

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΕΙΔΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ**



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εκτίμηση της ευαισθησίας των εδαφών στη διάβρωση με χρήση του συντελεστή
διαβρωσιμότητας εδαφών.»**

Βαϊοπούλου Θωμάς

ΒΟΛΟΣ 2024

UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF ICHTHYOLOGY AND AQUATIC ENVIRONMENT AND
DEPARTMENT OF SPECIAL EDUCATION



JOINT POSTGRADUATE PROGRAMME
«EDUCATION FOR SUSTAINABILITY AND THE ENVIRONMENT»

JOINT POSTGRADUATE MASTER'S THESIS

« Estimating the susceptibility of soils to erosion using the soil erodibility coefficient. »

Vaiopoulou Thomais

VOLOS 2024

© ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, 2024. Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία (Μ.Δ.Ε.), η οποία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών: Εκπαίδευση για την Αειφορία και το Περιβάλλον και τα λοιπά αποτελέσματα αυτής αποτελούν συνιδιοκτησία του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης και αναπαραγωγής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα και το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, όπου εκπονήθηκε η Μ.Δ.Ε. καθώς και τον Επιβλέποντα Καθηγητή και την Επιτροπή Αξιολόγησης.

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Σταύρος Σακελλαρίου, Εντεταλμένος Διδασκαλίας , Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης , Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**.

Σοφοκλής Δρίτσας, Ε.ΔΙ.Π, Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

Στεργιανή Ματσιώρη, Καθηγήτρια, Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος , Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**

ΑΦΙΕΡΩΣΕΙΣ (Προαιρετικά)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

(προαιρετικά)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
2.1. Το φαινόμενο της υδατικής διάβρωσης των εδαφών	4
2.2 Μοντέλα διάβρωσης και χρήση τεχνολογιών GIS.....	8
2.3. Το μοντέλο προσομοίωσης της υδατικής διάβρωσης των εδαφών RUSLE.....	10
2.3.1. Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών K.....	11
2.3.2. Ο παράγοντας διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων R.....	15
2.3.3. Οι παράγοντες επίδρασης της τοπογραφίας LS	17
2.3.4. Ο παράγοντας επίδρασης της κάλυψης των εδαφών C	20
2.3.5. Ο παράγοντας επίδρασης των υποστηρικτικών πρακτικών P	23
2.4. Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών κατά τη μεθοδολογία του μοντέλου EPIC	25
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	28
3.1. Γεωγραφία-Διοικητική Οργάνωση.....	29
3.2. Γεωμορφολογία	32
3.3. Υδρολογία	34
3.4. Γεωλογία	35
3.5. Κλίμα-Μετεωρολογία.....	37
3.6. Εδάφη.....	39
3.7. Δημογραφία.....	40
3.8. Παραγωγή-Οικονομία.....	42
3.9. Χρήσεις Γης	46
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	48
4.1 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων	48
4.2 Εργαστηριακές αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων.....	49
4.3 Δημιουργία χάρτη του παράγοντα K.....	49
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	51
5.1 Περιγραφή εδαφικών ενοτήτων της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	51
5.2 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων των 38 εδαφικών δειγμάτων	61
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	68

6.1 Διαφορές στις τιμές του παράγοντα K μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών λεπτόκοκκων εδαφών (clay και silty clay)	68
6.3 Διαφορές στις τιμές K μεταξύ λεπτόκοκκων, μετρίως λεπτόκοκκων και μέσης σύστασης εδαφών.....	71
6.4 Συσχέτιση του παράγοντα K με τη περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία.....	73
6.5 Η μέση τιμή του παράγοντα K σε σχέση με άλλες έρευνες σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.....	73
6.6 Διαφορές στην ευπάθεια ως προς τη διάβρωση που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης μας.....	75
6.7 Μελλοντική έρευνα για την ευπάθεια στη διαβρωσιμότητα των ελληνικών εδαφών.....	79
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	82
ABSTRACT.....	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία έγινε υπολογισμός του συντελεστή διάβρωσης των εδαφών K, ακολουθώντας τη μεθοδολογία του μοντέλου EPIC. Για το σκοπό αυτό συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν 38 διαφορετικά εδαφικά δείγματα από διάφορες καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής κυρίως του Δήμου Παλαμά, της Περιφερειακή Ενότητας Καρδίτσας. Βρέθηκαν ότι τα δείγματα ανήκουν σε τρεις κυρίως κλάσεις μεγεθών: λεπτόκοκκα εδάφη (Clay και Silty Clay), μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam) και μέσης κοκκομετρικής σύστασης (Loam) εδάφη. Τα λεπτόκοκκα εδάφη είχαν τη μικρότερη μέση τιμή του παράγοντα διαβρωσιμότητας εδαφών K (μέση τιμή $K = 0,032709 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) ενώ τα μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη είχαν τη μεγαλύτερη τιμή K (μέση τιμή $K = 0,035968 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Η μέση τιμή του παράγοντα διαβρωσιμότητας όλης της περιοχής μελέτης είναι $0,032940 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Η περιοχή παρουσιάζει μια διακύμανση των τιμών K. Σε σχέση με τη χωρική κατανομή του συντελεστή K σε όλη τη περιοχή μελέτης: μικρό ποσοστό της περιοχής μόνο 6.88% έχει χαμηλό συντελεστή διαβρωσιμότητας ($K = 0.023842 - 0.030466 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), περιοχές μπλε έως σκούρο πράσινο στο χάρτη. Το 38,16% της περιοχής έχει υψηλό συντελεστή διαβρωσιμότητας ($K = 0.033518068 - 0.040401045 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), περιοχές με χρώμα πορτοκαλί ανοιχτό έως κόκκινο. Η διακύμανση των διαφόρων τιμών του παράγοντα K στην περιοχή μελέτης οφείλεται σίγουρα στη διαφορετική κοκκομετρική σύσταση των εδαφικών δειγμάτων. Οι περιοχές οι οποίες αποτελούνται από μετρίως λεπτόκοκκα και μεσαίας υφής εδάφη εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία στη διάβρωση. Από την εδαφολογική μελέτη της περιοχής επίσης συμπεραίνουμε ότι το 12,36% της περιοχής που αποτελείται από leptosols εδάφη συμπίπτουν στο χάρτη απεικόνισης του K να έχουν μεγαλύτερη τιμή K

από τις περιοχές με τα fluvisols εδάφη. Γενικά περιοχές με leptosols εδάφη παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο διάβρωσης από ότι περιοχές με fluvisols.

Λέξεις κλειδιά: παράγοντας διαβρωσιμότητας εδαφών *K*, υδατική διάβρωση εδαφών, μοντέλο *RUSLE*, μοντέλο *EPIC*, Δήμος Παλαμάς Καρδίτσα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διάβρωση του εδάφους είναι ένα φυσικό φαινόμενο όπου τα τεμαχίδια του εδάφους αποσπώνται και μετακινούνται επειδή κάποιος παράγοντας διάβρωσης έδρασε, όπως το νερό, ο αέρας, η βαρύτητα ή ο άνθρωπος (Gunawan et al., 2013; Okorafor et al., 2018). Η απόσπαση αυτή του ανώτερου στρώματος του εδάφους μέσω της διάβρωσης αλλάζει το εδαφικό περιβάλλον, συντελεί στη μείωση της γονιμότητας, στη μείωση της παραγωγικότητας (Kairis et al., 2022) ή στη καταστροφή καλλιεργειών με την έκθεση των ριζών των φυτών έξω από χώμα που βρίσκονται στο σημείο, στη ρύπανση των επιφανειακών νερών που βρίσκονται κοντά στη περιοχή διάβρωσης και στη καταστροφή κατασκευών (Okorafor et al., 2018; Shougang et al., 2014). Η απώλεια εδάφους από την υδατική διάβρωση θεωρείται ένας σημαντικός κίνδυνος σήμερα ο οποίος επηρεάζει αρνητικά τα οικοσυστήματα, τις καλλιέργειες, τους υδατικούς πόρους, και τη βιοποικιλότητα (Guerra et al., 2016; Orgiazzi & Panagos, 2018).

Ειδικά στις περιοχές της Μεσογειακής λεκάνης η απώλεια εδάφους λόγω διάβρωσης είναι ιδιαίτερα έντονη και αυτή επιταχύνεται τόσο από φυσικούς όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες που επικρατούν στις περιοχές (Stefanidis et al., 2021). Ουσιαστικά η εκτεταμένη διάβρωση αποτελεί ένα πρόδρομο παράγοντα που συμβάλλει στην συντελούμενη ερημοποίηση (Kairis et al., 2022). Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης της Ελλάδας οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο διάβρωσης ή ερημοποίησης εκτιμάται ότι καλύπτουν το 34% της έκτασης της χώρας και περιλαμβάνουν περιοχές όπως τη Θεσσαλία, μέρη της Στερεάς Ελλάδας, το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου, την ορεινή περιοχή των νησιών του Ιονίου, τα νησιά του

Αιγαίου, τη νήσο της Εύβοιας, την ανατολική και δυτική Κρήτη, περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης (Yassoglou et al., 2017).

Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν να δημιουργηθεί ένας χάρτης συνεχούς επιφάνειας του παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών Κ στη περιοχή του Δήμου Παλαμά, της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας, της Περιφέρειας Θεσσαλίας. Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών Κ είναι ένας σημαντικός δείκτης της έντασης της υδατικής εδαφικής διάβρωσης και χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος και ο ρυθμός διάβρωσης τους εδάφους (Iaich et al., 2016; Wang et al., 2014; Wischmeier & Smith, 1978). Προκειμένου να γίνει αυτό, δείγματα εδάφους από διάφορες σημεία της περιοχής μελέτης αναλύθηκαν εργαστηριακά. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του μοντέλου EPIC για τον υπολογισμό του παράγοντα Κ. Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης είναι ότι ειδικά στη περιοχή της Θεσσαλίας τα εδάφη κινδυνεύουν με ερημοποίηση. Η ερημοποίηση συμβαίνει όταν η υπόβαθμιση του εδάφους φτάνει σε ένα κρίσιμο σημείο, όπου το έδαφος πλέον δεν μπορεί να παρέχει νερό, θρεπτικά συστατικά ή ζωτικό χώρο σε ζωντανούς οργανισμούς που ζούνε και αναπτύσσονται στο έδαφος και είναι απαραίτητοι για τον άνθρωπο και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος γενικότερα (Kairis et al., 2022). Στη περιοχή της Θεσσαλίας οι κύριοι παράγοντες που οδηγούν σε ερημοποίηση είναι η διάβρωση του εδάφους, η αλάτωση, η απώλεια οργανικής ουσίας και η συμπίεση του υπέδαφους από βαριά γεωργικά μηχανήματα. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2016 η περιοχή της Θεσσαλίας κατατάχθηκε στην 9η θέση ανάμεσα στα 14 υδατικά διαμερίσματα της χώρας (Περιοχές Λεκανών Απορροής Ποταμών), όσο αφορά τους ρυθμούς υδατικής εδαφικής διάβρωσης (Kourgialas, 2021).

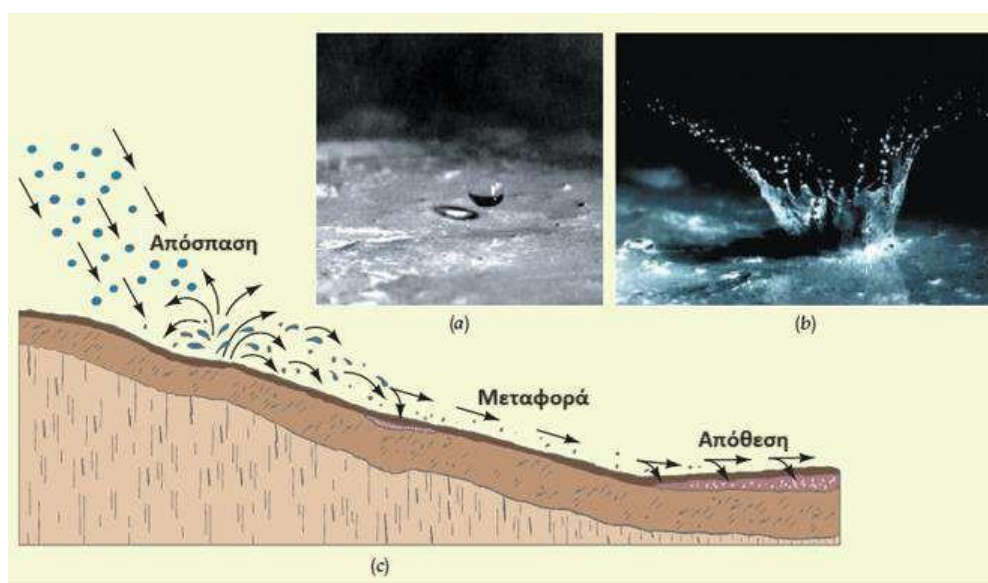
Η διάρθρωση της παρούσας εργασίας είναι η εξής: στο 2^ο Κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση του φαινομένου της υδατικής διάβρωσης, μια αναλυτική παρουσίαση του μοντέλου RUSLE με τους διάφορες παράγοντες της εξίσωσης και μια παρουσίαση του μοντέλου EPIC και του τρόπου υπολογισμού του παράγοντα K. Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η γεωγραφία και η διοικητική οργάνωση της περιοχής μελέτης με έμφαση στο Δήμο Παλαμά Καρδίτσας. Στο 4^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα Υλικά και Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ στο 6^ο Κεφάλαιο τα Αποτελέσματα. Στο 6^ο Κεφάλαιο γίνεται μια κριτική αποτίμηση των αποτελεσμάτων και εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στα παρακάτω υποκεφάλαια παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των κυριότερων θεμάτων γύρω από την υδατική διάβρωση. Γίνεται μια ανασκόπηση στους μηχανισμούς και στις επιπτώσεις της υδατικής διάβρωσης, παρουσιάζεται το μοντέλο RUSLE και EPIC και αναλύονται ξεχωριστά οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο RUSLE.

2.1. Το φαινόμενο της υδατικής διάβρωσης των εδαφών

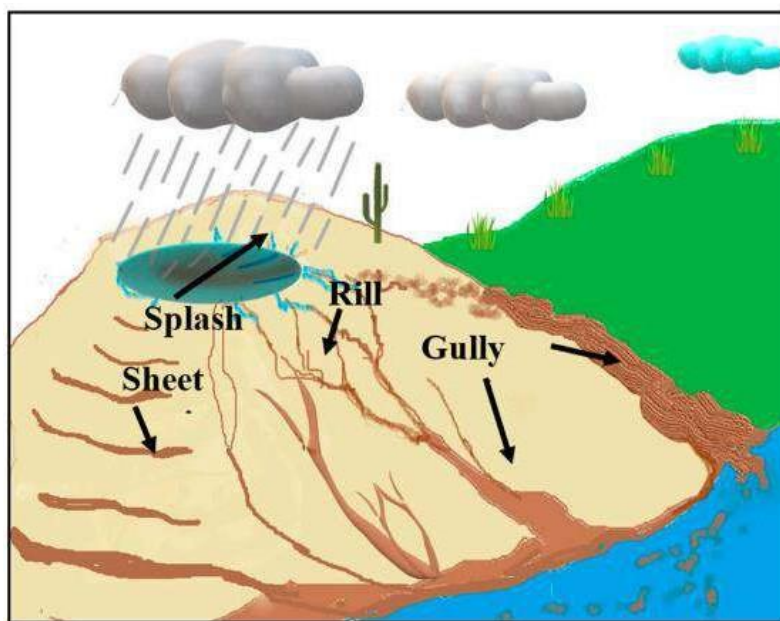
Με τον όρο διάβρωση εννοούμε την μετακίνηση του εδαφικού υλικού λόγω νερού, αέρα ή χρησιμοποίησης μηχανημάτων. Ο μηχανισμός της υδατικής διάβρωσης συμβαίνει μέσα από μια διαδικασία τριών φάσεων: i) απόσπαση των εδαφικών τεμαχιδίων από τη μάζα του εδάφους, ii) μεταφορά τους από αιώρηση (floating), κύλιση (rolling), σύρσιμο (dragging), και εκτίναξη (splashing), iii) απόθεση των μεταφερόμενων τεμαχιδίων σε πιο χαμηλό υψόμετρο (Brady & Weil, 2008) (Εικ. 1).



Εικόνα 1. Η διαδικασία τριών φάσεων της υδατικής εδαφικής διάβρωσης ξεκινάει με την επίδραση των σταγόνων βροχής στο υγρό έδαφος. α) Μια σταγόνα νερού η οποία κατευθύνεται προς το έδαφος, β) εκτίναξη εδαφικού υλικού το οποίο είναι αποτέλεσμα της επαφής της σταγόνας με το γυμνό έδαφος. Με αυτό το τρόπο καταστρέφονται τα εδαφικά συσσωματώματα και επιταχύνεται η επιφανειακή κατά στρώσεις διάβρωση (sheet erosion) και η αυλακωτή διάβρωση (interill erosion). Επιπλέον σημαντική ποσότητα εδάφους μπορεί μέσω της εκτίναξης να μεταφέρεται σε άλλα σημεία. Οι σταγόνες της βροχής μπορούν να αποσπούν από ένα γυμνό λόφο τα εδαφικά τεμαχίδια, τα μεταφέρουν και τα αποθέτουν σε άλλο σημείο (πηγή: Brady & Weil, 2008).

Οι σταγόνες βροχής που φτάνουν στο έδαφος ή αυτές που πέφτουν από τα φύλλα των δέντρων μπορεί να προκαλέσουν απόσπαση των εδαφικών τεμαχιδίων και να συνεισφέρουν στην υδατική διάβρωση (rainsplash erosion). Όταν το έδαφος δεν μπορεί να συγκρατήσει ή να διηθήσει άλλο το νερό της βροχής το επιπλέον νερό απορρέει δημιουργώντας επιφανειακή απορροή (Morgan, 2005).

Η υδατική διάβρωση μπορεί να διακρίνεται σε διάφορες μορφές, όπως επιφανειακή κατά στρώσεις διάβρωση (sheet ή interill erosion), αυλακωτή διάβρωση (rill erosion), χαραδρωτική διάβρωση (gully erosion) και εσωτερική διάβρωση μέσω δημιουργίας καναλιών (piping) (Poesen & Hooke, 1997) (Εικ. 2).



Εικόνα 2. Οι τύποι υδατικής εδαφικής διάβρωσης (πηγή: Senanayake et al., 2020)

Η επιφανειακή κατά στρώσεις διάβρωση πολλές φορές επιταχύνεται από διαδικασίες φυσικής υποβάθμισης τους εδάφους όπως συμπίεση του εδάφους, επιφανειακή σφράγιση του εδάφους (surface sealing) και δημιουργία κρούστας (Boardman & Poesen, 2006). Η αυλακωτή ή χαραδρωτική διάβρωση δημιουργείται από την επιφανειακή απορροή του νερού.

Η υδατική διάβρωση μπορεί να χωριστεί στη γεωλογική διάβρωση και την επιταχυνόμενη διάβρωση. Η γεωλογική υδατική διάβρωση συμβαίνει φυσικά χωρίς τη παρέμβαση του ανθρώπου. Τείνει να είναι μεγαλύτερη σε ημί-ξηρικές περιοχές, όπου η βροχόπτωση δεν μπορεί να υποστηρίξει τη δημιουργία μιας πυκνής βλάστησης, αλλά αντίθετα έχει καταστροφικά αποτελέσματα στο έδαφος. Ιδιαίτερα περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευπαθείς με υψηλούς ρυθμούς γεωλογικής υδατικής διάβρωσης (Brady & Weil, 2008).

Ιδιαίτερα στη περιοχή της Μεσογείου πολλά εδάφη έχουν υψηλή ευπάθεια στην υδατική διάβρωση εξαιτίας της πηλώδης ή πηλω-αμμώδους υφής τους. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι οι υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι και οι μειωμένες ποσότητες βροχόπτωσης δημιουργούν ένα ξηρικό περιβάλλον και έχουν ως αποτέλεσμα τα εδάφη αυτά να έχουν μειωμένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και έτσι να είναι πιο ευπαθή στη φυσική υποβάθμιση (συμπίεση, δημιουργία κρούστας) και την υδατική διάβρωση (Thornes, 1995). Από την άλλη περισσότερο από το 60% της γης στη Μεσόγειο αποτελείται από εδάφη που περιέχουν σημαντικό ποσοστό από πετρώδες υλικό στο ανώτατο στρώμα τους (Poesen & Lavee, 1994). Αυτές οι πέτρες λειτουργούν ως φυσικός σταθεροποιητής, ευνοώντας τη διήθηση του νερού μέσα στο έδαφος και την μείωση της επιφανειακής απορροής και κατ' επέκταση την απώλεια εδάφους λόγω επιφανειακής απορροής. Η τοπογραφία στη περιοχή της Νοτίου Μεσογείου η οποία αποτελείται από απότομες πλαγιές ειδικά στις ορεινές περιοχές, επηρεάζει το μικροκλίμα και κατ' επέκταση τη κάλυψη του εδάφους από φυτική βλάστηση και επομένως την ευπάθεια σε διάβρωση. Έτσι νότιες και δυτικά εκτεθειμένες πλαγιές είναι πιο θερμές και έχουν υψηλότερα ποσοστά εξάτμισης και μειωμένη ικανότητα αποθήκευσης νερού σε σχέση με βόρειες και ανατολικές πλαγιές (Poesen & Hooke, 1997).

Ανθρωπογενείς ενέργειες που καταστρέφουν το έδαφος ή καταστρέφουν τη φυσική βλάστηση και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες στη περιοχή της Μεσογείου συμβάλλοντας στην επιταχυνόμενη διάβρωση είναι: η υπερβόσκηση, αποψίλωση δασικών εκτάσεων και χρησιμοποίησή τους στη γεωργία, οργώματα σε εδάφη που βρίσκονται σε λόφους και έχουν κλίση, εγκατάλειψη καλλιεργούμενων εκτάσεων ή μετατόπισης τους λόγω αλλαγών στις αγορές, κάψιμο καλαμιάς ή ακόμα και καταστροφή του φυσικού τοπίου για κατασκευή δρόμων ή κτιρίων (Εικ. 3).



Εικόνα 3. Αποτελέσματα υδατικής διάβρωσης λόγω ανθρωπογενών αιτιών σε εδάφη της κεντρικής Πορτογαλίας, α) λόγω γεωργικής δραστηριότητας και εγκατάστασης καλλιέργειας ακτινιδίων, β) λόγω πυρκαγιάς σε δάσος, γ) εγκαταλελειμμένη καλλιεργήσιμη γη, δ) κατασκευές (Πηγή: Ferreira et al., 2022).

2.2 Μοντέλα διάβρωσης και χρήση τεχνολογιών GIS

Τα διάφορα μοντέλα προσομοίωσης της εδαφικής διάβρωσης χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις για να καθορίσουν τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των διαδικασιών διάβρωσης και διαφόρων παραγόντων διάβρωσης. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να βοηθήσουν στην εκτίμηση και αναγνώριση επικίνδυνων στη διάβρωση περιοχών και να βοηθήσουν στη χαρτογράφηση. Δύο από τα πιο γνωστά εμπειρικά μοντέλα εκτίμησης της υδατικής διάβρωσης των εδαφών είναι το USLE (Wischmeier & Smith, 1999) και η αναθεωρημένη έκδοση του το RUSLE (Renard et al., 1991).

Τα μοντέλα διάβρωσης εδαφών όπως το RUSLE συνήθως χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα και μπορούν να συνδυαστούν με τεχνολογίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) και της Παρακολούθησης της Γης (Earth Observation) για την εκτίμηση της χωρικής κατανομής και του μεγέθους της διάβρωσης (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020; Senanayake et al., 2020). Οι συνδυασμοί αυτοί μοντέλων με τεχνολογίες GIS αυξάνουν την αποτελεσματικότητα και ακρίβεια της εκτίμησης της διάβρωσης με ένα λογικό κόστος (Jahun et al., 2015).

