την κάλυψη του εδάφους, διαταράσσει το συνεχές χώρο των πόρων, συμπιέζει το έδαφος, ή μειώνει την οργανική ύλη του εδάφους, επηρεάζει αρνητικά τη διείσδυση. Αφού η άρωση επηρεάζει αρνητικά όλες αυτές τις ιδιότητες, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο ρυθμό διήθησης του εδάφους. Η διήθηση αποτελεί ένα δείκτη της ικανότητας του εδάφους να επιτρέπει τη κίνηση του νερού εντός και διαμέσου του εδαφικού προφίλ. Το έδαφος προσωρινά αποθηκεύει νερό, καθιστώντας το διαθέσιμο για πρόσληψη από τις ρίζες, αύξηση των φυτών και ως ενδαιτήμα για τους εδαφικούς οργανισμούς.

Όταν το νερό παρέχεται σε ρυθμό που υπερβαίνει την ικανότητα διήθησης του εδάφους, αυτό μετακινείται κατά μήκος της πλαγιάς, ως απορροή σε επικλινή επιφάνεια ή λιμνάζει σε στιν επιφάνεια επίπεδη γης. Όταν η απορροή συμβαίνει σε γυμνά ή με φτωχή βλάστηση εδάφη, συμβαίνει διάβρωση. Η απορροή μεταφέρει θρεπτικά, χημικά και έδαφος, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγικότητα του εδάφους, εκτός περιοχής ιζηματοποίηση των υδάτινων σωμάτων και μειωμένη ποιότητα νερού. Η ιζηματοποίηση μειώνει την ικανότητα αποθήκευσης των αποταμιευτήρων και ρυακιών και μπορεί να οδηγήσει σε πλημύρρα. Η περιορισμένη διήθηση και ο σχηματισμός λεκανών του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, οδηγεί σε περιορισμό του αερισμού του εδάφους, σε μειωμένη λειτουργικότητα των ριζών και ανάπτυξη των φυτών, διαθεσιμότητα θρεπτικών και ανακύκλωση από εδαφικούς οργανισμούς. Η δημιουργία λεκανών και ο κορεσμός του εδάφους μειώνει την εδαφική ισχύ, καταστρέφει την εδαφική δομή, ενισχύει την αποκόλληση σωματιδίων και καθιστά το έδαφος επιρρεπές στη διάβρωση. Στην επιφάνεια του εδάφους και όχι στο εδαφικό προφίλ, η υδάτινη λεκάνη υπόκειται σε αυξημένη εξάτμιση, που οδηγεί σε μικρότερη διαθεσιμότητα νερού για τα φυτά.

Υψηλός ρυθμός διήθησης είναι επιθυμητός για την ανάπτυξη των φυτών και το περιβάλλον. Σε μερικές περιπτώσεις, τα εδάφη που έχουν απεριόριστη μετακίνηση του νερού διαμέσου του προφίλ τους, μπορούν να συνεισφέρουν σε περιβαλλοντικές ανησυχίες αν λάθος εφαρμογές θρεπτικών και χημικών φτάσουν τα υπόγεια ύδατα και τους επιφανειακούς υδάτινους πόρους διαμέσου υποεπιφανειακής ροής (Hillel, 1998).

### **2.2.5. Διαχωρισμός (Slaking).**

Ο διαχωρισμός, αποτελεί τη διάσπαση των μεγάλων (>2-5 mm), ξηρών συσσωματωμάτων του εδάφους, σε μικρότερου μεγέθους (<0,25 mm), όταν αυτά βυθιστούν στο νερό. Ο διαχωρισμός συμβαίνει όταν τα συσσωματώματα δεν είναι αρκετά ισχυρά για να αντέξουν τα εσωτερικά στρες, από την ξαφνική πρόσληψη

νερού. Τα εσωτερικά στρες προκύπτουν από τη διαφορική διόγκωση των σωματιδίων της αργίλου, τον παγιδευμένο και απελευθερούμενο αέρα στους πόρους του εδάφους, τη ξαφνική απελευθέρωση θερμότητας κατά τη διαβροχή και τη μηχανική δράση του κινούμενου νερού. Σε αντίθεση με το διαχωρισμό, τα τεστ της σταθερότητας των συσσωματωμάτων, μετρούν το πόσο καλά το έδαφος αντέχει τις εξωτερικές καταστρεπτικές δυνάμεις, όπως τη δράση των σταγόνων της βροχής. Φτωχή σταθερότητα συσσωματωμάτων και διαχωρισμός, οδηγούν στην απόσπαση σωματιδίων που κατακάθονται στους πόρους και προκαλούν επιφανειακή σφράγιση, μειωμένη διήθηση και διαθεσιμότητα νερού στα φυτά και αυξημένη απορροή και διάβρωση.

Οι εγγενείς παράγοντες που επηρεάζουν το διαχωρισμό, περιλαμβάνουν το ρυθμό διαβροχής, το περιεχόμενο σε νερό του εδάφους, την υφή του εδάφους, το είδος της αργίλου και την οργανική ύλη. Αυξάνεται σε ταχείς ρυθμούς διαβροχής, ιδιαίτερα αν το έδαφος είναι αρχικά ξηρό. Τα υγρά συσσωματώματα διαχωρίζονται λιγότερο εύκολα από τα ξηρά, επειδή έχουν ήδη συμπληρώσει κάποια από τη διόγκωσή τους και κάποιοι πόροι είναι ήδη γεμάτοι με νερό. Η πίεση του παγιδευμένου αέρα αποτελεί το αίτιο πρόκλησης διαχωρισμού των ασβεστολιθικών εδαφών, ενώ η άργιλος σχετίζεται με διαχωρισμό που προκαλείται από τη διόγκωση του εδάφους. Ο διαχωρισμός επηρεάζεται από την παρουσία σμεκτιτικών αργίλων, όπως ο μοντμοριλονίτης, που συρρικνώνονται όταν είναι ξηρές και διογκώνονται όταν είναι υγρές. Το νερό του εδάφους διαμορφώνει μέρος της δομής των αργίλων αυτών. Ο μοντμοριλονίτης μπορεί να διογκωθεί έως και 25 φορές περισσότερο από τον καολινίτη. Η παρουσία και περιορισμένων ποσοτήτων σμεκτίτη στα καολινιτικά εδάφη, μπορεί να επηρεάσει δραματικά τη διάσπαση, τη διασπορά του εδάφους και την επιφανειακή σφράγιση.

Η ταχεία διαβροχή των έντονα αργιλωδών εδαφών, αυξάνει την έκταση της διαφορικής διόγκωσης και του όγκου του παγιδευμένου αέρα στο χώρο των πόρων, που δημιουργεί εσωτερικά στρες και διαχωρίζει τα συσσωματώματα μεταξύ τους. Συγκρινόμενη με την επίδραση των σταγόνων της βροχής, στην εξωτερική αποκοπή συσσωματωμάτων του εδάφους, ο διαχωρισμός διαδραματίζει τον κύριο ρόλο στην αποκόλληση σωματιδίων και την επιφανειακή σφράγιση των αργιλωδών εδαφών με κατά τα άλλα σταθερή δομή. Αντίστροφα, η άργιλος σε συνδυασμό με την οργανική ύλη, δρα ως συγκολλητικός παράγοντας, για τη σταθεροποίηση των σωματιδίων του εδάφους μεταξύ τους. Η οργανική ύλη επίσης επηρεάζει το ρυθμό με τον οποίο το νερό απορροφάται από το έδαφος και αυξάνει την αντοχή του εδάφους στο στρες από τη διαβροχή.

Στους δυναμικούς παράγοντες που επηρεάζουν το διαχωρισμό περιλαμβάνεται η δράση της οργανικής ύλης που προάγει το σχηματισμό συσσωματωμάτων και τη σταθερότητα των συνδεδεμένων συσσωματωμάτων. Η επαναλαμβανόμενη άρωση αποτρέπει τη συγκέντρωση ή οδηγεί σε απώλεια της οργανικής ύλης και προκαλεί

τα συσσωματώματα να διασπαστούν σε λεπτότερα σωματίδια. Αφού η απώλεια της οργανικής ύλης οδηγεί σε μείωση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων, ο διαχωρισμός αυξάνει καθώς η οργανική ύλη μειώνεται.

Ο διαχωρισμός υποδεικνύει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων του εδάφους, την αντίσταση στη διάβρωση και υποδηλώνει το πόσο καλά μπορεί το έδαφος να διατηρήσει τη δομή του και να παρέχει νερό και αέρα για τα φυτά και τους ζωντανούς οργανισμούς του εδάφους, όταν διαβρέχεται ταχύτατα. Περιορισμένος διαχωρισμός υποδηλώνει ότι οργανική ύλη είναι παρούσα στο έδαφος για τη συγκόλληση των σωματιδίων του εδάφους και τα μικροσυσσωματώματα σε μεγαλύτερα, σταθερά συσσωματώματα.

Τα διασπασμένα σωματίδια, μπλοκάρουν τους πόρους του εδάφους, δημιουργούν μια επιφανειακή κρούστα και μειώνουν τη διήθηση και τη μετακίνηση του νερού διαμέσου του εδάφους, αυξάνουν την απορροή και τη διάβρωση. Τα μικρά συσσωματώματα που παράγονται από τη διάσπαση επικάθονται μεταξύ τους, οδηγώντας σε μικρότερους χώρους πόρων από αυτούς που είναι παρόντες σε μεγαλύτερα συσσωματώματα. Ο όγκος των πόρων μπορεί να μειωθεί και η ικανότητα των φυτών να χρησιμοποιούν το νερό που είναι αποθηκευμένο στους χώρους των πόρων, μπορεί να διαφοροποιηθεί (Levy, 2003).

#### **2.2.6. Επιφανειακές κρούστες.**

Οι κρούστες μπορούν να περιγραφούν από την ισχύ τους, η την αντίστασή τους στην ξηρή διάσπαση. Ο σχηματισμός επιφανειακών κρουστών σχετίζεται επίσης με βιολογικούς και χημικούς παράγοντες. Μια βιολογική κρούστα αποτελεί μια ζωντανή κοινότητα λειχηνών, κυανοβακτηρίων, φυκών και βρύα που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους και συνδέουν τα σωματίδια του εδάφους μεταξύ τους. Μια χημική κρούστα κατακρήμνισης αναπτύσσεται σε εδάφη με υψηλό περιεχόμενο σε άλατα.

Οι ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό κρουστών περιλαμβάνουν την υφή του εδάφους, την οργανική ύλη και το περιεχόμενο σε Νάτριο. Οι επιφανειακές κρούστες είναι πιο συχνές σε λεπτής υφής εδάφη όπως η ύλη, ο πηλός και οι άργιλοι. Σε συνδυασμό με την επίδραση των σταγονών της βροχής, η αυξημένη απορροή και διάβρωση των εδαφών λεπτής υφής, αυξάνει την πιθανότητα να σχηματιστεί μια κρούστα. Οι κρούστες είναι συνήθως λεπτές και αδύναμες, αν είναι παρούσες σε αδρής υφής αμμώδη εδάφη. Η περιορισμένη οργανική ύλη οδηγεί σε φτωχή δομή του εδάφους, μειωμένο χώρο των πόρων και αδύναμα, ασταθή συσσωματώματα που καταρρέουν με την επίδραση των σταγόνων της βροχής. Η βροχόπτωση και η απορροή διασπείρουν το έδαφος σε διακριτά σωματίδια που μπλοκάρουν τους πόρους του εδάφους και σφραγίζουν την επιφάνειά του. Τα εδάφη με υψηλό περιεχόμενο σε Νάτριο είναι πιο πιθανόν να αναπτύξουν επιφανειακές κρούστες, αφού τα εδάφη αυτά διασπείρονται εύκολα.



Οι δυναμικοί παράγοντες που επηρεάζουν το σχηματισμό κρουστών, περιλαμβάνουν τις δραστηριότητες που ξεπλένουν την οργανική ύλη του εδάφους και αφήνουν το έδαφος απογυμνωμένο, λείο και επιρρεπές στην επίδραση των σταγονιδίων της βροχής και που αυξάνουν τη διασπορά του εδάφους, την επιφανειακή σφράγιση, την απορροή, διάβρωση και σχηματισμό κρουστών. Η υπερβολική άρωση τείνει να διασπάσει τους θρόμβους του εδάφους σε μικρότερους και επιρρεπείς στη διάσπαση, να θάβει τα κατάλοιπα των φυτών και να επιταχύνει την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης. Οι μέθοδοι συγκομιδής που απομακρύνουν την περισσότερη ή όλη την υπέργεια βιομάζα, επίσης αποτρέπουν ή μειώνουν το σχηματισμό οργανικής ύλης και την προστασία της επιφάνειας του εδάφους. Μέχρι η καλλιέργεια και η προστατευτική της συγκόμωση να αναπτυχθεί, η απομάκρυνση των καταλοίπων εκθέτει το έδαφος στο απευθείας ηλιακό φως, που αυξάνει τη θερμοκρασία του εδάφους και επιταχύνει την ξήρανση της επιφάνειας του εδάφους σε μια σκληρή κρούστα.

Μια επιφανειακή κρούστα υποδηλώνει περιορισμένη διήθηση, προβληματικούς χώρους σποράς και μειωμένη ανταλλαγή αέρα μεταξύ εδάφους και ατμόσφαιρας. Υποδεικνύει επίσης έδαφος με υψηλό περιεχόμενο σε Νάτριο που αυξάνει τη διασπορά του εδάφους όταν διαβρέχεται από την κατακρήμνιση ή την άρδευση (USDA, 2015).

### **2.2.7. Δομή του εδάφους και μακροπόροι.**

Με τη χρήση του μεγέθους, σχήματος και διακριτότητας των σωματιδίων, ως βάση για τις κλάσεις, τύπους και βαθμίδες αντίστοιχα, η δομή του εδάφους περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο τα σωματίδια του εδάφους συσσωματώνονται. Η δομή του εδάφους επηρεάζει την κίνηση του αέρα και νερού στο έδαφος, επιδρώντας στην ικανότητα του εδάφους να συντηρεί τη ζωή και να επιτελεί άλλες ζωτικές λειτουργίες του εδάφους.

Οι πόροι του εδάφους εντοπίζονται μεταξύ των συσσωματωμάτων και καταλαμβάνονται από νερό και αέρα. Οι μακροπόροι αποτελούν μεγάλους πόρους του εδάφους, μεταξύ των συσσωματωμάτων, μεγαλύτεροι από 0,08mm σε διάμετρο. Οι μακροπόροι στραγγίζουν ελεύθερα με τη βαρύτητα και επιτρέπουν την εύκολη διάβαση νερού και αέρα. Παρέχουν ενδαιτήμα για τους οργανισμούς του εδάφους και οι ρίζες των φυτών μπορούν να αναπτυχθούν σε αυτούς. Με διάμετρο μικρότερη από 0,08mm, οι μικροπόροι είναι μικροί πόροι του εδάφους εντός των δομικών συσσωματωμάτων. Ρόφηση απαιτείται για την απομάκρυνση του νερού από τους μικροπόρους.

Οι ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν τη δομή του εδάφους, είναι τα σωματίδια της αργίλου και η διόγκωση-συρρίκνωση της μάζας της αργίλου. Τα σωματίδια της αργίλου φέρουν αρνητικό φορτίο στην

επιφάνειά τους, με αποτέλεσμα να απωθούνται αμοιβαία, αλλά και να προσελκύουν και να προσροφούν κατιόντα παρόντα στο έδαφος. Συναθρίσεις σωματιδίων της αργίλου σχηματίζονται όταν τα αρνητικά επιφανειακά τους φορτία εξουδετερώνονται από σφιχτά προσροφημένα πολυσθενή κατιόντα, όπως τα  $\text{Ca}^{+2}$  και  $\text{Al}^{+3}$ . Πρόσθετα, τα  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$  και  $\text{Al}^{+3}$  κροκιδώνουν τα σωματίδια της αργίλου και το χούμο (αρνητικά φορτισμένη, αποικοδομημένη, σταθερή οργανική ύλη), για το σχηματισμό μικρών σταθερών συσσωματωμάτων εδάφους.

Αντίθετα, τα ιόντα Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ) σχετίζονται με τη διασπορά του εδάφους. Εξαιτίας του σχετικά ασθενούς τους φορτίου και μεγάλου μεγέθους, είναι αναποτελεσματικά στην προώθηση της σύμπτυξης της αργίλου και στο σχηματισμό συσσωματωμάτων. Η διεσπαρμένη άργιλος προκαλεί την απουσία δομής στο έδαφος, που καθίσταται αδιαπέραστο στο νερό και τον αέρα και μη ιδανικό για την ανάπτυξη φυτών. Όταν το έδαφος ξηραίνεται και το νερό απομακρύνεται, η άργιλος συμπύσσεται ακόμη περισσότερο, το έδαφος συρρικνώνεται σε όγκο και ρωγμές σχηματίζονται σε ασθενώς συνδεδεμένες περιοχές. Καθώς κύκλοι διαβροχής και ξήρανσης επαναλαμβάνονται με την κατακρήμνιση (ή άρδευση) και την απομάκρυνση από τα φυτά, ένα εκτενές δίκτυο ρωγμών δημιουργείται και τα συσσωματώματα του εδάφους καθίστανται πιο διακριτά. Κύκλοι πήξης-τήξης έχουν ένα παρόμοιο αποτέλεσμα διόγκωσης-συρρίκνωσης, αφού η πήξη του νερού του εδάφους για το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου, απομακρύνει νερό από τις δομές της αργίλου. Η συρρίκνωση και η διόγκωση διαχωρίζει και συμπιέζει τα σωματίδια του εδάφους σε διακριτά δομικά συσσωματώματα. Συγκεκριμένοι τύποι σωματιδίων της αργίλου έχουν ιδιαίτερες ιδιότητες συρρίκνωσης-διόγκωσης.

Οι δυναμικές παράμετροι που επηρεάζουν τη δομή του εδάφους, είναι οι χημικές και φυσικές παράμετροι που παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο σχηματισμό μικρών συσσωματωμάτων στα αργιλώδη εδάφη, αλλά και οι βιολογικές διαδικασίες που είναι σημαντικές για το σχηματισμό των μεγάλων συσσωματωμάτων και των μακροπόρων και τη συσσωμάτωση των αμμωδών εδαφών. Σημαντικές βιολογικές διαδικασίες περιλαμβάνουν: τις σκαπανικές διεργασίες των γεωσκωλήκων και την κατάποση σωματιδίων τους εδάφους για την παραγωγή περιττωμάτων, την ανάπτυξη ενός κολλώδους δικτύου ριζών και υφών μυκήτων και την παραγωγή οργανικών κολλών από μύκητες και βακτήρια. Οι ρίζες των φυτών συνεισφέρουν επίσης στη συσσωμάτωση και την ανάπτυξη μακροπόρων καθώς ανατύσσονται στο έδαφος ή αφήνοντας κανάλια με το θάνατό τους. Οι μυκόριζες, εκκρίνουν μια κολλώδη πρωτεΐνη, τη γλομαλίνη, που είναι αποτελεσματική ως συγκολλητική ουσία για τη βραχυπρόθεσμη σταθερότητα των μεγάλων συσσωματωμάτων. Οργανικές κόλλες παράγονται από μύκητες και βακτήρια καθώς αποικοδομούν κατάλοιπα φυτών. Υδατο-ανθεκτικές μορφές ενώσεων που παράγονται από τις ρίζες και τους μικροοργανισμούς παρέχουν μακροπρόθεσμη σταθερότητα διαρκείας μηνών έως ετών, των συσσωματωμάτων του εδάφους;. Η οργανική ύλη αποτελεί τον κύριο

παράγοντα που συμβάλλει στο σχηματισμό των συσσωματωμάτων, που μπορεί να επηρεαστεί από την ανθρώπινη διαχείριση. Παρέχει ενέργεια για τις μικροβιακές διαδικασίες που απελευθερώνουν οργανικά προϊόντα. Τα οργανικά προϊόντα αλληλεπιδρούν χημικά με τα σωματίδια του εδάφους, το σίδηρο και τα οξείδια του αργιλίου για τη σύνδεση των σωματιδίων μεταξύ τους σε συσσωματώματα. Η άρωση μπορεί να έχει ευνοϊκές και δυσάρεστες επιδράσεις στη συσσωμάτωση και τη δομή του εδάφους. Βραχυπρόθεσμα η άρωση διασπά τους θρόμβους, ενσωματώνει οργανική ύλη στο έδαφος και το χαλαρώνει για την αύξηση της πάρωσης. Μακροπρόθεσμα, παρόλα αυτά, αυξάνει την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης, αποτρέπει τη συσσώρευση και τη δράση της στο σχηματισμό συσσωματωμάτων. Η άρωση των υγρών εδαφών γενικά καταστρέφει την επιφανειακή δομή του εδάφους.

Σημαντικές λειτουργίες του εδάφους που σχετίζονται με τη δομή του, αποτελούν: η διατήρηση της βιολογικής παραγωγικότητας, η ρύθμιση και ο διαμερισμός του νερού και της μετακίνησης των διαλυμάτων και η ανακύκλωση και αποθήκευση των θρεπτικών. Η δομή του εδάφους και οι μακροπόροι είναι κρίσιμης σημασίας για κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες, βασιζόμενοι στην επιρροή τους στην ανταλλαγή νερού και αέρα, στην ανάπτυξη των ριζών των φυτών και ως ενδιάμεσα για τους εδαφικούς οργανισμούς. Η κοκκιώδης δομή σχετίζεται τυπικά με τα επιφανειακά εδάφη, ιδιαίτερα εκείνα με υψηλή συγκέντρωση σε οργανική ύλη. Η κοκκιώδης δομή χαρακτηρίζεται από χαλαρά πακεταρισμένα, εύθρυπτα συσσωματώματα εδάφους και ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο μακροπόρων, που επιτρέπουν τη γρήγορη διήθηση και προάγουν τη βιολογική παραγωγικότητα. Η δομή και ο χώρος των πόρων των υποεπιφανειακών στρωμάτων, επηρεάζει την αποστράγγιση, τον αερισμό και τη διείσδυση των ριζών. Η πλακώδης δομή είναι συχνά ενδεικτική συμπίεσης (Hillel, 1998).

## **2.3. Χημικοί δείκτες.**

### **2.3.1. Αντιδρών άνθρακας.**

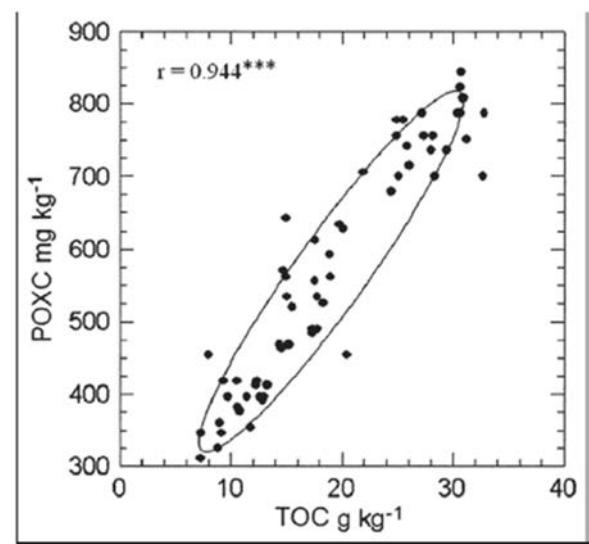
Η οργανική ύλη του εδάφους (SOM) περιέχει ενώσεις του C με διαφορετικό βαθμό αποικοδομησιμότητας, από πολύ εύκολα αποικοδομήσιμες έως εξαιρετικά ανθεκτικές (αντιδραστικές) στην αποικοδόμηση. Κάθε συστατικό C έχει διαφορετικό χρόνο παραμονής στο έδαφος και επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες. Ο αντιδρών άνθρακας (RC), επίσης γνωστός ως οξειδώσιμος με υπερμαγγανικό άνθρακας (POxC), αποτελεί ένα κλάσμα της δεξαμενής της SOM, που είναι επιρρεπές στην οξείδωση στην παρουσία υπερμαγγανικού καλίου στο διάλυμα. Ο άνθρακας που οξειδώνεται από αυτή την ένωση, περιλαμβάνει τον πιο εύκολα αποικοδομήσιμο από μικροοργανισμούς C, όσο και αυτόν που συνδέεται με τα ορυκτά του εδάφους, καθιστώντας την ερμηνεία του RC, σχετικά δύσκολη. Εξαιτίας της σχέσης του ανόργανου κλάσματος, ο RC

θεωρείται χημικός δείκτης και όχι βιολογικός. Παρόλα αυτά, μια πρόσφατη έρευνα, σε ένα εύρος περιβαλλόντων και συνθηκών διαχείρισης (12 μελέτες), έδειξε ότι ο POxC σχετίζονταν σημαντικά με το σωματιδιακό οργανικό άνθρακα, τον άνθρακα της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους (BMC) και, σε μία μελέτη, με τον οργανικό άνθρακα του εδάφους (Culman και άλλοι, 2011).

Ο χρόνος παραμονής του RC υπολογίζεται σε 2 με 5 χρόνια, σε αντίθεση με τον αντιδραστικό C (π.χ. το χούμο) που είχε ένα χρόνο εναλλαγής αρκετών εκατοντάδων έως χιλιάδων ετών. Ο αντιδραστικός άνθρακας προέρχεται από διάφορα κλάσματα της SOM. Αυτά τα κλάσματα περιλαμβάνουν τη φρέσκια οργανική ύλη, τη μικροβιακή βιομάζα του εδάφους, τη σωματιδιακή οργανική ύλη και άλλες εύκολα μεταβολιζόμενες οργανικές ενώσεις, όπως οι υδρογονάνθρακες (σάκχαρα) και πρωτεΐνες (αμινοξέα), όπως και ο C που συνδέεται χαλαρά με τα ορυκτά του εδάφους. Εξαιτίας του σχετικά μικρού χρόνου εναλλαγής, ο RC είναι πιο ευαίσθητος σε μεταβολές στη διαχείριση που επηρεάζουν τον C του εδάφους σε αγρο-οικοσυστήματα, σε σχέση με το συνολικό οργανικό άνθρακα (TOC). Ο αντιδρών άνθρακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της αλλαγής που προκαλείται από τις πρακτικές καλλιέργειας και διαχείρισης του εδάφους, που χειρίζονται το περιεχόμενο σε SOM.

Οι εγγενείς παράγοντες που επηρεάζουν τον αντιδρών άνθρακα περιλαμβάνουν τις κλιματικές συνθήκες του εδάφους (υγρασία και θερμοκρασία εδάφους) και επηρεάζουν τους ρυθμούς ανοργανοποίησης του οργανικού άνθρακα και, ταυτόχρονα, τη συσσώρευση ή μείωση της ποσότητας του RC στη SOM. Τα ορυκτά της αργίλου μπορούν να συνδέσουν ισχυρά την SOM και να προστατέψουν την οργανική αυτή ύλη και τη σχετιζόμενη RC από την ταχεία ανοργανοποίηση, ενώ η άμμος και η ιλύς δεν συνδέουν την οργανική ύλη. Η φτωχή αποστράγγιση δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες που ευνοούν το σχηματισμό μεθανίου (CH<sub>4</sub>), επάγοντας μια συστηματική απώλεια άνθρακα και μείωση στο περιεχόμενο σε TOC και RC.

Οι δυναμικοί παράγοντες υποδεικνύουν μια ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του TOC και του RC, με τον POxC να αυξάνει με το αυξανόμενο περιεχόμενο σε TOC, όπως συνεβη σε μια μελέτη (Lucas και Weil, 2012) (Σχήμα 2.3). Σε πρόσφατες μελέτες, παρόλα αυτά, η συσχέτιση δεν ήταν τόσο ισχυρή. Παρομοίως, μια θετική συσχέτιση μεταξύ του RC, των επιπέδων της μικροβιακής βιομάζας και της σταθερότητας των συσσωματωμάτων έχει αναφραθεί στη βιβλιογραφία. Η ευεργητική επίδραση της SOM στο σχηματισμό συσσωματωμάτων είναι επαρκώς τεκμηριωμένη. Οι σχέσεις αυτές μπορεί να οφείλονται στη συσσώρευση άνθρακα, εντός των συσσωματωμάτων, όπου προστατεύεται από την οξείδωση.



**Σχήμα 2.3.** Συσχέτιση μεταξύ του συνολικού οργανικού άνθρακα (TOC) και του οξειδώσιμου από υπερμαγγανικό άνθρακα (POXC). (Lucas και Weil, 2012).

Είναι τεκμηριωμένο ότι πολλές λειτουργίες του εδάφους επηρεάζονται σημαντικά από τη SOM και, εξαιτίας της συσχέτισής της με το TOC και τη μικροβιακή βιομάζα, πιθανόν να σχετίζονται επίσης, με τον RC. Ωστόσο, καθώς η ακριβής φύση του κλάσματος του C που εξάγεται με τη μέθοδο οξείδωσης με υπερμαγγανικό κάλιο, δεν έχει χαρακτηριστεί πλήρως, οι λειτουργίες που επηρεάζονται θα πρέπει να περιγραφούν με γενικούς όρους. Η αυξημένη υγρή σταθερότητα των συσσωματωμάτων, από υψηλά επίπεδα SOM (και ταυτοχρονα, από υψηλά επίπεδα RC), βελτιώνει τη διήθηση του νερού, μειώνοντας την υποβάθμιση του εδάφους, μέσω της διάβρωσης από το νερό και τον αέρα. Ο αντιδρών άνθρακας σχετίζεται με ένα πλήθος διαδικασιών του εδάφους, που περιλαμβάνουν την αύξηση/δραστηριότητα της μικροβιακής βιομάζας και την ανακύκλωση των θρεπτικών. Οι ερευνητές έχουν διαπιστώσει ότι ο POxC, σχετίζεται σημαντικά με το MBC και σε μερικές περιπτώσεις με το SOC και, έτσι, μπορεί να ταιριάζει εξίσου για την παρακολούθηση των πρακτικών διαχείρισης, που προωθούν τη δέσμευση C.

Εξαιτίας του μικρού χρόνου εναλλαγής του RC, σημαντικές μειώσεις στον RC μπορεί να σημάνουν μείωση στη SOM και να υποδεικνύουν την υποβάθμιση των φυσικών, χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων και διαδικασιών που σχετίζονται με τη SOM. Οι αρνητικές επιδράσεις από τη μείωση του RC, περιλαμβάνουν τη μειωμένη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, την αυξημένη φαινόμενη πυκνότητα και τη μειωμένη διήθηση του νερού, ικανότητα κατακράτησης νερού, μικροβιακή δραστηριότητα και διαθεσιμότητα θρεπτικών (Sparks, 2003).

### 2.3.2. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους (EC) μετρά την ικανότητα του νερού του εδάφους να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια ηλεκτρολυτική διαδικασία που λαμβάνει χώρα κυρίως μέσω των γεμάτων με νερό πόρων. Κατιόντα ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , και  $\text{NH}_4^+$ ) και ανιόντα ( $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  και  $\text{HCO}_3^-$ ) από άλατα διαλυμένα στο νερό του εδάφους, μεταφέρουν ηλεκτρικά φορτία και άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Ως συνέπεια, η συγκέντρωση των ιόντων, καθορίζει την EC των εδαφών. Στην γεωργία, η EC έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως ως ένα μέτρο της αλατότητας του εδάφους. Παρόλα αυτά, σε μη αλατώδη εδάφη, η EC μπορεί να αποτελέσει εκτίμηση, άλλων ιδιοτήτων του εδάφους, όπως της υγρασίας και του βάθους του εδάφους. Εκφράζεται σε deciSiemens ανά μέτρο (dS/m).

Οι εγγενείς παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα των εδαφών, περιλαμβάνουν την ποσότητα και τον τύπο διαλυμένων αλάτων στο διάλυμα, την πάρωση, την υφή του εδάφους (ειδικά το περιεχόμενο σε άργιλο και η μεταλλολογία), την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους. Υψηλά επίπεδα κατακρήμνισης μπορούν να απομακρύνουν τα διαλυτά άλατα από το έδαφος και να μειώσουν την EC. Αντίστροφα, σε άνυδρα εδάφη (με χαμηλά επίπεδα κατακρήμνισης), τα διαλυτά άλατα είναι πιο πιθανό να συσσωρευτούν στο εδαφικό προφίλ, με αποτέλεσμα υψηλές τιμές EC. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα μειώνεται σημαντικά, όταν η θερμοκρασία του εδαφικού νερού βρίσκεται κάτω από το σημείο πήξης (η EC μειώνεται κατά 2,2% ανά  $^{\circ}\text{C}$ , εξαιτίας του αυξημένου ιξώδους του νερού και της μειωμένης κινητικότητας των ιόντων). Σε γενικές γραμμές, η EC αυξάνει, καθώς το περιεχόμενο σε άργιλο αυξάνει. Εδάφη με άργιλους που κυριαρχούνται από υψηλής ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC) ορυκτά (π.χ. σμεκτίτης), έχουν υψηλότερη EC από αυτά με άργιλο που κυριαρχείται από ορυκτά χαμηλής CEC (π.χ. καολινίτης). Τα άνυδρα εδάφη, με υψηλό περιεχόμενο διαλυτών αλάτων και ανταλλάξιμου Νατρίου, γενικά επιδεικνύουν εξαιρετικά υψηλές EC. Σε εδάφη με υψηλό και αλατώδη υδάτινο ορίζοντα, το νερό θα ανέλθει μέσω της τριχοειδικότητας και θα αυξήσει τη συγκέντρωση των αλάτων και την EC στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους.

Είναι γενικά αποδεκτό, ότι όσο υψηλότερη η πάρωση (υψηλότερο το περιεχόμενο σε υγρασία του εδάφους), τόσο μεγαλύτερη η ικανότητα του εδάφους να άγει τα ηλεκτρικά ρεύματα. Έτσι, αν άλλες ιδιότητες είναι παρόμοιες, όσο πιο διαβρεγμένο το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη η EC. Το μητρικό πέτρωμα του εδάφους συνεφέρει στη μεταβλητότητα της EC. Οι γρανίτες έχουν χαμηλότερη EC από τους παράκτιους σχιστόλιθους και τα αργιλώδη λιμναιία αποθέματα έχουν υψηλότερη EC από τα αμμώδη εδάφη ή τις αλουβιακές αποθέσεις.

Τα αλατώδη ( $EC_e \geq 4$  dS/m) και νατριούχα (κλάσμα προσρόφησης νατρίου  $\geq 13$ ) εδάφη χαρακτηρίζονται από υψηλή EC. Η βιβλιογραφία αναφέρει συσχέτιση μεταξύ των τιμών της EC που μετρούνται με εμπορικούς αισθητήρες και με το βάθος των αργιλωδών πλακών, του βραχώδους υποστρώματος και των σκληρών πλακών. Μικροτοπογραφικές λακκούβες σε αγροτικά πεδία, τυπικά είναι πιο πιο διαβρεγμένα και συσσωρεύουν οργανική ύλη και θρεπτικά και, γι' αυτό έχουν υψηλότερη EC από τις γειτονικές, υψηλότερα κείμενες, καλύτερα αποστραγγισμένες περιοχές.

Τα ανόργανα εδάφη που είναι εμπλουτισμένα με οργανική ύλη, ή με χημικά λιπάσματα (π.χ.  $NH_4OH$ ), έχουν υψηλότερη CEC από τα μη εμπλουτισμένα εδάφη, επειδή η οργανική ύλη βελτιώνει την ικανότητα κατακράτησης νερού του εδάφους και τα συνθετικά λιπάσματα βοηθούν στο περιεχόμενο των αλάτων. Συνεχή εφαρμογή αστικών λυμάτων στο έδαφος, μπορούν να αυξήσουν την EC του εδάφους σε μερικές περιπτώσεις. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα έχει χρησιμοποιηθεί για να κατανοηθεί η σχετική συγκέντρωση, η έκταση και η κίνηση των αποβλήτων ζώων, στο έδαφος. Εξαιτίας της ευαισθησίας της στα διαλυμένα άλατα, η EC αποτελεί μια αποτελεσματική μέτρηση για την αξιολόγηση της μόλυνσης του επιφανειακού και υπόγειου νερού. Αν και η EC δεν παρέχει απευθείας μέτρηση συγκεκριμένων ιόντων ή ενώσεων, έχει συσχετιστεί με τις συγκεντρώσεις του καλίου, νατρίου, χλωρίου, θειικών, αμμωνίας και νιτρικών στο έδαφος. Περιορισμένη διήθηση στο έδαφος, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αποστράγγιση, πλημμυρισμένο έδαφος και αυξημένη EC.

Η EC του εδάφους δεν επηρεάζει απ' αυθείας την ανάπτυξη των φυτών, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί ως ένας έμμεσος δείκτης των ποσοτήτων των θρεπτικών που είναι διαθέσιμα για πρόσληψη από τα φυτά και τα επίπεδα της αλατότητας. Η EC έχει χρησιμοποιηθεί ως ένα υποκατάστατο μέτρησης της συγκέντρωσης των αλάτων, της οργανικής ύλης, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων, της υφής του εδάφους, του πάχους του εδάφους, των θρεπτικών (π.χ. νιτρικών), της ικανότητας συγκράτησης νερού και τις συνθήκες αποστράγγισης. Σε μελέτες η EC έχει χρησιμοποιηθεί για το διαμερισμό των μονάδων διαχείρισης, για τη διαφοροποίηση των τύπων του εδάφους και να προβλέψουν τη γονιμότητα του εδάφους και την έκταση της παραγωγής. Για παράδειγμα, οι αγρότες μπορούν να χρησιμοποιήσουν χάρτες EC, για την εφαρμογή διαφορετικών στρατηγικών διαχείρισης (π.χ. λιπάσματα N), σε τμήματα ενός χωραφιού που έχουν διαφορετικούς τύπους εδάφους. Σε μερικές μονάδες διαχείρισης, η υψηλή EC έχει συσχετιστεί με υψηλά επίπεδα νιτρικών και άλλα επιλεγμένα θρεπτικά του εδάφους (P, K, Ca, Mg, Mn, Zn και Cu).

Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί είναι ευαίσθητοι στα άλατα (υψηλή EC). Οι ακτινομύκητες και οι μύκητες είναι γότερο ευαίσθητοι από τα βακτήρια, εκτός από τα αλόφυτα (ανθεκτικά στα άλατα) βακτήρια. Οι

μικροβιακές διαδικασίες, συμπεριλαμβανομένης της αναπνοής και της νιτροποίησης, μειώνονται καθώς η EC αυξάνεται (Πίνακας 2.3).

**Πίνακας 2.3.** Επίδραση της EC του εδάφους στις μικροβιακές διαδικασίες στα εδάφη που διαφοροποιούνται με NaCl ή νιτρικά. (Smith και Doran, 1996).

Microbial process	Salt added	EC Range (dS/m)	Relative Decrease (%)	Threshold EC (1:1)
Respiration	NaCl	0.7 - 2.8	17 - 47	0.7
Decomposition	NaCl + alfalfa	0.7 - 2.9	2 - 25	0.7
Nitrification	soil + alfalfa	0.7 - 2.9	10 - 37	0.7
Denitrification	NO <sub>3</sub> -N	1 - 1.8	32 - 88	1

Η υψηλή EC μπορεί να αποτελεί ένδειξη προβλημάτων αλατότητας ( $EC > 4dS/m$ ), που εμποδίζουν την ανάπτυξη της παραγωγής (ανικανότητα για απορρόφηση του νερού, ακόμη και όταν αυτό είναι παρόν) και της μικροβιακής δραστηριότητας. Τα εδάφη με υψηλή EC, ως αποτέλεσμα υψηλής συγκέντρωσης Νατρίου, γενικά έχουν φτωχή δομή και αποστράγγιση και το Νάτριο καθίσταται τοξικό για τα φυτά (Hillel, 1998).

### 2.3.3. Νιτρικά του εδάφους.

Τα νιτρικά ( $NO_3^-$ ) αποτελούν μορφή του ανόργανου Αζώτου (N), που φυσικά ανευρίσκεται στο έδαφος. Πηγές του  $NO_3^-$  του εδάφους περιλαμβάνουν την αποσύνθεση των καταλοίπων των φυτών, των ζωικών περιττωμάτων, του κομπόστ, των χημικών λιπασμάτων, των εκκριμάτων από ζώντα φυτά, τη βροχόπτωση και τους κεραυνούς. Τα νιτρικά ιόντα που ακινητοποιούνται (προσλαμβάνονται) από μικροοργανισμούς και κάποια στιγμή μετατρέπονται σε οργανικές μορφές και απελευθερώνονται πίσω στο έδαφος σε διαθέσιμες για τα φυτά μορφές, όταν οι νεκροί οργανισμοί του εδάφους γίνονται τροφή ή αποσυντίθενται. Σε καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη, το αμμώνιο ( $NH_4^+$ ) και η αμμωνία ( $NH_3$ ) μετατρέπονται σε  $NO_3^-$  από ειδικούς πληθυσμούς αεροβίων βακτηρίων (νιτροποίηση).

