



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

**Μελέτη της διάβρωσης και ιζηματογένεσης
του εδάφους με χρήση ραδιενεργών
ιχνηθετών και του κώδικα MODERN**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ του
ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Μ. ΜΙΧΑΗΛΙΔΗ**

Σπουδαστή της Σχολής
Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επίβλεψη: Καθηγητής Μ.Ι. Αναγνωστάκης
Συνεργασία: Ι. Κ. Μήτσιος

ΑΘΗΝΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η επιλογή έγινε με βάση το ιδιαίτερα ενδιαφέρον μάθημα του 9^{ου} εξαμήνου «Ραδιενέργεια και Περιβάλλον» της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στον Καθηγητή κ. Μάριο Αναγνωστάκη για την έμπνευση που μου δημιούργησε μέσω της διδασκαλίας του καθ'όλη τη διάρκεια των ακαδημαϊκών μου ετών, για τον προσωπικό χρόνο που αφιέρωσε ώστε να είναι εφικτή η εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας και για την εμπιστοσύνη και τις πολύτιμες συμβουλές που μου έδωσε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης, τον διδάκτορα κ. Ιάσων Μήτσιο για την πολύτιμη βοήθειά του και τη συνεχή καθοδήγησή του. Η συνεργασία μας ήταν άψογη καθ'όλη την διάρκεια της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου Καλλιόπη και Μιχάηλ και την πνευματική μου μητέρα, Αφροδίτη, για τη στήριξη και την υπομονή που έδειξαν κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω τα άτομα που γνώρισα στην διάρκεια των σπουδών μου, Αναστάσιο, Δανιήλ και Δημήτριο, οι οποίοι ήταν πάντα το ψυχολογικό μου στήριγμα καθώς διανύαμε το ίδιο μονοπάτι.

Σας ευχαριστώ,

Μιχαηλίδης Μ. Δημήτριος

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει ως αντικείμενο μελέτης, τον προσδιορισμό της αναδιανομής του εδάφους με τη συνεργιστική χρήση πυρηνικών τεχνικών και του μοντέλου προσδιορισμού ρυθμών ανακατανομής **Modeling Deposition and Erosion rates with Radio Nuclides (MODERN)**. Η εργασία χωρίζεται στα 3 κυρίως τμήματα που ακολουθούν.

Στο πρώτο τμήμα γίνεται θεωρητική ανασκόπηση του γενικού προβλήματος της διάβρωσης των εδαφών και των τεχνικών μελέτης της. Συγκεκριμένα, περιγράφεται το πρόβλημα της διάβρωσης στον παγκόσμιο και τον Ελλαδικό χώρο και ακολουθεί βιβλιογραφική αναφορά στις πρώτες συμβατικές τεχνικές προσδιορισμού της διάβρωσης, αλλά και στις πλέον σύγχρονες τεχνικές με τη χρήση ραδιοϊσοτόπων. Στην συνέχεια, γίνεται αναφορά στις μεθόδους δειγματοληψίας που έχουν αναπτυχθεί, αλλά και της μεθόδου δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης. Τέλος, παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία, οι δυνατότητες και οι παράγοντες για τη χρήση του μοντέλου MODERN.

Στο δεύτερο τμήμα γίνεται χρήση του μοντέλου MODERN με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του σε σχέση με παλαιότερα μοντέλα μετατροπής. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας δεδομένα από παλαιότερη διπλωματική εργασία του εργαστηρίου πυρηνικής τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΠΤ-ΕΜΠ) (Πετροβίτσος, 2011), και έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία τους για την εφαρμογή του MODERN, πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ του εμπειρικού μοντέλου, του μοντέλου κατανομής προφίλ (Profile Distribution Model - P.D.M.) και του μοντέλου διάχυσης και μετανάστευσης (Diffusion and Migration Model - D.M.M.).

Στο τρίτο και τελευταίο τμήμα, γίνεται εφαρμογή του MODERN σε δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω διαδικασίας δειγματοληψίας, που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, στην ευρύτερη περιοχή του Αλεποχωρίου Αττικής. Περιγράφεται ο σχεδιασμός και η μέθοδος της δειγματοληψίας και στη συνέχεια ο τρόπος διαχείρισης και ανάλυσης των δειγμάτων που συλλέχθηκαν. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης των δειγμάτων και η επεξεργασία τους, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους στο λογισμικό του MODERN. Ακολουθεί η εισαγωγή των δεδομένων στο

MODERN, η παρουσίαση και η ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τέλος, γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της παρούσας μελέτης και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα για τη μελέτη των ρυθμών διάβρωσης με τη χρήση του υπολογιστικού μοντέλου MODERN.

ABSTRACT

Aim of this Diploma Thesis is the determination of the redistribution of soil using the synergistic use of nuclear techniques and the Modeling Deposition and Erosion rates with Radio Nuclides (MODERN) model. The work is divided into 3 main sections.

In the first section, a theoretical review of the general problem of soil erosion and its study techniques is presented. In particular, the problem of erosion in the world and in Greece is described, followed by a bibliographical reference to the first conventional techniques for the determination of erosion, and to the most modern techniques using radioisotopes. Then, the sampling methods that have been developed and the sampling method used in the present study are discussed. Finally, the operation, capabilities and factors for using the MODERN model are detailed.

In the second section, the MODERN model is used in order to evaluate its results in comparison with previous conversion models. Specifically, taking data from an earlier thesis of the Nuclear Technology Laboratory of the National Technical University of Athens (Petrovitsos, 2011), and then processing them appropriately for the application of MODERN, the empirical model, the Profile Distribution Model (P.D.M.) and the Diffusion and Migration Model (D.M.M.) were compared.

In the third and last section, MODERN is applied to data collected through a sampling procedure carried out in the context of this study, in the area of Alepochori, Attica. The design and method of sampling is described, followed by the way of handling and analysis of the collected samples. The results of the gamma spectroscopic analysis of the samples and their processing are presented, so that they can be used in the MODERN software. This is followed by data input into MODERN, presentation and analysis of the results. Finally, a brief review of this study is given and the final conclusions for the study of corrosion rates using the MODERN computer model are presented.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
Εισαγωγή	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	14
Διάβρωση και Ιζηματογένεση.....	14
2.1 Εισαγωγή.....	14
2.2 Γενικά στοιχεία για την διάβρωση.....	14
2.2.1 Διάβρωση σε παγκόσμια κλίμακα	14
2.2.2 Το πρόβλημα της διάβρωσης του εδάφους.....	15
2.3 Μελέτη της διάβρωσης και ιζηματογένεσης του εδάφους.....	19
2.3.1 Κλασσικές μέθοδοι μελέτης της διάβρωσης.....	19
2.3.2 Η χρήση ραδιοϊσοτόπων στις μελέτες διάβρωσης	20
2.3.3 Η τεχνική των FRNs	21
2.3.4 Μοντέλα υπολογισμού ρυθμών ανακατανομής χόματος με χρήση ραδιοϊσοτόπων	24
2.4. Στοιχεία για την πραγματοποίηση δειγματοληψίας.....	31
2.4.1 MODERN και δειγματοληψία	31
2.4.2 Σχεδιασμός δειγματοληψίας για την εφαρμογή του MODERN	31
2.4.2.1 Επιλογή της θέσης αναφοράς και της υπό μελέτης περιοχής	31
2.4.2.2 Μέθοδοι δειγματοληψίας.....	32
2.4.3 Εργαλεία δειγματοληψίας και συλλογή δειγμάτων	33
2.4.3.1 Τεχνικές δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.....	33
2.4.3.2 Τεχνικές δειγματοληψίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	39
MODERN	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο MODERN	39

3.3 Μεθοδολογία επίλυσης του MODERN	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
Σύγκριση του MODERN με άλλα μοντέλα υπολογισμού αναδιανομής χόματος.....	45
4.1 Εισαγωγή.....	45
4.2 Δεδομένα για το MODERN.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	55
Δειγματοληψία στο Αλεποχώρι Αττικής	55
5.1 Εισαγωγή.....	55
5.2 Σχεδιασμός της δειγματοληψίας	57
5.3 Μέθοδος δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ΔΕ.....	57
5.4 Δειγματοληψία.....	59
5.4.1 Δειγματοληψία στην περιοχή αναφοράς.....	59
5.4.2 Δειγματοληψία στις περιοχές διάβρωσης	62
5.4.2.1 Δειγματοληψία πρώτης τοποθεσίας.....	63
5.4.2.2 Δειγματοληψία δεύτερης τοποθεσίας	64
5.5 Προετοιμασία και ανάλυση των δειγμάτων.....	64
5.5.1 Ξήρανση και κοσκίνισμα του δείγματος.....	65
5.5.2 Συσκευασία δείγματος	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	73
Εισαγωγή και επεξεργασία δεδομένων των δειγμάτων από το Αλεποχώρι Αττικής στο λογισμικό MODERN	73
6.1 Εισαγωγή.....	73
6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης.....	73
6.2.1 Γενικά για την γ-φασματοσκοπική ανάλυση	73
6.2.2 Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιήθηκαν	74
6.2.3 Αποτελέσματα της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης	75
6.3 Επεξεργασία δεδομένων της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης και προσαρμογή τους στις ανάγκες του MODERN.....	77
6.4 Μέθοδος υπολογισμού του Pb-210 excess	83
6.4.1. Γενικά στοιχεία για τον Pb-210 excess.....	83
6.4.2 Υπολογισμός του Pb-210 ex	85
6.4.3 Αποτελέσματα για τον Pb-210 excess	87

6.5 Εισαγωγή δεδομένων δειγματοληψίας στο λογισμικό MODERN	90
6.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων του MODERN και επεξεργασία τους.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	98
Συμπεράσματα και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	100
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Υποβάθμιση εδάφους λόγω διάβρωσης (Mabit et al,2014).	15
Πίνακας 2.2 Παράγοντες διάβρωσης (Συλλαίος et al., 2007).....	18
Πίνακας 2.3 Σύγκριση πυρηνικών και συμβατικών τεχνικών για τον προσδιορισμό διάβρωσης (Mabit et al., 2014).	21
Πίνακας 2.4 Κατηγοριοποίηση μοντέλων ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και το ραδιοϊσοτοπο (Walling et al., 2014).	25
Πίνακας 2.5 Πίνακας παραμέτρων και δεδομένων για κάθε μοντέλο (Walling et al., 2014).....	28
Πίνακας 4.1 Προφίλ παραμένουσας απόθεσης περιοχής αναφοράς στα Δραχμάναγα Λαμίας.....	45
Πίνακας 4.2 Πειραματικά δεδομένα 12 δειγμάτων προς μελέτη, Δραχμάναγα Λαμίας.....	46
Πίνακας 4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1963.....	48
Πίνακας 4.5 Προφίλ παραμένουσας απόθεσης περιοχής αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη.....	50
Πίνακας 4.6 Πειραματικά δεδομένα 3 δειγμάτων προς μελέτη, Πολυτεχνειούπολη.....	51
Πίνακας 4.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1963.....	51
Πίνακας 4.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1954.....	52
Πίνακας 4.9 Προσαρμογή του προφίλ βάθους αναφοράς για τις ανάγκες του MODERN.....	53
Πίνακας 5.1 Πληροφορίες δειγμάτων προς ανάλυση περιοχής αναφοράς.	70
Πίνακας 5.2 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 1.	71
Πίνακας 5.3 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 2.	71
Πίνακας 5.4 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 3.	71
Πίνακας 5.5 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 4.	72
Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης στην περιοχή αναφοράς για Cs-137, Pb-210 και Be-7.....	76
Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 1 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.....	76
Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 2 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.....	76
Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 3 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.....	77
Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 4 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.....	77
Πίνακας 6.6 Δείγματα περιοχής αναφοράς.	80
Πίνακας 6.7 Δείγμα Διάβρωσης 1, Πλαγιά 1 για Cs-137.	80
Πίνακας 6.8 Δείγμα Διάβρωσης 1, Πλαγιά 1 για Pb-210.	80
Πίνακας 6.9 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 1 για Be-7.....	80
Πίνακας 6.10 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 1 για Cs-137.....	81
Πίνακας 6.11 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 1 για Pb-210.....	81
Πίνακας 6.12 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 2 για Cs-137.....	81

Πίνακας 6.13 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 2 για Pb-210.....	82
Πίνακας 6.14 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 2 για Cs-137.....	82
Πίνακας 6.16 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess στην περιοχή αναφοράς (δύο πίνακες).....	87
Πίνακας 6.17 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess για το δείγμα διάβρωσης 1 (δύο πίνακες).	88
Πίνακας 6.18 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess για το δείγμα διάβρωσης 2 (δύο πίνακες).	88
Πίνακας 6.19 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 in excess για το δείγμα διάβρωσης 3 (δύο πίνακες).	89
Πίνακας 6.20 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 in excess για το δείγμα διάβρωσης 4 (δύο πίνακες).	89
Πίνακας 6.21 Συγκριτικά αποτελέσματα μέσω ετήσιων ρυθμών αναδιανομής χώματος για τα ισότοπα Cs-137 και Pb-210 ex για τα δείγματα από την δειγματοληψία στο Αλεποχώρι Αττικής.....	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, ένα φαινόμενο που αποκτά όλο ένα και περισσότερο ενδιαφέρον είναι το πρόβλημα της διάβρωσης του εδάφους και κατ' επέκταση η χρήση κατάλληλων εργαλείων για τον εντοπισμό και την αντιμετώπισή του. Η διάβρωση και η άμεσα συνδεδεμένη με αυτή ιζηματογένεση προκαλεί μείωση του επιφανειακού χώματος στους αγρότοπους και εν συνεχεία ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα με τα επιβλαβή για το περιβάλλον προϊόντα που προέρχονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αιτία του φαινομένου αυτού, είναι οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα οικοσύστημα (κατακρημνίσεις, άνεμοι κ.ά.) αλλά και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Στις προσπάθειες που έχουν γίνει ανά τα χρόνια, για την εκτίμηση του μεγέθους της διάβρωσης έχουν αναπτυχθεί διάφορα υπολογιστικά μοντέλα. Καθένα από αυτά παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ανάλογα με τη φύση της μελέτης στην οποία χρησιμοποιούνται. Στα πρώτα χρόνια μελέτης του φαινομένου της διάβρωσης του εδάφους, τα περισσότερα μοντέλα που είχαν αναπτυχθεί ήταν εμπειρικά, δηλαδή δεν είχαν την δυνατότητα υπολογισμού του φαινομένου σε μεγάλη κλίμακα και υπήρχε μεγάλη αβεβαιότητα για διάφορες περιοχές. Στη συνέχεια, παρατηρήθηκε ότι τα ραδιενεργά ισότοπα που υπάρχουν στο έδαφος, είτε από φυσική αιτία είτε από ανθρωπογενή παράγοντα, αποτελούν ιδανικό εργαλείο για τη μελέτη της διάβρωσης. Έτσι, ξεκίνησε η ανάπτυξη νέων μεθόδων υπολογισμού της αναδιανομής του χώματος με βάση συγκεκριμένα ραδιοϊσότοπα. Παρ' όλα αυτά, η χρήση τους απαιτούσε πολύπλοκες, χρονοβόρες και δαπανηρές διαδικασίες. Το 2016 προτάθηκε ένα νέο μοντέλο, μη-επηρεαζόμενο από τις συνθήκες της κάθε μελέτης, με το οποίο ο υπολογισμός του μεγέθους της διάβρωσης θα ήταν σχετικά εύκολος και θα είχε καθολική χρήση, το μοντέλο MODERN (MOdelling Deposition and Erosion rates with Radio Nuclides).

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας (ΔΕ) είναι η λεπτομερής ανάλυση του μοντέλου MODERN και η χρήση του σε έρευνες για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης και ιζηματογένεσης, με σκοπό τη μελλοντική χρήση του από το Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΠΤ-ΕΜΠ).

Ο προσδιορισμός της διάβρωσης καθώς και της ιζηματογένεσης του εδάφους με πυρηνικές τεχνικές γίνεται μέσω τριών ραδιοϊσοτόπων, του καισίου (Cs-137), του μολύβδου (Pb-210) και του βηρυλλίου (Be-7). Για την ανίχνευση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των τριών ραδιοϊσοτόπων χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Στην παρούσα ΔΕ, για την εφαρμογή του λογισμικού MODERN λήφθηκαν δεδομένα από παλαιότερη ΔΕ ώστε να γίνει σύγκρισή του με μοντέλα που είχαν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία στην περιοχή του Αλεποχωρίου Αττικής με σκοπό την εφαρμογή του σε μια θέση με εμφανές πρόβλημα διάβρωσης.

Η παρούσα μελέτη αποτελείται από 7 κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο 1 δίνονται οι εισαγωγικές πληροφορίες για το αντικείμενο και το σκοπό της μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται γενικά στοιχεία για το πρόβλημα της διάβρωσης του εδάφους παγκοσμίως και για τους παράγοντες που το προκαλούν. Περιγράφονται ορισμένες από τις συμβατικές τεχνικές υπολογισμού του μεγέθους της διάβρωσης που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, αλλά και σύγχρονες τεχνικές που βασίζονται στη μελέτη των ραδιοϊσοτόπων στο έδαφος. Επιπλέον, περιγράφεται αναλυτικά ο σχεδιασμός μιας διαδικασίας δειγματοληψίας. Τέλος, αναφέρεται η χρησιμότητα και οι δυνατότητες που παρέχει το μοντέλο MODERN.

Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται αναλυτικά το μοντέλο MODERN. Αρχικά, επεξηγείται η λειτουργία κάθε μέρους του κώδικα ο οποίος μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες της κάθε μελέτης. Στη συνέχεια ακολουθεί περιγραφή του κώδικα, σύμφωνα με την οποία το συγκεκριμένο μοντέλο πραγματοποιεί τους υπολογισμούς για το μέγεθος της διάβρωσης και της ιζηματογένεσης στο έδαφος.

Στο Κεφάλαιο 4, πραγματοποιείται εφαρμογή του MODERN με βάση δεδομένα που έχουν ληφθεί από τη βιβλιογραφία. Σκοπός είναι η σύγκρισή του με άλλα μοντέλα αναδιανομής χόματος και η πειραματική εφάρμογή του με στόχο τη διερεύνηση της αξιοπιστίας του.

Στο Κεφάλαιο 5, περιγράφεται το πειραματικό μέρος, δηλαδή η διαδικασία δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκε στο Αλεποχώρι Αττικής. Συγκεκριμένα, αναλύεται η μέθοδος

δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε και ο τρόπος επιλογής των σημείων δειγματοληψίας. Στη συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την προετοιμασία και την ανάλυση των δειγμάτων στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Τέλος, παρουσιάζονται τα δεδομένα που προέκυψαν μέσω της ανάλυσης των δειγμάτων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή του μοντέλου MODERN.

Στο Κεφάλαιο 6 που είναι και το πλέον σημαντικό κεφάλαιο της εργασίας, περιγράφεται μια ολοκληρωμένη μελέτη της χρήσης του μοντέλου MODERN με πειραματικά δεδομένα. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων καθώς και τα απαραίτητα στοιχεία που χρειάζεται το λογισμικό του MODERN και ο τρόπος υπολογισμού τους. Έπειτα ακολουθούν οι υπολογισμοί του ρυθμού διάβρωσης και ιζηματογένεσης που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων. Τέλος παρουσιάζονται τα διαγράμματα σύμφωνα με τα οποία προέκυψαν αυτά τα αποτελέσματα.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 ακολουθεί ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων και τα συμπεράσματα με βάση τη λειτουργία του μοντέλου MODERN σε σύγκριση με άλλα μοντέλα μετατροπής, ενώ τονίζεται η γενική χρησιμότητα των ραδιοϊσοτόπων ως μέσον προσδιορισμού του μεγέθους της διάβρωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Διάβρωση και Ιζηματογένεση

2.1 Εισαγωγή

Η διάβρωση ορίζεται ως η διεργασία απόσπασης και απομάκρυνσης υλικού από τον επιφανειακό ορίζοντα των εδαφών και η απόθεσή του σε άλλα σημεία της γήινης επιφάνειας ή στον υδροφόρο ορίζοντα.

Ο όρος διάβρωση χρησιμοποιήθηκε αρχικά στην επιστήμη της γεωλογίας για να περιγράψει το σχηματισμό μικρών κοιλάδων από τρεχούμενο νερό και πιο συγκεκριμένα τη μεταφορά επιφανειακού χώματος από ποταμούς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε για να εκφράσει γεωμορφολογικές διαδικασίες που έχουν προκληθεί από τον άνεμο. Πλέον χρησιμοποιείται από τους περισσότερους συγγραφείς για να περιγράψουν κάθε μορφή καταστροφής χώματος ή επιφάνειας γης με κύριο αίτιο το νερό. Στην παρούσα εργασία, με τον όρο διάβρωση εννοούμε οποιαδήποτε μεταφορά μιας μάζας χώματος στην επιφάνεια της γης που έχει προκληθεί από περιβαλλοντικούς παράγοντες και όχι από ανθρωπογενείς. Σκοπός του κεφαλαίου είναι μια αναλυτική παρουσίαση του προβλήματος της διάβρωσης του εδάφους και της συνδεόμενης με αυτό ιζηματογένεσης, ο τρόπος με τον οποίο τη μελετάμε αλλά και γιατί είναι σημαντική η μελέτη της στον Ελλαδικό χώρο.

2.2 Γενικά στοιχεία για την διάβρωση

2.2.1 Διάβρωση σε παγκόσμια κλίμακα

Η διάβρωση και αντίστοιχα η ιζηματογένεση είναι φυσικές διεργασίες που προκαλούνται από ποικίλους παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι φυσικοί ή ανθρωπογενείς. Στους φυσικούς παράγοντες αναφέρονται η υδάτινη διάβρωση (κατακρημνίσεις, ποτάμια, λίμνες, θάλασσες), η διάβρωση λόγω πάγου (παγετώνες, χιόνι), η διάβρωση λόγω ανέμου, η διάβρωση λόγω του εδάφους, η βαρυτική και η βιολογική διάβρωση (φυτά, ζώα). Οι πιο σημαντικοί τύποι φυσικής διάβρωσης σε μεγάλες κλίμακες είναι αυτοί που οφείλονται στις κατακρημνίσεις και στους ανέμους. Στους ανθρωπογενείς παράγοντες εντάσσονται ενέργειες όπως η καλλιέργεια της

γης, η υπερβολική αύξηση των βοσκοτόπων, η αποψίλωση των δασών, η δημιουργία φραγμάτων όπως και η μη αποκατάσταση ορυχείων. Οι παραπάνω ενέργειες καθώς και πλήθος ακόμα παραπλήσιων δημιουργούν έντονα φαινόμενα διάβρωσης. Οι Brown and Wolf (1984), δημοσίευσαν μια έρευνα κατά την οποία φαίνεται ότι ενώ οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις παγκοσμίως είχαν μέγεθος $0.3148 \cdot 10^6$ εκτάρια (ha), το χώμα που είχε απομακρυνθεί λόγω της διάβρωσης ήταν $25.4 \cdot 10^6$ τόνοι (t). Στη διάβρωση, μελετούνται συνήθως οι φυσικοί παράγοντες ενώ ο άνθρωπος έμμεσα επηρεάζει όλους τους υπόλοιπους.

Τα εδάφη που σχηματίστηκαν λόγω του φαινομένου της διάβρωσης και της ιζηματογένεσης θεωρούνται ως πολύ γόνιμα (Soil Survey Staff, 1951). Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 1/3 του παγκόσμιου πληθυσμού καλύπτει τις ανάγκες του από γεωργικά προϊόντα που παράγονται σε εδάφη που έχουν υποστεί αναδιανομή χώματος, αφού το φαινόμενο βοηθάει στην απομάκρυνση του άγονου, χωρίς θρεπτικά συστατικά εδάφους και την αποκάλυψη του περισσότερου γόνιμου υπεδάφους. Ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους (απότομες πλαγιές, επίπεδες εκτάσεις χωρίς το φαινόμενο ιζηματογένεσης από γειτονικές περιοχές) όμως οι ρυθμοί διάβρωσης, είτε μικροί είτε μεγάλοι, μπορεί να μη βοηθούν στη γονιμότητά του.

Πίνακας 2.1 Υποβάθμιση εδάφους λόγω διάβρωσης (Mabit et al,2014).

Περιοχή	Εμβαδό επιφάνειας υποβαθμισμένων εδαφών (σε εκατομμύρια εκτάρια)		
	Υδατική διάβρωση	Αιολική διάβρωση	Συνολική διάβρωση
Αφρική	227,3	187,8	415,1
Ασία	435,2 (39,6%)	224,1 (40,7%)	659,3 (40,0%)
Κεντρική Αμερική και Μεξικό	46,5	4,4	50,9
Νότια Αμερική	124,1	41,4	165,5
Υποσύνολο χωρών του τρίτου κόσμου	833,1 (75,7%)	457,7 (83,2%)	1290,8 (78,2%)
Σύνολο παγκοσμίως	1100,0	550,0	1650,0

Τα δεδομένα στις παρενθέσεις δείχνουν το % ποσοστό επί του παγκόσμιου συνόλου.
1 εκτάριο (1ha) ισούται με 10.000 m^2 , δηλ. 10 στρέμματα.

2.2.2 Το πρόβλημα της διάβρωσης του εδάφους

Το φαινόμενο της διάβρωσης του εδάφους ξεκινάει όταν οι κατακρημνίσεις (κυρίως η βροχόπτωση) σε μια περιοχή είναι μεγαλύτερες από την απορροφητικότητα του αντίστοιχου

εδάφους, ή όταν σε κάποια περιοχή το έδαφος είναι κορεσμένο σε νερό ή υγρασία. Εξαιτίας αυτού του φαινομένου το νερό παραμένει στην επιφάνεια του εδάφους και εφόσον στην περιοχή υπάρχει κλίση το επιφανειακό χώμα συμπαρασέρνεται και δημιουργείται διάβρωση. Τα προβλήματα που ανακύπτουν διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε αυτά που προκύπτουν στα εδάφη όπου συμβαίνει η διάβρωση (on-site effects) και σε εκείνα που δημιουργούνται σε γειτονικές περιοχές λόγω της μεταφοράς του χώματος από την περιοχή διάβρωσης (off-site effects).

Στην πρώτη κατηγορία, χαρακτηριστικό πρόβλημα αποτελεί η μεταβολή του ποσοστού άνθρακα στο εκάστοτε οικοσύστημα. Ως συνέπεια υπάρχει σημαντική απώλεια οργανικής ύλης και κατ' επέκταση επηρεάζεται η γονιμότητα του εδάφους, η απόδοση, αλλά και η ποιότητα της παραγωγής. Είναι σημαντικό λοιπόν να υπάρχει έλεγχος στη διάβρωση εδαφών τα οποία καλλιεργούνται μακροχρόνια.

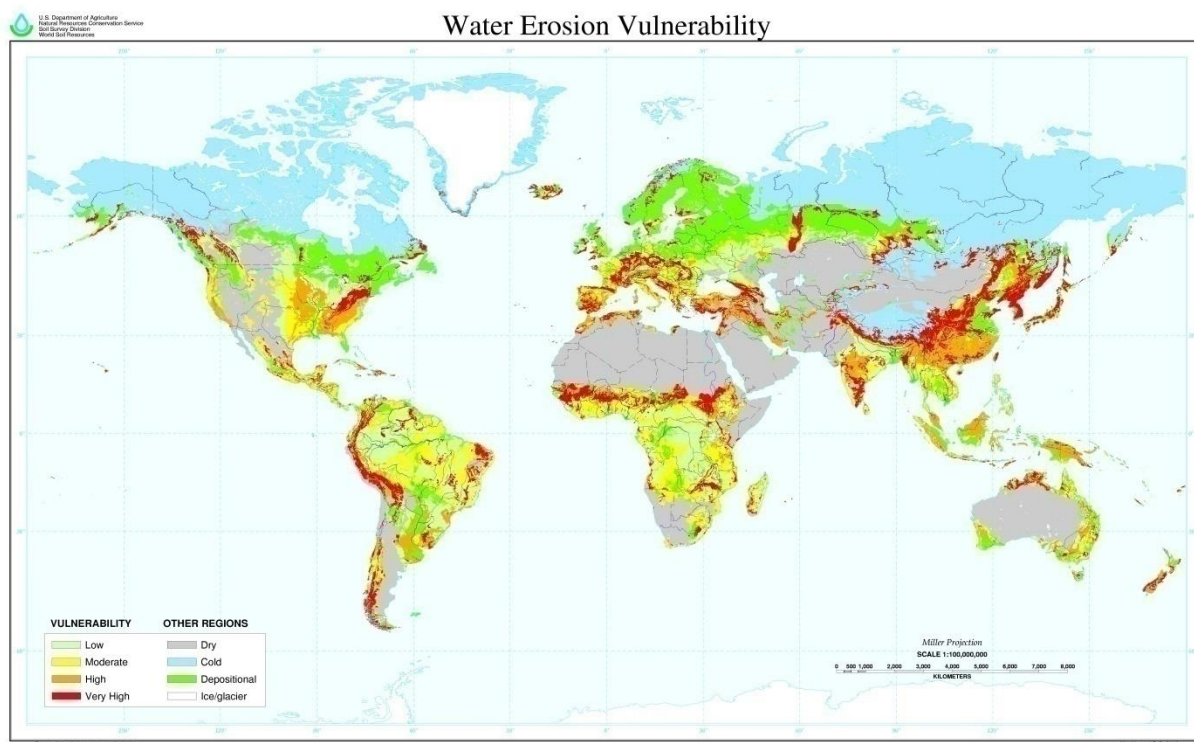
Στη δεύτερη κατηγορία, χαρακτηριστικό πρόβλημα αποτελεί η μεταφορά χώματος σε υδάτινα οικοσυστήματα λόγω διάβρωσης σε γειτονική περιοχή. Στις μέρες μας, η εκτενή χρήση φυτοφάρμακων στη γεωργία σε συνδυασμό με την εδαφική διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα τη ρύπανση και υποβάθμιση των ποταμών, των λεκανών απορροής και γενικά των υδάτινων οικοσυστημάτων.

Την τελευταία δεκαετία, στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης εκτιμάται ότι οι συνέπειες της διάβρωσης των εδαφών σε παγκόσμιο επίπεδο καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό στις οικονομικές ζημιές και συνεπώς στην επίτευξη του στόχου. Απαιτείται λοιπόν διερεύνηση στο πρόβλημα της διάβρωσης των εδαφών και άντληση πληροφοριών που αφορούν την έκταση και τους ρυθμούς διάβρωσης, ώστε να γίνει μια αξιόπιστη περιβαλλοντική μελέτη που θα είναι ικανή να εξασφαλίσει τους ήδη περιορισμένους εδαφικούς πόρους για τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου όπου ο πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατός ο σχεδιασμός μεθοδολογιών ελέγχου της διάβρωσης, η δημιουργία βιώσιμων γεωργικών τεχνικών αλλά και η προστασία των κατοίκων από περιβαλλοντικές καταστροφές όπως πυρκαγιές και πλημμύρες.

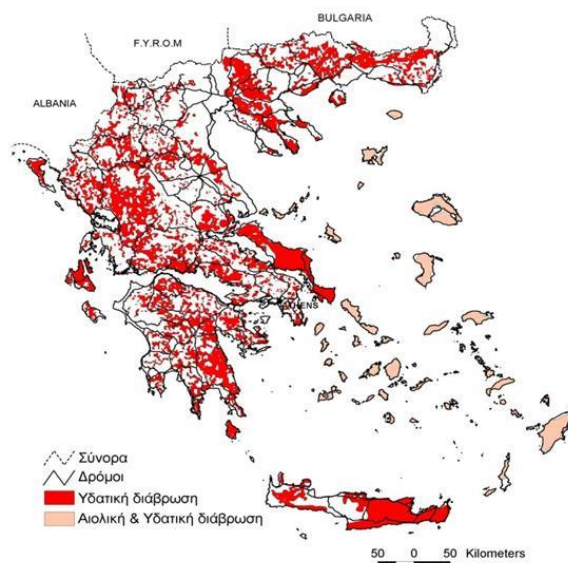
Από τους χάρτες διάβρωσης που ακολουθούν φαίνεται ότι ιδιαίτερα προβλήματα διάβρωσης αντιμετωπίζουν οι περιοχές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο θάλασσα και οι περιοχές της

κεντρικής και νοτιοανατολικής Ασίας. Στις περιοχές αυτές συναντάμε ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς και έντονα κλιματικά φαινόμενα. Οι πυκνές και συνεχείς βροχοπτώσεις συνήθως δημιουργούν πλημμύρες. Οι μεγάλες περίοδοι ξηρασίας που ακολουθούν και η ανθρώπινη δραστηριότητα προκαλούν πυρκαγιές. Ο συνδυασμός των παραπάνω με τις μεγάλες κλίσεις που χαρακτηρίζουν τις περιοχές προκαλούν έντονα φαινόμενα διάβρωσης.

Πιο συγκεκριμένα, στον ελλαδικό χώρο τα φαινόμενα διάβρωσης γίνονται όλο και πιο έντονα λόγω των πρόσφατων έντονων περιβαλλοντικών καταστροφών (πλημμύρες, πυρκαγιές). Σημαντικό ρόλο στη διάβρωση έχει η μακροχρόνια μονοκαλλιέργεια, η χρήση βαρέων μηχανημάτων για τη γεωργία, τα ψαθυρά εδάφη καθώς και η καθ' υπερβολή βόσκηση που απογυμνώνει τα βουνά. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα έντονης διάβρωσης εδάφους στην Ελλάδα ήταν η ολική απομάκρυνση μιας παχιάς επιφάνειας χώματος σε λοφογενή περιοχή της κεντρικής Ελλάδας με ρυθμό διάβρωσης που ξεπερνούσε το 1cm/yr (Danalatos, 1993).



Εικόνα2.1 Ευπάθεια εδαφών στη διάβρωση από το νερό (USDA-NRCS, Soil Science Division, 2003).



Εικόνα2. 2 Περιοχές με υψηλά ρίσκα πιθανής διάβρωσης (Kosmas etal. 2006a).

Πίνακας 2.2 Παράγοντες διάβρωσης (Συλλαίος etal., 2007).