Έτσι με τη βοήθεια των συστημάτων GIS έχουν δημιουργηθεί διάφοροι χάρτες που απεικονίζουν διάφορους παράγοντες των μοντέλων διάβρωσης, π.χ. ψηφιακός χάρτης του παράγοντα διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων (R- factor) στην Ευρώπη. Για τη δημιουργία ενός χάρτη του παράγοντα R, συλλέγονται βροχομετρικά δεδομένα από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς και ψηφιοποιούνται. Στη συνέχεια γίνεται επιφανειακή ολόκληρωση των σημειακών μετρήσεων. Για παράδειγμα τα βροχομετρικά δεδομένα με μεθόδους παρεμβολής μπορούν να δημιουργήσουν μια ενιαία επιφάνεια σε ένα ψηφιοποιημένο χάρτη ο οποίος θα δείχνει την κατανομή του παράγοντα διαβρωτικότητας βροχοπτώσεων R ανάλογα με τη κλιματική συνθήκη που επικρατεί σε κάθε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης. Ιδιαίτερα, όσο αφορά στην μελέτη του παράγοντα κάλυψης C στο μοντέλο του RUSLE, πολύ διαδεδομένη είναι η χρήση δορυφορικών εικόνων με την αξιοποίηση τεχνολογιών της Τηλεπισκόπησης ώστε να δημιουργηθούν στη συνέχεια ψηφιοποιημένοι χάρτες κατάταξης της φυτοκάλυψης τους εδάφους (Jahun et al., 2015). Όλα τα παραπάνω συνδυάζονται και με εργαλεία υπολογισμού των εξισώσεων του μοντέλου που θα επιλέξουμε, π.χ. το εργαλείο Raster Calculator του ArcGIS (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020).

2.3. Το μοντέλο προσομοίωσης της υδατικής διάβρωσης των εδαφών RUSLE

Η Αναθεωρημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) (Renard et al., 1997) είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο για τη πρόβλεψη της ετήσιας απώλειας εδάφους σε μεγάλες χωρικές κλίμακες η οποία προκαλείται λόγω βροχόπτωσης η απορροής νερού (Panagos et al., 2014). Η εξίσωση είναι η εξής :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

όπου A: εδαφική απώλεια σε τόνους ανά εκτάριο (t/ha), R: παράγοντας διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), K: παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), LS: παράγοντας επίδρασης τοπογραφίας (αδιάστατος), C: παράγοντας κάλυψης των εδαφών (αδιάστατος) (τιμές 0 έως 1), P: παράγοντας επίδρασης υποστηρικτικών πρακτικών (αδιάστατος) (τιμές 0 έως 1)

Για καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες στο μοντέλο RUSLE υπάρχουν μοντέλα-εξισώσεις για τον υπολογισμό τους. Ένα στοιχείο κλειδί στο μοντέλο RUSLE είναι ο δυναμικός χαρακτήρας του παράγοντα της διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων R, το οποίο το καθιστά κατάλληλο μοντέλο εκτίμησης υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην λεκάνη της Μεσόγειου η οποία αναμένεται να αντιμετωπίσει προκλήσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής και της καταστροφής της βιοποικιλότητας (Stefanidis et al., 2021). Στοιχεία δείχνουν ότι το κλίμα θα γίνεται πιο θερμό και ξηρό, ενώ έντονα φαινόμενα βροχοπτώσεων αναμένονται να πλήξουν την ανατολική Μεσόγειο, προκαλώντας αύξηση της υδατικής εδαφικής διάβρωσης (Grillakis et al., 2020; Panagos et al., 2017). Οι κύριοι παράγοντες στο μοντέλο RUSLE οι οποίοι

προκαλούν αποκλίσεις στους υπολογισμούς είναι ο παράγοντας διαβρωτικότητα των βροχοπτώσεων R και ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών K (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020). Για αυτούς τους δύο παράγοντες έχουν προταθεί αρκετές εξισώσεις που βοηθάνε στον υπολογισμό τους.

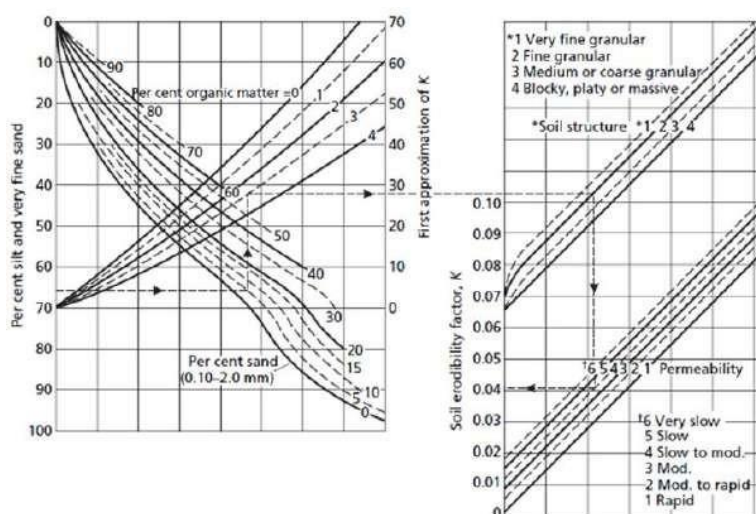
2.3.1. Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών K

Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας εδαφών K μπορεί να οριστεί ως η μέση ετήσια απώλεια εδάφους ανά μονάδα του R (παράγοντας διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων) που μετριέται σε μια περιοχή ανηφορικής πλαγιάς με κλίση 9° , με 22 μέτρα μήκος και ελάχιστο πλάτος 1,83 μέτρα, η οποία αποτελείται από έδαφος γυμνό, λόγω εφαρμογής καθαρού οργώματος (ώστε να καταστραφούν όλα τα φυτά), το οποίο όργωμα έγινε ανηφορικά και κατηφορικά και στην οποία περιοχή δεν έχουν εφαρμοστεί πρακτικές διατήρησης των εδαφικών πόρων (Wischmeier & Smith, 1978). Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών K περιγράφει ουσιαστικά την ευκολία απόσπασης και μεταφοράς των εδαφικών τεμαχιδίων, λόγω σταγόνων βροχής ή επιφανειακής απορροής (Renard et al., 1997), δίνοντας ένα δείκτη της ευπάθειας στη διάβρωσή τους (Gupta et al., 2024).

Όσο πιο χαμηλές είναι οι τιμές του παράγοντα διαβρωσιμότητας K τόσο τα εδάφη είναι πιο ανθεκτικά στην υδατική διάβρωση (Stefanidis et al., 2021). Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας εδαφών K σχετίζεται με τη δομή και υφή των εδαφικών συσσωματωμάτων (Qian et al., 2022). Έτσι διάφορες παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν τη δομή του εδάφους και κατ' επέκταση το παράγοντα διαβρωσιμότητας K έχουν μελετηθεί για την εκτίμηση της διαβρωσιμότητας και τη συσχέτιση της με τον παράγοντα

Κ. Για παράδειγμα, φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, τα μητρικά πετρώματα και οι γεωλογικοί σχηματισμοί, το ποσοστό οργανικής ουσίας, η περατότητα στο νερό του εδάφους, η σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, φαίνεται να επηρεάζουν τη διαβρωσιμότητα του εδάφους και κατ' επέκταση τις τιμές του παράγοντα Κ (Ekpo et al., 2022).

Η εκτίμηση των τιμών του παράγοντα διαβρωσιμότητας Κ με μετρήσεις είναι μια διαδικασία πολύπλοκη και απαιτεί χρόνο. Συνήθως η διαδικασία αυτή συστήνεται να γίνεται σε μελέτες τοπική κλίμακας και όχι μεγάλης κλίμακας. Για το λόγο αυτό, έχει αναπτυχθεί το νομογράφημα του παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών Κ των Wischmeier et al., (1971) το οποίο επιτρέπει μια εκτίμηση των τιμών του παράγοντα Κ, χωρίς να απαιτούνται μετρήσεις πολύπλοκες στο πεδίο. Εκτιμήσεις των τιμών του παράγοντα Κ μέσω νομογραφήματος μπορούν να γίνουν αν είναι γνωστά: τα ποσοστά των μηχανικών κλασμάτων της ιλύος και της άμμου του εδάφους, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, η κλάση της δομής και η περατότητα του εδάφους (Σχ. 1) (Wischmeier et al. 1971).



Σχήμα 1. Νομογράφημα για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών K στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων ($t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$) (Wischmeier et al. 1971) . Για μετατροπή των μονάδων στο Αμερικανικό Σύστημα διαιρούμε τον αριθμό K με το αριθμό 0,13. Διαδικασία εύρεσης του K: α) Έχοντας αναλύσει στο εργαστήριο τη περιεκτικότητα σε ιλύ και πολύ λεπτό άμμο (% silt and very fine sand) εντοπίζουμε το σημείο του αριθμού στον αριστερό κάθετο άξονα. β) από το σημείο αυτό με οδηγό το οριζόντιο βελάκι με κατεύθυνση προς τα δεξιά σταματάμε σε μια από τις καμπύλες που μας δείχνει την % περιεκτικότητα σε άμμο (% sand 0,2- 2 mm) που έχουμε βρει στο εργαστήριο, γ) στη συνέχεια από το σημείο αυτό με οδηγό το βελάκι με κατεύθυνση προς τα πάνω σταματάμε σε μια από τις καμπύλες που μας δείχνει την % περιεκτικότητας σε οργανική ουσία (% organic matter) που έχουμε βρει στο εργαστήριο, δ) στη συνέχεια από το σημείο αυτό, με οδηγό το βελάκι με κατεύθυνση προς τα δεξιά σταματάμε σε μια από τις καμπύλες που μας δείχνει τη δομή του εδάφους (soil structure) που έχουμε βρει στο εργαστήριο, ε) από το σημείο αυτό, με οδηγό το βελάκι με κατεύθυνση προς τα κάτω σταματάμε σε μια από τις καμπύλες που μας δείχνει την περατότητα του εδάφους (soil structure) που έχουμε βρει στο εργαστήριο, στ) από το σημείο αυτό, με οδηγό το βελάκι με κατεύθυνση προς τα αριστερά βρίσκουμε το K που αντιστοιχεί.

Η αλγεβρική προσέγγιση της εξίσωσης του νομογραφήματος η οποία προτείνεται από τους Wischmeier and Smith (1978) είναι η εξής:

$$K = 2,76 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - OM) + 0,0043(s - 2) + 0,0033(p - 3) \Rightarrow$$

$$K = [(2,1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - OM) + 3,25(s - 2) + 2,5(p - 3))/100]/759$$

όπου

M: η παράμετρος εδαφικής υφής (ποσοστών μηχανικών κλασμάτων του εδάφους),

$$M = (m_{silt} + m_{very\ fine\ sand}) \times (100 - m_{clay})$$

$m_{\text{clay}}[\%]$: η περιεκτικότητα σε κλάσμα αργίλου ($<0,002$ mm)

$m_{\text{silt}}[\%]$: η περιεκτικότητα σε κλάσμα ιλύος (0,002-0,05 mm)

$m_{\text{very fine sand}}[\%]$: η περιεκτικότητα σε κλάσμα πολύ λεπτής άμμου (0,05-0,1 mm).

Στη βιβλιογραφία η άμμος κατηγοριοποιείται σε 5 κλάσεις: πολύ λεπτή (very fine), λεπτή (fine), μεσαίας κλάσης (medium), χονδρόκοκκη (coarse) και πολύ χονδρόκοκκη (very coarse). Το ποσοστό ($m_{\text{very fine sand}}$) πολύ λεπτής άμμου (0,05 – 0,1 mm) συνήθως δεν υπολογίζεται από τυπικές αναλύσεις εδάφους και μπορεί να εκτιμηθεί ως 20% του συνολικού ποσοστού άμμου (0,05 - 2 mm) (Panagos et al., 2014).

$OM[\%]$: η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία

S: η κλάση εδαφικής δομής (s=1: πολύ λεπτόκοκκο κοκκώδες, s=2: λεπτόκοκκο κοκκώδες, s=3: μέσης σύστασης η χονδρόκοκκο, s=4: αδρομερές

p: η κλάση εδαφικής περατότητας. p = 1: ταχεία περατότητα (>146.4 cm/ημέρα), p=2 μετρίως ταχεία περατότητα (48.72–146.4 cm/ημέρα), p=3 μέτρια περατότητα (12.24–48.72 cm/ημέρα), p=4 μετρίως βραδεία περατότητα (4.8–12.24 cm/ημέρα), p=5 βραδεία περατότητα (2.4–4.8 cm/ημέρα), p=6: πολύ βραδία (<2.4 cm/day).

Ο παράγοντας K εκφράζεται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων ως $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$.

Για τη σωστή χρήση του νομογραφήματος θα πρέπει να τηρούνται τέσσερις προϋποθέσεις: α) Σύμφωνα με τον Wischmeier and Smith (1978) το κλάσμα ιλύς και πολύ λεπτής άμμου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 70%. The very fine sand structure (0.05 – 0.1 mm); β) Το έδαφος να έχει περιεκτικότητα σε οργανική ουσία μικρότερη από 4% (Wischmeier and Smith, 1978). Σε εδάφη κάτω από 4% περιεκτικότητας σε οργανική

ουσία η διαβρωσιμότητα μειώνεται καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, ενώ σε περιεκτικότητες πάνω από 4% η συμπεριφορά του K δεν έχει ακόμα μελετηθεί πλήρως (Ευθυμίου, 2019), γ) η τιμή του K να μην είναι μικρότερη του 0,2 ($t_{ha} h_{ha-1} MJ^{-1} mm^{-1}$) (Auerswald et al., 2014), δ) υπάρχει ένα όριο εδαφικής κάλυψης (1,5%) κάτω από το οποίο το πετρώδες δεν επηρεάζει τη διαβρωσιμότητα (Auerswald et al. 2014).

Η παραπάνω εξίσωση υπολογισμού του K είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη εξίσωση σε πολλές μελέτες, για παράδειγμα στην Ελλάδα χρησιμοποιήθηκε από τους Efthimiou et al. (2014) για τον υπολογισμό της διαβρωσιμότητας στη λεκάνη απορροής του ποταμού Βενέτικου, στη περιοχή της δυτικής Μακεδονίας.

Υπάρχουν βέβαια και άλλοι τρόποι υπολογισμού που έχουν προταθεί από συγγραφείς για τον υπολογισμό του παράγοντα K, όπως των El-Swaify & Dangler (1976) που στηρίζεται στο μέγεθος των εδαφικών τεμαχιδίων, των Foster et al. (1981) που στηρίζεται στην κατανομή του μεγέθους των κόκκων, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, τη κλάση δομής το ρυθμό περατότητας του εδάφους, των Renard et al. (1997) που στηρίζεται στο γεωμετρικό μέσο όρο του μεγέθους των τεμαχιδίων του εδάφους.

2.3.2. Ο παράγοντας διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων R

Η βροχόπτωση θεωρείται ένας από τους κύριους παράγοντες πρόκλησης της υδατικής διάβρωσης μιας και είναι η κινητήρια δύναμη που έχει άμεσο αντίκτυπο στην απόσπαση εδαφικών τεμαχιδίων, στο σπάσιμο συσσωματωμάτων και στη μεταφορά του υλικού μέσω απορροής (Panagos et al., 2015). Ο παράγοντας διαβρωτικότητας των βροχοπτώσεων R είναι ένας πολυετής δείκτης ο οποίος μετράει την κινητική ενέργεια

της βροχόπτωσης και την ένταση της βροχόπτωσης προκειμένου να συσχετιστεί η επίδραση της βροχόπτωσης στη πρόκληση επιφανειακής κατά στρώσεις διάβρωση (sheet erosion) ή στην πρόκληση αυλακωτής διάβρωσης (rill erosion) (Stefanidis et al., 2021).

Μια ακριβής μέτρηση της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης απαιτεί καταγραφές της βροχόπτωσης σε μικρά χρονικά διαστήματα (1-60 min) για μια περίοδο πολλών ετών. Στη συνέχεια για κάθε γεγονός βροχόπτωσης υπολογίζεται η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης η οποία είναι το γινόμενο της κινητικής ενέργειας της βροχόπτωσης (E) με τη μέγιστη ένταση βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 30 λεπτών (I_{30}) (Panagos et al., 2015). Οι μονάδες στο Διεθνές Σύστημα του παράγοντα E είναι MJ ha^{-1} και του I_{30} mmh^{-1} . Στη συνέχεια αθροίζονται όλες οι τιμές της διαβρωτικότητας βροχόπτωσης που αφορούν ένα έτος. Τέλος ο R υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των ετήσιων αθροισμάτων διαβρωτικότητας βροχόπτωσης για μια περίοδο μεγαλύτερη των 20 ετών. Ο παράγοντας διαβρωτικότητας βροχόπτωσης R έχει μονάδες $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$

Στην αρχική έκδοση του μοντέλου η κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης καθορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις των Foster et al., (1981):

$$E = 0,0119 + 0,0873 \log_{10} I, \text{αν } I \leq 76 \text{ mm/h}$$

$$E = 0,283, \text{αν } I \geq 76 \text{ mm/h}$$

Η διαφοροποίηση υπάρχει μεταξύ αυτών των δύο εξισώσεων, διότι μελέτες των Foster et al., (1981), έχουν δείξει ότι η μέση διάμετρος των σταγόνων βροχής σταματά να αυξάνει όταν η ένταση ξεπερνά τα 76.2 mm/h βροχής.

Δυστυχώς όμως στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες περιοχές της Ευρώπης δεν υπάρχουν πολλά βροχομετρικά δεδομένα υψηλής χρονικής ανάλυσης (π.χ. 30 λεπτών ή

60 λεπτών) και έτσι συνήθως χρησιμοποιούνται πιο εμπειρικές μέθοδοι με μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες συνδέουν την διαβρωτικότητα των βροχοπτώσεων με τα ετήσια ή μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης (Efthimiou, 2018; Kazamias & Sapountzis, 2017; Mallinis et al., 2016; Myronidis et al., 2010).

Ειδικά σε περιβάλλοντα με Μεσογειακό κλίμα τα οποία χαρακτηρίζονται από ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες επιστήμονες έχουν προτείνει και άλλες εξισώσεις υπολογισμού του παράγοντα R. Ειδικά στην Ελλάδα έχει χρησιμοποιηθεί η εξίσωση των Van der Knijff et al., (2000):

$$R = a \cdot P$$

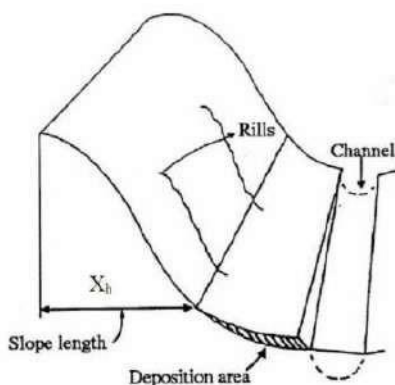
Στην εξίσωση αυτή, ο παράγοντας a είναι ίσος με 1,3 και το P είναι ο μέσος όρος της ετήσιας βροχόπτωσης σε mm. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιήθηκε σε έρευνες της λεκάνη απορροής του ποταμού Νέστου από τους Zarris et al., (2011), στον ποταμό Σπερχειό στην κεντρική Ελλάδα από τους Sigalos et al., (2010), στην λεκάνη απορροής του ποταμού Βενέτικου στην Μακεδονία από τους Efthimiou et al., (2014).

2.3.3. Οι παράγοντες επίδρασης της τοπογραφίας LS

Ο παράγοντας LS ορίζεται από τους Wischmeier & Smith (1978), ως ο ρυθμός απώλειας εδάφους ανά μονάδα επιφάνειας μια πλαγιάς, σε σχέση με την απώλεια που θα συνέβαινε σε μια πλαγιά μήκους 22.1 m και 9% κλίσης. Το μήκος των πρανών (L) και κλίση των πρανών (S) είναι δύο παράγοντες στο μοντέλο RUSLE οι οποίοι εκφράζονται ως ένας παράγοντας LS. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων ως ένας, εκφράζει την επίδραση της τοπογραφίας στην διαδικασία της εδαφικής διάβρωσης. Υψηλότερες τιμές του παράγοντα LS εκφράζουν πιο απότομο ανάγλυφο, όπου η διάβρωση και η

στερεοαπορροή (sediment yield) αυξάνονται εξαιτίας μιας αύξησης στην απορροή (Stefanidis et al., 2021).

Ερευνητές έχουν προσδιορίσει το μήκος των πρανών ως την απόσταση από το σημείο εκκίνησης της ροής του νερού μέχρι το σημείο που είτε η κλίση μειώνεται σε τέτοιο βαθμό ώστε αρχίζει η απόθεση ή η ροή συγκεντρώνεται σε ένα κανάλι (Renard et al., 1997; Wischmeier and Smith, 1978) (Εικ. 4)



Εικόνα 4. Σχηματική παράσταση του προφίλ ενός λόφου όπου φαίνεται το μήκος πρανών L (Renard et al., 1997)

Μια αύξηση στο ρυθμό διάβρωσης παρατηρείται, όταν το μήκος L αυξάνει εξαιτίας μεγαλύτερης ταχύτητας στη ροή νερού, αλλά και όταν αυξάνει η κλίση S του λόφου (Jahun et al., 2015). Οι διακυμάνσεις στις τιμές του παράγοντα τοπογραφίας LS προέρχονται κυρίως από τις μεταβολές του παράγοντα κλίσης των πρανών S και όχι του μήκους (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020). Η έρευνα έχει δείξει ότι η εδαφική διάβρωση είναι καταστροφική σε πλαγιές με κλίσεις που κυμαίνονται από 10% έως 25% (Ganasri & Ramesh, 2016).

Οι Wischmeier and Smith (1957) πρότειναν την παρακάτω εξίσωση όταν η κλίση εδάφους είναι λιγότερο από 21%:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{T}\right)^m \cdot (65,41 \sin^2 \theta) + 4,56 \sin \theta + 0,065$$

όπου λ: το μήκος της διαδρομής ροής (m ή feet) και υπολογίζεται

λ = συγκέντρωση ροής (flow accumulation) x μέγεθος κελιού (στο πλέγμα-κάνναβο) σε m

Ψ: είναι 22,13 στο SI σύστημα μονάδων, θ: είναι η γωνία κλίσης της πλαγιάς, $\sin\theta$: το ημίτονο της γωνίας,

m: 0,5 αν η κλίση της πλαγιάς είναι $\geq 5\%$, 0,4 αν η κλίση της πλαγιάς είναι 3,5% - 4,5%, 0,3 αν η κλίση της πλαγιάς είναι 1% – 3%, 0,2 αν είναι επίπεδη επιφάνεια η με κλίση λιγότερο από 1%

Οι Rozos et al. 2013 χρησιμοποίησε την εξίσωση αυτή για το νησί της Βόρειας Εύβοιας.

Ο Panagos et al., (2015) πρότεινε τη χρησιμοποίηση των παρακάτω εξισώσεων για τα ευρωπαϊκά εδάφη. Για τον παράγοντα κλίσης εδάφους L πρότεινε την εξίσωση των Desmet and Govers (1996):

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} \cdot x_{i,j}^m \cdot 22,13^m}$$

όπου

$A_{i,j-in}$: η συνεισφέρουσα στη διάβρωση περιοχή μετρούμενη σε m^2 η οποία εισέρχεται σε ένα στοιχείο πλέγματος (grid cell) σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους τύπου DEM.

D: το μέγεθος του κελιού πλέγματος σε m.

$X_{i,j} = \sin a_{i,j} + \cos a_{i,j}$ όπου $a_{i,j}$ είναι η κατεύθυνση έκθεσης του κελιού πλέγματος (i,j).

m: είναι ένας συντελεστής που σχετίζεται με το λόγο β της αυλακωτής προς την επιφανειακή διάβρωση. Παίρνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1 και πλησιάζει το 0 όταν η αναλογία αυλακωτής προς επιφανειακή διάβρωση είναι κοντά στο 0 (McCool et al., 1989). Ο τύπος του m είναι:

$$m = \frac{\beta}{\beta+1} \qquad \beta = \frac{\frac{\sin \theta}{0,0896}}{[0,56+3 \cdot (\sin \theta)^{0,8}]}$$

όπου θ είναι η γωνία της πλαγιάς σε μοίρες.

Για τον παράγοντα κλίσης του εδάφους S προτείνεται η εξίσωση των McCool et al. (1989):

$$S = \begin{cases} 10,8 \sin \theta + 0,03, & \text{αν η ίση εδάους είναι} < 0,09 \\ 16,8 \sin \theta - 0,5, & \text{αν η ίση εδάους είναι} \geq 0,09 \end{cases}$$

όπου θ: η κλίση εδάφους σε μοίρες, sinθ: το ημίτονο της γωνίας θ

Οι παραπάνω εξισώσεις χρησιμοποιήθηκαν και για την εκτίμηση του LS στα εδάφη της Ελλάδας (Stefanidis et al., 2022; Kazamias & Sapountzis, 2017).