Ένας άλλος βιολογικός μετασχηματισμός του N είναι η απονιτροποίηση, η μετατροπή του  $NO_3^-$  σε νιτρώδες οξύ (N<sub>2</sub>O), διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) και αέριο άζωτο (N<sub>2</sub>) που συχνά συμβαίνει σε αναερόβια εδάφη, όπως τα πλημμυρισμένα εδάφη και οι υγρότοποι. Ακόμη και όταν τα αζωτοποιά βακτήρια είναι πολύ δραστήρια στο εξωτερικό μέρος των συσσωματωμάτων σε καλά αερισμένα εδαφη, η απονιτροποίηση μπορεί



επίσης να συμβαίνει σε αναερόβιες μικροπεριοχές, εντός των συσσωματωμάτων. Τα νιτρικά είναι πολύ διαλυτά στο νερό και μπορούν εύκολα να μεταφερθούν με την απορροή και άλλες επιφανειακές και υποεπιφανειακές ροές προς τα ποτάμια και τις λίμνες ή να μεταφερθούν κατακόρυφα στα υπόγεια ύδατα.

Ενδογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την κινητικότητα των  $\text{NO}_3^-$  αποτελεί η υφή του εδάφους: όσο πιο αδρή είναι η υφή ενός εδάφους (άμμος), τόσο γρηγορότερα το  $\text{NO}_3^-$  εκπλένεται από το εδαφικό προφίλ, επειδή τα ιόντα  $\text{NO}_3^-$  δε συνδέονται με τα σωματίδια της άμμου και τα επίπεδα διήθησης είναι τυπικά πολύ υψηλές σε αμμώδη εδάφη. Σε βαρεία βροχοπτώση, το  $\text{NO}_3^-$  στα εδάφη αυτά, μπορεί να εκπλυθεί και να μολύνει τα υπόγεια ύδατα. Λιγότερο διαβρωμένοι τύποι ορυκτών της αργίλου (π.χ. μοντμοριλονίτης, ιλίτης, βερμικουλίτης) έχουν χαμηλότερη κατακράτηση  $\text{NO}_3^-$  από τα πολύ διαβρωμένα ορυκτά (π.χ. καολινίτης) που εντοπίζονται σε τροπικά και υποτροπικά εδάφη. Εδάφη με υψηλή CEC δεν κατακρατούν  $\text{NO}_3^-$ . Τέτοια εδάφη, όπως εκείνα που εντοπίζονται στη λεκάνη του ποταμού Μισσισιπιτή, έχουν σοβαρά ζητήματα έκπλυσης. Το κλίμα (η θερμοκρασία και η κατακρήμνιση) επηρεάζει το βαθμό της νιτροποίησης. Η ιδανική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 86 και 95 °F. Η περιορισμένη αποστράγγιση του εδάφους δημιουργεί ένα ιδανικό βιοχημικό περιβάλλον για απονιτροποίηση και την απελευθέρωση αερίου  $\text{NO}_x$  στην ατμόσφαιρα, που επιδεινώνεται σε πλούσια σε άνθρακα εδάφη (π.χ. υδρότοποι ή plugged tile drains).

Το εδαφικό  $\text{NO}_3^-$  είναι ευαίσθητο σε εποχιακές διακυμάνσεις και την παρουσία καλλιεργειών. Η ποσότητα του  $\text{NO}_3^-$  αυξάνει καθώς το έδαφος ζεσταίνεται σε εύκρατες περιοχές (Μάιος και Ιούνιος) και αργότερα, επειδή το  $\text{NO}_3^-$  εκπλένεται κατά τη διάρκεια της περιόδου των βροχοπτώσεων, μειώνεται σημαντικά το φθινόπωρο.

Όσον αφορά στους δυναμικούς παράγοντες, τα νιτρικά είναι συνήθως ανεπαρκή σε όξινα εδάφη, επειδή το χαμηλό pH του εδάφους (<5,5) μειώνει την νιτροποίηση. Η νιτροποίηση σταματά σε  $\text{pH} < 4,5$  και το ιδανικό pH κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8. Επειδή η οργανική ύλη αποτελεί σημαντική πηγή  $\text{NO}_3^-$ , η συγκέντρωση μπορεί να σχετίζεται με τα πρότυπα περιεχομένου οργανικής ύλης, στο πεδίο. Πρόσθετα, η νιτροποίηση εξαρτάται από από τους μικροοργανισμούς, που πολλαπλασιάζονται με την παρουσία οργανικής ύλης. Κατάλοιπα με υψηλή αναλογία C:N (>24/1) επιβραδύνουν την απελευθέρωση  $\text{NO}_3^-$  από την οργανική ύλη. Οι μικροοργανισμοί, αρχικά ακινητοποιούν όλο το διαθέσιμο  $\text{NO}_3^-$ . Αυτό καθυστερεί την αποσύνθεση της οργανικής ύλης και τη σχετιζόμενη νιτροποίηση.

Ο κύριος ρόλος του  $\text{NO}_3^-$  είναι να λειτουργεί ως πηγή Αζώτου για τη θρέψη και ανάπτυξη των φυτών και των μικροοργανισμών του εδάφους. Η απονιτροποίηση οδηγεί σε απώλεια αζώτου από το έδαφος και παράγει κάποιες μορφές ενδιάμεσου αερίου αζώτου (π.χ.  $\text{N}_2\text{O}$ ) που είναι επιβλαβείς για το περιβάλλον. Προβλήματα

που σχετίζονται με υψηλές συγκεντρώσεις  $\text{NO}_3^-$  περιλαμβάνουν τη μόλυνση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων και αυξημένο κίνδυνο ευτροφισμού που απειλεί την επιβίωση της υδρόβιας ζωής. Η νιτροποίηση μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε οξίνιση του εδάφους από  $\text{H}^+$  που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας (Sparks, 2003).

#### 2.3.4. Εδαφικό pH.

Το pH του εδάφους αναφέρεται στο βαθμό οξύτητας ή αλκαλικότητας του εδάφους. Επειδή το pH αναφέρεται σε λογαριθμική κλίμακα, μεταβολή κατά λίγες μονάδες pH επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο χημικό περιβάλλον και σε ευαίσθητες βιολογικές διαδικασίες. Οι πηγές ιόντων  $\text{H}^+$  στο διάλυμα του εδάφους περιλαμβάνουν τα ανθρακικά οξέα που παράγονται όταν το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) που παράγεται από αποικοδομούμενη οργανική ύλη, αναπνοή των ριζών και βρίσκεται στην ατμόσφαιρα του εδάφους, διαλύεται στο νερό του εδάφους. Άλλες πηγές ιόντων  $\text{H}^+$  είναι τα εκκρίματα ριζών, η αντίδραση των ιόντων αργιλίου ( $\text{Al}^{+3}$ ) με το νερό, η νιτροποίηση του αμμωνίου από λιπάσματα και την ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης, η αντίδραση των θειούχων ενώσεων, η βοχόπτωση και η όξινη βροχή. Συγκεκριμένα εδάφη είναι πιο ανθεκτικά σε μια πτώση ή αύξηση του pH (ρυθμιστική ικανότητα). Έτσι η απαίτηση σε ασβεστόλιθο, που είναι η ποσότητα σε ασβεστόλιθο ( $\text{CaCO}_3$ ) που απαιτείται για την αύξηση του pH ενός όξινου εδάφους σε ένα επιθυμητό pH, πρέπει να καθοριστεί επακριβώς για ένα πεδίο, πριν αυτό τροποποιηθεί χημικά.

Ενδογενείς παράγοντες: το φυσικό pH του εδάφους αντανακλά τη συνδυασμένη επίδραση των γενεσιουργών δυνάμεων του εδάφους. Η αποσάθρωση και οι σχετιζόμενες χημικές αντιδράσεις απελευθερώνουν κατιόντα ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+1}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ ) που παραμένουν ελεύθερα στο διάλυμα του εδάφους, σχηματίζουν συμπλέγματα με διαλυμένες οργανικές ενώσεις ή προσροφώνται στην επιφάνεια των ορυκτών της αργίλου και του χούμου.

Με το χρόνο, η έκπλυση ελεύθερων κατιόντων, βασικών οξειδίων και υδρογονανθράκων, όπως και η απομάκρυνση κατιόντων μέσω της πρόσληψης από τα φυτά και της συγκομιδής και ο συνεχής σχηματισμός ανθρακικών οξέων, οδηγούν σε οξίνιση του εδάφους. Με την απώλεια των κατιόντων, τα ιόντα  $\text{H}^+$  τα αντικαθιστούν στο εδαφικό διάλυμα και στην επιφάνεια των ορυκτών της αργίλου και του χούμου. Σε πολύ όξινα εδάφη, (όπου το pH είναι μικρότερο από 5), το αργίλιο καθίσταται διαλυτό και τα ιόντα του ( $\text{Al}^{+3}$ ) τείνουν να αντιδρούν με το νερό για την παραγωγή ιόντων  $\text{H}^+$ , που περεταίρω επιδεινώνουν την οξίνιση. Σε άνυδρα κλίματα, η αποσάθρωση του εδάφους και η έκπλυση είναι λιγότερο έντονες, τα κατιόντα αθροίζονται και τα ιόντα  $\text{OH}^-$  εκτοπίζουν τα ιόντα  $\text{H}^+$ . Ως αποτέλεσμα, το έδαφος γίνεται ουδέτερο προς αλκαλικό. Τα εδάφη με αδρή υφή μπορεί να υφίστανται οξίνιση πιο εύκολα από τα αργιλώδη, επειδή έχουν χαμηλό περιεχόμενο σε οργανική ύλη, χαμηλή ρυθμιστική ικανότητα, χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων

(χαμηλή κατακράτηση κατιόντων) και υψηλό βαθμό διείσδυσης και διήθησης του νερού. Η άργιλος και η οργανική ύλη στα ανόργανα εδάφη, λειτουργούν ως ρυθμιστές που αντιστέκονται στις διακυμάνσεις του pH. Το μητρικό υλικό του εδάφους, επηρεάζει τις ιδιότητες του εδάφους, του pH συμπεριλαμβανομένου, όπως φαίνεται από τα αντίθετα pH που διαμορφώνονται σε ασβεστολιθικά και γρανιτικά υλικά. Η επίδραση της βλάστησης στο εδαφικό pH οφείλεται μερικώς στον τύπο του χούμου, καθώς συγκεκριμένοι τύποι χούμου οξινίζουν το έδαφος. Η διάβρωση του εδάφους απομακρύνει τους επιφανειακούς ορίζοντες, που μπορεί να είναι πλούσιοι σε οργανική ύλη, δημιουργώντας μια διαβάθμιση pH κατά μήκος της πλαγιάς.

Όσον αφορά στους δυναμικούς παράγοντες, η μετατροπή μη καλλιεργούμενων εδαφών σε καλλιεργητικά μπορεί να οδηγήσει σε δραστικές μεταβολές του pH, μετά από μερικά χρόνια. Αυτές οι αλλαγές σχετίζονται με την απομάκρυνση κατιόντων από την παραγωγή, την επιτάχυνση της έκπλυσης, την επίδραση των λιπασμάτων και τροποποιητών και τη διακύμανση στο περιεχόμενο σε οργανική ύλη και στη ρυθμιστική ικανότητα του εδάφους. Οι πλούσιοι σε κατιόντα ανόργανοι τροποποιητές αυξάνουν το pH του εδάφους. Αμμώνιο από την ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης (νιτροποίηση), βασιζόμενα στο αμμώνιο λιπάσματα και θειούχες ενώσεις, χαμηλώνουν το pH. Υψηλά επίπεδα διείσδυσης και διήθησης του νερού, αυξάνουν την έκπλυση κατιόντων και επιταχύνουν την οξίνιση του εδάφους.

Το pH του εδάφους επηρεάζει τις φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες και διαδικασίες του εδάφους, όπως και την ανάπτυξη των φυτών. Η θρέψη, ανάπτυξη και παραγωγή των περισσότερων καλλιεργειών μειώνεται όπου το pH είναι χαμηλό και αυξάνει καθώς το pH αυξάνεται σε ένα ιδανικό επίπεδο (**Πίνακας 2.4**). Πολλές καλλιέργειες μεγαλώνουν καλύτερα αν το pH είναι πιο κοντά στο ουδέτερο (pH 6 με 7,5) αν και λίγες καλλιέργειες προτιμούν όξινα ή αλκαλικά εδάφη. Σε όξινα εδάφη, το Ασβέστιο και το Μαγνήσιο, τα Νιτρικά-Άζωτο, ο Φώσφορος, το Βόριο, το Μολυβδαίνιο είναι ανεπαρκή, ενώ το Αργίλιο και το υπερμαγγανικό είναι άφθονα, μερικές φορές σε επίπεδα τοξικά για κάποια φυτά. Ο Φώσφορος, ο Σίδηρος, ο Χαλκός, ο Ψευδάργυρος και το Βόριο είναι συχνά ανεπαρκή σε πολύ αλκαλικά εδάφη.

**Πίνακας 2.4.** Σχετική παραγωγή συγκεκριμένων καλλιεργειών που αναπτύσσονται σε εναλλαγή καλαμποκιού, χαμηλού σιταριού και ψυχανθών, σε διαφορετικά επίπεδα pH. (Smith και Doran, 1996)

Crop	pH				
	4.7	5	5.7	6.8	7.5
	Relative Average Yield				
Corn	34	73	83	100	85
Wheat	68	78	89	100	99
Oats	77	93	99	98	100
Barley	0	23	80	95	100
Alfalfa	2	9	42	100	100
Soybean	65	79	80	100	93
Timothy	31	47	66	100	95

Οι βακτηριακοί πληθυσμοί και η δραστηριότητά τους μειώνεται σε χαμηλά επίπεδα pH, ενώ οι μύκητες προσαρμόζονται σε μεγάλο εύρος pH (όξινο και αλκαλικό). Οι περισσότεροι μικροοργανισμοί έχουν ένα ιδανικό εύρος pH για την επιβίωση και λειτουργία τους.

Σε πολύ όξινα ή αλκαλικά επίπεδα pH, η ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης επιβραδύνεται ή σταματά, εξαιτίας της φτωχής μικροβιακής δραστηριότητας που σχετίζεται με τα βακτήρια. Η νιτροποίηση και η αζωτοδέσμευση επίσης αναστέλλονται σε χαμηλό pH. Η κινητικότητα και αποικοδόμηση ζιζανιοκτόνων και εντομοκτόνων και η διαλυτότητα βαρέων μετάλλων, εξαρτάται από το pH. Οι επιδράσεις του pH του εδάφους στη διαθεσιμότητα των κατιόντων, επηρεάζει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων αφού τα πολυσθενή κατιόντα, όπως τα ιόντα ασβεστίου, λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ των οργανικών κολλοειδών και της αργίλου. Μερικές ασθένειες επικρατούν όταν το έδαφος είναι αλκαλικό ή όξινο. Η ασθένεια που προκαλείται από το μύκητα *Gaeumannomyces graminis*, ευνοείται από αλκαλικό pH και μολύνει το σιτάρι, το κριθάρι, τη σίκαλη και αρκετά άλλα γρασίδια.

Ανεπάρκειες πολλών θρεπτικών, μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας και της παραγωγής της καλλιέργειας και η υποβάθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών, σχετίζεται με υψηλά επίπεδα pH (Sparks, 2003).

## 2.4. Βιολογικοί δείκτες.

Οι βιολογικοί δείκτες περιλαμβάνουν ιδιότητες που σχετίζονται με τη βιολογική δραστηριότητα στην οργανική ύλη, όπως ο άνθρακας της μικροβιακής βιομάζας (Suman και συν., 2006) και η εδαφική αναπνοή (Janssens και συν., 2006; Marriot και Wander, 2006), όπως επίσης την αφθονία, ποικιλότητα τις τροφικές αλυσίδες, τη σταθερότητα των κοινωνιών και τους οργανισμούς που σχετίζονται με τη μεσοπανίδα όπως οι γεωσκώληκες, οι νηματώδεις και τα αρθρόποδα, που χρησιμεύουν στην αποκατάσταση του εδάφους ή ως οικολογικοί δείκτες (Snyder και Hendrix, 2008). Τέλος, βιολογικές δραστηριότητες όπως η ενζυμική δραστηριότητα (Liu Xiu, 2008), το δυναμικό ανοργανοποίησης άζωτο ή η παραγωγή CO<sub>2</sub>, σχετίζονται με την ομάδα αυτή βιολογικών δεικτών (Tejada, 2006).

Οι οργανισμοί του εδάφους αποτελούν ευαίσθητους δείκτες και αντικατοπτρίζουν την επίδραση της ανθρώπινης διαχείρισης και των κλιματικών αλλαγών. Παρόμοια, οι οργανισμοί του εδάφους θεωρούνται δείκτες ποιότητας και της υγείας, εξαιτίας του ότι η ποικιλότητα και αφθονία μπορεί να σχετίζονται με την αποσύνθεση της οργανικής ύλης, την ανάπτυξη των φυτών και ριζών (ανταγωνισμός), τη δέσμευση και αποτοξίνωση από βαρέα μέταλλα (Nakatsu και συν., 2005), ζιζνιοκτόνα και άλλους μολυντές, τα κατασταλτικά προς τις ασθένειες εδάφη και την παρουσία παθογόνων στο έδαφος και τα φυτά (Del Val και Azcón-Aguilar, 1999).

#### **2.4.1. Γεωσκώληκες.**

Οι γεωσκώληκες αναγνωρίζονται ως κύριοι παράγοντες στον τρόπο λειτουργίας πολλών οικοσυστημάτων (Bartlett και συν., 2010). Βοηθούν στη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, στη βελτίωση της ικανότητας συγκράτησης νερού, στο μέγεθος των πόρων και στο βαθμό διήθησης (Lapied και συν., 2009).

Οι γεωσκώληκες έχουν χρησιμοποιηθεί ως δείκτες της ανθρωπογενούς χρήσης γης. Στην Ολλανδία χρησιμοποιούνται ως βιολογικοί δείκτες της ποιότητας του εδάφους και στη Γερμανία για την βιολογική κατάταξη περιοχών του εδάφους, βασιζόμενοι στη δομή της κοινότητας των γεωσκωλήκων, στην αφθονία τους και στη βιομάζα τους (Römbke και συν., 2005). Οι οργανισμοί αυτοί αναγνωρίζονται ως εύκολοι και απλοί δείκτες (για τους διαχειριστές γης) της υγείας του εδάφους, εξαιτίας της ευαισθησίας τους στα ζιζνιοκτόνα και στις υψηλές συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων, όπως τα Cu, Cd, Hg, Pb και Zn (Cikutovic και συν., 1999), στις μεταλλικές οργανικές ενώσεις (πενταχλωροφαινόλες) και στα PCB (Booth και συν., 2000). Ο Wang και συν. (2009), μελέτησε τους γεωσκώληκες και τον άνθρακα της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους (SMBC), ως υποστηρικτικό μέσο της χημικής ανάλυσης και των βιοδεικτών της μόλυνσης του εδάφους με βαρέα μέταλλα σε ένα εγκαταλεημένο ορυχείο χαλκού στην ανατολική Nanjing, στην Κίνα. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν αρκετά μοντέλλα γραμμικής παλινδρόμησης βασιζόμενοι στα φυσικά και χημικά

χαρακτηριστικά του εδάφους και την περιεκτικότητα μετάλλων στα σώματα των γεωσκωλήκων, προτείνοντας τη χρήση των κατοικόντων στο έδαφος γεωσκωλήκων ως δεικτών της διαθεσιμότητας των μετάλλων. Συγγραφείς όπως ο Barlett και οι συν. (2010), προτείνουν την ενσωμάτωση τεχνολογικά προηγμένων μεθόδων σε συνδυασμό με συστήματα βασιζόμενα σε μοντέλα, για την κατανόηση σε επίπεδο πεδίου, της λειτουργίας των γεωσκωλήκων ως άτομα και πληθυσμοί, εντός των οικοσυστημάτων τους (Bartlett και συν., 2010).

Οι γεωσκώληκες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, βασιζόμενα στο ενδιαίτημά τους. Οι κάτοικοι της στρωμνής, ζούν στη στρωμνή, καταπίνουν τα κατάλοιπα των φυτών και μπορεί να είναι απόντες σε αρωμένο, ελεύθερο στρωμνής έδαφος. Οι κάτοικοι ορυκτού εδάφους, ζουν στο επιφανειακό έδαφος, που είναι πλούσιο σε οργανική ύλη. Σκάβουν στενά κανάλια, και τρέφονται με ένα μίγμα εδάφους και καταλοίπων φυτών. Οι σκαπανείς βαθέος εδάφους, (τη νύχτα έρποντες) σκάβουν μακριές, μεγάλες τρύπες, στα βαθιά στρώματα του εδάφους. Κουβαλούν μαζί τους κατάλοιπα φυτών για κατανάλωση. Τα απεκκρίματα των γεωσκωλήκων είναι υλικό πέψης που εκκρίνεται πίσω στο έδαφος. Τα απεκκρίματα εμπλουτίζονται με θρεπτικά (N, P, K και Ca) και μικροοργανισμούς, κατά τη δίοδό τους διαμέσου του πεπτικού συστήματος, του σκουληκιού. Τα φρέσκα απεκκρίματα αποτελούν θέσεις για έντονη μικροβιακή δραστηριότητα και ανακύκλωση θρεπτικών. Οι γεωσκώληκες συνεισφέρουν θρεπτικά στο έδαφος και αυξάνουν την πόρωση, τη γονιμότητα και την ανάπτυξη των ριζών. Μετρώνται σε αριθμό/m<sup>2</sup>.

Οι γεωσκώληκες ανευρίσκονται σε ποικίλα περιβάλλοντα, αλλά εποχιακές και κλιματικές διακυμάνσεις, επηρεάζουν την αφθονία, κατανομή και δραστηριότητά τους. Είναι περισσότερο ενεργά την άνοιξη και φθινόπωρο. Η υγρασία του εδάφους, ο αερισμός, η θερμοκρασία και η υφή, επηρεάζουν τους πληθυσμούς γεωσκωλήκων. Το νερό αποτελεί περισσότερο από το 75% του βάρους του σώματος του γεωσκώληκα και τα υγρά εδάφη προτιμώνται για την αποφυγή αφυδάτωσης. Οι γεωσκώληκες εγκλιματίζονται ταχύτατα, μετακινούμενοι σε υγρά μέρη ή περνώντας σε κατάσταση αδράνειας. Στην απουσία στρωμνής, οι πολύ υψηλές ή θερμοκρασίες ψύχους του εδάφους, μπορούν να μειώσουν δραστικά τους πληθυσμούς των γεωσκωλήκων σε σύντομο χρόνο, αλλά η φονική θερμοκρασία ποικίλει μεταξύ των ειδών. Ένα γενικευμένο εύρος για τη δραστηριότητα των γεωσκωλήκων είναι το 0-30 °C. Τα σταθερά συσσωματώματα περιέχουν οργανική ύλη που βελτιωμένη πόρωση, άρα και κυκλοφορία αέρα, αποστράγγιση και διήθηση, που ευνοούν την εγκατάσταση γεωσκωλήκων. Εδάφη ιλύος με μεγάλη περιεκτικότητα οργανικής ύλης και ικανότητα συγκράτησης νερού, αποτελούν πλέον ιδανικό ενδιαίτημα σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη, που ξηραίνονται και φτάνουν σε μη βολικές θερμοκρασίες ταχύτατα. Τα βαθιά εδάφη αποτελούν τον αγαπημένο θώκο για τους γεωσκώληκες, ειδικά τους σκαπανείς αβαθών εδαφών.

Η αφθονία και δραστηριότητα των γεωσκωλήκων σχετίζονται με την ποσότητα και ποιότητα των καταλοίπων των φυτών, που παρέχουν τροφή και υγρασία για κατοίκηση. Η στρωμένη βοηθά στη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους και μεσολαβεί στο μικροκλίμα του εδάφους, παρέχοντας αρκετό χρόνο για τους γεωσκώληκες για να μετακινηθούν και να αποφύγουν υψηλές ήθερμοκρασίες ψύξης. Η μη άρωση και άλλες αειφόρες πρακτικές δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για τους γεωσκώληκες. Ο πληθυσμός σε μη αρωμένα εδάφη, μπορεί να φτάσει δύο ή τρεις φορές αυτόν συμβατικά αρωμένων εδαφών. Οι πληθυσμοί των κατοίκων στρωμνής και των ερπόντων τη νύχτα, μπορεί να μειωθεί και να εξαφανιστεί στα συστήματα συμβατικής άρωσης, εξαιτίας της καταστροφής των σπυρίων τους και το ξέπλυμα των επιφανειακών καταλοίπων. Οι πληθυσμοί γεωσκωλήκων είναι γενικά υψηλοί και δραστήριοι σε λιβαδικές εκτάσεις, εξαιτίας του χονδρού επιφανειακού καλύμματος και της συνεχούς παροχής τροφής, από τα κατάλοιπα φυτών και περιττώματα των ζώων.

Ενώ το ουδέτερο pH είναι ιδανικό, οι γεωσκώληκες μπορούν να προσαρμοστούν σε pH 5-8, με μερικά είδη να αντέχουν ακόμη πιο όξινα εδάφη. Οι ανάγκες σε οξυγόνο επίσης ποικίλουν μεταξύ ειδών, με μερικά να αντέχουν σε χαμηλές ποσότητες. Η αμμωνία και τα λιπάσματα που βασίζονται στην αμμωνία, είναι τοξικά για τους γεωσκώληκες εξαιτίας των όξινων συνθηκών που δημιουργούνται από τη χρήση τους. Τα ζιζανιοκτόνα τείνουν να έχουν χαμηλή τοξικότητα στους γεωσκώληκες, αν χρησιμοποιηθούν στην προτεινόμενη έκταση. Ωστόσο η ατραζίνη, που ευρύτατα χρησιμοποιείται, έχει αναφερθεί ότι είναι ελαφρώς τοξική. Τα εντομοκτόνα καρβαμιδικού και τα μυκητοκτόνα (carbendazim, benomyl) έχουν σοβαρές δυσμενείς επιδράσεις στους γεωσκώληκες.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι γεωσκώληκες συνεισφέρουν στην παραγωγή. Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην τροποποίηση της φυσικής δομής των εδαφών, παράγοντας νέα συσσωματώματα και πόρους, που βελτιώνουν τη γονιμότητα, τον αερισμό, τη διήθηση και την αποστράγγιση. Οι γεωσκώληκες παράγουν συνδετικές ουσίες υπεύθυνες για το σχηματισμό σταθερών στο νερό μακρο-συσσωματωμάτων. Βελτιώνουν την πόρωση του εδάφους, σκάβοντας και ανακατεύοντας το έδαφος. Τρεφόμενοι, συνεισφέρουν στην αποσύνθεση των καταλοίπων των φυτών, την ανακύκλωση και ανακατανομή των θρεπτικών, στο εδαφικό προφίλ. Τα απορρίματά τους, όπως και οι νεκροί και αποσυντιθέμενοι γεωσκώληκες, αποτελούν πηγή θρεπτικών. Οι ευεργετικές αυτές επιδράσεις διεγείρουν την ανάπτυξη ριζών βαθιά εντός του εδάφους για την ικανοποίηση των απαιτήσεων σε νερό και θρεπτικά. Οι ρίζες συχνά ακολουθούν τις σήραγγες των γεωσκωλήκων και την πρόσληψη διαθέσιμων θρεπτικών που σχετίζεται με τα απορρίματα.

Χαμηλοί ή απουσιάζοντες πληθυσμοί γεωσκωλήκων αποτελούν ένδειξη περιορισμένων ή απόντων οργανικών καταλοίπων στο έδαφος και/ή υψηλής θερμοκρασίας του εδάφους και χαμηλής υγρασίας, που

προκαλεί στρες όχι μόνο στους γεωσκώληκες, αλλά και στην αειφόρο παραγωγή. Οι γεωσκώληκες διεγείρουν την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Απουσία γεωσκωλήκων μπορεί να μειώσει την ανακύκλωση θρεπτικών και τη διαθεσιμότητά τους για πρόσληψη από τα φυτά. Πρόσθετα, η φυσική αποστράγγιση και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, μπορεί να μειωθεί. Η αποκατάσταση του εδάφους για την αύξηση της ανακύκλωσης θρεπτικών, τη διάσπαση των συμπιεσμένων στρωμάτων και τη βελτίωση της αποστράγγισης και του αερισμού και τη σταθεροποίηση και προστασία από τη διάβρωση, μπορεί να είναι απαραίτητη. Κάποια εδάφη είναι φυσικά παραγωγικά χωρίς γεωσκώληκες εξαιτίας των εγγενών τους ιδιοτήτων (Johnson, 2009).

#### **2.4.2. Σωματιδιακή οργανική ύλη (POM).**

Το κλάσμα σωματιδιακής οργανικής ύλης (POM), αναφέρεται σε όλα τα σωματίδια οργανικής ύλης του εδάφους (SOM), που είναι μικρότερα από 2 mm και μεγαλύτερα από 0,053mm σε μέγεθος (Cambardella και Elliot, 1992). Η POM είναι βιοχημικά και βιολογικά ενεργή και αποτελεί μέρος της ασταθούς (εύκολα αποικοδομήσιμης) δεξαμενής της οργανικής ύλης του εδάφους. Μελέτες έχουν δείξει ότι η POM ευθύνεται για περιορισμένες έως μεγάλες ποσότητες του C του εδάφους (20% και περισσότερο), εξαρτώμενα από τα αγροτικά συστήματα και τις πρακτικές διαχείρισης.

Εγγενείς και δυναμικές ιδιότητες του εδάφους και οι ανθρώπινες δραστηριότητες που επηρεάζουν την παραγωγή βιομάζας, τη συσσώρευση και/ή αποσύνθεση, θα επηρεάζουν το περιεχόμενο σε POM του εδάφους.

Οι κλιματικές συνθήκες, όπως η κατακρήμνιση και η θερμοκρασία, μπορεί να επηρεάσουν την ποσότητα της παραγόμενης βιομάζας και τα κατάλοιπα που εισέρχονται στο έδαφος και έτσι τη συσσώρευση POM στο έδαφος. Οι τύποι του εδάφους, ιδιαίτερα η υφή του εδάφους, επηρεάζουν τη συσσώρευση της POM. Για παράδειγμα, η άργιλος έχει μια ισχυρή σύνδεση με την POM και δρα ως φυσικό φράγμα στη μικροβιακή πρόσβαση, μειώνοντας τη μικροβιακή αποικοδόμηση και αυξάνοντας τη συσσώρευση POM. Η τοπογραφία, ιδιαίτερα το υψόμετρο και η κλίση, μπορούν να δημιουργήσουν μια διαβάθμιση της κατανομής της POM, εξαιτίας διαφορών στη θερμοκρασία και τους τύπους της βλάστησης σε διαφορετικά υψόμετρα και στην ευαισθησία διάβρωσης στις διάφορες τάξεις κλίσης.

Η προσθήκη καταλοίπων φυτών ή άλλων οργανικών τροποποιητών, αυξάνει τον ολικό οργανικό άνθρακα και το σχετιζόμενο άνθρακα της POM. Τα οργανικά κατάλοιπα με χαμηλή αναλογία C/N (υψηλό περιεχόμενο σε άζωτο) μπορεί να αποικοδομούνται γρήγορα και να μειώνουν τη συσσώρευση της POM. Διαταραχές του εδάφους, όπως η καταστροφή των συσσωματωμάτων με την καλλιέργεια και διαφορετικές περιόδους



διαβροχής και ξήρανσης, εκθέτουν την οργανική ύλη στη μικροβιακή αποσύνθεση και μειώνουν το περιεχόμενο σε POM του εδάφους. Τα σταθερά συσσωματώματα του εδάφους, διεγείρουν το σχηματισμό POM, με την προστασία της οργανικής ύλης που είναι συνδεδεμένη εντός και ανάμεσα στα συσσωματώματα από την ταχεία μικροβιακή αποσύνθεση. Παρόλα αυτά, η ικανοποιητική υγρασία και θερμοκρασία του εδάφους και ο αερισμός μπορούν να επιταχύνουν την ανοργανοποίηση της SOM και του κλάσματος της POM.

Ως ίσως το πιο εύκολα αποικοδομήσιμο κλάσμα της μη ζώσας SOM μετά τη μικροβιακή βιομάζα, η POM εκπληρώνει πολλές λειτουργίες του εδάφους, στις οποίες μεσολαβεί η OM. Αποτελεί πηγή τροφής/ενέργειας για τους μικροοργανισμούς και τα ζώα του εδάφους, όπως και για τα θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών. Η σωματιδιακή οργανική ύλη ενισχύει τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, τη διήθηση του νερού και τον αερισμό του εδάφους. Αυξάνει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και τη ρυθμιστική ικανότητα του pH. Συνδέεται επίσης με περιβαλλοντικούς ρυπαντές όπως τα βαρέα μέταλλα και τα ζιζανιοκτόνα. Η POM μπορεί να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην καταστολή προερχόμενων από το έδαφος ασθενειών από το κομπόστ. Αυτό εξηγείται από το ότι η POM αποτελεί σημαντική πηγή τροφής/ενέργειας στο κομπόστ για τους μικροοργανισμούς που είναι υπεύθυνοι για την καταστολή ασθενειών.

Σε εδάφη περιορισμένης διαχείρισης, η μεταφορά από τη διάβρωση ιζημάτων πλούσιων σε POM στα ποτάμια και άλλα υδάτινα σώματα, μπορεί να οδηγήσει στην αλλοίωση της ποιότητας των νερών και της υδάτινης ζωής. Η συσσώρευση και ανοργανοποίηση των οργανικών αυτών υλικών οδηγούν σε ευτροφισμό των λιμνών και ποταμιών. Ατελής ανοργανοποίηση του άνθρακα της POM, σε πολύ φτωχά αποστραγγιζόμενα εδάφη, μπορεί να οδηγήσει σε παραγωγή μεθανίου, που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα και συμβάλλει στην διάσπαση του όζοντος (USDA, 2015).

### **2.4.3. Δυνητικά ανοργανοποιήσιμο άζωτο (PMN).**

Το PMN μπορεί να οριστεί ως το κλάσμα του οργανικού αζώτου που μετατρέπεται σε διαθέσιμες για τα φυτά (ή ανόργανες) μορφές, σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού και χρονικά περιθώρια. Ο καθορισμός των επιπέδων του PMN παρέχει μια εκτίμηση του διαθέσιμου αζώτου στο έδαφος. Το PMN προέρχεται κυρίως από τη μικροβιακή βιομάζα και τους ιστούς φυτών και ζώων - την κύρια πηγή της δεξαμενής του οργανικού αζώτου. Αντιπροσωπεύει το κλάσμα του αζώτου που εύκολα αποικοδομείται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και θεωρείται έμμεση μέτρηση της διαθεσιμότητας του αζώτου κατά την εποχή της ανάπτυξης της παραγωγής.

Ενώ το δυναμικό της αναερόβιας ανοργανοποίησης του N μπορεί να αποτελέσει καλό δείκτη του δυναμικού του εδάφους να παρέχει N, δεν αντανακλά απαραίτητα τα επίπεδα του N της μικροβιακής βιομάζας. Προτάθηκε ότι η αναλογία του ανόργανου N σε σχέση με το συνολικό οργανικό N, θα μπορούσε να αποτελέσει έναν ευαίσθητο δείκτη διαφορών στην οργανική ύλη του εδάφους.

Τα επίπεδα του PMN μπορεί να είναι υψηλότερα σε υγρά κλίματα σε σχέση με τα ξηρότερα, εξαιτίας της ενίσχυσης της παραγωγής βιομάζας. Τα αργιλώδη εδάφη έχουν την ικανότητα να προτατεύουν φυσικά την οργανική ύλη και το οργανικό άζωτο και με τον τρόπο αυτό τη σχετιζόμενη PMN από την αποικοδόμηση από μικροοργανισμούς. Κατά την έγκλειση του εδάφους για τη μέτρηση της PMN, τα σωματίδια της αργίλου του εδάφους, μπορούν να προσελκύσουν και να διατηρήσουν πρόσκαιρα αργίλιο στα σύμπλοκα ανταλλαγής κατιόντων. Το βάθος έως το βραχώδες υπόστρωμα, επηρεάζει τις υδρολογικές ιδιότητες (π.χ. τη διακύμανση του υδάτινου ορίζοντα και την επακόλουθη υδρομορφία του εδάφους, προκαλώντας υπερβολικά υψηλά ή χαμηλά επίπεδα υγρασίας), που με τη σειρά τους καθορίζουν τα χημικά τελικά προϊόντα της ανοργανοποίησης του N, δηλαδή του αμμωνίου ή των νιτρικών. Οι χαμηλές περιοχές (τοπογραφικές καταπτώσεις) ενός πεδίου τείνουν να συσσωρεύουν περισσότερη οργανική ύλη και συνολικό N, και πιθανότατα διαθέσιμο N και PMN, σε σχέση με υψηλότερες περιοχές.

Οι ιδιότητες του εδάφους και οι πρακτικές διαχείρισης του εδάφους που επηρεάζουν τη δυναμική της οργανικής ύλης και του οργανικού N, θα επηρεάσουν τελικά τα επίπεδα του διαθέσιμου N και PMN. Η συνεχής καλλιέργεια εδαφών χωρίς την αναπλήρωση με εξωτερική οργανική ύλη, εξαντλεί την οργανική ύλη και το απόθεμα N και τη σχετική διαθέσιμη PMN. Αντιστρόφως, επανειλημμένες προσθήκες κοπριάς ή καταλοίπων σοδειών, συνήθως αυξάνουν τα επίπεδα του διαθέσιμου N και πιθανότατα του PMN. Η μη άρωση αυξάνει σημαντικά τα επίπεδα του PMN συγκριτικά με την άρωση και την προσθήκη λιπασμάτων. Τα εδάφη με σταθερά συσσωματώματα προστατεύουν την οργανική ύλη του εδάφους και το σχετιζόμενο διαθέσιμο N από τη μικροβιακή υποβάθμιση, σε σχέση με εδάφη με ασταθή συσσωματώματα. Τα μικρά συσσωματώματα περιέχουν μεγαλύτερη αναλογία εύκολα ανοργανοποιήσιμου οργανικού N. Έτσι, μεγαλύτερη ποσότητα PMN μπορεί να εξαχθεί από εδάφη με μικρά συσσωματώματα, έναντι αυτών με μεγαλύτερα.

Η συσσώρευση και ανοργανοποίηση του N επίσης εξαρτάται από την αναλογία C:N των τροποποιητικών υλικών που προστίθενται στο έδαφος.

Ως ένα εύκολα διαθέσιμο κλάσμα του συνολικού N, το PMN αποτελεί σημαντική δυνητική πηγή N για την ανάπτυξη της παραγωγής και τη σοδειά, ιδιαίτερα στην οργανική γεωργία. Το PMN μπορεί να αποτελέσει

πηγή διαθέσιμου N για μικροοργανισμούς και έμμεσα ενισχύει τη μικροβιακή ανάπτυξη και της δραστηριότητας, των κύκλων του C και N περιλαμβανομένων. Σε καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη, το PMN καθίσταται διαθέσιμο στα φυτά και τους μικροοργανισμούς, κυρίως με τη μορφή νιτρικών, με αερόβια ανοργανοποίηση. Σε φτωχά αποστραγγιζόμενα εδάφη (π.χ. ορυζώνες), το PMN καθίσταται διαθέσιμο στη μορφή αμμονίου με αναερόβια ανοργανοποίηση.

Εδάφη με φυσικό χαμηλό περιχόμενο σε οργανική ύλη ή ξεπλυμένα από κακή διαχείριση, θα έχουν χαμηλό περιεχόμενο σε PMN. Στην απουσία ζώσας βλάστησης, ένα υψηλό επίπεδο διαθέσιμου N που παρέχεται από τη δεξαμενή του PMN μπορεί να συσσωρευθεί και να καταστεί μια δυνητική πηγή μόλυνσης N για τα υπόγεια ύδατα. Ένα περίσσειμα νιτρικών από τη δεξαμενή του PMN μπορεί να χαθεί στην ατμόσφαιρα, ως αέρια προϊόντα αζώτου σε ακόλουθες πολύ βροχερές εποχές ή κάτω από έντονη άρδευση (πολλά από τα προϊόντα αυτά, όπως τα οξείδια του αζώτου αποτελούν αέρια του θερμοκηπίου) (USDA, 2015).

#### **2.4.4. Μεταβολικές ουσίες.**

Πολλές μεταβολικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες της ποιότητας του εδάφους, περιλαμβάνοντας τις στερόλες, τα αντιβιοτικά, τις πρωτεΐνες, τα ένζυμα κλπ.

##### **- Εργοστερόλη**

Η εργοστερόλη αποτελεί την κύρια ενδογενή στερόλη των μυκήτων, ακτινομυκήτων και μερικών μικροφυκών. Η συγκέντρωσή τους αποτελεί σημαντικό δείκτη της μυκητιακής ανάπτυξης σε οργανικές ουσίες και της δραστηριότητας ανοργανοποίησης (Battilani και συν., 1996).