Εδαφογενετικοί παράγοντες	Παράγοντες Διάβρωσης	Στοιχεία	Εμφάνιση στις αεροφωτογραφίες	Παρατηρούμενα στοιχεία των Α/Φ
Κλίμα	Κλίμα	Βροχόπτωση, ποσό, ένταση, διαστήματα ανομβρίας, ταχύτητα και διάρκεια ανέμου	Ενδείξεις	Βλάστηση, μορφή αναγλύφου, υδρογραφικά δίκτυα, χρήση γης
Μητρικό υλικό	Μητρικό υλικό	Υπεδάφεια διάβρωση, αποσάθρωση	»	Βλάστηση, μορφή αναγλύφου, υδρογραφικά δίκτυα
Τοπογραφία	Κλίση	Μορφή, βάθος, μήκος, έκταση	Σαφής	Κλίση
Βασική βλάστηση	Φυτική κάλυψη	Είδος, βαθμός, περίοδοι κάλυψης	»	Φωτογραφικός τόνος και υφή τόνου
Χρόνος	Παρούσα διάβρωση	Ανάπτυξη διάβρωσης «διάβρωση προκαλεί διάβρωση», ηλικία χαραδρών, σταθεροποίηση χαραδρών	»	Υδρογραφικά δίκτυα, φωτογραφικός τόνος και υφή τόνου
Άνθρωπος	Άνθρωπος	Κακή διαχείριση γης, εξαντλητική βόσκηση, φωτιές	Ενδείξεις ή σαφής	Υδρογραφικά δίκτυα, φωτογραφικός τόνος, κατανομή αγροτεμαχίων, τεχνικά έργα
Εδαφοκατατομή	Εδαφοκατατομή	Υπεδάφεια διάβρωση, διηθητικότητα, υδατοϊκανότητα, σταθερότητα συσσωματωμάτων	Ασαφής	---
	Σεισμοί, κατολισθήσεις	Κατολισθήσεις, ερπυσμός	Σαφής	Μορφή αναγλύφου και μικροαναγλύφου

2.3 Μελέτη της διάβρωσης και ιζηματογένεσης του εδάφους

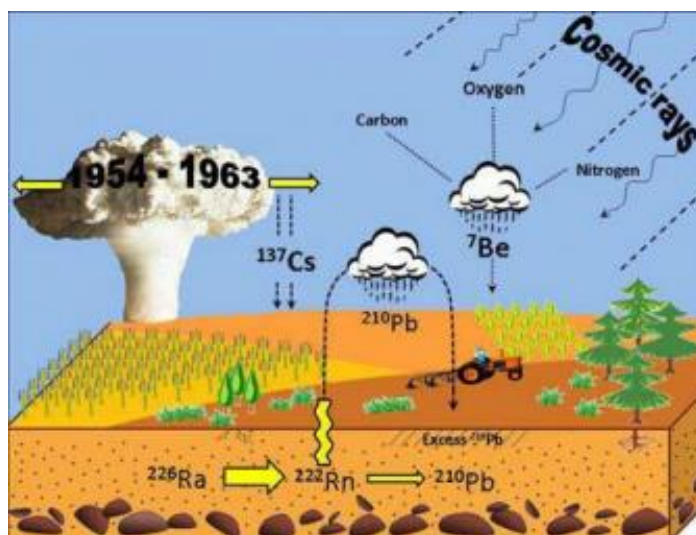
Η μελέτη της διάβρωσης του εδάφους και της συνδεδεμένης με αυτήν ιζηματογένεσης ξεκίνησε στις αρχές του δεύτερου μισού του 20^{ου} αιώνα με μεθόδους που βασίζονταν κυρίως σε μετρήσεις ιζημάτων σε αγροτικές περιοχές (Zing, 1940), (Smith, 1958), (Wischmeier και Smith, 1962). Με τον καιρό αναπτύχθηκαν διάφορα αναλυτικά μαθηματικά μοντέλα, εμπειρικά μοντέλα αλλά και μοντέλα πρόβλεψης τα οποία είναι αξιόπιστα και για εκτενείς εκτάσεις. Ανάλογα με τα διαθέσιμα μέσα και τους στόχους της κάθε μελέτης γίνεται η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου.

2.3.1 Κλασσικές μέθοδοι μελέτης της διάβρωσης

Στην Παράγραφο 2.2.2 παρουσιάστηκαν τα μεγάλα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει η διάβρωση του εδάφους. Για την εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης έχουν δημιουργηθεί και χρησιμοποιηθεί πολλά εμπειρικά και μαθηματικά μοντέλα. Μερικά από αυτά είναι τα USLE, RUSLE (Wischmeier και Smith, 1965 1978), MUSLE (Williams, 1975), SEDD (Ferro και Porto, 2000), AGNPS, LASCAM (Viney και Sivapalan, 1999), ANSWERS, LISEM, CREAMS (Knisel, 1980), WEPP (Lane και Nearing, 1989), EUROSEM (Morgan et al., 1998), KINEROS, RUNOFF, WESP, CASC2D-SED, SEM, SHEDED, κ.ά. Τα παραπάνω χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με διάφορα κλιματικά και γεωλογικά δεδομένα και βοηθούν στην αποτίμηση της χωρικής μορφής και του ρυθμού διάβρωσης. Το πιο διαδεδομένο μοντέλο ήταν η *Γενική Εξίσωση Απώλειας Χώματος* (UniversalSoilLossEquation-USLE) που αποτελεί ένα εμπειρικό μοντέλο το οποίο βασίζεται σε παράγοντες όπως οι ιδιότητες του χώματος, η μορφολογία του εδάφους κ.ά (Wischmeier and Smith, 1965). Στη συνέχεια αναπτύχθηκε ένα βελτιωμένο μοντέλο που βασίστηκε στο USLE, η *Αναθεωρημένη Γενική Εξίσωση Απώλειας Χώματος* (RevisedUniversalSoilLossEquation-RUSLE). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε εκτενώς, παρ' όλα αυτά είχε αρκετά μειονεκτήματα όπως και τα προηγούμενα, τα κυριότερα των οποίων είναι ότι χρειάζονται δεδομένα που απαιτούν μακροχρόνιες μελέτες και χαρακτηρίζονται από περιορισμούς που αφορούν τη χωρική κατανομή των ρυθμών διάβρωσης για μεγάλες περιοχές και την αδυναμία παροχής πληροφοριών για μακροχρόνιους ρυθμούς διάβρωσης. Το ίδιο ισχύει φυσικά και για τους αντίστοιχους ρυθμούς ιζηματογένεσης. Σε συνδυασμό με το μεγάλο οικονομικό κόστος που απαιτούν, δημιουργήθηκε η ανάγκη εύρεσης εναλλακτικών τρόπων προσδιορισμού του ρυθμού διάβρωσης, οι οποίοι θα ήταν πιο αποδοτικοί.

2.3.2 Η χρήση ραδιοϊσοτόπων στις μελέτες διάβρωσης

Στη σύγχρονη εποχή, η μελέτη της διάβρωσης του εδάφους γίνεται μέσω μιας συγκεκριμένης ομάδας ραδιενεργών ισοτόπων που ονομάζονται ‘Fallout Radionuclides’. Τα ‘Fallout Radionuclides’, συντομογραφία ‘FRNs’, ονομάζονται τα φυσικά και τεχνητά ραδιοϊσότοπα που εναποτίθενται στην επιφάνεια του εδάφους από την ατμόσφαιρα. Ο μηχανισμός στον οποίο βασίζονται οι τεχνικές για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης είναι το φαινόμενο της επικάθησης των FRNs σε λεπτά σωματίδια και η μεταφορά τους, μαζί με αυτά, μέσω των φυσικών διεργασιών. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα FRNs είναι το ανθρωπογενές ραδιενεργό ισότοπο καίσιο (^{137}Cs), το οποίο προέρχεται από πυρηνικές δοκιμές και πυρηνικά ατυχήματα, το γεωγενές ραδιενεργό ισότοπο μόλυβδος (^{210}Pb), το οποίο προέρχεται από την διάσπαση του ραδονίου Rn-222 , που απελευθερώνεται από το υπέδαφος στην ατμόσφαιρα και τέλος, το κοσμικής προέλευσης ραδιενεργό ισότοπο, βηρύλλιο (^7Be), το οποίο προέρχεται από την αντίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας με τη γήινη ατμόσφαιρα.



Εικόνα 2.3 Παραγωγή των ραδιοϊσοτόπων που χρησιμοποιούνται στις πυρηνικές τεχνικές προσδιορισμού διάβρωσης (Σπανάκου, 2017)

Η τεχνική των FRNs παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές. Έχει αποδειχθεί ότι παρέχει πληροφορίες για τη διάβρωση μιας περιοχής από τη στιγμή που το προς μελέτη FRN επικάθησε στο έδαφος, το οποίο σημαίνει ότι παρέχει ολοκληρωμένες χρονικά εκτιμήσεις. Επιπλέον, η δειγματοληψία μπορεί να πραγματοποιηθεί μια φορά αποφεύγοντας χρονοβόρες και οικονομικά επίπονες διαδικασίες για τη συστηματική

παρακολούθηση περιοχών. Η μελέτη των FRNs παρέχει πληροφορίες για τη διάβρωση του εδάφους ανεξάρτητα από τις φυσικές διεργασίες μεταφοράς χόματος που έχει υποστεί η προς μελέτη περιοχή, δίνοντας έτσι δεδομένα για τους καθαρούς ρυθμούς ανακατανομής χόματος, γεγονός το οποίο με τις συμβατικές μεθόδους δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί. Στον Πίνακα 2.3 απεικονίζεται η σύγκριση-αξιολόγηση των πυρηνικών αναλυτικών τεχνικών και των συμβατικών τεχνικών για τη διάβρωση και την ιζηματογένεση του εδάφους. Μπορούμε εύκολα να συμπεράνουμε ότι η μέθοδος των FRNs καταλήγει να είναι μια πολύ σημαντική προσθήκη στις ήδη υπάρχουσες κλασικές τεχνικές.

Πίνακας 2.3 Σύγκριση πυρηνικών και συμβατικών τεχνικών για τον προσδιορισμό διάβρωσης (Mabit et al., 2014).

Study scale	Fallout radionuclides		Conventional measurements	
	FRN(s)	Net erosion rate (t · ha ⁻¹ · yr ⁻¹)	Method	Net erosion rate (t · ha ⁻¹ · yr ⁻¹)
Basin, 217 km ²	¹³⁷ Cs	2.8	USLE	3
Field, 1 ha	¹³⁷ Cs ²¹⁰ Pb _{ex}	12.1 to 14.3	RUSLE 2	12.1
Small watersheds, 1 to 2 ha	¹³⁷ Cs	8.9 to 14.7	Sediment measurements at the outlet	7.8 to 19.2

1Km² = 100 ha

2.3.3 Η τεχνική των FRNs

Όπως προαναφέρθηκε, τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ραδιοϊσότοπα στις πυρηνικές τεχνικές προσδιορισμού αναδιανομής χόματος είναι το Cs-137, ο Pb-210 και το Be-7. Τα συγκεκριμένα ραδιοϊσότοπα είναι εύκολα ανιχνεύσιμα και έχουν γεωχημική συμπεριφορά ιδανική για τη χρήση τους σε τέτοιες εφαρμογές.

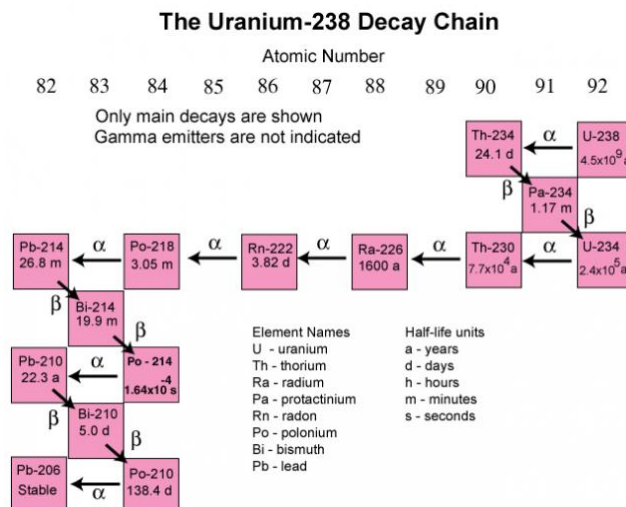
2.3.3.1 Χαρακτηριστικά των προς μελέτη ραδιοϊσοτόπων

Καίσιο (Cs-137). Το Cs-137 αφού απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα, μετά από ένα πυρηνικό ατύχημα ή μια πυρηνική δοκιμή, και μέσω των κατακρμνήσεων φτάσει στο έδαφος, απορροφάται γρήγορα από τα σωματίδια του εδάφους μέσω ανταλλαγής κατιόντων. Η ποσότητα που κατακάθεται στα φυτά θεωρείται αμελητέα και είτε ξεπλένεται από τη βροχή είτε καταλήγει

στο χώμα μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Υπολογίζεται ότι η απελευθέρωση του Cs-137 ξεκίνησε το 1954 με τις πυρηνικές δοκιμές και κορυφώθηκε το 1963. Στη συνέχεια, το ατύχημα του Τσερνόμπιλ αποτέλεσε μεγάλη πηγή διασποράς καισίου (De Cort et al., 1998). Το Cs-137 έχει χρόνο υποδιπλασιασμού περίπου τριάντα (30) χρόνια και ανιχνεύεται σε δείγματα χώματος με γ-φασματοσκοπική ανάλυση μέσα της φωτοκορυφής των 661.657keV.

Μόλυβδος in excess (Pb-210 ex). Ο Pb-210 είναι φυσικό ραδιενεργό ισότοπο που προέρχεται από τη ραδιενεργό σειρά του U-238 (Εικόνα 2.4) και έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 22.23 χρόνια. Στη ραδιενεργό αυτή σειρά, πριν από τον Pb-210 παράγεται το ραδιενεργό αέριο Rn-222. Ένα ποσοστό του Rn-222 ξεφεύγει από το υπέδαφος όπου παράγεται στην ατμόσφαιρα όπου συνεχίζει να διασπάται, με χρόνο υποδιπλασιασμού του 3.8232 μέρες και τελικά καταλήγει στο έδαφος ως Pb-210. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο Pb-210 ο οποίος παράγεται στο έδαφος να εμλουτίζεται με τον Pb-210 που αποτίεται και να μη βρίσκεται σε ραδιενεργό ισορροπία με τους πατρικούς του πυρήνες. Η περίσσεια αυτή του Pb-210 στο έδαφος ονομάζεται Pb-210ex (excess) και χρησιμοποιείται στις μελέτες διάβρωσης. Συνήθως, η περίσσεια υπολογίζεται μέσω του πατρικού πυρήνα Ra-226. Η απορρόφηση του Pb-210ex, γίνεται γρήγορα από τα σωματίδια του εδάφους σχηματίζοντας σύμπλοκα εσωτερικής σφαίρας. Η απόθεσή του στα φυτά είναι αμελητέα. Ο Pb-210 ex ανιχνεύεται με γ-φασματοσκοπική ανάλυση από τη φωτοκορυφή των 46.539keV. Περαιτέρω ανάλυση γίνεται στην Παράγραφο 6.4.

Βυρήλλιο (Be-7). Το Be-7 είναι βραχύβιο ραδιενεργό ισότοπο κοσμικής προέλευσης με χρόνο υποδιπλασιασμού 53.22 ημέρες. Συνήθως, όταν φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους βρίσκεται σε μορφή κατιόντων και συνεπώς γίνεται γρήγορη προσρόφηση από τα σωματίδια του εδάφους μέσω ανταλλαγής κατιόντων. Εντοπίζεται κυρίως σε μικρά βάθη στο έδαφος, και μετά την απορρόφηση του από βιολογικούς οργανισμούς, η πιθανότητα να καταλήξει στο έδαφος είναι μικρή. Το Be-7 ανιχνεύεται και αυτό με γ-φασματοσκοπική ανάλυση από την φωτοκορυφή των 477.6keV.



Εικόνα 2.4 Ραδιενεργός σειρά Ουρανίου-238 (<https://www.epa.gov>, Σεπτέμβριος 2022)

2.3.3.2 Ο μηχανισμός λειτουργίας της τεχνικής των FRNs

Αρχικά, η κύρια παραδοχή που υπάρχει σε όλες τις τεχνικές που χρησιμοποιούν ραδιοϊσότοπα για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανακατανομής του εδάφους, είναι ότι αυτά τα ραδιοϊσότοπα μετακινούνται αποκλειστικά μαζί με το χώμα. Η υπόθεση αυτή έχει ισχυρά θεμέλια, αφού τα προς μελέτη ραδιοϊσότοπα απορροφούνται ισχυρά, γρήγορα και μη-αναστρέψιμα από τα σωματίδια του εδάφους. Επίσης, θεωρείται ότι οι κύριες δραστηριότητες που προκαλούν τη μεταφορά του χώματος είναι φυσικές διεργασίες συμπεριλαμβανομένου και του οργώματος του εδάφους. Μια ακόμη παραδοχή που γίνεται αφορά την εναπόθεση των FRNs στο έδαφος βάση της οποίας θεωρείται ότι υπάρχει μια χωρικά ομοιογενής απόθεση στο έδαφος, τουλάχιστον σε μικρές εκτάσεις. Εάν τα χαρακτηριστικά του εδάφους της τοποθεσίας αναφοράς και της τοποθεσίας πιθανής διάβρωσης είναι συγκρίσιμα, τότε πρέπει και οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την κατά βάθος μετακίνηση και διάχυση των ραδιοϊσοτόπων να είναι παρόμοιοι. Με αυτές τις παραδοχές, τα ραδιενεργά ισότοπα αποτελούν ιχνηλάτες, των οποίων η μελέτη της κατανομής τους δίνει πληροφορίες σχετικά με τη μετακίνηση και ανακατανομή του εδάφους και τον βραχυχρόνιο ή τον μακροχρόνιο ρυθμό διάβρωσης και ιζηματογένεσης μιας περιοχής (Σπανάκου, 2017).

Η βασική ιδέα λειτουργίας των τεχνικών με FRNs βασίζεται σε σύγκριση της επιφανειακής συγκέντρωσης ραδιενέργειας (Bq/m^2) ενός εκ των ραδιοϊσοτόπων ιχνηλάτες σε ένα δείγμα χώματος που έχει ληφθεί από περιοχή πιθανής διάβρωσης ή ιζηματογένεσης, με αντίστοιχο

δείγμα χώματος μιας γειτονικής περιοχής αναφοράς, στην οποία μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει καμία δραστηριότητα ανακατανομής του εδάφους. Γνωρίζοντας ότι η παραμένουσα απόθεση, δηλαδή η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας των FRNs στο έδαφος μεταβάλλεται από την εναπόθεση ισοτόπων από την ατμόσφαιρα, από τη μεταφορά ιζήματος μέσω φυσικών διεργασιών και φυσικά από τη ραδιενεργό διάσπαση των πυρήνων, εύκολα προκύπτουν δύο συμπεράσματα μέσω της σύγκρισης:

- Στην πρώτη περίπτωση, η συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας στο δείγμα αναφοράς είναι μεγαλύτερη από ότι αυτή στο δείγμα της περιοχής διάβρωσης. Στο παράδειγμα αυτό συμπεραίνεται ότι υπάρχει απώλεια μάζας χώματος από την περιοχή διάβρωσης, συνεπώς η συγκεκριμένη περιοχή έχει υποστεί διάβρωση.
- Στη δεύτερη περίπτωση, η συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας στο δείγμα αναφοράς είναι μικρότερη από ότι αυτή στο δείγμα της περιοχής διάβρωσης. Στο παράδειγμα αυτό συμπεραίνεται ότι υπάρχει απόθεση μάζας χώματος, πιθανότατα από γειτονική περιοχή. Συνεπώς, στην συγκεκριμένη περιοχή υπάρχει ιζηματογένεση.

Βασική πρόκληση σε ένα τέτοιο μοντέλο είναι η μετατροπή των FRNs σε ποσοτικές εκτιμήσεις της ανακατανομής του χώματος. Από τις αρχές ανάπτυξης της τεχνικής των FRNs μέχρι σήμερα, έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός μοντέλων υπολογισμού στην επιστημονική κοινότητα, με το καθένα από αυτά όμως να μην μπορεί να καλύψει ικανοποιητικό αριθμό περιπτώσεων που συναντάμε.

2.3.4 Μοντέλα υπολογισμού ρυθμών ανακατανομής χώματος με χρήση ραδιοϊσοτόπων

Υπάρχουν δύο κατηγορίες μοντέλων υπολογισμού ανακατανομής χώματος μέσω FRNs που χρησιμοποιούνται στις μελέτες διάβρωσης, τα θεωρητικά και τα εμπειρικά. Τα θεωρητικά μοντέλα, όπως λέει και το όνομά τους, βασίζονται σε θεωρητικές μαθηματικές σχέσεις οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας του εκάστοτε ραδιοϊσοτόπου. Αντίθετα, τα εμπειρικά μοντέλα, απαιτούν αρχικά διαδικασία δειγματοληψίας χώματος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούν συγκριτικές σχέσεις μεταξύ της επιφανειακής συγκέντρωσης ραδιενέργειας των δειγμάτων αναφοράς και των δειγμάτων διάβρωσης. Μια ακόμα διαφοροποίηση αφορά τα διαταραγμένα και τα χέρσα εδάφη. Ακολουθεί

σύντομη παρουσίαση μερικών από τα μοντέλα, καθώς στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα από αυτά, το οποίο περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

2.3.4.1 Θεωρητικά μοντέλα

Για τα διαταραγμένα εδάφη, κυρίως λόγω γεωργικής δραστηριότητας, έχει αναπτυχθεί το Αναλογικό Μοντέλο (Proportional Model, PM) από τους Walling and Quine, 1990, το Μοντέλο Σταθμικής Προσέγγισης και τα Μοντέλα Ισοζυγίου Μάζας (Mass Balance Models, MBM 1, 2 και 3) (Zhang et al., 1990, Walling and He, 1999a, Walling and Quine, 1993 και Walling and He 1999a). Οι διαφοροποιήσεις στα παραπάνω μοντέλα οφείλονται στην πολυπλοκότητα που παρουσιάζει το καθένα από αυτά στον τρόπο υπολογισμού του ρυθμού διάβρωσης αλλά και στους παράγοντες που χρησιμοποιούν. Για παράδειγμα, στο PM, θεωρείται ότι η μείωση του Cs-137 στο δείγμα αναφοράς είναι ανάλογη με τη μείωση του ποσοστού βάθους στην προς μελέτη περιοχή, ενώ στα MBM γίνεται μοντελοποίηση για τη χρονική μεταβολή του Cs-137 στο έδαφος, για τις απώλειες λόγω της διάβρωσης, αλλά και για την προσθήκη μάζας χώματος που δεν περιέχει Cs-137 η οποία βρίσκεται σε σημεία κάτω του βάθους κ.ά.

Για τα χέρσα εδάφη, που αποτελούνται κυρίως από λιβάδια και βοσκοτόπια, έχει αναπτυχθεί το Μοντέλο Κατανομής Προφίλ (Profile Shape Model) (Zhang et al., 1990 και Walling and Quine, 1993) και το Μοντέλο Διάχυσης και Μετανάστευσης (Diffusion and Migration Model, DMM) (Walling and He, 1992, 1993 και He and Walling, 1997).

Στον Πίνακα 2.4 φαίνονται συνοπτικά όλα τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για κάθε τύπο εδάφους και για κάθε ραδιοϊσότοπο ξεχωριστά.

Πίνακας 2.4 Κατηγοριοποίηση μοντέλων ανάλογα με τον τύπο του εδάφους και το ραδιοϊσότοπο (Walling et al., 2014).

FRN	Cultivated	Uncultivated (Pasture)
¹³⁷ Cs	Proportional Model	Profile Shape Model
	Simplified mass balance model (Mass Balance Model 1)	Diffusion and Migration model
	Mass Balance Model 2	
²¹⁰ Pb	Mass balance model with tillage (Mass Balance Model 3)	
	Mass Balance Model 2	Diffusion and Migration model
	Mass balance model with tillage (Mass Balance Model 3)	
⁷ Be	Profile Shape Model	

2.3.4.2 Εμπειρικά μοντέλα

Στα εμπειρικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί ανά τα χρόνια χρησιμοποιούνται απλές εμπειρικές εξισώσεις οι οποίες έχουν βασιστεί, σε παλαιότερα μοντέλα και πειραματικά δεδομένα, για τον σχηματισμό τους, και είναι της μορφής:

$$Y = \alpha * X^\beta, \text{ με } X = \frac{A_{ref}-A}{A_{ref}} * 100\% \quad (2.1)$$

Όπου:

- Y : ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας χώματος ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$),
- X : η εκατοστιαία μείωση της συνολικής παραμένουσας απόθεσης του Cs-137,
- A_{ref} : η τοπική παραμένουσα απόθεση αναφοράς του Cs-137 (Bq/m^2),
- A : η μετρούμενη συνολική παραμένουσα απόθεση του Cs-137 (Bq/m^2),
- α, β : σταθερές που πρέπει να προσδιοριστούν.

Για παράδειγμα οι Ritchie και McHenry (1975) χρησιμοποίησαν την σχέση 2.1 θέτοντας $\alpha=0.88$ και $\beta=1.18$.

Για τα χέρσα εδάφη, έχει αναπτυχθεί η εμπειρική σχέση (Elliott et al., 1990 και Loughran and Campell, 1995):

$$Y = 80.6 * 1.07^X \quad (2.2)$$

Όπου :

- Y : ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας χώματος ($t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$),
- X : η εκατοστιαία μείωση της συνολικής παραμένουσας απόθεσης του Cs-137.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σταθεροί όροι της παραπάνω εξίσωσης υπολογίστηκαν με τη χρήση τριάντα ενός (31) πειραματικών σημείων στην περιοχή της νότιας Ουαλίας. Για τα σημεία αυτά είχε προηγηθεί ο υπολογισμός του ρυθμού διάβρωσης με τη χρήση της USLE και στην συνέχεια έγινε η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X και Y.

Για τα διαταραγμένα εδάφη, έχει αναπτυχθεί η εμπειρική σχέση κατά αντίστοιχο τρόπο (Elliott et al., 1990 και Loughran and Campell, 1995):

$$Y = 7.74 * 1.09^X \quad (2.3)$$

Όπου :

- Y : ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας χώματος ($t \text{ ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$),
- X : η εκατοστιαία μείωση της συνολικής παραμένουσας απόθεσης του Cs-137.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων α , β χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 60 πειραματικά σημεία στην περιοχή της νότιας Ουαλίας. Για τα σημεία αυτά είχε προηγηθεί ο υπολογισμός του ρυθμού διάβρωσης με τη χρήση της USLE και στη συνέχεια έγινε η συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών X και Y.

2.3.4.3 Αξιολόγηση των εμπειρικών και θεωρητικών μοντέλων

Τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται άμεσα στον κατάλληλο προσδιορισμό των σταθερών τιμών α , β της εξίσωσης 2.1. Όμως, οι σταθερές αυτές προκύπτουν από δείγματα χώματος τα οποία εξαρτώνται από τις ιδιότητες και τη σύσταση του εκάστοτε εδάφους, καθώς και από ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε και στην Παράγραφο 2.3.1, οι τεχνικές με τις οποίες γίνονται οι μετρήσεις για τους ρυθμούς διάβρωσης στα συγκεκριμένα δείγματα έχουν μεγάλα ποσοστά αβεβαιότητας και ταυτόχρονα είναι χρονικά εξαρτώμενες, συνεπώς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν μεταγενέστερα, όπως έκαναν οι Menzel et al. (1987) με την σχέση $Y = 0.88 * X^{1.18}$. Ένα ακόμα σημαντικό μειονέκτημα των εμπειρικών μοντέλων είναι ότι δεν δίνουν τη δυνατότητα υπολογισμού του ρυθμού ιζηματογένεσης.

Στον αντίποδα, τα θεωρητικά μοντέλα προσδιορισμού αναδιανομής χώματος παρουσιάζουν διάφορες δυνατότητες και περιορισμούς ανάλογα με το μοντέλο που επιλέγεται για την κάθε μελέτη. Για παράδειγμα, το Αναλογικό Μοντέλο και το Μοντέλο Κατανομής Προφίλ είναι απλά στη χρήση τους και δεν απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων, συνήθως όμως τα αποτελέσματα που παρέχουν δεν αντιπροσωπεύουν σημαντικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία της διάβρωσης και συνεπώς κρίνονται μη αξιόπιστα. Αντίθετα, από το Μοντέλο Ισοζυγίου Μάζας και το Μοντέλο Διάχυσης και Μετανάστευσης, προκύπτουν αξιόπιστα αποτελέσματα, όμως χρειάζονται τον προσδιορισμό διάφορων παραμέτρων και πληροφοριών σχετικών με τα FRNs που χρησιμοποιούνται. Συνεπώς, το κόστος και η πολυπλοκότητα για τη χρήση τους αυξάνεται.

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζονται συνοπτικά οι πιο σημαντικές παράμετροι που χρησιμοποιούν τα θεωρητικά μοντέλα.

Πίνακας 2.5 Πίνακας παραμέτρων και δεδομένων για κάθε μοντέλο (Walling et al., 2014).

Model type	Parameter and data requirements
Proportional Model and Simplified mass balance model	Tillage depth, bulk density, year of tillage commencement
Mass Balance Model 2	Tillage depth, year of tillage commencement, proportion factor, relaxation depth, record of annual fallout flux ^a
Mass balance model with tillage (Mass Balance Model 3)	Tillage depth, tillage constant, proportion factor, relaxation depth, slope length and slope gradient for each section of the transect, record of annual fallout flux
Diffusion and Migration Model	Diffusion coefficient, relaxation depth, migration coefficient, record of annual fallout flux
Profile Shape Model	Profile shape factor

^a Only required for ¹³⁷Cs models

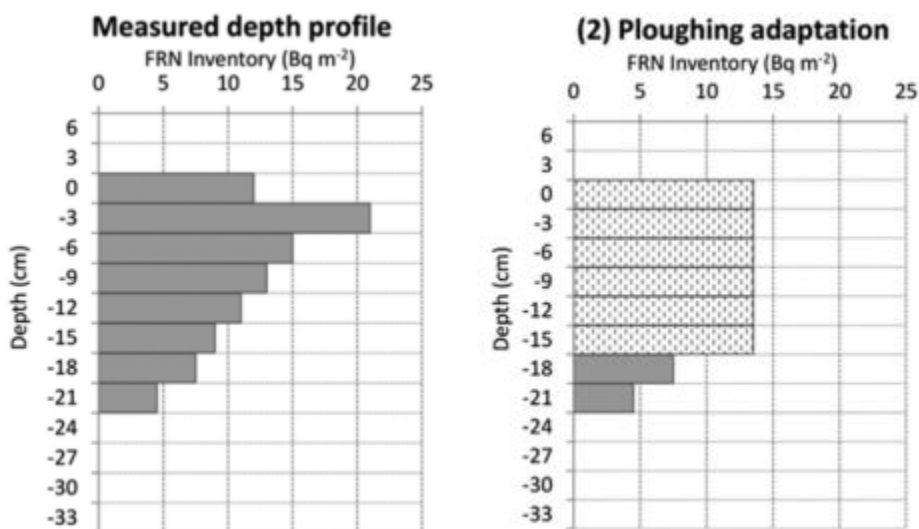
2.3.4.4 Το μοντέλο MODERN

Από την παρουσίαση των μοντέλων αναδιανομής χόματος με χρήση ραδιοϊσοτόπων που έγινε στις προηγούμενες ενότητες, προκύπτει η ανάγκη εύρεσης ενός νέου μοντέλου το οποίο θα είναι εύκολο στη χρήση του και θα παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα. Το 2016 παρουσιάστηκε το λογισμικό MODERN (Arata et al., 2016). Σκοπός του είναι να παρέχει τη δυνατότητα μετατροπής ραδιοϊσοτόπων του εδάφους σε ποσοστά διάβρωσης και ιζηματογένεσης κάτω από οποιοδήποτε γεωργικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, ανεξάρτητα από τον τύπο του FRN που χρησιμοποιείται. Σημαντικό πλεονέκτημα του MODERN είναι η δωρεάν διάθεση του κώδικα στο χρήστη, ώστε να μπορεί να τον προσαρμόσει σε οποιαδήποτε μελέτη με σχετική ευκολία.

Το MODERN όπως και τα παλαιότερα μοντέλα βασίζεται στην σύγκριση της επιφανειακής συγκέντρωσης σε ραδιενέργεια των ραδιοϊσοτόπων μεταξύ της περιοχής αναφοράς και της περιοχής πιθανής διάβρωσης. Όπως σε όλα τα μοντέλα μετατροπής, έτσι και στο MODERN, η βασική παραδοχή που γίνεται είναι ότι η κατά βάθος κατανομή του επιλεγμένου FRN θεωρείται ομοιόμορφη, τόσο στην τοποθεσία αναφοράς όσο και στην τοποθεσία πιθανής διάβρωσης. Άλλες παραδοχές που χρησιμοποιεί το MODERN έχουν να κάνουν με την ομοιόμορφη χωρική κατανομή της τοπικής ραδιενέργειας, γρήγορη, ισχυρή και μη-αναστρέψιμη προσρόφηση των FRNs από λεπτά σωματίδια του εδάφους και ανακατανομή των FRNs με φυσικές διεργασίες. Επομένως σε σύγκριση με άλλα μοντέλα, το MODERN πλεονεκτεί διότι, δεν απαιτεί

δειγματοληψία εγκάρσιας κλίμακας αλλά δίνει τη δυνατότητα να ληφθούν χωρικά διάσπαρτα δείγματα σε μια περιοχή.

Σχετικά με το πρόβλημα του χέρσου και διαταραγμένου εδάφους, το MODERN επιτρέπει προσαρμογή του προφίλ βάθους της τοποθεσίας αναφοράς, ώστε να λαμβάνει υπόψη τις διαδικασίες που επηρεάζουν την ανακατανομή του εδάφους. Η γεωργία επηρεάζει τη συγκέντρωση των ραδιοϊσοτόπων στο έδαφος κατακόρυφα. Συνεπώς, για το βάθος που έχει διαταραχθεί από τη διαδικασία θεωρείται ότι η ανάμειξη των FRNs, σε πολύ μεγάλο ποσοστό είναι ομοιόμορφη. Η τεχνική που χρησιμοποιείται στο MODERN για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η προσομοίωση της αντίστοιχης διαδικασίας για τα χωρία του προφίλ βάθους που έχουν επηρεαστεί από διαδικασίες διαταραχής του εδάφους, προσάπτοντάς τους τη μέση τιμή της επιφανειακής συγκέντρωσης ραδιενέργειας μέχρι το εν λόγω βάθος (Εικόνα 2.5). Με αυτόν τον τρόπο η μελέτη περιοχών που έχουν υποστεί κάποια διαταραχή μπορούν εύκολα να εξετασθούν για διάβρωση ή ιζηματογένεση.



Εικόνα 2.5 Προσαρμογή του οργωμένου εδάφους (Arata et al. 2016).

Συνοψίζοντας, το MODERN έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί διαφορετικά FRNs, διαφορετικές χρήσεις γης και διαφορετικές διεργασίες ανακατανομής χόματος, γρήγορα και ευέλικτα χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία για τον ερευνητή. Τα πλεονεκτήματα του σε σχέση με άλλα μοντέλα μετατροπής είναι:

- ✓ Δίνει αποτελέσματα σε περίπτωση διάβρωσης αλλά και ιζηματογένεσης,

- ✓ Οι παράμετροι που είναι αναγκαίοι για τον κώδικα υπολογίζονται εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια,
- ✓ Χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους χώματος (αδιατάρακτο ή διαταραγμένο),
- ✓ Η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας μπορεί να είναι χωρικά διάσπαρτη. Ο αλγόριθμος του MODERN δεν περιλαμβάνει συγκεκριμένες υποθέσεις για τη μορφή της κατά βάθος κατανομής των ραδιοϊσοτόπων στην περιοχή αναφοράς, αλλά αντλεί πληροφορίες απευθείας από κάθε χωρίο του προφίλ αναφοράς ξεχωριστά.

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που δίνει το MODERN για τους ρυθμούς ανακατανομής του χώματος ελέγχθηκαν σε τρεις (3) μελέτες σε σχέση με προηγούμενα μοντέλα μετατροπής (Arata et al., 2016, Part 1, Part 2), συγκεκριμένα:

- ✓ Εφαρμογή στην περίπτωση της κοιλάδας Aosta στις Ιταλικές Άλπεις για Cs-137 σε αδιατάρακτο έδαφος λεκάνης απορροής με τη χρήση του PDM (Ceaglio et al., 2012),
- ✓ Εφαρμογή για διαταραγμένο έδαφος σε μια κοιλάδα της Τρανσυλβανίας, Ρουμανία για Pb-210ex με τη χρήση του MBM (Iurian et al., 2013),
- ✓ Εφαρμογή για τα ραδιενεργά ισότοπα Pu-239 και Pu-240 στις Ιταλικές Άλπεις, με σκοπό τη δυνατότητα χρήσης του, όταν παρουσιάζονται τα στοιχεία αυτά ως ιχνηλάτες διάβρωσης (Arata et al., 2016, Part 2).