2.3.4. Ο παράγοντας επίδρασης της κάλυψης των εδαφών C

Ο παράγοντας επίδρασης της κάλυψης των εδαφών C εκτιμά την επίδραση των καλλιεργειών και πρακτικών διαχείρισης του εδάφους με φυτοκάλυψη στους ρυθμούς διάβρωσης σε αγροτικές περιοχές καθώς και την επίδραση της φυσικής βλάστησης στη διάβρωση εδαφών σε δασικές περιοχές (Renard et al., 1997; Wischmeier and Smith, 1978). Η κάλυψη του εδάφους φαίνεται να μειώνει την δύναμη των σταγόνων της βροχής

πριν χτυπήσουν στο έδαφος και επομένως την ικανότητα τους να προκαλούν διάβρωση. Έτσι η ύπαρξη φυτοκάλυψης ή καλλιεργειών κάλυψης φαίνεται να μειώνουν την απώλεια εδάφους λόγω υδατικής διάβρωσης.

Οι τιμές που παίρνει ο παράγοντας C εξαρτώνται από το είδος των φυτών, το στάδιο ανάπτυξης της φυτών και το ποσοστό φυτοκάλυψης (Ghosal & Das Bhattacharya, 2020). Ο παράγοντας C παίρνει τιμές από 0 έως 1. Τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν ότι στην περιοχή υπάρχει πυκνή βλάστηση, ενώ τιμές κοντά στο 1 υποδηλώνουν ότι το έδαφος είναι γυμνό (Kazamias & Sapountzis, 2017). Η Υπηρεσία Διατήρησης Εδάφους του Υπουργείου Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής USDA-Soil Conservation Service το 1972 πρώτη έδωσε ένα πίνακα τιμών του παράγοντα C (USDA-SCS, 1972) (Πίν. 1)

Πίνακας 1. Πίνακας τιμών του παράγοντα κάλυψης του εδάφους C ανάλογα με τις χρήσεις γης (USDA-SCS, 1972)

Χρήση γης και κλάσεις κάλυψης εδάφους	Τιμή C
Γη με κατασκευές	0,000
Γεωργική γη	0,400
Πυκνή βλάστηση	0,004
Αραιή βλάστηση	0,030
Άγρονη γη	1,000
Υδάτινα σώματα	0,000

Μια μεθοδολογία για εύρεση του C παράγοντα σε καλλιεργήσιμο έδαφος (C_{arable}) και αφορά την Ευρωπαϊκή Ένωση αναπτύχθηκε από τους Panagos et al., (2015)

$$C_{arable} = C_{crop} \times C_{management}$$

όπου

$$C_{crop} = \sum_{n=1}^{17} C_{cropn} \times \%NUTS2_{cropn}$$

C_{crop} : είναι ο C παράγοντας μιας καλλιέργειας από ένα σύνολο 17 καλλιεργειών που δίνονται σε Πίνακα (Panagos et al., 2015),

NUTS2: είναι ένα σύστημα Ονοματολογίας Εδαφικών Μονάδων Στατιστικής που χρησιμοποιεί η Ευρωπαϊκή Ένωση για να χωρίσει διοικητικές περιοχές. Το NUTS2 είναι μια περιοχή που κατοικούν από 0,8 έως 3 εκατομμύρια κάτοικοι. Ουσιαστικά το NUTS2 αντιστοιχεί σε μια περιοχή για την Ελλάδα όπου έχει έκταση όσο μια Περιφέρεια, $\%NUTS2_{crop}$: είναι η % κάλυψη της καλλιέργειας αυτής σε μια συγκεκριμένη περιοχή NUTS2

$$C_{management} = C_{tillage} + C_{residues} + C_{cover}$$

όπου

$C_{tillage} = 1$, αν πρόκειται για συμβατική κατεργασία εδάφους, $C_{tillage} = 0,35$, αν πρόκειται για κατεργασία συντήρησης εδάφους, $C_{tillage} = 0,25$, αν πρόκειται να μην γίνει κατεργασία

$$C_{residues} = 1 \times (0,88 \times F_{residues}) + (1 - F_{residues})$$

$F_{residues}$: είναι το τμήμα (κλάσμα) της καλλιεργήσιμης γης η οποία έχει υποστεί επεξεργασία με φυτικά υπολείμματα (τιμές από 0 έως 1)

Στην Ελλάδα έχει χρησιμοποιηθεί και η εξίσωση των Van der Knijff et al., (2000) από τους Kouli et al., (2008) για την εκτίμηση διάβρωσης στα Χανιά, Κρήτης:

$$C = e^{(-a(NDVI/\beta - NDVI))}$$

Όπου NDVI: ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένων Διαφορών ο οποίος δείχνει περιοχές με έντονη, αραιή ή καθόλου βλάστηση. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1. Τιμές από -1 έως 0 δείχνουν νεκρή βλάστηση, ενώ από 0 έως 1 ζωντανή βλάστηση.

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED)$$

NIR: μέτρηση εγγύς υπερύθρου φωτός που ανακλάται από τη βλάστηση

RED: μέτρηση ερυθρού φωτός που ανακλάται από τη βλάστηση

Συνήθως $\alpha=2$ και $\beta=1$ (Gitas et al., 2009; Kouli et al., 2008; Van der Knijff et al., 1999).

2.3.5. Ο παράγοντας επίδρασης των υποστηρικτικών πρακτικών P

Ουσιαστικά ο παράγοντας επίδρασης των υποστηρικτικών πρακτικών P ορίζεται ως η αναλογία ανάμεσα στην απώλεια εδάφους που συμβαίνει υπό την επίδραση συγκεκριμένων πρακτικών προστασίας των εδαφών και αυτή που συμβαίνει σε εδάφη που βρίσκονται σε πλαγιές στις οποίες έχει γίνει καλλιέργεια σε σειρές με κατεύθυνση την κλίση της πλαγιάς (Roose, 1978). Θεωρείται ο πιο αβέβαιος παράγοντας στο μοντέλο RUSLE. Με τη χρήση αυτού του παράγοντα εκτιμάμε την επίδραση που έχουν οι διαχειριστικές πρακτικές στο περιορισμό της εδαφικής διάβρωσης. Αυτές οι πρακτικές είναι: άροση και καλλιέργεια κατά τις ισουψείς καμπύλες, δημιουργία πέτρινων τοιχείων (αναβαθμίδων), ύπαρξη ακαλλιέργητων λωρίδων που αποτελούνται από γρασίδι σε περιοχές που παρουσιάζουν ταπρανή κλίση, ή η καλλιέργεια σε λωρίδες (strip cropping) συνδυαζόμενη με αμειψισπορά (Stefanidi et al., 2021). Ο παράγοντας P χρησιμοποιείται ως στοιχείο διόρθωσης της διάβρωσης που συμβαίνει σε ένα έδαφος, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων προκειμένου να παρθεί το πιο κατάλληλο μέτρο προστασίας τους

εδάφους που θα συμβάλει στην μείωση της απώλειας του εδάφους σε ένα επίπεδο τέτοιο ώστε να μην μειώνεται η παραγωγικότητα (Salumbo, 2020).

Συνήθως για την εύρεση του παράγοντα P χρησιμοποιούνται εικόνες από συστήματα τηλεπισκόπησης, προηγούμενες μελέτες και εμπειρική γνώση. Οι τιμές του παράγοντα P κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Μια χαμηλή τιμή του παράγοντα P κοντά στο 0 υποδεικνύει ότι έχει ληφθεί μια αποτελεσματική πρακτική διαχείρισης, ενώ μια τιμή κοντά στο 1, υποδεικνύει ότι δεν έχουν ληφθεί μέτρα αποτελεσματικής διαχείρισης (π.χ. καλλιέργεια σε ευθείες με κατηφορική ή ανηφορική κατεύθυνση στο λόφο και όχι ακολουθώντας τις ισουψείς) (Panagos et al., 2015). Οι Wischmeier and Smith (1978 a, b), ανέπτυξαν Πίνακες με τιμές του P παράγοντα που φαίνονται όλοι οι τύποι πρακτικών διαχείρισης και προστασίας των εδαφών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ερευνητές. Ένας τέτοιος πίνακας φαίνεται παρακάτω όπου παρουσιάζονται οι τιμές P ανάλογα με τη κλίση του εδάφους, όταν η καλλιέργεια γίνεται κατά τις ισουψείς (Πίν. 2).

Πίνακας 2. Τιμές του παράγοντα επίδρασης υποστηρικτικών πρακτικών P, ανάλογα με τη κλίση του εδάφους, όταν εφαρμόζεται η καλλιέργεια κατά τις ισοϋψείς (Wischmeier and Smith 1978a, b).

% κλίση εδάφους	Τιμή P	Μέγιστο μήκος (σε πόδια)
1-2	0,6	400
3-5	0,5	300
6-8	0,5	200
9-12	0,6	100
13-16	0,7	80
17-20	0,8	60
21-25	0,9	50

2.4. Ο παράγοντας διαβρωσιμότητας των εδαφών κατά τη μεθοδολογία του μοντέλου EPIC

Το μοντέλο EPIC (Erosion/Productivity Impact Calculator) των (Williams et al., 1983; Sharpley & Williams, 1990) αναπτύχθηκε κυρίως για να καθοριστεί η σχέση μεταξύ εδαφικής διάβρωσης και παραγωγικότητας εδάφους στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Επειδή οι διαδικασίες διάβρωσης γίνονται αργά, το μοντέλο με τη κατάλληλη εισαγωγή στοιχείων και με βήμα μιας ημέρας μπορεί να προσομοιώσει την εξέλιξη μιας διάβρωσης σε μια περίοδο εκατοντάδων ετών (Sharpley & Williams, 1990). Το EPIC αποτελείται από πολλά μοντέλα που εξετάζουν την υδρολογία, τον καιρό, τη διάβρωση, τα θρεπτικά συστατικά, την ανάπτυξη φυτών, τη θερμοκρασία εδάφους, το όργωμα, την οικονομία, και τον έλεγχο του περιβάλλοντος των φυτών, πτυχές δηλαδή που συνεισφέρουν στη διάβρωση σε σχέση με τη παραγωγικότητα.

Ένα από τα συστατικά του μοντέλου EPIC όπως είπαμε εξετάζει την υδατική διάβρωση (επιφανειακή και αυλακωτή) η οποία προκαλείται από βροχόπτωση και απορροή ή ακόμα και άρδευση (με συστήματα καταιονισμού ή αυλάκια) (Sharpley & Williams, 1990). Ένας από τους παράγοντες που αφορά την υδατική διάβρωση είναι και ο παράγοντας διαβρωσιμότητας K (Williams et al., 1984). Ο παράγοντας αυτός υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$K = [0,2 + 0,3\exp(-0,0256 \cdot SAN (1 - \frac{SIL}{100}))] \times (\frac{SIL}{CLA+SIL})^{0,3} \times \dots$$
$$\dots (1 - \frac{0,25C}{C+\exp(3,72-2,95c)}) \times (1 - \frac{0,7SN}{SN+\exp(-5,51-22,9SN)})$$

όπου, SAN: % περιεκτικότητα σε άμμο, SIL: % περιεκτικότητα σε ιλύ, CLA: % περιεκτικότητα σε άργιλο, C: % περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, $SN=1-SAN/100$

Από την παραπάνω εξίσωση οι τιμές του K μπορεί να διακυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 0,5. Ο πρώτος όρος της εξίσωσης δίνει χαμηλές τιμές K για εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκη άμμο και υψηλές τιμές K για εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε άμμο. Η περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκη άμμο υπολογίζεται ως το προϊόν της άμμου και ιλύος διαιρεμένο με 100. Ουσιαστικά η χονδρόκοκκη άμμος στον πρώτο όρο της εξίσωσης είναι η διαφορά ανάμεσα στην ολική άμμο και την λεπτόκοκκη άμμο. Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης μειώνει το K για εδάφη που έχουν υψηλή αναλογία αργίλου προς ιλύ. Ο τρίτος όρος της εξίσωσης μειώνει περαιτέρω την τιμή του συντελεστή K για εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία. Ο τέταρτος όρος της εξίσωσης μειώνει ακόμα περισσότερο την τιμή του συντελεστή K για εδάφη που περιέχουν υπερβολικά υψηλά ποσοστά άμμου (περιεκτικότητα σε άμμος > 70%) (Williams et al., 1984).

Και στα δύο μοντέλα στο RUSLE και EPIC η υφή του εδάφους και κυρίως η αναλογία σε ιλύ και λεπτόκοκκη άμμο είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών K (Djuwansah & Mulyono, 2017). Στο EPIC σε σχέση με το RUSLE χρησιμοποιούνται ακόμα λιγότερα εδαφικά χαρακτηριστικά, που στηρίζονται στη υφή του εδάφους (% περιεκτικότητες στα τρία εδαφικά κλάσματα) και στην οργανική ουσία. Στο RUSLE τα εδαφικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται είναι: υφή εδάφους, οργανική ουσία, κλάση δομής εδάφους και κλάση περατότητας. Οι διαφορές μεταξύ των δύο μοντέλων είναι στις παραμέτρους της δομής των εδαφών και στην εδαφική περατότητα (permeability), οι οποίες δεν περιλαμβάνονται στο EPIC.

Οι τιμές του K που παίρνουμε τόσο με τη χρήση του RUSLE όσο και του EPIC σε μια περιοχή μελέτης είναι χωρίς στατιστικές σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, επομένως και οι δυο μέθοδοι είναι αξιόπιστες (Clarke, 1993; Buttigieg & Ramette, 2014).

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της Θεσσαλίας που ανήκει η περιοχή μελέτης μας θεωρείται η πιο σημαντική αγροτική περιοχή της χώρας. Καλύπτει περίπου 14.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα έκταση, το οποίο αντιστοιχεί στο 11% της έκτασης της χώρας μας. Το 57% της Θεσσαλικής γης είναι γεωργική γη με κύριες καλλιέργειες τα δημητριακά, το βαμβάκι, το αραβόσιτο, ενώ καλλιεργούνται και σε μικρότερη έκταση και άλλες καλλιέργειες όπως αμπέλια (Yassoglou et al., 2017). Η περιοχή της Θεσσαλίας διαιρείται σε δυο μέρη την Ανατολική Θεσσαλία η οποία περιλαμβάνει τις Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας και Μαγνησίας και τη Δυτική Θεσσαλία η οποία περιλαμβάνει τις Περιφερειακές Ενότητες Καρδίτσας και Τρικάλων. Η Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας αποτελείται από έξι Δήμους. Το Δήμο Καρδίτσας, το Δήμο Σοφάδων, το Δήμο Παλαμά, το Δήμο Λίμνης Πλαστήρα, το Δήμο Μουζακίου και το Δήμο Αργιθέας (Εικ. 5).



Εικόνα 5. Χάρτης διοικητικής διαίρεσης Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας (Κατσαβριά – Σιωροπούλου, 2016)

3.1. Γεωγραφία-Διοικητική Οργάνωση

Η περιοχή μελέτης μας βρίσκεται μεταξύ 39°26' N και 39°36' N (γεωγραφικό πλάτος) και 21°57' E και 22°11' E (γεωγραφικό μήκος). Η περιοχή μελέτης καλύπτει μια έκταση περίπου 138 τετραγωνικά χιλιόμετρα, βρίσκεται την Περιφέρεια Θεσσαλίας, στο βορειοδυτικό τμήμα της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας και συγκεκριμένα στο Δήμο Παλαμά. Περίπου 36 τετραγωνικά χιλιόμετρα, δηλαδή το 26% της περιοχής μελέτης ανήκει στην Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων και συγκεκριμένα στο Δήμο Φαρκαδόνας.

Η περιοχή μελέτης μας όπως φαίνεται στην Εικόνα 6, έχει ως σύνορα βόρεια το χωριό Φαρκαδόνα του Δήμου Φαρκαδόνας της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων, νότια το χωριό Ιτέα του Δήμου Παλαμά της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας, δυτικά το χωριό Πεδινό του Δήμου Παλαμά και ανατολικά το χωριό Άγιο Δημήτριο του Δήμου Παλαμά.



Εικόνα 6. Η περιοχή μελέτης

Δημοτικές Ενότητες: Δημοτική Ενότητα Παλαμά, Δημοτική Ενότητα Σελλάνων και Δημοτική Ενότητα Φύλλου.

Η έκταση του Δήμου Παλαμά είναι 383 km²

Η Δημοτική Ενότητα Παλαμά αποτελείται από τις εξής Κοινότητες (Δήμος Παλαμάς, 2019α):

- Δημοτική Κοινότητα Παλαμά
- Δημοτική Κοινότητα Αγίου Δημητρίου
- Δημοτική Κοινότητα Βλοχού
- Δημοτική Κοινότητα Γοργοβιτών
- Δημοτική Κοινότητα Καλυβακίων
- Δημοτική Κοινότητα Κοσκινά
- Δημοτική Κοινότητα Μάρκου
- Δημοτική Κοινότητα Μεταμορφώσεως

Η Δημοτική Ενότητα Παλαμά συνορεύει στα βόρεια με την Περιφερειακή Ενότητα Τρικάλων, ανατολικά με τη Δημοτική Ενότητα Φύλλου, δυτικά με τη Δημοτική ενότητα Σελλάνων και τον Δήμο Κάμπου και νότια με τον Δήμο Άρνης. Έχει συνολική έκταση 153.863 στρέμματα.

Η Δημοτική Ενότητα Σελλάνων αποτελείται από τις εξής Κοινότητες (Δήμος Παλαμά, 2019α):

- Δημοτική Κοινότητα Αγίας Τριάδος
- Δημοτική Κοινότητα Καλογριανών
- Δημοτική Κοινότητα Μαραθέας
- Δημοτική Κοινότητα Πεδινού
- Δημοτική Κοινότητα Προαστίου

Η Δημοτική Ενότητα Σελλάνων βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας και έχει έκταση 89.020 στρέμματα. Συνορεύει στα δυτικά με το Δήμο Μουζακίου, στα βόρεια με το Δήμο Πελινναίων Τρικάλων, στα ανατολικά και βορειοανατολικά με το Δήμο Καρδίτσας και στα νότια με τον Δήμο Καρδίτσας.

Η Δημοτική Ενότητα Φύλλου αποτελείται από τις εξής Κοινότητες (Δήμος Παλαμά, 2019α):

- Δημοτική Κοινότητα Αστρίτσης
- Δημοτική Κοινότητα Ιτέας
- Δημοτική Κοινότητα Λεύκης
- Δημοτική Κοινότητα Ορφανών
- Δημοτική Κοινότητα Πετρίνου
- Δημοτική Κοινότητα Συκεών
- Δημοτική Κοινότητα Φύλλου

Η Δημοτική Ενότητα Φύλλου βρίσκεται βορειοανατολικά του Νομού Καρδίτσας με έκταση 139.436 στρέμματα. Στα σύνορα της βρίσκονται: η Δημοτική Ενότητα Παλαμά και ο Δήμος Σοφάδων (Δήμος Παλαμά, 2019α).

3.2. Γεωμορφολογία

Η Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας καταλαμβάνει το νότιο - δυτικό τμήμα της Περιφέρειας Θεσσαλίας και αποτελείται από δυο φυσιογεωγραφικές περιοχές (Pyrgiotis et al., 2007):

- το ορεινό τμήμα (με υψόμετρο μεγαλύτερο από 200 m) το οποίο καταλαμβάνει σε έκταση το 51,4% της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας
- το πεδινό τμήμα που συνιστά το νοτιοδυτικό κομμάτι της θεσσαλικής πεδιάδας και καταλαμβάνει σε έκταση το 48,6% της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας

Γεωμορφολογικά το ορεινό τμήμα αντιπροσωπεύει τη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου (Rozos et al., 2008). Βορειοανατολικά και ανατολικά της περιοχής του Δήμου Παλαμά υπάρχει ένας επιμήκης ορεινός όγκος που αποτελείται από τα όρη Ζάρκου (ύψος 685 μέτρα), Τιτάνιου (ύψος 693 μέτρα) και Χαλκοδόνιου (ύψος 725 μέτρα). Ο όγκος αυτός είναι το φυσικό σύνορο μεταξύ δυτικού και ανατολικού τμήματος της Θεσσαλικής πεδιάδας. Βορειοδυτικά αναπτύσσεται η Παλαιοσαμαρίνα (ύψος 713 μέτρα) (Γκοβία, 2010· Κοντοβάιου, 2014).

Η Δημοτική Ενότητα Παλαμά μπορεί να χαρακτηριστεί ως πεδινή. Στο Βόρειο Ανατολικό άκρο της Δημοτικής Ενότητας υπάρχουν κάποια ορεινά τμήματα. Συγκεκριμένα, στο χωριό Βλοχό υπάρχουν οι λόφοι Αστέριο με ύψος 313 μέτρα και Μακρυβούνι με ύψος 350 μέτρα. Στο χωριό Άγιος Δημήτριος βρίσκεται ο λόφος Λυκόρεμα με ύψος 430 μέτρα και στο χωριό Μεταμόρφωση ο λόφος Κάστρο με ύψος 329 μέτρα. Η μέση τιμή του υψομέτρου της περιοχής είναι 113 μέτρα (Δήμος Παλαμά, 2019β).

Όσο αφορά τη Δημοτική Ενότητα Φύλλου αυτή χαρακτηρίζεται ως πεδινή, με ορεινές και ημιορεινές περιοχές. Οι Τοπικές Ενότητες Πέτρινου και Συκεώνας θεωρούνται ημιορεινές. Στην περιοχή υπάρχουν τα βουνά Δογατζής, Κλαρί, Παλιομοναστήρι, Γκόρμα, Αλωνάκι, που ανήκουν στις Τοπικές Κοινότητες Πέτρινου, Συκεών, Φύλλου και Ορφανών. Το υψόμετρο της περιοχής είναι 113 μέτρα (Δήμος Παλαμά, 2019α).

Τέλος η Δημοτική Ενότητα Σελλάνων είναι πεδινή. Το μεγαλύτερο ύψος το παρουσιάζει το χωριό Προάστιο με ύψος 100 μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας, ακολουθούν το χωριό Μαραθέας με ύψος 95 μέτρα, το χωριό Καλογριανά με ύψος 95 μέτρα, το χωριό Αγία Τριάδα 95 μέτρα και το χωριό Πεδινό με ύψος 98 μέτρα από τη θάλασσα. Το μέσο υψόμετρο της Δημοτικής Ενότητας Σελλάνων είναι 97 μέτρα (Δήμος Παλαμά, 2019α).

3.3. Υδρολογία

Όλος ο Δήμος Παλαμάς έχει ένα αρκετά πλούσιο υδρογεωγραφικό δίκτυο. Κυριότερα ποτάμια που διασχίζουν την Δημοτική Ενότητα Παλαμά είναι ο Ονόχωνος, Καλέντζης, Ενιπέας και Φαρσαλιώτης. Από τη Δημοτική Ενότητα Φύλλου περνάνε τα ποτάμια Ενιπέας και Φαρσαλιώτης. Στη Δημοτική Ενότητα Σελλάνων εκτός του Πηνειού ποταμού περνάνει οι ποταμοί «Μέγας» και «Βουβουλίνα». Όλο το Δήμο Παλαμά διασχίζουν και πολλοί χείμαρροι. Όλοι οι ποταμοί και χείμαρροι καταλήγουν στον ποταμό Πηνειό (Δήμος Παλαμά, 2019β).

Ο ποταμός Πηνειός πηγάζει από την Πίνδο, διασχίζει τη Θεσσαλική πεδιάδα και καταλήγει στο Αιγαίο πέλαγος. Φτάνει σε μήκος 262 km μαζί με τους παραποτάμους. Προς τα νότια του Πηνειού, οι παραπόταμοι που περνάνε από τη περιοχή μελέτης μας είναι ο Ενιπέας με μήκος 132 km, ο Καλέντζης με μήκος 58 km και ο Φαρσαλιώτης με μήκος 38 km (Εικ. 8). Άλλοι σημαντικοί παραπόταμοι του Πηνειού είναι στα δυτικά και νοτιοδυτικά ο Πάμισος με μήκος 25 km, ο Πορταϊκός με μήκος 24 km, ενώ στο βόρειο τμήμα του Πηνειού συναντάμε τους ποταμούς Ληθαίο με μήκος 63 km, Νεοχωρίτη με μήκος 27 km και Τιταρήσιο με μήκος 96 km (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018).