Στην περιοχή του Ειρηνικού, οι Joergensen και Castillo (2001), προσδιόρισαν μια θετική συσχέτιση μεταξύ του  $qCO_2$  και της αναλογίας εργοστερόλης προς τον C της βιομάζας και μεταξύ της αναλογίας C της βιομάζας προς C του εδάφους και του περιεχομένου σε άργιλο και πρότειναν ως κύρια προβλήματα της γονιμότητας και ποιότητας του εδάφους, τη χαμηλή διαθεσιμότητα της οργανικής ύλης και του φωσφόρου του εδάφους, προς τους μικροοργανισμούς, που μεγεθύνονται από τη χαμηλή περιεκτικότητα των μυκήτων, πιθανότατα μειώνοντας την ικανότητα του εδάφους να παρέχει θρεπτικά για την ανάπτυξη των φυτών.

##### **- Γκλομαλίνη**

Η γκλομαλίνη ως αδιάλυτο και υδροφοβικό πρωτεϊνικό μίγμα ουσιών και ως σχετιζόμενη με τη γκλομαλίνη εδαφική πρωτεΐνη (GRSP), έχει προταθεί για τη βελτίωση της σταθερότητας του εδάφους, με την αποφυγή

της αποσυσσωμάτωσης που προκαλείται από το νερό (Wright και συν., 2008). Ισχυρή συσχέτιση της συγκέντρωσης της γκλομαλίνης και της ποσότητας των συσσωματωμάτων που είναι σταθερά στο νερό (WSA) έχει διαπιστωθεί (Hamer και συν., 2004). Rillig (2004) πρότεινε ότι στα συσσωματώματα (και τα εδάφη) με υψηλό περιεχόμενο σε GRSP, οι πόροι στα μακρο-συσσωματώματα έχουν σφραγιστεί με την απόθεση της ουσίας αυτής, καθυστερώντας τη διείσδυση του νερού στο συσσωμάτωμα.

Η GRSP, έχει μελετηθεί από πολλούς ερευνητές ως βιοχημικός δείκτης του εδάφους (Rosier και συν., 2006), ειδικά εξαιτίας της σταθερότητάς της κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο σταθερής κατάστασης, παρά τις δυναμικά αρνητικές επιδράσεις της διαχείρισης στους μυκοριζικούς μύκητες, όπως η άρωση, η αγροανάπαυση στην εναλλαγή καλλιεργειών και ο εμπλουτισμός με φώσφορο (Preger και συν., 2007). Ο Bedini και συν. (2009), χρησιμοποιώντας φυτά *Medicago sativa*, εμβολιασμένα με *Glomus mosseae*, διαπίστωσε σημαντικά υψηλότερη σταθερότητα συσσωματωμάτων (ως μέσο βάρος μακρο-συσσωματωμάτων 1-2 nm σε διάμετρο), σε μυκοριζικά εδάφη συγκριτικά με μη μυκοριζικά και η συγκέντρωση GRSP και η σταθερότητα των συσσωματωμάτων συσχετίζονταν θετικά με τον όγκο των μυκοριζικών ριζών και ασθενώς συσχετίζονταν με το συνολικό όγκο ριζών (Bedini και συν., 2009).

#### **2.4.5. Ένζυμα εδάφους.**

Οι ενζυμικές δραστηριότητες έχουν συσχετιστεί με δείκτες των βιοχημικών κύκλων, την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και διαδικασίες αποκατάστασης εδαφών, οι οποίες καθορίζουν σε συνδυασμό με άλλες φυσικές ή χημικές ιδιότητες την ποιότητα ενός εδάφους (Gelsomino και συν., 2006). Οι Nielsen και Winding (2001), όπως και ο Eldor (2007), αναφέρουν τα ένζυμα ως καλούς δείκτες επειδή: α) σχετίζονται συχνά με την οργανική ύλη, τα φυσικά χαρακτηριστικά, τη μικροβιακή δραστηριότητα και τη βιομάζα στο έδαφος, β) παρέχουν πρώιμη πληροφόρηση για τις αλλαγές στην ποιότητα και αξιολογούνται ταχύτερα. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της προέλευσης των ενζύμων (από βακτήρια, μύκητες, φυτά και ποικιλία μακροαρθροπόδων), των διαφορετικών εντοπισμών των ενζύμων (ενδο- ή εξωκυτταρικών), της συσχέτισης με τη μήτρα (ζωντανά ή νεκρά κύτταρα, άργιλοι και/ή χουμικές ενώσεις) και τις συνθήκες των εργαστηριακών δοκιμών, έχει δειχθεί ότι είναι εξαιρετικής σημασίας η βελτιστοποίηση των διαδικασιών του καθορισμού της ενζυματικής δραστηριότητας, ώστε να επιτευχθούν οι καλύτερες τιμές και δείκτες, σύμφωνα με τις εγγενείς ιδιότητες του εδάφους.

#### **- β-Γλυκοσιδάση**

Έχει σημαντικό ρόλο στις καταλυτικές αντιδράσεις της αποικοδόμησης της κυτταρίνης, την απελευθέρωση της γλυκόζης ως πηγή ενέργειας για τη διατήρηση της μεταβολικά ενεργής μικροβιακής βιομάζας στο έδαφος (Gutiérrez και συν., 2008). Επίσης σχετίζεται άμεσα με το περιεχόμενο του εδάφους σε ασταθή C και την ικανότητα σταθεροποίησης της οργανικής ύλης του εδάφους, επιδεικνύοντας χαμηλή εποχιακή διακύμανση (Knight και Dick, 2004), ενώ αναστέλεται από βαρέα μέταλλα όπως ο Cu και Cd (Makoi και Ndakidemi, 2008). Ως ελεύθερο ένζυμο στο εδαφικό διάλυμα, έχει μικρής διάρκειας δραστηριότητα, επειδή ταχύτατα αποικοδομείται, αποδιοργανώνεται ή αναστέλλεται μη αντιστρεπτά. Ωστόσο μικρή ποσότητα από τα ελεύθερα αυτά ένζυμα, μπορεί να χάσουν τη σταθερότητά τους εξαιτίας της προσρόφησης στα ορυκτά του εδάφους ή ενσωμάτωσης στα χουμικά υλικά, το οποίο μπορεί, εκτός από το να επηρεάσει το καταλυτικό τους δυναμικό, να επιτρέψει την παράταση της ενζυματικής τους δραστηριότητας στο έδαφος (Maix και συν., 2005).

### **- Φωσφατάση**

Αν και αποτελεί σημαντικό θρεπτικό, ο P είναι ακινητοποιημένος, εξαιτίας εγγενών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως το pH, που επηρεάζει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών και τη δραστηριότητα ενζύμων, μεταβάλλοντας την ισορροπία της στερεάς φάσης του εδάφους (Dick και συν., 2000). Οι μικροοργανισμοί του εδάφους διαδραματίζουν κύριο ρόλο στη διαλυτοποίηση των φωσφορικών, με την απελευθέρωση χαμηλού μοριακού βάρους, οργανικών οξέων (Sundara και Hari, 2002) και την παραγωγή εξωκυττάρων ενζύμων, όπως οι φωσφατάσες, που καταλύουν την υδρόλυση των εστέρων και ανυδριτών των φωσφορικών οξέων. Η δραστηριότητά τους εξαρτάται από εξωκυτταρικά ένζυμα, που μπορεί να είναι ελεύθερα στην φάση του εδαφικού νερού ή σταθεροποιημένα στο χουμικό κλάσμα ή στο περιεχόμενο του εδάφους σε άργιλο (Turner και Haygarth, 2005). Οι φωσφομονοεστεράσες, είναι ενεργές τόσο σε όξινες όσο και σε αλκαλικές συνθήκες, σύμφωνα με το ιδανικό τους pH και επειδή δρουν στις ενώσεις του P χαμηλού μοριακού βάρους, περιλαμβανομένων των νουκλεοτιδίων, των φωσφορικών, των σακχάρων και πολυφωσφορικών (Makoi και Ndakidemi, 2008), μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες. Οι Turner και Haygarth (2005), εκτίμησαν τη δραστηριότητα της φωσφατάσης σε έυκρατα λιβάδια και εντόπισαν ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ενζυμικής δραστηριότητας και των εδαφικών ιδιοτήτων όπως το pH, το ολικό N, ο οργανικός P και το περιεχόμενο σε άργιλο.

### **- Αφυδρογονάση**

Η ενζυματική δραστηριότητα της αφυδρογονάσης αποτελεί εσωτερική διαδικασία των μικροοργανισμών και εμπλέκεται στην οξείδωση της οργανικής ύλης. Παρόλα αυτά, η δραστηριότητά της δεν σχετίζεται σταθερά με άλλες ιδιότητες του βιολογικού συστήματος, όπως η κατανάλωση O<sub>2</sub>, η παραγωγή CO<sub>2</sub> ή η μικροβιακή

βιομάζα (Dick, 1996). Ωστόσο, θεωρείται δείκτης της ποιότητας του εδάφους, επειδή εμπλέκεται στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρονίων του μεταβολισμού του οξυγόνου και απαιτεί ενδοκυττάριο περιβάλλον (ζώντα κύτταρα) για την έκφραση της δραστηριότητάς της (Kandeler και Dick, 2007). Πρόσθετα, η δραστηριότητα του ενζύμου δεν είναι παρούσα σε εξωκυττάρια μορφή, όπως οι υδρολάσες (β-Γλυκοσιδάση, ουρεάση, φωσφατάσες), που υποδηλώνει, ότι δεν αποτελεί ένζυμο για την αξιολόγηση της υποβάθμισης του εδάφους, επειδή η δραστηριότητά της κυμαίνεται με τη μικροβιακή δραστηριότητα, ως απόκριση σε πρακτικές διαχείρισης και/ή κλιματικές επιδράσεις (Kandeler και Dick, 2007). Η δράση της επίσης εξαρτάται από την παρουσία βαρέων μετάλλων, κατάλυση της διαδικασίας δοκιμής από εξωκυττάρια φαινολικές οξειδάσες και άλλους εναλλακτικούς υποδοχείς ηλεκτρονίων, όπως τα νιτρικά και οι χουμικές ενώσεις (Tate, 2002).

### **- Ουρεάση**

Τα ένζυμα αυτά σχετίζονται με την υδρόλυση της ουρίας σε CO<sub>2</sub> και NH<sub>3</sub> και συνακόλουθα, με την αύξηση του pH και την απώλεια N, με την αεριοποίηση της NH<sub>3</sub>. Εξαιτίας του ρόλου της ουρίας ως λιπάσματος, η ουρεάση εξετάζεται για την εκτίμηση της παροχής N στα φυτά, αν και οι πρακτικές λίπανσης δεν είναι αποδοτικές λόγω αυτής της αεριοποίησης (Makoi και Ndakidemi, 2008). Αντίθετα, νέα ένζυμα που σχετίζονται με τον κύκλο του N αποτελούν αντικείμενο μελέτης, όπως η δραστηριότητα της μονοοξυγενάσης της αμμωνίας (AMO) (Gutiérrez και συν., 2009), ενός δεσμευμένου στη μεμβράνη ενζύμου, χρήσιμου στον καθορισμό του βαθμού νιτροποίησης και της δράσης των αναστολέων της νιτροποίησης, ταχύτερα από την ποσοτικοποίηση των νιτρικών, ως τελικών προϊόντων.

Ο Gutiérrez και συν. (2009) μελέτησε τη χωρική μεταβλητότητα τριών υδρολυτικών ενζύμων, συμπεριλαμβανομένης της δραστηριότητας της AMO σε έδαφος καλλιέργειας ρυζιού στην Χιλή και βρήκε θετική συσχέτιση με τη διαθεσιμότητα σε N, που σημαίνει ότι το ένζυμο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη διαδικασία νιτροποίησης στο έδαφος και τον καθορισμό αν οι απώλειες N οφείλονται σε εξάτμιση, νιτροποίηση ή απονιτροποίηση.

Η ουρεάση έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εκτίμηση αλλαγών της ποιότητας του εδάφους που σχετίζονται με τη διαχείριση, αφού η δραστηριότητά της αυξάνεται με την οργανική λίπανση και μειώνεται με την άρωση (Saviozzi και συν., 2001). Αποτελεί κυρίως εξωκυττάριο ένζυμο, αντιπροσωπεύοντας το 63% της συνολικής δραστηριότητας στο έδαφος. Έχει δειχθεί ότι η δραστηριότητά της εξαρτάται από τη μικροβιακή κοινότητα, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους (Corstanje και συν., 2007) και η σταθερότητά της επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως τα οργανικά-μεταλλικά σύμπλοκα και οι χουμικές ενώσεις, που τις καθιστούν ανθεκτικές στους παράγοντες αποδόμησης όπως η θερμότητα και η πρωτεολυτική προσβολή

(Makoi και Ndakidemi, 2008). Η δραστηριότητα της ουρεάσης χρησιμοποιείται ως δείκτης ποιότητας του εδάφους επειδή επηρεάζεται από παράγοντες του εδάφους, όπως το καλλιεργητικό ιστορικό, το περιεχόμενο σε οργανική ύλη, το βάθος του εδάφους, οι πρακτικές διαχείρισης, τα βαρέα μέταλλα και περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και το pH (Yang και συν., 2006). Η κατανόηση της δραστηριότητας της ουρεάσης θα παράσχει καλύτερους τρόπους διαχείρισης της λίπανσης με ουρία, ιδιαίτερα σε θερμές περιοχές, υψηλής βροχόπτωσης, πλυμνηρισμένα εδάφη και συνθήκες άρδευσης (Makoi και Ndakidemi, 2008).

Τα ένζυμα του εδάφους αυξάνουν το ρυθμό της αντίδρασης με τον οποίο τα κατάλοιπα των φυτών αποικοδομούνται και απελευθερώνουν διαθέσιμα για τα φυτά, θρεπτικά. Οι πηγές των ενζύμων του εδάφους περιλαμβάνουν ζώντα και νεκρά μικρόβια, τις ρίζες των φυτών και τα εδαφικά ζώα. Τα ένζυμα που σταθεροποιούνται στην εδαφική μήτρα συσσωρεύονται ή σχηματίζουν σύμπλοκα με την οργανική ύλη (το χούμο), την άργιλο και τα σύμπλοκα χούμου-αργίλου, αλλά δε σχετίζονται πλέον με τα ζώντα κύτταρα.

Θεωρείται ότι το 40 με 60% της ενζυματικής δραστηριότητας μπορεί να προέλθει από σταθεροποιημένα ένζυμα, έτσι η δραστηριότητα δε σχετίζεται απαραίτητα ισχυρά με τη μικροβιακή βιομάζα ή την αναπνοή. Έτσι, η ενζυματική δραστηριότητα αποτελεί την αθροιστική επίδραση της μακροπρόθεσμης μικροβιακής δραστηριότητας και τη δραστηριότητα του ζώντος πληθυσμού. Ωστόσο, ένα παράδειγμα ενζύμου που αντανάκλα τη δραστηριότητα μόνο των ζώντων οργανισμών αποτελεί η αφυδρογονάση, που στη θεωρία, μπορεί να προκύψει μόνο σε ζώντα κύτταρα και όχι σε σταθεροποιημένα συμπλέγματα του εδάφους.

Τα ένζυμα του εδάφους, έχουν ποικίλες ιδανικές τιμές pH και θερμοκρασίας στις οποίες λειτουργούν πιο αποτελεσματικά. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα της φωσφατάσης, της αρυλ-σουλφατάσης και της αμιδάσης που εμπλέκονται στον κύκλο του φωσφόρου, θείου και αζώτου αντίστοιχα, σχετίζεται ισχυρά με διακυμάνσεις στο pH του εδάφους. Αφού η δομή του ενζύμου και η σύνδεση του υποστρώματος, μπορεί να τροποποιηθεί από τη ζέστη και το εξαιρετικό ψύχος, η ενζυματική δραστηριότητα μειώνεται πάνω και κάτω από την ιδανική θερμοκρασία. Η δραστηριότητα πολλών ενζύμων συχνά σχετίζεται επίσης, με το περιεχόμενο σε υγρασία του εδάφους. Η ξηρασία μπορεί να καταστείλει την ενζυματική δραστηριότητα. Η υφή του εδάφους επηρεάζει την ενζυματική δραστηριότητα και, φυσιολογικά, οι ενζυματικές δραστηριότητες σχετίζονται ισχυρά και θετικά με το περιεχόμενο σε άργιλο. Τα αργιλώδη εδάφη έχουν μεγαλύτερη ικανότητα να αποθηκεύουν οργανική ύλη, που διεγείρει τις μικροβιακές κοινότητες και η άργιλος σχηματίζει συμπλέγματα αργίλου-ενζύμων. Αντίθετα, τα αμμώδη εδάφη τείνουν να επιδεικνύουν χαμηλούς βαθμούς ενζυματικής δραστηριότητας, επειδή από φυσικού τους, έχουν χαμηλά επίπεδα οργανικής ύλης και περιορισμένη ικανότητα συγκράτησης νερού, που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη μικροβιακή βιομάζα και ενζυματική δραστηριότητα.

Η προσθήκη οργανικών τροποποιητών και η υιοθέτηση πρακτικών διαχείρισης που αυξάνουν την οργανική ύλη του εδάφους, οδηγούν σε αυξημένη ενζυματική δραστηριότητα. Οι ρίζες των φυτών διεγείρουν την ενζυματική δραστηριότητα εξαιτίας της θετικής τους δράσης στη μικροβιακή δραστηριότητα και την παραγωγή εκκριμάτων πλούσιων σε υποστρώματα, στα οποία δρουν τα ένζυμα.

Οι αυξημένες συγκεντρώσεις του εδάφους σε χημικές ενώσεις που αποτελούν τελικά προϊόντα ενζυματικών αντιδράσεων, μπορούν να αναστείλουν την ενζυματική δραστηριότητα με αναστολή ανάδρασης. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα της φωσφατάσης αυξάνεται σε εδάφη φτωχά σε φώσφορο, αλλά η δράση της μειώνεται σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωσή του. Παρομοίως, η δραστηριότητα ουρεάσης, μπορεί να κατασταλεί από τα λιπάσματα αζώτου τα βασιζόμενα σε αμμωνία, επειδή το αμμώνιο αποτελεί το προϊόν της δραστηριότητας της ουρεάσης.

Η συμπίεση μπορεί να περιορίσει τη δραστηριότητα ενζύμων που σχετίζονται με την ανοργανοποίηση των θρεπτικών, εξαιτίας του μειωμένου οξυγόνου στο έδαφος για αυτές τις αντιδράσεις ή τους οργανισμούς που απαιτούν αερόβιο περιβάλλον. Αντίστροφα, οι αναερόβιες συνθήκες από τη συμπίεση ή τον κορεσμό σε νερό, αυξάνουν το ρυθμό των ενζυματικών αντιδράσεων που σχετίζονται με την απονιτροποίηση. Η εφαρμογή υλικών που περιέχουν βαρέα μέταλλα, μπορεί να μειώσει την ενζυματική δραστηριότητα (π.χ. αμιδάση), εξαιτίας της τοξικής τους επίδρασης στους οργανισμούς του εδάφους και τις ρίζες και την άμεση αναστολή των ενζυματικών αντιδράσεων.

Τα ένζυμα ανταποκρίνονται στις αλλαγές διαχείρισης του εδάφους, πολύ πιο σύντομα απ' ό,τι αλλαγές σε άλλους δείκτες της ποιότητας του εδάφους, καταστούν ανιχνεύσιμες. Τα ένζυμα του εδάφους διαδραματίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης και την ανακύκλωση των θρεπτικών (**Πίνακας 2.5**). Μερικά ένζυμα μόνο διευκολύνουν τη διάσπαση της οργανικής ύλης (π.χ. υδρολάση, γλυκοσιδάση), ενώ άλλα εμπλέκονται στην ανοργανοποίηση των θρεπτικών (π.χ. αμιδάση, ουρεάση, φωσφατάση, σουλφίδια). Με την εξαίρεση της δραστηριότητας της φωσφατάσης, δεν υπάρχει ισχυρή απόδειξη που συσχετίζει απ' ευθείας την ενζυμική δραστηριότητα, με τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ή την παραγωγή. Η σχέση μπορεί να είναι έμμεση, στο ότι η ανοργανοποίηση των θρεπτικών σε διαθέσιμες για τα φυτά μορφές επιτυγχάνεται, με τη συνεισφορά της ενζυμικής δραστηριότητας.

Η απουσία ή η καταστολή των ενζύμων του εδάφους, αποτρέπει ή μειώνει τις διαδικασίες που μπορούν να επηρεάσουν τη διατροφή των φυτών. Φτωχή ενζυμική δραστηριότητα (π.χ. αποικοδομητικά ένζυμα των



ζιζανιοκτόνων) μπορεί να οδηγήσει στη συσσώρευση χημικών επιβλαβών προς το περιβάλλον. Μερικά από αυτά τα ένζυμα μπορεί περεταίρω να αναστείλουν την ενζυμική δραστηριότητα του εδάφους.

**Πίνακας 2.5.** Ρόλος των ενζύμων του εδάφους (USDA, 2015)

Enzyme	Organic Matter Substances Acted On	End Product	Significance	Predictor of Soil Function
Beta glucosidase	carbon compounds	glucose (sugar)	energy for microorganisms	organic matter decomposition
FDA hydrolysis	organic matter	carbon and various nutrients	energy and nutrients for microorganisms, measure microbial biomass	organic matter decomposition nutrient cycling
Amidase	carbon and nitrogen compounds	ammonium (NH <sub>4</sub> )	plant available NH <sub>4</sub>	nutrient cycling
Urease	nitrogen (urea)	ammonia (NH <sub>3</sub> ) and carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	plant available NH <sub>4</sub>	nutrient cycling
Phosphatase	phosphorus	phosphate (PO <sub>4</sub> )	plant available P	nutrient cycling
Sulfatase	sulfur	sulfate (SO <sub>4</sub> )	plant available S	nutrient cycling

#### 2.4.6. Αναπνοή εδάφους.

Η απελευθέρωση CO<sub>2</sub> από την επιφάνεια του εδάφους αναφέρεται ως αναπνοή του εδάφους. Το CO<sub>2</sub> αυτό, προέρχεται από πολλές πηγές, περιλαμβανομένης της αερόβιας μικροβιακής αποσύνθεσης της οργανικής ύλης του εδάφους, για την παροχή ενέργειας για την ανάπτυξη και λειτουργία (μικροβιακή αναπνοή), την αναπνοή των ριζών των φυτών και της πανίδας των ριζών και ενδεχομένως από τη διάλυση ανθρακικών στο διάλυμα του εδάφους. Η αναπνοή του εδάφους αποτελεί μέτρο της βιολογικής δραστηριότητας και της αποσύνθεσης. Η έκταση της απελευθέρωσης του CO<sub>2</sub> εκφράζεται σε CO<sub>2</sub>-C lbs/acre/ημέρα (ή kg/ha/d). Μπορεί να μετρηθεί από απλές μεθόδους πεδίου ή πιο εξειδικευμένες μεθόδους πεδίου ή εργαστηρίου.

Κατά την αποικοδόμηση της SOM, οργανικά θρεπτικά που περιέχονται στην οργανική ύλη (π.χ. ο οργανικός φώσφορος, άζωτο και θείο) μετατρέπονται σε ανόργανη μορφή που είναι κατάλληλη για πρόσληψη από τα φυτά (ανοργανοποίηση). Η αναπνοή του εδάφους είναι επίσης γνωστή ως ανοργανοποίηση του άνθρακα.

Τα μικρόβια του εδάφους έχουν ιδανικές συνθήκες όπου επικρατούν. Η έκταση της αναπνοής του εδάφους εξαρτάται από την ποσότητα και ποιότητα της SOM, τη θερμοκρασία, υγρασία και τον αερισμό. Η βιολογική δραστηριότητα των οργανισμών του εδάφους, διαφέρει εποχιακά, όσο και σε ημερήσια βάση. Η μικροβιακή αναπνοή υπερδιπλασιάζεται για κάθε αύξηση κατά 10°C έως ιδανικά τους 35 έως 40°C, πέρα από τους οποίους η υψηλή θερμοκρασία καθίσταται περιοριστική. Αντίθετα, η αποσύνθεση της SOM και η μικροβιακή δραστηριότητα σχεδόν σταματούν κάτω από τους περίπου 5°C (βιολογικό μηδέν).

Η αναπνοή του εδάφους αυξάνει με την αυξανόμενη υγρασία του εδάφους, έως το επίπεδο που η χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου (η έλλειψη αερισμού), εμπλέκεται στην ικανότητα ενός οργανισμού να αναπνέει. Το ιδανικό περιεχόμενο σε υγρασία του εδάφους για την αναπνοή του εδάφους, ποικίλει ανά περιοχή, αλλά τιμές 60% του χώρου των πόρων γεμάτο με νερό, έχουν αναφερθεί. Στα ξηρά εδάφη, η αναπνοή μειώνεται επειδή το έλλειμα της υγρασίας του εδάφους, περιορίζει τη μικροβιακή δραστηριότητα. Αντίστροφα, σε εξαιρετικά υγρά εδάφη, τα χαμηλά επίπεδα οξυγόνου, οδηγούν σε περιορισμένη αποικοδόμηση της οργανικής ύλης και βαθμό αναπνοής. Σε αυτά τα εδάφη, αναερόβια παραπροϊόντα σχηματίζονται, όπως το μεθάνιο ή τα σουλφίδια. Τα μέτριας υφής εδάφη (εδάφη ύλους), ευνοούν την εδαφική αναπνοή, εξαιτίας του καλού τους αερισμού και του περιεχομένου τους σε υγρασία. Στα αργιλώδη εδάφη, ένα σημαντικό ποσό της SOM προστατεύεται από την αποσύνθεση από τα σωματίδια της αργίλου και τα άλλα συσσωματώματα. Στην πραγματικότητα, η αναπνοή του εδάφους, ανταποκρίνεται στη συνδυασμένη δράση της θερμοκρασίας και υγρασίας, ειδικά στις πιο περιοριστικές συνθήκες για οποιοδήποτε από τους δύο παράγοντες.

Οι πρακτικές διαχείρισης του εδάφους που επηρεάζουν τη SOM, την υγρασία, τη συσσωμάτωση και το pH, επηρεάζουν την εδαφική αναπνοή. Πρακτικές που αφήνουν κατάλοιπα της παραγωγής στην επιφάνεια του εδάφους, όπως η μη-άρωση, η χρήση καλλιεργειών κάλυψης, ή άλλες πρακτικές που προσθέτουν οργανική ύλη, συνήθως διεγείρουν την αναπνοή του εδάφους. Τα κατάλοιπα της παραγωγής με χαμηλή αναλογία C:N, όπως αυτά από ψυχανθή, αποικοδομούνται ταχύτερα και παράγουν υψηλότερα επίπεδα CO<sub>2</sub> από κατάλοιπα με υψηλή αναλογία C:N (π.χ. άχυρο σιταριού). Καλλιέργειες υψηλής αναλογίας C:N συζευγμένες με την προσθήκη N (από οποιαδήποτε πηγή) αυξάνουν την αποικοδόμηση και τη συσσώρευση της SOM. Οι πρακτικές που αυξάνουν την SOM, επίσης βελτιώνουν τη συσσωμάτωση του εδάφους και την πόρωση και, έτσι, και τον αερισμό και το περιεχόμενο σε υγρασία του εδάφους. Αντίστροφα, η συνεχής καλλιέργεια και οι άλλες μέθοδοι συμβατικής άρωσης που απομακρύνουν, θάβουν, ή καίνε τα κατάλοιπα της παραγωγής, μειώνουν το περιεχόμενο σε SOM και τη μικροβιακή δραστηριότητα, μειώνοντας τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και την πόρωση και αυξάνοντας τη διάβρωση των επιφανειακών στρωμάτων που κανονικά έχουν το υψηλότερο περιεχόμενο σε SOM και τους πληθυσμούς μικροβίων που είναι καθοριστικοί για την αναπνοή του εδάφους. Η άρδευση σε ξηρές συνθήκες και η αποστράγγιση των υγρών εδαφών, μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την αναπνοή του εδάφους.

Το pH του εδάφους ρυθμίζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών και την κατανομή τους, τη δραστηριότητα των οργανισμών του εδάφους που είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση της SOM και άλλες διαδικασίες που συνεισφέρουν στην αναπνοή του εδάφους. Τα χημικά λιπάσματα μπορεί να διεγείρουν την ανάπτυξη των ριζών και να τρέφουν τα μικρόβια. Ωστόσο, σε υψηλές συγκεντρώσεις, κάποια λιπάσματα μπορεί να καταστούν ζημιογόνα για τα μικρόβια που είναι υπεύθυνα για την αναπνοή του εδάφους, εξαιτίας μεταβολών

στο pH και της πιθανής τους τοξικότητας. Παρόμοια, οι οργανικοί τροποποιητές με υψηλή συγκέντρωση σε βαρέα μέταλλα, όπως και ζιζανιοκτόνα και μυκητοκτόνα, μπορεί να είναι τοξικοί για τους μικροβιακούς πληθυσμούς, οδηγώντας σε μειωμένη μικροβιακή ποικιλότητα, αφθονία και αναπνοή.

Η αναπνοή του εδάφους αντανακλά την ικανότητά του να υποστηρίζει τη ζωή, της παραγωγής, των εδαφικών ζώων και των μικροοργανισμών συμπεριλαμβανομένων. Περιγράφει το μέγεθος της μικροβιακής δραστηριότητας, το περιεχόμενο σε SOM και την αποικοδόμησή της. Στο εργαστήριο, η αναπνοή του εδάφους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ανακύκλωση των θρεπτικών στο έδαφος. Η αναπνοή του εδάφους, επίσης παρέχει μια ένδειξη της ικανότητας του εδάφους να συντηρεί την ανάπτυξη των φυτών. Υπερβολική αναπνοή και αποσύνθεση της SOM, συνήθως συμβαίνει μετά την άρωση, εξαιτίας της καταστροφής των συσσωματωμάτων του εδάφους, που προηγούμενα προστάτευαν την SOM και αύξαναν τον αερισμό του εδάφους. Η εκπλυμένη SOM, η μειωμένη συσσωμάτωση του εδάφους και η περιορισμένη διαθεσιμότητα θρεπτικών για τα φυτά και τους μικροοργανισμούς, μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη παραγωγή, στην απουσία πρόσθετων εισροών. Το κατώφλι μεταξύ της συσσώρευσης και της απώλειας οργανικής ύλης, είναι δύσκολο να προβλεφθεί χωρίς τη γνώση της ποσότητας του άνθρακα που προστίθεται.

Η μειωμένη αναπνοή του εδάφους, είναι ανδεικτική χαμηλής ποσότητας ή απουσίας SOM ή αερόβιας μικροβιακής δραστηριότητας, στο έδαφος. Μπορεί, επίσης να υποδηλώνει ότι, οι ιδιότητες του εδάφους που συνεισφέρουν στην αναπνοή του εδάφους (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμός, διαθέσιμο N του εδάφους) περιορίζουν τη βιολογική δραστηριότητα και την αποσύνθεση της SOM. Με μειωμένη αναπνοή του εδάφους, τα θρεπτικά δεν απελευθερώνονται από την SOM, για να θρέψουν τα φυτά και τους οργανισμούς του εδάφους. Αυτό επηρεάζει την αναπνοή των φυτικών ριζών, που μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο των φυτών. Ατελής ανοργανοποίηση της SOM, συχνά συμβαίνει σε σε κορεσμένα ή πλημμυρισμένα εδάφη, οδηγώντας στο σχηματισμό ενώσεων που είναι επιβλαβείς για τις φυτικές ρίζες (π.χ. μεθάνιο και αλκοόλη). Σε τέτοια αναερόβια περιβάλλοντα, συνήθως λαμβάνει χώρα η απονιτροποίηση και η αεριοποίηση του θείου, συνεισφέροντας στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και την απόθεση οξέων.

#### **2.4.7. Ολικός Οργανικός Άνθρακας.**

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (SOC) έχει πολλές θετικές επιδράσεις στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και διεγείρει τη διήθηση του νερού, την αποθήκευση και αποστράγγιση (Magdoff και Weil, 2004; Kowalijow, 2007). Συνδέεται άμεσα με τη διατήρηση της δομής του εδάφους, την παρουσία διαφορετικών ομάδων μικροοργανισμών, την ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών.

Η οργανική ύλη του εδάφους καθορίζει την παροχή ενέργειας προς τους μικροοργανισμούς, τη διαθεσιμότητα και ποιότητα των υποστρωμάτων και τη βιοποικιλότητα που απαιτείται για τη διατήρηση πολλών από τις λειτουργίες του εδάφους. Πρόσθετα, το περιεχόμενο σε SOM ποικίλει ανάλογα με το κλίμα, το έδαφος και τη διαχείριση της παραγωγής και είναι υψηλότερη σε περιοχές με υψηλότερη μέση ετήσια κατακρήμνιση, χαμηλότερη μέση ετήσια θερμοκρασία και υψηλότερο περιεχόμενο σε άργιλο (Burke και Cole, 1995). Παρόμοια, επηρεάζεται από την πυκνότητα της βόσκησης, την ενσωμάτωση των καταλοίπων της σοδειάς ή την προσθήκη κλασμάτων οργανικής ύλης και τις πρακτικές διαχείρισης, όπως της ελάχιστης ή αειφόρου άρωσης.

Ο Franzluebbers και συν. (2002), πρότεινε λόγους διαστρωμάτωσης των ιδιοτήτων του εδάφους, π.χ. των δεξαμενών N και C, περιλαμβάνοντας τον ολικό και σωματιδιακό C και N, τον C της μικροβιακής βιομάζας του εδάφους και το δυναμικό ανοργανοποίησης C και N, για να εξηγήσει τις διαφορές αναφορικά με την ποιότητα του εδάφους, σε εδάφη με συμβατική και μη άρωση.

Σε σχέση με την αποσύνθεση της SOM, παράγοντες όπως η συγκέντρωση N και P, της αργίλου ή του περιεχομένου σε πολυσακχαρίτες, επηρεάζουν την αποικοδόμησή της, μεταβάλλοντας την ποιότητα του εδάφους. Μερικά κλάσματα, όπως το άμυλο και η πρωτεΐνη, μεταβολίζονται εύκολα, ενώ οι χουμικές ουσίες είναι πιο ανθεκτικές στην αποσύνθεση. Η τελευταία συμμετέχει στην ανταλλαγή θρεπτικών, στο σχηματισμό συσσωματωμάτων μεταξύ των οργανικών ουσιών και των ανόργανων σωματιδίων και στην ακινητοποίηση τοξικών υλικών (Ceccanti και συν., 1994).

Ο Haynes (2000) μελετώντας αρόσιμα και ποιμαντικά εδάφη στη Ν. Ζηλανδία, επεσήμανε ότι η SOM εξαρτάται από τη διαχείριση του εδάφους, αλλαγές όμως στο συνολικό περιεχόμενο του SOC από τη χρήση γης, μπορεί να είναι δύσκολο να ανιχνευτούν. Γι' αυτό τα ευκίνητα οργανικά κλάσματα, που αντιπροσωπεύονται από το διαλυμένο οργανικό άνθρακα (dissolved organic carbon, DOC), το N ή τον P, αποτελούν πιο ευαίσθητες ιδιότητες στην αλλαγή, αφού τα εύκολα ανοργανοποιήσιμα κλάσματα του άνθρακα αποτελούν την άμεση πηγή ενέργειας των μικροοργανισμών του εδάφους. Ο Chan και συν. (2002), βρήκε ότι η σωματιδιακή οργανική ύλη, ανταποκρίνεται καλύτερα σε αλλαγές στην πρακτική διαχείρισης, από το συνολικό οργανικό άνθρακα, σχετιζόμενη με τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και την ανοργανοποίηση του αζώτου.

Ο ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) είναι ο άνθρακας (C) που είναι αποθηκευμένος στην οργανική ύλη του εδάφους (SOM). Ο οργανικός άνθρακας (OC) εισέρχεται στο έδαφος από την αποσύνθεση των καταλοίπων

φυτών και ζώων, τα εκκρίματα των ριζών, τους ζώντες και νεκρούς μικροοργανισμούς του εδάφους. Η SOM αποτελεί το οργανικό κλάσμα του εδάφους αποκλειστικά από μη αποικοδομημένα κατάλοιπα φυτών και ζώων. Ωστόσο, οι περισσότερες αναλυτικές μέθοδοι δε διαχωρίζουν τα αποικοδομημένα και μη αποικοδομημένα κατάλοιπα. Η SOM είναι μια ετερογενής, δυναμική ουσία που ποικίλει σε μέγεθος σωματιδίων, περιεχόμενο σε C, ρυθμό αποσύνθεσης και ρυθμό εναλλαγής.

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (SOC) αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας για τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Η ευκολία και ταχύτητα με την οποία ο SOC καθίσταται διαθέσιμος, σχετίζεται με το κλάσμα της SOM, όπου εντοπίζεται. Από αυτή τη σκοπιά, ο SOC μπορεί να διαμοιραστεί σε κλάσματα βασισμένοι στο μέγεθος και το βαθμό αποικοδόμησης της SOM, στην οποία περιέχεται (**Πίνακας 2.6**). Τα πρώτα τρία κλάσματα αποτελούν μέρος της ενεργούς δεξαμενής της SOM. Οι πηγές άνθρακα στη δεξαμενή αυτή, είναι σχετικά εύκολο να διασπαστούν. Η SOM περιέχει περίπου 58% C και ένας παράγοντας 1,72 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του OC σε SOM. Υπάρχει περισσότερος ανόργανος C από TOC στα ασβεστολιθικά εδάφη. Ο TOC εκφράζεται ως ποσοστό C ανά 100g εδάφους.

**Πίνακας 2.6.** Μεγέθοι και ρυθμοί διάσπασης των ποικίλων κλασμάτων της οργανικής ύλης του εδάφους (USDA, 2015).

Soil Organic Matter Fraction	Particle Size (mm)	Turnover Time (years)	Description
plant residues	≥ 2.0	< 5	recognizable plant shoots and roots
particulate organic matter	0.06 – 2.0	< 100	partially decomposed plant material, hyphae, seeds, etc
soil microbial biomass	variable	< 3	living pool of soil organic matter, particularly bacteria and fungi
humus	≤ 0.0053	< 100 – 5000	ultimate stage of decomposition, dominated by stable compounds

Η υφή του εδάφους, το κλίμα και ο χρόνος, όλα επιδρούν στη συσσώρευση του SOC. Εδάφη πλούσια σε άργιλο, προστατεύουν την SOM από αποσύνθεση, σταθεροποιώντας ουσίες που συνδέονται με τα την επιφάνεια της αργίλου. Η συσσώρευση που ευνοείται από την παρουσία αργίλου, επίσης προστατεύει την SOM από μικροβιακή ανοργανοποίηση. Το εξαγωγίμο αργίλιο και τα αλλοφάνια (παρόντα σε ηφαιστειακά εδάφη), μπορούν να σχηματίζουν σταθερές ενώσεις με την SOM, που ανθίστανται στη μικροβιακή διάσπαση. Οι υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν το περιεχόμενο σε SOC, αυξάνοντας τους ρυθμούς αποικοδόμησης, ενώ η υψηλή μέση ετήσια κατακρήμνιση, αυξάνει τη συσσώρευση, διεγείροντας την παραγωγή της βιομάζας των φυτών και του σχετιζόμενου SOC. Με το χρόνο, η διάσπαση της SOM παράγει άνθρακα του χούμου, που ανθίσταται στην αποσύνθεση από τους μικροοργανισμούς.

Η απώλεια άνθρακα διαμέσου της διάβρωσης του εδάφους, οδηγεί σε διακυμάνσεις του SOC, κατά μήκος της διαβάθμισης της κλίσης. Η επίπεδη τοπογραφία τείνει να έχει περισσότερο SOC από τις άλλες κλάσεις της κλίσης. Τόσο το υψόμετρο όσο και οι τοπογραφικές διαβαθμίσεις, ως ένα βαθμό ελέγχουν το τοπικό κλίμα, την κατανομή της βλάστησης και τις ιδιότητες του εδάφους, όπως και τις σχετιζόμενες βιογεωχημικές διαδικασίες, περιλαμβανομένων των δυναμικών ιδιοτήτων του SOC. Το μικροκλίμα, με τη ψύξη σε υψηλό υψόμετρο, μπορεί να ευνοεί τη συσσώρευση SOC. Μια ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν τον C συμπεράνει ότι οι επιδράσεις της χρήσης γης, της τοπογραφίας (υψόμετρο και κλίση) και της μέσης ετήσιας κατακρίμνησης στο SOC, είναι πιο προφανείς από αυτές της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας. Ωστόσο, όταν άλλες μεταβλητές είναι περιορισμένες, υπάρχει ξεκάθαρα μια μείωση στον SOC με την αυξανόμενη θερμοκρασία.