Από τις παραπάνω έρευνες προέκυψε ότι η αξιοπιστία του λογισμικού είναι αρκετά υψηλή με συντελεστή συσχέτισης 0.91 μεταξύ των αποτελεσμάτων του και των δεδομένων των άλλων μοντέλων μετατροπής. Σχετικά με τη χρήση των Pu-239 και Pu-240 ως ιχνηλάτες, τα αποτελέσματα του MODERN ήταν αρκετά κοντά σε αυτά του μοντέλου IM, το οποίο έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για αυτά τα ραδιοϊσότοπα, σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα μετατροπής που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα.

Στο MODERN, ο αλγοριθμικός προγραμματισμός γίνεται σε περιβάλλον Matlab (MATrix LABORatory) και ο κώδικας διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο (modern.umweltgeo.unibas.ch). Συνεπώς, το MODERN είναι ένα εργαλείο το οποίο θα βοηθήσει στην προώθηση της εφαρμογής πυρηνικών τεχνικών για τη διάβρωση και την ιζηματογένεση του εδάφους και η μελέτη λειτουργίας του είναι αναγκαία σε τέτοιες εφαρμογές. Ο τρόπος λειτουργίας και οι παράμετροι που χρειάζονται να ληφθούν, θα αναλυθούν περαιτέρω στο Κεφάλαιο 3.

2.4. Στοιχεία για την πραγματοποίηση δειγματοληψίας

2.4.1 MODERN και δειγματοληψία

Για τη χρήση του λογισμικού MODERN είναι απαραίτητη η διαδικασία δειγματοληψίας σε μια περιοχή πιθανής διάβρωσης. Η διαδικασία αυτή όμως συνήθως είναι λιγότερο δαπανηρή και σχετικά ευκολότερη, σε σχέση με τις δειγματοληψίες που απαιτούν τα υπόλοιπα μοντέλα μετατροπής. Το MODERN προσφέρει διάφορες τεχνικές προσομοίωσης αλλά και χρησιμοποιεί παραδοχές για την απλοποίηση των μηχανισμών που έχουν σχέση με τη συμπεριφορά των FRNs στο έδαφος. Συνεπώς, η διαδικασία δειγματοληψίας είναι απλούστερη σε σχέση με άλλες μεθόδους.

2.4.2 Σχεδιασμός δειγματοληψίας για την εφαρμογή του MODERN

2.4.2.1 Επιλογή της θέσης αναφοράς και της υπό μελέτης περιοχής

Όπως έχει αναφερθεί, τα μοντέλα μεταβολής στηρίζονται στη σύγκριση της συγκέντρωσης των FRNs στην υπό μελέτη περιοχή και στην περιοχή αναφοράς. Η επιλογή λοιπόν της θέσης αναφοράς έχει ιδιαίτερη σημασία για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Το 1996 ο Sutherland σε μια προσπάθεια να δημιουργηθούν κανόνες για την ορθή επιλογή της θέσης αναφοράς, κατέγραψε τους παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, σε μια πλήρη βιβλιογραφική αναφορά. Εκτός από τον Sutherland (1996) και άλλοι συνέβαλλαν σε αυτό το έργο όπως οι Bunzl et al. (1997, 2000), οι Schuller et al. (1997), οι Lettner et al. (2000) και οι Golosov et al. (1999). Σύμφωνα λοιπόν με τους παραπάνω, η επιλογή της κατάλληλης θέσης δειγματοληψίας γίνεται με τα εξής κριτήρια:

- Η τοποθεσία αναφοράς, πρέπει να είναι μια περιοχή η οποία είναι αδιατάρακτη, ιδανικά από το 1954 όπου ξεκίνησαν οι πυρηνικές δοκιμές και η εναπόθεση του Cs-137 στο έδαφος. Τέτοιες περιοχές είναι συνήθως λιβάδια με χαμηλή βλάστηση που δεν χρησιμοποιούνται για βόσκηση.
- Η τοποθεσία αναφοράς πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στην υπό μελέτη περιοχή, ή σε απόσταση μέχρι ενός χιλιομέτρου.
- Βιο-διαταραγμένες περιοχές ακόμα και αν πληρούν τα προηγούμενα κριτήρια θα πρέπει να αποφεύγονται.

- Η κλίση του εδάφους στην περιοχή αναφοράς πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μηδέν (0) και να βρίσκεται σε υπερυψωμένο σημείο σε σχέση με τη γύρω περιοχή, ώστε να μην επηρεάζεται από διεργασίες διάβρωσης/ιζηματογένεσης.
- Όταν δεν είναι δυνατή η εύρεση τοποθεσίας αναφοράς που να πληροί τις παραπάνω, προϋποθέσεις, είναι δυνατή η επιλογή μιας δασικής περιοχής με σχετικά μικρή βλάστηση
- Προστατευόμενες περιοχές όπως κήποι, νεκροταφεία, πάρκα και ναοί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τοποθεσίες αναφοράς, θεωρώντας ότι έχουν υποστεί αμελητέα διάβρωση.

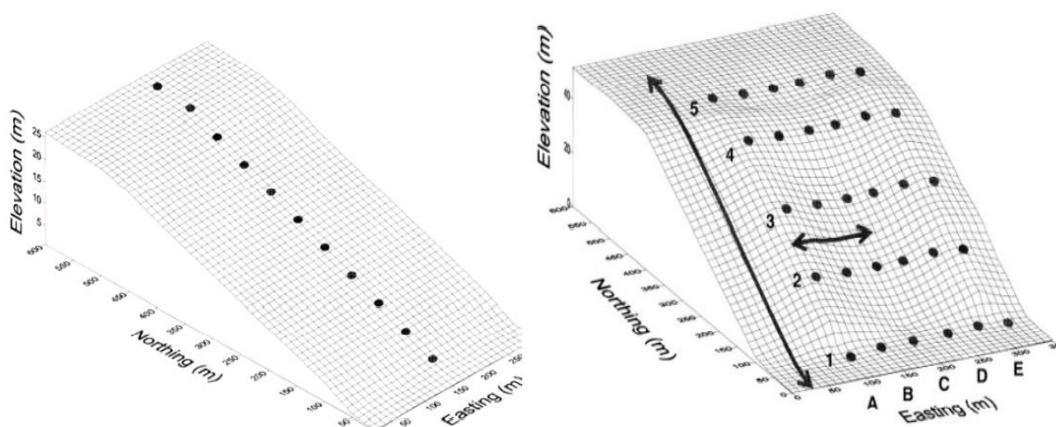
2.4.2.2 Μέθοδοι δειγματοληψίας

Μέθοδος δειγματοληψίας εννοείται η διαδικασία με την οποία θα γίνει η επιλογή των σημείων σε μια περιοχή, από τα οποία θα συλλεχθούν τα δείγματα προς ανάλυση. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι δειγματοληψίας. Ο Gilbert (1987), ταξινόμησε αυτές τις μεθόδους σε δύο κατηγορίες. Τις δειγματοληψίες που βασίζονται στην πιθανότητα (probability-based), δηλαδή τα σημεία της δειγματοληψίας επιλέγονται βάση κάποιων πιθανοτήτων που έχουν να κάνουν με την μορφολογία του εδάφους και σε αυτές που δε βασίζονται στην πιθανότητα (non-probability-based), δηλαδή τα σημεία επιλέγονται τυχαία.

Στην παρούσα ΔΕ τα σημεία της δειγματοληψίας επιλέχθηκαν σε μη-πιθανολογική βάση και με κριτικό σχεδιασμό. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε επισκόπησή της υπό μελέτη περιοχής, στη συνέχεια επιλέχθηκαν τα σημεία ενδιαφέροντος με βάση την παρατήρηση έντονης διάβρωσης του εδάφους στα σημεία αυτά. Τα δείγματα που συλλέγονται με αυτόν τον τρόπο συνίσταται να μην χρησιμοποιούνται για στατιστική ανάλυση και επαλήθευση υποθέσεων. Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης του λογισμικού MODERN και τα οφέλη από αυτή. Συνεπώς κρίθηκε ότι μια απλή συλλογή δειγμάτων είναι αρκετή για τις ανάγκες της μελέτης.

Ένας ακόμα παράγοντας που επηρεάζει το σχεδιασμό της δειγματοληψίας είναι η μορφολογία του εδάφους της υπό μελέτη περιοχής. Συνήθως, στις μεθόδους που χρησιμοποιούν ραδιοϊσότοπα, η επιλογή των σημείων δειγματοληψίας γίνεται πάνω σε συγκεκριμένες διατομές ή σε πλέγματα (Εικόνα 2.6). Η μορφολογία των διατομών ή του πλέγματος καθορίζεται από τον τύπο του εδάφους της εκάστοτε περιοχής. Για παράδειγμα, στις επίπεδες επιφάνειες (που είναι

κυρίως περιοχές αναφοράς) χρησιμοποιούνται είτε πλέγματα είτε διατομές, στις πλαγίες με μηδενική καμπυλότητα κατά πλάτος χρησιμοποιούνται διατομές λόγω του ότι η ροή του νερού ακολουθεί την ευθεία γραμμή, ενώ στις πλαγίες με εμφανή κλίση κατά πλάτος ή σε λεκάνες απορροής η χρήση πλέγματος είναι απαραίτητη. Το λογισμικό MODERN δεν απαιτεί δειγματοληψία εγκάρσιας κλίμακας, δηλαδή δεν απαιτεί τα σημεία δειγματοληψίας να βρίσκονται κατά μήκος μιας διατομής αλλά επιτρέπει να είναι χωρικά διάσπαρτα, συνεπώς η μορφολογία του εδάφους δεν επηρέασε την επιλογή των σημείων δειγματοληψίας.



Εικόνα2.6 Διατομές και πλέγματα (Pennock and Appleby, 2002)

2.4.3 Εργαλεία δειγματοληψίας και συλλογή δειγμάτων

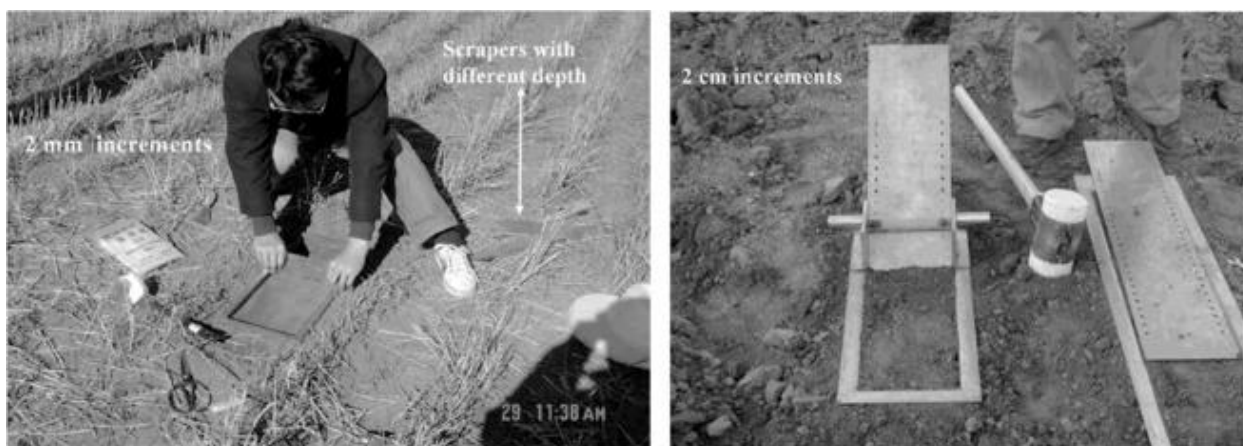
Για την πραγματοποίηση μιας δειγματοληψίας, με σκοπό τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές από εργαστήρια παγκοσμίως τα τελευταία 25 χρόνια. Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ χρησιμοποιούνται μερικές από τις ήδη υπάρχουσες τεχνικές, αλλά ταυτόχρονα έχουν αναπτυχθεί νέες οι οποίες προσαρμόζονται στις ανάγκες του εργαστηρίου. Μερικές από τις τεχνικές παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

2.4.3.1 Τεχνικές δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως

Δειγματοληψία με scraper plate (Bryan Campbell, Australian Nuclear Science, Technology Organization –ANSTO).

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της κατά βάθος κατανομής Cs-137, για επίπεδο και κεκλιμένο τύπο εδάφους. Η βασική ιδέα είναι η χρήση ενός μεταλλικού

πλαίσιου και ενός μεταλλικού ελάσματος το οποίο εφαρμόζει στο πλαίσιο. Το μεταλλικό πλαίσιο τοποθετείται στο έδαφος και στη συνέχεια με τη βοήθεια του ελάσματος αφαιρείται χώμα σταθερού βάθους (Εικόνα 2.7). Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι η δυνατότητα να αφαιρεί μεγάλη ποσότητα χώματος, η οποία καθορίζεται από το εμβαδόν του πλαισίου. Επιπλέον, το κόστος του εξοπλισμού είναι αρκετά μικρό και η όλη κατασκευή είναι εύκολη στη χρήση. Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν την μέθοδο ευρέως διαδεδομένη στη χρήση της.



Εικόνα2.7 Δειγματοληψία με scraperplate' (Mabit et al., 2014)

Δειγματοληψία με κύλινδρο PVC

Στη συγκεκριμένη τεχνική δειγματοληψίας, ένας κύλινδρος κατασκευασμένος από PVC διαμέτρου 30cm τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια ενός κυκλικού εργαλείου που περιστρέφεται χειροκίνητα, πραγματοποιείται η αφαίρεση του χώματος που περικλείεται μέσα στο σωλήνα PVC. Η τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως για ψαθυρό τύπο χώματος, όπου οι κατάρρευση των τοιχωμάτων κατά την διήθηση κάποιου εργαλείου στο έδαφος αποτελεί πρόβλημα. Τα δείγματα που συλλέγονται έχουν εύρος βάθους τουλάχιστον 5cm. Συνεπώς, δεν είναι δυνατόν ο ακριβής προσδιορισμός της κατά βάθος κατανομής για δείγματα που χρειάζεται να χωριστούν με μικρό βήμα (1-2cm). Ομως, η τεχνική είναι εύχρηστη, καθώς δεν παρουσιάζει δυσκολίες στη διαδικασία εφαρμογής της και εμποδίζει την ανάμειξη των διαφορετικών στρώσεων χώματος. Για τη δειγματοληψία με σκοπό την ανάλυση στο λογισμικό MODERN, η μέθοδος θα ήταν κατάλληλη για τα δείγματα της υπό μελέτη περιοχής όπου τα δείγματα δε χρειάζονται να ληφθούν με συγκεκριμένο βήμα.



Εικόνα2.8 Οπτική περιγραφή της διαδικασίας δειγματοληψίας με σωλήνα PVC

Δειγματοληψία με κυλινδρικούς μεταλλικούς σωλήνες

Η τεχνική βασίζεται στη διείσδυση ενός κυλινδρικού μεταλλικού σωλήνα στο έδαφος. Ανάλογα με το επιθυμητό βάθος της εκάστοτε μελέτης επιλέγεται και το μήκος του σωλήνα. Συνήθως ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος από χάλυβα και το κάτω μέρος έχει αιχμηρή διαμόρφωση ώστε να είναι δυνατή η διείσδυσή του στο έδαφος. Η αιχμηρή άκρη έχει μικρότερη εσωτερική διάμετρο από τον υπόλοιπο αγωγό. Έτσι το χώμα που εισέρχεται στον αγωγό, θα είναι συμπιεσμένο διαμετρικά, η εξαγωγή του αγωγού θα γίνεται με σχετική ευκολία και θα αποφεύγεται η κατάρρευση του δείγματος από το κάτω μέρος (Walling and Quine, 1993). Ο σωλήνας, αφού τοποθετηθεί κάθετα ως προς το έδαφος, με τη βοήθεια βαριοπούλας διεισδύει σε αυτό. Στην συνέχεια, αφαιρείται το περιφερειακό χώμα και ο σωλήνας.

Η συγκεκριμένη τεχνική παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα, η αποφυγή των οποίων δεν είναι εύκολη διαδικασία. Αρχικά, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ανάμιξης των διαφόρων στρωμάτων κατά την αφαίρεση του σωλήνα από το έδαφος. Η διαδικασία εξαγωγής του χώματος από τον κύλινδρο και ο διαχωρισμός των δειγμάτων, συνήθως επηρεάζεται από την συμπίεση που έχει υποστεί το χώμα κατά την είσοδό του στον σωλήνα. Επιπλέον, ο τύπος του εδάφους της περιοχής δειγματοληψίας πολλές φορές δυσχεραίνει ιδιαίτερα την διαδικασία, ειδικά σε περιπτώσεις που απαιτείται λήψη μεγάλου αριθμού δειγμάτων. Τέλος, η μηχανική καταπόνηση των εργαλείων (κυρίως του σωλήνα) που χρησιμοποιούνται, απαιτεί την συνεχή συντήρησή τους αυξάνοντας έτσι το κόστος της διαδικασίας.

2.4.3.2 Τεχνικές δειγματοληψίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ

Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι με σκοπό τη δειγματοληψία χώματος για τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση.

Παλαιότερα, η συλλογή χώματος σε μεγάλα βάθη γινόταν με τη χρήση απλών σκαπτικών εργαλείων. Η τεχνική βασιζόταν σε προσεκτικό άνοιγμα οπής μέχρι το επιθυμητό βάθος και στη συνέχεια η αφαίρεσή του με όσο το δυνατόν περισσότερη προσοχή. Καθώς η τεχνική παρουσίαζε αρκετά μειονεκτήματα, όπως η έλλειψη ελέγχου του βάθους δειγματοληψίας, η ανομοιομορφία στη λήψη των δειγμάτων από τα διαφορετικά βάθη και η πιθανότητα κατάρρευσης των τοιχωμάτων της οπής, ήταν αναγκαία η χρήση εναλλακτικών μεθόδων που θα ήταν πιο αξιόπιστες. Μερικές από αυτές τις μεθόδους παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

Δειγματοληψία με χρήση ηλεκτρικού δράπανου

Κατά την διαδικασία δειγματοληψίας ανοίγεται κυλινδρική οπή στο έδαφος με ακριβή έλεγχο του βάθους και στην συνέχεια το χώμα συλλέγεται με τη χρήση ηλεκτρικής σκούπας βιομηχανικού τύπου. Η οπή ανοίγεται με τη χρήση δραπάνου που στο κάτω μέρος έχει τοποθετηθεί κοπτικό εργαλείο κορώνας. Η τεχνική αν και παρέχει ικανοποιητικό έλεγχο βάθους, δεν επιτρέπει τη συλλογή δειγμάτων με μικρό εύρος βάθους. Επίσης, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα κατάρρευσης των τοιχωμάτων, καθώς και ανάμιξη των στρώσεων του χώματος εξαιτίας της κρουστικής λειτουργίας του δραπάνου. Σημαντικό μειονέκτημα είναι και η ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του δραπάνου που συνεπάγεται σε βαρύ και μεγάλο όγκο εξοπλισμού (γεννήτρια κ.ά.), μειώνοντας έτσι την ευελιξία στις μετακινήσεις και σε δύσβατες περιοχές.

Δειγματοληψία με χρήση ηλεκτρικού δραπάνου με ενσωματωμένο ειδικό δειγματολήπτη χώματος

Η συγκεκριμένη τεχνική αναπτύχθηκε με σκοπό την αντιμετώπιση κάποιων εκ των προβλημάτων που παρουσίαζε η προηγούμενη. Με την προσθήκη του ειδικού δειγματολήπτη είναι δυνατή η αφαίρεση χώματος στο σχήμα συμπαγούς κυλίνδρου που ονομάζεται δείγμα «καρότου». Τα οφέλη που προκύπτουν μέσω αυτής της διαφοροποίησης συναντώνται κυρίως στην επεξεργασία του δείγματος αφού είναι δυνατή η δειγματοληψία με πολύ μικρό βήμα, δεν υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης των τοιχωμάτων της οπής και επιπλέον η ανάμιξη των στρώσεων

του εδάφους ελαχιστοποιείται. Καθώς η τεχνική αποτελεί βελτιωμένη έκδοση της προηγούμενης, πέραν των παραπάνω πλεονεκτημάτων, εμφανίζει τα υπόλοιπα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη Παράγραφο. Στην Εικόνα 2.9 παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρειάζεται σε μια τέτοιου είδους δειγματοληψία. Η τεχνική δειγματοληψίας που αναλύθηκε, μελετήθηκε και σχεδιάστηκε στα πλαίσια Διδακτορικής Διατριβής (Παπαδάκος, 2014).



Εικόνα2.9 Ηλεκτρικό δράπανο (Παπαδάκος, 2014)

Δειγματοληψία με χρήση μεταλλικού κυλινδρικού σωλήνα με κατά μήκος τομή

Η πιο πρόσφατη τεχνική που αναπτύχθηκε στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, στα πλαίσια ΔΕ (Πετροβίτσος, 2011), επιτρέπει τη συλλογή χώματος με σχετική ευκολία και ακρίβεια έως και βάθος 30 cm. Η βασική έμπνευση της τεχνικής είναι η χρήση ενός μεταλλικού κυλινδρικού αγωγού, διαιρεμένου κατά μήκος σε δύο κομμάτια. Τα επιμέρους κομμάτια συγκρατούνται μεταξύ τους με τρεις μεταλλικούς σφικτήρες. Με τον τρόπο αυτό το δείγμα χώματος μπορεί να αφαιρεθεί από τον κύλινδρο χωρίς σχεδόν καμία διαταραχή στις στρώσεις του χώματος. Η συγκεκριμένη τεχνική υιοθετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας ΔΕ, κυρίως για την ευκολία χρήσης που παρέχει, το χαμηλό κόστος και την αξιοπιστία στην διαδικασία λήψης και διαίρεσης των δειγμάτων. Αναλυτικά η τεχνική παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5.

Δειγματοληψία με χρήση μεταλλικού κυλινδρικού σωλήνα για μαλακό έδαφος

Μια ακόμη τεχνική που έχει χρησιμοποιηθεί στο ΕΠΤ-ΕΜΠ (Παπαδάκος, 2012), περιλαμβάνει τη χρήση ενός μεταλλικού κυλινδρικού σωλήνα, εσωτερικής διαμέτρου 108mm που φέρει χειρολαβές στο επάνω άκρο του. Το εσωτερικό του κυλίνδρου καλύπτεται σχεδόν πλήρως από ένα έμβολο, σκοπός του οποίου είναι να ανασύρει το χώμα που εισχωρεί στον κύλινδρο κατά

την κατακόρυφη τοποθέτησή του μέσα στο έδαφος. Το έμβολο επιτρέπει επίσης την ακριβή καταγραφή του βάθους από το οποίο προέρχεται το κάθε δείγμα. Συνεπώς είναι δυνατή η δειγματοληψία με πολύ μικρό βήμα (1mm). Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει την συλλογή δειγμάτων μόνο από πολύ μαλακά εδάφη όπως πυθμένες λιμνών, ελών καθώς επίσης και καλλιεργούμενων περιοχών. Στην Εικόνα 2.10 παρουσιάζεται ο σωλήνας που χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη τεχνική και η διαδικασία εξαγωγής του χόματος με τη χρήση του εμβόλου.



Εικόνα 2.10 Μεταλλικός σωλήνας για δειγματοληψία σε μαλακό έδαφος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ο κώδικας MODERN

3.1 Εισαγωγή

Ο κώδικας MODERN (Modelling Deposition and Erosion Rates with RadioNuclides) είναι ένα νέο υπολογιστικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιεί κατανομές ραδιονουκλιδίων στο έδαφος οι οποίες προκύπτουν έπειτα από δειγματοληψία και γ-φασματοσκοπική ανάλυση των δειγμάτων, και τις μετατρέπει μέσω συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε ποσοστά ιζηματογένεσης και διάβρωσης του εδάφους για την περιοχή της δειγματοληψίας. Βασικά πλεονεκτήματα του MODERN είναι η δυνατότητά του να περιγράφει με ακρίβεια την ειδική κατανομή κάθε ραδιονουκλιδίου στο έδαφος, ανεξάρτητα από το σχήμα της συνάρτησης βάρους καθώς και ότι χρησιμοποιείται για διάφορους τύπους εδάφους (οργανωμένο, χέρσο).

Βασική λειτουργία του μοντέλου είναι η σύγκριση του προφίλ βάρους μιας ορισμένης τοποθεσίας αναφοράς, με το σύνολο των δειγμάτων εδάφους από την περιοχή δειγματοληψίας, ακολουθώντας μεθοδικά συγκεκριμένα βήματα ανάλυσης. Το μοντέλο δίνει αποτελέσματα για τη διάβρωση του εδάφους, προσδιορίζοντας τα ποσοστά εναπόθεσης-ιζηματογένεσης, όσον αφορά στο πάχος του εδάφους που έχει επηρεαστεί από διάφορες διαδικασίες ανακατανομής, όπως κατακρημνίσεις και ανθρώπινη δραστηριότητα.

3.2 Εισαγωγή δεδομένων στο MODERN

Το MODERN χρησιμοποιεί αρχεία που είναι κατάλληλα για το υπολογιστικό περιβάλλον MATLAB (MATrixLABoratory). Υπάρχει η δυνατότητα τροποποίησης όλων των αρχείων που είναι διαθέσιμα για τις ανάγκες του κάθε ερευνητή, αλλά συνιστάται η τροποποίηση μόνο των αρχείων εισαγωγής δεδομένων MODERN_input και MODERN_run. Αντικείμενο εργασίας του κάθε μελετητή είναι η κατάλληλη εισαγωγή των εκάστοτε δεδομένων από μετρήσεις που έχουν προηγηθεί.

MODERN_input

Στο αρχείο MODERN_input δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων που αφορούν την τοποθεσία αναφοράς (reference site) και την τοποθεσία δειγματοληψίας (sampling site). Με αυτό το αρχείο πραγματοποιείται επίσης η εισαγωγή παραμέτρων για την προσομοίωση των προφίλ βάθους σε περίπτωση που υπάρχει ιζηματογένεση (deposition scenarios).

Reference sites

Εδώ δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής του κατά βάθος προφίλ ραδιενέργειας του προς μελέτη ραδιοϊσοτόπου για κάθε στρώση, με βάση το βήμα που έχει οριστεί από τη δειγματοληψία για την περιοχή αναφοράς. Συγκεκριμένα, στην παράμετρο «FRN_ref_in» ορίζεται η ραδιενέργεια (σε Bq/m^2) της κάθε στρώσης του δείγματος. Είναι εφικτό να οριστούν περισσότερες από μια περιοχές αναφοράς καθώς και όσες στρώσεις επιθυμεί ο χρήστης. Για να οριστεί το βήμα με το οποίο χωρίζεται το δείγμα σε στρώσεις υπάρχει η παράμετρος «FRN_Id» η οποία πρέπει να είναι επιλεγμένη σε εκατοστά (cm).

Sampling sites

Για τις περιοχές δειγματοληψίας, τα δεδομένα εισάγονται με σχετικά πιο απλό τρόπο. Στην παράμετρο «FRN_samp_in» ορίζεται η συνολική κατά επιφάνεια περιεκτικότητα ραδιενέργειας (σε Bq/m^2) για καθένα από τα δείγματα που είναι διαθέσιμα, καθώς και το συνολικό βάθος των δειγμάτων σε εκατοστά (cm) στην παράμετρο «comp_depth». Για να αναγνωρίζονται τα δείγματα στα αποτελέσματα χρησιμοποιείται η παράμετρος «FRN_samp_LABEL» ώστε να αποδίδεται ένα όνομα σε κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Deposition scenarios

Το MODERN δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να φτιάξει υποθετικά σενάρια σε περίπτωση που κρίνει ότι στην περιοχή δειγματοληψίας υπάρχει πιθανότητα ύπαρξης ιζήματος στο δείγμα. Κριτήριο για την αρχική υπόθεση είναι η σύγκριση της συνολικής ραδιενέργειας (σε Bq/m^2) της τοποθεσίας αναφοράς με τη συνολική ραδιενέργεια από το προς μελέτη δείγμα. Σε περίπτωση που στο δείγμα υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ραδιενέργεια από ότι στην περιοχή αναφοράς, τότε είναι εύλογο να θεωρηθεί ότι υπάρχει πιθανότητα ιζηματογένεσης. Το MODERN προσομοιώνει επιπλέον στρώσεις στην περιοχή αναφοράς πάνω από το αρχικό προφίλ βάθους που έχει οριστεί, ανάλογα με τα υποθετικά σενάρια που υλοποιούνται. Ταυτόχρονα, επιτρέπει να καθοριστεί η ραδιενέργεια (σε Bq/m^2) της κάθε επιπλέον στρώσης με τους εξής τρόπους:

Αρχικά, στην παράμετρο «scenario» δίνεται μια τιμή ξεκινώντας από το ένα (1) ανάλογα με το πόσες επιπλέον στρώσεις πρόκειται να προσομοιώσει το MODERN. Στη συνέχεια, γίνεται η εισαγωγή των τιμών της ραδιενέργειας στην κάθε στρώση είτε ανεξάρτητα από το αρχικό δείγμα αναφοράς είτε με βάση αυτό. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας εισαγωγής δεδομένων στο πρόγραμμα. Στα παραδείγματα αυτά, αριστερά της άνω κάτω τελείας (:) αποτυπώνεται ο αριθμός της κάθε προσομοιωμένης στρώσης ενώ δεξιά ο αριθμός των στρώσεων στο προφίλ βάθους αναφοράς. Κάθε επιπλέον προσομοιωμένη στρώση χωρίζεται από την προηγούμενη με το σύμβολο του ερωτηματικού (;). Υπάρχει η δυνατότητα να έχουμε όσες στρώσεις επιθυμούμε καθώς και σενάρια όπου κάθε επιπλέον γραμμή στον κώδικα αντιπροσωπεύει ένα επιπλέον σενάριο.

Παράδειγμα 1. Η κάθε προσομοιωμένη στρώση μπορεί να πάρει ως τιμή μια υπάρχουσα τιμή από το προφίλ αναφοράς.

```
Scenario = {'1: 1; 2: 1; 3: 1'};
```

Παράδειγμα 2. Μπορεί να οριστεί μια συγκεκριμένη τιμή για κάθε προσομοιωμένη στρώση.

```
Scenario = {'1:v1000; 2:v2000'};
```

Παράδειγμα 3. Ο μέσος όρος τιμών από στρώσεις του προφίλ αναφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης.

```
Scenario = {'1:1 2; 2:1 2 3'};
```

Παράδειγμα 4. Τέλος μπορεί να ληφθεί-εξαχθεί ένα ποσοστό από στρώσεις του προφίλ αναφοράς.

```
Scenario = {'1: 30%1; 2: 40%1 2'};
```

MODERN_run

Στο αρχείο αυτό ορίζονται συγκεκριμένες παράμετροι του MODERN ώστε να μπορεί αυτό να εκτελεστεί και να δώσει αποτελέσματα. Υπάρχουν τέσσερις παράμετροι οι οποίες συμπληρώνονται με βάση τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί στο αρχείο MODERN_input και τα αποτελέσματα που ενδιαφέρουν. Πιο συγκεκριμένα:

FRN_ref_ID

Εδώ ορίζουμε πιο προφίλ βάθους αναφοράς θα πάρει ως δεδομένο το MODERN για να συγκρίνει το κάθε δείγμα. Κάθε προφίλ ορίζεται με αύξοντα αριθμό ξεκινώντας από το 1.

FRN_samp_ID

Ορίζουμε ποιο δείγμα θέλουμε να εξετάσουμε κάθε φορά κατά αντιστοιχία με την προηγούμενη παράμετρο. Η σύγκριση των προφίλ αναφοράς με τα δείγματα γίνεται μια προς μια.

scenario_ID

Για κάθε μια σύγκριση που εκτελείται από το MODERN εδώ μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια από τα σενάρια που έχουμε δημιουργήσει. Το κάθε σενάριο έχει και τον μοναδικό του αριθμό με τον οποίο το προσδιορίζουμε στην συγκεκριμένη παράμετρο. Σε περίπτωση που δεν θέλουμε να λάβουμε υπόψη κάποιο από τα σενάρια χρησιμοποιούμε τον αριθμό μηδέν (0).

plot_ID

Σε περίπτωση που θέλουμε το MODERN να μας επιστρέψει γράφημα στα αποτελέσματά μας θέτουμε την παράμετρο ως ένα (1), διαφορετικά ως μηδέν (0).

Για να γίνει η σύγκριση μεταξύ των προφίλ βάθους αναφοράς με αυτών των δειγμάτων, ο αριθμός των μεταβλητών στις παραμέτρους πρέπει να είναι ακριβώς ο ίδιος σε όλες. Τέλος, για να εκτελεστεί ο κώδικας αρκεί η εντολή:

MODERN (case_ID)

όπου στην παράμετρο case_ID ορίζεται το όνομα της εκάστοτε μελέτης.

3.3 Μεθοδολογία επίλυσης του MODERN

Το MODERN, αφού του εισάγουμε τα δεδομένα από τη μελέτη μας, ακολουθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία ώστε να επιστρέψει ως αποτέλεσμα τον πιθανό ρυθμό διάβρωσης ή ιζηματογένεσης.

Αρχικά, το MODERN ορίζει τα δεδομένα για το προφίλ βάθους αναφοράς ως μια βαθμιδωτή συνάρτηση $g(x)$. Σκοπός της είναι, για κάθε στρώση του προφίλ βάθους, να επιστρέψει μια τιμή την οποία θέτει στην μεταβλητή Inu_{inc} . Επίσης στη μεταβλητή Inu αποθηκεύει το σύνολο της συγκέντρωσης ραδιενέργειας του εκάστοτε δείγματος προς μελέτη για όλο το προφίλ βάθους. Το

MODERN χρησιμοποιεί τα αρχεία «computeInverseSetOfFRNSampValue» και «computeStepFunctionInverseSet» για την υλοποίηση των παραπάνω.

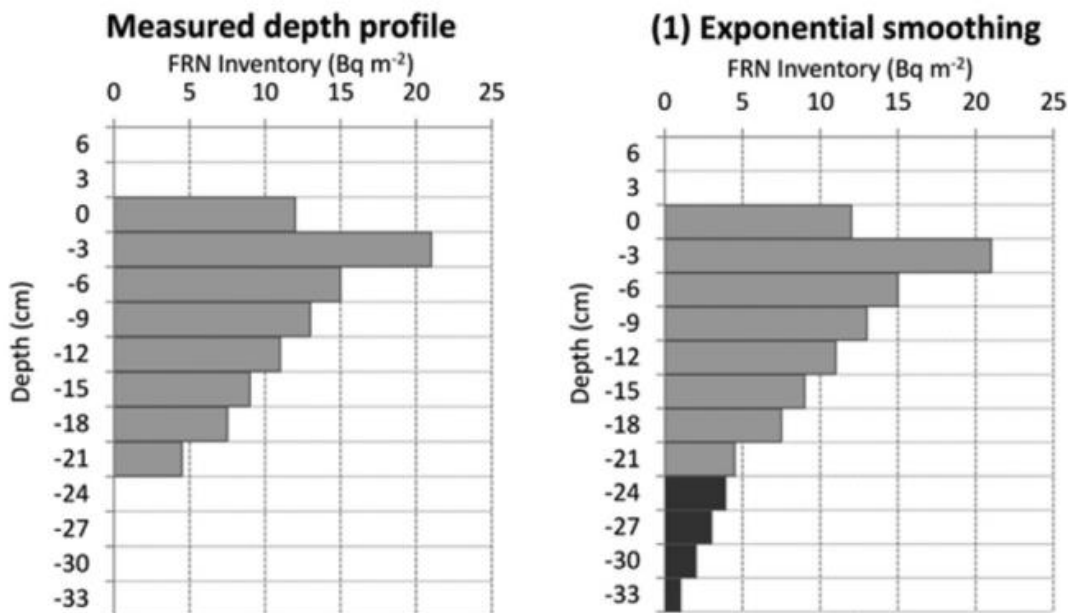
Στη συνέχεια ορίζει το σημείο x^* στο διάστημα $[x^*, x^* + d]$, όπου d το συνολικό βάθος του προφίλ δείγματος σε εκατοστά (cm), έτσι ώστε η συνολική περιεκτικότητα του δείγματος να είναι ίδια με αυτήν της τοποθεσίας αναφοράς. Συνεπώς, η παράμετρος x^* πρέπει να ικανοποιεί την παρακάτω εξίσωση:

$$\int_{x^*}^{x^*+d} g(x)dx = Inv \quad (3.1)$$

Στο σημείο αυτό, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το MODERN για να βρει κάθε δυνατή λύση και να εκτιμήσει πιθανή διάβρωση ή ιζηματογένεση προσομοιώνει στρώσεις πάνω και κάτω από το δεδομένο προφίλ βάθους αναφοράς. Το δείγμα στην τοποθεσία αναφοράς κατά τη μελέτη διαιρείται σε χωρία-στρώσεις τα οποία μετράμε ξεχωριστά ώστε να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση ραδιενέργειας. Κατά κύριο λόγο όμως, όσο πιο βαθιά προχωράμε στο δείγμα τόσο μικρότερη είναι αυτή. Έτσι, στην τοποθεσία αναφοράς το δείγμα έχει ένα απότομο βήμα σε μηδενικές συγκεντρώσεις στα τελευταία στρώματα του προφίλ βάθους. Αντιθέτως, στο εξεταζόμενο δείγμα του εδάφους μετράμε τη συνολική περιεκτικότητα για όλο το βάθος και έτσι στο δείγμα ορίζουμε μια μέση τιμή της συγκέντρωσης για όλο το προφίλ. Συνεπώς, όταν το MODERN θα συγκρίνει τα δύο προφίλ, λόγω του ότι στο προφίλ αναφοράς μπορεί να μην έχουμε ανιχνεύσιμες συγκεντρώσεις στα τελευταία χωρία και λόγω του ότι πολλές φορές το προφίλ του δείγματος είναι μεγαλύτερο από το προφίλ αναφοράς η σύγκριση είναι υποκειμενική καθώς υπάρχει και η πιθανότητα το MODERN να μη μπορεί να επιστρέψει αποτελέσματα. Για την αποφυγή της παραπάνω περίπτωσης το μοντέλο έχει την δυνατότητα να προσομοιώσει την επιπλέον κατανομή βάθους που χρειάζεται στην τοποθεσία αναφοράς. Στα επιπλέον χωρία εξομαλύνονται οι συγκεντρώσεις των ραδιονουκλιδίων εκθετικά προς το μηδέν.