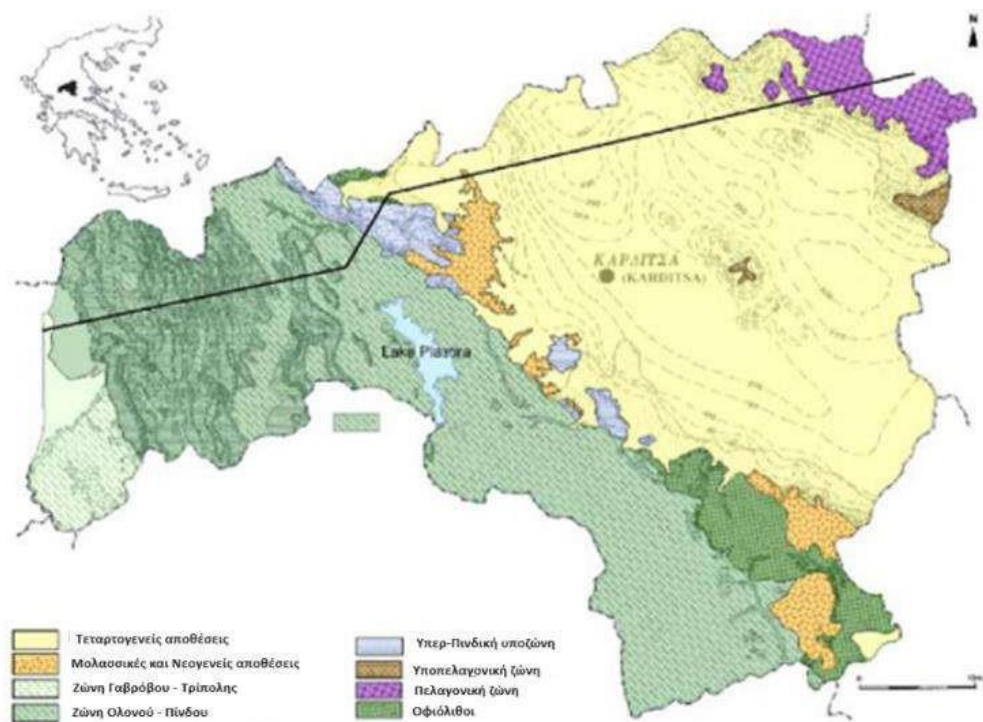


Εικόνα 8. Λεκάνες Απορροής στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, κύρια ποτάμια και λίμνες (Ανδρικοπούλου, 2019).

3.4. Γεωλογία

Η Θεσσαλική πεδιάδα αποτελεί τεκτονικό βύθισμα το οποίο περιβάλλεται στα βόρεια από τις οροσειρές Ολύμπου-Καμβουνίων, στα δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου, στα νότια από το όρος Όθρυς και στα ανατολικά από την οροσειρά Πηλίου – Όσσας (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018). Η Περιφερειακή Ενότητα της Καρδίτσας βρίσκεται από γεωλογική άποψη ανάμεσα στις εσωτερικές και εξωτερικές Ελληνίδες (Pyrgiotis et al., 2007). Οι γεωτεκτονικές ζώνες που συμμετέχουν στους γεωλογικούς σχηματισμούς στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας είναι οι εξής από ανατολικά προς δυτικά: η Πελαγονική Ζώνη με παλαιά μεταμορφωμένα σχιστογενευσιακά και ανθρακικά πετρώματα, η Υποπελαγονική ζώνη με κύριο

χαρακτηριστικό γνώρισμα τις μεγάλες μάζες οφιολίθου, η Υπερπινδική υποζώνη, η ζώνη Ωλονού – Πίνδου με μεσοζωϊκούς ασβεστολιθικούς ορίζοντες και πυριτόλιθους και η ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης (Εικ. 9) (Rozos et al., 2008; Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2018).



Εικόνα 9. Γεωτεκτονικές ζώνες στη Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας (Rozos et al., 2008)

Όπως μπορούμε να δούμε από την παραπάνω Εικόνα 9, στην περιοχή μελέτης μας επικρατούν οι Τεταρτογενείς αποθέσεις (αλλουβιακές αποθέσεις, υλικό από χειμάρρους και κοίτες του ποταμού, κώνοι κορρημάτων) χάρη στις οποίες οφείλεται η ανάπτυξη της Θεσσαλικής πεδιάδας. Ειδικότερα στη περιοχή της Δημοτικής Ενότητας Σελλάνων, παρουσιάζεται έντονος τεκτονισμός και μεγάλες κλίσεις, ενώ το έδαφος δεν έχει μεγάλη υδατοπερατότητα. Την περιοχή έπληξαν το 1954 καταστροφικοί

σεισμοί και επιβεβαιώνεται από την ύπαρξη ρηγμάτων και φαινομένων αποσάθρωσης που παρουσιάζονται. Η περιοχή σεισμολογικά δημιουργεί επιφανειακούς σεισμούς με κλίμακα μεγεθών από 6,5 έως 7,0 βαθμούς της κλίμακας Richter (Δήμος Παλαμά, 2019α).

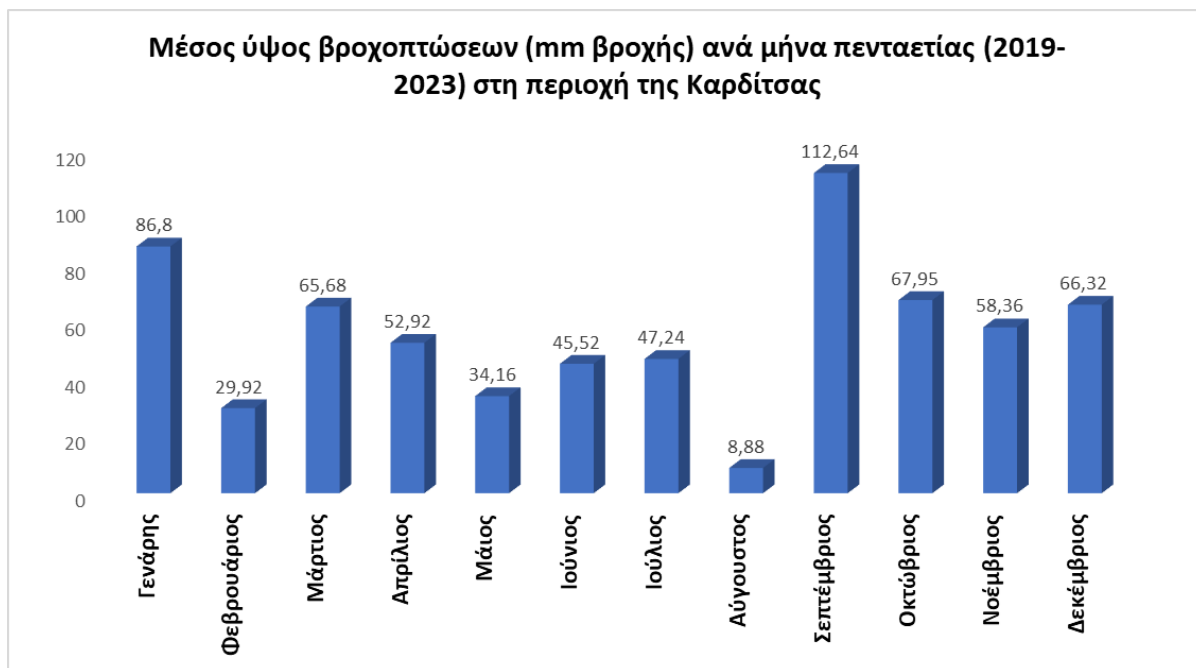
3.5. Κλίμα-Μετεωρολογία

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Αποδοτικότητας Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ΦΕΚ 407/9.4.2010 η Ελλάδα διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (θερμότερη Α έως ψυχρότερη Δ). Η Καρδίτσα και άρα ο Δήμος Παλαμά ανήκει στην κλιματική Ζώνη Γ. Το κλίμα στο Νομό Καρδίτσας γενικά χαρακτηρίζεται ως ηπειρωτικό. Την περίοδο του χειμώνα επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία, ενώ το καλοκαίρι έχουμε υψηλές θερμοκρασίες. Γενικά οι άνεμοι που κατεβαίνουν από τα χιονισμένα βουνά προκαλούν μεγαλύτερη δριμύτητα το χειμώνα. Στα ορεινά οι ελάχιστες θερμοκρασίες μπορεί να φτάσουν τους -10°C , ενώ οι μέγιστες παρατηρούνται στο κάμπο το καλοκαίρι που μπορούν να υπερβαίνουν συχνά τους 40°C (Κοντοβάιου, 2014). Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι μεγάλο στο Νομό Καρδίτσας σε σύγκριση με του Νομούς Λάρισας και Βόλου και κυρίως στα δυτικά ορεινά του Νομού (Ευστρατιάδης et al., 2006). Τους μήνες Οκτώβριο μέχρι και Φεβρουάριο παρατηρούνται οι πιο πολλές βροχοπτώσεις, ενώ τον Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο οι πιο λίγες (Κοντοβάιου, 2014).

Η κακοκαιρία “Daniel” έπληξε την περιοχή τον Σεπτέμβριο του 2023. Αποτέλεσμα ήταν δεκάδες άνθρωποι να πεθάνουν, με την ευρύτερη περιοχή της Καρδίτσας να πλήττεται ιδιαίτερα σφοδρά και χωριά όπως η Μεταμόρφωση, ο Παλαμάς,

ο Βλοχός να πλημμυρίζουν (Ψωμιάδου, 2023). Θεωρήθηκε ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο, όπου 3,7 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα βρόχινου νερού έπεσαν πάνω από την περιοχή εκ των οποίων τα 3 δις έπεσαν μέσα σε μόλις 48 ώρες (στις 5 και 6 Σεπτεμβρίου). Το αποτέλεσμα της κακοκαιρίας “Daniel” ήταν να καταρρεύσουν τα αναχώματα στη Γυρτώνη και η λίμνη Κάρλα να πλημμυρίσει με εκατοντάδες εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού. Περίπου 140.000 στρέμματα γεωργικής γης πλημμύρισαν και σύμφωνα με τους επιστήμονες θα καταστούν ξανά καλλιεργήσιμα το 2025. Οι επιστήμονες γενικότερα πιστεύουν ότι φαινόμενα όπως αυτό της κακοκαιρίας “Daniel” θα συμβαίνουν (Περιφέρεια Θεσσαλίας, 2023).

Στο παρακάτω Σχήμα 2, φαίνεται το μέσο ύψος βροχής ανά μήνα (mm βροχής/μήνα) που καταγράφηκε τα τελευταία πέντε έτη (2021 έως 2023) από το μετεωρολογικό υποσταθμό Καρδιτσομαγούλας. Ο σταθμός αυτός ανήκει στο δίκτυο αυτόματων σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών το αποτελείται από σταθμούς τύπου Davis, οι οποίοι μετρούν όλες τις βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους, δηλαδή πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, διεύθυνση και ένταση του ανέμου. Με βάση τα στοιχεία του σταθμού ο ετήσιος μέσος όρος βροχοπτώσεων είναι 676 mm βροχής. Βλέπουμε ότι από τον Σεπτέμβριο μέχρι Γενάρη την τελευταία πενταετία έχουμε τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, ενώ από Μάιο μέχρι Αύγουστο έχουμε τα μικρότερα ύψη βροχής.



Σχέδιο 2. Μέσο ύψος βροχόπτωσης ανά μήνα την τελευταία πενταετία 2019-2023 στη περιοχή της Καρδίτσας με βάση τα στοιχεία του αυτόματου σταθμού Καρδιτσομαγούλας ο οποίος ανήκει στο δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

3.6. Εδάφη

Τα εδάφη στη γενικότερη περιοχή της Καρδίτσας και Τρικάλων σύμφωνα με τους Yassoglou et al. (2017) κατατάσσονται ως Fluvents και Fluventic Inceptisols. Βρίσκονται στη περιοχή της Καρδίτσας και των Τρικάλων. Είναι βαθιά εδάφη μετρίως έως καλά αποστραγγιζόμενα. Τα καλά αποστραγγιζόμενα είναι χονδρόκοκκης δομής ενώ τα μετρίως αποστραγγιζόμενα λεπτόκοκκα. Παρουσιάζουν μέτριο έως καλό βαθμό διήθησης νερού. Το εδαφικό pH κυμαίνεται από ελαφρώς όξινο έως αλκαλικό ($\text{pH}=6-8$) και περιεκτικότητα σε οργανική ουσία περίπου 1,5 – 2,23%. Η γονιμότητα εδάφους είναι μέτρια έως υψηλή. Θεωρούνται γενικά εδάφη κατάλληλα για δημητριακά και βαμβάκι (Yassoglou et al., 2017).

3.7. Δημογραφία

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η μεταβολή του πληθυσμού της Περιφέρειας Θεσσαλίας μεταξύ των δύο απογραφών 2011 και 2021 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2023):

Πίνακας 3. Μεταβολή μόνιμου πληθυσμού μεταξύ 2011 και 2021

	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
Περιφέρεια Θεσσαλίας	732.762	688.255	362.194	338.586	370.568	349.669

Όπως παρατηρούμε παρατηρείται μια μείωση του πληθυσμού το 2021 κατά 44.507 άτομα που αντιστοιχεί σε μια μείωση της τάξης 5,83%. Στον αριθμό ανδρών παρατηρείται μια μείωση 6,81%, ενώ στις γυναίκες είναι μικρότερη και φτάνει το 5,63%.

Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται οι μεταβολές στον πληθυσμό ανά Δήμο της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας μεταξύ των δύο απογραφών 2011 και 2021 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2023). Συνολικά στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας παρατηρείται μια μείωση του πληθυσμού κατά 6,4% σε σχέση με το 2011. Ο Δήμος Παλαμά παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση πληθυσμού κατά 19,74% σε σχέση με το 2011.



Πίνακας 4. Μεταβολές στον μόνιμο πληθυσμό στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2023)

Στον παρακάτω Πίνακα 5, φαίνεται ο μόνιμος πληθυσμός κατά την απογραφή του 2021 στις διάφορες δημοτικές ενότητες του Παλαμά. Η Δημοτική Ενότητα Παλαμά είναι η μεγαλύτερη σε μέγεθος πληθυσμό από τις τρεις με 7.324 κατοίκους, ενώ η μικρότερη σε πληθυσμό είναι η Δημοτική Ενότητα Φύλλου με 2.446 κατοίκους (ΦΕΚ Β 2802/26.04.2023).

Πίνακας 5. Μόνιμος πληθυσμός στις Δημοτικές Ενότητες Παλαμά κατά το έτος 2021

Πληθυσμός στο Δήμο και τις Δημοτικές Ενότητες Παλαμά το έτος απογραφής 2021	
Δημοτική Ενότητα Παλαμά	7.324
Δημοτική Ενότητα Σελλάνων	3.654
Δημοτική Ενότητα Φύλλου	2.446

Σύνολο Δήμου Παλαμά	13.424
---------------------	--------

3.8. Παραγωγή-Οικονομία

Από την Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα του 2022 που διενήργησε η ΕΛΣΤΑΤ, (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2022β) βλέπουμε στον Πίνακα 6, ότι στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας το μεγαλύτερο ποσοστό (93,69%) εκτάσεων είναι αροτραίες καλλιέργειες, ενώ ένα ποσοστό (3,80%) της γεωργικής γης βρίσκεται σε καθεστώς αγρανάπαυσης. Οι κηπευτικές και οι δενδρώδεις καλλιέργειες αποτελούν μόλις το 2,05% της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας.

Πίνακας 6. Κατηγορίες και εκτάσεις καλλιεργειών στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας

Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας	Εκτάσεις σε στρέμματα
Αροτραίες καλλιέργειες	847.431
Κηπευτική γη	9.520
Δενδρώδεις	9.082
Αμπέλια	3.920
Αγρανάπαυση (1-5 ετών)	34.458
Σύνολο καλλιεργούμενης γεωργικής γης και αγρανάπαυσης	904.411

Από τις αροτραίες καλλιέργειες σύμφωνα με την Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα του 2022 τα βιομηχανικά φυτά καταλαμβάνουν την μεγαλύτερη έκταση (416.580 στρέμματα), ακολουθούν τα σιτηρά για καρπό (249.085 στρέμματα) και τα κτηνοτροφικά φυτά για σανό (με 150.525 στρέμματα) (Σχ. 2). Από τα βιομηχανικά φυτά τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει το ποτιστικό βαμβάκι με 409.298 στρέμματα. Από τα σιτηρά για καρπό καλλιεργείται κυρίως το σκληρό σιτάρι σε μια έκταση 160.018 στρεμμάτων, ο αράβοσιτος σε μια έκταση 52.571 στρεμμάτων. Ακολουθεί το μαλακό σιτάρι σε μια έκταση καλλιέργειας 20.389 στρεμμάτων, ενώ σε λιγότερα στρέμματα καλλιεργούνται το κριθάρι, η βρώμη και η σίκαλη (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2022α).



Σχήμα 2. Έκταση και κατηγορίες αροτραίων καλλιεργειών στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας το 2022

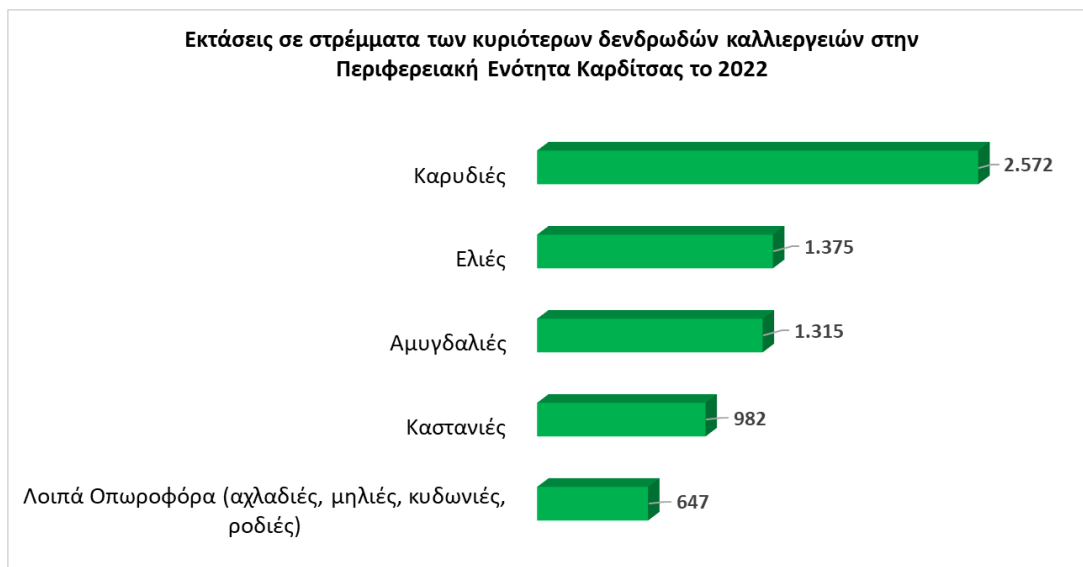
Όσο αφορά τα κηπευτικά στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας καλλιεργούνται κυρίως βιομηχανικές τομάτες σε έκταση 2.881 στρεμμάτων, ακολουθούν οι πιπεριές υπαίθρου σε μια έκταση 2.442 στρεμμάτων και το σπανάκι που καλλιεργείται σε 2.119 στρέμματα (Σχ. 3). Υπάρχουν και άλλα κηπευτικά (μπρόκολο, λάχανο,

κουνουπίδι, κρεμμύδια, αγγούρια, μελιτζάνες κ.α.) που καλλιεργούνται σε μικρότερη έκταση (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2022β).



Σχήμα 3. Έκταση και κατηγορίες των κυριότερων κηπευτικών καλλιεργειών στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας το 2022

Από τις δενδρώδεις καλλιέργειες τη μεγαλύτερη έκταση (2.572 στρέμματα) καταλαμβάνουν οι καρυδιές, ακολουθούν οι ελιές και οι αμυγδαλιές ενώ σε μικρότερες εκτάσεις καλλιεργούνται και άλλα οπωροφόρα όπως αχλαδιές, μηλιές, κυδωνιές, ροδιές κ.α.) (Σχ. 4) (Ελληνική Στατιστική Αρχή 2022γ).



Σχήμα 4. Έκταση και κατηγορίες των κυριότερων κηπευτικών καλλιεργειών στην Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας το 2022

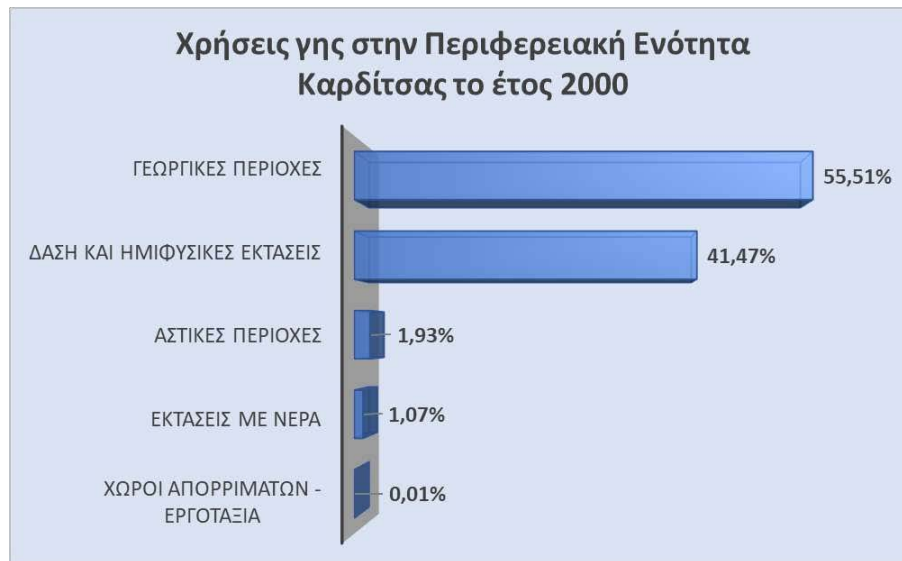
Από την έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ το 2021 για τα οικονομικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2024), παρατηρούμε ότι στο Δήμο Παλαμά το 49% των κατοίκων ασχολείται με τη γεωργία. Επομένως ο πρωτογενής τομέας αποτελεί το βασικό τομέα οικονομίας της περιοχής. Ο τριτογενής τομέας με τις δραστηριότητες της εκπαίδευσης, υγείας, φιλοξενίας, εστίασης, ψυχαγωγίας, εμπόριο, επαγγελματικές δραστηριότητες και λοιπές δραστηριότητες καταλαμβάνει ένα ποσοστό 41%. Τελευταίος έρχεται ο δευτερογενής τομέας ο οποίος δεν είναι αναπτυγμένος μιας και η μεταποίηση καταλαμβάνει ένα ποσοστό 8% ενώ οι κατασκευές μόλις 2%. (Σχ. 5)



Σχήμα 5. Απασχολούμενοι κατά κλάδο οικονομικής δραστηριότητας στο Δήμο Παλαμά

3.9. Χρήσεις Γης

Σύμφωνα με την τελευταία έρευνα της ΕΛΣΤΑΤ το 2000 (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2000) η κατανομή της έκτασης της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας κατά βασικές κατηγορίες χρήσης - κάλυψης, έδειξε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της γης 55,51% είναι γεωργικές εκτάσεις, ακολουθούν τα δάση σε ποσοστό 41,47%. Οι αστικές περιοχές με πόλεις οικισμούς και σπίτια καταλαμβάνουν αποτελούν το 1,93% της συνολικής έκτασης, ενώ οι εκτάσεις με νερά το 1,07% (Σχ. 6)



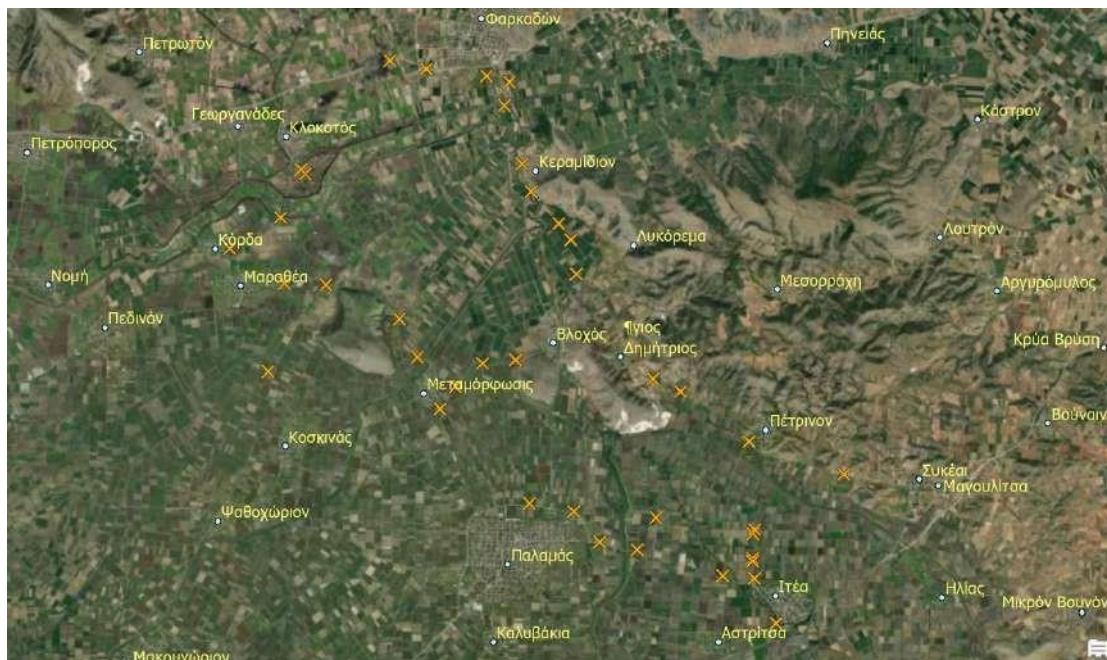
Σχήμα 6. Κατανομή της έκτασης της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας κατά βασικές κατηγορίες χρήσης – κάλυψης το έτος 2000

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο Κεφάλαιο αυτό αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τη δειγματοληψία, την εργαστηριακή ανάλυση και την κατασκευή του ψηφιοποιημένου χάρτη του παράγοντα διαβρωσιμότητας εδαφών K.