Εξαρτώμενη από το βαθμό ανοργανοποίησης του C, η ποσότητα και το στάδιο της αποσύνθεσης των καταλοίπων των φυτών και οι οργανικοί τροποποιητές που προστίθενται στο έδαφος, ελέγχουν τη συσσώρευση του SOC. Οι χρόνοι εναλλαγής για τα διάφορα οργανικά υλικά, δείχνει ότι άνθρακας του χούμου ανοργανοποιείται αργά και έτσι συσσωρεύεται στο έδαφος, ενώ ο C της μικροβιακής βιομάζας, μπορεί να εξαφανιστεί σχετικά γρήγορα (**Πίνακας 2.6**). Τα συσσωματώματα του εδάφους διαφορετικών μεγεθών και σταθερότητας αποτελούν πιθανά σημεία για φυσική προστασία της SOM από την αποσύνθεση και την ανοργανοποίηση του C. Η διαταραχή του εδάφους και η καταστροφή των συσσωματωμάτων, μπορεί να αποτελεί τον κύριο παράγοντα που είναι υπεύθυνος για την αυξανόμενη έκθεση της SOM, που προστατεύεται φυσικά στα συσσωματώματα, στη βιοδιάσπαση.

Τα κατάλοιπα της σοδειάς που ενσωματώνονται ή αφήνονται στην επιφάνεια του εδάφους, μειώνουν τη διάβρωση και την απώλεια SOC στο ίζημα. Η προσθήκη ασβέστη για την αύξηση του pH όξινων εδαφών, αυξάνει τη μικροβιακή δραστηριότητα, την αποσύνθεση της οργανικής ύλης και την απελευθέρωση CO<sub>2</sub>. Η ποικιλότητα του μικροβιακού πληθυσμού του εδάφους, επίσης επηρεάζει τον SOC. Για παράδειγμα, ενώ τα βακτήρια του εδάφους, επιθετικά συμμετέχουν στην απώλεια C μέσω της ανοργανοποίησης, μερικοί μύκητες, όπως οι μυκόριζες, πιστεύεται ότι επιβραδύνουν την υποβάθμιση της SOM, συσσωματώνοντάς τη με άργιλο και ορυκτά. Η SOM και ο SOC είναι περισσότερο ανθεκτικά εντός των συσσωματωμάτων, παρά σε ελεύθερη μορφή. Το βάθος του εδάφους επηρεάζει την κατανομή του SOC. Έτσι, βαθειά αρωμένα εδάφη τείνουν να συσσωρεύουν SOC σε στρώματα κάτω από το διαταραγμένο επιφανειακό έδαφος, εξαιτίας μειωμένων ρυθμών ανοργανοποίησης.

Ο SOC αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά του εδάφους, εξαιτίας της ικανότητάς του να επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, ως ταυτόχρονα μια πηγή ενέργειας και ένασμα της διαθεσιμότητας θρεπτικών,

διαμέσου της ανοργανοποίησης. Το κλάσμα του SOC στην ενεργή δεξαμενή, που περιγράφηκε προηγουμένως, αποτελεί την κύρια πηγή ενέργειας και θρεπτικών για τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Το χούμο συμμετέχει στην σταθερότητα των συσσωματωμάτων και στην ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών και νερού.

Οι ενώσεις του OC, όπως οι πολυσακχαρίτες (σάκχαρα) συνδέονται με τα ανόργανα σωματίδια σε μικροσυσσωματώματα. Η γκλομαλίνη, που μπορεί να αποτελεί το 20% του άνθρακα του εδάφους, συγκολλά τα συσσωματώματα μεταξύ τους και σταθεροποιεί τη δομή του εδάφους, καθιστώντας το έδαφος ανθεκτικό στη διάβρωση, αλλά αρκετά πορώδες ώστε να επιτρέπει στον αέρα, το νερό και τις ρίζες των φυτών να μετακινούνται εντός του εδάφους.

Τα οργανικά οξέα (π.χ. οξαλικό οξύ) που απελευθερώνονται κοινά από τα αποσυντιθέμενα οργανικά κατάλοιπα και την κοπριά, εμποδίζει τη δέσμευση του φωσφόρου από τα σωματίδια της αργίλου και βελτιώνει τη διαθεσιμότητα στα φυτά, ιδιαίτερα σε υποτροπικά και τροπικά εδάφη. Μια αύξηση στη SOM και επομένως στον ολικό C, οδηγεί σε μεγαλύτερη βιολογική ποικιλότητα στο έδαφος, αυξάνοντας το βιολογικό έλεγχο των ασθενειών και παρασίτων των φυτών. Δεδομένα επίσης αποκαλύπτουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ του διαλυμένου OC που απελευθερώνεται από την κοπριά με τα εντομοκτόνα, που μπορεί να αυξήσει ή να περιορίσει τη μετακίνηση των ζιζανιοκτόνων διαμέσου του εδάφους, στα υπόγεια ύδατα.

Μια άμεση επίδραση του περιορισμένου SOC, είναι η μειωμένη μικροβιακή βιομάζα, η δραστηριότητα και ανοργανοποίηση των θρεπτικών, εξαιτίας της έλλειψης ενεργειακών πηγών. Σε μη ασβεστολιθικά εδάφη, η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η διήθηση, η αποστράγγιση και η ροή του αέρα περιορίζονται. Η περιορισμένη SOC οδηγεί σε μικρότερη ποικιλότητα στους ζώντες οργανισμούς του εδάφους, με τον κίνδυνο διαταραχής της ισορροπίας της τροφικής αλυσίδας, που μπορεί να προκαλέσει διαταραχή στο εδαφικό περιβάλλον (π.χ. αύξηση των παρασίτων και ασθενειών των φυτών, συσσώρευση τοξικών ουσιών).

## **2.5. Ποιότητα εδάφους.**

Ο ορισμός της ποιότητας του εδάφους (soil quality, SQ) έχει αποτελέσει ένα ζήτημα πρόκληση, με δεδομένο ότι τα εδάφη παρουσιάζουν υψηλή ποικιλότητα σε ιδιότητες, χαρακτηριστικά και λειτουργίες. Ο πρώτος χρήστης του όρου, φαίνεται ότι ήταν ο Alexander (1971), που πρότεινε την καθιέρωση κριτηρίων της ποιότητας του εδάφους (Bone et al., 2010). Στη συνέχεια, αρκετοί ορισμοί προέκυψαν (π.χ. Larson και Pierce, 1991; Part και συν., 1992; Doran και Parkin, 1994; Harris και συν., 1996). Ο πιο ολοκληρωμένοι ορισμοί είναι αυτοί που καθιερώθηκαν από τους Doran και Parkin (1994) και Harris και συν. (1996), που όρισαν την

ποιότητα του εδάφους, ως την ικανότητα του εδάφους να λειτουργεί, εντός των ορίων χρήσης του, του γεωγραφικού τοπίου και του κλίματος (οικοσύστημα), για την προστασία της ποιότητας του αέρα και του νερού και τη διατήρηση της παραγωγικότητας και των φυτών, των ζώων και της ανθρώπινης υγείας. Παρόλα αυτά, παρά τους διαφορετικούς ορισμούς της SQ, δεν υπάρχει γενική ομοφωνία ακόμη, εξαιτίας ενδεχομένως και της εγγενούς δυσκολίας ορισμού της SQ (Carter, 2002).

Οι πρακτικές διαχείρισης στη γεωργία, τη δασοπονία ή τα αστικά περιβάλλοντα, μπορεί να έχουν αρνητικές ή θετικές επιπτώσεις στην SQ, ευνοώντας ή εξαντλώντας τα θρεπτικά, μπορεί να οδηγήσουν στην απώλεια της SOM, στη μόλυνση, στη μείωση της βιοποικιλότητας κ.α. ή να ευνοήσουν τάσεις προς την αντίθετη κατεύθυνση. Μικρότερη προσοχή έχει δοθεί στην υποβάθμιση του εδάφους και τις άμεσες ή έμμεσες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία, παρά το γεγονός ότι η υποβάθμιση της SQ, μπορεί πιθανά να οδηγήσει σε μια ποικιλία ανθρώπινων νοσημάτων (Deng, 2011). Σημεία αναφοράς της ποιότητας (soil quality standards, SQSs) αναπτύσσονται συνήθως και αντιπροσωπεύουν τη συγκέντρωση ενός χημικού ή μιας ομάδας χημικών ή παθογόνων στο έδαφος, που δεν θα πρέπει να υπερσκελιστεί, ώστε να αποφευχθούν βλαβερές επιδράσεις (Rodríguez και Lafarga, 2011).

Αν και οι περισσότεροι συγγραφείς αξιολογούν την SQ χρησιμοποιώντας διαφορετικούς ανεξάρτητους δείκτες, άλλοι προτιμούν τους συνδυασμούς τους σε μοντέλα ή εκφράσεις όπου εμπλέκονται ποικίλες παράμετροι. Αυτές οι σχέσεις καλούνται δείκτες ποιότητας του εδάφους (soil quality indices, SQI), που μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό τάσεων της SQ και έτσι να υποδείξουν αν μία ή περισσότερες αλλαγές στις πρακτικές διαχείρισης, είναι απαραίτητες (Karlen και συν., 2001). Πρόσφατα, μια νέα προσέγγιση έχει προκύψει για την ολοκλήρωση ενός μεγάλου όγκου δεδομένων, τα τεχνητά δίκτυα νευρώνων, που εξάγουν και αναγνωρίζουν πρότυπα στις σχέσεις μεταξύ περιγραφικών μεταβλητών και χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη συγκεκριμένων μεταβλητών εξόδου (Mele και Crowley, 2008).

### **2.5.1. Καλλιεργητικές πρακτικές και δείκτες ποιότητας του εδάφους.**

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (SOC), έχει προταθεί ως ο πιο σημαντικός, ανεξάρτητος δείκτης της SQ και της αγροτικής αειφορίας, επειδή επηρεάζει τις περισσότερες ιδιότητες του εδάφους (Reeves, 1997; Arias και συν., 2005). Στη βιβλιογραφία, ο SOC αποτελεί τον πιο πολύ χρησιμοποιούμενο δείκτη για την αξιολόγηση της SQ, ακολουθούμενος από το pH, την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) και τα θρεπτικά (δείκτες της γονιμότητας του εδάφους) (Πίνακας 2.7). Φυσικοί δείκτες εφαρμόζονται περίπου στο 70% της εξεταζόμενης βιβλιογραφίας, με το μέγεθος των σωματιδίων, τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων και τη φαινόμενη πυκνότητα, να είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα. Περίπου το 50% των συγγραφέων ενσωμάτωσαν βιολογικές ιδιότητες, ιδιαίτερα τον άνθρακα της μικροβιακής βιομάζας (MBC) ή το άζωτο (MBN) και



ενζυμικές δραστηκότητες, πιθανότατα εξαιτίας της υψηλής τους ευαίσθησίας και ευκολίας μέτρησης. Λιγότερες μελέτες (περίπου 40%) περιέλαβαν οργανισμούς όπως οι γεωσκώληκες και τα αρθρόποδα ως δείκτες, αν και αυτά αντιδρούν με ευαισθησία στις πρακτικές διαχείρισης γης (Doran και Zeiss, 2000), πιθανότατα επειδή είναι χρήσιμοι σε τοπική κλίμακα (Rousseau και συν., 2013).

**Πίνακας 2.7.** Πιο συχνοί δείκτες που χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους, σε διαφορετικές χρήσεις γης και προσεγγίσεις. (Zornoza και συν., 2015).

Soil indicator	Agricultural systems	Forest systems	Land use changes	Urban systems	Human health
Soil organic carbon	Qi et al. (2009), Merrill et al. (2013), D'Hoze et al. (2014), Li et al. (2014), Liu et al. (2014b), Rahmani-pour et al. (2014)	Fransubbers (2002), Peng et al. (2006), Amacher et al. (2007), Chier et al. (2009), Zornoza et al. (2007), Toledo et al. (2012)	Marzaboli et al. (2010), Li et al. (2013), Singh et al. (2014), Veem et al. (2014)	Rodrigues et al. (2009), Sazonofo et al. (2012a, b), Gavrilenko et al. (2013), Rafiq et al. (2014)	Murray et al. (2011), Chabada et al. (2012), Qi et al. (2013), Rafiq et al. (2014)
Total nitrogen	Qi et al. (2009), Ramos et al. (2010), Laird and Chung (2013), Rousseau et al. (2013), D'Hoze et al. (2014), Liu et al. (2014a, b)	Tsuar-Gepels et al. (1998), Lerets et al. (2009), Peng et al. (2006), Amacher et al. (2007)	Marzaboli et al. (2010)		
pH	Qi et al. (2009), Morcassi et al. (2012), Giamontti et al. (2014), D'Hoze et al. (2014), Rahmani-pour et al. (2014)	Burger and Kelting (1999), Amacher et al. (2007), Zornoza et al. (2007)	Marzaboli et al. (2010), Veem et al. (2014)	Rodrigues et al. (2009), Sazonofo et al. (2012a, b)	Murray et al. (2011), Zhao et al. (2012), Landa-Caunigo et al. (2013), Rafiq et al. (2014)
Electrical conductivity	Merrill et al. (2013), Li et al. (2014), Rahmani-pour et al. (2014)	Zornoza et al. (2007, 2008a)	Marzaboli et al. (2010), Veem et al. (2014)		Landa-Caunigo et al. (2013)
Available nutrients	Qi et al. (2009), Merrill et al. (2013), Liu et al. (2014a), Rousseau et al. (2013), D'Hoze et al. (2014)	Peng et al. (2006), Amacher et al. (2007), Zornoza et al. (2007, 2008a)	Marzaboli et al. (2010), Singh et al. (2014), Veem et al. (2014)		
Cation exchange capacity	Garcia-Ruiz et al. (2008), Qi et al. (2009), Rahmani-pour et al. (2014)	Peng et al. (2009), Zornoza et al. (2007), Wang and Wang (2011)	Marzaboli et al. (2010)	Rodrigues et al. (2009)	Rafiq et al. (2014)
Soluble carbon and/or nitrogen	Merrill et al. (2013)				
Heavy metals	Qi et al. (2009), Rahmani-pour et al. (2014)		Singh et al. (2014)		
Organic pollutants					
Particle size	Amense et al. (2013), Merrill et al. (2013), Rousseau et al. (2013)		Marzaboli et al. (2010), Singh et al. (2014)	Rodrigues et al. (2009), Gavrilenko et al. (2013)	Wenani et al. (2009), Chabada et al. (2012)
Bulk density	Merrill et al. (2013), Rousseau et al. (2013)	Sanchez et al. (2009)	Marzaboli et al. (2010), Veem et al. (2014)	Rodrigues et al. (2009), Gavrilenko et al. (2013)	
Soil aggregation	Rousseau et al. (2013), D'Hoze et al. (2014)	Zornoza et al. (2007, 2008a)	Veem et al. (2014)		
Available water content/water holding capacity	Amense et al. (2013)	Burger and Kelting (1999), Peng et al. (2006), Amacher et al. (2007), Zornoza et al. (2007)	Marzaboli et al. (2010), Veem et al. (2014)	Sazonofo et al. (2012a, b)	
Porosity		Burger and Kelting (1999)			
Penetration resistance	Rousseau et al. (2013), D'Hoze et al. (2014)	Burger and Kelting (1999)			
Carbon mineralization	Biau et al. (2012), Laird and Chung (2013)	Jimenez-Equillin et al. (2008), Blecker et al. (2012)	Marzaboli et al. (2010)	Papa et al. (2010), Gavrilenko et al. (2013)	
Nitrogen mineralization	Biau et al. (2012), Laird and Chung (2013), Merrill et al. (2013)	Tsuar-Gepels et al. (1998), Lerets et al. (2009)	Marzaboli et al. (2010), Veem et al. (2014)		
Microbial biomass carbon and/or nitrogen	Bi et al. (2013), D'Hoze et al. (2014), Li et al. (2014), Liu et al. (2014a)	Tsuar-Gepels et al. (1998), Chier et al. (2009), Matas-Solera et al. (2009), Zhao et al. (2013)	Marzaboli et al. (2010), Li et al. (2013), Veem et al. (2014)	Papa et al. (2010), Gavrilenko et al. (2013)	
Microbial communities	Giamontti et al. (2013)	Zornoza et al. (2009), Banning et al. (2011), Blecker et al. (2012)			Luang et al. (2011)
Enzyme activities	Garcia-Ruiz et al. (2008), Li et al. (2014), Liu et al. (2014b)	Tsuar-Gepels et al. (1998), Lerets et al. (1999), Zornoza et al. (2007), Chier et al. (2009)	Li et al. (2013)	Papa et al. (2010)	
Ergosterol/fungal mycelium	D'Hoze et al. (2014)		Marzaboli et al. (2010)		
Invertebrates	Biau et al. (2012), D'Hoze et al. (2014)		Ruiz et al. (2011)	Hankard et al. (2005), Sazonofo et al. (2012a, b)	Landa-Caunigo et al. (2013)
Pathogens					Luang et al. (2011), Benami et al. (2013), Couperu et al. (2014), Sepelma et al. (2014)

Αν και οι περισσότεροι συγγραφείς αξιολογούν την SQ με ανάλυση και περιγραφή μεμονωμένων δεικτών, άλλοι θεωρούν τη σημασία ενός SQI για να συσχετίζουν την SQ με τις πρακτικές διαχείρισης. Η πλειοψηφία των άρθρων που ανασκοπήθηκε, χρησιμοποιούσε την ίδια μεθοδολογία για την ανάπτυξη ενός SQI, βασίζόμενα στην επίδοση και βαρύτητα διαφορετικών δεικτών του εδάφους (Hussain και συν., 1999; Andrews και Carroll, 2001). Ένα ελάχιστο σετ δεδομένων (minimum data set, MDS) χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία ενός δείκτη, που επιλέχθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις με μέσα πολυμεταβλητής ανάλυσης, όπως η ανάλυση κύριων συστατικών (principal component analysis, PCA). Οι πιο συχνές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το pH, η EC, ο SOC, το ολικό άζωτο (Nt) και ο διαθέσιμος P. Άλλοι δείκτες όπως τα  $\text{NO}_3^-$ , το  $\text{NH}_4^+$ , το Na, K, Ca, Mg, η φαινόμενη πυκνότητα, η άμμος, η ιλύς, η άργιλος και το διαθέσιμο περιεχόμενο σε νερό, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί από ποικίλους συγγραφείς.

Αφού οι δείκτες μετατραπούν χρησιμοποιώντας μια γραμμική ή μη γραμμική καμπύλη απόδοσης, σε τιμές χωρίς μονάδες και μετά ελεγχθούν για τη βαρύτητά τους, οι SQIs υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ολοκληρωμένη εξίσωση δείκτη ποιότητας (integrated quality index equation, IQI) (Doran και Parkin, 1994) ή την εξίσωση του δείκτη ποιότητας του Nemoro (NQI) (Qin και Zhao, 2000) με άθροιση των σταθμισμένων δεικτών απόδοσης. Ο Qi και συν. (2009), μέτρησε 14 χημικούς δείκτες (SOC, Nt, pH, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και αρκετά θρεπτικά) και συνέκρινε τον IQI και NQI σε συνδυασμό με τρεις μεθόδους για την επιλογή δεικτών: το συνολικό σετ δεδομένων (TDS), MDS, και το σετ δεδομένων Delphi (δείκτες επιλεγμένοι από την άποψη των ειδικών). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια ανεξάρτητα από το μοντέλο μεθόδου που εφαρμόστηκε. Ο Rahmanipour και συν. (2014) συνέκρινε 2 σετ δεικτών – το TDS (που αποτελούνταν από 10 φυσικές και χημικές ιδιότητες, κυρίως ο δείκτης διάβρωσης, το pH, η EC, ο SOC, η CEC και τα βαρέα μέταλλα) και το MDS (δείκτες μειωμένοι από PCA) - και δύο διαφορετικούς δείκτες: IQI και NQI. Οι συγγραφείς αυτοί συμπέραναν ότι η προσέγγιση IQI/MDS, αποτελούσε το πιο κατάλληλο εργαλείο για την αξιολόγηση των επιδράσεων των πρακτικών διαχείρισης, στην ποιότητα του εδάφους.

Ο D'Hose και συν. (2014) αξιολόγησε τη σχέση μεταξύ της ποιότητας του εδάφους και της παραγωγής, κάτω από διαφορετικές πρακτικές διαχείρισης, με την υιοθέτηση του IQI, χρησιμοποιώντας 5 επιλεγμένους δείκτες εδάφους (SOC, Nt, γεωσκώληκες, νηματώδεις και MBC). Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η ποιότητα του εδάφους, ήταν υψηλότερη, κατόπιν της εφαρμογής αγροτικού κομπόστ και ο SOC υποδείχθηκε ως ο πιο σημαντικός δείκτης που επηρεάζει την παραγωγή. Ο Liu και συν. (2014a) υπολόγισε έναν SQI σε όξινους ορυζώνες με διαφορετική παραγωγικότητα. Αξιολόγησαν 5 χημικούς και βιοχημικούς δείκτες του εδάφους, κατόπιν της επιλογής τους από PCA (pH, Nt, MBC, Si και Zn), που ενσωματώθηκαν σε ένα δείκτη, ο οποίος

επεδείκνυε μικρότερη ποιότητα εδάφους σε συστήματα με χαμηλή παραγωγικότητα. Ο Liu και συν. (2014b) αξιολόγησε τον SQI τους (Liu και συν., 2014a) σε χαμηλής παραγωγικότητας εδάφη albic, από την ανατολική Κίνα και παρατήρησε σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ του SQI και της παραγωγής.

Ο Merrill και συν. (2013) αξιολόγησαν την ποιότητα του εδάφους σε δύο διαφορετικούς τύπους εδάφους, για τους οποίους ελήφθησαν δείγματα σε διαφορετικά βάθη. Για τις ανάγκες αυτές, οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν το Πλαίσιο Εργασίας της Αξιολόγησης της Διαχείρισης του Εδάφους (Soil Management Assessment Framework, SMAF), ένας καθιερωμένος SQI (Andrews και συν., 2004) που αξιολογεί την ποιότητα του εδάφους, στη βάση κρίσιμων λειτουργιών του εδάφους. Οι συγγραφείς τόνισαν ότι η επιφάνεια του εδάφους και οι υποεπιφανειακές ιδιότητες, θα έπρεπε να ενσωματωθούν για αξιολογήσεις της ποιότητας του εδάφους. Ο Li και συν. (2014) επίσης χρησιμοποίησε το SMAF για την αξιολόγηση της ποιότητας του εδάφους σε αγροσυστήματα όπου προστέθηκε κομπόστ, συμπεραίνοντας ότι ο MBC και η δραστηκότητα γλυκοσιδάσης ήταν οι δείκτες που ανταποκρίνονταν περισσότερο στην προσθήκη κομπόστ και τα συστήματα παραγωγής.

Υπάρχουν λιγότερες προσπάθειες για τη στάθμιση SQIs βασισμένοι σε άλλες μεθοδολογίες. Για παράδειγμα, ο García-Ruiz και συν. (2008) καθιέρωσε ένα SQI από τον υπολογισμό του γεωμετρικού μέσου πολλών ενζυμικών δραστηκότητων (GMea). Τα ένζυμα του εδάφους και τα GMea ήταν κατάλληλα για τη διάκριση μεταξύ μιας ομάδας οργανικών και συγκρίσιμων συμβατικών καλλιεργειών οπωρώνων.

### **2.5.2. Διαχείριση δασών και δείκτες ποιότητας του εδάφους.**

Η υιοθέτηση SQIs σε δασική χρήση γης έχει αναπτυχθεί σε μικρότερο βαθμό, σε σχέση με τα αγροοικοσυστήματα. Επίσης, υπάρχει στα συστήματα αυτά γενική ανησυχία για τη σημασία των βιολογικών δεικτών του εδάφους και την οικολογική τους συνάφεια για την αξιολόγηση της SQ και κάποιοι συγγραφείς έχουν συμπεριλάβει στους υπολογισμούς τους μικροβιακούς δείκτες, όπως η σύσταση της μικροβιακής κοινότητας (Zornoza και συν., 2009; Banning και συν., 2011; Blecker και συν., 2012). Οι Burger και Keltling (1999) παρείχαν ένα δείκτη για την αξιολόγηση της καθαρής επίδρασης της διαχείρισης των δασών χρησιμοποιώντας διαφορετικούς φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες, όπως η πόρωση, η χωρητικότητα του διαθέσιμου νερού, το pH, ο SOC ή αναπνοή. Η μεθοδολογία τους βασισμένη στον υπολογισμό μιας ιδιότητας του εδάφους διαμέσου πολλαπλής παλινδρόμησης, που συνιστά μια ισορροπία μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους, έχει χρησιμοποιηθεί και από το Zornoza και συν. (2007), για ημιάνδρες Μεσογειακές συνθήκες, για την εξαγωγή δύο SQIs για την αξιολόγηση της υποβάθμισης του εδάφους, με εκτίμηση του SOC, μέσω γραμμικού συνδυασμού φυσικών, χημικών και βιολογικών δεικτών (pH, CEC,

σταθερότητα των συσσωματωμάτων, WHC, EC και ενζυμικές δραστηριότητες). Οι δείκτες αυτοί επικυρώθηκαν από τον Zornoza και συν. (2008) σε 11 αδιατάρακτα δασικά εδάφη, επιβεβαιώνοντας τη βιωσιμότητα και ακρίβειά τους.

Ο Chaer και συν. (2009) στάθμισε ένα SQI με πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, με τον SOC, ως συνδυασμό του MBC και της δραστηριότητας της φωσφατάσης, επιβεβαιώνοντας προηγούμενες αποδείξεις ισορροπίας στις ιδιότητες του εδάφους σε αδιατάρακτα εδάφη, που υφίστανται επεμβάσεις. Ο Pang και συν. (2006) καθιέρωσε έναν ολοκληρωμένο δείκτη γονιμότητας (integrated fertility index, IFI) σε δασικά εδάφη στην Κίνα, με σκοπό την ανίχνευση αλλαγών στη γονιμότητα του εδάφους σε σχέση με τη βλάστηση, το κλίμα και τις πρακτικές διαταραχής. Εφήρμοσε PCA σε 14 φυσικούς και χημικούς δείκτες και υπολόγισε μια τιμή για κάθε ταυτοποιημένο PC, ως το άθροισμα της τιμής κάθε δείκτη, πολλαπλασιασμένο με τη βαρύτητά του. Ο IFI υπολογίστηκε ως το άθροισμα κάθε σταθμισμένου PC. Οι συγγραφείς βρήκαν ότι ο IFI σχετίζονταν ισχυρά με την ανάπτυξη των δέντρων.

Ο Amacher και συν. (2007) ανέπτυξε ένα SQI που ενσωμάτωσε 19 φυσικές και χημικές ιδιότητες (φαινόμενη πυκνότητα, περιεχόμενο νερό, pH, SOC, ανόργανο C, Nt και θρεπτικά) με στόχο τη δημιουργία ενός εργαλείου για την καθιέρωση τιμών αναφοράς και την ανίχνευση τάσεων της υγείας των δασών στις ΗΠΑ. Οι συγγραφείς αυτοί ταξινόμησαν κάθε δείκτη του εδάφους σε διαφορετικές κατηγορίες, επιλέγοντας επίπεδα κατωφλίων σύμφωνα με τη σημασία λειτουργικότητας στο έδαφος και προσέδωσε μια διακριτή τιμή δείκτη για κάθε κατηγορία (π.χ. σε  $SOC < 1\%$  ανατέθηκε μια τιμή δείκτη 0, ενώ για  $SOC > 5\%$ , μια τιμή 2). Ο SQI υπολογίζεται κατόπιν ως το άθροισμα όλων των διακριτών τιμών δεικτών των ιδιοτήτων του εδάφους.

### **2.5.3. Αλλαγές στη χρήση γης και ποιότητα του εδάφους.**

Η κακή χρήση γης μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση των εδαφών, ως συνέπεια των μειωμένων επιπέδων SOC (Lal, 2004). Η μεταστροφή της γης από τα φυσικά δάση σε καλλιεργητικές περιοχές, είναι επιρρεπής σε απώλεια C (Camara-Ferreira και συν., 2014). Μετατροπή καλλιεργητικών εδαφών σε λιβαδικές εκτάσεις, έχει κριθεί ως μια επιτυχής προσέγγιση, για τη δέσμευση C (Chen και συν., 2009). Ο Albaladejo και συν. (2013), μελέτησε την επίδραση του κλίματος σε σχέση με τη χρήση γης στην νοτιοανατολική Ισπανία. Οι συγγραφείς αυτοί συμπέραναν ότι η δέσμευση C σε καλλιεργητικές περιοχές μέσω της κατάλληλης διαχείρισης γης, μπορεί να είναι κατάλληλη, όταν οι δασικές εκτάσεις περιορίζονται από επιφάνειες βραχώδους υποστρώματος. Ο Gelaw και συν. (2014) αποκάλυψε ότι η μετατροπή Αιθιοπικών καλλιεργητικών εκτάσεων σε λιβαδικές εκτάσεις ή η υιοθέτηση κατάλληλων αγροδασικών δέντρων, έχει υψηλό δυναμικό για τη δέσμευση C.

Η καθιέρωση πολυπαραγοντικών δεικτών, έχει χρησιμοποιηθεί ως επαρκές εργαλείο για την ενσωμάτωση μεγαλύτερης πληροφορίας της ποιότητας του εδάφους και κάποιοι από αυτούς έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα, για την αξιολόγηση των αλλαγών χρήσης γης στην ποιότητα του εδάφους. Ο Veum και συν. (2014) αξιολόγησε την SQ αγροτεμαχίων πολυετούς βλάστησης, σε σύγκριση με αγροτικά εδάφη απουσία άρωσης, ή συμβατικά καλλιεργούμενα αγροτεμάχια, χρησιμοποιώντας το SMAF με δείκτες όπως η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η φαινόμενη πυκνότητα, η EC, το pH, ο SOC, ο MBC, το ανοργανοποιήσιμο N και τα θρεπτικά. Η SQ ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση της ενδογενούς, πολυετούς βλάστησης και μειώθηκε με αυξανόμενα τα επίπεδα διαταραχής του εδάφους, από την καλλιέργεια.

Ο Singh και συν. (2014) επέλεξε δείκτες από μια ομάδα 29 εδαφικών ιδιοτήτων με PCA και παράγαγε έναν SQI που υποδείκνυε ότι η ποιότητα του εδάφους σε δασικές εκτάσεις και λιβάδια, ήταν υψηλότερη αυτής καλλιεργούμενων εδαφών. Οι συγγραφείς αυτοί τόνισαν ότι ο SOC και το ανταλλάξιμο AI ήταν οι δύο πιο ισχυροί δείκτες της SQ στην ανατολική περιοχή των Ιμαλαΐων της Ινδίας. Ο Ruiz και συν. (2011) ανέπτυξε ένα δείκτη της βιολογικής ποιότητας του εδάφους (index of biological soil quality, IBSQ) βασιζόμενος στα μακροαρθρόποδα και συμπέρανε ότι οι καλά διαχειριζόμενες καλλιέργειες και βοσκοτόπια, μπορεί να έχουν καλύτερη ποιότητα εδάφους, απ' ότι μερικά δάση.

Ο Marzaioli και συν. (2010), καθιέρωσε ένα SQI (χωρίς επιλογή ελάχιστων δεδομένων), χρησιμοποιώντας φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες, όπως η σταθερότητα των συσσωματωμάτων, η WHC, η φαινόμενη πυκνότητα, το μέγεθος των σωματιδίων, το pH, η EC, η CEC, ο SOC, ο Nt, τα θρεπτικά, ο MBC, η αναπνοή και οι υφές μυκήτων. Οι ερευνητές παρατήρησαν χαμηλή SQ, σε σχεδόν όλες τις μόνιμες καλλιέργειες, μια ενδιάμεση SQ σε μακί, λιβάδια, δάση κωνοφόρων και καλλιέργειες ελιάς σε λοφώδεις εκτάσεις και μια υψηλή σε μικτά δάση.

Ο Li και συν. (2013) μετρησε την επίπτωση των ανθρώπινων διαταραχών στην SQ, αναπτύσσοντας έναν SQI βασιζόμενος στον Bastida και συν. (2006b). Ο SQI αξιολογήθηκε σε αλπικά λιβάδια με διαφορετικού βαθμού υποβάθμιση, βασιζόμενος στην φυτική κάλυψη, την παραγωγή, την αναλογία πρωτευνόντων φυτών και στο ύψος των φυτών. 14 δείκτες (χημικοί, φυσικοί και βιολογικοί), χρησιμοποιήθηκαν για την προετοιμασία του SQI, μετά από επιλογή ενός MDS από PCA. Δείκτες σχετιζόμενοι με τον κύκλο του αζώτου (ουρεάση, MBN/Nt, πρωτεΐνάση) και τον SOC, βρέθηκε ότι αποτελούν τους πιο ευαίσθητους δείκτες.

#### **2.5.4. Αστική διαχείριση και δείκτες ποιότητας του εδάφους.**

Τα εδάφη αποτελούν ένα ουσιώδες συστατικό των αστικών οικοσυστημάτων (Liu και συν., 2012). Ωστόσο, τα αστικά εδάφη λαμβάνουν σημαντικό ποσοστό μολυντών από βιομηχανικές, εμπορικές και αστικές δραστηριότητες (Cheng και συν., 2014). Η περισσότερη έρευνα ασχολείται με την κατανομή και τη διασπορά μολυντών (Szolnoki και συν., 2013). Τα μέταλλα μπορεί να είναι παρόντα σε διαφορετικού είδους εδάφη και έτσι, διαφορετικής βιοδιαθεσιμότητας και διαλυτότητας. Έτσι, για την αξιολόγηση της αστικής SQ, το διαλυτό ή βιοδιαθέσιμο κλάσμα των μετάλλων θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν, εκτός των ολικών συγκεντρώσεων (Rodrigues και συν., 2013). Εκτός από τα βαρέα μέταλλα, άλλοι δείκτες όπως η κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, ο SOC, το pH και η CEC θα πρέπει να περιλαμβάνονται στις μελέτες της αστικής SQ, για την ολοκλήρωση των λειτουργιών του εδάφους με τις επιδράσεις της μόλυνσης (Pouyat και συν., 2008). Ο Rodrigues και συν. (2009) μελέτησε την επίδραση της συγκέντρωσης των μετάλλων και τις ιδιότητες του εδάφους, στην αστική SQ. Οι συγγραφείς αυτοί συμπέραναν ότι οι συγκεντρώσεις των μετάλλων, δεν αποτελούν τον κυρίαρχο παράγοντα που ελέγχει την ποικιλότητα στην SQ και η υφή του εδάφους, το pH και η SOM πρέπει να θεωρηθεί ότι επιδρούν στην ποικιλότητα αυτή, που συχνά έχει αγνοηθεί στα αστικά συστήματα.

Ο Santorufo και συν. (2012a) αξιολόγησε την αστική SQ, ολοκληρώνοντας χημικές και οικοτοξικολογικές προσεγγίσεις. Αποκάλυψαν ότι η τοξικότητα στα ασπόνδυλα, φαίνονταν να σχετίζεται με τα βαρέα μέταλλα, αφού η μεγαλύτερη επίδραση βρέθηκε σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις σε μέταλλα. Ωστόσο, ο SOC και το pH παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση της τοξικότητας των μετάλλων. Ο Santorufo και συν. (2012b), μελέτησαν ασπόνδυλα του εδάφους, ως βιοδείκτες της αστικής SQ, όντας η πιο άφθονη και ποικίλη κοινότητα, στα εδάφη με υψηλή SOM και περιεχόμενο σε νερό και χαμηλή συγκέντρωση μετάλλων. Τα τάξα που είναι πιο ανθεκτικά στο αστικό περιβάλλον περιελάμβαναν τα Ακάρεα, τους Ολιγόχαιτους, τα Κολλέμβολα και τους Νηματώδεις. Ο Gavrilenko και συν. (2013) χρησιμοποίησαν τον οικολογικό δείκτη του εδάφους (soil-ecological index, SEI), που αναπτύχθηκε για τα καλλιεργητικά εδάφη και την αξιολόγηση της SQ σε διαφορετικά οικοσυστήματα, των αστικών περιοχών περιλαμβανομένων. Ο SEI είναι προϊόν αρκετών δεικτών που αντιστοιχούν σε επτά φυσικές και χημικές ιδιότητες, για τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Συμπέραναν ότι αυτός ο SEI συσχετίζονταν με τον MBC ανατακλώντας την οικολογική λειτουργία του εδάφους.

### **2.5.5. Δείκτες ποιότητας του εδάφους που σχετίζονται απευθείας με την ανθρώπινη υγεία.**

Οι Kentel και συν. (2011) υπογράμμισαν τη σημασία του συνυπολογισμού της προοπτικής της ανθρώπινης υγείας, στην αξιολόγηση της SQ. Αξίωσαν ότι η λήψη αποφάσεων βασισμένη στους κινδύνους της υγείας,

μπορεί να συνεισφέρει στη διαχείριση των σχετιζόμενων εξόδων και στην αναγνώριση περιοχών προτεραιότητας, σε σχέση με τους κινδύνους της υγείας. Η αξιολόγηση των κινδύνων στοχεύει στον χαρακτηρισμό των πιθανών δυσμενών επιδράσεων στην υγεία, της έκθεσης των ανθρώπων σε περιβαλλοντικούς κινδύνους (Murray και συν., 2011). Το έδαφος μπορεί να είναι πηγή μολυντών με τους ανθρώπους ως δέκτες, διαμέσου μονοπατιών όπως η απ' ευθείας κατάποση σωματιδίων του εδάφους, η κατάποση ζώων ή φυτών που βιοσυσώρευσε τους μολυντές, η εισπνοή και η δερματική επαφή (Sjöström και συν., 2008). Τα επίπεδα των μολυντών που φτάνουν στους ανθρώπους διαμέσου των ανωτέρων μονοπατιών, υπολογίζονται κανονικά από τη χρήση διαφορετικών πηλίκων ή εξισώσεων, που συσχετίζουν τη συγκέντρωση των μολυντών στο έδαφος, με τη SQS, τα επίπεδα της κατάποσης/εισπνοής/προσκόλλησης, το σωματικό βάρος, το χρόνο ή τη συχνότητα έκθεσης (Masto και συν., 2011; Nadal και συν., 2011; Pelfrène και συν., 2013).

Οι περισσότερες μελέτες για τη μόλυνση του εδάφους, ασχολούνται με την παρουσία των βαρέων μετάλλων. Στην προσπάθεια αξιολόγησης της κινητικότητας των ιχνών στοιχείων και της ποσοτικοποίησης της μεταβίβασης τους από το έδαφος σε άλλους οργανισμούς, η χρήση των παραγόντων της βιοσυσώρευσης που περιγράφουν τη συγκέντρωση ενός στοιχείου σε ένα βιολογικό ιστό σε σχέση με τη συγκέντρωσή του στο έδαφος, κερδίζουν αποδοχής (Murray και συν., 2011; Zhao και συν., 2012). Έχει ελεγχθεί ότι υπάρχουν φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, που ελέγχουν τη διαθεσιμότητα των μετάλλων, όπως το pH, η SOM ή το περιεχόμενο σε άργιλο. Ο Zhao και συν. (2012) ανέφερε ότι το χωρικό πρότυπο της συγκέντρωσης των βαρέων μετάλλων και το εδαφικό pH, υπεδείκνυαν ότι οι περιοχές με το υψηλότερο κίνδυνο της ανθρώπινης υγείας, δε συνέπιπταν απ' ευθείας με τις περιοχές με την υψηλότερη συγκέντρωση μετάλλων, αλλά με τις περιοχές με το χαμηλότερο εδαφικό pH. Ο Qin και συν. (2013) παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση του Se σε φυτά ρυζιού, σχετίζονταν με το κλάσμα του εδάφους που ήταν συνδεδεμένο στη SOM, προτείνοντας ότι η SOM ελέγχει την πρόσληψη του Se από το ρύζι και έτσι αυξάνει τους κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία. Ο Pelfrène και συν. (2011) συμπέρανε ότι η συμπερίληψη αναλύσεων βιοδιαθεσιμότητας κατά την αξιολόγηση των κινδύνων της υγείας (κλάσμα του μολυντή που είναι διαλυτός στο γαστρεντερικό περιβάλλον και δυνητικά διαθέσιμο για απορρόφηση) θα παρείχε μια πιο ρεαλιστική δοκιμασία της έκθεσης σε βαρέα μέταλλα, από τις παραδοσιακές μετρήσεις.