Το καινούργιο προφίλ βάθους που προκύπτει, περιγράφεται από την ολοκληρωτική συνάρτηση S , η οποία ορίζεται ως:

$$S(x) = \int_x^{x+d} g(x')dx' \quad (3.2)$$



Εικόνα3.1 Εκθετική εξομάλυνση που δημιουργεί το λογισμικό MODERN για το προφίλ βάθους με σκοπό την αποφυγή μη εύρεσης λύσης (Arata et al., 2016).

Η λύση της παραπάνω συνάρτησης δίνεται μέσω της εξίσωσης $S(x) = G(x + d) - G(x)$, όπου η $G(x)$ είναι η παράγουσα συνάρτηση της βαθμιδωτής συνάρτησης $g(x)$. Οι παραπάνω διαδικασίες εκτελούνται από τα αρχεία «createG» και «createS_mod» του MODERN.

Τέλος, το MODERN επιστρέφει αποτελέσματα σε εκατοστά (cm) αύξησης ή μείωσης του εδάφους. Για να μετατραπεί η τιμή αυτή σε ετήσια μείωση ή αύξηση (Y) ώστε να υπάρχει μια πιο καθαρή εικόνα, χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση:

$$Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)} \quad (3.3)$$

όπου x^* , η τιμή της αύξησης-μείωσης του εδάφους που επιστρέφει το MODERN σε εκατοστά (cm), xm , η κατά βάθος περιεκτικότητα μάζας του δείγματος προς μελέτη σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο (kg/m^2), d , το συνολικό βάθος του δείγματος μελέτης (cm), t_1 το έτος δειγματοληψίας σε χρόνια (yr) και t_0 το έτος αναφοράς για το προς μελέτη ραδιονουκλίδιο.

Αναλυτικό παράδειγμα για την συμπλήρωση των δεδομένων στο λογισμικό MODERN παρατίθεται στο Παράρτημα Α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σύγκριση του MODERN με άλλα μοντέλα υπολογισμού αναδιανομής χόματος.

4.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ανάλυση γίνεται χρήση πειραματικών δεδομένων από παλαιότερη Διπλωματική Εργασία τα οποία στη συνέχεια εισήχθησαν στο λογισμικό MODERN και έπειτα από επεξεργασία έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα μοντέλα που είχαν χρησιμοποιηθεί.

4.2 Δεδομένα για το MODERN

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό MODERN παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 4.1 Προφίλ παραμένουσας απόθεσης περιοχής αναφοράς στα Δραχμάναγα Λαμίας

# δείγματος	Βάθος(cm)	t(cm)	E(Bq/m ²)
1	0-2	2	2985
2	2-4	2	754
3	4-6	2	312
4	6-8	2	166
5	8-10	2	80
6	10-12	2	60
7	12-14	2	49
8	14-16	2	170
9	16-18	2	28
10	18-20	2	40

Πίνακας 4.2 Πειραματικά δεδομένα 12 δειγμάτων προς μελέτη, Δραχμάναγα Λαμίας

# δείγματος	Βάθος (cm)	z(cm)	d(cm)	A (Bq/m ²)	D _{b<2} (g/cm ³)	x _m (kg/m ²)
1	0-20	10	20	54	0.7	70
2	0-20	10	20	2053	0.6	60
3	0-20	10	20	4141	0.8	80
4	0-20	10	20	36	0.7	70
5	0-20	10	20	-	0.6	60
6	0-20	10	20	367	0.6	60
7	0-20	10	20	566	0.5	50
8	0-20	10	20	1517	0.5	50
9	0-20	10	20	4224	0.4	40
10	0-20	10	20	5199	0.5	50
11	0-20	10	20	5641	0.6	60
12	0-20	10	20	541	0.4	40

Για κάθε δείγμα στην **περιοχή αναφοράς** τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- Βάθος (cm) το οποίο δίνει το εύρος του βάθους στο οποίο έχουμε χωρίσει το συνολικό δείγμα,
- t(cm) το βήμα με το οποίο έχουμε χωρίσει το συνολικό δείγμα,
- E(Bq/m²), η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας.

Για κάθε δείγμα στην **περιοχή δειγματοληψίας** τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- Βάθος (cm) , μας δίνει το εύρος του βάθους στο οποίο έχουμε χωρίσει το συνολικό δείγμα,
- d(cm) ,το συνολικό βάθος του δείγματος,
- z(cm), η μέση τιμή του εύρους βάθους του,
- A($\frac{\text{Bq}}{\text{m}^2}$) η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας,
- D_{b<2}(g/cm³), πυκνότητα του χώματος και
- x_m(kg/m²), το κατά μάζα βάθος το οποίο είναι ανοιγμένο μέγεθος του βάθους.

Για τα δεδομένα της περιοχής αναφοράς δε χρειάστηκαν περαιτέρω υπολογισμοί ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του MODERN. Αντιθέτως, για τα δείγματα στην περιοχή δειγματοληψίας χρειάστηκε να υπολογίσουμε το κατά μάζα βάθος. Το κατά μάζα βάθος ορίζεται από την σχέση

$x_m(kg/m^2) = \int_0^z D_{b < 2} dz$, και έπειτα με κατάλληλη μετατροπή των μονάδων έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια εισάγουμε τα παραπάνω δεδομένα στο MODERN με την εξής σειρά :

- FRN_ref_inv, η επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας (E) στη θέση αναφοράς,
- FRN_ld, το βήμα με το οποίο έχουμε χωρίσει το συνολικό δείγμα (t) στη θέση αναφοράς,
- FRN_samp_inv, η επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας (A) στην περιοχή δειγματοληψίας,
- comp_depth, το συνολικό βάθος του δείγματος (d) στην περιοχή δειγματοληψίας.

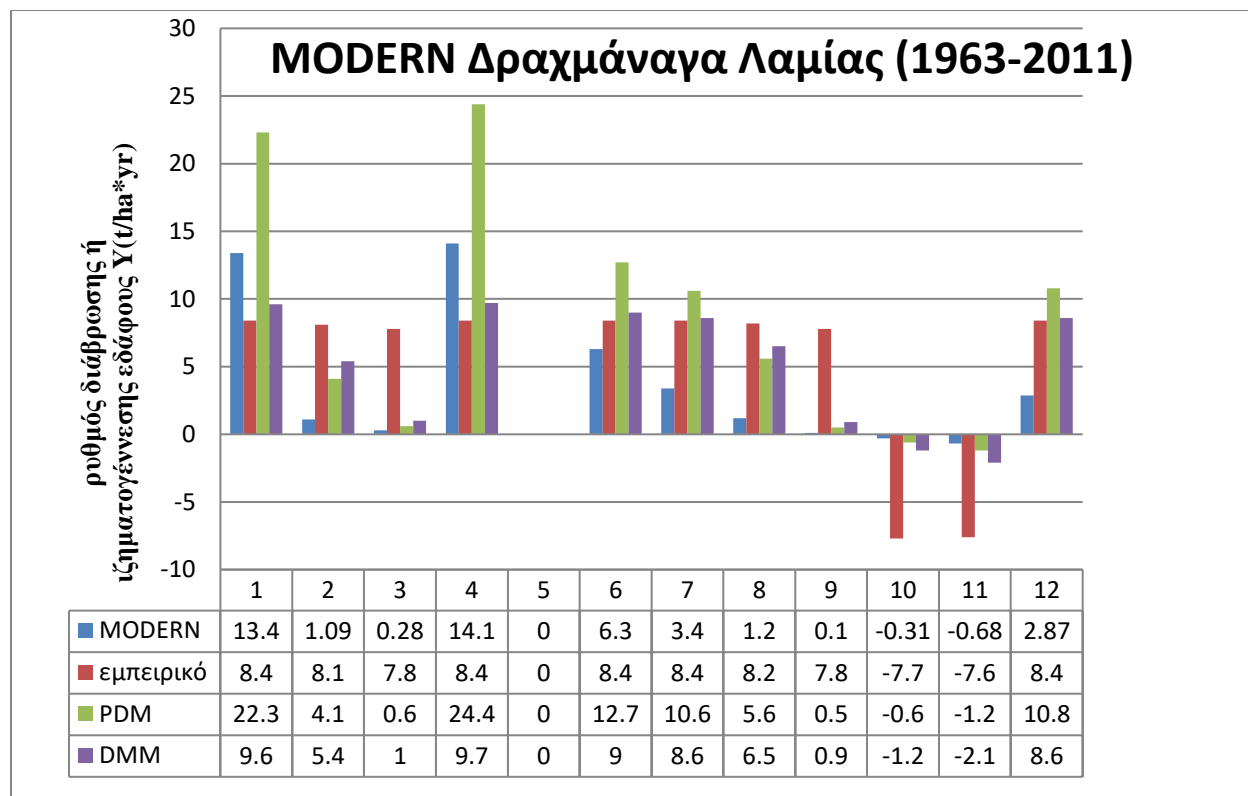
Το MODERN επιστρέφει μια τιμή x(cm), δηλαδή την εκατοστιαία μείωση της επιφανειακής ραδιενέργειας, που αντιπροσωπεύει τη διάβρωση ή την ιζηματογένεση του αντίστοιχου δείγματος εδάφους. Για να μετατραπεί αυτή η τιμή σε μέσο ετήσιο ρυθμό απώλειας χόματος (Y) χρησιμοποιείται η σχέση :

$$Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * x_m}{d(t_1 - t_0)} \quad 4.1$$

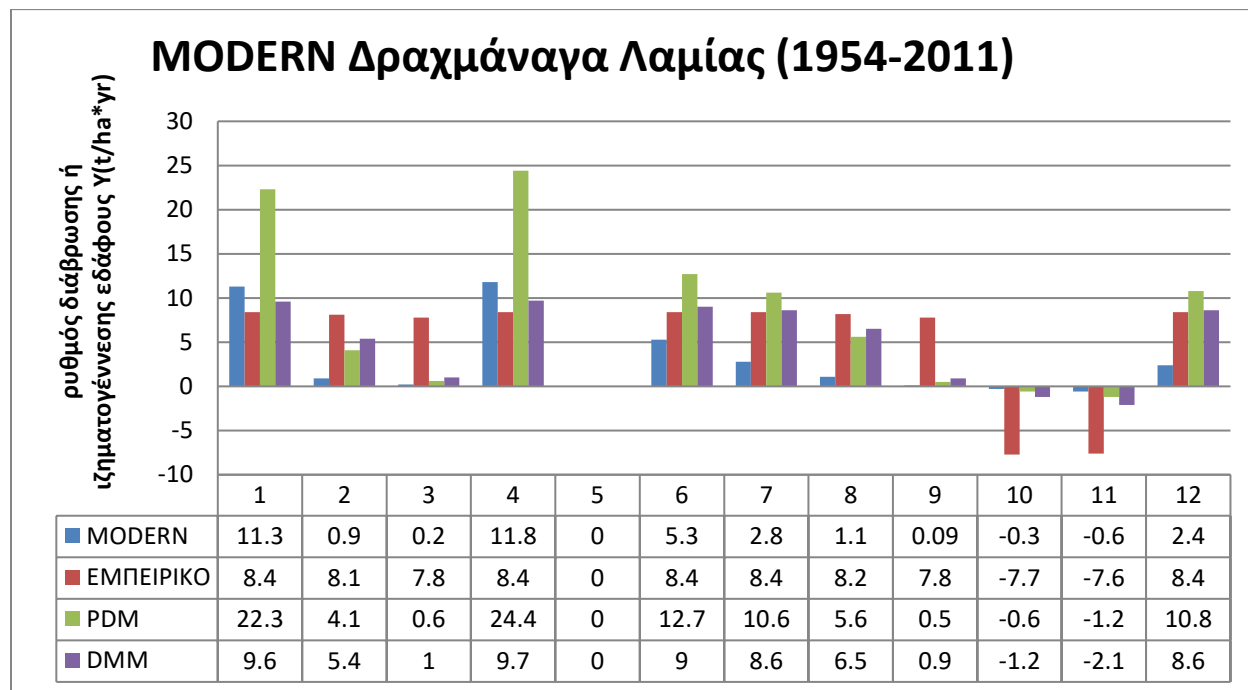
Για τις τιμές των t_1 και t_0 , δηλαδή το έτος που έγινε η δειγματοληψία και το έτος αναφοράς αντίστοιχα, έγιναν δύο παραδοχές. Στην πρώτη παραδοχή θεωρήθηκε έτος αναφοράς το 1954, όπου έχουμε την πρώτη επιφανειακή απόθεση για το Cs-137. Στη δεύτερη παραδοχή θεωρήθηκε έτος αναφοράς το 1963, όπου έχουμε τη συνολική επιφανειακή εναπόθεση Cs-137. Τα αποτελέσματα του MODERN σε σχέση με το εμπειρικό μοντέλο, το μοντέλο κατανομής προφίλ (PDM) και το μοντέλο διάχυσης και μετανάστευσης (DMM) παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

Δραχμάναγα Λαμίας

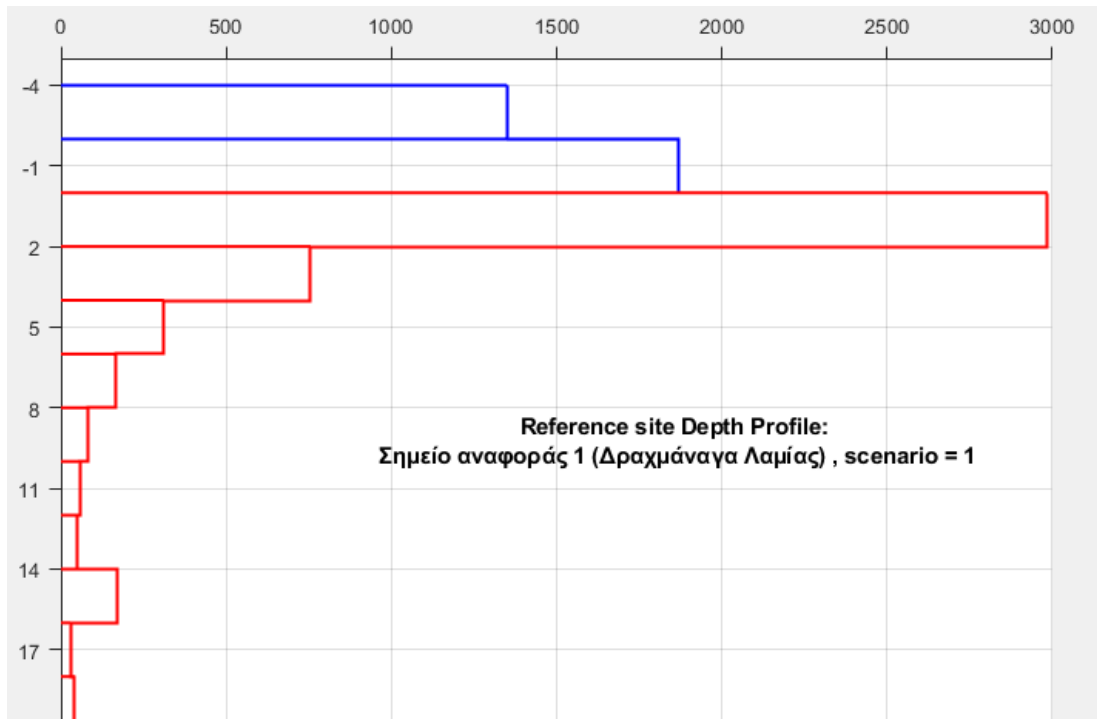
Πίνακας 4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1963.



Πίνακας 4.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1954



Στους Πίνακες 4.3 και 4.4 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης για την περιοχή στη Δραχμάναγα Λαμίας που είχε γίνει δειγματοληψία το 2011. Να επισημανθεί ότι στον πίνακα 4.3 ως έτος αναφοράς είναι το 1963, ενώ στον 4.4 το 1954. Επίσης, το δείγμα 5 δεν λαμβάνεται υπόψη στη μελέτη γιατί η κατά μάζα συγκέντρωση ραδιενέργειας ήταν κάτω από τα όρια ανίχνευσης. Οι θετικές τιμές του (Y) αντιστοιχούν σε ρυθμούς διάβρωσης και οι αρνητικές σε ρυθμούς ιζηματογένεσης. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για να υπολογιστεί η ιζηματογένεση δημιουργήθηκε στο MODERN ένα σενάριο εναπόθεσης (depositionscenario). Προσομοιώθηκαν δύο επιπλέον στρώσεις για κάθε δείγμα ώστε να μπορεί το MODERN να βρει αν υπάρχει πιθανή λύση η οποία θα υπερέβαινε την επιφάνεια του εδάφους και κατ' επέκταση θα είχαμε ιζηματογένεση στο εκάστοτε δείγμα. Στην Εικόνα 4.1 απεικονίζεται το σενάριο που χρησιμοποιήθηκε, στο οποίο η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας στην πρώτη προσομοιωμένη στρώση (με χρώμα μπλε) είναι ο μέσος όρος της πρώτης και της δεύτερης στρώσης του δείγματος, ενώ η δεύτερη έχει ως επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας το μέσο όρο της πρώτης, της δεύτερης και της τρίτης στρώσης του δείγματος.



Εικόνα 4.1 Σενάριο εναπόθεσης για εντοπισμό πιθανής ιζηματογένεσης

Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την μελέτη τα αντλήσαμε από παλαιότερη Διπλωματική Εργασία με τον τρόπο που περιγράφεται στην αρχή του κεφαλαίου τα οποία παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

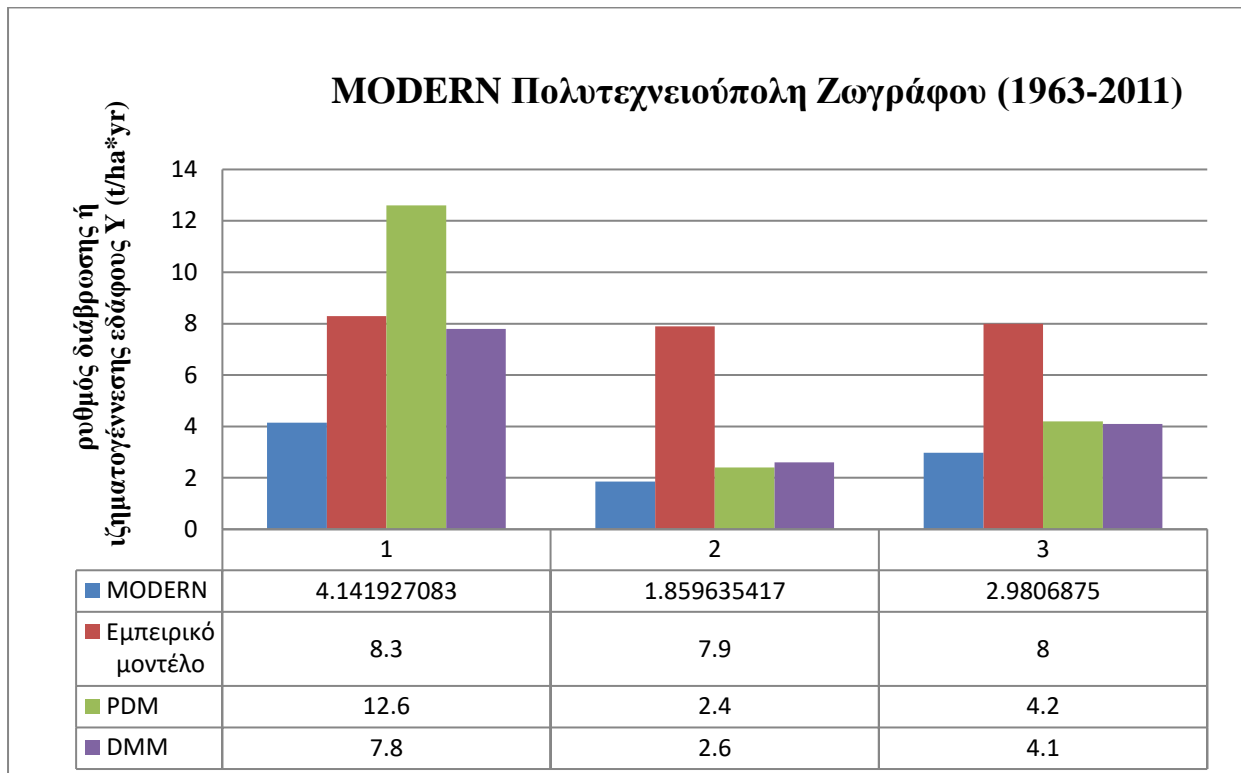
Πίνακας 4.5 Προφίλ παραμένουσας απόθεσης περιοχής αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη.

# δείγματος	Βάθος(cm)	t(cm)	E(Bq/m ²)
1	0-1	1	261
2	1-3	2	427
3	3-5	2	346
4	5-7	2	45
5	7-11	4	34
6	11-15	4	23

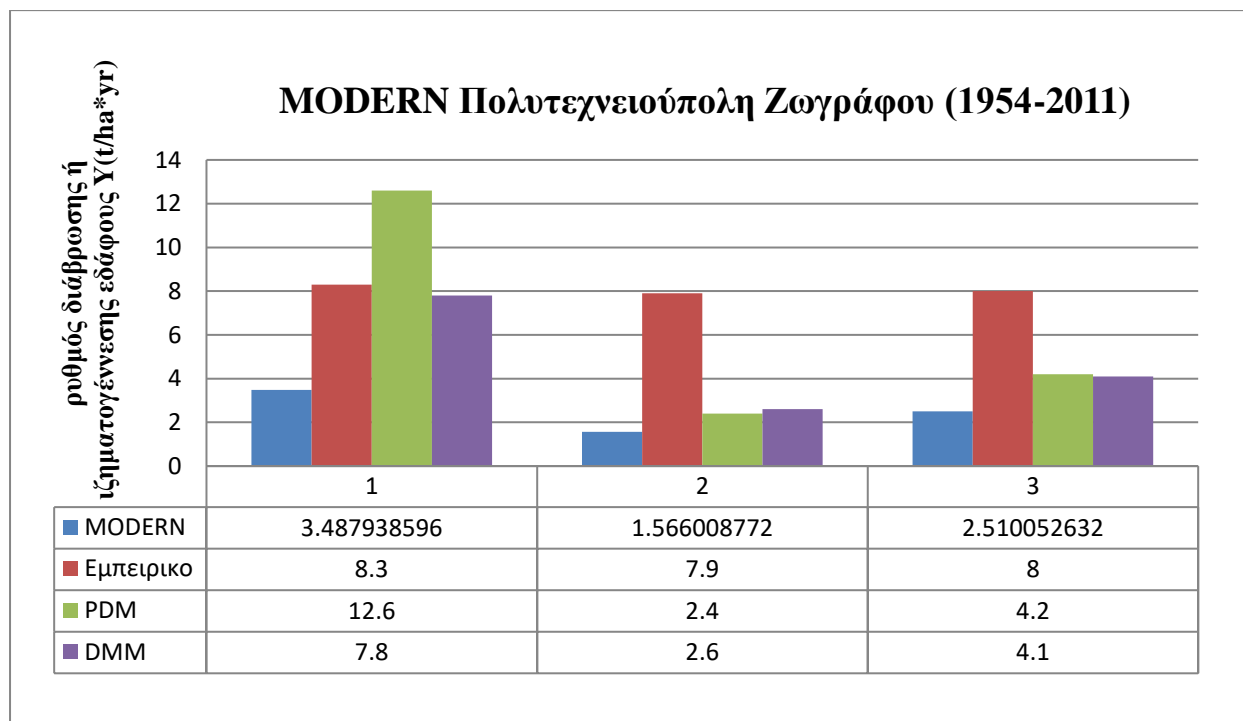
Πίνακας 4.6 Πειραματικά δεδομένα 3 δειγμάτων προς μελέτη, Πολυτεχνειούπολη.

# δείγματος	βάθος(cm)	z(cm)	d(cm)	A(Bq/m ²)	D _{b<2} (g/cm ³)	x _m (kg/m ²)
1	0-20	10	20	209	0.5	50
2	0-20	10	20	826	0.5	50
3	0-20	10	20	647	0.7	70

Πίνακας 4.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1963.



Πίνακας 4.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων MODERN με άλλα μοντέλα προσδιορισμού ρυθμού διάβρωσης, με έτος αναφοράς 1954.

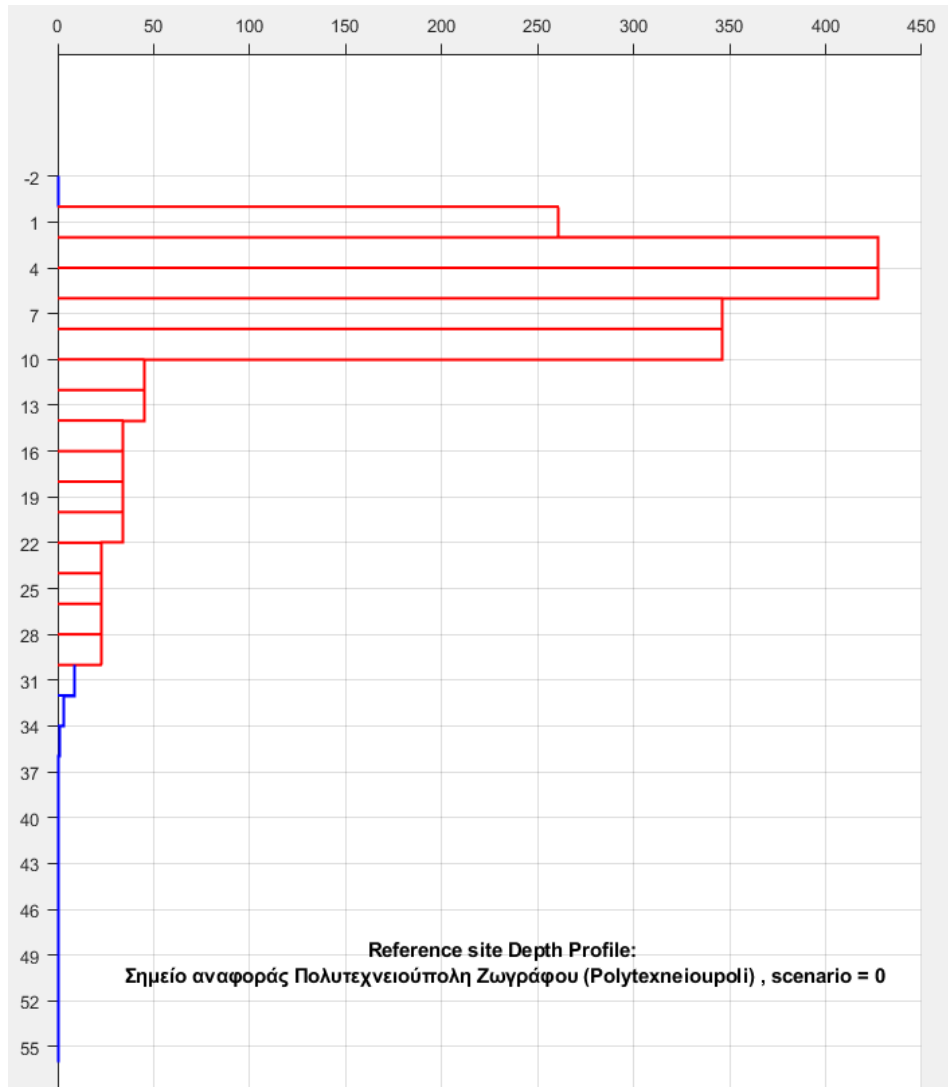


Στους Πίνακες 4.7 και 4.8 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης του MODERN με τρία άλλα μοντέλα προσδιορισμού αναδιανομής χώματος για μια περιοχή στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου στην οποία είχε πραγματοποιηθεί δειγματοληψία το 2011. Και σε αυτή την μελέτη έχουν χρησιμοποιηθεί ως έτη αναφοράς τα 1963 και 1954 αντίστοιχα. Κατά τη χρήση του MODERN παρατηρήθηκε ότι δεν είναι δυνατόν να μεταβληθεί αυτόματα το βήμα με το οποίο έχουν χωριστεί οι στρώσεις του αρχικού δείγματος. Μια λύση θα ήταν να εκτελεστεί τμηματικά ο κώδικας του MODERN και στις στρώσεις που αλλάζει το βήμα να αλλάζουν χειροκίνητα συγκεκριμένα τμήματα του κώδικα στο αρχείο MODERN.m. Όμως αυτή η μέθοδος είναι χρονοβόρα και η ακρίβεια στα αποτελέσματα δεν έχει σημαντική διαφορά. Έτσι αποφασίστηκε να χωριστούν όλες οι στρώσεις με ένα κοινό βήμα. Η λογική είναι ότι η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας θα παραμένει σταθερή για τα χωρία που γίνεται η προσομοίωση αυτή. Το βήμα ορίζεται ως ο ελάχιστος κοινός διαιρέτης του βήματος των αρχικών στρώσεων. Η μορφή των δεδομένων μετά την εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.9 Προσαρμογή του προφίλ βάθους αναφοράς για τις ανάγκες του MODERN.

#Υπο-δείγματος	βάθος(cm)	t(cm)	A(Bq/m ²)
1	0-1	1	261
2	1-2	1	427
3	2-3	1	427
4	3-4	1	346
5	4-5	1	346
6	5-6	1	45
7	6-7	1	45
8	7-8	1	34
9	8-9	1	34
10	9-10	1	34
11	10-11	1	34
12	11-12	1	23
13	12-13	1	23
14	13-14	1	23
15	14-15	1	23

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη μελέτη δε χρησιμοποιήθηκαν σενάρια εναπόθεσης. Ο λόγος είναι γιατί παρατηρήθηκε ότι δεν υπάρχει ιζηματογένεση σε κάποια από τις περιοχές δειγματοληψίας και η χρήση των σεναρίων εναπόθεσης δεν θα επηρέαζε τα αποτελέσματα. Στην Εικόνα 4.2 αποτυπώνεται ο διαχωρισμός των στρώσεων μετά την εφαρμογή της παραπάνω τεχνικής.