4.1 Δειγματοληψία εδαφικών δειγμάτων

Πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία από 38 διαφορετικά σημεία τα οποία βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Δήμου Παλαμά και στο Δήμο Φαρκαδώνας της Περιφερειακής Ενότητας Τρικάλων. Στο χάρτη της Εικόνας 10, φαίνονται με X οι περιοχές δειγματοληψίας.



Εικόνα 10. Περιοχές δειγματοληψίας

4.2 Εργαστηριακές αναλύσεις εδαφικών δειγμάτων

Μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας στο πεδίο, τα εδαφικά δείγματα συγκεντρώθηκαν και αποθηκεύτηκαν στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου. Στην κατάσταση στην οποία παρελήφθησαν, συσκευασμένα σε κατάλληλες πλαστικές σακούλες, διαπιστώθηκαν υψηλά ποσοστά υγρασίας (>15%) οπότε και υποβλήθηκαν σε αεροξήρανση στους 35°C στο φούρνο (Soil Survey Stuff, 2022). Ακολούθησε η λειοτρίβηση και το κοσκίνισμά τους από κόσκινο διαμέτρου οπής 2 mm.

Η μηχανική ανάλυση για τον προσδιορισμό της εκατοστιαίας κατά βάρος κοκκομετρικής σύστασης των εδαφών στα τρία μηχανικά κλάσματα (άμμος, ιλύς, άργιλος) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο του υδρομέτρου κατά Bouyoucos (Bouyoucos, 1962) η οποία θεμελιώνεται στην ταχύτητα καθίζησης των εδαφικών τεμαχιδίων σύμφωνα με το νόμο του Stokes. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της εκατοστιαίας κατά βάρος περιεκτικότητας σε ολικό οργανικό άνθρακα προσδιορίστηκε με την μέθοδο των Walkey-Black (Williams & Renard, 1983), η οποία βασίζεται στην υγρή οξείδωση του οργανικού άνθρακα με ένα ισχυρό οξειδωτικό μέσο $K_2Cr_2O_7$ σε ισχυρά όξινο περιβάλλον (π. H_2SO_4). Οι εργαστηριακές αναλύσεις των δύο προαναφερόμενων εδαφικών ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκαν διότι είναι απαραίτητες για την εκτίμηση του παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών K.

4.3 Δημιουργία χάρτη του παράγοντα K

Χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του μοντέλου EPIC (Sharpley & Williams, 1990) για την εκτίμηση του παράγοντα διαβρωσιμότητας των εδαφών K. Για την

εκτίμηση αυτή απαιτούνται οι εκατοστιαίες κατά βάρος περιεκτικότητες των εδαφών στα 3 μηχανικά κλάσματα (άμμος, ιλύς άργιλος) και η περιεκτικότητά τους σε οργανικό άνθρακα, σύμφωνα με τη σχέση. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω της εξίσωσης του μοντέλου EPIC

$$K = [0,2 + 0,3\exp(-0,0256 \cdot SAN (1 - \frac{SIL}{100}))] \times (\frac{SIL}{CLA + SIL})^{0,3} \times$$

$$(1 - \frac{0,25C}{C + \exp(3,72 - 2,95C)}) \times (1 - \frac{0,7SN}{SN + \exp(-5,51 - 22,9SN)})$$

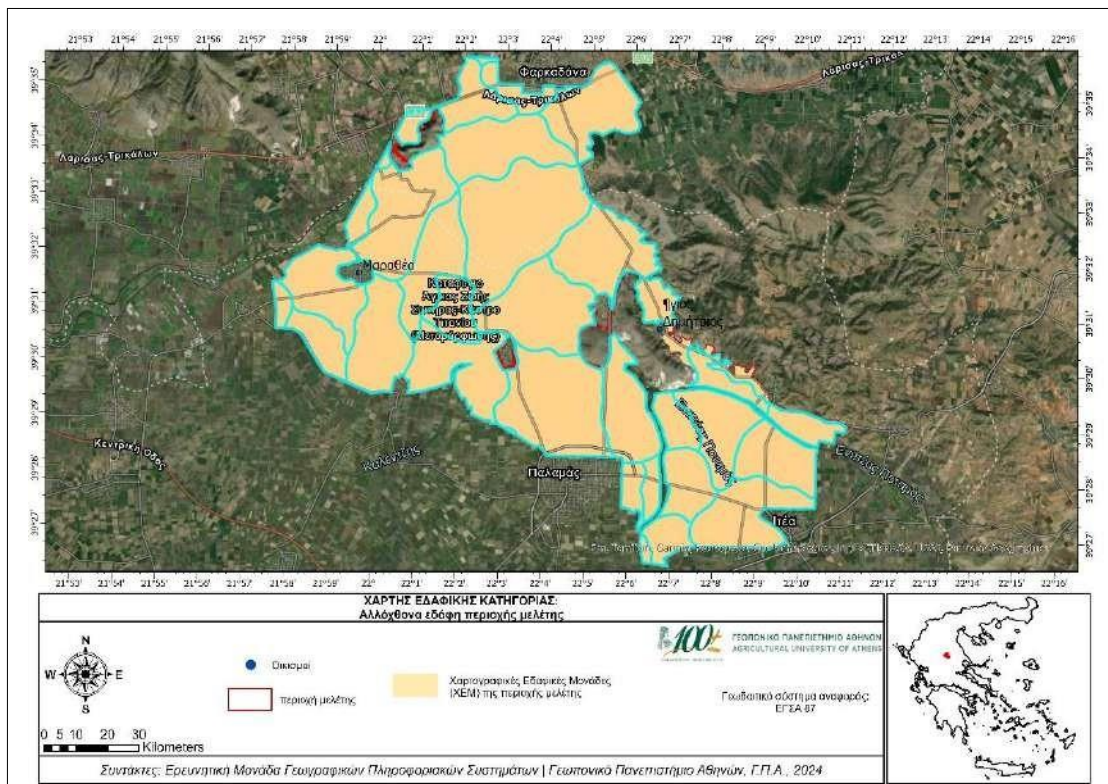
Ο παράγοντας K εκτιμήθηκε σημειακά στις θέσεις δειγματοληψίας των 38 εδαφικών δειγμάτων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε χωρική παρεμβολή των τιμών του σε όλη την περιοχή μελέτης προκειμένου να υπάρξει μετάβαση από το χάρτη των σημειακών θέσεων σε χάρτη συνεχούς επιφάνειας τιμών K. Συγκεκριμένα, μέσω της αυτοματοποιημένης διαδικασίας εφαρμογής του αλγορίθμου Ordinary Kriging (*Spherical*) στο ArcGIS (χωρίς να δημιουργηθεί πειραματικό βαριόγραμμα και να υπολογιστούν σφάλματα ακρίβειας) δημιουργήθηκε ο χάρτης της διαβρωσιμότητας των εδαφών.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Στην υποενότητα 5.1 γίνεται μια περιγραφή των εδαφικών ενοτήτων που βρέθηκαν στην ευρύτερη περιοχής μελέτης και στην υποενότητα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακών αναλύσεων.

5.1 Περιγραφή εδαφικών ενοτήτων της ευρύτερης περιοχής μελέτης:

Περιγραφή αλλόχθονων εδαφών | Εδάφη σε αλλουβιακές αποθέσεις [αλλούβια]
(87,63% της περιοχής μελέτης)



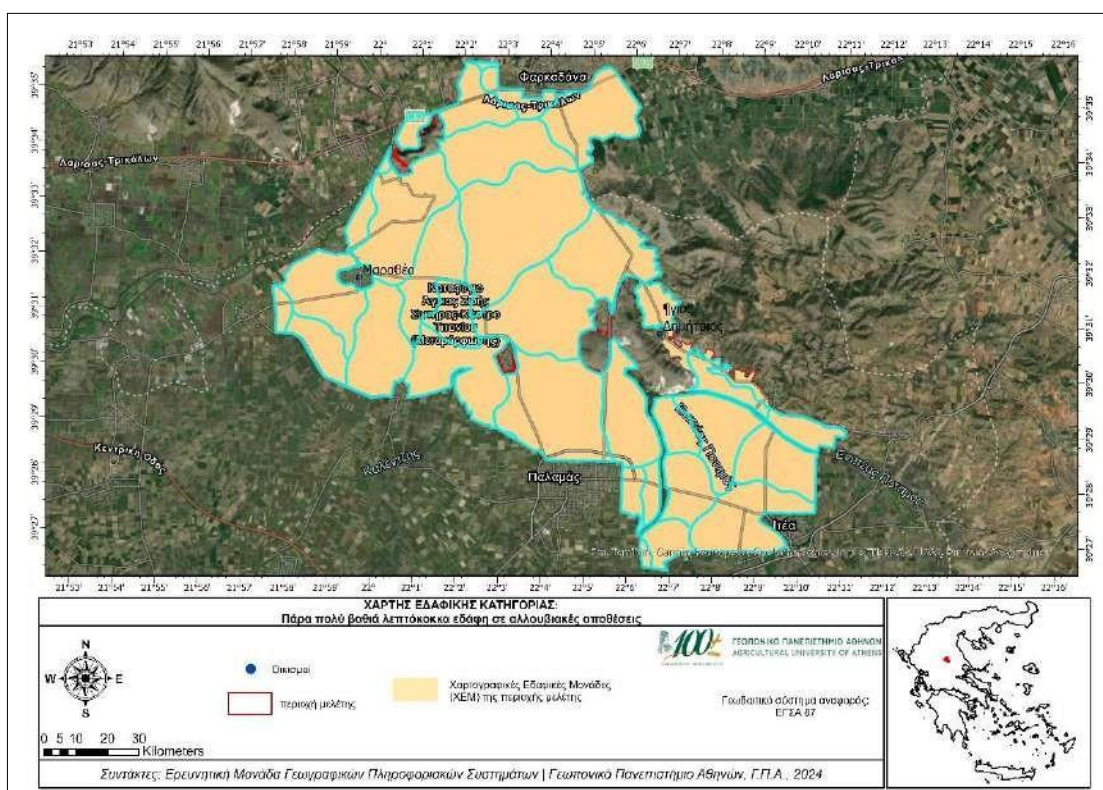
Χαρτογραφικό σύμβολο	Έκταση (ha)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
----------------------	-------------	-----------------------------

E435B61A02011VR	560.93	2.79
E335A61A03011FL	745.65	3.70
C324B61A03011FL	830.16	4.12
E435B61A02011VR	990.89	4.92
E435B61A03011VR	1361.88	6.76
B223B61A02011FL	272.15	1.35
A213A61A00011FL	545.08	2.28
B323A61A01011FL	609.83	2.55
D435A61A03011VR	846.96	3.54
B324B61A03011FL	451.43	1.89
D435B61A02011FL	874.85	3.66
D435A61A02011VR	730.71	3.06
B234A61A03011FL	682.69	2.86
C334A61A03011FL	721.08	3.02
C435B61A03011VR	797.08	3.34
C334A61A03011FL	866.48	3.63
D435A61A02011VR	331.88	1.39
C334A61A02011FL	1082.05	4.53
C435A61A02011FL	623.22	2.61
C132A61A01011CM	392.12	1.64
D435A61A03011FL	591.68	2.48
C324B61A03021FL	680.22	2.85
D/F435A61A03011CM	805.05	3.37
D/F435B61A03011CM	715.87	3.00
D/F435B61A00011CM	823.69	3.45
D324B61A01011FL	603.14	2.52
D435B61A03011FL	791.08	3.31
B334A61A03011FL	811.85	3.40

Συνολική έκταση (ha)

20139,7

Εδαφική ενότητα: Πάρα πολύ βαθιά, λεπτόκοκκα εδάφη σε αλλουβιακές αποθέσεις



Εδάφη που σχηματίστηκαν σε μητρικό υλικό αλλουβιακών αποθέσεων, πάρα πολύ βαθιά (βάθος >150 εκ.). Ως προς την υδρομορφία τους, εμφανίζονται στη πλειοψηφία ως καλώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία C), εκτός από επτά XEM (αρ. 0110, 0245, 0249, 0461, 0566, 0593, 0598) που εμφάνιζαν ατελώς αποστραγγιζόμενα εδάφη αντίστοιχα (υδρομορφία D), μία XEM (αρ. 0099) με πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία

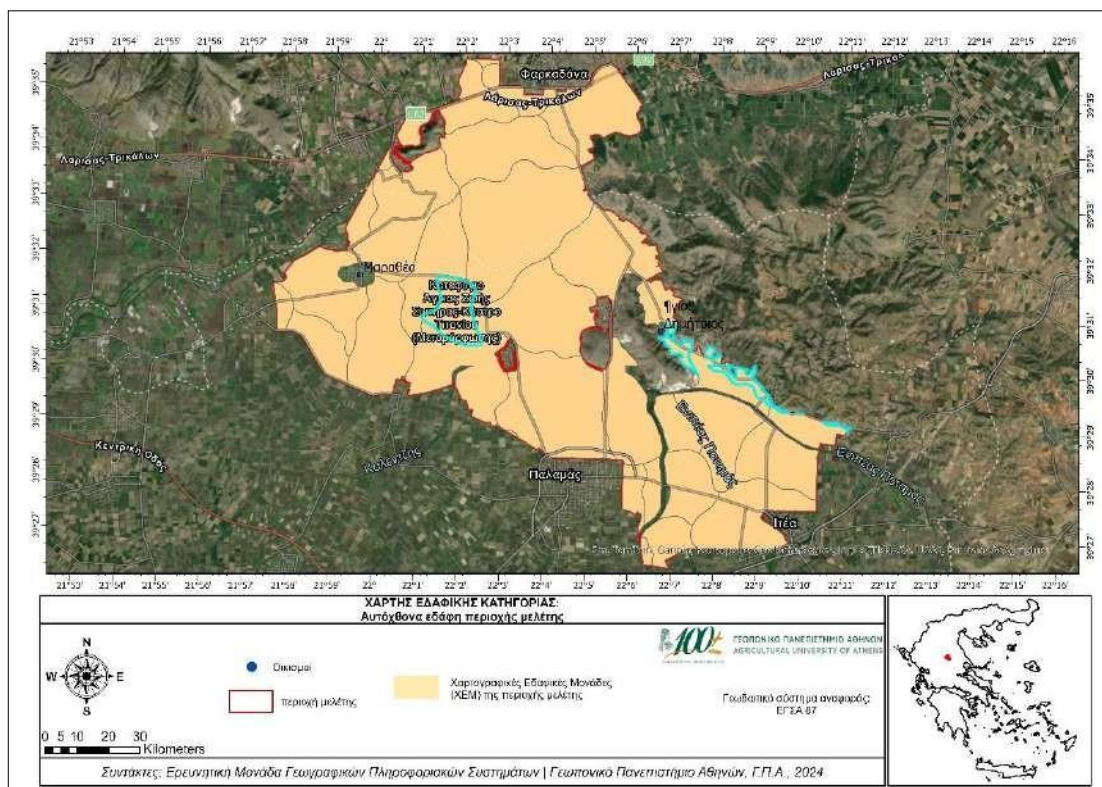
A) εδάφη, πέντε XEM (αρ. 0098, 0100, 0118, 0456, 0857) με καλώς αποστραγγιζόμενα εδάφη (υδρομορφία B), τέσσερις XEM (αρ. 0089, 0092, 0095, 0097) με κακώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία E) εδάφη, και τέλος, τρεις XEM (αρ. 0570, 0571, 0572) με πολύ κακώς αποστραγγιζόμενα εδάφη (υδρομορφία D/F). Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται κυρίως ως λεπτόκοκκα, εκτός από εννιά XEM (αρ.0093, 0118, 0456, 0457, 0460, 0462, 0567, 0593, 0857) με μετρίως λεπτόκοκκα (κοκκομετρική σύσταση αμμο-αργίλλο-πηλώδης-SCL, ιλυο-αργίλλο-πηλώδης-SiCL, αργίλλο-πηλώδης-CL), στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους, τρεις XEM (αρ. 0098, 0099, 0100) με μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη, και 1 XEM (αρ. 0468) με μετρίως χονδρόκοκκα εδάφη στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους αντίστοιχα). Ακόμη, ως προς τη κλίση, τα εδάφη της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται κατά το ήμισυ σχεδόν επίπεδα (κλίση 0-2%), και ελαφρώς κεκλιμένα (κλίση 2-6%). Περιέχουν μικρό ποσοστό χαλικιών και πετρών (<20%) στο σύνολό τους. Τα εδάφη χαρακτηρίζονται κυρίως από ισχυρή αντίδραση ανθρακικών αλάτων στην επιφάνεια, εκτός από 8 XEM (αρ.0089, 0095, 0098, 0245, 0249, 0461, 0462, 0463) που περιλαμβάνουν εδάφη με ασθενή αντίδραση στην επιφάνεια, 3 XEM (αρ.0100, 0468, 0593) με εδάφη όπου παρατηρείται αντίδραση στο υπέδαφος, και 2 XEM (αρ.0099, 0572) ως ελεύθερα ανθρακικών αλάτων. Ταξινομούνται κυρίως ως Fluvisols εκτός από επτά XEM (αρ. 0095, 0097, 0110, 0249, 0458, 0461) που αποτελούν Vertisols, και τέσσερις XEM (αρ. XEM: 0468, 0570, 0571, 0572) που αποτελούν Cambisols. Η ομάδα αυτή καλύπτει έκταση 20139,7 εκτάρια ή το 87,63% του συνόλου των εδαφών της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνει 28 χαρτογραφικές εδαφικές μονάδες (Αρ. XEM: 0089, 0092, 0093, 0095, 0097, 0098, 0099, 0100, 0110, 0118, 0245, 0249, 0456, 0457, 0458, 0460, 0461, 0462, 0463, 0468, 0566, 0567, 0570, 0571, 0572, 0593, 0598, 0857) (Πίν. 7).

Πίνακας 7. ΧΕΜ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά των πάρα πολύ βαθέων, και λεπτόκοκκων εδαφών σε αλλουβιακές αποθέσεις

Χαρτογραφική μονάδα (ΧΕΜ)	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) του συνόλου	Χαρτογραφική μονάδα (ΧΕΜ)	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) του συνόλου
0089- E435B61A02011VR	560.93	2.79	0458- C435B61A03011VR	797.08	3.34
0092- E335A61A03011FL	745.65	3.70	0460- C334A61A03011FL	866.48	3.63
0093- C324B61A03011FL	830.16	4.12	0461- D435A61A02011VR	331.88	1.39
0095- E435B61A02011VR	990.89	4.92	0462- C334A61A02011FL	1082.05	4.53
0097- E435B61A03011VR	1361.88	6.76	0463- C435A61A02011FL	623.22	2.61
0098- B223B61A02011FL	272.15	1.35	0468- C132A61A01011CM	392.12	1.64
0099- A213A61A00011FL	545.08	2.28	0566- D435A61A03011FL	591.68	2.48
0100- B323A61A01011FL	609.83	2.55	0567- C324B61A03021FL	680.22	2.85
0110- D435A61A03011VR	846.96	3.54	0570- D/F435A61A03011CM	805.05	3.37

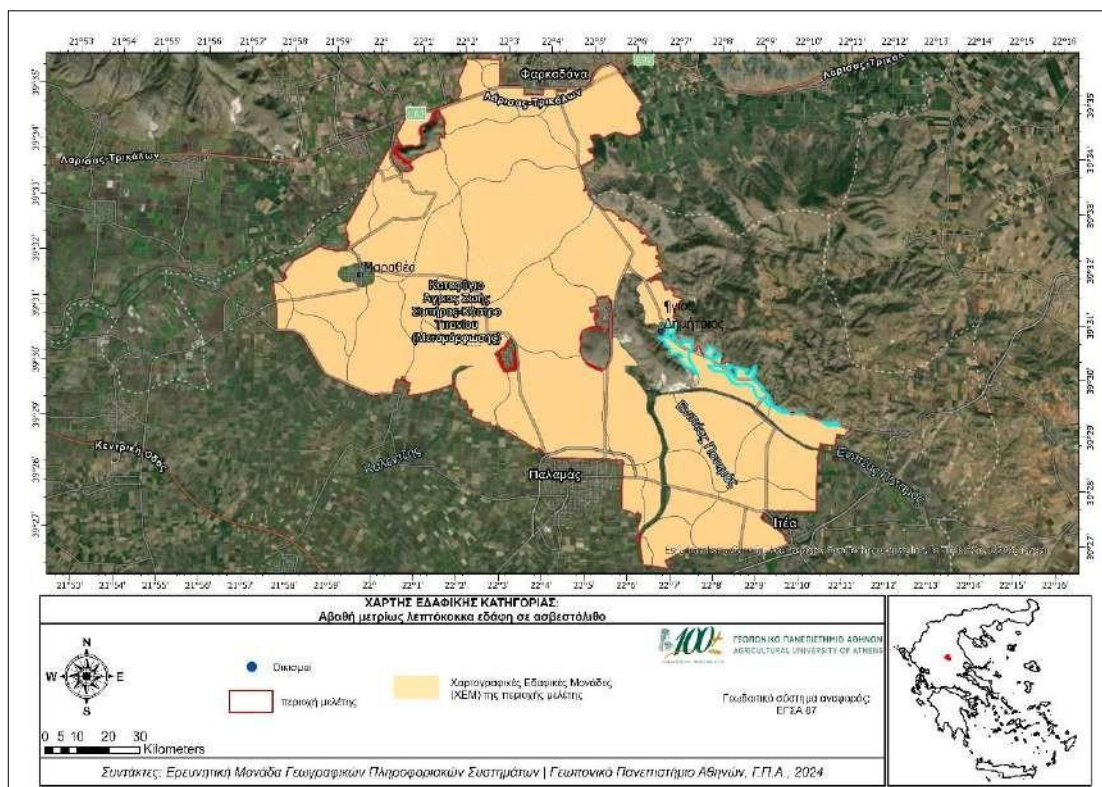
0118- B324B61A03011FL	451.43	1.89	0571- D/F435B61A03011CM	715.87	3.00
0245- D435B61A02011FL	874.85	3.66	0572- D/F435B61A00011CM	823.69	3.45
0249- D435A61A02011VR	730.71	3.06	0593- D324B61A01011FL	603.14	2.52
0456- B234A61A03011FL	682.69	2.86	0598- D435B61A03011FL	791.08	3.31
0457- C334A61A03011FL	721.08	3.02	0857- B334A61A03011FL	811.85	3.40
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ (ha)		20139,7	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		87,63