Ο Wenpui και συν. (2009) καθιέρωσε τα επίπεδα των διαφορετικών μολυντών στο έδαφος και αξιολόγησε την επίδραση στον πληθυσμό, με αξιολογήσεις βιοπροσβασιμότητας (π.χ. in vitro προσομοιωτές της ανθρώπινης κατάποσης), ή την ανάπτυξη σεναρίων έκθεσης και εξισώσεων κινδύνων της υγείας. Παρά την ευρεία ανησυχία για τη μόλυνση του εδάφους και την ανθρώπινη υγεία, ελάχιστες μελέτες απευθείας και ρητά σχετίζουν τη μόλυνση με τη SQ και το πώς η υποβάθμιση της SQ, μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη

ευημερία (Poggio και συν., 2008; Mastro και συν., 2011; Pelfrène και συν., 2013). Ο Abrahams (2002), αν και όχι ρητά, συσχέτισε την SQ και την ανθρώπινη υγεία δηλώνοντας τις δηλητηριώδεις επιδράσεις που οι ιδιότητες του εδάφους θέτουν στις ανθρώπινες κοινωνίες. Ο Murray και συν. (2011) ανέφερε την ανάγκη να συμπεριληφθούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ειδικά η ποσότητα και ποιότητα της SOM, το pH ή το περιεχόμενο σε άργιλο, όταν τίθεται τα κριτήρια του κατωφλιού για το περιεχόμενο σε μέταλλα, κάτω από εκτιμήσεις των κινδύνων για τον άνθρωπο. Η μελέτη του Rafiq και συν. (2014) ήταν η μόνη, που ασχολούνταν με αξιολογήσεις των κινδύνων της υγείας, που καθιέρωσαν τα πρότυπα της SQ, για πιθανή διαιτητική τοξικότητα στους ανθρώπους. Παρατήρησαν ότι το pH του εδάφους, η CEC και η SOM αποτελούσαν τους κύριους παράγοντες που επηρέασαν τη βιοδιαθεσιμότητα του Cd, σε διαφορετικούς τύπους εδάφους.

Η υγιεινή κατάσταση του εδάφους, αξιολογείται στη βάση ενδεικτικών βακτηρίων, συνήθως της *Escherichia coli*, των περιττωματικών στρεπτόκοκκων, των ειδών *Salmonella*, των ειδών *Shigella* και των επίμονων σποριομένων *Clostridium* (Liang και συν., 2011; Benami και συν., 2013; Ceuppens και συν., 2014). Μερικές από αυτές τις μελέτες επίσης χρησιμοποιούν πρωτόζωα ή έλμινθες (Landa-Cansigno και συν., 2013). Τα αναθεωρημένα άρθρα αναγνωρίζουν διαφορετικές ταξινομικές ομάδες στο έδαφος και παρακολουθούν την επιβίωση, επιμονή και κίνηση με το χρόνο, στο πλαίσιο διαφορετικών χαρακτηριστικών του εδάφους και πρακτικών διαχείρισης (Benami και συν., 2013; Sepehria και συν., 2014). Η Voidarou και συν. (2011) συσχέτισε την παρουσία παθογόνων/παρασίτων με την SQ, υποδεικνύοντας ότι η συστηματική καταγραφή των οικοσυστημάτων του εδάφους, πρέπει να περιλαμβάνει βακτηριολογικές παραμέτρους, για την πρόσληψη πληροφοριών αρκετών για την αξιολόγηση της συνολικής ποιότητας. Έχει αναφερθεί ότι η SOM, το pH, η EC και το περιεχόμενο σε άργιλο, είναι καθοριστικές στην ικανότητα προσρόφησης των παθογόνων βακτηρίων, των πρωτοζώων ή των νηματωδών (Landa-Cansigno και συν., 2013) και έτσι θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν όταν αξιολογείται η επιμονή των παθογόνων στο έδαφος. Η πολυπλοκότητα της μικροβιακής κοινότητας του εδάφους, μπορεί να επηρεάσει την επιβίωση των παθογόνων. Ο Liang και συν. (2011) παρατήρησε ότι ο ρυθμός θανάτου της *E. coli* προοδευτικά μειώθηκε με τη μείωση της ποικιλότητας της μικροβιακής κοινότητας.

## **2.6. Συμπεράσματα.**

Ο οργανικός άνθρακας αποτελεί είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμένες σχέσεις, τον πιο ισχυρό δείκτη αξιολόγησης της ποιότητας του εδάφους είτε αναφερόμαστε σε καλλιεργούμενα ή σε δασικά εδάφη (Zornoza και συν., 2015), γεγονός αναμενόμενο, δεδομένου ότι επηρεάζει πλήθος ιδιοτήτων του εδάφους. Οι Gelaw και συν. (2015), έδειξαν ότι σε μια μελέτη που χρησιμοποιήθηκαν σταθμισμένα βάρη για κάθε δείκτη ποιότητας



του εδάφους, ο οργανικός άνθρακας (OC) ευθύνονταν για το 25% των τιμών του δείκτη ποιότητας του εδάφους. Σε μελέτη των de Paul Obade και Lal (2016), φάνηκε ότι η πιο ακριβής μέθοδος για την κατασκευή ενός σύνθετου δείκτη εκτίμησης της ποιότητας του εδάφους και επομένως και της παραγωγής, είναι η Παλινδρόμηση Μερικών Ελάχιστων Τετραγώνων (Partial Least Squares Regression, PLSR), με τον οργανικό άνθρακα (OC) να αποδεικνύεται εκ νέου ως ο πιο σημαντικός συνεισφέρων παράγοντας, στην ποιότητα του εδάφους. Η σημασία του οργανικού άνθρακα (OC) ως του πιο σημαντικού παράγοντα, που θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται οπωσδήποτε στις παραμέτρους εκτίμησης ενός δείκτη ποιότητας του εδάφους (SQI) επιβεβαιώθηκε και στη μελέτη των Askari και Holden (2014). Ο οργανικός άνθρακας διαπιστώθηκε ότι ήταν επίσης ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες εκτίμησης της ποιότητας του εδάφους και στην μελέτη των Yuanyuan και συν. (2013).

Αν και το μεγαλύτερο τμήμα της βιβλιογραφίας, αναφέρεται σε αξιολόγηση της SQ, με ανάλυση και περιγραφή μεμονωμένων δεικτών, η σύγχρονη τάση είναι η ανάπτυξη συνδυασμένων δεικτών SQI, με στόχο αυτοί να μπορούν να συσχετίζονται με γενικότερο τρόπο, κατά το μέτρο του δυνατού, την SQ με τις πρακτικές διαχείρισης. Η πλειοψηφία των άρθρων που ανασκοπήθηκε χρησιμοποιούσε την ίδια μεθοδολογία για την ανάπτυξη ενός SQI, βασιζόμενα στην επίδοση και βαρύτητα διαφορετικών δεικτών του εδάφους (Hussain και συν., 1999; Andrews και Carroll, 2001). Ένα ελάχιστο σετ δεδομένων (minimum data set, MDS) χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία ενός δείκτη, που επιλέχθηκε στις περισσότερες περιπτώσεις με μέσα πολυμεταβλητής ανάλυσης, όπως η ανάλυση κύριων συστατικών (principal component analysis, PCA). Οι πιο συχνές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν εκτός από τον SOC, το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), το ολικό άζωτο (Nt) και ο διαθέσιμος P, ενώ φαίνεται ότι, ανάλογα με την περίπτωση και άλλοι δείκτες όπως τα  $\text{NO}_3^-$ , το  $\text{NH}_4^+$ , το Na, K, Ca, Mg, η φαινόμενη πυκνότητα, η άμμος, η ιλύς, η άργιλος και το διαθέσιμο περιεχόμενο σε νερό, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό.

Ενδιαφέρον θα είχε επίσης η συσχέτιση του οργανικού άνθρακα, με κάποιες από τις ιδιότητες του εδάφους, έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει κάποιο εγγενές δυναμικό στο έδαφος, για την επίτευξη υψηλών συγκεντρώσεων οργανικού άνθρακα, ανεξάρτητα από τη διαθεσιμότητα του νερού, τη χρήση γης, ή τις πρακτικές διαχείρισης, ώστε να αποτελέσει μια βάση για επεμβάσεις επί της ίδιας της δομής του εδάφους, πέραν των παραδοσιακών πρακτικών (π.χ. χρήση λιπασμάτων, τροποποιητών του pH κ.α.)

## Μεθοδολογία.

### 3.1. Σκοποί-Στόχοι-Ερευνητικά ερωτήματα.

Με δεδομένη τη βαρύτητα του Οργανικού Άνθρακα (OC), ως παράγοντα πρόγνωσης της ποιότητας του εδάφους, της αγροτικής αειφορίας και της ανθρώπινης υγείας, στόχος της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής, είναι η συσχέτιση του Οργανικού Άνθρακα, από μεγάλο αριθμό δειγμάτων της Ελληνικής Επικράτειας, με άλλους δείκτες του εδάφους, που καταγράφονται ταυτόχρονα στα εδαφικά δείγματα, στα οποία μετράται ο OC. Στόχος είναι να αποτυπωθεί μαθηματικά η σχέση αυτή, με βάση τον πιο δόκιμο τρόπο, όπως αποτυπώνεται στην πρόσφατη βιβλιογραφία και να γίνει προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων, με βάση γνωστές σχέσεις της οργανικής ύλης με άλλες ιδιότητες του εδάφους.

Τα ερευνητικά ερωτήματα που στόχο έχει να απαντήσει η δεδομένη μεταπτυχιακή διατριβή είναι:

- αποτελεί ο Οργανικός Άνθρακας μια εγγενή ιδιότητα του εδάφους, που επηρεάζεται από δεδομένους δείκτες, ανεξάρτητα της βιολογικής δραστηριότητας, χρήσης γης, κλίματος και παραγωγής;
- ποιοί δείκτες δείχνουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην πρόγνωση της παρουσίας του άνθρακα στο έδαφος και ποιά σχέση συνδέει κάθε ένα από των δεικτών, με τον Οργανικό Άνθρακα;
- υπάρχουν πιθανές ερμηνείες των σχέσεων των δεικτών με τον Οργανικό Άνθρακα και θα μπορούσε το εργαλείο αυτό να έχει γενικότερο χαρακτήρα;

Για τους σκοπούς αυτούς θα αναζητηθούν διαδικτυακά δεδομένα μεγάλης έκτασης που χαρακτηρίζονται από αξιοπιστία και εγκυρότητα των εργαλείων συλλογής, με στόχο την μαθηματική επεξεργασία των στοιχείων αυτών.

### 3.2. Μέθοδος συλλογής δεδομένων.

Τα προς ανάλυση στοιχεία εδάφους, προήλθαν από τη Μελέτη LUCAS (LUCAS Dataset, 2015). Η μελέτη πλαίσιο LUCAS (Land Use και Cover Area frame Statistical survey), αποτελεί ένα σχέδιο που ξεκίνησε από την Eurostat το 2006, για τη συλλογή εναρμονισμένων δεδομένων για την κατάσταση της χρήσης γης/κάλυψης στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ballabio και συν., 2015). Μετά την φωτοερμηνεία 10 εκατομμυρίων γεωαναφερόμενων σημείων,  $2 \cdot 10^5$  σημεία επιλέχθηκαν και ελέγχθηκαν στο πεδίο το 2009, για την εγκυρότητα των δεδομένων, ενώ ταυτόχρονα στο 10% των σημείων σε 25 χώρες μέλη της ΕΕ, ελήφθησαν επιφανειακά δείγματα, αντιπροσωπευτικά της Ευρωπαϊκής τοπογραφίας (Carré και Jacobson, 2009). Οι ιδιότητες που ελήφθησαν υπ' όψιν για τη στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία ήταν οι καλύψεις γης CORINE 2000, τα Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) DEM και η κλίση, διάσταση και καμπυλότητα (Montanarella και συν., 2011). Αποκλείστηκαν σημεία με υψόμετρο μεγαλύτερο των 1.000m.

Τα 19.969 δείγματα επιφανειακού εδάφους ελήφθησαν χρησιμοποιώντας μια σύνθετη μέθοδο δειγματοληψίας. Ένα πρώτο υπο-δείγμα λαμβάνονταν από βάθος 20cm (μετά την αφαίρεση της στρωμνής). Τέσσερα ακόμη παρόμοια δείγματα λαμβάνονταν σε απόσταση 2m από το αρχικό, κατά τα θεμελιώδη σημεία του ορίζοντα. Τα πέντε υπο-δείγματα αναμειγνύονταν και 500g του μίγματος θεωρούνταν ως το τελικό δείγμα. Η προσέγγιση αυτή αποτελεί ένα φυσικό μέσο όρο (De Gruijter και συν., 2006) με το πλεονέκτημα της μείωσης του αριθμού των δειγμάτων προς ανάλυση.

Τα ξηρά δείγματα εδάφους αναλύθηκαν για το pH σε διάλυμα  $H_2O$  και  $CaCl_2$ , για τα αδρά κλάσματα και την Κατανομή Μεγέθους Σωματιδίων (Particle Size Distribution, PSD), το περιεχόμενο σε  $CaCO_3$ , την Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (Cation Exchange Capacity, CEC), το περιεχόμενο σε εξαγωγίμο φωσφόρο, το ολικό περιεχόμενο σε άζωτο, το περιεχόμενο σε οργανικό άνθρακα, εξαγωγίμο κάλιο, καθώς και η διάχυτη ρεφλεξιμετρία στο ορατό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Για την ανάλυση των παραμέτρων αυτών του εδάφους και ιδιαίτερα της κατανομής μεγέθους σωματιδίων, ακολουθήθηκαν οι προβλεπόμενες διαδικασίες (ISO 11277).

Η ανάλυση περιλαμβάνει (μεταξύ άλλων) την κατανομή μεγέθους σωματιδίων, εκφρασμένη ως ποσοστό αργίλου (0–0,002 mm), ιλύος (0,002–0,05 mm), άμμου (0,05–0,2mm), όπως και το αδρό κλάσμα, επεκφρασμένο ως ποσοστό (%) του αδρού υλικού (>2,0mm) στο έδαφος.

Από το πλήθος των δεδομένων της βάσης LUCAS, επιλέχθηκαν με τη βοήθεια του QGIS εκείνα, που με βάση την γεωαναφορά τους, αντιστοιχούσαν στην Ελληνική Επικράτεια. Το σύνολο των ελληνικών δεδομένων όπως εξήχθησαν από τη βάση LUCAS, παρουσιάζονται στο **Παράρτημα 1**. Συνολικά, είναι διαθέσιμα για στατιστική επεξεργασία δεδομένα από 491 δείγματα εδάφους. Τα δεδομένα που θα εξεταστούν αφορούν στην

αδρομέρεια, περιεχόμενο σε άργιλο, ιλύ ή άμμο, στο pH σε H<sub>2</sub>O ή CaCl<sub>2</sub>, στο περιεχόμενο σε οργανικό άνθρακα, CaCO<sub>3</sub>, N, P, K και στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων CEC.

### 3.3. Ανάλυση δεδομένων.

Οι Andrews και συν. (2004), ανέπτυξαν ένα εργαλείο (εργασία πλαίσιο για την αξιολόγηση της διαχείρισης του εδάφους, soil management assessment framework) για την αναγνώριση των στόχων διαχείρισης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή και τη λίστα των δεικτών που σχετίζονται με τις λειτουργίες αυτές. Η ποσοτικοποίηση της ποιότητας του εδάφους απαιτεί ένα ελάχιστο αριθμό δεδομένων, εξαιτίας της πολυπλοκότητας του εδαφικού συστήματος και κάποιοι παράμετροι των φυσικών, χημικών και βιολογικών δεικτών θα πρέπει να επιλεγούν (Griffiths και συν. 2010). Ανάλυση κύριων συστατικών (Principal component analysis (PCA) και ανάλυση συσχέτισης, μπορούν να εφαρμοστούν ως εργαλεία μείωσης των δεδομένων και της επιλογής των πιο κατάλληλων παραμέτρων, από μια πληθώρα αυτών (Govaerts και συν., 2006; Qi και συν., 2009). Έτσι αναγνωρίζονται οι παράμετροι υψηλής ειδικής βαρύτητας. Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους (SOC), φαίνεται ότι ακολουθεί μια σχέση «όσο περισσότερο τόσο καλύτερα», με βάση το ρόλο του στη γονιμότητα του εδάφους, την ανακύκλωση των θρεπτικών και τη δομική σταθερότητα (Sun και συν., 2011). Μια καμπύλη σιγμοειδούς τύπου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βαθμονόμηση της βαρύτητας των παραμέτρων και αυτές να ενσωματωθούν σε ένα απλό αθροιστικό δείκτη της ποιότητας (Bastida και συν., 2006; Mastro και συν., 2008). Εναλλακτικά, πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να επιλεγεί, ως η πιο ακριβής μέθοδος αξιολόγησης της ποιότητας του εδάφους (de Paul Obade και Lal, 2016).

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μεταπτυχιακής διατριβής, θα εξεταστούν ως προς τη γραμμική τους συσχέτιση κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, χρησιμοποιώντας το συντελεστή γραμμική συσχέτισης του Pearson και την εφαρμογή του υπολογιστικού στατιστικού προγράμματος IBM SPSS v.22. Οι τιμές που μπορεί να πάρει ένας συντελεστής συσχέτισης είναι από -1 έως +1. Αρνητικές τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης δύο μεταβλητών σημαίνει ότι έχουμε την ύπαρξη αρνητικής γραμμικής συσχέτισης. Τιμές κοντά στο μηδέν, αποτελούν ένδειξη ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Όσο πιο μεγάλες είναι οι τιμές του συντελεστή, ή όσο πιο κοντά βρίσκονται στη μονάδα (σε απόλυτη τιμή πάντα), τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική συσχέτιση μεταξύ τους. Ο συντελεστής συσχέτισης του Pearson υποθέτει κανονικότητα των δεδομένων. Η p-value που θα υπολογιστεί για κάθε συντελεστή ξεχωριστά αναφέρεται στον έλεγχο της υπόθεσης ότι στο συγκεκριμένο ζεύγος μεταβλητών δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση (δηλαδή ότι ο συντελεστής συσχέτισης για το ζεύγος είναι ίσος με το μηδέν), στο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha=0,05$  και  $\alpha=0,01$ .

Ακολούθως θα εξετάσουμε τις ανωτέρω ανεξάρτητες μεταβλητές ως προς την επίδραση τους σε μία εξαρτημένη μεταβλητή, και συγκεκριμένα τον οργανικό άνθρακα (OC), χρησιμοποιώντας πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Να τονίσουμε ότι όταν χρησιμοποιούμε το όρο “γραμμική”, εννοούμε “γραμμική” ως προς τις παραμέτρους του μοντέλου ( $\alpha$ ,  $\beta$ ). Άρα η συνάρτηση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων για την περίπτωση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης θα είναι της μορφής:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_p X_p + e_i,$$

όπου με  $p$  συμβολίζουμε το πλήθος των ανεξάρτητων μεταβλητών και ο όρος  $e_i$  αναφέρεται στο κατάλοιπο της  $i$ -οστής τιμής.

Μία προϋπόθεση, η οποία είναι απαραίτητη γενικά σε όλα τα μοντέλα με περισσότερες εκ της μίας ανεξάρτητων μεταβλητών, είναι η έλλειψη συγγραμμικότητας. Όταν μία ανεξάρτητη μεταβλητή συσχετίζεται με μία άλλη ανεξάρτητη, δηλαδή μέσω της μίας μπορούμε να εκτιμήσουμε τις τιμές της άλλης τότε μιλάμε για πρόβλημα συγγραμμικότητας. Επομένως η ύπαρξη και των δύο μεταβλητών στο μοντέλο δεν είναι δυνατή. Θα πραγματοποιηθεί ταυτόχρονα ο έλεγχος  $F$  (βασίζεται στην  $F$  κατανομή), που διευκρινίζει αν όλοι οι παράμετροι του μοντέλου είναι μηδέν ή αν έστω και ένας είναι διάφορος του μηδενός.

Τέλος θα παρουσιαστούν κάποια περιγραφικά μέτρα για τα κατάλοιπα. Θα ελεγχθεί αν ο μέσος είναι ίσος με 0. Η πρώτη υπόθεση που αφορά στα κατάλοιπα είναι ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέσο 0. Για να έχουν όμως τα κατάλοιπα μηδενικό άθροισμα, θα πρέπει η σταθερά να είναι μέσα στο μοντέλο. Δηλαδή αν για παράδειγμα η  $p$ -value για τη σταθερά είναι μεγαλύτερη του 0.05 (άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η πραγματική της τιμή είναι μηδέν) δεν πρέπει να αφαιρεθεί από το μοντέλο. Επομένως, εκτός της σημαντικότητας της σταθεράς, η σημαντικότητα του συντελεστή της μεταβλητής είναι σημασίας και άξιας ελέγχου.

Όσον αφορά τώρα στην ικανοποίηση της κανονικότητας των καταλοίπων, μπορούμε να την ελέγξουμε είτε γραφικά (P-P ή Q-Q Plots) αλλά και με τον έλεγχο των Kolmogorov-Smirnov. Το μέγεθος του δείγματος είναι αρκετά μεγάλο και μπορούμε να βασιστούμε στην ασυμπτωτική προσέγγιση της κανονικής κατανομής.

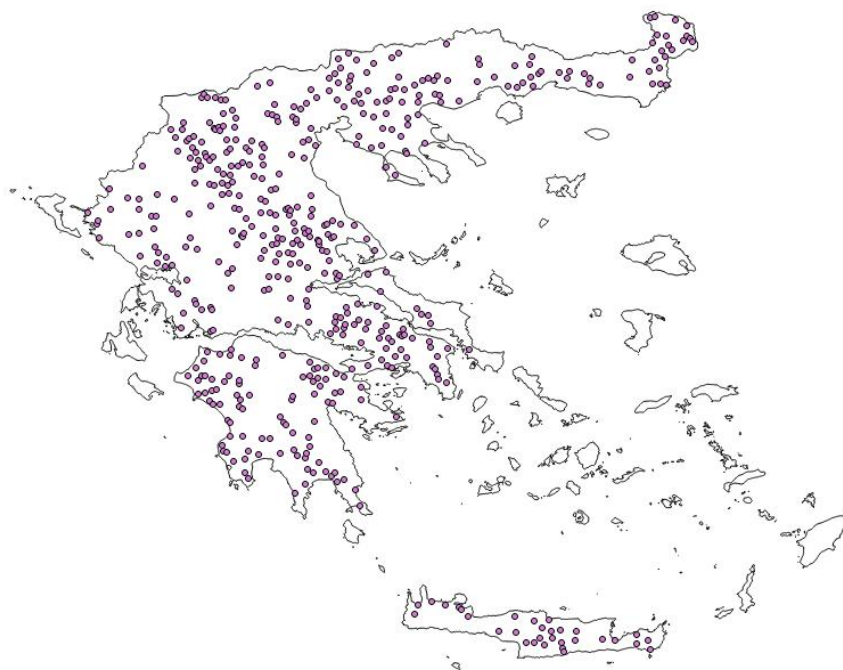
Για να ελέγξουμε την ανεξαρτησία και την ομοσκεδαστικότητα των καταλοίπων χρησιμοποιούμε ένα διάγραμμα διασποράς το οποίο θα περιέχει τις εκτιμηθείσες τιμές στον οριζόντιο άξονα και τα κατάλοιπα στο κάθετο άξονα. Αν τα κατάλοιπα είναι ανεξάρτητα θα περιμένουμε ένα “σύννεφο” σημείων να εμφανιστεί στο διάγραμμα. Δεν πρέπει δηλαδή να υπάρχει κάποιο “σχήμα” (pattern) στο διάγραμμα. Ένας ακόμα τρόπος είναι

να υπολογίσουμε τη συνδιακύμανση των καταλοίπων με των εκτιμηθέντων τιμών. Αν υπάρχει ανεξαρτησία τότε η συνδιακύμανση θα ισούται με το μηδέν. Δυστυχώς το αντίστροφο δεν είναι πάντα αληθές, οπότε αν βρούμε ότι η συνδιακύμανση είναι μηδέν δε σημαίνει απαραίτητα ότι έχουμε και ανεξαρτησία. Αν έχουμε υποψίες παρόλα αυτά ότι η υπόθεση της ανεξαρτησίας των καταλοίπων δεν ικανοποιείται, τότε η γραμμική παλινδρόμηση δεν μπορεί να εφαρμοστεί, οπότε περνάμε σε άλλες τεχνικές. Εάν τα κατάλοιπα είναι σειριακά συσχετισμένα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μονότονη παλινδρόμησης η οποία είναι διαθέσιμη από το SPSS.

Αν η υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας ικανοποιείται, κοιτάζοντας το ίδιο διάγραμμα θα πρέπει υποθέτοντας δύο παράλληλες στον οριζόντιο άξονα, γραμμές το “σύννεφο” των σημείων να βρίσκεται ανάμεσα στις δύο παράλληλες ευθείες. Με άλλα λόγια το εύρος των σημείων στο κατακόρυφο άξονα πρέπει να είναι σταθερό καθώς “κινούμαστε” στον οριζόντιο άξονα. Αν το εύρος μεγαλώνει ή μικραίνει καθώς μετακινούμαστε δεξιά του οριζόντιου άξονα (σηματίζοντας ένα “χωνί”) τότε δεν μπορούμε να υποθέσουμε ομοσκεδαστικότητα των καταλοίπων. Η αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος γίνεται με μετασχηματισμό των ανεξάρτητων ή και των εξαρτημένων μεταβλητών. Αν δε λυθεί το πρόβλημα τότε μπορούμε να δοκιμάσουμε μη παραμετρικές μεθόδους παλινδρόμησης (Theil, παλινδρόμηση στις τάξεις μεγέθους). Να τονίσουμε όμως και σε αυτές τις περιπτώσεις η ετεροσκεδαστικότητα αποτελεί πρόβλημα (ίσως όχι τόσο σοβαρό όπως στις παραμετρικές μεθόδους). Άλλος τρόπος αντιμετώπισης είναι η χρησιμοποίηση γενικευμένων γραμμικών μοντέλων.

### Αποτελέσματα.

Στο **Παράρτημα 1** παρατίθενται τα στοιχεία για τα 491 δείγματα εδάφους της μελέτης LUCAS, που αναφέρονται στην Ελληνική Επικράτεια και τα οποία συμπεριελήφθησαν στην αρχική ανάλυση, με τη βοήθεια του υπολογιστικού στατιστικού προγράμματος IBM SPSS v.22. Τα δεδομένα που εξετάστηκαν αρχικά, αφορούν στην αδρομέρεια, στο περιεχόμενο σε άργιλο, ιλύ ή άμμο, στο pH σε H<sub>2</sub>O ή CaCl<sub>2</sub>, στο περιεχόμενο σε οργανικό άνθρακα, CaCO<sub>3</sub>, N, P, K και στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων CEC. Η γεωγραφική κατανομή των σημείων στην Ελληνική Επικράτεια, όπως αποτυπώνεται με τη χρήση του QGIS, φαίνεται στο **Σχήμα 4.1**.



**Σχήμα 4.1.** Γεωγραφική κατανομή των δειγμάτων επιφανειακού εδάφους της Μελέτης LUCAS, στην Ελληνική Επικράτεια, με βάση τη γεωαναφορά τους και την εφαρμογή QGIS.

Τα αποτελέσματα της εξέτασης, ως προς τη γραμμική τους συσχέτιση των εξεταζόμενων ανεξάρτητων μεταβλητών, με τη χρήση του συντελεστή γραμμική συσχέτισης του Pearson και την εφαρμογή του υπολογιστικού στατιστικού προγράμματος IBM SPSS v.22, απεικονίζονται στον **Πίνακα 4.1a**. Η p-value που έχει υπολογιστεί για κάθε συντελεστή ξεχωριστά, αναφέρεται στον έλεγχο της υπόθεσης ότι στο

συγκεκριμένο ζεύγος μεταβλητών δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση (δηλαδή ότι ο συντελεστής συσχέτισης για το ζεύγος είναι ίσος με το μηδέν), στο επίπεδο  $\alpha=0,05$  (\*) και  $\alpha=0,01$  (\*\*).

**Πίνακας 4.1a** Συσχέτιση κατά Pearson των εξεταζόμενων ανεξάρτητων μεταβλητών. Με (\*) παρίσταται η συσχέτιση των ζευγών που είναι σημαντική σε επίπεδο 0,05 και με (\*\*) εκείνη που είναι σημαντική σε επίπεδο 0,01.

<b>Correlations --Pearson Correlation -- Sig. (2-tailed)</b>												
	coarse	clay	Silt	sand	pH_H <sub>2</sub> O	pH_CaCl <sub>2</sub>	OC	CaCO <sub>3</sub>	N	P	K	CEC
coarse	1	,980*	-,089*	,004	-,028	-,009	,219**	-,017	,200**	-,067	,092*	,162**
clay	,980*	1	,280**	-,764**	,169**	,186**	,303**	,038	,360**	,113*	,468**	,651**
silt	-,089*	,280**	1	-,832**	,317**	,345**	,234**	,278**	,318**	,043	,327**	,385**
sand	,004	-,764**	-,832**	1	-,311**	-,340**	-,331**	-,208**	-,420**	-,095*	-,490**	-,634**
pH_H <sub>2</sub> O	-,028	,169**	,317**	-,311**	1	,980**	-,049	,430**	-,001	-,103*	,216**	,319**
pH_CaCl <sub>2</sub>	-,009	,186**	,345**	-,340**	,980**	1	,044	,433**	,098*	-,069	,275**	,364**
OC	,219**	,303**	,234**	-,331**	-,049	,044	1	,052	,904**	,075	,418**	,549**
CaCO <sub>3</sub>	-,017	,038	,278**	-,208**	,430**	,433**	,052	1	,042	-,049	,044	,046
N	,200**	,360**	,318**	-,420**	-,001	,098*	,904**	,042	1	,165**	,512**	,574**
P	-,067	,113*	,043	-,095*	-,103*	-,069	,075	-,049	,165**	1	,342**	,021
K	,092*	,468**	,327**	-,490**	,216**	,275**	,418**	,044	,512**	,342**	1	,550**
CEC	,162**	,651**	,385**	-,634**	,319**	,364**	,549**	,046	,574**	,021	,550**	1
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).												
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).												

Με βάση τον Πίνακα 4.1.a, θα πρέπει να αφαιρεθεί από το προτεινόμενο μοντέλο:

- το N, μιας και παρουσιάζει συσχέτιση της τάξης του 90% με τον οργανικό άνθρακα (OC),
- το pH\_CaCl<sub>2</sub> γιατί υποκαθίσταται πλήρως (συσχέτιση 98%) από το pH\_H<sub>2</sub>O,
- και το coarse γιατί παρουσιάζει συσχέτιση 98% με το clay.

Δηλαδή μεταβλητές που τουλάχιστον με μια ακόμη μεταβλητή παρουσιάζουν συσχέτιση >98% αφαιρούνται ως ταυτόσημες. Άρα ο πίνακας συσχέτισης διαμορφώνεται ως ακολούθως (Πίνακας 4.1b).



**Πίνακας 4.1b.** Ο πίνακας συσχέτισης μετά την αφαίρεση 3 μεταβλητών. Στην πρώτη γραμμή και στην πρώτη στήλη παρουσιάζονται οι συχαστίσεις της εξηρημένης μεταβλητής (OC).

	OC	Clay	silt	sand	pH_H2O	CaCO3	P	K	CEC
OC	1	,303**	,234**	-,331**	-,049	,052	,075	,418**	,549**
clay	,303**	1	,280**	-,764**	,169**	,038	,113*	,468**	,651**
silt	,234**	,280**	1	-,832**	,317**	,278**	,043	,327**	,385**
sand	-,331**	-,764**	-,832**	1	-,311**	-,208**	-,095*	-,490**	-,634**
pH_H2O	-,049	,169**	,317**	-,311**	1	,430**	-,103*	,216**	,319**
CaCO3	,052	,038	,278**	-,208**	,430**	1	-,049	,044	,046
P	,075	,113*	,043	-,095*	-,103*	-,049	1	,342**	,021
K	,418**	,468**	,327**	-,490**	,216**	,044	,342**	1	,550**
CEC	,549**	,651**	,385**	-,634**	,319**	,046	,021	,550**	1
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).									
* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).									

Στον **Πίνακα 4.1b**, παρατηρούμε ότι ως προς την εξηρημένη μεταβλητή οι ανεξάρτητες μεταβλητές παρουσιάζουν μικρές συσχετίσεις (της τάξης του 50% και λιγότερο) ενώ μια (η P) παρουσιάζει μέτρια συσχέτιση (75%). Άρα η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης θα εφαρμοστεί για τις ανεξάρτητες μεταβλητές που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.2**, ενώ η εξαρτημένη μεταβλητή θα είναι ο οργανικός άνθρακας (OC).

**Πίνακας 4.2.** Ανεξάρτητες μεταβλητές και η εξαρτημένη μεταβλητή (OC), για τις οποίες θα εφαρμοστεί η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

#### Variables Entered/Removed<sup>a</sup>

Model	Independent Variables	Dependent Variables	Method
1	CEC, P, CaCO3, silt, pH_H2O, K, clay, sand	OC	Multiple Linear Regression

Τα αποτελέσματα του ελέγχου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των ανεξάρτητων μεταβλητών σε σχέση με την εξαρτημένη μεταβλητή (οργανικός άνθρακας), παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.3**. Με δεδομένο ότι το F significance είναι 0, το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης είναι στατιστικά σημαντικό. Ο έλεγχος F (βασίζεται στην F κατανομή) ελέγχει αν όλοι οι παράμετροι (συντελεστές τους) του μοντέλου είναι μηδέν ή αν έστω και ένας είναι διάφορος του μηδενός.

**Πίνακας 4.3.** Σύνοψη του ελέγχου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,856 <sup>a</sup>	,733	,726	13,37747

a. Predictors: (Constant), CEC, P, CaCO<sub>3</sub>, silt, pH\_H2O, K, clay, sand

b. Dependent Variable: OC

Η τιμή R αναφέρεται στην απόλυτη τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης. Το R Square είναι το τετράγωνο του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης και ονομάζεται συντελεστής προσδιορισμού. Ο συντελεστής προσδιορισμού φανερώνει το ποσοστό της μεταβλητότητας των δεδομένων που εξηγείται από το γραμμικό μοντέλο που προσαρμόσαμε. Δηλαδή, το συγκεκριμένο μοντέλο εξηγεί το 73% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Ο προσαρμοσμένος συντελεστής προσδιορισμού (Adjusted R Square) έχει λάβει υπόψη του και το μέγεθος του δείγματος.

Στον **Πίνακα 4.4**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης της διακύμανσης ANOVA για το συγκεκριμένο μοντέλο.

**Πίνακας 4.4.** Ανάλυση διακύμανσης (ANOVA) του μοντέλου.

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	123176,951	8	8897,119	85,521	,000 <sup>b</sup>
	Residual	45536,768	482	104,433		
	Total	169713,719	490			

a. Dependent Variable: OC

b. Predictors: (Constant), CEC, P, CaCO<sub>3</sub>, silt, pH\_H2O, K, clay, sand

Ο αριθμός 123176 δείχνει τη διακύμανση που εξηγείται από το μοντέλο που προσαρμόσαμε και ο 169713 δείχνει τη συνολική διακύμανση των δεδομένων. Προφανώς η διαφορά τους είναι η διακύμανση που δεν εξηγείται από το μοντέλο. Το πηλίκο των δύο αριθμών που αναφέραμε είναι στην ουσία ο συντελεστής προσδιορισμού. Ο Πίνακας 4.5, συνοψίζει τα αποτελέσματα των παραμέτρων του μοντέλου.

**Πίνακας 4.5.** Εκτιμήσεις παραμέτρων μοντέλου

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	-154,442	126,522		-1,221	,023
Clay	1,817	1,260	1,172	1,442	,050
Silt	2,113	1,262	1,585	1,675	,035
sand	2,062	1,259	2,309	1,638	,002
1 pH_H2O	-7,771	,933	-,346	-8,333	,000
CaCO3	,020	,005	,157	3,955	,000
P	-,014	,029	-,019	-,490	,024
K	,019	,004	,211	4,560	,000
CEC	,962	,081	,627	11,909	,000

a. Dependent Variable: OC

Με βάση τα δεδομένα αυτά, το προτεινόμενο μοντέλο για να εξηγήσει τη συσχέτιση του οργανικού άνθρακα με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν, είναι:

$$\text{Οργανικός άνθρακας (OC)} = -154,44 + 1,817 \times \text{clay} + 2,113 \times \text{silt} + 2,062 \times \text{sand} - 7,771 \times \text{pH\_H}_2\text{O} + 0,020 \times \text{CaCO}_3 - 0,014 \times \text{P} + 0,019 \times \text{K} + 0,962 \times \text{CEC}$$

Η στήλη Sig. περιέχει τα παρατηρηθέντα επίπεδα στατιστικής σημαντικότητας, τα οποία χρησιμεύουν για να βγάλουμε συμπεράσματα σχετικά με τη στατιστική σημαντικότητα των παραμέτρων του μοντέλου. Αφού οι p-value είναι μικρότερες του 0,05 συμπεραίνουμε ότι και οι δύο μηδενικές υποθέσεις απορρίπτονται, συνεπώς

και οι συντελεστές είναι στατιστικά σημαντικοί άρα απαραίτητοι για το μοντέλο. Δηλαδή, όλοι οι συντελεστές των παραμέτρων (μεταβλητών) του μοντέλου είναι στατιστικά σημαντικοί.

Ο Πίνακας 4.6, περιέχει κάποια περιγραφικά μέτρα για τα κατάλοιπα. Ο μέσος είναι ίσος με 0. Να υπενθυμίσουμε ότι η πρώτη υπόθεση που αφορά στα κατάλοιπα ήταν ότι ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέσο 0.

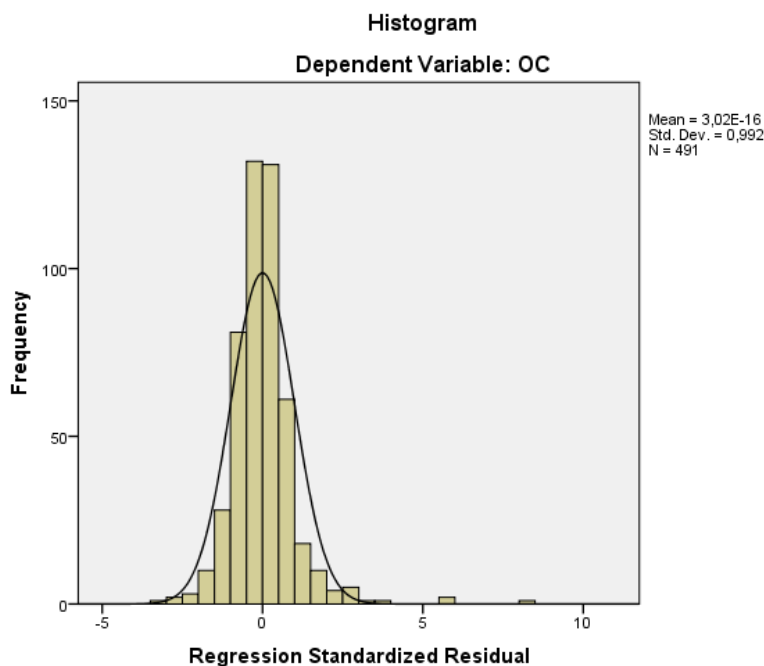
**Πίνακας 4.6.** Περιγραφικά μέτρα καταλοίπων μοντέλου.

**Residuals Statistics<sup>a</sup>**

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	N
Predicted Value	-8,9244	69,7693	19,3016	12,05235	491
Residual	-44,13595	118,53065	,00000	14,18081	491
Std. Predicted Value	-2,342	4,187	,000	1,000	491
Std. Residual	-3,087	8,290	,000	,992	491

a. Dependent Variable: OC

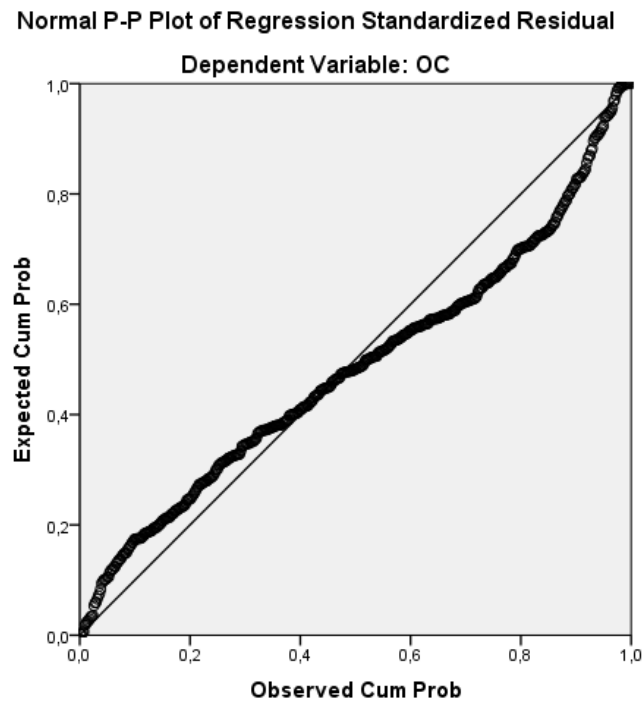
Για να έχουν όμως τα κατάλοιπα μηδενικό άθροισμα θα πρέπει η σταθερά να είναι μέσα στο μοντέλο. Δηλαδή αν για παράδειγμα η p-value για τη σταθερά είναι μεγαλύτερη του 0.05 (άρα δεν απορρίπτεται η υπόθεση ότι η πραγματική της τιμή είναι μηδέν) δεν πρέπει να αφαιρεθεί από το μοντέλο.