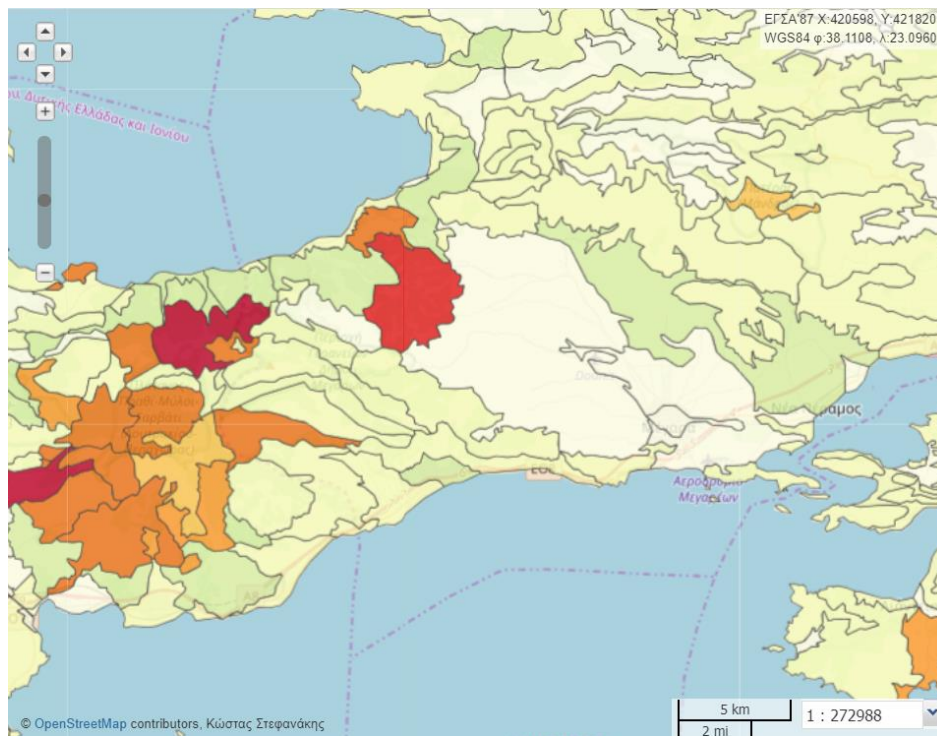
Εικόνα 4.2 Προσαρμογή προφίλ βάθους αναφοράς στην Πολυτεχνειούπολη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

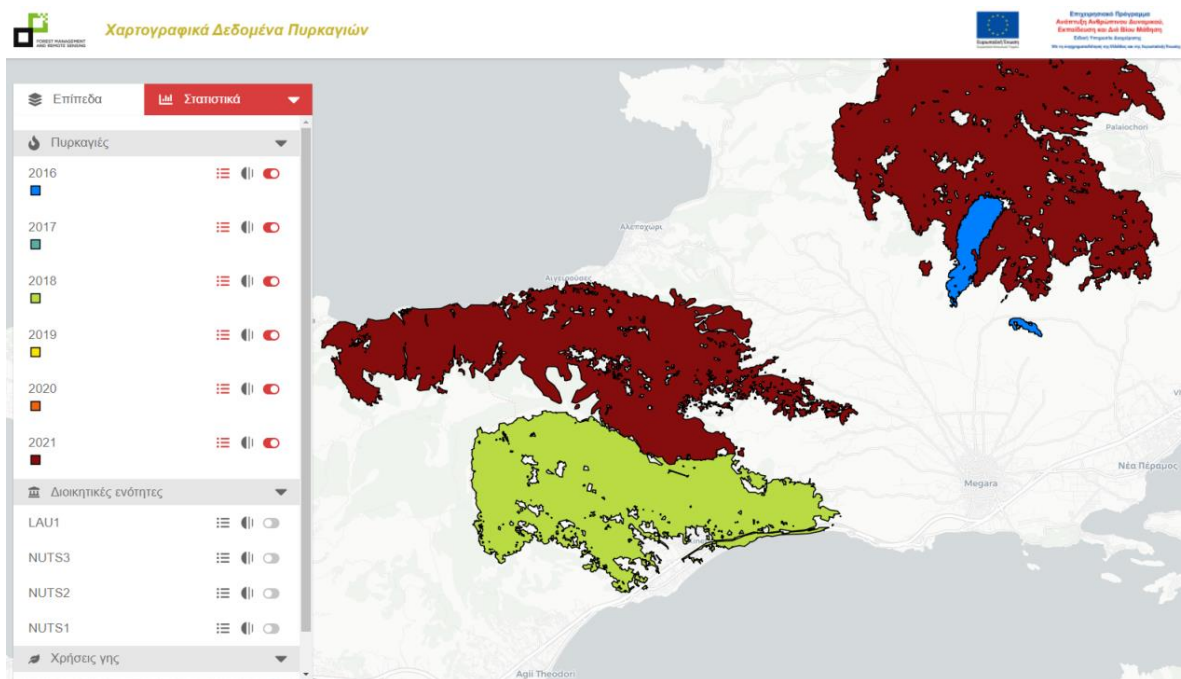
Δειγματοληψία στο Αλεποχώρι Αττικής

5.1 Εισαγωγή

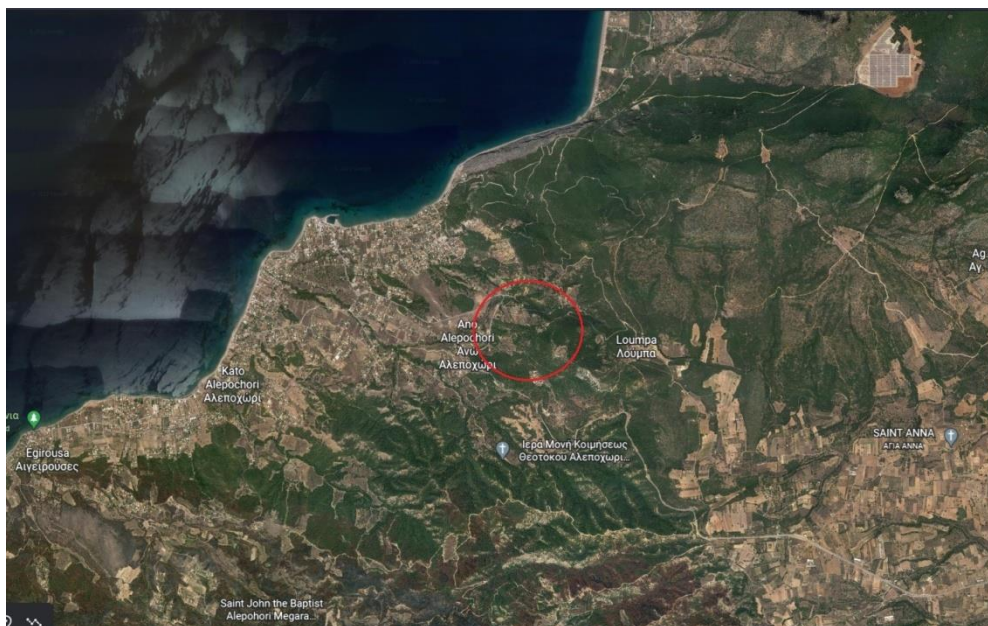
Στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, επιπλέον των αναλύσεων δεδομένων από δείγματα που είχαν συλλεχθεί στο παρελθόν πραγματοποιήθηκε και νέα δειγματοληψία. Αρχικά έγινε η επιλογή της συνολικής προς μελέτη περιοχής. Η συγκεκριμένη περιοχή έπρεπε να πληροί ορισμένα κριτήρια, ώστε να είναι κατάλληλη για τη δειγματοληψία. Υπήρξε απαίτηση για την εύρεση μιας περιοχής κοντά στην Αθήνα με στόχο την εύκολη και μη χρονοβόρα πρόσβαση σε αυτή. Επίσης, βασικός παράγοντας ήταν η επιλογή μιας περιοχής με έντονα φαινόμενα διάβρωσης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε ο εδαφολογικός χάρτης για τη διάβρωση στην Ελλάδα της Γενικής Διεύθυνσης Δασών και Δασικού Περιβάλλοντος. Το σημείο που αμέσως κέντρισε το ενδιαφέρον ήταν η δασική έκταση που βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Αλεποχωρίου Αττικής. Η περιοχή αυτή πληροί τα κριτήρια για τα φαινόμενα της διάβρωσης και τη σχετικά μικρή απόσταση από την Αθήνα. Όμως, λόγω των πρόσφατων πυρκαγιών (2018-2021) έπρεπε να ελεγχθεί το κατά πόσον υπάρχει αδιατάρακτο έδαφος ώστε να είναι δυνατή η λήψη δειγμάτων που δεν θα έχουν επηρεαστεί από ακραία περιβαλλοντικά και ανθρωπογενή αίτια. Έτσι, έγινε αντιπαραβολή του χάρτη με τα δεδομένα πυρκαγιών στην Ελλάδα του Εργαστηρίου Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεσκοπίσης του Αριστοτελείου Παν/μιου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ) με το χάρτη διάβρωσης. Το συμπέρασμα ήταν ότι στην περιοχή ενδιαφέροντος υπήρχε μεγάλο κομμάτι έκτασης που ήταν άθικτο από τις πυρκαγιές και κατά συνέπεια από μηχανισμούς που πιθανόν θα επηρέαζαν τη διάβρωση του εδάφους. Τα επακριβή σημεία δειγματοληψίας επιλέχθηκαν κατά την επίσκεψή στην περιοχή η οποία σημειώνεται στον χάρτη της Εικόνας 5.3.



Εικόνα 5.1 Χάρτης διάβρωσης εδάφους δυτικής Αττικής (<http://mapsportal.yren.gr>, Οκτώβριος 2022).



Εικόνα 5.2 Χάρτης Δασικών Πυρκαγιών δυτικής Αττικής (<http://fmrsvm.for.auth.gr/>, Οκτώβριος 2022).



Εικόνα 5.3 Ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος για πραγματοποίηση δειγματοληψίας, (googlemaps, Οκτώβριος, 2022).

5.2 Σχεδιασμός της δειγματοληψίας

Αρχικά, δημιουργήθηκε ένας κατάλογος με τα απαραίτητα εργαλεία και υλικά για τη δειγματοληψία. Στη συνέχεια ακολούθησε καθαρισμός των τριών δειγματοληπτών στο εργαστήριο του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Η μέθοδος της δειγματοληψίας που ακολουθήθηκε περιγράφεται στην Παράγραφο 5.3. Σκοπός της επίσκεψής στην προς μελέτη περιοχή ήταν η συλλογή δειγμάτων χρώματος από μια περιοχή αναφοράς και από διάφορες κοντινές περιοχές με έντονα χαρακτηριστικά διάβρωσης, ώστε τελικά να γίνει σύγκριση των δειγμάτων από τις περιοχές διάβρωσης με τα δείγματα από την περιοχή αναφοράς, μέσω του λογισμικού MODERN, με σκοπό τον υπολογισμό του ρυθμού αναδιανομής χρώματος στο κάθε σημείο.

5.3 Μέθοδος δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ΔΕ

Στα πλαίσια της ΔΕ, για την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική η οποία είχε αναπτυχθεί σε παλαιότερη ΔΕ (Πετροβίτσος, 2011). Κατά την συγκεκριμένη τεχνική, ένας τυποποιημένος σωλήνας κατά DIN με εξωτερική διάμετρο 82.5mm και πάχος 3.2mm, του οποίου ένα άκρο έχει τροχισθεί κωνικά, έχει χωριστεί σε δύο τμήματα με κατά μήκος τομή. Με χρήση τριών μεταλλικών δακτυλίων συγκράτησης, τα δύο τμήματα παραμένουν σε επαφή, ενώ ο σωλήνας καρφώνεται στο έδαφος με χρήση βαριοπούλας

μέχρι το επιθυμητό βάθος. Το χώμα, λόγω της συμπίεσης από το σωλήνα, καταλήγει να παραμένει μέσα σε αυτόν. Στη συνέχεια, με αρκετή προσοχή ώστε να μη καταρρεύσει το κάτω μέρος του δείγματος και με τη χρήση καλεμιού και σφυριού, ώστε να γίνει πιο εύκολη η αφαίρεσή του, ο σωλήνας αφαιρείται από το έδαφος. Τέλος, αφού ο δειγματολήπτης έχει αποκαλυφθεί πλήρως αφαιρούνται με τη σειρά οι δακτύλιοι και ο σωλήνας χωρίζεται στα δύο του μέρη. Το προς μελέτη δείγμα συνήθως παραμένει στο ένα από τα δύο κομμάτια του σωλήνα όπου συλλέγεται και συσκευάζεται σε κατάλληλα αριθμημένες πλαστικές σακούλες.

Η παραπάνω τεχνική δίνει αρκετά πλεονεκτήματα, πολλά από τα οποία μας οδήγησαν στην επιλογή της. Αρχικά, η διάταξη και η χρήση του εξοπλισμού είναι σχετικά απλή και η διαδικασία της δειγματοληψίας καθόλου χρονοβόρα σε σχέση με άλλες τεχνικές. Επιπλέον, το χώμα που βρίσκεται στο δείγμα είναι κατά βάση ενιαίο και χωρίς σημαντικά κενά. Τέλος, το προφίλ που συλλέγεται είναι εύκολο να χωριστεί με πολύ μικρό βήμα. Στην περίπτωση που κριθεί, λόγω του μικρού βήματος στο προφίλ βάθους, ότι το δείγμα χώματος δεν αρκεί, μπορούμε να συλλέξουμε δεύτερο προφίλ χώματος με το ίδιο βήμα και στη συνέχεια να τα αναμιξούμε. Στον αντίποδα όμως, υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα της τεχνικής. Ένα από τα βασικότερα είναι η μηχανική καταπόνηση του δειγματολήπτη στα πάνω άκρα λόγω κάμψης με τη χρήση της βαριοπούλας, το οποίο σε βάθος χρόνου μπορεί να καταστρέψει τους σωλήνες. Επίσης, τα κάτω άκρα του δειγματολήπτη, που χρειάζεται να παραμένουν αιχμηρά για την διευκόλυνση της εισχώρησης του σωλήνα στο έδαφος, συνήθως καταπονούνται λόγω της σκληρότητας του εδάφους αλλά και από πιθανές πέτρες που συναντάνε κατά την διαδικασία.

Παρ' όλα αυτά, στην συγκεκριμένη ΔΕ, αφού χρειαζόμασταν μια γρήγορη διαδικασία με χαμηλό κόστος, απλή χρήση, ελάχιστο βάρος και επιπλέον μια σχετικά ικανοποιητική ακρίβεια, η παραπάνω τεχνική ήταν η πλέον καταλληλότερη προς χρήση.



Εικόνα 5.4 Οι σωλήνες DIN που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη καρótων



Εικόνα 5.5 Μεταλλικοί δακτύλιοι συγκράτησης



Εικόνα 5.6 Προστατευτικά των σωλήνων

5.4 Δειγματοληψία.

5.4.1 Δειγματοληψία στην περιοχή αναφοράς

Σε προηγούμενη παράγραφο περιγράφηκε το πώς επιλέχθηκε η περιοχή ενδιαφέροντος (Αλεποχώρι Αττικής). Έγινε ανίχνευση της περιοχής ώστε να βρεθεί το κατάλληλο σημείο για τη συλλογή των δειγμάτων αναφοράς. Το σημείο αυτό έπρεπε να είναι κυρίως επίπεδο με χαμηλή βλάστηση και όσο το δυνατόν υπερυψωμένο ώστε να μην αποτελεί περιοχή εναπόθεσης χώματος από τα περιβαλλοντικά φαινόμενα και να μην υπάρχει ροή νερού. Επίσης, βασικό κριτήριο ήταν η μηδενική ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή. Η περιοχή που τελικά

επιλέχθηκε είχε γεωγραφικό μήκος 23.2089115 και γεωγραφικό πλάτος 38.0785659. Ήταν επίπεδη, πάνω σε λόφο και με σχετικά χαμηλή βλάστηση (κυρίως χαμηλά αγριόχορτα και γρασίδι). Το μόνο πρόβλημα ήταν ότι βρισκόταν σε δασική έκταση. Παρ' όλα αυτά, στο συγκεκριμένο σημείο τα δέντρα ήταν αραιά.



Εικόνα 5.7 Περιοχή από την οποία έγιναν οι δειγματοληψίες για τα δείγματα αναφοράς (1,2,3).



Εικόνα 5.8 Περιοχή από την οποία έγιναν οι δειγματοληψίες για τα δείγματα αναφοράς (4,5).

Κατά τις πρώτες τρεις δειγματοληψίες δεν υπήρχε αρκετό χώμα για πολλά από τα βάρη που θέλαμε να εξετάσουμε και έτσι αποφασίστηκε να συλλεχτούν συνολικά πέντε (5) δείγματα.

Το πρώτο δείγμα που συλλέχθηκε από τη θέση αναφοράς είχε αρκετά ξηρό χώμα και το ποσοστό λίθων και οργανικών, κυρίως στα πρώτα εκατοστά, ήταν μεγάλο. Το δείγμα δε συσκευάστηκε ολόκληρο αλλά χωρίστηκε σε επιμέρους υπο-δείγματα με σταθερό βήμα 2cm μέχρι τα 20cm βάθος. Στη συνέχεια, το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε ξεχωριστά. Ο τμηματικός διαχωρισμός έγινε με σκοπό να αναλυθεί η κατά βάθος κατανομή των ραδιοϊσοτόπων Cs-137, Pb-210 και Be-7 που είναι απαραίτητα δεδομένα για τη λειτουργία του MODERN.

Το δεύτερο δείγμα που συλλέχθηκε από τη θέση αναφοράς βρισκόταν σε απόσταση μερικών εκατοστών από το πρώτο. Αποτελούνταν κυρίως από ξηρό χώμα και τυπικό ποσοστό λίθων. Υπήρξε δυσκολία στην εισαγωγή του δειγματολήπτη στο έδαφος και έτσι το συνολικό βάθος του προφίλ που λήφθηκε ήταν στα 12cm. Ακολούθησε διαχωρισμός του δείγματος με βήμα 2cm και το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε στο αντίστοιχο εύρος βάθους με το πρώτο.

Το τρίτο δείγμα που συλλέχθηκε από την θέση αναφοράς βρισκόταν περίπου δεκαπέντε μέτρα μακριά από τα πρώτα δύο. Αποτελούνταν κυρίως από ξηρό χώμα και μεγάλο ποσοστό λίθων και οργανικών στα πρώτα εκατοστά. Και σε αυτήν την περίπτωση υπήρξε δυσκολία με την εισαγωγή του δειγματολήπτη στο έδαφος και έτσι το δείγμα μας ήταν μικρό με συνολικό βάθος 8cm. Ακολούθησε διαχωρισμός του δείγματος με βήμα 2cm και το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε στο αντίστοιχο εύρος βάθους με τα προηγούμενα.

Το τέταρτο δείγμα που συλλέχθηκε από τη θέση αναφοράς βρισκόταν περίπου σαράντα μέτρα μακριά από τα πρώτα δύο. Το σημείο ήταν σαφώς πιο αραιό από βλάστηση και δέντρα από τα τρία πρώτα. Στο δείγμα όμως υπήρχε υψηλό ποσοστό λίθων και το συνολικό βάθος προφίλ που ελήφθη ήταν στα 10cm. Ακολούθησε διαχωρισμός του δείγματος με βήμα 2cm και το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε στο αντίστοιχο εύρος βάθους με τα προηγούμενα.

Το πέμπτο και τελευταίο δείγμα που συλλέχθηκε από τη θέση αναφοράς βρισκόταν σε απόσταση 5 μέτρων από το τέταρτο. Το δείγμα περιείχε κυρίως χώμα και ελάχιστο ποσοστό λίθων. Το συνολικό προφίλ του ήταν 20cm. Ακολούθησε διαχωρισμός του δείγματος με βήμα 2cm και το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε στο αντίστοιχο εύρος βάθους με τα προηγούμενα.

Η ανάμιξη των 5 δειγμάτων στα αντίστοιχα βάθη έγινε με σκοπό τη συλλογή ικανής ποσότητας χώματος για κάθε εύρος βάθους μέχρι τα είκοσι εκατοστά, αλλά και τη μείωση της αβεβαιότητας που προκύπτει από τον διαχωρισμό των δειγμάτων σε υπο-δείγματα.

5.4.2 Δειγματοληψία στις περιοχές διάβρωσης

Μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας από την περιοχή αναφοράς, αναζητήθηκαν σημεία τα οποία θα ήταν κατάλληλα για την μελέτη της διάβρωσης στην ίδια περιοχή. Εντοπίστηκαν δύο σημεία τελικά. Το πρώτο σημείο ήταν τοποθεσία σε πλαγιά με έντονη κλίση, σχεδόν καθόλου βλάστηση και πολύ μαλακό χώμα ακόμα και σε μεγάλα βάθη, με γεωγραφικό πλάτος 38.0810124 και γεωγραφικό μήκος 23.2001310. Το δεύτερο σημείο ήταν τοποθεσία με σχετική κλίση, έντονη χαμηλή βλάστηση και σχετικά σκληρό χώμα, με γεωγραφικό πλάτος 38.0823436 και γεωγραφικό μήκος 23.2073552. Για τις ανάγκες του λογισμικού MODERN δεν είναι απαραίτητη η δειγματοληψία με συγκεκριμένη γεωμετρία και έτσι αποφασίστηκε η λήψη δυο δειγμάτων από την κάθε τοποθεσία, χωρικά διάσπαρτα.



Εικόνα 5.9 Σημεία συλλογής δειγμάτων πιθανής διάβρωσης 1 και 2.

5.4.2.1 Δειγματοληψία πρώτης τοποθεσίας

Στην πρώτη περιοχή μελέτης διάβρωσης η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε με σχετική ευκολία και για τα δύο δείγματα. Ο λόγος ήταν το πολύ μαλακό έδαφος της περιοχής. Η μόνη δυσκολία που υπήρξε ήταν η πολύ απότομη κλίση της πλαγιάς.

Το πρώτο δείγμα που συλλέχτηκε περιείχε ελάχιστο ποσοστό λίθων. Παρ'όλα αυτά είχε μεγάλα ποσοστά συσσωματωμάτων χώματος. Το συνολικό βάθος του μείγματος ήταν στα 25cm. Η αρχική μορφή του δείγματος ήταν εύκολα επεξεργάσιμη, δηλαδή δεν είχαμε αποκόλληση του δείγματος από το σωλήνα και το χώμα ήταν αρκετά συμπαγές ώστε να κοπεί με μεγάλη ακρίβεια. Για το λόγο αυτό αποφασίστηκε, παρ'όλο που δεν ήταν απαραίτητο, να χωριστεί κατά βάθος σε υπο-δείγματα με σταθερό βήμα 5cm. Στην συνέχεια το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε ξεχωριστά.

Το δεύτερο δείγμα που συλλέχτηκε περιείχε και αυτό ελάχιστο αριθμό λίθων. Κατά την επεξεργασία του δείγματος όμως, παρατηρήθηκε ότι τα συσσωματώματα χώματος που είχαν δημιουργηθεί ήταν σε μεγάλο ποσοστό δύσκολα στη διάσπασή τους. Ο σκοπός της διάσπασής των συσσωματωμάτων ήταν η δημιουργία λεπτόκοκκου δείγματος χώματος (κόκκων<2mm)

αφού το δείγμα στην συνέχεια θα περνούσε από ειδικό κόσκινο 2mm. Το τελικό δείγμα θα έπρεπε να έχει αρκετή ποσότητα χόματος ώστε να πληρώσει την γεωμετρία που χρησιμοποιήθηκε. Παρ' όλα αυτά η δυσκολία στην διάσπαση δεν αποτέλεσε πρόβλημα. Το συνολικό βάθος του δείγματος ήταν στα 25cm. Η αρχική μορφή του δείγματος ήταν εύκολα επεξεργάσιμη και σε αυτήν την περίπτωση, οπότε έγινε διαχωρισμός σε υπο-δείγματα με σταθερό βήμα 5cm. Στη συνέχεια το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε ξεχωριστά.

5.4.2.2 Δειγματοληψία δεύτερης τοποθεσίας

Στη δεύτερη περιοχή μελέτης διάβρωσης η δειγματοληψία έγινε πιο εύκολα σε σχέση με την πρώτη περιοχή κυρίως λόγω της χαμηλής κλίσης. Το μόνο πρόβλημα ήταν η σχετικά πυκνή αλλά χαμηλή βλάστηση της περιοχής. Το μεγαλύτερο μέρος της βλάστησης απομακρύνθηκε κατά την διαδικασία κοσκινίσματος των δειγμάτων. Μικρό μέρος οργανικών υπήρχαν στο τελικό δείγμα το οποίο δεν αποτέλεσε πρόβλημα.

Το πρώτο δείγμα που συλλέχτηκε περιείχε μεγάλο ποσοστό λίθων και οργανικών κυρίως στα πρώτα 5cm βάθους. Με την αύξηση του βάθους του εδάφους, το ποσοστό αυτό μειώθηκε απότομα. Το συνολικό βάθος του δείγματος ήταν 25cm. Όπως και στα προηγούμενα δείγματα, η μορφή του αρχικού δείγματος ήταν εύκολη στην επεξεργασία. Το δείγμα χωρίστηκε σε υπο-δείγματα με σταθερό βήμα πέντε. Στη συνέχεια, το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε ξεχωριστά.

Το δεύτερο δείγμα που συλλέχτηκε περιείχε μεγάλο ποσοστό λίθων και οργανικών μέχρι τα 10cm βάθος το οποίο στη συνέχεια μειωνόταν απότομα. Το συνολικό βάθος του δείγματος ήταν στα 20cm. Στο συγκεκριμένο δείγμα παρουσιάστηκε μια δυσκολία στην εισχώρηση του σωλήνα δειγματοληψίας στο έδαφος και αυτός ήταν ο λόγος που το δείγμα είχε μικρότερο εύρος βάθους από τα προηγούμενα. Παρ' όλα αυτά και σε αυτήν την περίπτωση η μορφή του δείγματος που συλλέχθηκε ήταν εύκολη στην επεξεργασία, δηλαδή το δείγμα βγήκε ενιαίο, χωρίς να έχουν καταρεύσει τα τοιχώματα του. Το δείγμα χωρίστηκε σε υπο-δείγματα με σταθερό βήμα 5cm. Στη συνέχεια, το κάθε υπο-δείγμα συσκευάστηκε ξεχωριστά.

5.5 Προετοιμασία και ανάλυση των δειγμάτων

Με βάση τις απαιτήσεις του λογισμικού MODERN, αλλά και την εμπειρία του ΕΠΤ-ΕΜΠ στον τομέα της προετοιμασίας και επεξεργασίας δειγμάτων χόματος, ακολουθήθηκαν μεθοδικά συγκεκριμένα βήματα, τα οποία περιγράφονται παρακάτω αναλυτικά.

5.5.1 Ξήρανση και κοσκίνισμα του δείγματος

Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ χρησιμοποιείται συγκεκριμένη διαδικασία για την επεξεργασία και την προετοιμασία δειγμάτων χώματος για τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση. Στην παρούσα ΔΕ ακολουθήθηκε αυτή η διαδικασία με μερικές παραλλαγές, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη μελέτη του ρυθμού διάβρωσης. Οι παραλλαγές, πέρα από τη διαδικασία που θα περιγραφεί παρακάτω, περιλαμβάνουν:

Κοσκίνισμα των δειγμάτων: Ο λόγος για τον οποίο αποφασίστηκε να γίνει η διαδικασία κοσκίνισματος είναι ότι τα χονδρόκοκκα κλάσματα ενός δείγματος αναμένεται συνήθως να έχουν σημαντικά μικρότερη συγκέντρωση ραδιενέργειας σε σχέση με τα λεπτόκοκκα κλάσματα επειδή μπορεί να περιέχουν λίθους και άλλα ξένα υλικά. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνεπώς, θα ήταν αρκετά αλλοιωμένα σε περίπτωση που δεν γινόταν διαχωρισμός.

Σπάσιμο των χονδρόκοκκων κλασμάτων: Στα δείγματα που συλλέχθηκαν παρατηρήθηκε ότι υπήρχε μεγάλος αριθμός συσσωματωμάτων που αποτελούνταν εξ' ολοκλήρου από χώμα. Αποφασίστηκε, μέσω μιας απλής διαδικασίας αυτά τα συσσωματώματα να διασπαστούν ώστε να είναι μεγαλύτερη η ποσότητα του προς ανάλυση δείγματος, αφού σε κάποια βάθη (14-18cm), η ποσότητα των λεπτόκοκκων κλασμάτων ήταν υπερβολικά μικρή. Στη συνέχεια, για να υπάρξει αντιπροσωπευτικό δείγμα τα λεπτόκοκκα κλάσματα που προέκυψαν από τα συσσωματώματα αναμείχθηκαν με αυτά που υπήρχαν αρχικά.

Εκτός από το κοσκίνισμα των δειγμάτων και το σπάσιμο των χονδρόκοκκων κλασμάτων, η υπόλοιπη διαδικασία που εφαρμόστηκε στην παρούσα ΔΕ περιγράφεται παρακάτω:

- Το δείγμα αρχικά απλώνεται πάνω σε φύλλα Α3 και αφήνεται να ξεραθεί σε θερμοκρασία δωματίου μέχρι η υγρασία του να μη ξεπερνάει το 3-5%. Το δείγμα αφήνεται σε κατάσταση αποξήρανσης αρχικά για 2 ημέρες. Στη συνέχεια γίνεται μια αναδιάταξη της ποσότητας του δείγματος ώστε τα κάτω στρώματα να έρθουν στην επιφάνεια και αφήνεται για ακόμα 2 ημέρες. Τέλος, μετράται η υγρασία του δείγματος για να διαπιστωθεί αν έχει έρθει στο επιθυμητό όριο.
- Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ η υγρασία ενός δείγματος χώματος υπολογίζεται μέσω ζυγού προσδιορισμού υγρασίας. Στον ζυγό αρχικά τοποθετείται σε μεταλλικό ανοιχτό δισκίο ποσότητα 10.0gr από το εκάστοτε δείγμα. Ο ζυγός, αφού τεθεί σε λειτουργία, με τη χρήση

ειδικού λαμπτήρα, ο οποίος θερμαίνει το υλικό, προκαλεί εξάτμιση του νερού που έχει το δείγμα. Μετά το πέρας προκαθορισμένου χρόνου, παρατηρείται η μείωση βάρους που έχει υποστεί το δείγμα από τα μετρητικά όργανα του ζυγού. Η μείωση αυτή αποδίδεται σε εξάτμιση του νερού του δείγματος και μέσω της διαφοράς υπολογίζεται η υγρασία. Ο χρόνος και η θερμοκρασία εξαρτώνται κυρίως από την υγρασιαστικότητα του δείγματος αλλά και από άλλους παράγοντες. Τυπικά, στη ΔΕ η ισχύς που εφαρμόστηκε ήταν 5 Watt και ο χρόνος παραμονής του δείγματος στον ζυγό ήταν 5 λεπτά. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας για κάθε δείγμα, τα ποσοστά υγρασίας σε όλα τα δείγματα βρίσκονται σε λογικά-αναμενόμενα πλαίσια μεταξύ 1.8% και 4%.

- ☑ Στη συνέχεια, τα δείγματα κοσκινίζονται με τη χρήση ειδικού κόσκινου που διαθέτει το ΕΠΤ-ΕΜΠ. Ο διαχωρισμός γίνεται μεταξύ κόκκων με διάμετρο μεγαλύτερη των 2mm και μικρότερη των 2mm. Με αυτόν το τρόπο απομακρύνονται κυρίως οι λίθοι και τα οργανικά που περιέχονται στο κάθε δείγμα. Οργανικά μικρότερα των 2mm που θα παραμείνουν στο δείγμα προς ανάλυση θεωρείται ότι δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Το τμήμα του δείγματος με κόκκους μεγαλύτερους των 2mm συσκευάζεται πάλι και φυλάσσεται αφού δεν θα χρησιμοποιηθεί περαιτέρω.



Εικόνα 5.10 Καρότο δείγμα 1 πλαγιά 2



Εικόνα 5.11 Καρότο δείγμα 2 πλαγιά 1



Εικόνα 5.12 Ζυγός προσδιορισμού υγρασίας.



Εικόνα 5.13 Διαδικασία κοσκίνισματος.



Εικόνα 5.14 Μερικά από τα δείγματα αναφοράς κατά την διαδικασία ξήρανσης.

5.5.2 Συσκευασία δείγματος

Αφού τελειώσει η προετοιμασία των δειγμάτων με την μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω, ακολουθεί η συσκευασία των δειγμάτων σε πλαστικά δοχεία καθορισμένων διαστάσεων. Η συσκευασία γίνεται για τα δείγματα με διάμετρο κόκκων μικρότερη από 2.0 mm. Κατά τη διαδικασία πλήρωσης των κυλινδρικών δοχείων δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη μη ύπαρξη κενών στο δείγμα. Στο ΕΠΤ-ΕΜΠ χρησιμοποιούνται τρεις τυποποιημένες κυλινδρικές γεωμετρίες για την ανάλυση δειγμάτων με γ-φασματοσκοπία.

Γεωμετρία 2: κυλινδρική γεωμετρία διαμέτρου 72mm, ύψους 69mm και όγκου 282cm^3 .

Γεωμετρία 5: κυλινδρική γεωμετρία διαμέτρου 72mm, ύψους 22mm και όγκου 97.2cm^3 .

Γεωμετρία 8: κυλινδρική γεωμετρία διαμέτρου 72mm, ύψους 10mm και όγκου 40cm^3 .

Στη συγκεκριμένη ΔΕ, η γεωμετρία καθορίστηκε από το δείγμα στο οποίο ήταν διαθέσιμη η μικρότερη ποσότητα. Για τα δείγματα της περιοχής αναφοράς η μικρότερη διαθέσιμη ποσότητα ήταν για το δείγμα από βάθος 16-18cm. Παρόλο που η ποσότητα του δείγματος δεν ήταν αρκετή για την πλήρωση της «Γεωμετρίας 8» και δεν εφάρμοζε τέλεια, αφού το ύψος που έφτανε ήταν τα 9mm αντί τα 10mm που κανονικά χρειάζεται, αποφασίστηκε – εν γνώση μας – να χρησιμοποιηθεί «Γεωμετρία 8» για όλα τα δείγματα αναφοράς. Με αυτόν τον τρόπο η διαδικασία συσκευασίας των δειγμάτων έγινε πιο απλή και υπήρξε καλύτερη ακρίβεια στην ανάλυση, αφού η απόκλιση που είχε, μικρότερη του ενός χιλιοστού, θεωρήθηκε ότι δε θα δημιουργήσει σοβαρό πρόβλημα. Σε περίπτωση που θα προέκυπτε απόκλιση στα αποτελέσματα μετά τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση, θα ήταν ένας παράγοντας που θα λαμβάνετο υπόψη.

Για τα δείγματα χώματος στις περιοχές διάβρωσης εξετάστηκε αρχικά η «Γεωμετρία 5», αφού τα δείγματα χωρίστηκαν με εύρος βάθους (5cm) και κατά συνέπεια μεγαλύτερο όγκο δείγματος. Παρ'όλα αυτά, εξετάζοντας τα δείγματα MSAF026, MSAF017 και MSAF020, στα οποία υπήρχε η μικρότερη ποσότητα δείγματος, διαπιστώθηκε ότι δεν είναι αρκετά ώστε να υπάρξει πλήρωση της «Γεωμετρίας 5». Συνεπώς για όλα τα δείγματα χώματος στις περιοχές διάβρωσης χρησιμοποιήθηκε η «Γεωμετρία 8».

Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαμόρφωση της «Γεωμετρίας 8» χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κυλινδρικά δοχεία του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Τα δοχεία αυτά έχουν συνολικό ύψος 69mm. Για να

επιτευχθεί το επιθυμητό ύψος των 10 mm χωρίς κενά χρησιμοποιήθηκε μια διάταξη (Εικόνα 5.10) κατασκευασμένη στο εργαστήριο για τον σκοπό αυτό. Η διάταξη περιλαμβάνει έναν κυκλικό δίσκο διαμέτρου 72mm ο οποίος πιέζει το δείγμα χώματος ώστε να πάρει την κατάλληλη «Γεωμετρία 8» στα 10mm. Στη συνέχεια, το δείγμα ζυγίστηκε και σφραγίστηκε. Το κάθε δοχείο αναγράφει στο επάνω, στο κάτω και στο μπροστινό μέρος του τον κωδικό του κάθε δείγματος. Τα στοιχεία του δείγματος αναγράφονται στην αντίστοιχη καρτέλα δείγματος και περιλαμβάνουν, την κωδική ονομασία, την ημερομηνία δειγματοληψίας, το ποσοστό υγρασίας, τη συνολική και την ξήρη μάζα καθώς και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία κρίνεται σημαντική σχετικά με την επεξεργασία που έχει υποστεί το κάθε δείγμα. Με την ολοκλήρωση των παραπάνω εργασιών, το δείγμα είναι έτοιμο για τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση. Να σημειωθεί ότι η παραπάνω διαδικασία συσκευασίας των δειγμάτων πραγματοποιείται με σκοπό τον προσδιορισμό των ραδιοϊσοτόπων Cs-137, Pb-210 και Be-7.



Εικόνα 5.15 Διάταξη του ΕΠΤ-ΕΜΠ για τη «Γεωμετρία 8».



Εικόνα 5.16 Δείγμα χώματος έτοιμο προς ανάλυση.



Εικόνα 5.17 Ονομασία δειγμάτων

Ακολουθούν οι πίνακες με τα στοιχεία των δειγμάτων έτσι όπως προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία. Να σημειωθεί ότι στα δείγματα MSAF008 και MSAF009 λόγω έλλειψης μάζας δεν μετρήθηκε η υγρασία των δειγμάτων. Συνεπώς έγινε μια υπόθεση για την τιμή (1.9%) σύμφωνα με την μείωση που παρατηρήθηκε στις μετρήσεις των υπόλοιπων δειγμάτων αναφοράς.

ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Πίνακας 5.1 Πληροφορίες δειγμάτων προς ανάλυση περιοχής αναφοράς.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Βάθος (cm)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα δείγματος (gr)	Υγρασία (%)	Ξηρή μάζα (gr)
Σ.Α. 1	MSAF001	0-2	140.56	112.74	34.98	4.0	33.58
Σ.Α. 2	MSAF002	2-4	144.25	100.54	41.65	3.5	40.19
Σ.Α. 3	MSAF003	4-6	170.28	134.00	43.58	3.0	42.27
Σ.Α. 4	MSAF004	6-8	168.96	141.99	48.53	2.7	47.22
Σ.Α. 5	MSAF005	8-10	130.74	114.20	47.29	2.5	46.11
Σ.Α. 6	MSAF006	10-12	106.72	90.32	48.32	2.3	47.21
Σ.Α. 7	MSAF007	12-14	96.17	83.75	52.00	2.0	50.96
Σ.Α. 8	MSAF008	14-16	51.42	54.65	47.92	-	-
Σ.Α. 9	MSAF009	16-18	47.54	43.18	43.18	-	-
Σ.Α. 10	MSAF010	18-20	62.56	56.84	50.80	1.8	49.89

ΔΕΙΓΜΑ 1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ: 1^η ΠΛΑΓΙΑ

Πίνακας 5.2 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 1.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Βάθος (cm)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα δείγματος (gr)	Υγρασία (%)	Ξηρή μάζα (gr)
1.1	MSAF011	0-5	85.60	96.08	47.91	3.0	46.47
1.2	MSAF012	5-10	26.10	150.79	50.52	3.3	48.85
1.3	MSAF013	10-15	40.85	162.75	47.12	3.1	45.66
1.4	MSAF014	15-20	33.25	153.02	46.95	3.7	45.21
1.5	MSAF015	20-25	73.31	159.87	45.07	3.8	43.35

ΔΕΙΓΜΑ 2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ: 1^η ΠΛΑΓΙΑ

Πίνακας 5.3 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 2.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Βάθος (cm)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα δείγματος (gr)	Υγρασία (%)	Ξηρή μάζα (gr)
2.1	MSAF016	0-5	36.75	177.70	50.10	3.0	48.59
2.2	MSAF017	5-10	11.51	110.22	49.72	2.8	48.33
2.3	MSAF018	10-15	71.07	127.19	52.70	1.7	51.80
2.4	MSAF019	15-20	79.06	158.60	54.63	1.9	53.59
2.5	MSAF020	20-25	162.60	117.31	49.95	2.0	48.94

ΔΕΙΓΜΑ 3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ: 2^η ΠΛΑΓΙΑ

Πίνακας 5.4 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 3.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Βάθος (cm)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα δείγματος (gr)	Υγρασία (%)	Ξηρή μάζα (gr)
3.1	MSAF021	0-5	93.00	116.67	42.72	3.2	41.48
3.2	MSAF022	5-10	144.74	140.37	44.13	2.9	42.85
3.3	MSAF023	10-15	99.12	192.70	18.08	2.7	46.78
3.4	MSAF024	15-20	112.89	176.60	47.34	3.0	45.92
3.5	MSAF025	20-25	127.15	167.46	46.11	2.8	44.82

ΔΕΙΓΜΑ 4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ: 2^η ΠΛΑΓΙΑ

Πίνακας 5.5 Πληροφορίες δείγματος πιθανής Διάβρωσης 4.

ΔΕΙΓΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ	Βάθος (cm)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα κόκκων <2mm (gr)	Μάζα δείγματος (gr)	Υγρασία (%)	Ξηρή μάζα (gr)
4.1	MSAF026	0-5	61.84	83.65	40.45	2.9	39.28
4.2	MSAF027	5-10	123.15	116.67	44.87	3.1	43.48
4.3	MSAF028	10-15	105.27	161.41	45.22	3.3	43.73
4.4	MSAF029	15-20	124.91	162.28	44.92	2.7	43.71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ανάλυση δειγμάτων από το Αλεποχώρι Αττικής και προσδιορισμός του ρυθμού διάβρωσης με το λογισμικό MODERN

6.1 Εισαγωγή

Αφού ολοκληρώθηκε η συσκευασία των δειγμάτων, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5, ακολούθησε η γ-φασματοσκοπική ανάλυση των δειγμάτων. Στη συνέχεια, και μετά το πέρας συγκεκριμένου χρόνου - δύο ημέρες κατά μέσο όρο για κάθε δείγμα και για κάθε ανιχνευτή - συλλέχτηκαν τα αποτελέσματα και πραγματοποιήθηκε η απαραίτητη επεξεργασία ώστε να διαμορφωθούν τα αποτελέσματα έτσι ώστε να ικανοποιούν τις προδιαγραφές του λογισμικού MODERN. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση, περιγράφεται η διαδικασία επεξεργασίας των αποτελεσμάτων καθώς και η διαδικασία εισαγωγής των αποτελεσμάτων στο λογισμικό MODERN. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης

6.2.1 Γενικά για την γ-φασματοσκοπική ανάλυση

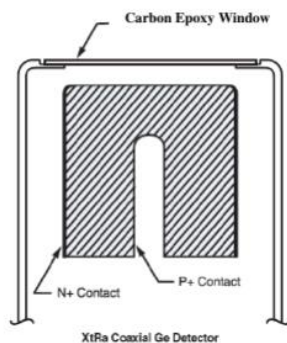
Η γ-φασματοσκοπική ανάλυση αποτελεί μια μη καταστροφική μέθοδο προσδιορισμού ραδιενεργών ισοτόπων. Στα δείγματα που αναλύονται με τη μέθοδο αυτή, προσδιορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά τα ραδιενεργά ισότοπα (φυσικής ή τεχνητής προέλευσης), που υπάρχουν στο δείγμα που αναλύεται τα οποία κατά τη διάσπασή τους εκπέμπουν γ-ακτινοβολία. Ποιοτικός προσδιορισμός εννοείται η αναγνώριση των ραδιοϊσοτόπων που περιέχονται σε ένα δείγμα μελέτης, ενώ ποσοτικός προσδιορισμός η καταγραφή του πλήθους των πυρήνων που διασπώνται ανά μονάδα χρόνου για το κάθε ραδιοϊσότοπο, δηλαδή η ραδιενέργεια του. Στα πλεονεκτήματα της γ-φασματοσκοπίας περιλαμβάνεται και η σχετικά απλή και γρήγορη προετοιμασία δείγματος καθώς και η μη-καταστροφική μέθοδος ανάλυσης του.

6.2.2 Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιήθηκαν

Στην παρούσα ΔΕ χρησιμοποιήθηκαν τρεις (3) ανιχνευτές για τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση των δειγμάτων που συλλέχτηκαν από το Αλεποχώρι Αττικής. Για την ανάλυση των δειγμάτων στην περιοχή αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ανιχνευτής γερμανίου LEGe (Low Energy Germanium), ενώ για τα δείγματα από τις περιοχές διάβρωσης χρησιμοποιήθηκαν οι ανιχνευτές XtRa και XtCSS. Τα χαρακτηριστικά των ανιχνευτών περιγράφονται παρακάτω.

Ανιχνευτής LEGe (Low Energy Germanium): Ο ανιχνευτής LEGe είναι κατάλληλα σχεδιασμένος-βαθμονομημένος για αναλύσεις φωτονίων χαμηλών ενεργειών. Οι περιοχές ανίχνευσης είναι στα 20-200keV και 20-2000keV. Η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή σύμφωνα με το πιστοποιητικό του κατασκευαστή και σε όρους fwhm είναι 341eV και 996eV για φωτόνια ενέργειας 5.9keV και 122keV αντίστοιχα. Η συνιστώμενη τάση στον ανιχνευτή είναι τα 2000V. Ο ανιχνευτής είναι κατακόρυφα τοποθετημένος σε κρυοστάτη του οποίου το παράθυρο είναι κατασκευασμένο από λεπτό φύλλο βηρυλλίου (Be) το οποίο έχει ως συνέπεια την ελαχιστοποίηση της εξασθένησης των ακτίνων-γ χαμηλών ενεργειών. (Καρφόπουλος, 2012)

Ανιχνευτής XtRa (Extended Range): Ο ανιχνευτής XtRa είναι ένας ομοαξονικός ανιχνευτής γερμανίου με παράθυρο από ανθρακονήματα πάχους 0.5mm, το οποίο επιτρέπει την ανίχνευση φωτονίων χαμηλών ενεργειών. Ο ανιχνευτής έχει διάμετρο 80mm, ύψος 78mm και η σχετική απόδοσή του είναι 104.5% για φωτόνια ενέργειας 1332.5keV. Παρουσιάζει πολύ καλή διακριτική ικανότητα, της τάξεως του 1.03keV για φωτόνια ενέργειας 122.06keV και 2.04keV για φωτόνια ενέργειας 1332.50keV, ενώ ο λόγος peak-to-Compton για φωτόνια ενέργειας 1332.50keV είναι 82.2. (Καρφόπουλος, 2012)



Εικόνα 6.1 Τομή του ανιχνευτή XtRa.

Ανιχνευτής XtCSS (Compton Suppression System): Ουσιαστικά πρόκειται για τον ανιχνευτή XtRa στον οποίο έχει τοποθετηθεί το σύστημα Compton Suppression (CSS). Σκοπός της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η μείωση του συνεχούς υποβάθρου του φάσματος λόγω της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας με συνέπεια την επίτευξη χαμηλότερων επιπέδων ανίχνευσης. (Savva et al., 2014; Savva and Anagnostakis, 2016).



Εικόνα 6.2 Το σύστημα CSS συνδεδεμένο στον ανιχνευτή XtRa

6.2.3 Αποτελέσματα της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης

Το σύνολο των δειγμάτων που χρειάστηκε να αναλυθούν στην παρούσα ΔΕ ήταν 29 (10 δείγματα αναφοράς και 19 δείγματα από περιοχές με διάβρωση). Για κάθε δείγμα χρειάστηκε χρόνος παραμονής στον ανιχνευτή τουλάχιστον δύο ημερών ώστε να υπάρχει ικανοποιητική ακρίβεια στα αποτελέσματα. Τα εν λόγω αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν, ξεχωριστά για κάθε ραδιοϊσότοπο. Στα δείγματα στα οποία δεν αναγράφεται κάποια μέτρηση, η συγκέντρωση του εκάστοτε ραδιοϊσοτόπου ήταν χαμηλότερη από το όριο ανίχνευσης.

Οι αβεβαιότητες στους παρακάτω πίνακες δίνονται σε 1σ.

Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης στην περιοχή αναφοράς για Cs-137, Pb-210 και Be-7.

FRN	Cs-137		Pb-210		Be-7	
ΔΕΙΓΜΑ	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)
MSAF001	54.8	2.3	258.7	2.0	9.3	52.8
MSAF002	36.4	2.4	165.3	2.5	-	-
MSAF003	23.6	3.9	92.3	4.2	-	-
MSAF004	17.4	4.2	67.3	4.8	-	-
MSAF005	10.0	8.0	55.3	6.4	-	-
MSAF006	6.9	11	44.0	7.7	-	-
MSAF007	4.0	16.9	38.2	8.4	-	-
MSAF008	3.9	18.5	33.4	10.0	-	-
MSAF009	3.2	24.8	43.0	8.2	-	-
MSAF010	1.6	28.8	32.1	7.2	-	-

Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 1 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.

FRN	Cs-137		Pb-210		Be-7	
ΔΕΙΓΜΑ	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)
MSAF011	0.35	34.7	16.2	15.7	4.8	18.9
MSAF012	-	-	12.1	21.5	-	-
MSAF013	-	-	11.7	23.6	-	-
MSAF014	-	-	14.1	23.3	-	-
MSAF015	-	-	18.9	15.4	-	-

Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 2 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.

FRN	Cs-137		Pb-210		Be-7	
ΔΕΙΓΜΑ	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)
MSAF016	0.32	45.4	13.7	22.7	-	-
MSAF017	-	-	13.7	15.1	-	-
MSAF018	-	-	13.3	16.4	-	-
MSAF019	-	-	12.7	23.5	-	-
MSAF020	-	-	10.2	28.3	-	-

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 3 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.

FRN	Cs-137		Pb-210		Be-7	
ΔΕΙΓΜΑ	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)
MSAF021	15.5	1.4	66.3	4.7	-	-
MSAF022	3.4	4.5	23.5	12.6	-	-
MSAF023	0.96	27.3	22.9	22.1	-	-
MSAF024	0.64	20.1	17.2	17.0	-	-
MSAF025	0.43	29.6	16.2	17.1	-	-

Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης δείγματος διάβρωσης 4 για Cs-137, Pb-210 και Be-7.

FRN	Cs-137		Pb-210		Be-7	
ΔΕΙΓΜΑ	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)	Net Activity (Bq/Kg)	Error(%)
MSAF026	13.6	2.1	69.2	5.6	-	-
MSAF027	9.9	1.4	29.4	7.9	-	-
MSAF028	4.6	3.6	22.3	13.2	-	-
MSAF029	1.4	11	17.2	16.9	-	-

6.3 Επεξεργασία δεδομένων της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης και προσαρμογή τους στις ανάγκες του MODERN

Τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στις Παραγράφους 5.5.2 και 6.2.3 χρειάζονται περαιτέρω επεξεργασία, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους στο λογισμικό του MODERN. Όπως έχει αναφερθεί στην Παράγραφο 4.2, οι απαραίτητες μεταβλητές για τη χρήση του MODERN είναι οι εξής:

Για κάθε δείγμα στην περιοχή αναφοράς τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- βάθος (cm), το εύρος του βάθους στο οποίο έχει χωριστεί το συνολικό δείγμα,
- t (cm), το βήμα με το οποίο έχει χωριστεί το συνολικό δείγμα και
- E (Bq/m²), η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας.

Για κάθε δείγμα στην περιοχή διάβρωσης τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

- βάθος (cm), το εύρος του βάθους στο οποίο έχει χωριστεί το συνολικό δείγμα,
- d (cm), το συνολικό βάθος του δείγματος,
- z (cm), η μέση τιμή του εύρους βάθους του,

- $A \left(\frac{Bq}{m^2} \right)$, η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας,
- $D_{b<2} (g/cm^3)$, η πυκνότητα του χώματος και
- $x_m \left(\frac{kg}{m^2} \right)$, το κατά μάζα βάθος το οποίο είναι ανηγμένο μέγεθος του βάθους.

Η πρώτη παράμετρος που ήταν απαραίτητο να υπολογιστεί ήταν η πυκνότητα του χώματος, $D_{b<2} (g/cm^3)$, σε κάθε δείγμα και στα επιμέρους χωρία τους. Η πυκνότητα του χώματος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των υπόλοιπων παραμέτρων αλλά δεν χρησιμοποιείται άμεσα από το MODERN. Η πυκνότητα του χώματος υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

$$D_{b<2} \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \text{Ξηρή μάζα δείγματος (g)} / \text{Όγκος δείγματος (cm}^3\text{)} \quad (6.1)$$

Ο όγκος του κάθε δείγματος, σύμφωνα με τη «Γεωμετρία 8» που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα ΔΕ, είναι $40.00 (cm^3)$, ενώ η ξηρή μάζα έχει υπολογιστεί κατά την διαδικασία συσκευασίας των δειγμάτων (Παράγραφος 5.5.2). Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί πάντως ότι η πυκνότητα του χώματος όταν αυτό βρίσκεται στο έδαφος δεν είναι απαραίτητα η ίδια, και μάλλον είναι υψηλότερη.

Στη συνέχεια, έγινε μετατροπή της καθαρής συγκέντρωσης (Bq/Kg) των FRNs σε επιφανειακή συγκέντρωση (Bq/m^2). Η επιφανειακή συγκέντρωση των FRNs στο έδαφος είναι η βασική μεταβλητή που χρησιμοποιεί το λογισμικό του MODERN.

Για τη μετατροπή αυτή, χρησιμοποιήθηκε η Εξίσωση 6.2.

$$E \left(\frac{Bq}{m^2} \right) = \left[S \left(\frac{Bq}{Kg} \right) * D_{b<2} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * t(m) \right] \quad (6.2)$$

Μια ακόμη παράμετρος που υπολογίζεται είναι, το κατά μάζα βάθος, το οποίο είναι ανηγμένο μέγεθος του βάθους $x_m \left(\frac{kg}{m^2} \right)$. Το κατά μάζα βάθος δε χρησιμοποιείται από το λογισμικό του MODERN, όμως είναι απαραίτητο μέγεθος για τον υπολογισμό του ετήσιου ρυθμού διάβρωσης ή ιζηματογένεσης του εδάφους (Y). Το μέγεθος αυτό υπολογίζεται μόνο για τα δείγματα της υπό μελέτη για διάβρωση περιοχής, σύμφωνα με τον τύπο:

$$x_m \left(\frac{kg}{m^2} \right) = \int_0^z D_{b<2} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) * dz \quad (6.3)$$

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι για τα δείγματα πιθανής διάβρωσης δε χρειάζεται διαχωρισμός του εκάστοτε δείγματος σε υπο-δείγματα. Παρ'όλα αυτά, στην παρούσα ΔΕ αποφασίστηκε ο διαχωρισμός των δειγμάτων αυτών σε υπο-δείγματα με μεγάλο βήμα (5cm), ώστε να υπάρχει μια εικόνα της κατά βάθος κατανομής των FRNs. Το MODERN όμως, χρησιμοποιεί τη συνολική επιφανειακή συγκέντρωση για τα δείγματα διάβρωσης. Στα υπο-δείγματα που δεν ανιχνεύτηκαν συγκεντρώσεις FRNs σε όλα τα βάθη, έγινε ο προσδιορισμός της καθαρής συγκέντρωσης $S \left(\frac{Bq}{Kg} \right)$, για το συνολικό δείγμα, θεωρώντας ότι η συγκέντρωση σε αυτά είναι 0.

Συγκεκριμένα, δεν ανιχνεύθηκαν συγκεντρώσεις για τα ραδιοϊσότοπα Cs-137 και Be-7 σε βάθος μεγαλύτερο των 5cm στα δείγματα διάβρωσης. Στην περίπτωση του Pb-210, εφόσον υπήρχαν στοιχεία σε κάθε υπο-δείγμα για την καθαρή συγκέντρωση, αφού προέκυψε μια συνολική τιμή με βάση την πυκνότητα του χώματος κάθε υπο-δείγματος, υπολογίστηκε και η συνολική επιφανειακή συγκέντρωση σε ραδιενέργεια. Πρέπει στο σημείο αυτό να επισημανθεί ότι η χρήση του συνολικού Pb-210 για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης δεν είναι ορθή, καθώς στους υπολογισμούς αυτούς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο Pb-210excess. Συνεπώς, υπολογίστηκε η τιμή του Pb-210excess, του οποίου η συγκέντρωση αρκεί για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης. Η διαδικασία υπολογισμού του Pb-210 excess μέσω του συνολικού Pb-210 περιγράφεται στην Παράγραφο 6.4. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το κατά μάζα βάθος σύμφωνα με την σχέση (6.2). Για το Be-7 ήταν αναμενόμενη η μη ανίχνευσή του σε βάθη μεγαλύτερα των 5cm, καθώς ο μικρός χρόνος ημιζωής και η επιφανειακή επικάλυψη, δεν του επιτρέπει τη διείσδυση σε μεγάλα βάθη. Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν. Επισημαίνεται ότι οι τιμές στους πίνακες που ακολουθούν δεν είναι στρογγυλοποιημένες κατάλληλα καθώς θεωρείται ότι αποτελούν ενδιάμεσα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν από τον κώδικα MODERN.

Πίνακας 6.6 Δείγματα περιοχής αναφοράς.

FRN			Cs-137		Pb-210		Be-7	
Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)
MSAF001	0-2	0.8395	920.3	21.2	4343.8	86.9	156.9	82.8
MSAF002	2-4	1.00475	731.3	17.5	3321.7	83.0	-	-
MSAF003	4-6	1.05675	498.7	19.4	1950.3	81.9	-	-
MSAF004	6-8	1.1805	411.4	17.3	1588.4	76.2	-	-
MSAF005	8-10	1.15275	231.9	18.5	1275.2	81.6	-	-
MSAF006	10-12	1.18025	163.5	18.0	1038.7	79.8	-	-
MSAF007	12-14	1.274	101.5	17.1	973.4	81.8	-	-
MSAF008	14-16	1.174	92.6	17.1	784.0	78.4	-	-
MSAF009	16-18	1.059	67.6	16.8	911.3	74.7	-	-
MSAF010	18-20	1.24725	41.3	11.9	802.2	57.7	-	-

Πίνακας 6.7 Δείγμα Διάβρωσης 1, Πλαγιά 1 για Cs-137.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF011	0-5	1.16175	0.35	20.3	7.0	29.04375
MSAF012	5-10	1.22125	0	0	-	
MSAF013	10-15	1.1415	0	0	-	
MSAF014	15-20	1.13025	0	0	-	
MSAF015	20-25	1.08375	0	0	-	
Ολόκληρο το δείγμα	0-25	1.1474	0.071	20.3	7.0	143.425

Πίνακας 6.8 Δείγμα Διάβρωσης 1, Πλαγιά 1 για Pb-210.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF011	0-5	1.16175	16.2	940.4	147.6	29.04375
MSAF012	5-10	1.22125	12.1	737.1	158.5	91.59375
MSAF013	10-15	1.1415	11.7	665.8	157.1	142.6875
MSAF014	15-20	1.13025	14.1	797.3	185.8	197.79375
MSAF015	20-25	1.08375	18.9	1022.5	157.5	243.84375
Ολοκληρο το δείγμα	0-25	1.1474	14.5	4162.0	72.4	143.4625

Πίνακας 6.9 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 1 για Be-7.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
------------	------------	------------------------	--------------------------	----------------	--------------------	----------------------------

MSAF011	0-5	1.16175	4.7	110.5	20.9	29.04375
MSAF012	5-10	1.22125	-	-	-	91.59375
MSAF013	10-15	1.1415	-	-	-	142.6875
MSAF014	15-20	1.13025	-	-	-	197.79375
MSAF015	20-25	1.08375	-	-	-	243.84375
Ολοκληρω το δείγμα	0-25	1.1474	0.96	110.5	20.9	143.425

Πίνακας 6.10 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 1 για Cs-137.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF016	0-5	1.21475	0.32	19.4	8.8	30.36875
MSAF017	5-10	1.20825	-	-	-	90.61875
MSAF018	10-15	1.295	-	-	-	161.875
MSAF019	15-20	1.33975	-	-	-	234.45625
MSAF020	20-25	1.2235	-	-	-	275.2875
Ολοκληρω το δείγμα	0-25	1.25625	0.062	19.4	8.8	157.03125

Πίνακας 6.11 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 1 για Pb-210.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF016	0-5	1.21475	13.7	834.4	189.4	30.36875
MSAF017	5-10	1.20825	13.7	830.0	125.3	90.61875
MSAF018	10-15	1.295	13.3	862.8	141.5	161.875
MSAF019	15-20	1.33975	12.7	853.1	200.5	234.45625
MSAF020	20-25	1.2235	10.2	621.6	175.9	275.2875
Ολοκληρω το δείγμα	0-25	1.25625	12.7	4002.0	75.6	157.03125

Το Be-7 δεν ανιχνεύτηκε στο δείγμα διάβρωσης 2 στην Πλαγιά 1.

Πίνακας 6.12 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 2 για Cs-137.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E (Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF021	0-5	1.037	15.5	805.0	11.3	25.925
MSAF022	5-10	1.07125	3.4	183.5	8.2	80.34375
MSAF023	10-15	1.1695	0.96	56.1	15.3	146.1875

MSAF024	15-20	1.148	0.6	36.8	7.4	200.9
MSAF025	20-25	1.1205	0.4	24.0	7.1	252.1125
Ολοκληρο το δείγμα	0-25	1.10925	4.0	1105.4	4.6	138.65625

Πίνακας 6.13 Δείγμα διάβρωσης 1 Πλαγιά 2 για Pb-210.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E(Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF021	0-5	1.037	66.3	3440.6	161.7	25.925
MSAF022	5-10	1.07125	23.5	1260.0	158.8	80.34375
MSAF023	10-15	1.1695	22.9	1340.2	296.9	146.1875
MSAF024	15-20	1.148	17.2	988.3	168	200.9
MSAF025	20-25	1.1205	16.2	907.8	155.2	252.1125
Ολοκληρο το δείγμα	0-25	1.10925	28.6	7937.0	87.5	138.65625

Για την περίπτωση του Be-7 για το δείγμα διάβρωσης 1 στην Πλαγιά 2, δεν ανιχνεύτηκε συγκέντρωση ραδιενέργειας του ραδιοϊσοτόπου.

Πίνακας 6.14 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 2 για Cs-137.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E(Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF026	0-5	0.982	13.6	668.4	14	24.55
MSAF027	5-10	1.087	9.9	540.8	7.6	81.525
MSAF028	10-15	1.09325	4.6	253.6	9.1	136.65625
MSAF029	15-20	1.09275	1.4	74.4	8.2	191.23125
Ολοκληρο το δείγμα		1.06375	7.2	1537.3	4.0	132.96875

Πίνακας 6.15 Δείγμα διάβρωσης 2 Πλαγιά 2 για Pb-210.

Υπο-Δείγμα	Βάθος (cm)	$D_{b<2}$ (g/cm^3)	Net Activity (Bq/Kg)	E(Bq/m^2)	Error (Bq/m^2)	x_m ($\frac{kg}{m^2}$)
MSAF026	0-5	0.982	69.2	3397.4	190.2	24.55
MSAF027	5-10	1.087	29.4	1599.5	126.3	81.525

MSAF028	10-15	1.09325	22.3	1220.2	161.1	136.65625
MSAF029	15-20	1.09275	17.2	941.3	159.1	191.23125
Ολοκληρο το δείγμα		1.06375	33.6	7158.5	64.3	132.96875

Το Be-7 δεν ανιχνεύτηκε στο δείγμα διάβρωσης 2 στην Πλαγιά 2.

6.4 Μέθοδος υπολογισμού του Pb-210 excess

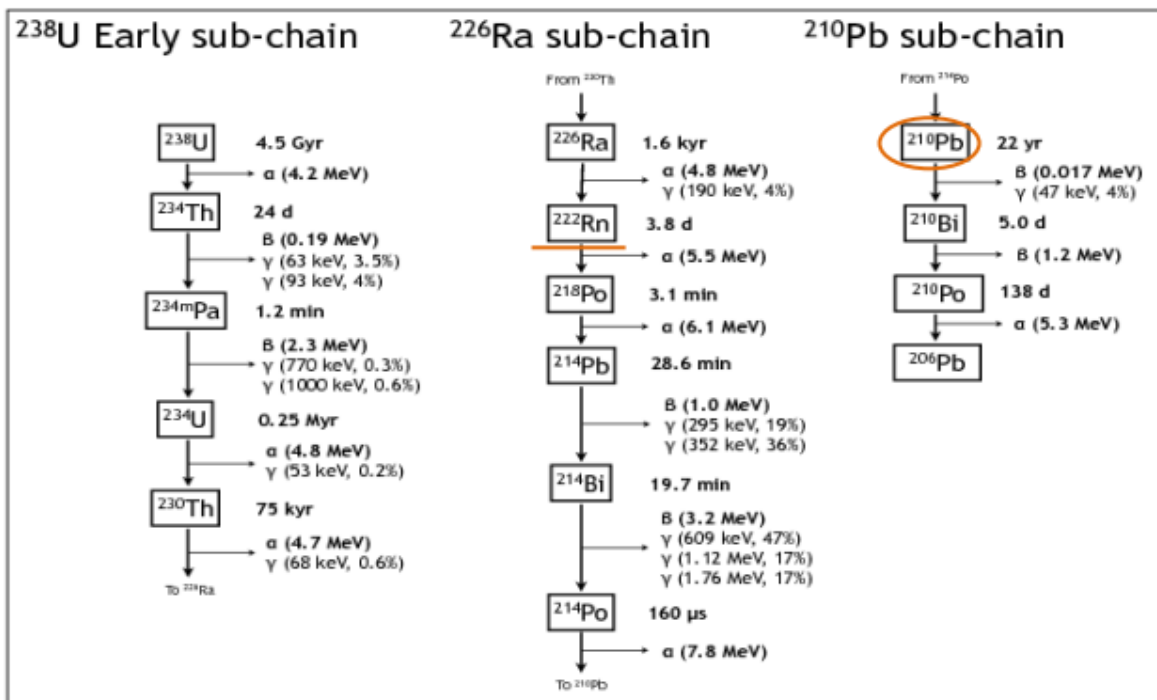
Το MODERN, όπως και τα περισσότερα μοντέλα μετατροπής που χρησιμοποιούν το μόλυβδο (Pb-210) ως ραδιοϊσότοπο ιχνηλάτη για τον υπολογισμό του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους, δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν αποτελέσματα με την άμεση χρήση της συγκέντρωσης του συνολικού Pb-210 που βρίσκεται στο έδαφος. Συνεπώς, υπάρχει η ανάγκη υπολογισμού του Pb-210excess, μέγεθος κατάλληλο για τη διερεύνηση διάβρωσης.

6.4.1. Γενικά στοιχεία για τον Pb-210 excess

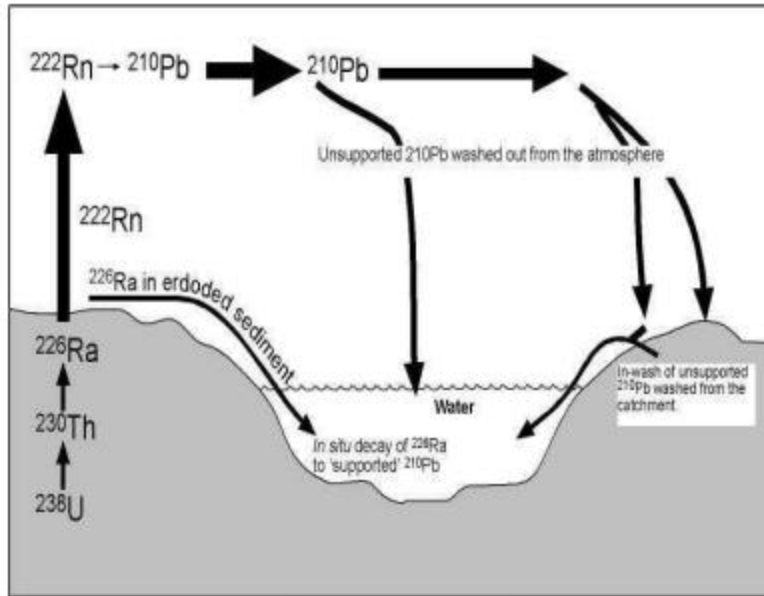
Ο μόλυβδος Pb-210 είναι ένα φυσικό ραδιενεργό ισότοπο που προέρχεται από την ραδιενεργό διάσπαση του ουρανίου U-238 που περιέχεται στο έδαφος, όπως περιγράφεται και στην Εικόνα 6.1. Θεωρητικά, ο Pb-210 και το Ra-226 θα έπρεπε να βρίσκονται σε συνεχή ραδιενεργό ισορροπία. Όμως η διαφυγή του ευγενούς αερίου Rn-222 από το υπέδαφος και η διάχυσή του στην ατμόσφαιρα, σε συνδυασμό με το μικρό χρόνο υποδιπλασιασμού του (3,82 ημέρες), διαταράσσει αυτή την ισορροπία. Συγκεκριμένα, σε μελέτη των Turekian et al., 1977, υπολογίστηκε ότι το 10% του Rn-222 που παράγεται από τη ραδιενεργό διάσπαση του Ra-226, σε βάθος μέχρι 1m από την επιφάνεια της γης απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Το ραδόνιο που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, καθώς και τα θυγατρικά του όπως ο Pb-210, προσροφώνται στα σωματίδια της ατμόσφαιρας (αερόλυμα) και στη συνέχεια κατακάθονται στην επιφάνεια του εδάφους. Συνεπώς, το επιφανειακό στρώμα του εδάφους περιέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση Pb-210 από αυτήν που αναμένεται σύμφωνα με τη ραδιενεργό ισορροπία του με το Ra-226 που περιέχεται στο χώμα. Ο επιπλέον, αυτός μόλυβδος που έχει παραχθεί λόγω του ραδονίου της ατμόσφαιρας ονομάζεται «unsupported Pb-210» ή «Pb-210 in excess» ή απλά «Pb-210 ex». Αντίθετα, ο Pb-210 που παράγεται από τη ραδιενεργό διάσπαση του Ra-226 ονομάζεται «supported Pb-210».

Η επιφανειακή συγκέντρωση του Pb-210 ex, αποτελεί κατάλληλο εργαλείο για τον προσδιορισμό των ρυθμών διάβρωσης στο έδαφος. Εξαιτίας της φυσικής προέλευσής του και του μεγάλου χρόνου ημιζωής (22.3 χρόνια) καθώς και λόγω της ισχυρής και γρήγορης απορρόφησης από τα μικρά σωματίδια του εδάφους, ο Pb-210 ex παρέχει πληροφορίες για το ρυθμό διάβρωσης σε μεγάλη χρονική κλίμακα (περίπου 100 χρόνια). Επιπλέον, βοηθάει στον προσδιορισμό πρόσφατης διάβρωσης, λόγω της συνεχούς του απόθεσης στο έδαφος.

^{238}U Chain



Εικόνα 6.3 Ραδιενεργός αλυσίδα Ουρανίου-238 (<https://physicsopenlab.org>, Οκτώβριος 2022).



Εικόνα 6.4 Δημιουργία Pb-210 in excess (Σπανάκου, 2017).

6.4.2 Υπολογισμός του Pb-210 ex

Στην παρούσα μελέτη δεν ήταν δυνατή η άμεση ανίχνευση της συγκέντρωσης του Pb-210 ex στα δείγματα εδάφους που λήφθηκαν κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας. Ο λόγος είναι ότι στην ανάλυση των δειγμάτων οι φωτοκορυφές των ραδιοϊσοτόπων U-235 και Ra-226 στα 185.72keV και 186.25keV αντίστοιχα, πρακτικά συμπίπτουν. Έτσι δεν είναι διακριτό το ποσοστό των φωτονίων που οφείλονται στην εκπομπή του κάθε ραδιοϊσοτόπου αλλά η συμβολή τους. Επιπλέον λόγω της γεωμετρίας των δειγμάτων αλλά και για οικονομία χρόνου τα δείγματα δεν σφραγίσθηκαν προκειμένου να αποκατασταθεί ραδιενεργός ισορροπία του ραδονίου με τα θυγατρικά του και να προσδιορισθεί το Ra-226 με έμμεσο τρόπο, όπως γίνεται συνήθως στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Συνεπώς για τον προσδιορισμό του, ακολουθήθηκε η συγκεκριμένη διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω.

Η διαδικασία υπολογισμού αρχικά βασίζεται σε τρεις υποθέσεις και για το λόγο αυτό υπάρχει μια σχετική ανακρίβεια.

- Θεωρείται ότι υπάρχει ραδιενεργός ισορροπία στη ραδιενεργό αλυσίδα του ουρανίου (U-238) μέχρι το ράδιο (Ra-226).

- Το φυσικό ουράνιο είναι μίγμα τριών ραδιενεργών ισοτόπων, U-238, U-235 και U-234. Θεωρείται ότι η φυσική ισοτοπική σύσταση του ουρανίου είναι U-238 (99.28%) και U-235 (0.72%).
- Τέλος, θεωρείται ότι η ραδιενέργεια του U-238, ισούται με την ραδιενέργεια του θυγατρικού του, θόριο (Th-234).

Από την τρίτη υπόθεση υπολογίζεται η ραδιενέργεια (R σε Bq) του U-238. Αφού είναι γνωστή η ραδιενέργεια, υπολογίζεται ο αριθμός των πυρήνων του U-238 (N). Εν συνεχεία, μέσω της φυσικής ισοτοπικής σύστασης του ουρανίου υπολογίζεται ο αριθμός των πυρήνων του U-235 και κατ'επέκταση η ραδιενέργειά του. Στην παραπάνω διαδικασία σημαντικό είναι να αναφερθεί η σταθερά διάσπασης (λ), όπου ορίζεται ως η πιθανότητα να διασπαστεί κάποιος πυρήνας ανά μονάδα χρόνου και διαφέρει για κάθε ισότοπο. Για τον υπολογισμό του πλήθους των γεγονότων υπό τη φωτοκορυφή που αντιστοιχεί στα φωτόνια των ραδιοϊσοτόπων Ra-226 και U-235 (area, A-226 και A-235 όροι που χρησιμοποιούνται στις παρακάτω εξισώσεις) χρησιμοποιήθηκε το μέγεθος της απόδοσης φωτοκορυφής το οποίο αναγράφεται στα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση των δειγμάτων στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Τέλος, με απλή αφαίρεση της A-235 από τη συνολική επιφάνεια, η οποία δίνεται από τον ανιχνευτή, προσδιορίζεται η επιφάνεια A-226 και από αυτήν η ραδιενέργεια του Ra-226 σε Bq.

Με δεδομένο τη μάζα του κάθε δείγματος, μετατρέπεται η ραδιενέργεια του Ra-226 σε κατά μάζα συγκέντρωση ραδιενέργειας στο έδαφος. Με βάση τη θεωρία η συγκέντρωση του Ra-226 ισούται με την συγκέντρωση του Pb-210 sup. Συνεπώς, με απλή αφαίρεση από της συνολική συγκέντρωση του Pb-210 προκύπτει ο Pb-210 ex.

Οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την παραπάνω διαδικασία δίνονται με την σειρά παρακάτω.

$$R_{Th-234} = R_{U-238} \quad (6.3)$$

$$N_{U-238} = R_{U-238} / \lambda_{U-238} \quad (6.4)$$

$$N_{Uολ} = 99.27\% * N_{U-238} + 0.72\% * N_{U-235} \quad (6.5)$$

$$N_{Uo\lambda} = N_{U-238} / 0.9927 \quad (6.6)$$

$$N_{U-235} = N_{Uo\lambda} * 0.0072 \quad (6.7)$$

$$R_{U-235} = \lambda_{U-235} * N_{U-235} \quad (6.8)$$

$$A_{U-235} = eff(185.72keV) * t(s) * yield(U - 235, 185.72keV) * R_{U-235} \quad (6.9)$$

$$A_{o\lambda} = A_{U-235} + A_{Ra-226} \quad (6.10)$$

$$R_{Ra-226} = A_{Ra-226} / eff(186.25keV) * t(s) * yield(Ra - 226, 186.25keV) \quad (6.11)$$

$$Pb_{210ex} \left\{ \frac{Bq}{Kg} \right\} = Pb_{210} \left\{ \frac{Bq}{Kg} \right\} - Ra_{226} \left\{ \frac{Bq}{Kg} \right\} \quad (6.12)$$

6.4.3 Αποτελέσματα για τον Pb-210 excess

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διαδικασία που περιγράφηκε στην Παράγραφο 6.4.2 παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες για τα δείγματα διάβρωσης στις πλαγιές 1 και 2 καθώς και για τα δείγματα της τοποθεσίας αναφοράς. Όπως φαίνεται στους πίνακες 6.17, 6.18, 6.19 και 6.20 η τιμή της συγκέντρωσης ραδιενέργειας του Pb-210 ex προκύπτει αρνητική. Η τιμή αυτή δεν έχει φυσική σημασία αλλά προκύπτει εξαιτίας της αφαίρεσης που γίνεται για τον υπολογισμό της σε συνδιασμό με τις αβεβαιότητες των μετρήσεων.

Πίνακας 6.16 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess στην περιοχή αναφοράς (δύο πίνακες).

Υπόδειγμα	Φάσμα	Time (s)	Total N in U	Pb-210			Th-234		
				Net Activity (Bq/kg)	Ξηρή Μάζα (gr)	Net Activity / Total Activity Ra (%)	Area (total)	Net Activity (Bq/kg)	R (Bq)
MSAF001	msaf001a	270935	2.09293E+17	258.712	33.58	100	3114	30.41	1.0211678
MSAF002	msaf002a	409143	2.80092E+17	165.302	40.19	100	4927	3.40E+01	1.366600665
MSAF003	msaf003a	269332	2.59389E+17	92.2789	42.27	100	3095	2.99E+01	1.265589162
MSAF004	msaf004a	332044	2.9122E+16	67.2777	47.22	100	4227	3.01E+01	1.42089702
MSAF005	msaf005a	255978	3.14906E+16	55.3096	46.11	100	3101	3.33E+01	1.536463587
MSAF006	msaf006a	261630	2.67105E+16	44.0049	47.21	100	3243	2.76E+01	1.303236771
MSAF007	msaf007a	264211	3.09375E+16	38.2034	50.96	100	3521	2.96E+01	1.509475968
MSAF008	msaf008a	262812	2.35833E+16	33.3904	46.96	100	3169	2.45E+01	1.150656184
MSAF009	msaf009a	269922	2.47358E+16	43.0263	42.36	100	3248	2.85E+01	1.206891468
MSAF010	msaf010a	691216	2.63539E+16	32.1572	49.89	100	8237	2.58E+01	1.285839915

Υπόδειγμα	U-238		U-235			Ra-226			Pb-210 ex
	R (Bq)	N (U238)	R (235) (Bq)	A (235)	N (235)	R (226) (Bq)	Area (226)	Acivity (Bq/Kg)	Acivity (Bq/Kg)
MSAF001	1.0211678	2.07766E+17	0.047000604	413.1700736	1.50691E+15	1.352296606	754.5799264	40.27089358	218.4411064
MSAF002	1.366600665	2.78047E+17	0.06289961	834.9940614	2.01666E+15	1.374022876	1157.809921	34.18817806	131.1138219
MSAF003	1.265589162	2.57495E+17	0.058250422	509.0346396	1.8676E+15	1.305926509	724.3940454	30.89487839	61.38402161
MSAF004	1.42089702	2.89094E+17	0.065398672	704.5711791	2.09678E+15	1.277625464	873.7101354	27.05687132	40.22082868
MSAF005	1.536463587	3.12607E+17	0.070717777	587.3426624	2.26732E+15	1.082165614	570.5116921	23.46921739	31.84038261
MSAF006	1.303236771	2.65155E+17	0.059983203	509.1872262	1.92315E+15	1.302230463	701.6872245	27.58378442	16.42111558
MSAF007	1.509475968	3.07116E+17	0.069475636	595.584973	2.2275E+15	1.321489768	719.0893844	25.93190283	12.27149717
MSAF008	1.150656184	2.34111E+17	0.052960479	451.6036058	1.698E+15	1.351712905	731.6406539	28.78434636	4.606053635
MSAF009	1.206891468	2.45553E+17	0.055548782	486.4891223	1.78098E+15	1.306414584	726.2522332	30.84075977	12.18554023
MSAF010	1.285839915	2.61615E+17	0.05918249	1327.294575	1.89748E+15	1.228061686	1748.244386	24.61538757	7.54181243

Πίνακας 6.17 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess για το δείγμα διάβρωσης 1 (δύο πίνακες).

Υπόδειγμα	Φάσμα	Time (s)	Total N in U	Pb-210		Net Activity / Total Activity Ra (%)	Area (total)	Th-234	
				Net Activity (Bq/kg)	Ξηρή Μάζα (gr)			Net Acitivity (Bq/kg)	R (Bq)
MSAF011	msaf011b	271768	1.37691E+17	16.189	46.47	34.23034832	5775	14.4569	34.23034832
MSAF012	msaf012a	408824	1.84507E+17	12.0713	48.85	32.99251339	8875	18.4285	32.99251339
MSAF013	msaf013b	255932	1.88177E+17	11.6662	45.66	35.08118355	5508	20.1081	35.08118355
MSAF014	msaf014b	261593	2.26166E+17	14.108	45.21	39.26789123	6018	24.4081	39.26789123
MSAF015	msaf015b	269880	2.51153E+17	18.8694	43.35	44.87238687	6838	28.2677	44.87238687

Υπόδειγμα	U-238		U-235			Ra-226			Pb-210 ex
	R (Bq)	N (U238)	R (235) (Bq)	A (235)	N (235)	R (226) (Bq)	Area (226)	Acivity (Bq/Kg)	Acivity (Bq/Kg)
MSAF011	0.671812143	1.36686E+17	0.030921046	629.1573005	9.91377E+14	1.037489472	1345.892699	22.32600543	-6.13700543
MSAF012	0.900232225	1.8316E+17	0.041434384	1268.247488	1.32845E+15	0.850551487	1659.836887	17.4114941	-5.340194103
MSAF013	0.918135846	1.86803E+17	0.042258422	809.7381603	1.35487E+15	0.918800135	1122.46824	20.1226486	-8.456448601
MSAF014	1.103490201	2.24515E+17	0.050789602	994.7356254	1.62839E+15	1.0959752	1368.532975	24.2418757	-10.1338757
MSAF015	1.225404795	2.49319E+17	0.056400883	1139.628626	1.8083E+15	1.497059223	1928.581974	34.53423814	-15.66483814

Πίνακας 6.18 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 excess για το δείγμα διάβρωσης 2 (δύο πίνακες).

Υπόδειγμα	Φάσμα	Time (s)	Total N in U	Pb-210		Net Activity / Total Activity Ra (%)	Area (total)	Th-234	
				Net Activity (Bq/kg)	Ξηρή Μάζα (gr)			Net Acitivity (Bq/kg)	R (Bq)
MSAF016	msaf016b	174765	1.99106E+17	13.7381	48.59	38.91822485	3999	19.993	0.97145987
MSAF017	msaf017b	314744	1.96063E+17	13.739	48.33	37.95525091	7039	19.7934	0.956615022
MSAF018	msaf018b	361500	1.7124E+17	13.3251	51.80	37.08193365	8032	16.1294	0.83550292
MSAF019	msaf019b	153541	1.80531E+17	12.7361	53.59	36.26100021	3368	16.4365	0.880832035
MSAF020	msaf020b	195120	1.65768E+17	10.1608	48.94	32.90993307	4054	16.5264	0.808802016

Υπόδειγμα	U-238		U-235			Ra-226			Pb-210 ex	
	R (Bq)	N (U238)	R (235) (Bq)	A (235)	N (235)	R (226) (Bq)	Area (226)	Acivity (Bq/Kg)	Acivity (Bq/Kg)	
MSAF016	0.97145987	1.97652E+17	0.044712731	585.0492123	1.43356E+15	1.163909497	970.9616877	23.95368383	-10.21558383	
MSAF017	0.956615022	1.94632E+17	0.044029477	1037.54688	1.41165E+15	1.087662687	1634.10557	22.50491799	-8.765917991	
MSAF018	0.83550292	1.6999E+17	0.038455131	1040.804943	1.23293E+15	1.12283043	1937.540977	21.67626312	-8.351163121	
MSAF019	0.880832035	1.79213E+17	0.040541464	466.0478819	1.29982E+15	1.030438772	755.2225981	19.2281913	-6.492091299	
MSAF020	0.808802016	1.64558E+17	0.037226187	543.822391	1.19353E+15	0.848572015	790.349009	17.33902769	-7.178227691	

Πίνακας 6.19 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 in excess για το δείγμα διάβρωσης 3 (δύο πίνακες).

Υπόδειγμα	Φάσμα	Time (s)	Total N in U	Pb-210		Net Activity / Total Activity Ra (%)	Area (total)	Th-234	
				Net Activity (Bq/kg)	Ξηρή Μάζα (gr)			Net Acitivity (Bq/kg)	R (Bq)
MSAF021	msaf021b	266468	1.64046E+17	66.3577	41.48	4.10E+01	6317	1.93E+01	0.800402228
MSAF022	msaf022b	263524	1.86281E+17	23.524	42.85	40.9607028	6239	2.12E+01	0.908887065
MSAF023	msaf023b	66947	2.04227E+17	22.9196	46.78	42.72311535	1634	2.13E+01	0.996446746
MSAF024	msaf024b	256030	2.59022E+17	17.2185	45.92	43.13973465	6294	2.75E+01	1.263801056
MSAF025	msaf025b	281006	2.84373E+17	16.2036	44.82	4.55E+01	7203	3.10E+01	1.387488258

Υπόδειγμα	U-238		U-235			Ra-226			Pb-210 ex	
	R (Bq)	N (U238)	R (235) (Bq)	A (235)	N (235)	R (226) (Bq)	Area (226)	Acivity (Bq/Kg)	Acivity (Bq/Kg)	
MSAF021	0.800402228	1.62849E+17	0.036839575	734.9646038	1.18113E+15	1.45838334	1855.005396	35.15871119	31.19898881	
MSAF022	0.908887065	1.84921E+17	0.041832734	825.3595282	1.34122E+15	1.375457025	1730.197262	32.09934714	-8.575347144	
MSAF023	0.996446746	2.02736E+17	0.045862785	229.8784638	1.47043E+15	1.465163572	468.2153562	31.32029867	-8.400698673	
MSAF024	1.263801056	2.57131E+17	0.058168122	1115.019962	1.86496E+15	1.309341771	1600.192756	28.51354031	-11.29504031	
MSAF025	1.387488258	2.82297E+17	0.06386099	1343.562835	2.04748E+15	1.441677195	1933.802165	32.16593473	-15.96233473	

Πίνακας 6.20 Παρουσίαση δεδομένων και αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης του Pb-210 in excess για το δείγμα διάβρωσης 4 (δύο πίνακες).

Υπόδειγμα	Φάσμα	Time (s)	Total N in U	Pb-210		Net Activity / Total Activity Ra (%)	Area (total)	Th-234	
				Net Activity (Bq/kg)	Ξηρή Μάζα (gr)			Net Acitivity (Bq/kg)	R (Bq)
MSAF026	msaf026b	169977	1.18952E+17	69.194	39.28	3.75E+01	3804	1.48E+01	0.58038164
MSAF027	msaf027b	504538	1.81875E+17	29.4295	43.48	40.4466334	11842	2.04E+01	0.887387668
MSAF028	msaf028b	253198	1.6812E+17	22.3223	43.73	39.85233992	5883	1.88E+01	0.820278594
MSAF029	msaf029b	254143	1.57886E+17	17.229	43.71	37.33809592	5669	1.76E+01	0.77034504

Υπόδειγμα	U-238		U-235			Ra-226			Pb-210 ex	
	R (Bq)	N (U238)	R (235) (Bq)	A (235)	N (235)	R (226) (Bq)	Area (226)	Acivity (Bq/Kg)	Acivity (Bq/Kg)	
MSAF026	0.58038164	1.18084E+17	0.026712836	339.95145	8.56455E+14	1.339154102	1086.54855	34.09251788	35.10148212	
MSAF027	0.887387668	1.80547E+17	0.040843196	1542.838057	1.3095E+15	1.3481546	3246.848315	31.00631556	-1.576815558	
MSAF028	0.820278594	1.66893E+17	0.037754412	715.7061051	1.21047E+15	1.347659954	1628.804704	30.8177442	-8.495444205	
MSAF029	0.77034504	1.56733E+17	0.035456153	674.6468787	1.13678E+15	1.188703878	1442.049779	27.19523857	-9.966238573	

6.5 Εισαγωγή δεδομένων δειγματοληψίας στο λογισμικό MODERN

Αφού ολοκληρώθηκε η επεξεργασία των δεδομένων από τη γ-φασματοσκοπική ανάλυση, ακολούθησε η εφαρμογή τους στο λογισμικό του MODERN. Ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων στο MODERN περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3. Σε καμία από τις περιπτώσεις στη συγκεκριμένη μελέτη δε χρησιμοποιήθηκαν σενάρια εναπόθεσης χρώματος, αφού παρατηρήθηκε ότι σε όλα τα δείγματα της υπό μελέτης περιοχής για διάβρωση ή ιζηματογένεση, η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας ήταν μικρότερη σε σχέση με αυτή της περιοχής αναφοράς. Ακολουθεί τμήμα του κώδικα κατά τον οποίο έγινε η μελέτη για τον ρυθμό διάβρωσης του εδάφους στην συγκεκριμένη διπλωματική.

MODERN_input.m

```
case'deigma1.lcs137'
```

```
FRN_ref_inv = { [920.29 731.31 498.66 411.44 231.90 163.54 101.48 92.64 67.60 41.31]};
```

```
FRN_ref_LABEL = {'Simeio anaforas aleporori attikis'};
```

```
FRN_id = 2;
```

```
FRN_samp_inv = [ 20.27404778 ];
```

```
FRN_samp_LABEL = {'site1Cs137'};
```

```
comp_depth = 25;
```

MODERN_run.m

```
case 1.13
```

```
site_ID = 'deigma1.lcs137';
```

```
FRN_ref_ID = [ 1 ];
```

```
FRN_samp_ID = [ 1 ];
```

```
scenario_ID = [ 0 ];
```

```
plot_ID = [ 1 ];
```

Το συγκεκριμένο τμήμα χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη του δείγματος 1 της Πλαγιάς 1 για το ραδιοϊσότοπο Cs-137. Το ίδιο τμήμα του κώδικα διαμορφώθηκε με διαφορετικά δεδομένα ανάλογα με το εκάστοτε δείγμα προς μελέτη. Η μεταβλητή FRN_ref_inv αναφέρεται στο προφίλ επιφανειακής ραδιενέργειας του ραδιοϊσότοπου προς μελέτη στην περιοχή αναφοράς, ενώ η μεταβλητή FRN_samp_inv στη συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας του δείγματος υπό μελέτη. Τέλος η μεταβλητή comp_depth δίνει το συνολικό βάθος του δείγματος. Στο Κεφάλαιο 3 έχει γίνει αναλυτική περιγραφή της εισαγωγής δεδομένων στο MODERN.

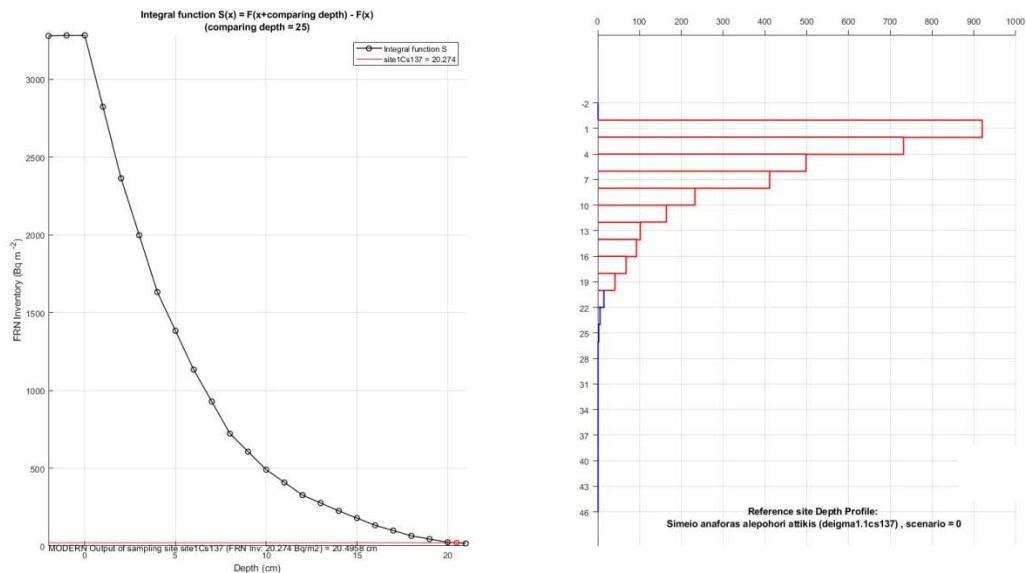
6.6 Παρουσίαση αποτελεσμάτων του MODERN και επεξεργασία τους

Στις εικόνες που ακολουθούν στο αριστερό διάγραμμα φαίνεται η προκύπτουσα συνάρτηση S , που περιγράφει την συσσωρευμένη επιφανειακή συγκέντρωση FRN του προφίλ αναφοράς, που εξετάζεται για κάθε βήμα του συνολικού βάθους μαζί με τις προσομοιωμένες στρώσεις καθώς και την εκατοστιαία μείωση ή αύξηση της παραμένουσας απόθεσης σε εκατοστά(cm). Η τιμή αυτή προκύπτει ευθυγραμμίζοντας τη συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας της θέσης δειγματοληψίας με την συνάρτηση S , δηλαδή το σημείο τομής τους. Στο δεξιά διάγραμμα φαίνεται το προφίλ βάθους του προφίλ αναφοράς μαζί με τις προσομοιωμένες στρώσεις.

Δείγμα 1

Πλαγιά 1

Cs-137



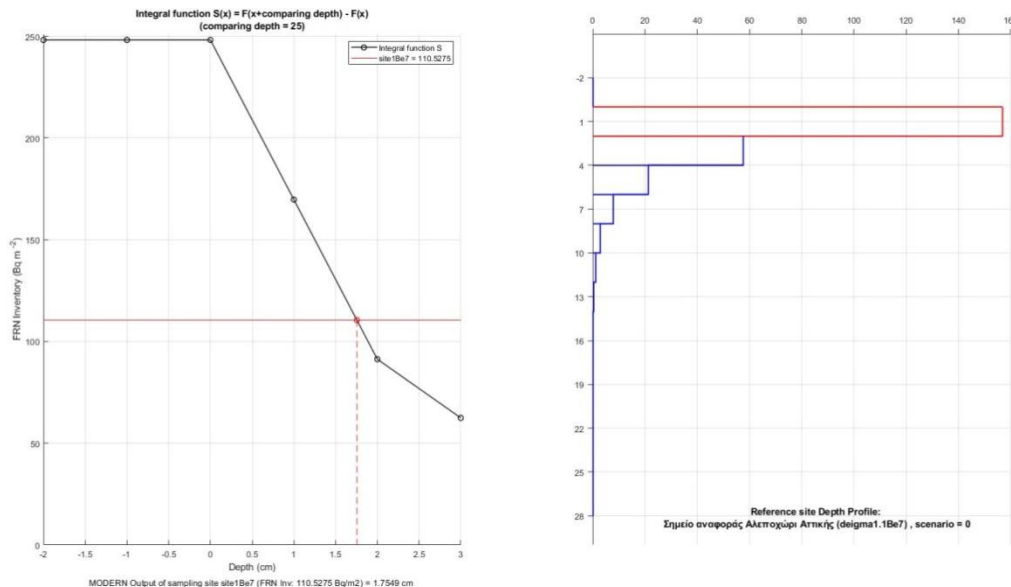
Εικόνα 6.5 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας 20.274 Bq/m^2 το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 20.4958 \text{ cm}$. Στη συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 17.2918 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Pb-210 ex

Στην περίπτωση του Pb-210 ex για το δείγμα διάβρωσης 1 στην Πλαγιά 1 μετά την επεξεργασία των δεδομένων όπως φαίνεται στον πίνακα 6.17 οι τιμές στην επιφανειακής συγκέντρωσης ραδιενέργειας είναι αρνητικές. Συνεπώς, θεωρείται ότι στο δείγμα δεν υπάρχει καθόλου Pb-210 ex πιθανότατα λόγω πολύ μεγάλης διάβρωσης της συγκεκριμένης περιοχής. Έτσι η επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας τίθεται ίση με 0 και δεν έχει νόημα η περαιτέρω εξέταση με το λογισμικό MODERN.

Be-7



Εικόνα 6.6 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

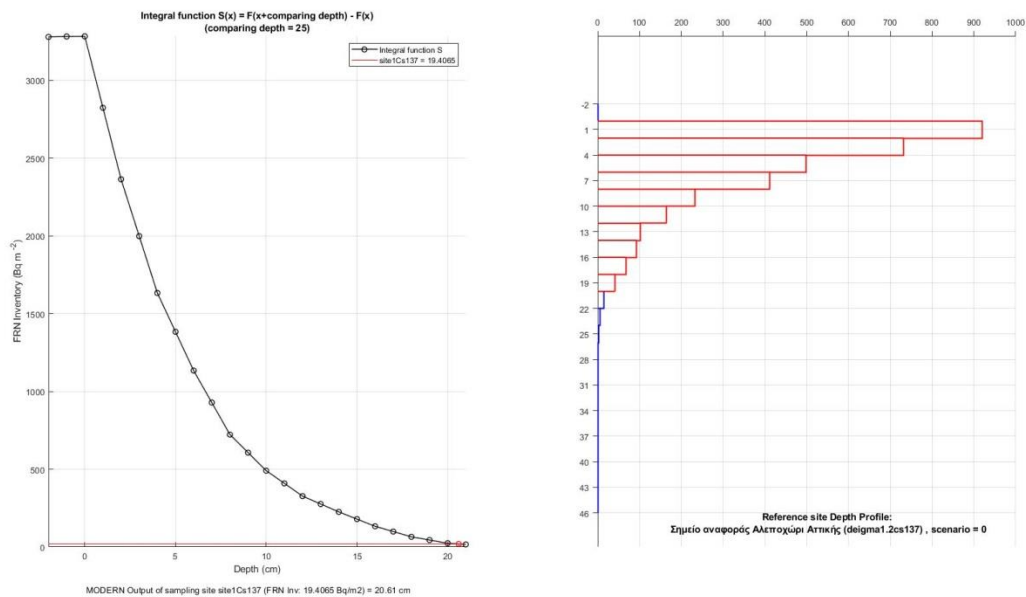
Για συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας 110.527 Bq/m^2 το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 1.7549 \text{ cm}$. Στη συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] =$

$10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 2013.57 t ha^{-1} yr^{-1}$. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε η υπόθεση ότι όλη η συγκέντρωση του Be-7 βρίσκεται στα πρώτα 2 cm του χώματος με βάση ότι και στην περιοχή αναφοράς βρέθηκε μέχρι το βάθος αυτό. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι εξαιρετικά υψηλό και θεωρείται αναξιόπιστο. Φαίνεται ότι το ισότοπο αυτό, δεν μπορεί να αξιοποιηθεί, τουλάχιστον με το σχήμα δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της ΔΕ.

Δείγμα 2

Πλαγιά 1

Cs-137



Εικόνα 6.7 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας $20,274 Bq/m^2$ το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 20,4958 cm$. Στην συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 18,9322 t ha^{-1} yr^{-1}$.

Be-7

Στο δείγμα αυτό δεν ανιχνεύθηκε Be-7 και η επεξεργασία των δεδομένων στο MODERN δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα.

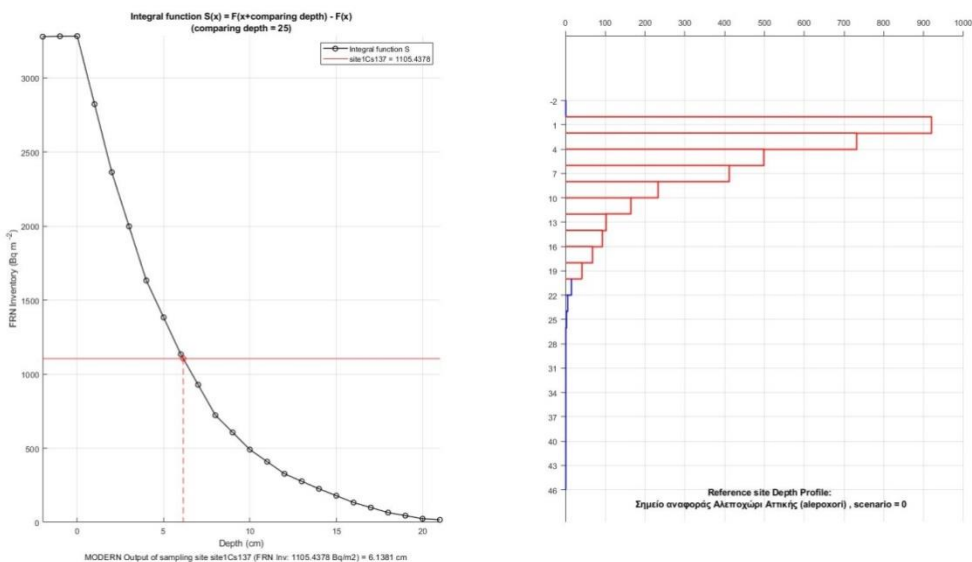
Pb-210 ex

Αντίστοιχα με το δείγμα 1 της Πλαγιάς 1, και σε αυτήν την περίπτωση τα αποτελέσματα για τον Pb-210 ex όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.18 είναι αρνητικά. Συνεπώς, η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας τίθεται μηδές και η επεξεργασία των δεδομένων στο MODERN δεν επιστρέφει αποτελέσματα.

Δείγμα 1

Πλαγιά 2

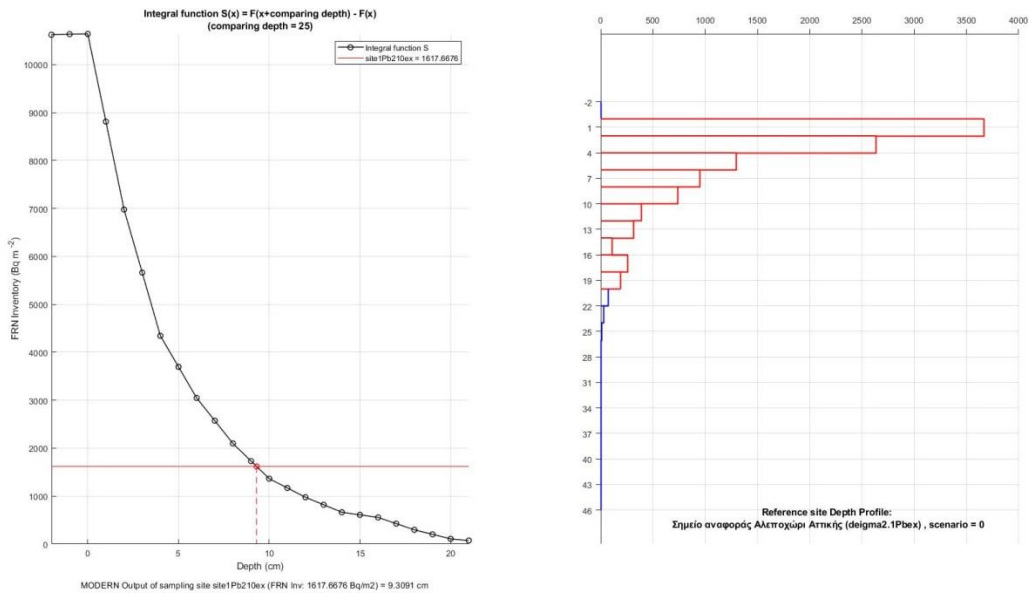
Cs-137



Εικόνα 6.8 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας $1105,4378 \text{ Bq/m}^2$ το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 6.1381 \text{ cm}$. Στην συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 5.00639 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Pb-210 ex



Εικόνα 6.9 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας 1617.6676 Bq/m^2 το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 9.3091 \text{ cm}$. Στην συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 5.013310 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

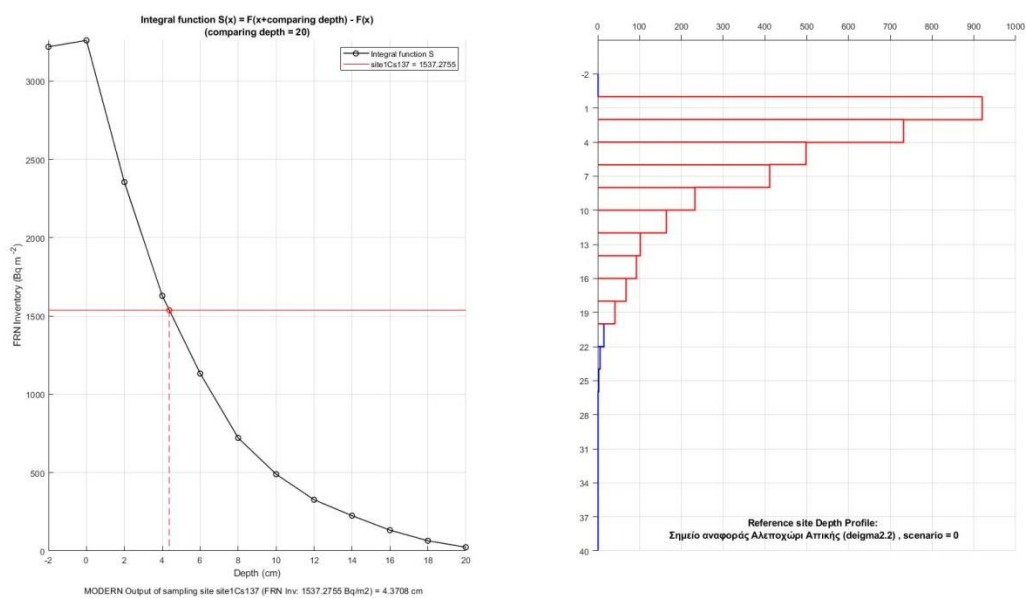
Be-7

Στο δείγμα αυτό δεν ανιχνεύθηκε Be-7 και η επεξεργασία των δεδομένων στο MODERN δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα.

Δείγμα 2

Πλαγιά 2

Cs-137



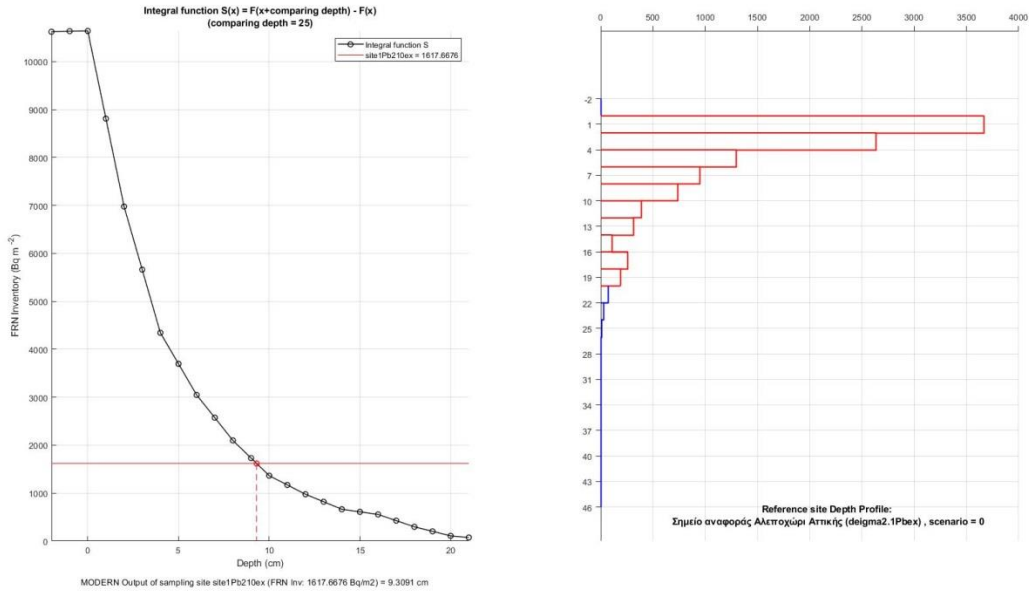
Εικόνα 6.10 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας 1537,2755 Bq/m² το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 4,3708\text{cm}$. Στην συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 4,273357 t ha^{-1} yr^{-1}$.

Be-7

Στο δείγμα αυτό δεν ανιχνεύθηκε Be-7 και η επεξεργασία των δεδομένων στο MODERN δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα.

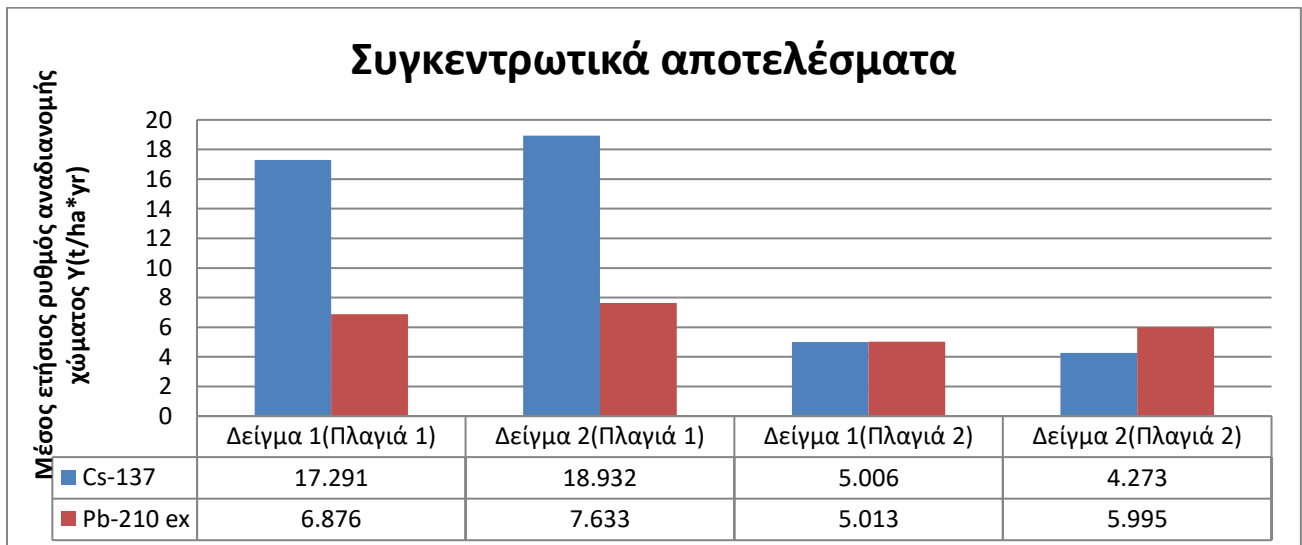
Pb-210 ex



Εικόνα 6.11 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (δ).