Περιγραφή αυτόχθονων εδαφών | Εδάφη σε ποσοστό 12,37% της περιοχής μελέτης



Χαρτογραφικό σύμβολο	Έκταση (ha)	Ποσοστό επί του συνόλου (%)
A404C23L43R11LP	1824.71	7.94
A405C23S43R11LP	274.66	1.20
A404C23L43R11LP	740.73	3.22
A334B42O11R11CM	1.82	0.01
Συνολική έκταση (ha)		2841,92

Εδαφική ενότητα: Αβαθή μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη σε ασβεστόλιθο (11,16% της περιοχής μελέτης)



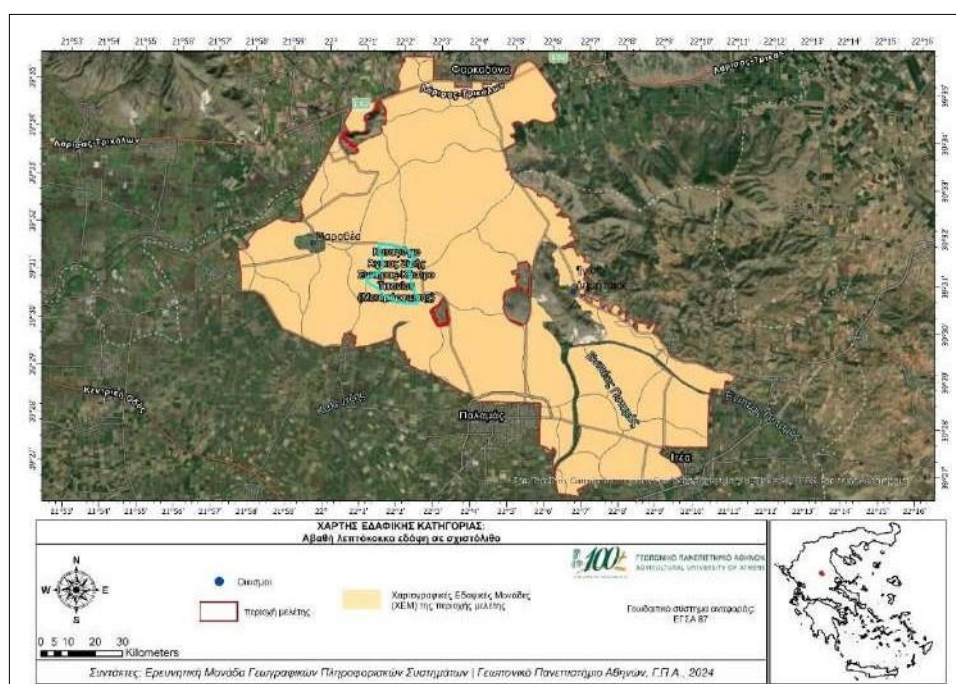
Εδάφη που σχηματίστηκαν σε μητρικό υλικό ασβεστολίθου, αβαθή (βάθος 15-30 εκ.) και πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία Α). Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται ως μετρίως λεπτόκοκκα στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους, και μετρίως κεκλιμένα (κλίση 6-12%). Περιέχουν μεγάλο ποσοστό χαλικίων (>60%), και χαρακτηρίζονται από ισχυρή αντίδραση ανθρακικών αλάτων στην επιφάνεια. Τέλος, ταξινομούνται ως Leptosols. Η ομάδα αυτή καλύπτει έκταση 2565,44 εκτάρια ή το 11,16% του συνόλου των εδαφών της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνει 2 χαρτογραφικές εδαφικές μονάδες (Αρ. ΧΕΜ: 0094, 0541) (Πίν. 8).

Πίνακας 8. ΧΕΜ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά των αβαθών μετρίως λεπτόκοκκων εδαφών σε ασβεστόλιθο

Χαρτογραφική μονάδα (ΧΕΜ)	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) του συνόλου
---------------------------	-------------	-------------------------

0094-A404C23L43R11LP	1824.71	7.94
0541-A405C23S43R11LP	740.73	3.22
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ (ha)		2565,44
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		11,16

2.2 Εδαφική ενότητα: Αβαθή λεπτόκοκκα εδάφη σε σχιστόλιθο (1,20% της περιοχής μελέτης)



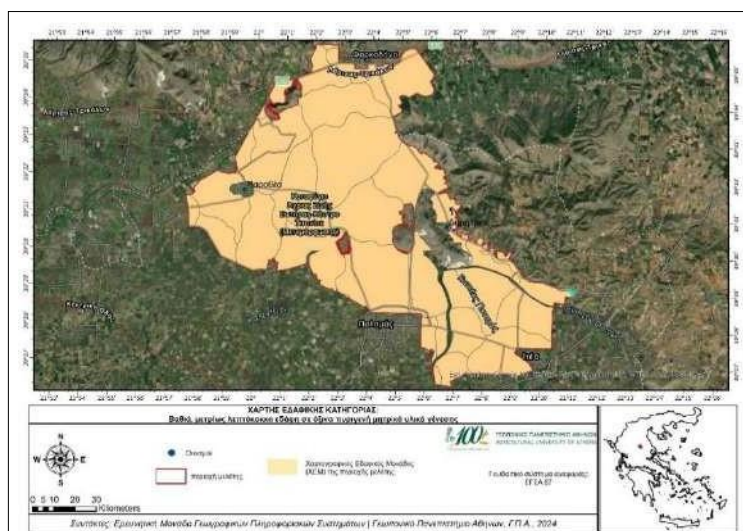
Εδάφη που σχηματίστηκαν σε μητρικό υλικό σχιστολίθου, αβαθή (βάθος 15-30 εκ.) και πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία Α). Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται ως λεπτόκοκκα στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους, και μετρίως κεκλιμένα (κλίση 6-12%). Περιέχουν μεγάλο ποσοστό χαλικιών (>60%), και χαρακτηρίζονται από ισχυρή αντίδραση ανθρακικών αλάτων στην επιφάνεια. Τέλος, ταξινομούνται ως Leptosols. Η ομάδα αυτή καλύπτει έκταση 274,66 εκτάρια ή το 1,20% του συνόλου των εδαφών της

περιοχής μελέτης και περιλαμβάνει 1 χαρτογραφική εδαφική μονάδα (Αρ. ΧΕΜ: 0096)
(Πίν. 9)

Πίνακας 9. ΧΕΜ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά των αβαθών λεπτόκοκκων εδαφών σε σχιστόλιθο

Χαρτογραφική μονάδα (ΧΕΜ)	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) του συνόλου
0096-A405C23S43R11LP	274.66	1.20
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ (ha)		274,66
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		1,15

2.2 Εδαφική ενότητα: Βαθιά, μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη σε όξινα πυριγενή μητρικά υλικά γένεσης (0,01% της περιοχής μελέτης)



Εδάφη που σχηματίστηκαν σε όξινα πυριγενή μητρικά υλικά, βαθιά (βάθος 60-100 εκ.). Αποτελούν κυρίως πολύ καλώς αποστραγγιζόμενα (υδρομορφία Α). Τα εδάφη αυτά χαρακτηρίζονται ως μετρίως λεπτόκοκκα στο επιφανειακό τμήμα του εδάφους. Ως προς

τη κλίση, αφορά ελαφρώς κεκλιμένα (κλίση 2-6%) εδάφη. Περιέχουν μέσο ποσοστό χαλικιών (20-60%), και χαρακτηρίζονται από αντίδραση ανθρακικών αλάτων στο υπέδαφος. Τέλος, ταξινομούνται ως Cambisols. Η ομάδα αυτή καλύπτει έκταση 1,82 εκτάρια ή το 0,01% του συνόλου των εδαφών της περιοχής μελέτης και περιλαμβάνει 1 χαρτογραφική εδαφική μονάδα (Αρ. ΧΕΜ: 0917) (Πίν. 10).

Πίνακας 10. ΧΕΜ με τις αντίστοιχες εκτάσεις και ποσοστά των βαθέων, μετρίως λεπτόκοκκων εδαφών σε όξινα πυριγενή μητρικά υλικά γένεσης

Χαρτογραφική μονάδα (ΧΕΜ)	Έκταση (ha)	Ποσοστό (%) του συνόλου
0917-A334B42O11R11CM	1.82	0.01
ΣΥΝΟΛΟ ΕΚΤΑΣΗΣ (ha)		1,82
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΠΟΣΟΣΤΟ (%)		0,01

5.2 Αποτελέσματα εργαστηριακών αναλύσεων των 38 εδαφικών δειγμάτων

Μετά τον εργαστηριακό προσδιορισμό των τιμών των μελετώμενων εδαφικών ιδιοτήτων των 38 εδαφικών δειγμάτων, παρατίθεται ο ακόλουθος συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων τους (Πίν. 11).

Πίνακας 11. Αναλυτικά στοιχεία για τις μελετώμενες εδαφικές ιδιότητες.

Αριθμός δείγματος	Άργιλος (%)	Άμμος (%)	Ιλύς (%)	Κλάση κοκκομετρικής σύστασης	Ολικός οργανικός άνθρακας (%)	Παράγοντας διαβρωσιμότητας εδαφών Κ
1	22.72	37.82	39.46	Loam	1.521	0.034086
2	22	56	22	Sandy Clay Loam	1.287	0.027162
3	76.48	5.5	18.02	Clay	2.34	0.028239
4	48	17.82	34.18	Clay	2.379	0.032215
5	56	14	30	Clay	1.872	0.032057
6	46	12	42	Silty Clay	2.418	0.035845
7	44	38	18	Clay	1.872	0.023455
8	20.72	45.28	34	Loam	0.858	0.036754
9	24	57.82	18.18	Sandy Clay Loam	1.482	0.024018
10	46.88	9.5	43.62	Silty Clay	1.833	0.037745
11	32	21.82	46.18	Clay Loam	1.794	0.036833
12	65.62	1.5	32.88	Clay	2.067	0.035494
13	60.18	13.82	26	Clay	2.262	0.029933
14	60.72	9.28	30	Clay	2.067	0.032639
15	28.18	29.28	42.54	Clay Loam	1.482	0.036404
16	69.62	7.5	22.88	Clay	2.379	0.029949
17	60.88	15.5	23.62	Clay	2.223	0.028651
18	46.88	12.38	40.74	Silty Clay	2.184	0.035561
19	50.72	13.28	36	Clay	2.145	0.033858
20	42.18	15.28	42.54	Silty Clay	1.833	0.036394

21	25.62	31.28	43.1	Loam	1.404	0.037065
22	34	24	42	Clay Loam	1.404	0.037501
23	36.5	23.52	39.98	Clay Loam	5.148	0.033256
24	46.18	15.82	38	Clay	1.833	0.034751
25	60.72	15.28	24	Clay	2.184	0.028887
26	30.5	33.5	36	Clay Loam	1.17	0.036067
27	34.5	27.5	38	Clay Loam	1.677	0.033642
28	44.72	16.38	38.9	Clay	1.677	0.035616
29	58.5	3.5	38	Clay	2.262	0.036403
30	46.48	9.5	44.02	Silty Clay	2.145	0.037153
31	29.62	35.28	35.1	Clay Loam	1.794	0.031208
32	28.72	21.12	50.16	Clay Loam	1.95	0.037781
33	32.88	9.52	57.6	Silty Clay Loam	2.613	0.040685
34	32.72	21.12	46.16	Clay Loam	1.677	0.037451
35	36.5	21.52	41.98	Clay Loam	1.794	0.035399
36	34.72	37.28	28	Clay Loam	1.404	0.030098
37	48.5	23.52	27.98	Clay	1.989	0.029348
38	28.72	31.82	39.46	Clay Loam	2.73	0.032175

Ως προς τη κλάση της κοκκομετρικής σύστασης, τα 38 εδαφικά δείγματα κατατάσσονται ως εξής: Το 39.47% αποτελούν λεπτόκοκκα εδάφη με κλάση κοκκομετρίας αργιλώδη (Clay), το 13,16% αποτελούν λεπτόκοκκα ιλυοαργιλώδη με κλάση κοκκομετρίας (Silty Clay), το 31.58% αποτελούν μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη με κλάση κοκκομετρίας αργιλοπηλώδη (Clay Loam), το 7.90% αποτελούν μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη με κλάση κοκκομετρίας πηλώδη (Loam), το 2.63% αποτελούν μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη με κλάση κοκκομετρίας Ιλυοαργιλοπηλώδη (Silty

Clay Loam) και τέλος, το 5.26% αποτελούν μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη με κλάση κοκκομετρίας αμμοαργιλοπηλώδη (Sandy Clay Loam).

Η περιεκτικότητα των εδαφών αυτών σε οργανική ουσία κυρίως αντιστοιχεί στις μέσες τιμές οργανικής ουσίας των ελληνικών γεωργικών εδαφών (1,5-2,5%), εκτός από τα εδαφικά δείγματα με αριθμούς: 33, και 38 όπου παρουσιάζουν τιμές οργανικής ουσίας 2.613%, και 2.73% αντίστοιχα ξεπερνώντας κατ' ελάχιστο το μέγιστο όριο των ελληνικών γεωργικών εδαφών, και τα εδαφικά δείγματα με αριθμούς: 2, 8, και 26 όπου παρουσιάζουν τιμές οργανικής ουσίας 1,287%, 0.858%, και 1.17% αντίστοιχα κατώτερα του χαμηλότερου ορίου αυτών. Τέλος, το δείγμα με αριθμό 23 παρουσιάζει τιμή οργανικής ουσίας (5.148%) εντός του εύρους των ελληνικών δασικών εδαφών (5-6%). Με βάση επίσης τα αποτελέσματα των φυσικών χαρακτηριστικών των εδαφικών δειγμάτων, αυτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις βασικές κλάσεις μεγέθους: λεπτόκοκκα (Clay και Silty Clay), μετρίως λεπτόκοκκα (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam) και μέσης κοκκομετρικής σύστασης (Loam). Ο μέσος όρος του παράγοντα διαβρωσιμότητας K και της οργανικής ουσίας των τριών αυτών κατηγοριών εδαφών παρουσιάζεται στο παρακάτω Πίνακα 12.

Πίνακας 12. Μέσοι όροι συντελεστή διαβρωσιμότητας K ανά κλάση μεγέθους εδάφους

Κλάση μεγέθους εδάφους	Ελάχιστη τιμή K	Μέγιστη τιμή K	Μέση τιμή του συντελεστή διαβρωσιμότητας K	Μέση περιεκτικότητα σε ολικό οργανικό άνθρακα (%)
Λεπτόκοκκα (Clay και Silty Clay)	0.023455	0.037745	0,032709	2,1%

Μετρίως λεπτόκοκκα (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam)	0.024018	0.040685	0,033978	1,96%
Μέσης κοκκομετρικής σύστασης (Loam)	0.034086	0.037745	0,035968	1,26%

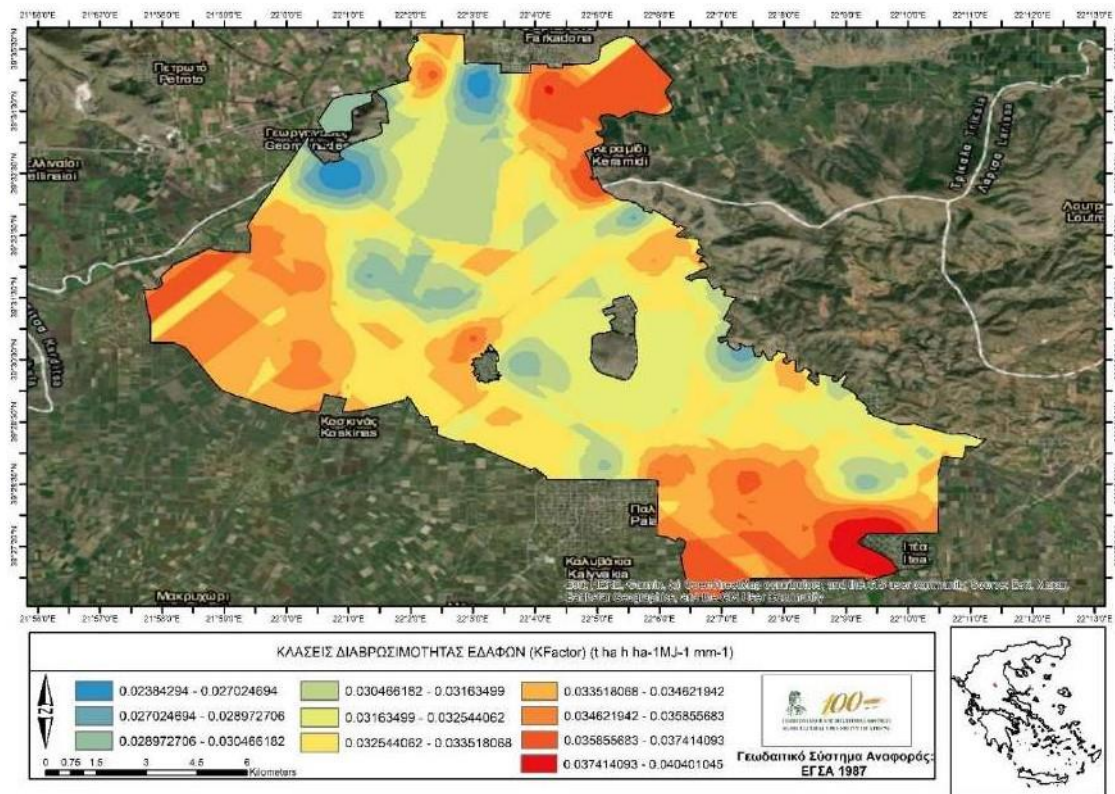
Στον παρακάτω Πίνακα 13 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία των τριών κλάσεων μεγέθους εδάφους.

Πίνακας 13. Μέσοι όροι περιεκτικότητας σε οργανική ουσία % ανά κλάση μεγέθους εδάφους

Κλάση μεγέθους εδάφους	Ελάχιστη τιμή % ολικού οργανικού άνθρακα	Μέγιστη τιμή % ολικού οργανικού άνθρακα	Μέση περιεκτικότητα σε ολικό οργανικό άνθρακα (%)
Λεπτόκοκκα (Clay και Silty Clay)	1,67 %	2,41%	2,1%
Μετρίως λεπτόκοκκα (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam)	1,17%	5,14%	1,96%
Μέσης κοκκομετρικής σύστασης (Loam)	0,85%	1,52%	1,26%

Με βάση τον Πίνακα 13, ο συντελεστής διαβρωσιμότητας στα εδαφικά δείγματα που συνιστούν λεπτόκοκκο έδαφος (Clay και Silty Clay) είναι ο πιο μικρός, ενώ μεγαλύτερος εμφανίζεται στα μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη (Loam). Επιπλέον η μέση περιεκτικότητα σε οργανική ουσία είναι μεγαλύτερη στα εδαφικά δείγματα λεπτόκοκκων εδαφών και μικρότερη στα μέσης σύστασης εδάφη.

Στην παρακάτω Εικόνα 11 φαίνονται οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι διάφορες κλάσεις των τιμών του παράγοντα K στο χάρτη που δημιουργήθηκε.



Εικόνα 11. Χάρτης συνεχούς επιφάνειας των τιμών του παράγοντα K στην περιοχή μελέτης.

Στον παρακάτω Πίνακα 14, παρουσιάζονται τα εύρη τιμών του παράγοντα K και το ποσοστό της περιοχής μελέτης καταλαμβάνουν.

Πίνακας 14. Αναλυτικά στοιχεία για τις μελετώμενες εδαφικές ιδιότητες.

Εύρος τιμών των κλάσεων του παράγοντα K	Έκταση (ha)	Ποσοστό της περιοχής μελέτης (%)
0.02384294-0.027024694	182.5087346	0.76
0.027024694-0.028972706	331.1339911	1.38

0.028972706-0.030466182	1137.406756	4.74
0.030466182-0.03163499	3138.842204	13.08
0.03163499-0.032544062	4782.960974	19.93
0.032544062-0.033518068	5265.030459	21.94
0.033518068-0.034621942	4017.502399	16.74
0.034621942-0.035855683	2836.971217	11.82
0.035855683-0.037414093	1988.344105	8.29
0.037414093-0.040401045	314.9623311	1.31

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Διαφορές στις τιμές του παράγοντα K μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών λεπτόκοκκων εδαφών (clay και silty clay)

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 12, οι συντελεστές K για τα λεπτόκοκκα εδάφη (Clay και Silty Clay) κυμαίνεται μεταξύ 0.023455 - 0.037745 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, με μια μέση τιμή K = 0,032709. Τα εδαφικά δείγματα Clay εδαφών παρουσιάζουν ένα μέσο συντελεστή K = 0,031433, ενώ τα Silty Clay έχουν λίγο μεγαλύτερο συντελεστή K = 0,036599. Το γεγονός ότι τα Clay εδάφη εμφανίζουν μικρότερο συντελεστή διαβρωσιμότητας K από τα Silty Clay, οφείλεται καταρχήν στο ότι στα Clay εδάφη η αναλογία αργίλου/ιλύς είναι μεγαλύτερη από ότι στα Silty Clay εδάφη το οποίο επιδρά στο αποτέλεσμα της εξίσωσης του παράγοντα K. Για τον υπολογισμό του παράγοντα διαβρωσιμότητας K χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση από το EPIC μοντέλο (Erosion/Productivity Impact Calculator). Στην εξίσωση ο παράγοντας K μπορεί να κυμαίνεται από 0,1 έως 0,5 (Williams et al., 1984). Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης μειώνει το K για εδάφη που έχουν υψηλή αναλογία αργίλου προς ιλύ (Williams et al., 1984), συντελώντας σε μεγαλύτερο συντελεστή K στα Silty Clay εδάφη.

Φυσικά οι εξισώσεις αυτές έχουν λάβει υπόψη ότι ο βαθμός διαβρωσιμότητας των εδαφών ποικίλλει ανάλογα με την υφή του εδάφους, τη σταθερότητα των συσσωματωμάτων, την αντοχή στη διάτμηση, την ικανότητα διήθησης και την οργανική και χημική γενικότερα σύσταση του εδάφους. Έχει βρεθεί ότι εδάφη που περιέχουν ιλύ σε ποσοστό παραπάνω από 40% είναι υψηλά διαβρώσιμα (Richter & Negendank 1977). Πράγματι, στα Silty Clay εδάφη τα τεμαχίδια ιλύος είναι μεγαλύτερα από της αργίλου,

σχηματίζουν πιο ασθενή συσσωματώματα και δεν εμφανίζουν μεγάλη ικανότητα επικόλλησης μεταξύ τους (Brady & Weil, 2008). Η απόσπαση των εδαφικών τεμαχιδίων λόγω σταγόνων της βροχής (rainsplash erosion) γίνεται πιο εύκολα σε silty clay εδάφη διότι τα εδαφικά τεμαχίδια είναι πιο χαλαρά συνδεδεμένα (Morgan 2005). Αντίθετα τα τεμαχίδια αργίλου στα Clay εδάφη συνδέονται ηλεκτροστατικά και επομένως δεν αποσπώνται εύκολα. Επίσης τα Silty Clay είναι πιο ευαίσθητα στο να πιάνουν κρούστα μετά από βροχή και παρουσιάζουν ως εδάφη μειωμένη ελαστικότητα καθιστώντας τα πιο επιρρεπή στη διάβρωση από επιφανειακή απορροή νερού (Boardman & Poesen, 2006; Brady & Weil, 2008; Morgan, 2005). Επιπλέον στα εδάφη που έχουν υψηλό ποσοστό ιλύος αν το νερό εισχωρήσει στις ρωγμές τους, το εδαφικό υλικό θα απομακρυνθεί γρήγορα αυξάνοντας ακόμα περισσότερο τη ρωγμή και προσελκύοντας ακόμα περισσότερο νερό να εισχωρήσει, δημιουργώντας έτσι ένα κανάλι εσωτερικής διάβρωσης που ονομάζεται riping). Αντίθετα στα clay εδάφη που περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα αργίλου, τα τεμαχίδια της αργίλου είναι πολύ μικρά και παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια, έχοντας μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης νερού, ενώ όταν αιωρούνται μέσα σε νερό συμπεριφέρονται ως κολλοειδή και δεν αποσπώνται εύκολα, δίνοντας στα εδάφη αυτά μεγαλύτερη πλαστικότητα και καθιστώντας τα λιγότερο διαβρώσιμα (Brady & Weil, 2008).