**Σχήμα 4.2.** Ιστόγραμμα της κατανομής των καταλοίπων.

Στα **Σχήμα 4.2**, έχει απεικονιστεί το ιστόγραμμα της κατανομής των καταλοίπων (residuals), όπου φαίνεται ότι αυτά ακολουθούν την κανονική κατανομή με μέση τιμή που τείνει στο 0, ως απαιτείται ώστε να ικανοποιείται η στατιστική σημαντικότητα (μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση να τείνει στο 1).

Το ίδιο επιβεβαιώνεται και με την απεικόνιση των καταλοίπων σε Διάγραμμα P-P (P-P Plot), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.3**, όπου επειδή τα κατάλοιπα βρίσκονται σχεδόν σε ευθεία γραμμή κατά μήκος της κύριας διχοτόμου, η παλινδρόμηση είναι στατιστικά σημαντική.



**Σχήμα 4.3.** Διάγραμμα P-P (P-P Plot) των καταλοίπων.

### Συζήτηση - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις.

#### 5.1. Συζήτηση.

Τα αποτελέσματα της εξέτασης, ως προς τη γραμμική τους συσχέτιση των εξεταζόμενων ανεξάρτητων μεταβλητών, με τη χρήση του συντελεστή γραμμική συσχέτισης του Pearson, που οδηγούν στον αποκλεισμό κάποιων των παραμέτρων, δίνουν μια πρώτη ένδειξη συσχετίσεων παραμέτρων.

Είναι αυτονόητη η υψηλή συσχέτιση του ολικού αζώτου του εδάφους (N) με τον οργανικό άνθρακα (OC), καθώς η οργανική ύλη του εδάφους αποτελείται από τόσο άνθρακα (C) και N, σε σχετικά σταθερή αναλογία 12:1 στα ορυκτά εδάφη, έως περίπου 30:1 στα οργανικά εδάφη. Δείγματα εδάφους με αναλογία μεγαλύτερη από 40:1 θα χρειάζονταν πρόσθετη διερεύνηση. Η ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ % N και % OC, διαπιστώνεται σε όλα τα εδάφη και ομάδες καλύψεων γης (καλλιέργειες, δάση, λιβάδια). Φαίνεται μάλιστα ότι αυτή η αναλογία μπορεί να επεκταθεί και να περιλαμβάνει και το φωσφόρο (Tian και συν., 2010; Cleveland και Liptzin, 2007).

Η στοιχειώδης αναλογία του άνθρακα και του αζώτου (C:N) της οργανικής ύλης επηρεάζει το βαθμό αποικοδόμησης της οργανικής ύλης του εδάφους (SOM), που με τη σειρά της επιδρά στη διαθεσιμότητα του C και N στα φυτά, εντός των συστημάτων του εδάφους. Ο κύριος λόγος σχετίζεται με τις ανάγκες σε C και N, για το μεταβολισμό των μικροοργανισμών του εδάφους. Για κάθε μέρος του N, οι μικροοργανισμοί θα χρειαστούν 20 μέρη C. Όταν η οργανική ύλη περιέχει περισσότερο αναλογικά N σε σχέση με C, το πλεονάζον N, θα απελευθερωθεί στο διάλυμα του εδάφους και καθίσταται διαθέσιμο για τα φυτά. Αν αντίθετα, η οργανική ύλη περιέχει λιγότερο N σε σχέση με C, οι μικροοργανισμοί του εδάφους θα ακινητοποιήσουν το εδαφικό N για το μεταβολισμό τους και το N θα καταστεί προσωρινά μη διαθέσιμο στα φυτά. Η διαθεσιμότητα C και N, φαίνεται καλύτερα στη στοιχειώδη αναλογία C:N του εδάφους. Όπως επισημαίνεται στη βιβλιογραφία, όταν η αναλογία στο έδαφος είναι μικρότερη ή ίση με 16, αυτό αποτελεί ένδειξη περιορισμού C, ενώ αν είναι μεγαλύτερη ή ίση με 16, αυτό αποτελεί ένδειξη περιορισμού του N (Rowe και συν., 2006).

Η υψηλή συσχέτιση μεταξύ του  $pH_{H_2O}$  και  $pH_{CaCl_2}$  είναι φυσιολογική και αναμενόμενη, δεδομένου ότι και τα δύο περιγράφουν περίπου την ίδια ιδιότητα του εδάφους.

Επίσης στον Πίνακα 1.1a αποτυπώνεται η συσχέτιση μεταξύ της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και της αργίλου με τον OC του εδάφους, καθώς και τα δύο αποτελούν σημαντικούς παράγοντες της CEC του εδάφους. Το οργανικό κλάσμα του εδάφους πιστεύεται ότι ευθύνεται για το 50-90 % της CEC, εξαιτίας των μεγάλων ποσών αρνητικά φορτισμένων επιφανειών, που είναι διαθέσιμες για τη σύνδεση κατιόντων. Η CEC αποτελεί έναν καλό δείκτη της υποβάθμισης των επιφανειακών σχηματισμών, καθώς σχετίζεται απ' ευθείας με την ικανότητα αποθήκευσης SOC (Sinoga και συν., 2012). Πρόσθετα, οι άργιλοι έχουν σημαντική συνεισφορά στην ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, εξαιτίας των ισομορφικών αντικαταστάσεων, όπου  $Si^{+4}$  και  $Al^{+3}$  στα κρυσταλλικά φύλλα της αργίλου, αντικαθίστανται με κατιόντα μικρότερου θετικού φορτίου ή με αποπροτονίωση υδροξυλικών ομάδων στις επιφάνειες της αργίλου, οδηγώντας σε πλεονάζον αρνητικό φορτίο, διαθέσιμο για τη σύνδεση κατιόντων από το εδαφικό διάλυμα.

Η CEC αποτελεί το άθροισμα των ανταλλάξιμων βάσεων συν τη συνολική οξύτητα του εδάφους σε δεδομένο pH και αποτελεί ένδειξη της ικανότητας του εδάφους να κατακρατά θρεπτικά των φυτών. Το διαθέσιμο K καθορίζεται είτε από το περιεχόμενο σε άργιλο και την ορυκτολογία, είτε από τις εισαγωγές λιπασμάτων (Ghiri και συν., 2010).

Το εδαφικό pH αποτελεί συνέπεια πολλών παραγόντων διαμόρφωσης και παράλληλων διαδικασιών του εδάφους (Boivin και συν., 2007). Τα καλλιεργούμενα εδάφη επιδεικνύουν τις υψηλότερες τιμές pH, από όλες τις ομάδες κάλυψης, ενώ τα δασικά εδάφη, παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα P. Αυτό παρατηρείται συχνά στα δασικά εδάφη, εξαιτίας του P που κατακρατείται σε ορυκτά-οργανικά σύμπλοκα. Θεωρήθηκε ότι τα χαμηλότερα επίπεδα K στα δασικά εδάφη, οφείλονταν στην απουσία εφαρμογής λιπασμάτων και στην έκπλυση κατιόντων, που κυριαρχεί σε χαμηλά επίπεδα pH (Ghiri και συν., 2010).

Στη βάση δεδομένων LUCAS, διακριτές συγκεντρώσεις  $CaCO_3$  παρατηρήθηκαν σε επίπεδα pH 6,5 και μεγαλύτερα, κάτι αναμενόμενο, εφόσον το  $CaCO_3$  είναι εξαιρετικά διαλυτό σε όξινες συνθήκες. Τα επίπεδα  $CaCO_3$  είναι πιο ισορροπημένα στις Μεσογειακές περιοχές, κάτι που αντικατοπτρίζει το πλούσιο σε ασβεστόλιθο μητρικό πέτρωμα, τη χαμηλότερη βροχόπτωση και την υψηλότερη θερμοκρασία που ευνοούν την κατακράτηση ανθρακικών στο έδαφος.

Όπως προαναφέρθηκε στα αποτελέσματα, η ανάλυση με τη μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, για τα δεδομένα εδάφους από το Ευρωπαϊκό σχέδιο-βάση δεδομένων LUCAS, από την

Ελληνική Επικράτεια, οδηγεί στο ακόλουθο προτεινόμενο μοντέλο, για να εξηγήσει τη συσχέτιση του οργανικού άνθρακα με τις ανεξάρτητες μεταβλητές που εξετάστηκαν:

$$\text{Οργανικός άνθρακας (OC)} = -154,44 + 1,817 \times \text{clay} + 2,113 \times \text{silt} + 2,062 \times \text{sand} - 7,771 \times \text{pH\_H}_2\text{O} + \\ + 0,020 \times \text{CaCO}_3 - 0,014 \times \text{P} + 0,019 \times \text{K} + 0,962 \times \text{CEC}$$

Στο μοντέλο αυτό προτείνεται θετική συσχέτιση ανάμεσα στον οργανικό άνθρακα (OC) και στην περιεκτικότητα σε άργιλο (clay), ιλύ (silt) ή άμμο (sand), την περιεκτικότητα σε  $\text{CaCO}_3$ , σε K, καθώς και με την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (CEC). Αντιθέτως, υπάρχει αρνητική συσχέτιση του εδαφικού οργανικού άνθρακα με το pH, όπως μετράται σε υδατικό διάλυμα, αλλά και με το φωσφόρο (P).

Ο οργανικός άνθρακας του εδάφους, φαίνεται ότι σχετίζεται περισσότερο με το κλάσμα της αργίλου και ιλύος συνολικά, παρά με το κλάσμα της άμμου (Zhaoa και συν., 2006; Hiederer, 2009). Αυτό επιβεβαιώνεται από τους συντελεστές της αργίλου και ιλύος στην εξίσωση του προτεινόμενου μοντέλου. Το σύνολο των ποσοστών της αργίλου (clay), ιλύος (silt) και άμμου (sand) στο έδαφος, αθροίζεται στο 100%. Κατά συνέπεια, με βάση τους συντελεστές με τους οποίους συμμετέχουν τα διάφορα μεγέθους συστατικά στο έδαφος, η ιδανική τους αναλογία για την επίτευξη της μέγιστης ποσότητας οργανικού άνθρακα στο έδαφος, απουσία του αδρού κλάσματος, θα είναι άργιλος (clay): 30,32%, ιλύς (silt): 35,26% και άμμος (sand): 34,41%.

Η επίδραση του φωσφόρου (P) και καλίου (K) φαίνεται ότι είναι αναλογικά μικρότερη (αρνητική και θετική αντίστοιχα) για τη συνολική συγκέντρωση οργανικού άνθρακα στο έδαφος. Από μελέτες οι οποίες αξιολογούν την ιδανική αναλογία C:N:P (Tian και συν., 2010; Cleveland και Liptzin, 2007), φαίνεται ότι ο φωσφόρος συμμετέχει σε μικρή αναλογία στη σχέση αυτή, με συνέπεια για να γίνει η συνεισφορά του προεξάρχουσα, θα πρέπει μάλλον να φτάσει σε συγκεντρώσεις που δε παρατηρούνται στη φύση. Το ίδιο πιθανότατα να ισχύει και για το ακόμη πιο περιορισμένο σε συγκεντρώσεις K, με συνέπεια η συνεισφορά των άλλων παραγόντων να υπερτερεί ένατι των δύο αυτών στοιχείων. Πιο σημαντική φαίνεται να είναι η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους (CEC).

Όσον αφορά στο  $\text{CaCO}_3$ , αυτό φαίνεται να συνεισφέρει επίσης σε μικρό βαθμό, εφόσον η ποσότητά του αυξάνει σε υψηλές τιμές pH, ενώ η υψηλή αρνητική συσχέτιση του οργανικού άνθρακα με το pH, πιθανότατα εξηγείται με το ότι οι τιμές του pH είναι ήδη αρκετά υψηλές, εξαιτίας του πλούσιου σε ανθρακικά μητρικού πετρώματος, με συνέπεια περαιτέρω αύξηση, να λειτουργεί «τοξικά» για τη συγκέντρωση οργανικού άνθρακα. Πιθανότατα, επίσης, το pH συμμετέχει με υψηλό συντελεστή στη σχέση, γιατί η τιμή του είναι πεπερασμένη (έως 14) και σπάνια λαμβάνει ακραίες τιμές, επειδή αναφέρεται σε λογαριθμική κλίμακα, και



μεταβολή κατά λίγες μονάδες επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο χημικό περιβάλλον και σε ευαίσθητες βιολογικές διαδικασίες.

Μετατροπές των φυσικών χαρακτηριστικών όπως η υφή και η ορυκτολογική σύσταση, θα συμβούν σε δεκαετίες, ενώ ιδιότητες όπως το pH, το περιεχόμενο σε οργανική ύλη ή η μικροβιακή δραστηριότητα, επιδεικνύουν ταχύτερη αντίδραση (Jones και συν., 2012). Από τα ευρήματα της μελέτης συνολικά, το περιεχόμενο σε άργιλο του επιφανειακού εδάφους ήταν μεγαλύτερο στην περιοχή της Μεσογείου. Η χωρική κατανομή του περιεχομένου σε ύλη, αντανακλά της επίδραση των αποθέσεων ύλους της Ύστερης Παγετώδους περιόδου (Semmel και Terhorst, 2010), ενώ τα εδάφη στη λεκάνη της Μεσογείου, έχουν χαμηλό περιεχόμενο σε άμμο. Περιοχές με πιο σύνθετη μορφολογία (Δυτική Ελλάδα), προβλέπονται σε γενικές γραμμές λιγότερο ικανοποιητικά από το μοντέλο (Toth και συν., 2013).

Αξίζει τέλος να σημειωθεί η αξία της βάσης, που παρείχε τα δεδομένα της παρούσης ανάλυσης, που αναφέρεται σε ένα εναρμονισμένο δείγμα, μεγάλου μεγέθους, που ελήφθη με πιστοποιημένες, καλά καθορισμένες και ενιαίες διαδικασίες.

## 5.2. Περιορισμοί.

Όπως φαίνεται από την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού ( $R^2$ ), η εμπειρική εξίσωση που προκύπτει, ισχύει μόνο για τον Ελληνικό χώρο και δείχνει το ότι μπορούμε να εκτιμήσουμε με ποσοστό βεβαιότητας 73,3% τον άνθρακα του εδάφους (OC), από τις ανεξάρτητες μεταβλητές, για τις οποίες υπήρχαν δεδομένα. Στην πράξη η βεβαιότητα ίσως να ήταν μεγαλύτερη, αφού τυχαίες διακυμάνσεις και σφάλματα υπεισέρχονται στις μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Παρόλα αυτά, για την ανάπτυξη του μοντέλου συσχέτισης του οργανικού άνθρακα, δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου βιολογικοί δείκτες. Η χρήση αποκλειστικά των συγκεκριμένων φυσικών και χημικών δεικτών, σημαίνει ότι η διακύμανση των τιμών του οργανικού άνθρακα, αποδίδεται αποκλειστικά σε εγγενείς ιδιότητες του εδάφους που σχετίζονται με την υφή και τα χημικά χαρακτηριστικά του εδάφους.

Στο παραπάνω συνηγορεί το γεγονός ότι δε γίνεται διάκριση ανάμεσα σε τιμές που αναφέρονται σε διαφορετικές χρήσεις γης (καλλιέργειες, λιβαδικές εκτάσεις δάση), όπως και σε άλλες γεωγραφικές παραμέτρους π.χ. κλίση εδάφους.

Ταυτόχρονα, αγνοούνται δύο πολύ σημαντικά χαρακτηριστικά, που είναι γνωστό ότι συνεισφέρουν στη διαμόρφωση των επιπέδων του άνθρακα στο έδαφος: η διαθεσιμότητα του νερού και οι παράμετροι που την επηρεάζουν και οι κλιματολογικές συνθήκες.

Φαίνεται δηλαδή, με την παρούσα στατιστική ανάλυση, ότι παρόλο το μέγεθος του δείγματος, η διακύμανση των επιπέδων του οργανικού άνθρακα, ίσως να μη μπορεί να ερμηνευτεί πλήρως από τις εξεταζόμενες μεταβλητές, ως μια εγγενής ιδιότητα του εδάφους, και ότι εξωγενείς παράγοντες, όπως η ικανότητα συγκράτησης νερού ή το κλίμα, να επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό, την ποσότητα του οργανικού άνθρακα του εδάφους.

Τέλος, είναι πιθανόν, οι τιμές των μεταβλητών να παρουσιάζουν πεπερασμένη γραμμικότητα, στη σχέση με τον οργανικό άνθρακα, μιας π.χ. που το άθροισμα των παραμέτρων ποσοστό % αργίλου, ιλύος, άμμου είναι 100, ή παράμετροι όπως το pH, επηρεάζουν δυσανάλογα έντονα τη σχέση, όταν λάβουν εξαιρετικά υψηλές ή χαμηλές τιμές.

### **5.3. Συμπεράσματα.**

Η ανάλυση της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής, με δεδομένο ότι στηρίζεται σε δεδομένα από ένα εξαιρετικά μεγάλο δείγμα, συνλεγμένο με ενιαίες και αξιόπιστες συνθήκες, μπορεί ως ένα βαθμό να ερμηνεύσει, τις διακυμάνσεις των επιπέδων του οργανικού άνθρακα (OC), ως συνάρτηση των παραμέτρων άργιλος (clay), ιλύς (silt), άμμος (sand), pH<sub>H2O</sub>, CaCO<sub>3</sub>, P, K και ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων (CEC) και να ερμηνεύσει τα επίπεδά του, ως μία εγγενής-εσωτερική ιδιότητα του εδάφους. Παρόλα αυτά περιορίζεται μόνο στις συνθήκες που επικρατούν στην Ελληνική Επικράτεια, ενώ πιθανότατα, δεν ερμηνεύει πλήρως τις μετρούμενες συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα στο έδαφος, επειδή αυτές επηρεάζονται από παραμέτρους που σχετίζονται με εξωγενείς παραμέτρους, όπως η διαθεσιμότητα του νερού ή οι κλιματικές συνθήκες, ή ακόμα η χρήση η οποία επιφυλλάσσεται για μια συγκεκριμένη περιοχή (καλλιεργούμενη, λιβαδική ή δασική έκταση).

### **5.4. Εισηγήσεις.**

Η στατιστική ανάλυση που εφαρμόστηκε στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή, θα μπορούσε να επαναληφθεί για το σύνολο των Ευρωπαϊκών δεδομένων, που ανέρχονται σε περίπου 19.970 δείγματα εδάφους. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσαν καλύτερα να παλειφθούν διακυμάνσεις που οφείλονται σε

εξωτερικούς παράγοντες, αλλά και παράμετροι που σχετίζονται με τη χρήση του εδάφους ή το γεωγραφικό εντοπισμό.

Τα δεδομένα από τη μελέτη LUCAS επιβεβαιώνουν την κοινή αντίληψη ότι τα επίπεδα οργανικού άνθρακα του εδάφους αυξάνονται κατά μία τάση από νότιοανατολικά προς βορειοδυτικά (Jones και συν., 2005). Ωστόσο, δείγματα από την ορεινή περιοχή της Μεσογείου έχουν ένα μέσο επίπεδο συγκρίσιμο με αυτό βορειότερων και δυτικότερων τμημάτων της ΕΕ.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές.

Abrahams, P.W. (2002) Soils: Their Implications to Human Health, *Sci. Total Environ.* 291, 1–32.

Albaladejo, J., Ortiz, R., García-Franco, N., Ruíz-Navarro, A., Almagro, M., García-Pintado, J. & Martínez-Mena, M. (2013) Landuse and Climate Change Impacts on Soil Organic Carbon Stocks in Semi-Arid Spain. *J. Soils Sediments*, 13, 265–277.

Amacher, M. C., O'Neil, K. P. & Perry, C. H. (2007) Soil Vital Signs: A New Soil Quality Index (SQI) for Assessing Forest Soil Health. Res. Pap., RMRS-RP-65WWW, Fort Collins, CO: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 12 pp., available at: [http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\\_rp065.pdf](http://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_rp065.pdf) (Πρόσβαση: 25.11.2015).

Amézketa, E. (1999) Soil Aggregate Stability: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 14, 2-3.

Andrews, S. S., Karlen, D. L. & Cambardella, C. A. (2004) The Soil Management Assessment Framework: a Quantitative Soil Quality Evaluation Method. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68, 1945-1962.

Andrews, S. S. & Carroll, C. R. (2001) Designing a Soil Quality Assessment Tool for Sustainable Agroecosystem Management. *Ecol. Appl.*, 11, 1573–1585.

Arias, M. E., González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J. & Ball, A. S. (2005) Soil Health - a New Challenge for Microbiologists and Chemists. *Int. Microbiol.*, 8, 13–21.

Askari, M. S. & Holden, N. M. (2014) Indices for Quantitative Evaluation of Soil Quality Under Grassland Management. *Geoderma*, 230-231, 131-142.

Ballabio, C., Panagos, P. & Monatanarella L. (2015) Mapping Topsoil Physical Properties at European Scale Using the LUCAS Database. *Geoderma*, 261, 110-123.

- Banning, N. C., Gleeson, D. B., Grigg, A. H., Grant, C. D., Andersen, G. L., Brodie, E. L., & Murphy, D. V. (2011) Soil Microbial Community Successional Patterns during Forest Ecosystem Restoration, *Appl. Environ. Microbiol.*, 77, 6158-6164.
- Bartlett M, Briones, M., Neilson, R, Schmidt, O., Spurgeon, D. & Creamer, R. (2010) A Critical Review of Current Methods in Earthworm Ecology: From Individuals to Populations. *European Journal of Soil Biology*, 16, 2, 67-73.
- Bastida, F., Moreno, J. L., Hernández, T. & García, C. (2006) Microbiological Degradation Index of Soils in a Semiarid Climate. *Soil Biol. Biochem.*, 38, 3463–3473.
- Battilani P, Chiusa, C., Trevisan, C. & Ghebbioni, C. (1996) Fungal Growth and Ergosterol Content in Tomato Fruits Infected by Fungi. *Italian Journal of Food Science*, 4, 283-90.
- Bedini S, Pellegrino, E., Avio, L., Pellegrini, S., Bazzoffi, P., Argese, E. & Giovannetti, M. (2009) Changes in Soil Aggregation and Glomalin-related Soil Protein Content as Affected by the Arbuscular Mycorrhizal Fungal Species *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 7, 1491-6.
- Benami, M., Gross, A., Herberg, M., Orlofsky, E., Vonshak, A. & Gillor, O. (2013) Assessment of Pathogenic Bacteria in Treated Graywater and Irrigated Soils, *Sci. Total Environ.*, 458-560, 298-302.
- Blecker, S. W., Stillings, L. L., Amacher, M. C., Ippolito, J. A. & DeCrappeo, N. M. (2012) Development of Vegetation Based Soil Quality Indices for Mineralized Terrane in Arid and Semi-Arid Regions. *Ecol. Indic.*, 20, 65-74.
- Boag, B. & Yeates, G.W. (2001). The Potential Impact of the New Zealand Flatworm, a Predator of eEarthworms, in Western Europe. *Ecological Applications*, 11, 1276-1286.
- Booth, L.H., Hodge, S. & O'Halloran, K. (2000) The Use of Enzyme Biomarkers in Aporrectodea *Caliginosa* (Oligochaeta; Lumbricidae) to Detect Organophosphate Contamination: a Comparison of Laboratory Tests, Mesocosms and Field Studies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19, 417-22.

- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D. & Voulvoulis, N. (2010) Soil Quality Assessment Under Emerging Regulatory Requirements. *Environ. Int.*, 36, 609-622.
- Bonkowski, M. (2004). Protozoa and Plant Growth: the Microbial Loop Revisited. *New Phytologist*, 162, 617-631.
- Boruvka, L., Mladkova, L., Penizek, V., Drabek, O. & Vasat, R. (2007) Forest Soil Acidification Assessment Using Principal Component Analysis and Geostatistics. *Geoderma*, 140, 4, 374-382.
- Brady, N. & Weil, R. (2002) *The Nature and Properties of Soils*, 13th Edition. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, 960.
- Burger, J. A. & Kelting, D. L. (1999) Using Soil Quality Indicators to Assess Forest Stand Management. *Forest Ecol. Manag.*, 122, 155-166.
- Burke I. E. & Cole V. (1995) Influence of Macroclimate, Landscape Position, and Management on Soil Organic Matter in Agroecosystems. *Ecological Applications*, 5, 1, 124-31.
- Camara-Ferreira, A. C., Carvalho-Leite, L. F., Ferreira de Araujo, A. & Eisenhauer, N. (2014) Land-Use Type Effects on Soil Organic Carbon and Microbial Properties in a Semi-Arid Region of Northeast Brazil, *Land Degrad. Dev.*, doi:10.1002/ldr.2282 (Πρόσβαση: 25.11.2015)
- Cambardella, C. A. & Elliot, E. T. (1992) Particulate Soil Organic Matter Changes Across a Grassland Cultivation Sequence. *Soil Sci Soc Am J*, 56, 777-83.
- Campos, A. C., Oleschko, K. L., Etchevers, J. B. & Hidalgo, C. M. (2007) Exploring the Effect of Changes in Land Use on Soil Quality on the Eastern Slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 248, 174-182.
- Carré, F. & Jacobson, M. (2009) Numerical Classification of Soil Profile Data Using Distance Metrics. *Geoderma*, 148, 3, 336-345.
- Carter, M. R. (2002) Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation Interactions that Maintain Soil Functions. *Agron. J.*, 94, 38-47.

- Ceccanti B, Pezzarossa, B., Gallardo-Lancho, F.J., & Masciandaro, G. (1994) Bio-Tests as Markers of Soil Utilization and Fertility. *Geomicrobiology Journal*, 11, 309-16.
- Ceuppens, S., Hessel, C. T., de Quadros Rodrigues, R., Bartz, S., Tondo, E. C., & Uyttendaele, M. (2014) Microbiological Quality and Safety Assessment of Lettuce Production in Brazil, *Int. J. Food Microbiol.*, 181, 67-76.
- Chaer, G. M., Myrold, D., & Bottomley, P. J. (2009) A Soil Quality Index Based on the Equilibrium Between Soil Organic Matter and Biochemical Properties of Undisturbed Coniferous Forest Soils of the Pacific Northwest. *Soil Biol. Biochem.*, 41, 822-830.
- Chan K, Heenan, D., & Oates, A. (2002) Soil Carbon Fractions and Relationship to Soil Quality under Different Tillage and Stubble Management. *Soil and Tillage Research*, 63, 133-9.
- Chen, H., Marhan, S., Billen, N., & Stahr, K. (2009) Soil Organic-Carbon and Total Nitrogen Stocks as Affected by Different Land Uses in Baden-Württemberg (Southwest Germany). *J. Plant Nutr. Soil Sc.*, 172, 32-42.
- Cheng, H. X., Li, M., Zhao, C. D., Li, K., Peng, M., & Qin, A. H. (2014) Overview of Trace Metals in the Urban Soil of 31 Metropolises in China. *J. Geochem. Explor.*, 139, 31-52.
- Cikutovic M.F., L. Goven, A. Venables, B., & Giggelman, M. (1999) Wound Healing in Earthworms *Lumbricus terrestris*: a Cellular-Based Biomarker for Assessing Sublethal Chemical Toxicity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 508-14.
- Cleveland, C.C., & Liptzin, D. (2007) C:N:P Stoichiometry in Soil: Is There a “Redfield Ratio” for the Microbial Biomass?. *Biogeochemistry*, 85, 235-252.
- Corstanje R, Schulin, R., & Lark, R. (2007) Scale-Dependent Relationships Between Soil Organic Matter and Urease Activity. *European Journal of Soil Science*. 58, 5, 1087-95.
- Culman S.W. (2011). Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. *Soil Science Society of America Journal*, 76, 494-504.

D'Hosea, T., Cougnonb, M., Vliegheera, A., Vandecasteelea, B., Viaenea, N., Cornelisc, W., Van Bockstaelea, & E., Reheulb, D. (2014) The Positive Relationship Between Soil Quality and Crop Production: A Case Study on the Effect of Farm Compost Application. *Applied Soil Ecology*, 75, 189-198.

de Gruijter, J., Brus, D.J., Bierkens, M.F., & Knotters, M. (2006) Sampling for Natural Resource, Springer.

de Paul Obade, V., & Lal, R. (2016). A Standardized Soil Quality Index for Diverse Field Conditions. *Science of the Total Environment*, 541, 424-434.

Del Val JMB, & Azcón-Aguilar, J. (1999) Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungus Populations in Heavy-Metal-Contaminated Soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 65, 718-23.

Deng, X. (2011) Land Quality: Environmental and Human Health Effects, *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, edited by: Elias, S. A., Elsevier, Amsterdam, 362–365.

Dick, W, Cheng, L., & Wang, P. (2000) Soil Acid and Alkaline Phosphatase Activity as pH Adjustment Indicators. *Soil Biology & Biochemistry*, 32, 1915-9.

Dick, R. (1996) Soil Enzyme Activities as Integrative Indicators of Soil Health. In: Doran J, Jones, A., editor. Methods for assessing soil quality. Madison, Wisconsin: *Soil Science Society of America*, 121-56.

Doran, J.W., & Zeiss, M. R. (2000) Soil Health and Sustainability: Managing the Biotic Component of Soil Quality. *Appl. Soil Ecol.*, 15, 3-11.

Doran, J.W. & Parkin, T.B. (1996). Quantitative Indicators of Soil Quality: a Minimum Data Set. In J.W. Doran and A.J. Jones, eds. Methods for Assessing Soil Quality. *Soil Sci. Soc. Am., Inc.*, Madison, Wisconsin, USA.



Doran, J.W. & Parkin, T. B. (1994) Defining and Assessing Soil Quality, in: Defining soil quality for a sustainable environment, edited by: Doran, J.W., Coleman, D. F., Bezdicek, D. F., and Stewart, B. A., *Soil Sci. Soc. Am.*, Special Publication 35, Madison, WI, 3–21, 1994.

Eldor, P. (2007) *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. Tercera ed. Eldor P, editor. Chennai, India: Academic Press.

Franzluebbers, A. (2002) Soil Organic Matter Stratification Ratio as an Indicator of Soil Quality. *Soil and Tillage Research*. 66, 2, 95-106.

Fu, B. J., Liu, S. L., Lu, Y. H., Chen, L. D., Ma, K. M., & Liu, G. H. (2003) Comparing the Soil Quality Changes of Different Land Uses Determined by two Quantitative Methods. *Journal of Environmental Sciences*, 15, 167-172.

Gao, X.Y.B, Borneman, J., & Becker, J. (2008) Assessment of Parasitic Activity of Fusarium Strains Obtained from a Heterodera Schachtii suppressive Soil. *Journal of Nematology*, 40, 1-6.

García-Ruiz, R., Ochoa, V., Hinojosa, M. B., & Carreira, J. A. (2008) Suitability of Enzyme Activities for the Monitoring of Soil Quality Improvement in Organic Agricultural Systems. *Soil Biol. Biochem.*, 40, 2137-2145.

Gavrilenko, E. G., Ananyeva, N. D., & Makarov, O. A. (2013) Assessment of Soil Quality in Different Ecosystems (with Soils of Podolsk and Serpukhov Districts of Moscow Oblast as Examples). *Eurasian Soil Sci.*, 46, 1241-1252.

Gelaw, A. M., Singh, B. R., & Lal, R. (2015) Soil Quality Indices for Evaluating Smallholder Agricultural Land Uses in Northern Ethiopia. *Sustainability*, 7, 2322-2337.

Gelaw, A. M., Singh, B. R., & Lal, R. (2014) Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Stocks under Different Land Uses in a Semi-Arid Watershed in Tigray, Northern Ethiopia. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 188, 256-263.

Gelsomino, A, Badalucco, L., Ambrosoli, R., Crecchio, C., Puglisi, E., & Meli, S. (2006) Changes in Chemical and Biological Soil Properties as Induced by Anthropogenic Disturbance: a Case Study

of Agricultural Soil under Recurrent Flooding by Wastewaters. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 2069-80.

Ghiri, M.N., Abtahi, A., Jaberian, F., & Owliaie, H.P. (2010) Relationship Between Soil Potassium Forms and Mineralogy in Highly Calcareous Soils of Southern Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4, 3, 434-441.

Gould, S., Rajeev, P., Kodikara, J., Zhao, X-L, Burn, S. & Marlow, D. (2012) A New Method or Developing Equations Applied to the Water Retention Curve, *Soil Science Society of America Journal*, 76, 3, 806-814.

Gutiérrez V, Martínez, M., & Ortega, R. (2009) Spatial variability of the activity of  $\beta$ -Glucosidase, Acid Phosphatase and Ammonia monooxygenase (AMO) enzymes in a rice soil in Chile. Footprints in the Landscape. *Sustainability through Plant and Soil Science*: Pittsburgh: Section 97-4.

Gutiérrez, V., Pinzón, A., Casas, J., & Martínez, M. (2008) Determinación de la Actividad Celulolítica del Suelo Proveniente de Cultivos de Stevia rebaudiana Bertoni. *Agronomia Colombiana*, 26, 3, 497-504.

Harris, R. F., Karlen, D. L., & Mulla, D. J. (1996). A Conceptual Framework for Assessment and Management of Soil Quality and Health, in: Methods for assessing soil quality, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, Wisconsin, USA, 61-82.

Hartmann, M., & Widmer, F. (2006) Community Structure Analyses Are More Sensitive to Differences in Soil Bacterial Communities than Anonymous Diversity Indices. *Applied and Environmental Microbiology*, 72, 7804-12.

Haynes, R. (2000) Labile Organic Matter as an Indicator of Organic Matter Quality in Arable and Pastoral Soils in New Zealand. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 2, 211-9.

Hiederer, R. (2009) Distribution of Organic Carbon in Soil Profile Data. EUR 23980 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 126.

Hillel, D. 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press. An Imprint of Elsevier 525 B Street, Suite 1900, San Diego, USA.

Hoelt R.G., E.D. Nafziger, R.R. Johnson, & Aldrich, S.R. (2000) Modern Corn and Soybean Production. MCSP Publications. Champaign, IL. 353.

Hudson, B. D. (1994) Soil organic matter and available water capacity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49, 2, 189-194.

Hussain, I., Olson, K. R., Wander, M. M., & Karlen, D. L. (1999) Adaptation of Soil Quality Indices and Application to Three Tillage Systems in Southern Illinois, *Soil Till. Res.*, 50, 237-249.

Janssens, J., Deng, Z., Sonwa, D., Torrico, J.C., Mulindabigwi, V., & Pohlen, J. (2006). Relating Agro-Climax of Orchards to Eco-Climax of Natural Vegetation. *Acta Horticulturae*, 707, 181-6.

Joergensen, R., & Castillo, X. (2001) Interrelationships Between Microbial and Soil Properties in Young Volcanic Ash Soils of Nicaragua. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1581-9.

Jhonson, C. (2009). Biology of Soil Science. *Oxford Book Company* 267, IO-B-Scheme, Opp. Narayan Niwas. Gopalpura By Pass Road, Jaipur-302018.

Jones, R.J.A., Houšková, B., Bullock P. & Montanarella L. (2005). Soil Resources of Europe, second edition. European Soil Bureau Research Report No.9, EUR 20559 EN, 420pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Montanarella, L., Penizek, V., Tóth, G., Van Den Eeckhaut, M., Van Liedekerke, M., Verheijen, F., & Yigini, Y. (2012). The State of Soil in Europe - A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010. No. EUR 25186 EN in EUR - Scientific and Technical Research series. Publications Office of the European Union.

Kandeler E, & Dick, R. (2007) Soil Enzymes: Spatial Distribution and Function in Agroecosystems. In: Benckiser G, Schnell, S, editor. *Biodiversity in Agricultural Production Systems*. Boca Ratón, Fl: Taylor & Francis Group; p. 263-79.

Karlen, D. L., Andrews, D. D., & Doran, J. W. (2001) Soil Quality: Current Concepts and Applications, *Adv. Agron.*, 74, 1-40.

Kentel, E., Aksoy, A., Büyüker, B., Dilek, F., Girgin, Ipek, M. H., Polat, S., Yeti,s, Ü., & Ünlü, K. (2011) Challenges in Development and Implementation of Health-Risk-Based Soil Quality Guidelines: Turkey's Experience. *Risk Anal.*, 31, 657-667.

Knight T, & Dick, R. (2004) Differentiating Microbial and Stabilized  $\beta$ -glucosidase Activity Relative to Soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 36, 2089-96.

Kowaljow E. M.J. (2007) Soil Restoration in Semiarid Patagonia: Chemical and Biological Response to Different Compost Quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1580-8.

Lal, R. (2004) Soil Carbon Sequestration to Mitigate Global Change, *Geoderma*, 123, 1-22.

Landa-Cansigno, O., Durán-Álvarez, J. C., & Jiménez-Cisneros, B. (2013) Retention of *Escherichia coli*, *Giardia lamblia* Ψysts and *Ascaris lumbricoides* Eggs in Agricultural Σoils Irrigated by Untreated Wastewater. *J. Environ. Manag.*, 128, 22-29.

Lapied, E., Nahmani, J., & Rousseau, G. (2009) Influence of Texture and Amendments on Soil Properties and Earthworm Communities. *Applied Soil Ecology*. 43, 2-3, 241-9.

Larson, W.E., & F.J. Pierce. (1994) The Dynamics of Soil Quality as a Measure of Sustainable Management. In Doran et al. (eds.) *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, pp. 37-52. SSSA Special Publication 35:37-52.

Larson, W.E. & Pierce, F.J. (1991) Conservation and Enhancement of Soil Quality. in: Evaluation for sustainable land management in the developing world, Vol. 2: Technical papers, edited by: Dumanski, J., Pushparajah, E., Latham, M., and Myers, R., Proc. Int. Worksh., Chiang Rai,

Thailand, 15–21 Sept. 1991. Int. Board. For. Soil Res. Manage., Bangkok, Thailand, 175–203, 1991.

Levy, G.J., Mamedov, A.I.; Goldstein, D. (2003) Sodicity and Water Quality Effects on Slaking of Aggregates from Semi-Arid Soils. *Soil Science*, 168, 8, 552-562.

Li, C., Moore-Kuceraa, J., Leeb, J., Corbin, A., Brodhagen, M., Miles, C., & Inglise, D. (2014) Effects of Biodegradable Mulch on Soil Quality. *Appl. Soil Ecol.*, 79, 59-69.

Li, Y., Dong, S., Wen, L., Wang, X., & Wu, Y. (2013) Assessing the Soil Quality of Alpine Grasslands in the Qinghai-Tibetan Plateau Using a Modified Soil Quality Index. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 8011-8022.

Liang, Z., He, Z., Powell, C. A., & Stoffella, P. (2011) Survival of Escherichia coli in Soil With Modified Microbial Community Composition. *Soil Biol. Biochem.*, 43, 1591-1599.

Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., Liang, G., Wang, X., Sun, J., & Al, C. (2014a) Soil Quality Assessment of Acid Sulfate Paddy Soils with Different Productivities in Guangdong Province, China. *J. Integ. Agric.*, 13, 177-186.

Liu, Z., Zhou, W., Shen, J., Li, S., He, P., & Liang, G. (2014b) Soil Quality Assessment of Albic Soils With Different Productivities for Eastern China. *Soil Till. Res.*, 140, 74-81.

Liu, X., Liang L.Q., Jiang Young, W. (2008) Distribution of Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Along Latitudinal Gradient in Farmlands of Songliao Plain, Northeast China. *Pedosphere*, 18, 4, 431-40.

Lu, D., Moran E., & Mausel P. (2002) Linking Amazonian Secondary Succession Forest Growth to Soil Properties. *Land Degradation and Development*, 13, 331-343.

LUCAS (Land Use και Cover Area frame Statistical survey) Dataset (2015). European Soil Data Centre (ESDAC), Joint Research Centre, European Commission. Topsoil physical properties at European scale (using LUCAS topsoil) <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/topsoil-physical-properties-european-scale-using-lucas-topsoil> (Πρόσβαση: 20.11.2015)

- Lucas, S.T., & Weil, R.R. (2012) Can a Labile Carbon Test be Used to Predict Crop Responses to Improve Soil Organic Matter Management?. *Agronomy Journal*, 104, 1160-1170.
- Luo, X.S., Yu, S., Zhu, Y.G., & Li, X.D. (2012) Trace Metal Contamination in Urban Soils of China. *Sci. Total Environ.*, 421, 17-30.
- Magdoff, F., & Weil, R. (2004) Soil Organic Matter Management Strategies. In: Magdoff F, Weil, R, editor. *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, FL: CRC Press LLC; 59-84.
- Makoi, J., & Ndakidemi, P. (2008) Selected Soil Enzymes: Examples of Their Potential Roles in the Ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, 7, 181-91.
- Marriot, E., & Wander, M. (2006) Total and Labile Soil Organic Matter in Organic and Conventional Farming Systems. *Soil Science Society of American Journal*, 70, 950-9.
- Marx, M-C., Kandeler, E., Wood, M., Wermbter, N., & Jarvis, S.C. (2005) Exploring the Enzymatic Landscape: Distribution and Kinetics of Hydrolytic Enzymes in Soil Particle-Size Fractions. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 35-48.
- Marzaioli, R., D'Ascoli, R., De Pascale, R. A., & Rutigliano, F. A. (2010) Soil Quality in a Mediterranean Area of Southern Italy as Related to Different Land Use Types. *Appl. Soil Ecol.*, 44, 205-212.
- Masto, R.E., Ram, L.C., George, J., Selvi, V.A., Sinha, A.K., Verma, S.K., Rout, T.K., Priyadarshini, K. & Prabal, P. (2011) Status of Some Soil Trace Elements and Their Potential Human Health Risks Around a Coal Beneficiation Plant. *Int. J. Coal Prep. Util.*, 31, 61-77.
- Mele, P.M. & Crowley, D.E. (2008) Application of Self-Organizing Maps for Assessing Soil Biological Quality. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 126, 139-152.
- Merrill, S. D., Liebig, M. A., Tanaka, D. L., Krupinsky, J. M., & Hanson, J. D. (2013) Comparison of Soil Quality and Productivity at Two Sites Differing in Profile Structure and Topsoil Properties. *Agr. Ecosist. Environ.*, 179, 53-61.