Για συνολική επιφανειακή πυκνότητα ραδιενέργειας 1723.4827 Bq/m^2 το MODERN επιστρέφει την τιμή $x = 9.0173 \text{ cm}$. Στην συνέχεια σύμφωνα με την σχέση $Y[t/(ha * yr)] = 10 * \frac{x^* * xm}{d(t_1 - t_0)}$ υπολογίζεται η ρυθμός διάβρωσης $Y = 5.99509 \text{ t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

Πίνακας 6.21 Συγκριτικά αποτελέσματα μέσω ετήσιων ρυθμών αναδιανομής χώματος για τα ισότοπα Cs-137 και Pb-210 ex για τα δείγματα από την δειγματοληψία στο Αλεποχώρι Αττικής.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Η μέθοδος δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη κρίθηκε επιτυχής για τις ανάγκες του λογισμικού MODERN και προτείνεται για μελλοντικές μελέτες με σκοπό τον προσδιορισμό των ρυθμών διάβρωσης μιας περιοχής με το λογισμικό αυτό. Ένα μειονέκτημα που παρατηρήθηκε αφορά τη δυνατότητα αξιοποίησης του ισοτόπου Be-7. Το Be-7 λόγω του μικρού χρόνου ημιζωής ανιχνεύεται κυρίως στα πρώτα 1-2cm από την επιφάνεια του εδάφους. Συνεπώς, για να υπάρξει ακρίβεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις θα πρέπει να χρησιμοποιείται άλλη μέθοδος δειγματοληψίας για τον σκοπό αυτό. Παρ'όλα αυτά για τα ραδιοϊσότοπα Cs-137 και Pb-210 η μέθοδος δειγματοληψίας είναι συμβατή και θα πρέπει να θεωρούνται αξιόπιστα.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του MODERN με τρία άλλα μοντέλα αναδιανομής χόματος (εμπειρικό μοντέλο, PDM και DMM) (Πετροβίτσος, 2011) ήταν αρκετά ικανοποιητική. Το MODERN επέστρεψε ρυθμούς διάβρωσης στα δείγματα στα οποία είχε εντοπισθεί διάβρωση και ιζηματογένεση αντίστοιχα. Οι τιμές του ρυθμού διάβρωσης στην πλειοψηφία των δειγμάτων είναι στην ίδια τάξη μεγέθους με τα υπόλοιπα τρία μοντέλα. Κυρίως όμως, οι τιμές που επέστρεψε το MODERN είναι πιο κόντα με το μοντέλο DMM, που σύμφωνα με τον Πετροβίτσο (2011) λαμβάνει υπόψη τη χρονικά μεταβαλλόμενη απόθεση του Cs-137 λόγω των πυρηνικών δοκιμών, αλλά και λόγω του ατυχήματος στο Chernobyl, που έχει επηρεάσει πολύ τον ελληνικό χώρο. Οι εκτιμήσεις των ρυθμών αναδιανομής του χόματος από το συγκεκριμένο μοντέλο δείχνουν να είναι οι ακριβέστερες, σε σχέση με τα άλλα μοντέλα, εξαιτίας των πολλών παραγόντων που λαμβάνει υπόψη το μοντέλο, αλλά και των πολλών παραδοχών που έχουν τα άλλα δύο. Συνεπώς η προσέγγιση που χρησιμοποιεί το λογισμικό MODERN για τον υπολογισμό ρυθμών διάβρωσης φαίνεται να μην απέχει πολύ από τους πραγματικούς ρυθμούς διάβρωσης.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης την συγκεκριμένη ΔΕ αξίζει να αναφερθεί ότι ήταν σε περιοχή με πολύ μεγάλη διάβρωση (Πλαγιά 1) και σε περιοχή με μεσαία διάβρωση (Πλαγιά 2). Σκοπός ήταν η διερεύνηση της αξιοπιστίας του λογισμικού MODERN στις συνθήκες αυτές.

Για την Πλαγιά 1 και στα δύο δείγματα που συλλέχθηκαν, οι ρυθμοί διάβρωσης που υπολογίστηκαν από το ραδιοϊσότοπο Cs-137 ήταν αναμενόμενοι και παραπλήσιοι μεταξύ των δύο δειγμάτων ($Y = 17.2918 t ha^{-1}yr^{-1}$, $Y = 18,9322 t ha^{-1}yr^{-1}$). Η μεγάλη κλίση της Πλαγιάς 1 δικαιολογεί αυτά τα αποτελέσματα. Παρ' όλα αυτά για το ραδιοϊσότοπο Pb-210 ex τα δεδομένα που προέκυψαν δεν ήταν ικανά για την διερεύνηση και διασταύρωση των αποτελεσμάτων με αυτά που προέκυψαν από το Cs-137. Τέλος το ραδιοϊσότοπο Be-7 το οποίο εντοπίστηκε μόνο στο πρώτο δείγμα λόγω της μεθόδου δειγματοληψίας κρίθηκε αναξιόπιστο για την μελέτη του ρυθμού διάβρωσης καθώς η τιμή που υπολογίστηκε ήταν υπερβολικά μεγάλη $Y = 2013.57 t ha^{-1}yr^{-1}$.

Για την Πλαγιά 2 και στα 2 δείγματα που συλλέχθηκαν, οι ρυθμοί διάβρωσης που υπολογίστηκαν από το Cs-137 ήταν και σε αυτήν την περίπτωση αναμενόμενοι και παραπλήσιοι μεταξύ των δύο δειγμάτων ($Y = 5.00639 t ha^{-1}yr^{-1}$, $Y = 4,273357 t ha^{-1}yr^{-1}$). Όμως στην περίπτωση αυτή αξιοποιήθηκε και το ραδιοϊσότοπο Pb-210 ex και έτσι υπολογίστηκαν οι ρυθμοί διάβρωσης μέσω αυτού ($Y = 5.013310 t ha^{-1}yr^{-1}$, $Y = 5.99509 t ha^{-1}yr^{-1}$) οι οποίοι συμφωνούσαν σε μεγάλο βαθμό με του ρυθμούς διάβρωσης από το Cs-137. Τέλος, για το ραδιοϊσότοπο Be-7, λόγω της μεθόδου δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε δεν εντοπίστηκε συγκέντρωση ραδιενέργειας στα δείγματα που συλλέχθηκαν και συνεπώς δεν ήταν δυνατή η διερεύνηση των ρυθμών διάβρωσης.

Εν κατακλείδι, το λογισμικό MODERN από τις παρατηρήσεις που έγιναν κατά την διάρκεια εκπόνησης της ΔΕ εκτιμάται ότι μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστο εργαλείο, εύκολο και ευέλικτο στη χρήση του για τον υπολογισμό ρυθμών ανακατανομής χώματος με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών δειγματοληψίας και ανάλυσης, για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιενέργειας των FRNs στο έδαφος. Επιπλέον, κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη η μελλοντική διερεύνηση της λειτουργίας του κώδικα με δεδομένα από παρόμοιες μελέτες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Arata, L., Alewell, C., Frenkel, E., b, A'Campo-Neuen, A., Iurian, A.-R., Ketterer, M.E., Mabit, L., Meusburger, K., 2016. Modelling Deposition and Erosion rates with RadioNuclides (MODERN) - Part 2: A comparison of different models to convert $^{239+240}\text{Pu}$ inventories into soil redistribution rates at unploughed sites. *Journal of Environmental Radioactivity* .

Arata, L., Meusburger, K., Frenkel, E., b, A'Campo-Neuen, A., Iurian, A.-R., Ketterer, M.E., Mabit, L., Alewell, C., 2016. Modelling Deposition and Erosion rates with RadioNuclides (MODERN) - Part 1: A new conversion model to derive soil redistribution rates from inventories of fallout radionuclides. *Journal of Environmental Radioactivity*.

Bunzl, K., Schimmack, W., Belli, M., & Riccardi, M. (1997). Sequential extraction of fallout radiocesium from the soil: Small scale and large scale spatial variability. *Journal of Radioanalysis and Nuclear Chemistry*, 226, 47– 53.

Ceaglio, E., Meusburger, K., Freppaz, M., Zanini, E., and Alewell, C.: Estimation of soil redistribution rates due to snow cover related processes in a mountainous area (Valle d'Aosta, NW Italy), *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 517–528, 2012

Danalatos, N.G., 1993. Quantified Analysis For Specific Land Use Systems in the Larissa Region, Greece. Ph.D. Thesis, Agricultural University of Wageningen. ISBN 90-5485-063- 9. Wageningen, The Netherlands, 370 5pp.

De Cort, M., Dubois, G., Fridman, S., Germenchuk, M., Izrael, Y., Janssens, A., Jones, A., Kelly, G., Kvasnikova, E., Matveenko, I., Nazarov, I., Pokumeiko, Y., Sitak, V., Stukin, E., Tabachny, L., Tsaturov, Y., Avdyushin, S., "Atlas of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident", EC/CIS collaborative programme of research on the consequences of the Chernobyl NPP accident, 1998. Office for official publications of the European Communities.

Elliott, G. L., Campbell, B. L., Loughran. R. J., 1990. Correlation of erosion measurements and soil caesium-137 content. *International Journal of Radiation and Applied Instrumentation (A) Applied Radiation and Isotopes* 41, 713–717.

F. Zapata (ed. 2002). Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides © 2002 IAEA.

Ferro, V., Porto, P., 2000. Sediment delivery distributed (SEDD) model. *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering* 5 (4), 411–422.

Gilbert, R. O. (1987). Statistical methods for environmental pollution monitoring. New York: Van Nostrand Reinhold.

Goloso V.N., Walling D.E., Panin A.V., Stukin E.D., Kvasnikova E.V., Ivanova N.N. The spatial variability of Chernobyl-derived ^{137}Cs inventories in a small agricultural drainage basin in central Russia, (1999) Applied Radiation and Isotopes, 51 (3) , pp. 341-352.

Hugo V. Zuazo D. Rocío C. Pleguezuelo R., 2008, Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/ Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review.

Iurian A. Mabit L. Begy R. Cosma C., 2013, Comparative assessment of erosion and deposition rates on cultivated land in the Transylvanian Plain of Romania using ^{137}Cs and ^{210}Pb .

Iurian, A.R., Mabit, L., Begy, R., Cosma, C., 2013. Comparative assessment of erosion and deposition rates on cultivated land in the Transylvanian plain of Romania using ^{137}Cs and ^{210}Pb . J. Environ. Radioact. 125, 40e49.

Knisel, W. G., 1980. CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems. USDA.

Kosmas C. Danalatos N. Gerontidis S., 2000, The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions

Lane, L. J., Nearing, M. A., 1989. (Eds). Water Erosion Prediction Project landscape profile model documentation. NSERL Report No. 2. National Soil Erosion Research Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Purdue University, West Lafayette, Indiana.

Lester R. Brown and Edward C. Wolf, Soil Erosion: Quiet Crisis in the World Economy, Worldwatch Paper 60 (Washington, DC: 1984)

Lettner, H., Bossew, P., & Hubmer, A. K. (2000). Spatial variability of fallout Caesium-137 in Austrian alpine regions, Journal of Environmental Radioactivity, 47, 71–82.

Loughran, R. J., Campbell, B. L., 1995. The identification of catchment sediment sources. In I. D. L. Foster, A. M. Gurnell and B.W. Webb (Eds.), Sediment and water quality in river catchments (pp. 189–205). Chichester: Wiley

Mabit, L., Benmansour, M., Blake, W.H., Taylor, A., Tarján, S., Toloza, A., Walling, D.E., 2014. The use of ^7Be as a short term soil redistribution tracer. IAEA-TECDOC-1741, pp. 105-124, IAEA, Vienna.

Mabit, L., Benmansour, M., Dercon, G., Walling, D.E., 2014. Use of ^{137}Cs , ^{210}Pb and ^7Be for documenting soil redistribution: The future. IAEA-TECDOC-1741, pp. 203-208, IAEA, Vienna.

Mabit, L., Benmansour, M., Walling, D.E., 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ^{137}Cs , ^{210}Pb and ^7Be for assessing soil erosion and sedimentation. Journal of Environmental Radioactivity 99, 1799–1807.

- Mabit, L., Bernard, C., Laverdiere, M.R., 2002. Quantification of soil redistribution and sediment budget in a Canadian watershed from fallout caesium-137 (¹³⁷Cs) data. *Canadian Journal of Soil Science* 82, 423-431.
- Mabit, L., Bernard, C., Makhlof, M., Laverdiere, M.R., 2008b. Spatial variability of erosion and soil organic matter content estimated from ¹³⁷Cs measurements and geostatistics. *Geoderma* 145 (3-4), 245-251.
- Mabit, L., Chhem-Kieth, S., Dornhofer, P., Toloza, A., Benmansour, M., Bernard, C., Fulajtar, E., Walling, D.E, 2014. ¹³⁷Cs: A widely used and validated medium term soil tracer. IAEA-TECDOC-1741, pp. 27-77, IAEA, Vienna. 320
- Mabit, L., Zapata, F., Dercon, G., Benmansour, M., Bernard, C., Walling, D.E., 2014. Assessment of soil erosion and sedimentation: The role of fallout radionuclides. IAEATECDOC-1741, pp. 3-26, IAEA, Vienna
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D., Styczen, M. E., 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): a process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 23.
- Moustakim M. Benmansour M. Zouagui A. Nouira A. Benkdad A. Damnati B., 2019, Use of caesium-137 re-sampling and excess lead-210 techniques to assess changes in soil redistribution rates within an agricultural field in Nakhla watershed.
- Pennock, D.J., Appleby P.G., 2002. Site selection and sampling design. In: Zapata (ed), pp. 15-40
- Sutherland, R.A., 1996. Cesium-137 soil sampling and inventory variability in reference samples; literature survey. *Hydrol. Process* 10, 34e54.
- Turekian, K.Y., Nozaki, Y., Benninger, L.K., 1977. Geochemistry of atmospheric radon and radon products. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 5, 227-255
- Viney, N.R., Sivapalan, M., 1999. A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia. *Hydrological Processes* 13, 727–743
- Walling, D. E., & He, Q. (1997). Models for converting measurements to estimates of soil redistribution rates on cultivated and uncultivated soils. Report to the IAEA as a contribution to the IAEA Co-ordinated 59.
- Walling, D. E. and He, Q. (1999). Using fallout lead-210 measurements to estimate soil erosion on cultivated land. *Soil Sci. Am. J.* 63:1404-1412 63.
- Walling, D. E., & He, Q. (2001). Models for converting ¹³⁷Cs measurements to estimates of soil redistribution rates on cultivated and undisturbed soils (including software for model implementation). Report to IAEA. Exeter: University of Exeter. 167 65.

Walling, D. E., & Quine, T. A. (1992). The use of caesium-137 measurement in soil erosion surveys, IAHS publication 210 (pp. 143–152). Wallingford: IAHS Press 55.

Walling, D. E., & Quine, T. A. (1993). Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation: handbook for the application of the caesium-137 technique. Exeter: University of Exeter. 56.

Walling, D. E., & Quine, T. A. (1993). Use of caesium-137 as a tracer of erosion and sedimentation: Handbook for the application of the caesium-137 technique. Exeter: University of Exeter. 57.

Walling, D. E., & Quine, T. A. (1995). The use of fallout radionuclides in soil erosion investigations. In Nuclear techniques in soil-plant studies for sustainable agriculture and environmental preservation, IAEA Publication ST1/PUB/947 (pp. 598–619). Vienna: IAEA. 58.

Walling, D. E., He, Q. and Blake, W. H. (1999). Use of ^7Be and ^{137}Cs measurements to document short-term and medium-term rates of water-induced soil erosion on agricultural land. *Water Resource Research* 35: 3865- 3874. 64.

Walling, D.E., & He, Q. (1999). Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements. *Journal of Environmental Quality*, 28, 611–622. 61.

Walling, D.E., Collins, A.L. and Sichingabula, H.M. (2003). ‘Using unsupported lead- 210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambian catchment.’ *Geomorphology* 52, 193-213.

Walling, D.E., Y. Zhang, and Q. He . Models for Converting Radionuclide (^{137}Cs , Excess ^{210}Pb , and ^7Be) Measurements to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates 62.

Williams, J. R., 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources, ARS-S-40, US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244-252.

Wischmeier W.H., Smith, D.D., 1962. Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning. *Int. Assoc. Scient. Hydr. Pub.* 59, p. 148–159

Wischmeier, W. H., Smith, D. D., 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophysic Union* 39, 131 –137

Zhang, X.B., Higgitt, D.L., Walling, D.E., 1990. A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrological Science Journal* 35, 267-276.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αναγνωστάκης, Μ.Ι. Διαφάνειες του μαθήματος «Ραδιενέργεια και περιβάλλον». Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

Καρφόπουλος, Κ.Λ., 2012. Ανάπτυξη και εφαρμογή μετρητικών τεχνικών για την ανάλυση της φυσικής και τεχνολογικά επαγόμενης ραδιενέργειας σε οικοσυστήματα. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

Μελλομένη Π., 2017, ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Παπαδάκος, Γ.Ν., 2012. Στοχαστικές διαδικασίες και συνακόλουθες ποσοτικές και ποιοτικές εκτιμήσεις ραδιοπεριβαλλοντικών επιπτώσεων σε πληθυσμιακές ομάδες στον ελληνικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας.

Παπαδάκος, Γ.Ν., Καραγάγελος, Δ.Ι., Πετρόπουλος, Ν.Π., Χίνης, Ε.Π., Αναγνωστάκης, Μ.Ι., Σιμόπουλος, Σ.Ε., ΕΜΠ. Αβεβαιότητα στην εκτίμηση της παραμένουσας ραδιενέργειας ^{137}Cs στο έδαφος μετά από απόθεση λόγω πυρηνικού ατυχήματος. 5ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

Πετροβίτσος, Ε., 2011. Εκτίμηση του ρυθμού διάβρωσης επιφανειακών εδαφών με χρήση φυσικών και τεχνητών ραδιενεργών ισοτόπων. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

Ποτουρίδης, Σ., Κ. Ξανθοπούλου, Σ. Παπαρρίζος και Φ. Μάρης, 2012, Μοντέλα διάβρωσης στις Μεσογειακές χώρες, δημοσίευση έπειτα από κρίση στην Περιοδική Έκδοση του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων (Δ.Π.Θ.), 4ος Τόμος: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων.

Σπανάκου Α., 2017, ΧΡΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΙΣΟΤΟΠΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ, Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

Σωτηροπούλου Α.Μ., 2011, Εφαρμογή του μοντέλου USLE για την εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης των γεωργικών εδαφών με την χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και της δορυφορικής τηλεσκοπησης

Σιμόπουλος Ε., 1986, Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

View of Use of ^{137}Cs isotopic technique in soil erosion studies in Central Greece, ανάκτηση από <https://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/view/4777/6235>

LEDD issues in cropland: Greece and Messara Valley, ανάκτηση από <http://leddris.aegean.gr/ledd-issues-11905/148-ledd-issues-in-cropland-in-messara-valley-crete.html>

Οδηγός χρήσης της προγραμματιστικής γλώσσας MatLab <https://www.mathworks.com/help/matlab/>

<https://physicsopenlab.org/2016/05/22/webcam-particle-detector-measurements/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Για το αρχείο MODERN_input.m

```
function [FRN_ref_inv,FRN_ref_LABEL,FRN_ld,FRN_samp_inv,FRN_samp_LABEL,...
        comp_depth,scenario] = MODERN_input(site_ID)
switch site_ID
case 'StudyAreal'

FRN_ref_inv = { []};
FRN_ref_LABEL = {'Reference Site 1'};
FRN_ld = ;

FRN_samp_inv = [];
FRN_samp_LABEL = {'site1';'site2';'site3'};
comp_depth = ;

scenario = {'1: 1 2; 2: 1 2 3';
           '1:1; 2: v15' |
};
```

Εικόνα Α.1 Το αρχείο MODERN_input.m μη επεξεργασμένο

Ανοίγοντας το λογισμικό του MODERN και συγκεκριμένα το αρχείο MODERN_input.m, δίνεται να συμπληρωθούν οι μεταβλητές που φαίνονται στην Εικόνα Α.1. Αρχικά, στη μεταβλητή case δίνεται το όνομα της μελέτης για την οποία αναφέρονται και οι υπόλοιπες μεταβλητές. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τα Δραχμάναγα Λαμίας που δίνονται στο Κεφάλαιο 4. Στη συνέχεια, στη μεταβλητή FRN_ref_LABEL και FRN_samp_LABEL, δίνεται το όνομα της περιοχής αναφοράς και των προς μελέτη δειγμάτων αντίστοιχα. Ορίζονται όσες περιοχές αναφοράς χρειάζονται και όσα δείγματα αντίστοιχα, χρησιμοποιώντας τα σύμβολα, «'» για το όνομα κάθε περιοχής και «;» για να διαχωρίζονται. Στην Εικόνα Α.2 παρουσιάζεται η παραπάνω διαδικασία.

```

function [FRN_ref_inv,FRN_ref_LABEL,FRN_ld,FRN_samp_inv,FRN_samp_LABEL,...
        comp_depth,scenario] = MODERN_input(site_ID)
switch site_ID
case 'Αραχμάναγα Λαμίας'

FRN_ref_inv = { []};
FRN_ref_LABEL = {'Σημείο αναφοράς 1'};
FRN_ld = 1;

FRN_samp_inv = [];
FRN_samp_LABEL = {'δείγμα1','δείγμα2','δείγμα3','δείγμα4','δείγμα5','δείγμα6','δείγμα7','δείγμα8','δείγμα9','δείγμα10','δείγμα11','δείγμα12'};
comp_depth = 1;

scenario = {'1: 1 2; 2: 1 2 3';
           '1:1; 2: v15'
};

```

Εικόνα A.2 Ονομασία των μεταβλητών-χαρακτήρων

Στη συνέχεια, για την τοποθεσία αναφοράς δίνεται στη μεταβλητή FRN_ref_inv η επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας για κάθε στρώση του δείγματος και στη μεταβλητή FRN_ld το βήμα με το οποίο έχουμε χωρίσει το δείγμα. Για τις τοποθεσίες δειγματοληψίας δίνονται αντίστοιχα στην μεταβλητή FRN_samp_inv, η συνολική επιφανειακή συγκέντρωση ραδιενέργειας που υπάρχει στα δείγματα διάβρωσης και στη μεταβλητή comp_depth το συνολικό βάθος των δειγμάτων. Η διαδικασία παρουσιάζεται στην Εικόνα A.3.

```

function [FRN_ref_inv,FRN_ref_LABEL,FRN_ld,FRN_samp_inv,FRN_samp_LABEL,...
        comp_depth,scenario] = MODERN_input(site_ID)
switch site_ID
case 'Αραχμάναγα Λαμίας'

FRN_ref_inv = { [2985 754 312 166 80 60 49 170 28 40]};
FRN_ref_LABEL = {'Σημείο αναφοράς 1'};
FRN_ld = 2 ;

FRN_samp_inv = [54 2053 4141 36 0 367 566 1517 4224 5199 5641 541 ] ;
FRN_samp_LABEL = {'δείγμα1','δείγμα2','δείγμα3','δείγμα4','δείγμα5','δείγμα6','δείγμα7','δείγμα8','δείγμα9','δείγμα10','δείγμα11','δείγμα12'};
comp_depth = 20 ;

scenario = {'1: 1 2; 2: 1 2 3';
           '1:1; 2: v15'
};

```

Εικόνα A.3 Εισαγωγή των προφίλ αναφοράς και των προφίλ των δειγμάτων πιθανής διάβρωσης

Στη συνέχεια υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σενάρια εναπόθεσης αν έχουμε πιθανότητες ιζηματογέννησης σε κάποια απο τα δείγματα. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν δημιουργηθεί δυο επιπλέον στρώσεις στο προφίλ βάθους αναφοράς με την πρώτη να είναι ο μέσος όρος της συγκέντρωσης των δύο πρώτων επιφανειακών συγκεντρώσεων από το προφίλ βάθους αναφοράς, ενώ το δεύτερο των τριών πρώτων (Εικόνα A.4).

```

scenario = {'1: 1 2; 2: 1 2 3';
};

```

Εικόνα A.4 Σενάριο εναπόθεσης που χρησιμοποιήθηκε

Στη συνέχεια, για να εκτελεστεί ο κώδικας χρειάζεται το αρχείο MODERN_run.m το οποίο φαίνεται στην Εικόνα Α.5.

```
function [site_ID, FRN_ref_ID,FRN_samp_ID,scenario_ID,plot_ID] = ...
]                                     MODERN_run(case_ID)
switch case_ID
    case 1
        site_ID = '';
        FRN_ref_ID = [ ];
        FRN_samp_ID = [ ];
        scenario_ID = [ ];
        plot_ID = [ ];
```

Εικόνα Α.5 Το αρχείο MODERN_run.m πριν την επεξεργασία του

Αρχικά, ορίζεται η μεταβλητή site_ID με το όνομα της μελέτης που έχει δοθεί στο αρχείο MODERN_input.m. Είναι απαραίτητο τα δυο ονόματα σε αυτές τις μεταβλητές να είναι ίδια. Στη συνέχεια, ορίζεται η μεταβλητή case με ένα ονομα με το οποίο θα καλείται η συνάρτηση να εκτελεστεί με την εντολή MODERN(case); δηλαδή στο συγκεκριμένο παράδειγμα MODERN(1.1);.

```
function [site_ID, FRN_ref_ID,FRN_samp_ID,scenario_ID,plot_ID] = ...
]                                     MODERN_run(case_ID)
switch case_ID
    case 1.1
        site_ID = 'Δραχμάνογα Λαμίας';
        FRN_ref_ID = [ ];
        FRN_samp_ID = [ ];
        scenario_ID = [ ];
        plot_ID = [ ];
```

Εικόνα Α.6 Εισαγωγή του ονόματος “case” της μελέτης

Στη συνέχεια, χρειάζεται να συμπληρωθούν οι μεταβλητές FRN_ref_id, FRN_samp_ID και scenario_ID. Είναι απαραίτητο να υπάρχει ίδιος αριθμός μεταβλητών μέσα σε αυτές. Συνεπώς, αρχικά ορίζεται η FRN_ref_id με τον αριθμό του προφίλ αναφοράς που συγκρίνεται το δείγμα στην αντίστοιχη θέση στη μεταβλητή FRN_samp_ID. Στο παράδειγμα έχει οριστεί ένα προφίλ αναφοράς συνεπώς όλα τα δείγματα συγκρίνονται με αυτό. Έτσι, στη μεταβλητή FRN_samp_ID υπάρχει μόνο ο αριθμός 1. Σε περίπτωση που είχαν οριστεί περισσότερα προφίλ αναφοράς θα προσδιορίζονταν με τους αριθμούς 1,2,3 κ.ο.κ. ανάλογα με την σειρά που είχαν

οριστεί στη μεταβλητή FRN_ref_LABEL του αρχείου MODERN_input.m. Στη μεταβλητή FRN_samp_ID δίνεται ο αριθμός του δείγματος προς μελέτη με τη σειρά που έχει οριστεί στη μεταβλητή FRN_samp_LABEL του αρχείου MODERN_input.m. Τέλος, η μεταβλητή scenario_ID παίρνει τις τιμές 0 και 1 ανάλογα με το αν χρειάζεται να εφαρμοστεί σενάριο εναπόθεσης στην αντιστοιχη μελέτη (1) ή όχι (0). Οι παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στην Εικόνα A.7.

```
function [site_ID, FRN_ref_ID,FRN_samp_ID,scenario_ID,plot_ID] = ...
                                                MODERN_run(case_ID)

switch case_ID
    case 1.1
        site_ID = 'Δραχμάνογα Λαμίας';
        FRN_ref_ID = [ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ];
        FRN_samp_ID = [ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
        scenario_ID = [ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ];
        plot_ID = [];
```

Εικόνα A.7 Αντιστοίχιση των προφίλ των δειγμάτων προς μελέτη με τα προφίλ αναφοράς και τα σενάρια εναπόθεσης

Τέλος, στη μεταβλητή plot_ID, η οποία ορίζεται με 0 ή 1, δίνεται η δυνατότητα να υπάρξει γράφημα του προφίλ βάθους (1) ή όχι (0) στα αποτελέσματα που παρέχει το λογισμικό MODERN (Εικόνα A.8).

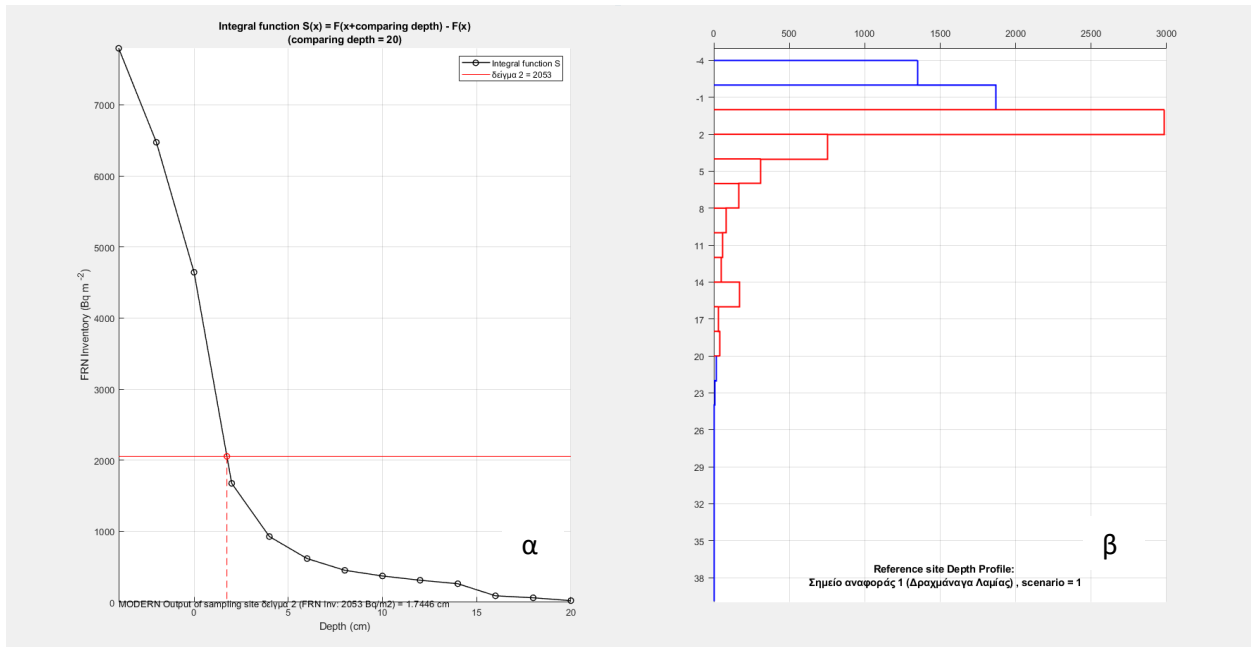
```
function [site_ID, FRN_ref_ID,FRN_samp_ID,scenario_ID,plot_ID] = ...
                                                MODERN_run(case_ID)

switch case_ID
    case 1.1
        site_ID = 'Δραχμάνογα Λαμίας';
        FRN_ref_ID = [ 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ];
        FRN_samp_ID = [ 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12];
        scenario_ID = [ 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 ];
        plot_ID = [ 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 ];
```

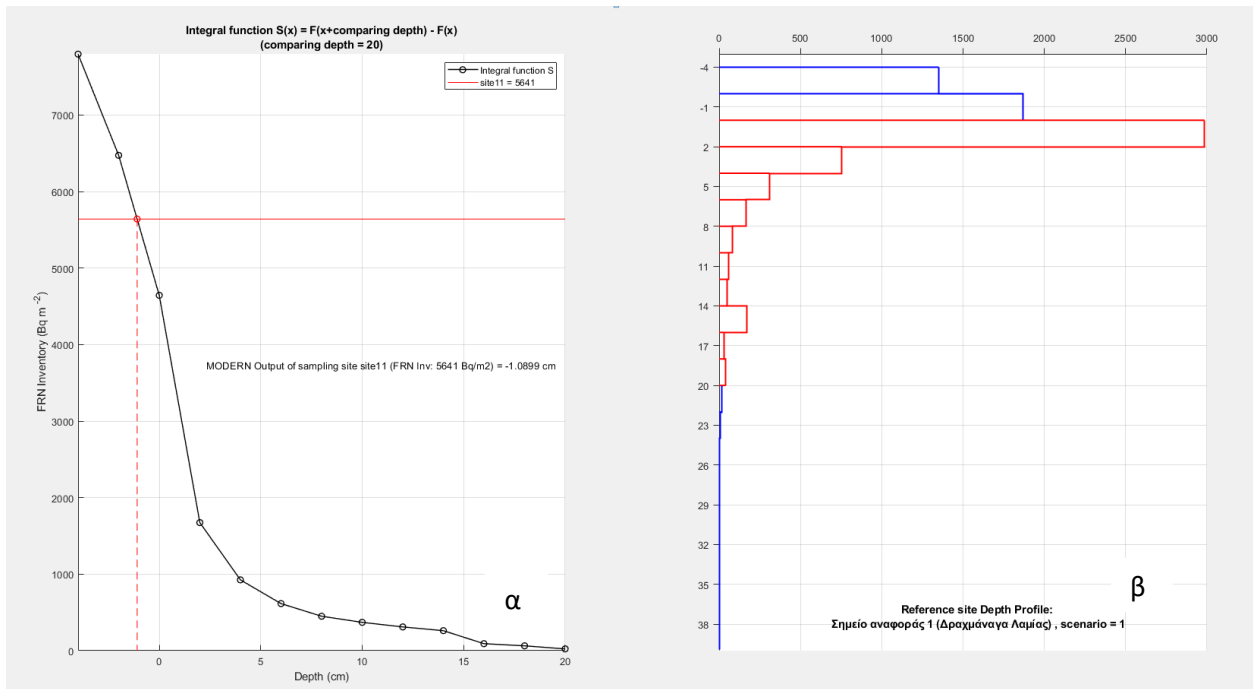
Εικόνα A.8 Δυνατότητα δημιουργίας γραφίματος μέσω της μεταβλητής plot_ID

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία και εκτελεστεί ο κώδικας, το MODERN επιστρέφει αποτελέσματα σύμφωνα με τις εικόνες A.9 και A.10. Σε αυτές φαίνεται το προφίλ αναφοράς στο γράφημα A.9α και το σημείο τομής στο οποίο σημειώνεται η εκατοστιαία μείωση της παραμένουσας απόθεσης (cm) στο γράφημα A.9β. Σε περίπτωση που ο αριθμός αυτός είναι θετικός πρόκειται για περίπτωση διάβρωσης (Εικόνα A.9) ενώ σε περίπτωση που είναι

αρνητικός πρόκειται για ιζηματογένεση (Εικόνα Α.10). Για να υπολογιστεί ο μέσος ετήσιος ρυθμός απώλειας χώματος χρησιμοποιείται η εξίσωση 4.1 όπου x^* είναι η εκατοστιαία μείωση της παραμένουσας απόθεσης του ραδιοϊσοτόπου που εξετάζεται. Στο γράφημα του προφίλ αναφοράς φαίνονται οι δύο επιπλέον στρώσεις (0cm - -4cm) που έχουν δημιουργηθεί από το σενάριο εναπόθεσης που χρησιμοποιήθηκε στην μελέτη.



Εικόνα Α.9 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (β) , περίπτωση διάβρωσης.



Εικόνα Α.10 Διάγραμμα που δείχνει την εκατοστιαία (cm) μείωση της παραμένουσας απόθεσης (α), Το προφίλ αναφοράς με το οποίο συγκρίθηκε το δείγμα (β), περίπτωση ιζηματογένεσης.