Παρατηρούμε επίσης ότι τα εδαφικά δείγματα των λεπτόκοκκων εδαφών παρουσιάζουν μια μέση περιεκτικότητα σε άργιλο ίση με 53,96%. Τα ευρωπαϊκά λεπτόκοκκα εδάφη που περιέχουν $35\% < \text{άργιλο} < 60\%$ παρουσιάζουν τιμές $K = 0,0339$ (van der Knijff et al., 2000). Οι τιμές αυτές που βρήκαμε είναι μέσα στα πλαίσια τιμών K της βιβλιογραφίας για αυτό τον τύπο εδάφους.

6.2 Διαφορές στις τιμές του παράγοντα K μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών μετρίως λεπτόκοκκων εδαφών (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam)

Για τα μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη (Sandy Clay Loam, Clay Loam και Silty Clay Loam) οι τιμές που βρήκαμε κυμαίνονται μεταξύ 0.024018 - 0.040685 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ με μια μέση τιμή K = 0,033978 (Πίν. 12). Η μέση περιεκτικότητα των εδαφικών δειγμάτων μετρίως λεπτόκοκκων εδαφών σε άργιλο ήταν 31,04% και σε άμμο 30,07%. Η τιμή K που ισχύει για ευρωπαϊκά εδάφη που έχουν περιεκτικότητα: 18% <άργιλο <35% και άμμο >15% είναι K = 0,0311 (van der Knijff et al., 2000). Η τιμή που βρήκαμε εμείς βλέπουμε ότι είναι μέσα στα πλαίσια τιμών K της βιβλιογραφίας για αυτό τον τύπο εδάφους.

Με βάση την έρευνα μας τα Sandy Clay Loam έχουν το μικρότερο συντελεστή K, ακολουθούν τα Clay Loam και το μεγαλύτερο συντελεστή έχουν τα Silty Clay Loam. Οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών μετρίως λεπτόκοκκων εδαφών οφείλεται σε διαφορές στην υφή, τη δομή και τα χαρακτηριστικά των εδαφικών τους σωματιδίων. Έτσι τα Sandy Clay Loam εδάφη αποτελούνται από 45% έως 80% άμμο και μόνο 20%-35% άργιλο, με αποτέλεσμα των μεγαλύτερο μέγεθος σωματιδίων της άμμου να συνεισφέρει σε μια πιο κοκκώδη δομή αυξάνοντας τη σταθερότητα σε φαινόμενα διάβρωσης (Brady & Weil, 2008). Επιπλέον η άμμος προσφέρει καλύτερη συσσωμάτωση στα Sandy Clay Loams και τα σωματίδια της αργίλου είναι λιγότερο πιθανό να διασκορπιστούν σε σχέση με τα Clay Loams εδάφη (Lal, 2001). Επίσης τα Sandy Clay Loams έχουν μεγαλύτερο πορώδες, αυξάνοντας έτσι τη διήθηση του νερού και μειώνοντας τη επιφανειακή απορροή σε αντίθεση με τα Clay Loams που έχουν μικρότερη διαπερατότητα, μεγαλύτερη ικανότητα συγκράτησης νερού, οδηγώντας σε μεγαλύτερη

επιφανειακή απορροή και μεγαλύτερη πιθανότητα διάβρωσης (Rawls et al., 1982). Από την άλλη τα Silty Clay Loams περιέχουν 40-60% ιλύ και άργιλο 20-40%. Τα τεμαχίδια ιλύος είναι μεγαλύτερα από αυτά της αργίλου, είναι λιγότερο συνεκτικά και μπορούν να αποσπαστούν πιο εύκολα λόγω υδατικής διάβρωσης, σε αντίθεση με τα εδάφη Clay Loams τα οποία έχουν λιγότερο ιλύ (25-40%) και άργιλο (20-40%). Τα τεμαχίδια αργίλου των Clay Loams είναι πολύ λεπτά και έχουν μεγαλύτερη συνεκτικότητα αυξάνοντας έτσι την συσσωμάτωση και σταθερότητα της εδαφικής δομής σε φαινόμενα διάβρωσης (Brady and Weil, 2008). Επιπλέον στα Silty Clay Loams τα τεμαχίδια της ιλύος μπορεί να φράξουν τους εδαφικούς πόρους οδηγώντας σε μεγαλύτερη επιφανειακή απορροή και διάβρωση, σε αντίθεση με τα Clay Loams που ενώ είναι λεπτόκοκκα παρόλα αυτά επιτρέπουν καλύτερη διήθηση του νερού μειώνοντας την επιφανειακή απορροή και την διάβρωση (Rawls et al., 1982).

6.3 Διαφορές στις τιμές K μεταξύ λεπτόκοκκων, μετρίως λεπτόκοκκων και μέσης σύστασης εδαφών

Για τα μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη οι τιμές K που βρήκαμε από την έρευνα κυμαίνονται μεταξύ 0.034086 - 0.037745 με μια μέση τιμή $K = 0,035968$ (Πίν...). Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 12, το μεγαλύτερο ποσοστό εδαφικών δειγμάτων (39,47%) αποτελούν λεπτόκοκκα εδάφη, το 21,06% αποτελούν μέσης κοκκομετρικής σύστασης εδάφη, ενώ το 7,89% αποτελούν μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη. Παρατηρούμε από τον Πίνακα 12, ότι τα λεπτόκοκκα εδάφη χαρακτηρίζονται από τον μικρότερο συντελεστή διαβρωσιμότητας K, ενώ στα μέσης σύστασης ο συντελεστής είναι ελαφρώς μεγαλύτερος, δείχνοντας ότι τα λεπτόκοκκα έχουν μεγαλύτερη αντοχή ιδιαίτερα στη

διάβρωση από σταγόνες βροχής (απόσπαση εδαφικών τεμαχιδίων). Αυτό συμβαίνει διότι στα λεπτόκοκκα εδάφη τα εδαφικά σωματίδια (η άργιλος) στα λεπτόκοκκα εδάφη είναι πιο βαριά και επομένως μεταφέρονται πιο δύσκολα και επιπλέον συγκρατούνται μεταξύ τους με μεγαλύτερες δυνάμεις συνοχής, εμφανίζοντας έτσι αντίσταση στην απόσπαση (Morgan, 2005, όπως αναφέρεται στον Efthimiou, 2020). Τα λεπτόκοκκα εδάφη, όμως από την άλλη σύμφωνα με τους Hatten & Liles (2019), είναι πιο επιρρεπή στην συμπίεση κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων, οδηγώντας έτσι σε μειωμένη διηθητικότητα, μειωμένο πορώδες και μειωμένη απορρόφηση νερού, αυξάνοντας έτσι την επιφανειακή απορροή και τη διάβρωση λόγω μεταφοράς εδαφικών τεμαχιδίων κατά την απορροή Hatten & Liles (2019).

Αντίθετα οι υψηλότερες τιμές του παράγοντα K εμφανίζονται στα μέσης κοκκομετρικής σύσταση εδάφη τα οποία περιέχουν πάνω από 40% ιλύ. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο με τη βιβλιογραφία, όπου σύμφωνα με τους Richter and Negendank, (1977) οι υψηλότερες τιμές του παράγοντα K προέρχονται από εδάφη μέτριας λεπτής υφής (υψηλής περιεκτικότητας σε ιλύ πηλό) και μεσαίας υφής (με υψηλής περιεκτικότητας σε ιλύ, πάνω από 40 %) (Richter and Negendank, 1977).

Τα εδάφη μετρίως λεπτόκοκκα και μεσαίας υφής εμφανίζουν υψηλή ευαισθησία στη διάβρωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελούνται από εδαφικά τεμαχίδια που αποσπώνται εύκολα από τις σταγόνες της βροχής και τείνουν να αναπτύσσουν κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους, μειώνοντας έτσι τη διήθηση και ευνοώντας την επιταχυνόμενη επιφανειακή απορροή (Efthimiou, 2020).

6.4 Συσχέτιση του παράγοντα K με τη περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία

Επιπλέον από τα αποτελέσματα του Πίνακα 13, παρατηρείται ότι τα εδάφη τα οποία έχουν το μικρότερο συντελεστή διαβρωτικότητας K (λεπτόκοκκοκα) έχουν τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (2,10%), ενώ τα μέσης κοκκομετρικής σύστασης που έχουν το μικρότερο συντελεστή K έχουν περιεκτικότητα σε οργανική ουσία 1,78%. Αυτό οφείλεται στους όρους της εξίσωσης υπολογισμού του K στο EPIC μοντέλο, όπου ο τρίτος όρος της εξίσωσης μειώνει περαιτέρω την τιμή του συντελεστή K για εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Williams et al., 1984). Πράγματι με βάση τη βιβλιογραφία, τα οργανικά εδάφη παρουσιάζουν γενικά τους χαμηλότερους δείκτες διαβρωσιμότητας. Η υψηλή περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία επηρεάζει θετικά τη σταθερότητα των εδαφικών συσσωματωμάτων, οδηγώντας σε αυξημένη ικανότητα διείσδυσης και συγκράτησης νερού και μειωμένη επιφανειακή απορροή. Αντίθετα, τα εδάφη που εμφανίζουν περιεκτικότητα οργανική ουσία λιγότερο από 3,5% θεωρούνται διαβρώσιμα (Evans, 1980).

6.5 Η μέση τιμή του παράγοντα K σε σχέση με άλλες έρευνες σε ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο

Ακολουθώντας την εξίσωση των Wischmeier et al., (1971) η μέση τιμή του συντελεστή διαβρωσιμότητας K για 25 μέλη κράτη της Ευρώπης ήταν $0.032 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ με μια τυπική απόκλιση $0.009 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, ενώ το εύρος τιμών του συντελεστή K ήταν $0.004 - 0.076 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Για την Ελλάδα η μέση τιμή K

είναι $0.0298 \text{ (t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1})$, υπολογιζόμενος με την εξίσωση των Wischmeier et al., (1971) με μια τυπική απόκλιση $0.0057 \text{ (t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ (Panagos et al., 2014). Σε μια άλλη έρευνα του Efthimiou (2020) για τον υπολογισμό του μέσου συντελεστή K σε επίπεδο Ελλάδας χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Wischmeier and Smith (1978), βλέπουμε ότι ο μέσος συντελεστής K σε εθνικό επίπεδο ήταν $0.024 \text{ t ha h ha}^{-1}$ με ένα εύρος τιμών από $0.013\text{--}0.044 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, χρησιμοποιώντας ως στοιχεία εδαφικών δειγμάτων τη βάση δεδομένων LUCAS (European Land Use/Cover Area frame Survey) και τη βάση δεδομένων του ΕΘΙΑΓΕ. Βλέπουμε από την ίδια έρευνα ότι οι ερευνητές τοποθετούν τη Θεσσαλία αν και δεν υπήρχαν πολλά δεδομένα στις βάσεις, με υψηλό συντελεστή διαβρωσιμότητας K ο οποίο κυμαίνεται από 0,027 έως πάνω από $0,032 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Βλέπουμε ότι στην δική μας εδαφολογική έρευνα, η μέση τιμή του παράγοντα διαβρωσιμότητας όλης της περιοχής της Θεσσαλίας που μελετήσαμε είναι $0,032940 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, με τιμές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο ανώτατο όριο τιμών για ελλαδικές περιοχές που δίνει ο Efthimiou (2020). Με αυτό το τρόπο η εδαφολογική μας έρευνα επιβεβαιώνει ότι η Θεσσαλία είναι μια περιοχή επιρρεπής στη διάβρωση. Άλλωστε με βάση την έρευνα των Wischmeier & Smith, (1978), η μέση τιμή K του συντελεστή διαβρωσιμότητας K που υπολογίσαμε κατατάσσει τα εδάφη της περιοχής μας στην ομάδα IV, δηλαδή εδάφη φτωχά κοκκομετρικά διαβαθμισμένα (poorly graded soils), μετρίως λεπτόκοκκης δομής. Μετρίως λεπτόκοκκα όμως εδάφη παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία στη διάβρωση. Και αυτό διότι αποτελούνται από εύκολα αποσπώμενα σωματίδια, ενώ παράλληλα τείνουν να αναπτύξουν κρούστα στην επιφάνεια, μειώνοντας τη διήθηση και ευνοώντας την επιταχυνόμενη επιφανειακή απορροή (Efthimiou, 2020)

6.6 Διαφορές στην ευπάθεια ως προς τη διάβρωση που παρουσιάζονται στην περιοχή μελέτης μας

Από τα αποτελέσματα της Εικόνας 11 και του Πίνακα 14, βλέπουμε ότι η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε περίπου σε τρεις κατηγορίες διαβρωσιμότητας. Η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής ίση με 13.186,833634 ha που αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 54,95% της περιοχής έχει συντελεστή διαβρωσιμότητας K ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0.030466182 - 0.033518068 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Μια έκταση της περιοχής μελέτης ίση με 9157,7800521 ha που αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 38,16% έχει συντελεστή διαβρωσιμότητας K ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0.033518068 - 0.040401045 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Τέλος μια έκταση της περιοχής μελέτης ίση με 1.651,0494817 ha που αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό 6,88% έχει συντελεστή διαβρωσιμότητας K ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 0.02384294 - 0.030466182 t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Παρατηρούμε ότι μικρό ποσοστό της περιοχής μόνο 6.88% έχει το χαμηλό συντελεστή διαβρωσιμότητας (περιοχές με χρώμα μπλε έως σκούρο πράσινο). Τέλος η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής 54,95% έχει μεσαίο συντελεστή διαβρωσιμότητας K (περιοχές με χρώμα ανοιχτό πράσινο έως κίτρινο), ενώ το 38,16% της περιοχής έχει υψηλό συντελεστή διαβρωσιμότητας (περιοχές με χρώμα πορτοκαλί ανοιχτό έως κόκκινο). Οι υψηλότερες τιμές συντελεστή K χαρακτηρίζουν περιοχές με υψηλότερη διαβρωσιμότητα (Efthimiou, 2020).

Το εύρος τιμών που εμφανίζεται στη περιοχή έχει βέβαια να κάνει με τη σύσταση των εδαφικών δειγμάτων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συντελεστή διαβρωσιμότητας K . Οι χαμηλότερες τιμές του παράγοντα K θα μπορούσαν να προέλθουν από το γεγονός ότι η περιοχή αυτή έχει εδάφη με υψηλότερη

περιεκτικότητα σε οργανική ύλη ή/και υψηλή περιεκτικότητα σε ιλύ ή άργιλο. Αντίθετα περιοχές που έχουν υψηλότερες τιμές του παράγοντα διαβρωσιμότητας K αποτελούνται από εδάφη μετρίως λεπτόκοκκα έως μέσης κοκκομετρικής σύστασης και με χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία (Efthimiou, 2020).

Η διακύμανση των διαφόρων τιμών του παράγοντα K στην περιοχή μελέτης εκτός από τις διαφορετική κοκκομετρική σύσταση των εδαφικών δειγμάτων, μπορεί θεωρητικά να υποστηριχθεί και με βάση κάποιους άλλους παράγοντες που επικρατούν στη περιοχή και οι οποίοι αναφέρονται στην εδαφολογική περιγραφή της περιοχής. Με βάση την εδαφολογική περιγραφή της περιοχής η μεγαλύτερη πλειονότητα των εδαφών είναι βαθιά, λεπτόκοκκα εδάφη σε αλλουβιακές αποθέσεις και χαρακτηρίζονται ως Fluvisols. Ως προς τη πλειονότητα είναι εδάφη καλά αποστραγγιζόμενα. Ακόμη, ως προς τη κλίση, τα εδάφη της περιοχής μελέτης παρουσιάζονται κατά το ήμισυ σχεδόν επίπεδα (κλίση 0-2%), και ελαφρώς κεκλιμένα (κλίση 2-6%). Περιέχουν μικρό ποσοστό χαλικιών και πετρών (<20%) στο σύνολό τους. Γενικά από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση μπορούμε να υποστηρίξουμε ότι τα fluvisols είναι εδάφη που παρουσιάζουν συνήθως στρωματοποίηση (διαφορετική κατανομή μεγέθων τεμαχιδίων και οργανικής ουσίας κατά στρώσεις) και έχουν σχηματιστεί σε πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις κατά μήκος ποταμών. Συνήθως πρόκειται για πιο νεαρά εδάφη με μικρή διαφοροποίηση των εδαφικών οριζόντων (Spaargaren, 2001). Συνήθως στο ελλαδικό χώρο τα αλλουβιακά εδάφη είναι λεπτής σύνθεσης, έχοντας έτσι μεγάλη ενεργή χημικά ειδική επιφάνεια, ευνοώντας μέσα από χημικές διεργασίες τη δημιουργία οργανικής ουσίας. Επιπλέον είναι πιο εύθρυπτα και η μετακίνηση του νερού στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους είναι εύκολη. Συνήθως η ευαισθησία των εδαφών αυτών σε φαινόμενα ερημοποίησης θεωρείται μέτρια ως χαμηλή. Κατατάσσονται σε διάφορες κλάσεις κοκκομετρικής

σύσταση, για παράδειγμα μπορεί να περιέχουν περισσότερο άργιλο και να είναι αργιλώδη ή να είναι ιλυοαργιλώδη (Yassoglou et al., 2017).

Από την άλλη τα Leptosols αντιπροσωπεύουν τις αρχικές φάσεις σχηματισμού του εδάφους, συνήθως δεν είναι βαθιά εδάφη, περιέχουν σκληρό βραχώδες υλικό και χονδρόκοκκο υλικό (πέτρες), ενώ δεν παρουσιάζουν διαφοροποίηση εδαφικών οριζόντων. Επίσης έχουν μειωμένη οργανική ουσία. Τα Leptosols παρουσιάζουν μειωμένη ικανότητα συγκράτησης νερού και είναι καλά αποστραγγιζόμενα και γενικά ξηρά εδάφη (Sraargaren, 2001).

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι επειδή τα Fluvisols παρουσιάζουν καλύτερη συσσωμάτωση και πιο λεπτόκοκκα τεμαχίδια, παρουσιάζουν καλύτερη δομή καθώς και μεγαλύτερη ποσότητα οργανικής ουσίας παράγοντες οι οποίοι τα καθιστούν λιγότερο επιρρεπή στη υδατική διάβρωση σε σχέση με τα Leptosols. Άρα βιβλιογραφικά ενισχύεται ακόμα περισσότερο η άποψη, ότι ορθώς η εδαφική ενότητα με τα αβαθή λεπτόκοκκα εδάφη σε σχιστόλιθο (που αποτελεί 1,20% της περιοχής μελέτης και έχει πορτοκαλί - κόκκινο χρώμα στο χάρτη απεικόνισης του παράγοντα K) (Εικόνα 1) παρουσιάζει μεγαλύτερο παράγοντα διαβρωσιμότητας K και άρα κίνδυνο διάβρωσης σε σχέση με τη γενικότερη εδαφική ενότητα των fluvisols (που αποτελεί το 87,63% της περιοχής μελέτης και αποτελείται από πάρα πολύ βαθιά, λεπτόκοκκα εδάφη σε αλλουβιακές αποθέσεις και έχει πιο κιτρινο-πορτοκαλί στο χάρτη απεικόνισης του παράγοντα K).

Διαφορές με βάση της βιβλιογραφία μπορούν να παρατηρηθούν στην ευαισθησία υδατικής διάβρωσης μεταξύ Leptosols από μητρικό υλικό σχιστόλιθου και Leptosols από μητρικό υλικό ασβεστόλιθου. Στα εδάφη από ασβεστόλιθο παρατηρείται η ύπαρξη ενός καλά δομημένου επιφανειακού ορίζοντα, πλούσιου σε καλά αποσυντιθέμενη οργανική

ουσία τύπου και υψηλή βιολογική δραστηριότητα. Επίσης παρουσιάζουν ένα καλά ανεπτυγμένο αργιλικό ορίζοντα, με δομή αργιλόπηλώδης προς αργιλώδης. Γενικά ο ασβεστόλιθος ως μητρικό υλικό σχηματίζει αβαθή εδάφη λόγω του γεγονότος ότι οι ποσότητες εδαφικών υλικών που παραμένουν επί τόπου μετά τη διάλυση των ανθρακικών αλάτων είναι μικρές. Έτσι στα εδάφη αυτά το νερό μπορεί και μετακινείται σε μεγαλύτερα βάθη. Από την άλλη, σε σχιστόλιθους, τα εδάφη είναι ευάλωτα στην υδάτινη διάβρωση και η πιθανότητα αυξάνεται ακόμα περισσότερο αν το έδαφος περιέχει μεγάλο ποσοστό άμμου ή ιλύος. Στα εδάφη αυτά επικρατούν χαμηλοί ρυθμοί διεύθυνσης οι οποίοι περιορίζουν την αποθήκευση νερού στο έδαφος και παράγουν μεγάλη επιφανειακή απορροή αυξάνοντας το κίνδυνο αυλακωτής και χαραδρωτικής διάβρωσης των εδαφών αυτών (Environment Agency, 2010; Yassoglou et al., 2017).

Με βάση τα παραπάνω θα μπορούσαμε θεωρητικά να υποστηρίξουμε ότι ο παράγοντας διαβρωσιμότητας K στα Leptosols από μητρικό υλικό ασβεστόλιθου είναι μικρότερος από ότι στα Leptosols από μητρικό υλικό σχιστόλιθου. Έτσι η εδαφική ενότητα με τα αβαθή μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη σε ασβεστόλιθο η οποία καλύπτει 11,16% της περιοχής μελέτης, εμφανίζεται, μεγάλο μέρος της στο χάρτη απεικόνισης του παράγοντας K της Εικόνας 11, με μπλε έως ανοιχτό πορτοκαλί χρώμα (μειωμένες τιμές K), ενώ η περιοχή της εδαφικής ενότητας των αβαθών λεπτόκοκκων εδαφών σε σχιστόλιθο (1,20% της περιοχής μελέτης) εμφανίζεται με πιο σκούρο έως κόκκινο χρώμα (αυξημένες τιμές K).

Όσο αφορά τις ιδιότητες των εδαφών Cambisols, αυτά έχουν μια αναγνωρίσιμη δομή που παραπέμπει σε έδαφος και όχι σε βραχώδες υλικό, δεν έχουν ιδιαίτερες ποσότητες οργανικής ουσίας η στρωματοποιημένου αργίλου και βρίσκονται σε ένα στάδιο αναπτυξιακής μετάβασης από νεαρό έδαφος προς ώριμο έδαφος. Γενικά

θεωρούνται μέσης δομής εδάφη με καλή δομική σταθερότητα, υψηλό πορώδες και καλή ικανότητα συγκράτησης του νερού με παράλληλη καλή ικανότητα εσωτερικής αποστράγγισης (Spraargaren, 2001). Με βάση τα παραπάνω παρουσιάζουν μειωμένο ρυθμό διάβρωσης και θεωρητικά αναμένεται ο παράγοντας K να παρουσιάσει μειωμένες τιμές σε εδαφικά δείγματα cambisols. Άλλωστε αυτό μπορούμε να πούμε ότι απεικονίζεται και στα αποτελέσματα της εδαφολογικής μας έρευνας, όπου στο χάρτη απεικόνισης του παράγοντα K (Εικ. 11), όπου η εδαφική ενότητα με βαθιά, μετρίως λεπτόκοκκα εδάφη σε όξινα πυριγενή μητρικά υλικά γένεσης (0,01% της περιοχής μελέτης) παρουσιάζεται με πράσινο έως ανοιχτό πράσινο χρώμα (μειωμένες τιμές K) σε σχέση με τις γύρω περιοχές που παρουσιάζουν πορτοκαλί ανοιχτό έως πορτοκαλί σκούρο χρώμα (αυξημένες τιμές K).

Αντίθετα, η μη ύπαρξη μεγάλης διακύμανσης του συντελεστή K σε υπο-περιοχές της περιοχής μελέτης μας, μπορεί να οφείλεται στην ύπαρξη παρόμοιων παραγόντων που δρουν στη περιοχή μελέτης μας και επηρεάζουν ομοιόμορφα το σχηματισμό και τις ιδιότητες (σύσταση) των εδαφών. Τέτοιοι παράγοντες είναι το κλίμα, η βλάστηση, οι μικροοργανισμοί, τα φυτά, οι ομοιότητες των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής (Ekpo et al., 2022).