Montanarella, M., Tóth, G., & Jones, A. (2011) Soil Components in the 2009 LUCAS Survey – in the European Union Land Quality, Land Use Information (Eds.), G. Tóth & T. Németh), Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 209-220.

Moran, E.F., Brondizio, E.S., Tucker, J.M., Da Silva-Forsberg, M.C., McCracken, S., & Falesi, I. (2000). Effects of Soil Fertility and Land Use on Forest Succession in Amazônia. *Forest Ecology and Management*, 139, 93-108.

Murray, H., Pinchin, T. A., & Macfie, S. M. (2011) Compost Application Affects Metal Uptake in Plants Grown in Urban Garden Soils and Potential Human Health Risk. *J. Soils Sediments*, 11, 815-829.

Nadal, M., Schuhmacher, M., and Domingo, J. L. (2001) Long-Term Environmental Monitoring of Persistent Organic Pollutants and Metals in a Chemical/Petrochemical Area: Human Health Risks. *Environ. Pollut.*, 159, 1769-1777.

Nakatsu, C., Baldwin C.N., Beasley, B., Kourtev, F., & Konopka A. (2005) Soil Microbial Community Responses to Additions of Organic Carbon Substrates and Heavy Metals (Pb and Cr). *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 7679-89.

Nielsen M, & Winding, A. (2001) Microorganisms as Indicators of Soil Health. Denmark: National Environmental Research Institute.

Ohio Agronomy Guide (2005) 14th edition, Bulletin 472: Ohio State University Extension, 8.

Oliver, D.P., R.G.V. Bramley, D. Riches, I. Porter, & Edwards, J. (2013) Soil Physical and Chemical Properties as Indicators of Soil Quality in Australian Viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19, 129-139.

Pang, X. Y., Bao, W. K., & Zhang, Y. M. (2006) Evaluation of Soil Fertility Under Different Cupressus chengiana Forests Using Multivariate Approach. *Pedosphere*, 16, 602-615.

- Panwar, P., Pal, S., Reza, S. K., & Sharma, B. (2011) Soil Fertility Index, Soil Evaluation Factor, and Microbial Indices under Different Land Uses in Acidic Soil of Humid Subtropical India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 22, 2724-2737.
- Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S., & Meyer, R. E. (1992) Soil Quality: Attributes and Relationship to Alternative and Sustainable Agriculture. *Am. J. Alternative Agr.*, 7, 5-11.
- Pelfrêne, A., Douay, F., Richard, A., Roussel, H., & Girondelot, B. (2013) Assessment of Potential Health Risk for Inhabitants Living Near a Former Lead Smelter. Part 2: Site-Specific Human Health Risk Assessment of Cd and Pb Contamination in Kitchen Gardens. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 2999-3012.
- Pelfrêne, A., Waterlot, C., & Douay, F. (2011) In vitro Digestion and DGT Techniques for Estimating Cadmium and Lead Bioavailability in Contaminated Soils: Influence of Gastric Juice pH. *Sci. Total Environ.*, 409, 5076–5085.
- Poggio, L., Vrščaj, B., Hepperle, E., Schulin, R., & Marsan, F. A. (2008) Introducing a Method of Human Health Risk Evaluation for Planning and Soil Quality Management of Heavy Metal-Polluted Soils - An Example From Grugliasco (Italy). *Landscape Urban Plan.*, 88, 64-72.
- Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., Szlavecz, K., Csuzdi, C., Hornung, E., & Korsos, Z. (2008) Response of Forest Soil Properties to Urbanization Gradients in Three Metropolitan Areas. *Landscape Ecol.*, 23, 1187-1203.
- Preger, A., Rillig, M., Johns, A., Du Preez, C., Lobe, I., & Amelung, W. (2007) Losses of Glomalin-Related Soil Protein Under Prolonged Arable Cropping: A Chronosequence Study in Sandy Soils of the South African Highveld. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2, 445-53.
- Qi, Y. B., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y. C., Sun, W. X., & Gu, Z. Q. (2009) Evaluating Soil Quality Indices in an Agricultural Region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149, 325-334.
- Qin, H., Zhu, J., Liang, L., Wang, M., & Su, H. (2013) The Bioavailability of Selenium and Risk Assessment for Human Selenium Poisoning in High-Se Areas, China. *Environ. Int.*, 52, 66-74.



- Qin, M. Z. & Zhao, J. (2000) Strategies for Sustainable Use and Characteristics of Soil Quality Changes in Urban-Rural Marginal Area: a Case Study of Kaifeng. *Acta Geogr. Sin.*, 55, 545-554.
- Rafiq, M. T., Aziz, R., Yang, X., Xiao, W., Rafiq, M. K., Ali, B., & Li, T. (2014) Cadmium Phytoavailability to Rice (*Oryza sativa* L.) Grown in Representative Chinese Soils. A Model to Improve Soil Environmental Quality Guidelines for Food Safety. *Ecotox. Environ. Safe.*, 103, 101-107.
- Rahmanipour, F., Marzaiolib, F., Bahramia, H. A., Fereidounia, Z., & Bandarabadi, S. R. (2014) Assessment of Soil Quality Indices in Agricultural Lands of Qazvin Province, Iran. *Ecol. Ind.*, 40, 19-26.
- Reeves, D. W. (1997) The role of Organic Matter in Maintaining Soil Quality in Continuous Cropping Systems. *Soil Till. Res.*, 43, 131-167.
- Rillig, M.C. (2004) Arbuscular Mycorrhizae, Glomalin, and Soil Aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84, 355-63.
- Rodrigues, S. M., Cruz, N., Coelho, C., Henriques, B., Carvalho, L., Duarte, A. C., Pereira, E., & Römken, A. M. (2013) Risk Assessment for Cd, Cu, Pb and Zn in Urban Soils: Chemical Availability as the Central Concept. *Environ. Pollut.*, 183, 234-243.
- Rodríguez, M. D. F. & Lafarga, J. C. T. (2011) Soil Quality Criteria for Environmental Pollutants. *Encyclopedia of Environmental Health*, edited by: Nriagu, J. O., Elsevier, 124-142.
- Rodrigues, S., Urquhart, G., Hossack, I.; Pereira, M. E., Duarte, A. C., & Davidson, C. (2009) The Influence of Anthropogenic and Natural Geochemical Factors on Urban Soil Quality Variability: a Comparison Between Glasgow, UK and Aveiro, Portugal. *Environ. Chem. Lett.*, 27, 141-148.
- Römbke J, Jänsch, S., & Didden, W. The Use of Earthworms in Ecological Soil Classification and Assessment Concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 62, 2, 249-65.
- Rosier C, Hoye, A., & Rillig, M. (2006) Glomalin-Related Soil Protein: Assessment of Current Detection and Quantification Tools. *Soil Biology and Biochemistry*; 38, 8, 2205-11.

Rousseau, L., Fonte, S. J., Téllez, O., Van der Hoek, R., & Lavelle, P. (2013) Soil Macrofauna as Indicators of Soil Quality and Land Use Impacts in Smallholder Agroecosystems of Western Nicaragua. *Ecol. Indic.*, 27, 71-82.

Rowe, E.C., Evans, E.D., Emmett E.B., Reynolds, B., Helliwell, R.C., Coull, M.C., & Curtis, C.J. (2006). Vegetation Type Affects the Relationship Between Soil Carbon to Nitrogen Ratio and Nitrogen Leaching. *Water, Air, and Soil Pollution*, 77, 1, 335-347.

Ruiz, N., Jerome, M., Leonide, C., Christine, R., Gerard, H., Etienne, I., & Lavelle, P. (2011) IBQS: A Synthetic Index of Soil Quality Based on Soil Macro-Invertebrate Communities. *Soil Biol. Biochem.*, 43, 2032–2045.

Santorufu, L., Van Gestel, C. A. M., & Maisto, G. (2012a) Ecotoxicological Assessment of Metal-Polluted Urban Soils Using Bioassays with Three Soil Invertebrates. *Chemosphere*, 88, 418-425.

Santorufu, L., Van Gestel, C. A. M., Rocco, A., & Maisto, G. (2012b) Soil Invertebrates as Bioindicators of Urban Soil Quality. *Environ. Pollut.*, 161, 57-63.

Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., & Riffaldi, R. (2001) A Comparison of Soil Quality in Adjacent Cultivated, Forest and Native Grassland Soils. *Plant and Soil*, 233, 251-9.

Scherwinski KG, & R. Berg, G. (2007) Root Application of Bacterial Antagonists to Field-Grown Lettuce: Effects on Non-Target Microorganisms and Disease Suppression. *IOBC/WPRS Bulletin*, 30, 6, 257-9.

Schindler, P.W. (1981). Surface Complexes at Oxide-Water Interfaces. *Adsorption of Inorganics at Solid-Liquid Interfaces* (M.A. Anderson and A.J. Rubin, eds.), 1-49. Ann Arbor Sci., Ann Arbor, MI.

Schmidt, S.K. & Lipson, D.A. (2004) Microbial Growth Under the Snow: Implications for Nutrient Allelochemical Availability in Temperate Soils. *Plant and Soil*, 259, 1-7.

Semmel, A., & Terhorst, B. (2010) The concept of the Pleistocene Periglacial Cover Beds in Central Europe: a Review. *Quaternary International*, 222,1, 120-128.

Sepehrnia, N., Mahboubi, A. A., Mosaddeghi, M. R., Safari Sinejani, A. A., & Khodakaramian, G. (2014) Escherichia coli Transport Through Intact Gypsiferous and Calcareous Soils During Saturated and Unsaturated Flows. *Geoderma*, 217-218, 83-89.

Sinogaa, J.D.R., Pariente, S., Diaz, A.R., & Murillo, J.F.M. (2012). Variability of Relationships Between Soil Organic Carbon and Some Soil Properties in Mediterranean Rangelands Under Different Climatic Conditions (South of Spain). *CATENA*, 94, 17-25.

Singh, A. K., Bordoloi, L. J., Kumar, M., Hazarika, S., & Parmar, B. (2014) Land Use Impact on Soil Quality in Eastern Himalayan Region of India. *Environ. Monit. Assess.*, 186, 2013-2024.

Sjöström, A. E., Collins, C. D., Smith, S. R., & Shaw, G. (2008) Degradation and Plant Uptake of Nonylphenol (NP) and Nonylphenol- 12-ethoxylate (NP12EO) in Four Contrasting Agricultural Soils. *Environ. Pollut.*, 156, 1284-1289.

Slaton, N.A., R.J. Norman, & Gilmour, J.T. (2001). Oxidation Rates of Commercial Elemental Sulfur Products to an Alkaline Silt Loam from Arkansas. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 239-243.

Smith, J.L. & Doran, J.W. (1996) Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America Special Publication 49, 169-185.

Snyder, B., & Hendrix, P. (2008) Current and Potential Roles of Soil Macroinvertebrates (Earthworms, Millipedes, and Isopods). *Restoration Ecology*, 16, 629-36.

Sparks, D.L. (2003) Environmental Soil Chemistry. An imprint of *Elsevier Science* 525 B Street, Suite 1900, San Diego, California 92101-4495, USA

Suman A. M.L., Singh, A., & Gaur, A. (2006) Microbial Biomass Turnover in India Subtropical Soil Under Different Sugarcane Intercropping Systems. *Agronomy Journal*, 98, :698-704.

Sun, D. S., Wesche, K., Chen, D. D., Zhang, S. H., Wu, G. L., Du, G. Z., et al. (2011). Grazing Depresses Soil Carbon Storage Through Changing Plant Biomass and Composition in a Tibetan Alpine Meadow. *Plant Soil Environment*, 57, 271-278.

Sundara, B., & Hari, V. (2002) Influence of Phosphorus Solubilizing Bacteria on the Changes in Soil Available Phosphorus and Sugar Cane and Sugar Yields. *Crops Research.*, 77, 43-9.

Szolnoki, Z., Farsang, A., & Puskás, I. (2013) Cumulative Impacts of Human Activities on Urban Garden Soils: Origin and Accumulation of Metals. *Environ. Pollut.*, 177, 106-115.

Tate, R.L. (2002) Microbiology and Enzymology of Carbon and Nitrogen Cycling. In: Burns RG, Dick, R. P., editor. *Enzymes in the Environment: Activity, Ecology and Applications.*, New York: Marcel Dekker, 227-48.

Tejada, M. (2006) Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties. *Journal of Environmental Qualit.*, 35, 1010-7.

Thuithaisong, C., Parkpian, P., Shipin, O. V., Shrestha, R. P., Naklang, K., Delaune, R. D., & Jugsujinda, A., (2011) Soil-Quality Indicators for Predicting Sustainable Organic Rice Production, Communications. *Soil Science and Plant Analysis*, 42, 548-568.

Tian, H., Chen, G., Zhang, C., Melillo, J.M., & Hall C.A.S., (2010) Pattern and Variation of C:N:P Ratios in China's Soils: a Synthesis of Observational Data. *Biogeochemistry*, 98, 139-151.

Tóth, G., Jones, A., & Montanarella, L., (2013) The LUCAS Topsoil Database and Derived Information on the Regional Variability of Cropland Topsoil Properties in the European Union. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 9, 7409-7425.

Turner, B., & Haygarth, P. (2005) Phosphatase Activity in Temperate Pasture Soils: Potential Regulation of Labile Organic Phosphorous Turnover by Phosphodiesterase Activity. *Science of the Total Environment*, 344, 37-6.

USDA (United States Department of Agriculture), Natural Resources Conservation Service. (2015) <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/health/assessment/?cid=stelprdb1237387> (Πρόσβαση: 25.11.2015)

van Genuchten, M. Th. (1980). A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil. Sci. Am. Soc. J.*, 44, 892-898.

Veum, K. S., Goyne, K. W., Kremer, R., Miles, R. J., & Sudduth, K. A.: Biological Indicators of Soil Quality and Soil Organic Matter Characteristics in an Agricultural Management Continuum. *Biogeochemistry*, 117, 81-99.

Voidarou, C., Bezirtzoglou, E., Alexopoulos, A., Plessas, S., Stefanis, C., Papadopoulos, I., Vavias, S., Stavropoulou, E., Fotoua, K., Tzora, A., & Skoufos, I. (2011) Occurrence of *Clostridium Perfringens* from Different Cultivated Soils. *Anaerobe*, 17, 320-324.

Wang, Q., Zhou, D., Cang, L., Li, L., & Zhu, H. (2009) Indication of Soil Heavy Metal Pollution With Earthworms and Soil Microbial Biomass Carbon in the Vicinity of an Abandoned Copper Mine in Eastern Nanjing, China. *European Journal of Soil Biology*, 45, 3, 229-34.

Wenrui, Y., Rusong, W., Chuanbin, Z., & Feng, C. (2009) Distribution and Health Risk Assessment of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Industrial Site Soils: A Case Study of Urban Renewal in Beijing, China. *J. Environ. Sci.*, 21, 366-372.

Wright, S.F., Green, V.S., & Cavigelli, M.A. (2008). Glomalin in Aggregate Size Classes From Three Different Farming Systems. *Soil and Tillage Research*, 94, 546-9.

Yang, Y.Z., Liu, S., Zheng, D., & Feng, S. (2006) Effects of Cadmium, Zinc and Lead on Soil Enzyme Activities. *Journal of environmental Science*, 18, 6, 1135-41.

Yuanyuan, Li., Shikui, D., Lu, W., Xuexia, W., & Yu, W. (2013) Assessing the Soil Quality of Alpine Grasslands in the Qinghai-Tibetan Plateau Using a Modified Soil Quality Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 8011-8022.

Zhaoa, L., Suna, Y., Zhangb, X., Yangc, X., & Drury, C.F. (2006). Soil Organic Carbon in Clay and Silt Sized Particles in Chinese Mollisols: Relationship to the Predicted Capacity. *Geoderma*, 132, 3-4, 315-323.

Zhao, H., Xia, B., Fan, C., Zhao, P., & Shen, S. (2012) Human Health Risk From Soil Heavy Metal Contamination Under Different Land Uses Near Dabaoshan Mine, Southern China. *Sci. Total Environ.*, 417-418, 45-54.

Zimmer, M. & Topp, W. (2002) The Role of Coprophagy in Nutrient Release From Feces of Phytophagous Insects. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1093-1099.

Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz A. (2015) Identification of Sensitive Indicators to Assess the Interrelationship Between Soil Quality, Management Practices and Human Health. *SOIL*, 1, 173–185.

Zornoza, R., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Scow, K. M., Arcenegui, V., & Mataix-Beneyto, J. (2009) Changes in Soil Microbial Community Structure Following the Abandonment of Agricultural Terraces in Mountainous Areas of Eastern Spain. *Appl. Soil Ecol.*, 42, 315-323.

Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mataix-Beneyto, J., & Gómez, I. (2008) Validating the Effectiveness and Sensitivity of Two Soil Quality Indices Based on Natural Forest Soils Under Mediterranean Conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 40, 2079-2087.

Zornoza, R., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Mayoral, A. M., Morales, J., & Mataix-Beneyto, J. (2007) Soil Properties Under Natural Forest in the Alicante Province of Spain. *Geoderma*, 142, 334-341.

## Παράρτημα 1

POINT_ID	LAT	LONG	coarse	clay	silt	sand	pH_in_H2O	pH_in_CaCl2	OC	CaCO3	N	P	K	CEC
51981896	39,6259	20,1918	44	34	37	29	7,67	7,30	68,00	257,00	5,30	33,30	796,20	47,80
52081884	39,5061	20,2897	49	19	24	57	7,76	7,32	46,90	197,00	3,30	0,00	248,00	27,50
52081888	39,5419	20,2954	46	38	22	40	6,41	5,77	38,00	1,00	3,00	35,10	185,80	26,40
52121868	39,3577	20,3130	28	47	34	19	7,36	6,95	75,50	21,00	4,70	12,40	709,20	39,60
52141926	39,8751	20,4192	4	21	48	31	7,19	6,79	19,20	13,00	2,00	0,00	124,90	20,10
52181902	39,6551	20,4305	41	32	45	23	7,21	6,70	61,80	5,00	3,70	0,00	277,70	50,00
52321918	39,7809	20,6152	1	28	59	13	7,77	7,01	23,00	1,00	2,20	48,60	156,70	32,20
52381876	39,3971	20,6225	36	39	31	30	7,49	6,96	54,10	77,00	3,60	0,00	276,80	33,70
52421918	39,7680	20,7301	20	34	59	6	8,15	7,44	23,50	123,00	2,60	76,50	440,10	45,70
52441906	39,6583	20,7357	37	29	35	36	6,20	5,68	73,80	0,00	5,20	38,20	241,20	31,40
52481878	39,4021	20,7401	34	30	52	19	7,16	6,63	97,40	5,00	6,80	16,70	403,80	55,60
52521852	39,1644	20,7474	28	25	36	39	7,13	6,56	29,00	0,00	3,10	27,40	281,10	28,90
52401956	40,1110	20,7646	20	19	43	38	6,56	5,81	17,40	1,00	1,40	0,00	127,50	20,40
52561900	39,5891	20,8647	15	35	37	28	6,36	5,50	16,60	1,00	1,50	67,60	226,30	19,00
52601886	39,4586	20,8896	22	31	49	20	6,98	6,51	26,80	3,00	2,60	0,00	353,50	33,30
52641864	39,2564	20,9025	27	28	56	16	6,63	6,19	103,70	1,00	6,90	27,60	954,20	54,20
52601900	39,5840	20,9107	19	25	57	18	6,08	5,70	94,70	3,00	9,10	65,50	705,70	32,70
52681846	39,0901	20,9212	12	12	54	34	7,25	6,76	28,80	2,00	2,80	94,60	620,30	20,80
52581926	39,8193	20,9271	21	15	40	45	6,89	5,80	10,50	1,00	0,90	0,00	99,00	16,90
52681858	39,1975	20,9392	14	76	13	11	5,50	4,53	3,00	1,00	0,70	15,90	241,80	22,30
52761844	39,0617	21,0096	15	15	63	22	7,89	7,40	16,90	120,00	1,40	11,50	140,70	19,70
52761854	39,1512	21,0245	28	55	19	26	6,38	5,76	40,00	1,00	2,80	62,30	263,70	27,90
52602002	40,4965	21,0677	10	28	60	12	8,09	7,42	13,50	40,00	1,40	0,00	196,10	35,70
52821846	39,0718	21,0809	14	5	38	58	8,05	7,41	7,10	15,00	0,50	0,00	153,10	15,40
52861818	38,8157	21,0842	27	39	42	18	7,64	7,08	25,10	16,00	2,30	15,10	323,40	29,20
52741922	39,7626	21,1053	32	31	43	25	8,08	7,35	22,90	256,00	1,80	0,00	173,20	27,50

52661994	40,4171	21,1246	22	21	51	27	8,32	7,47	11,10	78,00	1,00	0,00	126,50	26,20
52921814	38,7719	21,1463	27	51	23	25	6,37	5,56	12,10	1,00	1,10	23,90	193,50	22,50
52701978	40,2687	21,1463	17	6	26	68	6,79	6,03	8,30	2,00	0,80	0,00	39,00	7,30
53001774	38,4030	21,1767	6	27	68	4	8,16	7,46	17,10	160,00	1,10	39,00	316,10	21,00
52702004	40,5012	21,1875	12	18	44	38	5,43	4,24	10,10	0,00	1,00	27,80	63,50	7,90
52702012	40,5727	21,2001	22	11	27	62	6,23	5,21	13,40	0,00	1,10	0,00	48,30	7,50
53001792	38,5643	21,2038	11	24	62	15	6,48	5,74	15,20	1,00	1,30	29,10	167,20	13,30
52921868	39,2554	21,2286	2	53	40	7	6,70	6,25	52,40	1,00	2,90	50,50	180,90	22,20
52761992	40,3859	21,2382	10	9	16	75	7,01	5,91	5,80	0,00	0,50	0,00	88,30	10,40
52981830	38,9073	21,2387	5	14	50	35	8,23	7,43	7,90	93,00	0,70	0,00	173,30	25,70
53141720	37,9004	21,2535	16	20	44	35	7,84	7,29	12,80	115,00	1,30	17,50	147,30	19,60
52781994	40,4011	21,2646	12	36	41	22	7,73	7,04	11,00	8,00	1,20	21,50	184,80	32,20
52901908	39,6160	21,2677	12	9	17	74	7,85	7,29	18,50	162,00	2,20	19,70	135,10	16,40
52941880	39,3602	21,2700	38	5	11	83	6,45	5,80	37,70	1,00	2,50	0,00	229,10	24,40
52821972	40,1991	21,2761	10	11	29	59	7,85	7,09	6,10	22,00	0,50	0,00	78,30	14,60
52821984	40,3063	21,2951	12	15	29	56	7,82	7,16	10,60	10,00	1,10	0,00	124,80	17,60
52821998	40,4314	21,3176	2	30	31	40	6,43	5,66	13,60	1,00	1,30	24,40	135,80	13,50
53081808	38,6969	21,3187	12	18	38	44	6,93	6,25	22,90	1,00	1,70	0,00	212,70	18,60
52901944	39,9380	21,3243	22	18	31	50	8,22	7,46	9,40	54,00	0,70	0,00	113,70	50,80
52881960	40,0837	21,3265	19	23	43	35	8,11	7,50	13,10	196,00	1,00	0,00	129,40	33,90
53101804	38,6584	21,3352	10	7	27	66	8,16	7,42	7,40	276,00	0,70	0,00	48,10	11,00
52861980	40,2652	21,3352	7	13	57	30	8,35	7,55	9,70	259,00	0,50	0,00	115,90	23,00
53201730	37,9821	21,3358	7	10	16	73	6,12	5,18	4,90	1,00	0,50	68,30	174,30	5,20
53021868	39,2421	21,3429	4	17	42	41	7,67	7,06	13,80	7,00	1,00	0,00	99,80	24,80
53261700	37,7052	21,3587	7	26	59	15	7,98	7,35	16,50	133,00	1,80	0,00	156,50	24,30
53241716	37,8512	21,3596	6	12	35	53	5,50	4,97	19,90	1,00	1,70	76,90	302,50	7,40
52901970	40,1704	21,3656	23	15	23	63	7,26	6,61	19,10	1,00	1,10	0,00	146,40	23,10
52921964	40,1141	21,3792	14	18	31	51	8,27	7,50	10,60	429,00	0,70	0,00	112,60	31,40



53261722	37,9023	21,3910	23	16	31	54	8,02	7,37	10,40	165,00	0,80	16,50	106,60	14,30
52822044	40,8424	21,3919	22	7	27	66	5,42	4,28	7,30	0,00	0,80	52,40	71,10	5,20
53161798	38,5972	21,3944	16	24	42	34	8,17	7,40	6,70	3,00	0,60	0,00	98,60	22,50
52901992	40,3671	21,4009	23	10	26	65	7,72	7,04	5,90	2,00	0,70	12,60	37,60	10,90
53261740	38,0636	21,4182	11	20	43	38	7,77	7,26	10,80	33,00	1,20	73,60	340,40	18,50
52842048	40,8753	21,4210	14	19	40	41	6,29	5,34	11,80	0,00	1,10	28,80	103,70	10,90
53321702	37,7149	21,4280	8	24	46	30	8,02	7,45	18,90	233,00	2,10	0,00	202,00	23,10
52941980	40,2544	21,4281	30	22	36	42	7,93	7,24	11,50	20,00	1,00	15,70	125,30	27,70
53301722	37,8969	21,4358	30	28	44	28	7,92	7,37	20,00	54,00	1,90	15,00	292,80	25,90
52961976	40,2159	21,4448	26	6	11	84	6,57	5,68	11,10	1,00	1,00	14,50	128,10	34,60
53281750	38,1505	21,4559	6	8	21	71	5,63	4,84	8,20	0,00	0,70	18,40	55,10	6,60
52882044	40,8342	21,4622	28	45	31	23	5,66	4,67	13,40	2,00	1,20	0,00	214,70	35,20
53381694	37,6351	21,4830	12	14	44	42	7,99	7,29	27,60	146,00	2,50	26,10	127,90	21,90
53001972	40,1747	21,4847	18	15	58	28	5,70	4,62	13,60	0,00	1,00	24,30	184,20	19,60
53041944	39,9190	21,4859	19	18	40	42	6,29	5,29	16,10	2,00	0,70	0,00	67,00	14,10
52942016	40,5760	21,4865	13	7	32	61	5,41	4,73	9,00	1,00	0,70	0,00	58,90	8,60
53241802	38,6216	21,4907	23	12	23	65	6,28	5,78	40,20	1,00	2,70	40,00	145,90	14,70
53281774	38,3654	21,4926	8	50	42	8	8,17	7,60	26,80	21,00	3,00	29,50	339,20	49,20
53081920	39,6990	21,4936	18	17	40	43	5,55	4,60	22,30	1,00	1,50	0,00	220,60	17,60
53361720	37,8708	21,5000	16	17	59	24	7,95	7,38	19,40	95,00	1,90	0,00	193,80	20,20
53381706	37,7426	21,5011	11	12	32	56	7,22	6,78	11,10	1,00	1,00	0,00	64,50	13,30
53261800	38,6009	21,5103	34	6	15	79	7,58	7,10	27,30	319,00	2,10	11,90	130,70	13,30
53021976	40,2078	21,5144	26	43	46	11	8,06	7,45	14,50	81,00	1,50	0,00	388,80	39,30
53301776	38,3806	21,5182	7	14	29	57	7,99	7,32	8,10	126,00	1,20	0,00	199,60	19,40
53421690	37,5944	21,5220	7	7	8	85	8,36	7,51	2,80	381,00	0,40	0,00	34,80	7,60
52982010	40,5169	21,5232	14	7	31	62	6,45	5,60	13,70	1,00	1,20	0,00	74,50	7,30
53081944	39,9136	21,5320	14	39	26	34	7,33	6,73	9,80	3,00	0,80	15,60	173,10	46,20
52942046	40,8438	21,5357	18	17	30	53	5,33	4,52	12,50	1,00	1,10	0,00	108,70	12,90

53002008	40,4963	21,5432	12	11	29	60	5,13	4,13	7,00	0,00	0,80	24,50	17,70	6,40
53421708	37,7551	21,5488	20	23	55	22	7,90	7,34	44,30	197,00	2,00	14,50	372,40	26,90
53081962	40,0744	21,5611	17	16	50	34	7,27	6,65	25,40	1,00	1,60	0,00	279,50	56,20
53022012	40,5288	21,5731	4	16	50	34	7,64	6,90	10,90	2,00	0,90	21,00	85,30	16,40
53241856	39,1048	21,5752	26	26	50	24	6,47	5,83	51,20	2,00	4,10	0,00	191,50	28,80
53042008	40,4908	21,5898	20	4	13	83	6,28	5,41	7,70	0,00	0,80	0,00	18,50	5,60
53401750	38,1341	21,5908	19	37	41	22	8,21	7,48	9,90	9,00	0,70	0,00	220,70	29,00
53481692	37,6035	21,5915	14	10	13	76	7,69	7,13	19,40	117,00	1,30	0,00	130,50	19,40
53002044	40,8177	21,6026	13	17	28	55	8,16	7,37	2,30	6,00	0,20	0,00	164,00	17,60
53141948	39,9411	21,6078	16	12	27	61	6,29	5,70	15,20	2,00	1,00	23,20	328,00	52,30
53561644	37,1622	21,6079	16	22	38	40	7,04	6,33	16,80	0,00	1,50	24,10	241,90	10,70
53161934	39,8132	21,6082	19	28	38	34	7,19	6,10	7,90	0,00	0,80	0,00	176,10	27,90
53581638	37,1057	21,6210	29	44	39	17	7,64	7,05	40,50	0,00	3,00	0,00	635,90	31,60
53042028	40,6694	21,6228	15	18	34	49	8,26	7,59	9,20	97,00	1,10	0,00	141,90	18,80
53062014	40,5416	21,6230	19	19	43	38	7,23	6,49	9,60	2,00	0,90	0,00	98,10	24,50
53141958	40,0300	21,6244	12	23	53	24	8,13	7,46	15,50	238,00	1,30	0,00	229,70	26,10
53481718	37,8365	21,6312	34	32	29	40	7,43	6,92	47,50	2,00	3,70	0,00	391,20	32,80
53042044	40,8122	21,6494	19	16	30	54	7,70	7,29	49,80	426,00	4,50	35,60	252,50	29,00
53621638	37,1002	21,6653	12	23	28	50	6,11	5,00	13,50	0,00	0,90	26,10	152,60	9,90
53121998	40,3904	21,6664	12	18	35	48	6,66	6,12	24,50	3,00	2,10	0,00	181,40	13,70
53141984	40,2627	21,6665	19	28	38	34	8,00	7,31	15,60	86,00	1,50	0,00	168,40	33,60
53341844	38,9837	21,6700	11	9	23	68	5,99	5,12	7,90	1,00	0,60	0,00	97,90	15,50
53201946	39,9149	21,6738	21	17	52	31	7,83	7,48	27,10	79,00	2,00	0,00	593,90	46,80
53581674	37,4284	21,6755	20	24	50	26	7,97	7,38	23,70	386,00	2,20	0,00	181,80	23,40
53221936	39,8228	21,6805	12	7	24	69	6,12	5,59	15,60	1,00	1,50	10,30	152,40	4,10
53521726	37,9027	21,6883	23	25	59	16	8,36	7,58	9,20	98,00	1,00	0,00	108,30	24,20
53621656	37,2616	21,6925	12	26	25	49	6,60	5,74	31,40	2,00	2,60	62,30	254,60	15,80
53201958	40,0221	21,6934	24	29	32	39	7,32	6,73	36,60	2,00	2,00	0,00	168,50	46,90

53601672	37,4076	21,6944	14	25	56	18	8,03	7,33	12,00	412,00	1,00	0,00	44,70	21,00
53161988	40,2956	21,6963	29	18	24	58	7,49	6,90	15,20	1,00	1,50	0,00	91,30	14,80
53501750	38,1204	21,7031	21	22	59	19	8,01	7,35	17,40	192,00	1,30	0,00	165,00	24,10
53201968	40,1114	21,7098	23	41	36	23	7,13	6,59	38,30	1,00	2,20	18,50	162,40	35,70
53501756	38,1741	21,7125	37	28	37	35	7,91	7,39	28,50	127,00	3,10	43,80	823,20	28,60
53401828	38,8323	21,7128	36	16	31	54	6,46	5,79	43,10	2,00	1,40	0,00	202,10	13,90
53381850	39,0318	21,7251	26	30	37	33	7,46	7,13	50,80	70,00	4,30	115,80	284,30	36,40
53122034	40,7118	21,7262	9	11	14	76	8,27	7,62	4,60	280,00	0,70	20,50	248,50	12,20
53241950	39,9451	21,7264	26	25	46	29	7,78	7,16	16,70	4,00	1,30	59,90	309,30	23,40
53321894	39,4335	21,7273	20	20	47	33	7,01	6,66	12,90	1,00	1,30	23,90	172,80	14,90
53701628	36,9995	21,7387	23	39	37	24	7,87	7,30	25,40	175,00	2,50	30,70	337,80	31,10
53162014	40,5277	21,7395	16	34	52	14	8,21	7,53	11,40	67,00	1,10	0,00	306,20	38,50
53301920	39,6687	21,7465	19	15	29	56	8,30	7,51	5,00	342,00	1,00	10,60	165,40	29,90
53162024	40,6170	21,7562	15	21	40	39	8,09	7,36	13,60	21,00	1,30	21,20	300,50	23,30
53202000	40,3972	21,7627	24	21	49	30	8,07	7,42	32,50	299,00	2,10	51,10	205,80	32,70
53621704	37,6917	21,7661	31	11	32	57	7,11	6,45	13,80	3,00	0,50	0,00	81,10	8,10
53381878	39,2822	21,7701	19	27	52	21	6,03	5,07	8,70	1,00	1,00	0,00	157,90	22,30
53261970	40,1209	21,7825	6	33	43	24	7,68	7,04	25,90	5,00	2,20	0,00	405,30	60,00
53621718	37,8172	21,7886	14	14	27	59	7,32	6,63	11,50	1,00	0,70	0,00	156,70	21,00
53661692	37,5787	21,7922	40	18	70	12	7,92	7,39	20,00	168,00	2,10	0,00	220,50	28,90
53341920	39,6634	21,7928	6	29	35	36	6,75	6,25	11,50	0,00	1,00	0,00	70,70	10,90
53621722	37,8529	21,7941	10	35	48	17	7,27	6,85	80,00	7,00	5,50	0,00	646,40	53,30
53321936	39,8088	21,7957	19	12	31	57	8,09	7,45	9,00	111,00	0,90	33,30	143,30	14,30
53661700	37,6503	21,8045	17	33	49	18	5,80	4,95	25,50	1,00	2,10	0,00	563,30	14,90
53601748	38,0885	21,8123	35	36	32	32	7,72	7,11	30,70	21,00	3,00	41,90	263,00	36,40
53401890	39,3867	21,8127	27	26	27	47	7,45	7,05	32,20	13,00	3,20	58,90	680,90	35,60
53741658	37,2628	21,8287	16	32	44	24	7,95	7,14	8,40	9,00	1,00	0,00	147,90	27,50
53421888	39,3659	21,8320	14	19	57	24	6,87	5,98	9,20	3,00	1,00	15,40	132,30	22,00

53701690	37,5551	21,8337	12	8	26	66	8,09	7,40	11,00	193,00	0,80	19,90	132,10	14,50
53301974	40,1512	21,8351	5	38	50	12	7,92	7,37	10,50	390,00	1,20	11,80	270,80	31,80
53421892	39,4017	21,8386	18	30	49	20	6,55	6,08	10,30	2,00	1,10	51,50	212,70	28,50
53821616	36,8752	21,8530	19	9	16	75	6,80	5,90	18,10	0,00	0,80	0,00	160,90	7,70
53801632	37,0214	21,8553	16	27	23	49	5,77	4,89	17,40	2,00	1,50	89,00	201,00	13,90
53301992	40,3117	21,8654	33	42	39	19	8,22	7,42	16,70	262,00	1,60	0,00	214,20	37,60
53421910	39,5625	21,8680	14	28	30	41	8,27	7,52	10,70	2,00	0,80	33,20	234,20	24,70
53861610	36,8158	21,8880	23	29	25	46	6,99	6,38	21,60	2,00	2,10	15,60	332,10	29,00
53821642	37,1083	21,8928	14	22	38	40	8,09	7,43	11,90	117,00	1,10	29,90	178,60	19,70
53361972	40,1247	21,9015	33	7	28	65	6,96	6,42	19,60	1,00	1,80	0,00	77,90	13,10
53741706	37,6928	21,9032	24	14	21	65	8,24	7,36	14,60	58,00	1,20	0,00	110,20	20,20
53341988	40,2703	21,9052	15	26	35	39	7,91	7,29	26,30	65,00	2,50	0,00	315,50	46,50
53481902	39,4826	21,9237	11	26	59	15	8,09	7,54	13,10	12,00	1,40	30,20	304,70	31,60
53342000	40,3774	21,9254	6	30	63	7	8,26	7,56	19,40	73,00	1,50	0,00	482,20	35,00
53421960	40,0090	21,9508	25	7	29	64	6,73	6,22	14,00	1,00	0,70	40,60	105,60	10,70
53741742	38,0151	21,9599	36	58	18	24	7,57	6,87	7,40	1,00	0,80	0,00	199,90	23,50
53741748	38,0688	21,9694	20	29	39	31	7,89	7,28	20,40	93,00	2,10	0,00	217,40	26,90
53302064	40,9541	21,9877	14	3	23	73	7,77	7,05	6,80	2,00	0,60	10,90	0,00	5,40
53921640	37,0762	22,0004	20	9	40	51	6,66	5,70	13,80	0,00	1,30	0,00	30,40	8,70
53541918	39,6170	22,0189	16	11	38	51	7,38	6,65	6,20	1,00	0,50	28,00	55,70	10,60
53521934	39,7627	22,0226	26	9	21	70	5,88	4,84	8,60	0,00	0,80	0,00	88,50	7,40
53621866	39,1411	22,0245	6	12	34	54	8,31	7,46	4,70	29,00	0,70	0,00	161,00	24,00
53921658	37,2375	22,0284	16	13	18	69	6,70	5,76	12,60	0,00	1,10	0,00	154,70	8,90
53461984	40,2176	22,0375	24	12	15	73	6,43	5,44	8,00	0,00	0,80	12,80	41,20	11,80
53441998	40,3453	22,0381	7	28	44	28	7,76	7,24	21,10	10,00	2,00	69,20	417,10	28,20
53501958	39,9798	22,0398	11	25	35	40	7,38	6,88	30,80	5,00	2,70	227,30	1417,20	27,60
53481974	40,1255	22,0437	23	19	38	43	7,39	6,92	67,50	3,00	5,10	15,50	270,60	37,40
53601892	39,3762	22,0445	10	26	44	30	7,80	7,01	6,00	0,00	0,70	15,80	171,30	22,30