6.7 Μελλοντική έρευνα για την ευπάθεια στη διαβρωσιμότητα των ελληνικών εδαφών

Σήμερα μπορούμε να πούμε ότι θεωρείται επιτακτική η ύπαρξη δεδομένων για την πορεία εδαφικής διάβρωσης σε μεγάλη χωρική κλίμακα ώστε να σχεδιάζονται καλύτερα στρατηγικές και πολιτικές διαχείρισης του εδάφους. Η Ολομέλεια της

Παγκόσμιας Εδαφικής Συνεργασίας (Global Soil Partnership (GSP) Plenary Assembly) υποστηρίζει ότι ο νέος παγκόσμιος χάρτης διάβρωσης του εδάφους του ΟΗΕ θα βασίζεται σε μοντελοποίηση, σε αντίθεση με το προηγούμενες αξιολογήσεις βασισμένες σε κρίσεις εμπειρογνομόνων. Τα μοντέλα αυτά παίζουν σημαντικό ρόλο, αρκεί όμως να λαμβάνονται υπόψη και διάφοροι παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια (Stefanidis et al, 2021). Έχει βρεθεί επίσης ότι τοπογραφικοί παράγοντες, όπως είναι η κλίση απότομων πλαγιών επηρεάζουν αρκετά τη διαβρωσιμότητα των εδαφών ιδιαίτερα στην Ελλάδα η οποία παρουσιάζει τέτοιο ανάγλυφο (Ali and De Boer, 2010; Kouli et al., 2009).

Από την άλλη, υπάρχει ένταση διαφόρων κλιματικών φαινομένων σε τοπική κλίμακα. Ιδιαίτερα τα τελευταία έτος το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής φάνηκε ιδιαίτερα στη περιοχή της Θεσσαλίας με τις καταστροφικές πλημμύρες τον Σεπτέμβριο του 2023. Στη Θεσσαλία, οι διαδικασίες υποβάθμισης και διάβρωσης του εδάφους και της αλάτωσης του θα είναι πιο έντονες τα επόμενα χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής, προάγοντας έτσι την ερημοποίηση της περιοχής. Η διάβρωση στη περιοχή που προκαλούν οι αρόσεις και τα γεωργικά μηχανήματα, μια πολύ συντελεί αρκετά στο φαινόμενο ιδιαίτερα σε επικλινείς εκτάσεις της Θεσσαλίας. Θα πρέπει επομένως σε μελλοντικές έρευνες να ληφθεί υπόψη αν οι χρήσεις γης αλλάξουν και μειωθεί η κατεργασία του εδάφους στη περιοχή. Τα μοντέλα μέχρι στιγμής προβλέπουν, ότι εάν η χρήση γης παραμείνει αμετάβλητη στο μέλλον, η ερημοποίηση θα επιδεινωθεί λόγω των αρόσεων (Kairis et al., 2022).

Ένας άλλος παράγοντας που φαίνεται ότι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πλέον στα μοντέλα διάβρωσης στη περιοχή της Μεσογείου είναι ο ρυθμός απώλειας εδάφους μετά από καταστροφικές πυρκαγιές και καταστροφές δασικών οικοσυστημάτων (Stefanidis et

al., 2021). Ιδιαίτερα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι κατά τη μελέτη φαινομένων διάβρωσης σε πιο μικρές κλίμακες π.χ. περιοχή της Θεσσαλίας η χρήση εμπειρικών μοντέλων όπως το RUSLE είναι επισφαλής μιας και χρησιμοποιούν δεδομένα αναλύσεων μεγάλης κλίμακας (Kazamias & Sapountzis, 2017).

Επομένως μια μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να εστιάζει σε αναθεώρηση μοντέλων για την Ελλάδα και ειδικά για τη Θεσσαλία που εξετάζουν το φαινόμενο εδαφική διάβρωση και θα λαμβάνουν καλύτερα υπόψη τους τοπογραφικούς παράγοντες, τη κλιματική αλλαγή και τις χρήσεις γης. Για αυτό είναι αναγκαίο να υπάρξουν παρατηρήσεις και μετρήσεων σε τοπική κλίμακα οι οποίες θα δώσουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα (Kosmadakis et al., 2015). Σε μια έρευνα του (Efthimiou, 2020) η οποία έγινε χρησιμοποιώντας δεδομένα της βάσης LUCAS και του ΕΘΙΑΓΕ ο μέσος συντελεστής K στην Ελλάδα μειώθηκε κατά 22%, όταν λήφθηκε υπόψη η παράμετρος κάλυψης του εδάφους με πέτρες. Ως προτάσεις επομένως μελλοντικής έρευνας θα μπορούσαμε να προτείνουμε και τη διερεύνηση και άλλων παραμέτρων που επιδρούν στον παράγοντα διαβρωσιμότητας K . Τέτοιοι παράγοντες για παράδειγμα είναι η ενσωμάτωση στην εξίσωση K και της παραμέτρου της επιφανειακής κάλυψης του εδάφους με πέτρες.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Ανδρικοπούλου, Θ. Ζ. (2019). *Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου – η περίπτωση του Πηνειού ποταμού* (Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο). Ανάκτηση: <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/50529>

Γκοβίνα, Η. (2010). *Επανάδρυση του υγροτόπου Μεταμόρφωσης Καρδίτσας – Σχεδιασμός, υλοποίηση, ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία του νερού του υγροτόπου*. (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωπονίας, Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας). Ανάκτηση: <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/44862/9512.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Δήμος Παλαμά. (2019, Μάιος 24). *Φυσικό Περιβάλλον*. <https://www.palamas.gr/%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD/>

Δήμος Παλαμάς. (2019, Μάιος 24). *Γεωγραφική θέση*. view-source:<https://www.palamas.gr/%ce%b3%ce%b5%cf%89%ce%b3%cf%81%ce%b1%cf%86%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%b8%ce%ad%cf%83%ce%b7/>

Ειδική Γραμματεία Υδάτων. (2018). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας*. <https://www.geotee.gr/MainNewsDetail.aspx?CatID=1&RefID=21580&TabID=5>

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2000). *Κατανομή της Έκτασης της Ελλάδος κατά Βασικές Κατηγορίες Κάλυψης/Χρήσης Γης / κατά Περιφέρεια 2000*. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG51/->

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2022α). *Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα 2022 - Εκτάσεις και Παραγωγή*. (Σιτηρά για καρπό, βρώσιμα όσπρια, κτηνιοτροφικά όσπρια, βιομηχανικά φυτά, κτηνοτροφικά φυτά, πεπονοειδή και πατάτες). <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/->

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2022β). *Ετήσια Γεωργική Στατιστική Έρευνα 2022 Εκτάσεις και Παραγωγή* (Δενδρώδεις καλλιέργειες. Εκτάσεις και παραγωγή κατά Περιφέρεια και Περιφερειακή Ενότητα). <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SPG06/->

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2023). *Αποτελέσματα απογραφής Πληθυσμού - Κατοικιών ΕΛΣΤΑΤ 2021*. https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2024). *Οικονομικά Χαρακτηριστικά 2021. Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός κατά επίπεδο εκπαίδευσης. Δημοτικές Κοινότητες*. <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM04/->

Ευθυμίου, Ν. (2019). Εκτίμηση της εδαφικής διαβρωσιμότητας με τη χρήση εδαφολογικών δεδομένων σε ορεινή υδρολογική λεκάνη εκτεταμένης φυτικής κάλυψης. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, 28(6), 4–16.

Ευστρατιάδης, Α., Τέγος, Α., Καραβοκυρός, Γ., Κυριαζοπούλου, Ι., & Βαζίμας, Ι. (2006). *Σχέδιο διαχείρισης των υδατικών πόρων περιοχής Καρδίτσας*. https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/769/1/documents/report_16.pdf

Κατσαβριά-Σιωροπούλου, Χ. (2016). *Γνωριμία με τους Δήμους της Περιφερειακής Ενότητας Καρδίτσας*. <https://www.katsavria.gr/stoixeia-dimon>

Κοντοβάιου, Ε. Γ. (2014). *Ανάπτυξη Προσχεδίου Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια για το Δήμο Παλαμά*. (Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο). Ανάκτηση: https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39438/kontovaiou_eleni.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Περιφέρεια Θεσσαλίας. (2023). *Σχέδιο Αγροτικής Ανάπτυξης Θεσσαλίας*. https://www.ypethe.gr/sites/default/files/archivefiles/2023_12_01_programma-georgikis-anaptyxis-thessalias.pdf

Ψωμιάδου, Μ. (2023). *Προσομοίωση υδραυλικών παραμέτρων σε τμήμα του ποταμού Πάμισου*. (Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος και Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας και Δασολογίας Επιστημών Ξύλου και Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας). Ανάκτηση: <https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82722/28100.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Ξερόγλωσση

Ali, K. F., & de Boer, D. H. (2010). Spatially distributed erosion and sediment yield modeling in the upper Indus River basin. *Water Resources Research*, 46(8). <https://doi.org/10.1029/2009WR008762>

Boardman, J., & Poesen, J. (2006). Soil Erosion in Europe: Major Processes, Causes and Consequences. In *Soil Erosion in Europe*. <https://doi.org/10.1002/0470859202.ch36>

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agronomy Journal*, 54(5). <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x>

Brady, C. N., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (14th Edition). Pearson Prentice Hall.

Buttigieg, P. L., & Ramette, A. (2014). A guide to statistical analysis in microbial ecology: A community-focused, living review of multivariate data analyses. *FEMS Microbiology Ecology*, 90(3). <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12437>

Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18(1). <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1993.tb00438.x>

Desmet, P., & Govers, G. (1996). A GIS-procedure for the automated calculation of the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427–433.

- Djuwansah, M. R., & Mulyono, A. (2017). Assessment model for determining soil erodibility factor in Lombok island. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 27(2). <https://doi.org/10.14203/risetgeotam2017.v27.417>
- Efthimiou, N. (2018). Evaluating the performance of different empirical rainfall erosivity (R) factor formulas using sediment yield measurements. *Catena*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.037>
- Efthimiou, N. (2020). The new assessment of soil erodibility in Greece. *Soil and Tillage Research*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104720>
- Efthimiou, N., Lykoudi, E., & Karavitis, C. (2014). Soil erosion assessment using the RUSLE model and GIS. *European Water*, 47, 15–30.
- Efthimiou, N., Lykoudi, E., Panagoulia, D., & Karavitis, C. (2016). Assessment of soil susceptibility to erosion using the epn and rusle models: The case of venetikos river catchment. *Global Nest Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.30955/gnj.001847>
- Ekpo, A. E., Orakwe, L. C., Nwanna, E. C., Anizoba, D. C., & Nwachukwu, C. P. (2022). Determination of soil erodibility (K) factor derived from different geologic formations of Akwa Ibom State. *Nigerian Journal of Technology*, 40(6). <https://doi.org/10.4314/njt.v40i6.12>
- El-Swaify, S., & Dangler, E. (1976). Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In G. Foster (Ed.), *Soil Erosion Prediction and Control* (pp. 105–114). Soil and Water Conservation Society.
- Environment Agency. (2010). Think Soils. *Think Soils*. <https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Imported%20Publication%20Docs/ThinkSoils.pdf>
- Evans, R. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. *Soil Erosion*.
- Ferreira, C. S. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., & Kalantari, Z. (2022). Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences. In *Science of the Total Environment* (Vol. 805). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150106>
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil & Water Conservation*, 36(6).
- Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Gandasmita, K. (1987). *Contribution to Geo Information System Operation for Prediction of Erosion Applied to a Large Catchment in South Sumatra, Indonesia*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Ghosal, K., & das Bhattacharya, S. (2020). A Review of RUSLE Model. In *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* (Vol. 48, Issue 4). <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0>

- Gitas, I. Z., Douros, K., Minakou, C., & Silleos, G. N. (2009). Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL EProceedings*, 8(5).
- Grillakis, M. G., Polykretis, C., & Alexakis, D. D. (2020). Past and projected climate change impacts on rainfall erosivity: Advancing our knowledge for the eastern Mediterranean island of Crete. *Catena*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104625>
- Guerra, C. A., Maes, J., Geijzendorffer, I., & Metzger, M. J. (2016). An assessment of soil erosion prevention by vegetation in Mediterranean Europe: Current trends of ecosystem service provision. *Ecological Indicators*, 60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.043>
- Gunawan, G., Dwita, S., Herr, S., & Sulostiwemi, W. (2013). Soil Erosion Estimation Based on GIS and Remote Sensing for Supporting Integrated Water Resources Conservation Management. *International Journal of Technology*, 2(3), 147–156.
- Gupta, S., Borrelli, P., Panagos, P., & Alewell, C. (2024). An advanced global soil erodibility (K) assessment including the effects of saturated hydraulic conductivity. *Science of the Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168249>
- Hatten, J., & Liles, G. (2019). A ‘healthy’ balance – The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. In M. Busse, C. P. Giardina, D. M. Morris, & D. S. Page-Dumroese (Eds.), *Global Change and Forest Soils* (Vol. 36, pp. 373–396). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63998-1.00015-x>
- Iaich, H., Moussadek, R., Baghdad, B., Mrabet, R., Douaik, A., Abdelkrim, D., & Bouabdli, A. (2016). Soil erodibility mapping using three approaches in the Tangiers province –Northern Morocco. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(3). <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.07.001>
- Jahun, B. G., Ibrahim, R., Dlamini, N. S., & Musa, S. M. (2015). Review of Soil Erosion Assessment using RUSLE Model and GIS. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(9).
- Kairis, O., Karamanos, A., Voloudakis, D., Kapsomenakis, J., Aratzioglou, C., Zerefos, C., & Kosmas, C. (2022). Identifying Degraded and Sensitive to Desertification Agricultural Soils in Thessaly, Greece, under Simulated Future Climate Scenarios. *Land*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/land11030395>
- Kazamias, A. P., & Sapountzis, M. (2017). Spatial and temporal assessment of potential soil erosion over Greece. *European Water*, 59.
- Kirkby, M. J., & Morgan, R. P. C. (1980). *Soil Erosion*. John Wiley & Sons.
- Kosmadakis, I., Tsardaklis, P., Ioannou, K., & Zaimes, G. N. (2015). A novel fully automated soil erosion monitoring system. *Proceedings of the 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment (HAICTA 2015)*, 1498, 80–84.

- Kouli, M., Souplos, P., & Vallianatos, F. (2008). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57(3). <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1318-9>
- Kourgialas, N. N. (2021). A critical review of water resources in Greece: The key role of agricultural adaptation to climate-water effects. In *Science of the Total Environment* (Vol. 775). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145857>
- Lal, R. (2001). Soil degradation by erosion. *Land Degradation and Development*, 12(6). <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Mallinis, G., Gitas, I. Z., Tasionas, G., & Maris, F. (2016). Multitemporal Monitoring of Land Degradation Risk Due to Soil Loss in a Fire-Prone Mediterranean Landscape Using Multi-decadal Landsat Imagery. *Water Resources Management*, 30(3). <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1224-y>
- Matziaris, V., Ferentinou, M., Angelopoulou, O., Karanasiou, S., & Sakellariou, M. (2007). Landslide hazard analysis - a case study in Kerasia village (prefecture of Karditsa). *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(4). <https://doi.org/10.12681/bgsg.17095>
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30(5). <https://doi.org/10.13031/2013.30576>
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1989). Revised slope length factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(5). <https://doi.org/10.13031/2013.31192>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell Publishing.
- Myronidis, D. I., Emmanouloudis, D. A., Mitsopoulos, I. A., & Riggos, E. E. (2010). Soil Erosion Potential after Fire and Rehabilitation Treatments in Greece. *Environmental Modeling and Assessment*, 15(4). <https://doi.org/10.1007/s10666-009-9199-1>
- Okorafor, O. O., Akinbile C.O., & Adeyemo A.J. (2018). Determination of Soils Erodibility Factor (K) for Selected Sites in Imo State, Nigeria. *Resources and Environment*, 8(1), 6–13.
- Orgiazzi, A., & Panagos, P. (2018). Soil biodiversity and soil erosion: It is time to get married: Adding an earthworm factor to soil erosion modelling. *Global Ecology and Biogeography*, 27(10). <https://doi.org/10.1111/geb.12782>
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klikc, A., Rousseva, S., Perčec Tadić, M., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., & Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, 801–814.
- Panagos, P., Ballabio, C., Meusburger, K., Spinoni, J., Alewell, C., & Borrelli, P. (2017). Towards estimates of future rainfall erosivity in Europe based on REDES and WorldClim datasets. *Journal of Hydrology*, 548. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.006>

- Panagos, P., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2015). A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences (Switzerland)*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science and Policy*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., & Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of the Total Environment*, 479–480(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>
- Peter, D., Balabanis, P., & Rubio, J. L. (1995). Mediterranean desertification and the vegetation cover. In *Desertification in a European context: physical and socioeconomic aspects. European Commission Report EUR 15415* (pp. 169–194). European Commission.
- Poesen, J., & Lavee, H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, 23(1–2). [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(94\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0341-8162(94)90050-7)
- Poesen, J. W. A., & Hooke, J. M. (1997). Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21(2). <https://doi.org/10.1177/030913339702100201>
- Pyrgiotis, L., Koukis, G., & Sabatakakis, N. (2007). Rainfall and landslides in Karditsa county (Greece): a statistical approach. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(4). <https://doi.org/10.12681/bgsg.17099>
- Qian, M., Zhou, W., Wang, S., Li, Y., & Cao, Y. (2022). The Influence of Soil Erodibility and Saturated Hydraulic Conductivity on Soil Nutrients in the Pingshuo Opencast Coalmine, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph19084762>
- Rawls, W. J., Brakensiek, C. L., & Saxton, K. E. (1982). Estimation of soil water properties. *Transactions - American Society of Agricultural Engineers*, 25(5). <https://doi.org/10.13031/2013.33720>
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In *Agricultural Handbook No. 703*.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., & Porter, J. P. (1991). RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30–33.
- Richter, G., & Negendank, J. F. W. (1977). SOIL EROSION PROCESSES AND THEIR MEASUREMENT IN THE GERMAN AREA OF THE MOSELLE RIVER. *Earth Surf Process*, 2(2–3). <https://doi.org/10.1002/esp.3290020217>

- Robinson, N. (1999). The European union's environmental agenda. *Environmental Politics*, 8(2). <https://doi.org/10.1080/09644019908414474>
- Roose, E. J. (1978). Approach to the Definition of Rain Erosivity and Soil Erodibility in West Africa. In M. de Boodt & D. Gabriels (Eds.), *Assessment of Erosion Chichester*. John Wiley & Sons.
- Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., & Tsagaratos, P. (2008). An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. *Landslides*, 5(3). <https://doi.org/10.1007/s10346-008-0117-4>
- Rozos, D., Skilodimou, H. D., Loupasakis, C., & Bathrellos, G. D. (2013). Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 70(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2390-3>
- Salumbo, A. M. de O. (2020). A Review of Soil Erosion Estimation Methods. *Agricultural Sciences*, 11(08). <https://doi.org/10.4236/as.2020.118043>
- Senanayake, S., Pradhan, B., Huete, A., & Brennan, J. (2020). A review on assessing and mapping soil erosion hazard using geo-informatics technology for farming system management. In *Remote Sensing* (Vol. 12, Issue 24). <https://doi.org/10.3390/rs12244063>
- Sharpley, A. N., & Williams, J. R. (1990). EPIC—erosion/productivity impact calculator. *U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin*, 1768.
- Shougang, Z., Na, L., & Ruishe, Q. (2014). The Application and Study of GIS in Soil Erosion Mode. *Advances in Sciences and Engineering*, 6(2).
- Sigalos, G., Loukaidi, V., Dasaklis, S., & Alexouli-Livaditi, A. (2010). ASSESSMENT OF THE QUANTITY OF THE MATERIAL TRANSPORTED DOWNSTREAM OF SPERCHIOS RIVER, CENTRAL GREECE. *Bulletin of the Geological Society of Greece. Proceedings of the 12th International Congress.*, 43(2). <https://doi.org/10.12681/bgsg.11239>
- Soil Survey Staff. (2022). . *Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 6.0. Kellogg Soil Survey Laboratory methods manual*. . U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Spaargaren, O. (2001). Major Soils of the World. *International Centre for Theoretical Physics*, 5(April).
- Stefanidis, S., Alexandridis, V., Chatzichristaki, C., & Stefanidis, P. (2021). Assessing soil loss by water erosion in a typical mediterranean ecosystem of Northern Greece under current and future rainfall erosivity. *Water (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/w13152002>
- Stefanidis, S., Alexandridis, V., Spalevic, V., & Mincato, R. L. (2022). Wildfires effects on soil erosion dynamics: the case of 2021 megafires in Greece. *Agriculture and Forestry*, 68(2). <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.68.2.04>
- Thornes, J. B. (1995). Mediterranean desertification and the vegetation cover . In R. Fantechi, D. Peter, P. Balabanis, & J. L. and Rubio (Eds.), *Desertification in a European*

context: physical and socioeconomic aspects. *European Commission Report*. European Commission.

USDA-SCS. (1972). Section 4: Hydrology. In *National Engineering Handbook*.

van der Knijff, J. M., Jones, R. J. A., & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Europe. In *Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities: Vol. EUR 19022*.

van der Knijff, J. M., Jones, R. R. J. a., Montanarella, L., & van der Knijff, J. M. (1999). Soil erosion risk assessment in Italy. *Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR 19022(EN)*.

Wang, G., Wu, B., Zhang, L., Jiang, H., & Xu, Z. (2014). Role of soil erodibility in affecting available nitrogen and phosphorus losses under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, 514. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.028>

Williams, J. R., Jones, C. A., & Dyke, P. T. (1984). A modelling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. In *Transactions - American Society of Agricultural Engineers* (Vol. 27, Issue 1). <https://doi.org/10.13031/2013.32748>

Williams, J. R., Renard, K. G., & Dyke, P. T. (1983). EPIC: a new method for assessing erosion's effect on soil productivity. *Journal of Soil & Water Conservation*, 38(5).

Wischmeier, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. v. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 26.

Wischmeier, W., & Smith, D. (1957). Factors affecting sheet and rill erosion. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 889–896. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00889>

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978a). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In *U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537*. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>

Wischmeier, W.H. & Smith, D. D. (1978b). Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., *Agriculture Handbook*, 537.

Yassoglou, N., Tsadilas, C., & Kosmas, C. (2017). *The Soils of Greece* (A. E. Hartemink, Ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53334-6>

Zarris, D., Vlastara, M., & Panagoulia, D. (2011). Sediment Delivery Assessment for a Transboundary Mediterranean Catchment: The Example of Nestos River Catchment. *Water Resources Management*, 25(14). <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9889-8>

ABSTRACT

In the present study, the soil erosion coefficient K was calculated following the methodology of the EPIC model. For this purpose, 38 different soil samples were taken and analyzed from various cultivated areas, mainly in the Municipality of Palamas, Karditsa Regional Unit. The samples were found to belong to three main size classes: fine-textured soils (Clay and Silty Clay), moderately fine-textured soils (Sandy Clay Loam, Clay Loam, and Silty Clay Loam), and medium-textured soils (Loam). The fine-textured soils had the lowest average soil erodibility factor K (mean value $K = 0.032709 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), while the medium-textured soils had the highest K value (mean value $K = 0.035968 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). The average soil erodibility factor for the entire study area is $0.032940 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. The area shows a variation in K values. Regarding the distribution of the K coefficient across the study area, a small percentage of the area, only 6.88%, has a low soil erodibility coefficient ($K = 0.023842 - 0.030466 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), represented by blue to dark green areas on the map. 38.16% of the area has a high soil erodibility coefficient ($K = 0.033518068 - 0.040401045 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), represented by light orange to red areas. The variation in the different K factor values in the study area is certainly due to the different particle size composition of the soil samples, with areas consisting of moderately fine and medium-textured soils showing high susceptibility to erosion. From the soil study of the area, we also conclude that 12.36% of the area consists of leptosols soils, which coincide on the K mapping to have a higher K than the areas with fluvisols soils. Generally, areas with leptosols soils present a higher erosion risk than areas with fluvisols.

Keywords: *soil erodibility factor K, water soil erosion, RUSLE model, EPIC model, Municipality of Palamas, Karditsa*