53461994	40,3068	22,0545	19	10	20	69	7,90	7,26	17,20	3,00	1,40	0,00	83,60	15,20
53701830	38,8079	22,0564	20	6	32	62	6,67	5,83	14,00	2,00	1,00	0,00	141,00	7,90
53641876	39,2275	22,0637	11	14	43	43	7,34	6,73	5,30	2,00	0,70	30,00	119,40	11,00
53561932	39,7391	22,0653	30	11	28	61	6,55	5,78	19,30	2,00	1,40	0,00	147,40	9,10
53442034	40,6664	22,0997	6	52	31	18	7,70	7,00	16,60	4,00	1,60	11,20	471,00	46,20
53741832	38,8200	22,1050	33	20	55	25	7,24	6,59	19,40	4,00	1,90	0,00	225,80	17,40
53721846	38,9480	22,1053	36	20	35	45	8,06	7,36	5,70	41,00	1,10	0,00	114,70	32,20
53621920	39,6234	22,1141	17	24	60	16	6,28	5,43	21,10	1,00	1,60	23,00	87,80	8,00
53402070	40,9932	22,1153	10	5	40	54	8,07	7,48	11,50	143,00	1,10	18,70	50,50	12,00
54001660	37,2440	22,1202	22	15	33	52	6,47	5,71	27,60	1,00	2,00	66,30	178,70	14,70
53601946	39,8583	22,1349	18	11	29	61	7,01	6,26	10,10	2,00	0,70	0,00	84,70	8,70
53701884	39,2904	22,1455	11	16	41	43	6,90	5,90	7,00	2,00	0,80	0,00	84,90	10,10
53482034	40,6607	22,1464	11	33	43	23	7,87	7,17	21,90	11,00	2,40	21,90	313,30	31,20
53482046	40,7677	22,1672	14	15	65	19	8,20	7,59	13,10	155,00	1,70	20,80	353,80	25,90
53701902	39,4511	22,1756	12	17	48	35	7,96	7,51	10,30	61,00	1,20	0,00	364,10	27,40
53761864	39,1031	22,1806	41	33	31	35	7,27	6,47	18,80	0,00	1,40	0,00	135,60	32,70
53681918	39,5971	22,1806	19	5	13	82	8,03	7,43	20,60	283,00	1,50	37,90	276,70	21,50
53641948	39,8704	22,1844	28	23	50	28	7,80	7,24	12,10	1,00	1,10	0,00	225,80	22,80
53522032	40,6370	22,1895	9	22	56	22	7,44	6,77	9,20	3,00	1,00	14,50	211,80	28,20
53741886	39,3025	22,1945	12	12	55	33	8,00	6,97	5,70	2,00	0,60	18,40	110,20	11,00
53801848	38,9544	22,1996	27	39	35	26	7,87	7,09	11,40	2,00	1,20	20,20	345,20	36,30
53542026	40,5806	22,2023	19	26	27	46	7,39	6,67	13,00	0,00	1,30	24,50	190,00	24,10
53741892	39,3560	22,2046	25	35	46	18	7,78	7,24	20,00	25,00	2,20	93,70	1452,70	32,30
53881798	38,4960	22,2077	12	18	36	46	8,02	7,13	12,60	9,00	1,40	0,00	126,80	30,80
53641966	40,0310	22,2151	31	15	35	51	6,83	6,08	8,30	0,00	0,70	13,20	111,50	15,90
53781874	39,1895	22,2201	6	37	52	10	8,53	7,58	17,10	278,00	1,50	0,00	275,00	40,30
54121644	37,0835	22,2279	29	10	31	59	7,03	5,98	5,70	0,00	0,70	0,00	0,00	3,80
54061686	37,4682	22,2281	24	27	64	9	7,82	7,12	65,30	9,00	4,90	16,50	454,20	50,30

53781892	39,3502	22,2503	28	39	33	27	7,20	6,54	10,70	0,00	1,00	43,20	305,10	33,40
53981758	38,1239	22,2550	17	32	52	16	7,80	7,26	60,10	31,00	4,20	19,30	709,50	45,70
54101680	37,4087	22,2629	39	13	33	54	7,05	6,45	11,90	2,00	1,10	0,00	175,40	13,30
54121678	37,3879	22,2820	24	20	34	46	7,22	6,66	5,50	0,00	0,80	0,00	21,60	22,20
53761926	39,6567	22,2850	6	8	15	77	8,32	7,52	5,50	93,00	0,40	0,00	110,10	13,70
53901846	38,9220	22,3098	18	36	43	21	7,32	6,80	10,80	0,00	1,20	73,30	398,90	40,40
53781928	39,6716	22,3113	11	18	39	42	7,34	6,80	27,30	3,00	2,50	26,30	250,00	18,00
53981794	38,4457	22,3140	21	19	64	17	7,93	7,26	37,80	39,00	3,60	0,00	214,40	45,20
53861876	39,1957	22,3147	18	35	27	38	6,63	5,72	14,90	3,00	1,50	26,20	138,30	23,10
53801920	39,5973	22,3207	26	38	40	23	8,28	7,65	14,20	99,00	1,10	10,10	260,00	37,50
53801926	39,6508	22,3309	13	22	21	57	7,77	7,19	6,10	2,00	0,60	14,20	135,20	24,10
53901864	39,0828	22,3400	30	43	33	24	7,68	6,71	13,50	1,00	1,20	49,80	349,10	42,80
53961824	38,7167	22,3411	24	34	36	31	7,13	6,61	62,20	4,00	2,70	18,60	542,30	57,40
53721990	40,2334	22,3490	29	36	27	37	7,97	7,38	20,90	133,00	2,40	28,80	272,70	24,10
54141708	37,6534	22,3526	6	30	61	9	8,10	7,45	17,90	111,00	1,70	0,00	269,80	39,60
53662034	40,6344	22,3562	10	51	47	2	8,36	7,67	15,20	105,00	1,60	10,20	445,20	29,40
54201670	37,3047	22,3578	32	6	17	77	6,22	5,17	18,80	0,00	1,50	0,00	27,90	6,00
53881888	39,2999	22,3578	15	29	40	31	7,92	6,97	7,70	2,00	0,80	33,20	155,20	29,10
54141712	37,6892	22,3591	30	37	51	11	7,35	6,83	29,80	3,00	3,00	46,00	516,90	31,60
53901876	39,1899	22,3603	21	22	27	52	7,37	6,76	14,20	3,00	1,50	11,10	123,10	23,90
54241650	37,1198	22,3702	17	46	43	11	7,42	7,01	23,70	6,00	3,00	53,10	709,10	26,10
53861912	39,5171	22,3758	10	43	45	12	8,08	7,36	13,20	22,00	1,10	34,60	455,40	40,00
53662046	40,7414	22,3774	16	46	45	8	7,99	7,46	35,60	124,00	3,40	53,00	543,20	39,80
54321600	36,6604	22,3788	19	42	52	6	7,30	6,81	53,30	8,00	5,00	57,00	382,40	43,80
53881902	39,4249	22,3816	29	38	50	12	8,03	7,45	18,70	303,00	1,50	0,00	311,20	38,80
53702028	40,5751	22,3922	6	22	66	12	8,53	7,77	9,80	120,00	1,00	0,00	176,50	20,80
53702032	40,6107	22,3993	15	12	64	24	8,30	7,57	11,60	111,00	1,30	0,00	221,30	23,00
54281644	37,0602	22,4048	13	15	57	28	7,44	7,02	18,30	87,00	2,20	85,30	115,30	27,90

53861930	39,6777	22,4066	23	43	41	17	7,56	6,85	7,80	2,00	0,80	28,80	356,00	31,80
53921892	39,3298	22,4103	21	25	47	28	8,13	7,51	8,60	39,00	0,90	14,30	267,30	31,50
53981866	39,0888	22,4346	17	20	35	45	7,98	7,28	12,10	13,00	1,40	33,10	310,20	31,30
53722044	40,7147	22,4439	21	21	55	24	8,26	7,56	10,80	60,00	1,30	0,00	336,50	23,10
53961888	39,2882	22,4493	23	23	31	46	8,11	7,57	11,70	125,00	1,30	24,80	202,40	28,40
54201736	37,8950	22,4653	42	33	42	26	7,84	7,22	42,00	147,00	4,10	0,00	508,60	32,80
53802006	40,3642	22,4697	26	25	18	57	7,88	7,10	5,30	3,00	0,70	28,80	146,30	20,20
53961906	39,4488	22,4800	16	39	49	12	7,97	7,46	22,10	189,00	2,10	23,00	1092,20	44,10
53841988	40,1978	22,4844	14	18	62	20	8,05	7,55	27,60	380,00	1,80	25,10	174,80	15,90
54401612	36,7561	22,4859	20	9	72	19	7,10	6,47	14,70	1,00	1,00	0,00	0,00	8,40
54361642	37,0306	22,4900	10	11	42	47	8,45	7,56	1,00	182,00	0,60	0,00	29,00	18,80
53981902	39,4101	22,4960	3	31	32	37	8,04	7,47	18,80	148,00	1,50	14,70	589,20	26,60
54101824	38,6962	22,4996	28	34	37	29	8,06	6,36	24,50	2,00	2,30	55,20	332,40	40,00
54361648	37,0843	22,4997	19	17	31	52	7,54	6,96	26,30	2,00	2,20	0,00	141,30	21,20
53762052	40,7800	22,5048	9	50	32	17	7,60	7,01	14,30	8,00	1,50	57,70	511,60	29,60
54121818	38,6396	22,5121	16	17	41	42	8,05	7,34	18,70	178,00	1,70	17,20	127,40	29,90
54401630	36,9173	22,5148	26	11	35	54	6,05	5,11	8,90	0,00	1,00	10,60	56,00	17,90
54061862	39,0413	22,5187	28	11	20	69	7,51	6,71	3,40	0,00	0,30	0,00	127,40	55,40
54001904	39,4250	22,5223	1	45	52	4	8,22	7,57	16,10	375,00	1,50	12,90	303,80	32,80
53842010	40,3939	22,5232	7	14	65	21	8,28	7,43	9,20	114,00	1,00	0,00	184,30	29,10
54101838	38,8211	22,5233	8	13	35	52	7,99	7,12	5,30	6,00	0,70	0,00	126,50	30,50
54161800	38,4729	22,5269	16	27	37	37	8,35	7,49	3,20	181,00	0,80	13,40	265,90	25,00
54361666	37,2454	22,5289	25	17	19	63	6,88	6,04	16,40	0,00	1,50	0,00	140,30	10,00
54381656	37,1529	22,5348	34	29	37	34	7,76	7,29	60,20	286,00	2,70	0,00	221,00	31,20
54021898	39,3685	22,5348	19	21	46	33	7,35	6,64	7,80	2,00	0,70	31,20	103,50	21,80
54261738	37,9041	22,5358	40	35	44	21	8,20	7,41	13,50	95,00	1,70	0,00	231,20	30,50
54241754	38,0499	22,5396	26	20	41	38	7,98	7,33	26,50	359,00	2,00	0,00	192,90	24,60
53842024	40,5187	22,5481	27	35	41	24	8,31	7,60	10,70	109,00	1,10	0,00	326,40	32,00

53961946	39,8056	22,5493	25	9	38	53	6,78	6,23	15,30	2,00	1,20	0,00	85,10	11,50
54001922	39,5856	22,5535	8	21	16	63	8,31	7,43	8,00	2,00	0,70	36,20	215,10	19,50
53782068	40,9195	22,5569	17	22	30	48	7,60	6,76	4,30	2,00	0,60	36,20	140,30	17,40
54001930	39,6569	22,5674	23	41	44	15	8,17	7,15	10,70	3,00	0,90	62,40	497,70	32,40
54301732	37,8445	22,5705	23	48	34	18	8,05	7,42	19,90	33,00	1,70	0,00	272,60	29,70
54461626	36,8726	22,5745	20	18	31	52	7,08	6,13	8,60	1,00	0,70	13,00	52,70	21,80
54381686	37,4213	22,5838	22	37	50	14	8,13	7,35	20,00	89,00	1,90	0,00	473,30	33,60
54341718	37,7134	22,5921	26	7	32	61	7,60	7,22	34,30	10,00	3,00	26,50	683,70	42,80
54301746	37,9696	22,5938	27	31	50	19	8,19	7,48	12,70	264,00	1,50	15,70	230,80	28,60
53922004	40,3285	22,6054	4	44	51	5	8,73	7,89	10,20	66,00	1,20	14,10	450,80	34,00
53842060	40,8393	22,6126	23	29	62	9	8,52	7,78	12,50	55,00	1,40	18,00	295,30	27,00
54321748	37,9845	22,6196	24	45	21	35	6,86	5,66	7,70	0,00	0,70	0,00	107,00	15,50
54341736	37,8743	22,6219	33	25	42	33	8,07	7,46	24,10	511,00	1,60	0,00	159,40	27,60
54101896	39,3387	22,6228	22	20	43	37	8,20	7,59	9,60	3,00	0,80	40,90	294,70	25,80
54121890	39,2822	22,6352	17	31	28	41	7,06	6,32	20,20	0,00	2,70	0,00	162,80	24,60
54501640	36,9919	22,6414	11	22	32	45	8,17	7,46	11,30	165,00	1,00	0,00	114,60	16,10
54121894	39,3179	22,6421	20	30	48	22	8,03	7,49	21,10	41,00	1,60	24,10	549,10	37,70
54381728	37,7968	22,6533	16	31	44	25	7,96	7,32	26,60	159,00	3,30	40,70	589,00	32,90
54161884	39,2227	22,6704	32	35	37	28	8,26	7,48	8,70	124,00	1,30	0,00	479,90	34,10
54221858	38,9817	22,6937	17	15	26	59	6,70	5,83	13,60	1,00	1,30	0,00	119,20	33,70
54141914	39,4933	22,6999	25	9	31	60	8,12	7,46	23,20	112,00	2,20	23,60	1608,40	30,10
54421736	37,8623	22,7114	5	19	55	26	8,03	7,39	26,20	698,00	1,10	0,00	109,50	23,20
54401750	37,9904	22,7125	17	31	63	6	7,96	7,24	27,50	538,00	2,10	32,10	287,10	19,30
54581630	36,8905	22,7133	14	41	37	22	7,69	7,01	11,30	2,00	1,00	0,00	458,50	22,60
54201884	39,2167	22,7160	12	22	41	38	7,90	7,17	5,20	3,00	0,70	18,30	137,00	14,10
54161916	39,5081	22,7263	16	24	35	41	9,08	7,83	7,40	124,00	0,70	0,00	138,20	16,70
54181904	39,3981	22,7281	1	27	43	30	8,50	7,71	8,00	169,00	0,80	0,00	236,90	24,10
54481710	37,6210	22,7347	20	8	28	64	8,08	7,44	14,40	167,00	1,30	27,70	208,80	17,60



54241874	39,1215	22,7442	10	8	77	15	8,07	7,26	12,10	13,00	1,30	12,70	133,50	30,90
53942070	40,9132	22,7477	12	17	27	57	8,02	7,30	5,70	3,00	0,80	14,90	136,20	10,70
53922084	41,0409	22,7499	23	31	27	43	7,85	7,21	9,40	3,00	1,20	53,00	252,00	23,80
54381790	38,3507	22,7578	19	27	54	19	8,00	7,37	36,20	23,00	3,20	0,00	539,80	39,80
54221900	39,3563	22,7668	25	19	34	47	7,77	7,05	17,90	5,00	1,70	31,40	184,20	23,00
54641626	36,8457	22,7729	16	33	32	35	8,16	7,49	10,00	27,00	1,20	60,50	664,90	21,00
54201920	39,5377	22,7791	26	39	57	4	8,53	7,70	15,80	151,00	1,40	24,50	422,30	31,40
54521710	37,6149	22,7793	22	40	30	30	8,26	7,52	15,70	226,00	1,50	24,40	272,70	28,00
54241902	39,3711	22,7932	28	34	44	21	8,16	7,53	15,60	58,00	1,70	0,00	252,90	37,70
54521722	37,7221	22,7994	16	32	49	19	8,03	7,43	10,00	521,00	1,00	0,00	152,90	22,90
54661630	36,8785	22,8015	27	15	31	54	8,01	7,41	14,80	374,00	0,80	19,90	165,60	11,30
54401804	38,4726	22,8044	19	18	30	52	8,04	7,29	9,90	7,00	1,20	0,00	121,00	21,30
53962090	41,0882	22,8079	12	10	16	74	7,61	6,90	4,80	0,00	0,50	21,40	30,80	8,80
54321860	38,9845	22,8108	15	27	61	12	6,96	6,42	40,90	3,00	3,70	0,00	305,80	27,40
54421796	38,3982	22,8132	15	58	40	3	6,97	6,54	146,60	9,00	8,60	13,80	338,50	73,40
54501744	37,9217	22,8142	20	29	55	16	8,07	7,40	17,60	502,00	1,60	15,10	337,20	20,50
54401810	38,5262	22,8147	6	45	50	5	8,45	7,69	13,20	99,00	1,50	0,00	235,70	36,00
54022060	40,8120	22,8229	19	24	26	51	9,75	8,76	11,10	11,00	1,20	0,00	333,20	21,40
54341854	38,9279	22,8230	23	18	76	6	8,11	7,60	8,60	37,00	0,90	0,00	118,60	16,50
54701620	36,7829	22,8291	21	25	37	38	7,75	7,20	30,10	32,00	2,40	0,00	241,00	25,80
54002080	40,9931	22,8363	16	28	37	36	5,78	5,03	13,20	1,00	1,40	35,70	267,00	15,60
53962108	41,2483	22,8412	9	12	25	63	8,13	7,39	5,70	2,00	0,70	17,80	32,20	10,30
54361858	38,9605	22,8527	34	17	28	55	7,06	6,46	32,00	2,00	2,80	14,30	171,50	26,20
54441810	38,5201	22,8598	13	55	44	1	8,24	7,66	11,10	106,00	1,40	12,60	310,00	39,50
54281918	39,5077	22,8672	16	24	28	48	8,28	7,61	18,80	249,00	1,50	17,40	261,00	20,30
54002098	41,1532	22,8696	15	16	26	58	6,35	5,19	6,00	2,00	0,70	19,10	118,20	9,20
54581724	37,7309	22,8697	7	20	65	15	7,50	6,87	47,00	4,00	4,30	40,70	429,20	52,80
54501790	38,3301	22,8934	6	40	45	15	6,86	6,36	29,10	3,00	2,60	57,70	589,60	27,20

54581742	37,8917	22,9003	20	26	69	6	8,03	7,29	26,30	593,00	2,30	136,80	322,90	20,10
54761624	36,8096	22,9017	25	32	53	14	7,66	7,15	26,80	13,00	2,90	14,70	651,80	30,50
54102054	40,7464	22,9052	25	12	32	56	6,90	6,12	12,70	0,00	1,10	0,00	145,10	3,90
54501798	38,4039	22,9067	16	37	15	47	6,73	5,93	7,20	2,00	0,60	0,00	181,50	16,60
54501802	38,4396	22,9136	36	45	33	22	8,38	7,62	9,40	150,00	1,10	0,00	365,00	46,00
54481822	38,6211	22,9257	35	19	45	37	8,13	7,44	30,20	521,00	1,40	31,00	182,60	18,50
54501816	38,5645	22,9379	17	45	49	6	7,07	6,12	19,00	0,00	1,60	0,00	312,00	25,40
54102076	40,9422	22,9459	36	30	16	54	6,29	5,09	7,10	2,00	0,80	14,30	163,30	26,90
54042116	41,3071	22,9502	11	2	8	90	6,43	5,56	2,60	0,00	0,20	0,00	0,00	5,40
54102084	41,0133	22,9608	32	30	20	49	7,23	6,67	18,40	3,00	1,70	0,00	269,20	20,80
54102090	41,0667	22,9720	26	31	17	52	8,01	7,38	14,20	14,00	1,50	11,80	315,30	29,00
54641752	37,9718	22,9845	22	16	30	54	8,18	7,42	9,40	53,00	1,00	0,00	164,40	17,70
54401918	39,4889	23,0044	33	12	60	28	6,52	5,50	6,20	1,00	0,70	0,00	67,80	13,00
54581804	38,4451	23,0072	6	52	38	10	8,47	7,60	13,10	95,00	1,40	12,10	390,60	31,10
54182062	40,8052	23,0134	16	40	20	40	6,06	5,07	11,90	0,00	1,20	20,50	224,30	27,10
54881614	36,7019	23,0171	21	28	60	12	7,47	7,10	44,50	25,00	3,60	0,00	743,50	37,10
54122110	41,2413	23,0322	13	7	26	67	8,31	7,53	8,20	8,00	1,00	14,00	205,40	9,50
54282012	40,3448	23,0372	11	32	26	42	8,29	7,62	10,40	127,00	0,80	24,40	336,60	27,50
54581828	38,6592	23,0493	12	31	56	13	8,44	7,63	8,70	227,00	1,00	20,60	377,80	29,50
54202070	40,8733	23,0517	18	5	14	81	5,34	4,36	5,90	1,00	0,70	14,10	35,90	11,80
54282022	40,4339	23,0556	12	19	18	62	8,21	7,54	5,80	10,00	0,70	0,00	135,50	17,60
54621810	38,4925	23,0635	14	33	57	10	8,15	7,59	52,70	594,00	4,30	19,00	102,90	50,20
54961596	36,5286	23,0750	15	9	20	71	7,74	7,09	11,60	40,00	0,90	0,00	49,60	11,80
54242060	40,7781	23,0796	12	17	20	63	5,95	4,78	7,60	0,00	0,80	81,20	133,00	10,70
54781718	37,6467	23,0824	16	26	46	28	7,99	7,38	11,50	176,00	1,10	0,00	154,90	21,90
54761732	37,7751	23,0840	11	33	58	9	7,63	7,01	53,50	2,00	3,40	0,00	656,00	47,60
54681784	38,2513	23,0848	14	35	36	29	8,26	7,53	16,70	125,00	1,60	16,40	476,20	37,70
54282048	40,6652	23,1039	19	17	36	47	8,20	7,39	6,90	21,00	1,10	0,00	37,70	17,10

54701800	38,3909	23,1353	16	28	58	13	8,19	7,64	26,90	509,00	2,50	33,00	394,10	29,20
54541904	39,3429	23,1395	16	11	34	55	7,95	7,27	13,00	85,00	1,00	0,00	82,70	15,50
54242096	41,0983	23,1475	11	2	12	86	7,08	6,30	2,00	0,00	0,20	0,00	12,50	13,50
54701808	38,4622	23,1494	21	18	65	17	7,91	7,69	20,60	909,00	2,30	10,70	290,70	15,40
54781758	38,0038	23,1515	30	26	57	17	8,01	7,36	42,20	29,00	1,80	0,00	623,90	35,30
54282076	40,9142	23,1565	15	8	28	64	5,75	4,84	6,10	0,00	0,70	35,00	49,60	9,20
54621864	38,9740	23,1584	16	22	39	40	7,81	7,37	25,90	128,00	1,80	34,60	572,30	22,40
54422010	40,3052	23,1957	14	17	29	54	8,13	7,46	13,10	56,00	1,20	12,00	273,50	27,40
54382046	40,6317	23,2165	10	11	11	78	6,05	5,08	3,30	0,00	0,50	31,50	107,20	9,80
54282108	41,1986	23,2172	17	16	32	52	8,03	7,38	13,30	9,00	1,50	12,70	171,30	19,20
54641892	39,2203	23,2316	19	20	25	55	7,58	7,00	15,50	2,00	1,20	0,00	118,50	22,40
54382064	40,7918	23,2505	0	7	15	78	6,60	5,77	10,10	1,00	0,90	0,00	121,60	9,70
54761828	38,6312	23,2526	13	21	56	23	8,02	7,42	26,90	359,00	2,10	11,50	591,10	33,80
54841792	38,2977	23,2786	15	23	45	33	8,14	7,42	11,40	577,00	1,20	0,00	186,70	25,50
54761846	38,7916	23,2848	33	45	38	17	7,25	6,91	188,30	174,00	6,00	16,00	608,40	71,00
54841800	38,3690	23,2928	25	36	57	6	8,46	7,66	8,00	167,00	1,10	11,60	657,80	44,50
54502014	40,3282	23,2958	18	22	25	53	8,31	7,40	9,30	13,00	0,80	17,00	112,10	23,00
54901768	38,0742	23,3035	29	29	34	37	8,31	7,63	30,30	377,00	2,60	36,20	456,60	28,90
54482034	40,5092	23,3102	21	35	20	46	5,22	4,39	9,70	0,00	1,10	0,00	133,90	14,20
54581990	40,1021	23,3433	25	41	43	17	8,31	7,65	12,30	161,00	1,10	0,00	752,30	32,50
54482052	40,6693	23,3439	16	23	34	43	8,57	8,01	9,80	15,00	1,10	15,60	163,90	17,30
54462066	40,7969	23,3477	23	5	13	81	5,91	4,97	4,40	1,00	0,50	11,70	12,80	13,40
54921782	38,1959	23,3507	7	41	50	9	7,62	7,00	29,00	11,00	2,70	0,00	480,80	34,10
54781870	39,0023	23,3509	15	18	36	46	7,75	7,23	24,70	93,00	1,40	0,00	234,60	27,50
54881808	38,4340	23,3521	28	35	38	27	8,32	7,64	11,50	142,00	1,20	10,90	375,10	38,60
54961762	38,0112	23,3600	8	25	43	32	8,28	7,51	24,20	420,00	1,80	43,60	483,40	21,20
54921794	38,3029	23,3720	35	28	30	43	8,15	7,57	9,60	71,00	0,80	0,00	256,10	32,00
54482070	40,8293	23,3786	20	11	17	72	6,79	6,20	11,70	2,00	1,10	0,00	48,40	8,40

54482080	40,9181	23,3978	16	17	19	64	6,03	5,13	6,50	2,00	0,80	0,00	32,70	15,30
54422118	41,2652	23,4009	10	16	29	55	8,36	7,41	6,30	257,00	0,50	0,00	64,10	16,60
55001760	37,9871	23,4012	41	23	50	27	8,09	7,48	38,00	325,00	2,30	0,00	396,80	31,40
54562034	40,4966	23,4031	20	17	20	64	7,27	6,62	10,50	2,00	1,00	19,30	119,50	20,70
54961790	38,2609	23,4099	14	33	43	24	8,23	7,42	13,60	127,00	1,40	14,20	548,40	38,00
54681982	40,0150	23,4436	28	7	15	78	8,56	7,70	4,10	104,00	0,20	0,00	92,10	8,60
54522082	40,9295	23,4484	4	5	6	90	6,44	5,67	2,50	0,00	0,20	44,60	50,60	4,00
55021774	38,1087	23,4485	36	28	46	26	8,08	7,46	22,30	189,00	2,30	0,00	489,20	31,30
55141704	37,4654	23,4583	42	17	22	61	7,30	6,71	6,70	2,00	0,50	0,00	72,80	16,00
54522096	41,0539	23,4755	14	17	45	37	8,48	7,58	8,20	2,00	0,80	39,00	153,40	17,70
54482124	41,3089	23,4831	15	19	21	59	7,74	7,30	34,10	609,00	2,40	0,00	201,70	29,10
55021800	38,3405	23,4952	26	29	38	32	8,42	7,75	10,70	223,00	0,90	58,50	383,80	28,00
54662028	40,4272	23,5077	19	27	33	41	5,64	4,82	16,70	0,00	0,90	10,40	208,80	6,70
55061782	38,1737	23,5077	17	55	42	3	7,33	6,79	135,90	57,00	6,50	0,00	518,10	62,70
55041798	38,3195	23,5141	16	19	52	29	8,05	7,41	28,30	101,00	2,90	0,00	574,60	37,60
54602068	40,7923	23,5148	19	33	42	25	5,95	4,94	9,90	0,00	1,10	19,90	165,30	23,80
55041806	38,3913	23,5279	8	23	58	18	8,34	7,54	11,60	373,00	0,30	0,00	99,90	29,00
55061800	38,3341	23,5402	11	23	33	44	8,12	7,35	16,00	104,00	1,40	0,00	219,00	26,40
54602082	40,9167	23,5419	9	9	11	81	6,24	5,22	4,40	0,00	0,60	24,90	64,80	6,40
54722012	40,2754	23,5466	17	19	35	45	7,71	7,24	34,40	13,00	2,60	158,10	398,70	19,40
55121774	38,0928	23,5605	38	26	32	42	8,47	7,69	8,40	350,00	0,60	0,00	194,30	16,00
54742010	40,2544	23,5659	32	32	24	44	7,40	6,82	20,10	1,00	1,00	0,00	153,80	31,90
54682050	40,6194	23,5737	26	25	21	54	7,02	5,83	7,40	0,00	0,80	0,00	172,40	17,20
54702042	40,5452	23,5810	19	3	9	87	7,04	6,43	9,60	1,00	0,50	0,00	40,80	5,40
55141798	38,3034	23,6264	11	21	24	55	8,36	7,61	6,00	262,00	0,80	0,00	170,50	19,60
55661480	35,3809	23,6416	2	18	37	46	6,05	5,07	29,30	2,00	1,80	18,80	102,10	9,10
54682090	40,9742	23,6508	15	18	45	37	8,19	7,45	10,70	20,00	1,20	22,20	218,30	19,90
55121832	38,6095	23,6662	27	33	34	33	7,18	6,75	19,10	2,00	2,00	22,30	424,40	35,10

54762056	40,6598	23,6778	13	6	11	84	6,96	5,89	1,00	1,00	0,20	0,00	26,20	8,30
54742070	40,7874	23,6819	19	11	19	70	5,98	4,74	15,50	0,00	0,70	38,80	60,60	9,60
55681492	35,4850	23,6835	3	29	57	14	8,01	7,39	22,30	508,00	1,60	19,00	348,50	24,00
54742078	40,8584	23,6976	9	13	8	78	7,11	6,30	7,10	1,00	0,90	13,80	128,80	12,70
55181826	38,5464	23,7227	49	32	30	38	7,50	6,79	46,10	1,00	2,40	0,00	523,70	41,60
54742096	41,0182	23,7330	18	17	18	66	8,10	7,29	4,20	26,00	0,60	10,80	108,30	17,20
54882024	40,3561	23,7549	15	13	20	67	6,13	5,22	18,00	0,00	1,00	0,00	75,20	7,30
54782100	41,0472	23,7877	23	19	20	62	7,61	7,08	29,40	57,00	2,30	0,00	204,60	22,00
55241826	38,5366	23,7903	22	13	24	63	8,13	7,36	18,80	123,00	1,30	0,00	165,30	13,50
55301796	38,2601	23,8024	33	25	51	24	8,15	7,49	39,20	280,00	1,70	0,00	417,40	39,90
55321790	38,2030	23,8138	43	22	27	52	7,92	7,29	13,30	60,00	1,10	47,50	444,00	17,00
55281818	38,4588	23,8205	11	37	35	28	7,78	7,01	18,50	3,00	1,60	0,00	218,20	30,70
55801498	35,5193	23,8233	1	9	26	64	8,02	7,30	13,60	33,00	1,00	0,00	108,90	11,00
55381768	37,9972	23,8405	18	9	18	72	8,57	7,68	1,00	418,00	0,20	0,00	87,40	8,90
54842098	41,0196	23,8539	19	24	52	24	8,23	7,41	6,50	635,00	0,90	28,70	348,20	15,50
55401766	37,9761	23,8592	12	28	29	43	8,32	7,52	10,90	29,00	0,90	0,00	327,50	20,70
54882082	40,8710	23,8688	14	21	21	58	8,17	7,31	5,20	14,00	0,70	0,00	110,50	22,50
55401780	38,1008	23,8849	13	8	15	78	8,08	7,42	20,80	639,00	1,30	0,00	81,80	10,10
54862104	41,0695	23,8893	13	14	47	39	7,72	7,12	39,40	464,00	1,90	0,00	50,10	16,60
55441760	37,9161	23,8929	5	22	10	68	7,91	7,34	16,40	12,00	1,20	0,00	433,30	15,50
55461754	37,8594	23,9042	16	30	36	34	7,98	7,33	21,70	43,00	2,20	0,00	285,30	29,20
54922082	40,8644	23,9155	12	22	40	38	7,97	7,34	13,30	451,00	1,10	15,10	48,50	14,60
54942074	40,7901	23,9229	13	22	28	50	8,13	7,46	10,50	82,00	0,90	0,00	192,60	19,50
55941496	35,4785	23,9711	13	21	27	52	7,20	6,63	30,70	3,00	1,90	0,00	126,30	16,60
54882142	41,4032	23,9894	21	13	22	65	7,87	7,26	25,60	142,00	1,80	0,00	121,40	26,60
55541752	37,8284	23,9897	21	8	21	71	8,05	7,45	10,50	209,00	1,00	12,80	80,00	12,00
55481792	38,1945	23,9968	16	27	53	19	7,85	7,20	25,40	53,00	2,20	0,00	478,50	27,40
54962100	41,0174	23,9982	25	38	27	35	8,13	7,42	12,60	119,00	1,20	0,00	183,90	39,10

55102078	40,7989	24,1173	32	11	25	65	7,44	7,03	91,30	120,00	4,40	16,90	167,90	35,90
56081496	35,4554	24,1222	1	40	47	13	7,78	7,20	33,50	5,00	2,60	0,00	523,40	37,50
56101494	35,4342	24,1402	15	23	38	39	7,89	7,27	16,20	40,00	1,60	99,10	265,60	18,40
56181488	35,3672	24,2160	1	33	49	18	7,83	7,20	43,00	230,00	3,20	0,00	144,40	32,60
55681794	38,1789	24,2246	9	9	15	77	7,72	7,21	12,70	25,00	1,60	0,00	63,60	10,10
55222104	41,0091	24,3102	13	23	37	40	7,90	7,34	17,80	83,00	1,50	96,40	331,60	29,60
55182130	41,2462	24,3172	25	11	20	69	5,67	4,59	9,70	2,00	0,80	0,00	81,00	10,80
55202124	41,1897	24,3282	17	29	35	36	8,07	7,38	16,20	172,00	2,00	44,50	312,10	24,50
55362112	41,0559	24,4904	7	46	43	11	6,75	6,37	73,30	6,00	5,10	0,00	521,70	48,00
56501476	35,2061	24,5390	4	23	39	38	7,86	7,42	19,40	94,00	1,30	0,00	292,40	20,30
55502104	40,9608	24,6372	7	4	10	86	8,44	7,57	3,40	6,00	0,30	28,80	12,50	5,60
56621496	35,3640	24,7040	3	20	48	32	8,09	7,46	25,50	515,00	1,50	13,90	220,00	22,80
55522128	41,1698	24,7112	7	5	15	80	6,18	5,35	6,60	1,00	0,50	0,00	72,80	7,50
56661478	35,1965	24,7144	7	23	42	35	6,98	6,32	39,30	3,00	2,70	20,40	125,20	20,60
55582104	40,9469	24,7305	11	7	29	64	7,88	7,25	6,50	1,00	0,60	43,00	195,10	9,60
55622110	40,9929	24,7899	12	6	28	66	4,80	4,43	6,80	0,00	0,70	73,90	322,30	5,60
56781468	35,0865	24,8252	19	16	47	37	7,96	7,29	21,80	349,00	1,50	0,00	168,00	14,60
55642132	41,1841	24,8602	19	13	27	60	6,16	5,67	20,30	1,00	1,20	0,00	145,10	13,20
55682118	41,0531	24,8770	9	13	23	64	8,00	7,16	4,70	2,00	0,40	20,40	49,00	10,70
55642142	41,2725	24,8817	12	18	23	60	4,86	3,96	3,60	1,00	0,40	15,50	170,20	18,30
55722108	40,9576	24,9023	15	15	45	40	7,04	6,47	11,60	4,00	1,00	12,90	163,40	15,20
56861470	35,0903	24,9146	20	18	34	48	8,12	7,35	8,50	408,00	1,30	0,00	144,50	16,80
56821494	35,3114	24,9156	15	23	63	14	7,54	6,80	43,50	3,00	3,50	0,00	348,70	33,60
55742124	41,0956	24,9600	15	14	45	41	6,34	5,85	9,40	0,00	0,80	42,10	123,30	18,20
56901476	35,1368	24,9684	14	9	17	74	8,06	7,33	4,70	51,00	0,90	13,20	115,10	10,40
55762126	41,1097	24,9877	19	28	34	38	6,87	6,08	15,90	0,00	1,50	13,10	95,70	29,10
56901488	35,2439	24,9905	20	30	40	30	8,12	7,36	13,10	462,00	1,60	0,00	189,30	24,40
56961468	35,0549	25,0181	20	23	48	29	8,11	7,36	14,10	413,00	1,70	17,40	424,90	19,80

56961498	35,3224	25,0736	12	25	59	16	8,22	7,37	12,90	566,00	1,10	0,00	237,20	13,50
57001486	35,2084	25,0942	22	32	56	13	8,01	7,36	22,10	424,00	2,10	30,40	514,20	23,80
57021478	35,1335	25,1009	31	29	52	20	8,30	7,44	8,00	169,00	1,00	0,00	141,60	24,80
55922128	41,0987	25,1790	18	15	22	63	8,29	7,58	7,40	11,00	0,90	0,00	94,20	15,60
57081488	35,2119	25,1838	21	41	47	12	7,94	7,24	26,80	583,00	2,40	52,90	501,40	23,80
57121474	35,0800	25,2006	12	25	55	20	8,14	7,31	11,70	551,00	1,00	0,00	198,10	14,50
57141468	35,0230	25,2108	25	13	46	41	7,45	6,68	10,50	0,00	1,30	14,10	244,60	9,30
57161464	34,9838	25,2248	45	19	38	43	7,65	6,97	21,70	5,00	2,30	24,40	231,20	17,30
56002124	41,0488	25,2636	17	23	21	55	7,33	6,86	9,90	0,00	1,00	37,90	262,20	22,10
56002132	41,1195	25,2812	9	24	29	48	7,05	6,16	11,30	0,00	1,20	16,10	106,00	24,10
57241480	35,1120	25,3405	21	21	27	52	7,22	6,50	10,90	2,00	1,10	0,00	169,30	16,10
57241490	35,2011	25,3593	25	12	35	53	6,57	6,09	22,40	3,00	2,30	61,10	160,10	13,30
56142132	41,0939	25,4447	18	40	26	35	8,09	7,37	11,60	28,00	1,20	12,10	251,70	37,80
56202120	40,9769	25,4880	38	18	24	58	6,66	5,70	18,60	1,00	0,70	0,00	132,20	21,90
56202128	41,0475	25,5058	13	19	40	41	8,54	7,81	5,90	8,00	0,70	0,00	188,50	23,30
56302122	40,9761	25,6090	18	19	23	57	8,05	7,30	7,90	4,00	1,00	21,80	164,60	25,50
57501486	35,1182	25,6305	20	38	50	12	7,42	6,71	84,80	6,00	4,30	0,00	942,70	49,40
57621488	35,1139	25,7628	19	28	55	16	7,97	7,32	38,40	80,00	3,10	0,00	581,40	34,50
56542136	41,0546	25,9203	22	7	22	71	5,93	4,80	25,50	0,00	1,40	0,00	64,30	8,00
56522156	41,2347	25,9429	22	6	22	71	5,99	4,86	6,90	0,00	0,70	0,00	37,60	2,10
57821498	35,1655	25,9966	38	17	29	54	7,84	7,18	23,70	22,00	2,40	0,00	72,90	15,40
57841488	35,0729	25,9983	6	29	59	12	7,79	7,12	28,10	4,00	2,70	0,00	629,30	32,50
57941494	35,1074	26,1172	5	28	61	10	7,45	6,70	34,00	4,00	3,00	0,00	575,40	31,20
56702146	41,1123	26,1299	22	10	31	59	5,53	5,07	22,80	1,00	0,70	0,00	59,10	12,40
56582208	41,6815	26,1345	20	25	25	50	5,67	4,63	7,50	0,00	0,80	26,50	201,30	18,30
57981484	35,0110	26,1402	22	21	20	60	8,21	7,39	13,70	26,00	1,60	0,00	308,10	19,20
56662180	41,4194	26,1626	11	5	21	74	5,73	4,50	5,10	0,00	0,50	18,00	75,90	5,40
56762132	40,9774	26,1673	13	16	21	63	6,35	6,11	20,40	0,00	1,80	0,00	242,30	18,80

56722160	41,2317	26,1859	10	13	19	69	6,55	5,64	15,60	0,00	1,00	0,00	73,40	8,30
56622210	41,6913	26,1864	19	46	24	30	6,55	5,65	14,30	0,00	1,20	22,80	237,50	31,10
56682190	41,5036	26,2096	10	25	29	47	5,24	4,43	13,50	0,00	1,40	51,60	173,10	14,00
56782152	41,1497	26,2372	24	19	20	60	5,23	4,12	5,60	0,00	0,60	13,10	104,50	10,20
56822134	40,9834	26,2418	36	32	27	41	8,19	7,43	7,10	13,00	0,90	11,10	280,30	36,10
56762172	41,3297	26,2608	12	23	19	58	5,57	4,50	6,20	0,00	0,70	20,50	90,20	12,10
56802166	41,2692	26,2934	13	10	28	61	6,42	6,12	19,80	0,00	1,40	0,00	72,90	9,90
56762190	41,4882	26,3034	21	41	28	30	7,14	6,59	13,60	1,00	1,20	16,20	407,40	34,90
56882134	40,9718	26,3116	21	65	24	11	6,21	5,50	14,80	1,00	1,40	18,00	322,30	58,70
56802180	41,3924	26,3266	11	54	41	5	7,62	6,71	14,60	0,00	1,30	14,60	368,40	64,30
56842176	41,3494	26,3639	8	41	33	26	7,45	6,84	24,40	5,00	3,10	30,30	761,80	38,70
56802210	41,6564	26,3980	10	52	36	12	7,58	6,73	14,90	2,00	1,40	75,10	406,20	41,40
56922188	41,4393	26,4861	18	39	40	22	7,96	7,46	12,30	203,00	1,00	0,00	379,40	35,60
56942194	41,4882	26,5239	17	25	40	34	6,49	6,12	11,40	0,00	1,30	53,90	220,70	14,00
56922206	41,5977	26,5294	13	13	46	41	8,39	7,55	6,50	13,00	0,80	30,30	334,40	23,90
56982192	41,4627	26,5660	30	16	22	62	8,00	7,29	25,50	74,00	1,20	35,70	204,30	15,90
57002188	41,4235	26,5798	11	15	28	57	7,43	6,97	8,50	0,00	1,00	81,40	842,80	15,40