

**Βόλος,
2021**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ
ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**[ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ
«ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ»]**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΓΚΡΕΚΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ- ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ
ΖΙΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: Λ. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ
Ν. ΜΥΛΟΠΟΥΛΟΣ**

© 2021 ΓΚΡΕΚΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ- ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ
ΖΙΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής
(Επιβλέπων) Δρ. Βασιλειάδης Λάμπρος
Μέλος Ε.Δ.Ι.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής
(Επιβλέπων) Δρ. Μυλόπουλος Νικήτας
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Σπηλιωτόπουλος Μάριος
Μέλος Ε.Δ.Ι.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν καίρια η συμβολή ατόμων που παρά τις δυσκολίες, στάθηκαν βασικά στηρίγματα και θεωρούμε ότι είναι αναγκαίο να αναφερθούμε στη συνεισφορά τους.

Η ομαδική μας συνεργασία στο πλαίσιο του εφικτού κράτησε την ποιοτική αναφορά που το ακαδημαϊκό προσωπικό μας εμφύσησε και ελπίζουμε να είμαστε αντάξιοι των συμβούλων που είχαμε στη διαδικασία αυτή. Καταρχάς, επιθυμούμε θερμά να ευχαριστήσουμε τους εξής:

Οι επιβλέποντες κύριοι Βασιλειάδης Λάμπρος και Μυλόπουλος Νικήτας. Όποια απορία είχαμε από τη σύλληψη της έντυπης πλέον εργασίας, ήσαστε πάντα έτοιμοι να μας δώσετε προτάσεις και λύσεις και να μας θέσετε πεδίο εξέλιξης. Από καρδιάς εκφράζουμε την εκτίμησή μας και σας θεωρούμε οδηγούς στην πνευματική αναζήτηση που έλαβε χώρα στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

Επίσης, εκφράζουμε την εκτίμησή μας στον Κο Σπηλιωτόπουλο Μάριο για τη συμβολή του ως μέλος της επιτροπής εξέτασης στο στάδιο της ολοκλήρωσης αυτής και της αξιολόγησής της.

Από την προσωπική μας θέση, αντιλαμβανόμενες τη θυσία και τις ενέργειες τους για τη δική μας διάθεση και εστίαση στο σκοπό όλο αυτό το διάστημα, θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τους συγγενείς μας και τους γονείς μας. Τα εφόδια που μας έχετε παράσχει όλο αυτό τον καιρό είναι ανεκτίμητα και σας αφιερώνουμε το αποτέλεσμα ως ελάχιστο αντίτιμο όσων μας αφιερώσατε εσείς τόσα χρόνια.

Φυσικά, με την αφορμή της συμπλήρωσης θέλουμε να ευχαριστήσουμε τους φίλους και το στενό κύκλο μας που έδειξαν το καλύτερο πρόσωπο, ήταν υποστηρικτικοί και μας έδωσαν αναγκαίες στιγμές ανάπαυλας με χαμόγελο. Συνοδοιπόροι ζωής και ανεκτίμητοι βοηθοί για την εναλλαγή μεταξύ αυτοσυγκέντρωσης και ανθρώπινης επικοινωνίας.

Με χαρά και ευχάριστη κόπωση, αφιερώνουμε και στους συμφοιτητές και συμφοιτήτριες με ευχές για κάθε επιτυχία και ελπίζουμε για το καλύτερο ξεκίνημα στην επαγγελματική πορεία με την ολοκλήρωση των ακαδημαϊκών υποχρεώσεων του τίτλου σπουδών.



ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

ΓΚΡΕΚΟΥ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ- ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

ΖΙΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2021

Επιβλέποντες Καθηγητές: Δρ. Βασιλειάδης Λάμπρος, Διδάσκων

Δρ. Μυλόπουλος Νικήτας, Καθηγητής

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εδαφική διάβρωση είναι ένα από τα πιο σημαντικά και κοινά περιβαλλοντικά προβλήματα. Λόγω της αυξημένης συχνότητας εμφάνισης του φαινομένου, οι διερεύνηση του προβλήματος έχει εντατικοποιηθεί τα τελευταία χρόνια με πολλούς επιστήμονες να στρέφονται στη μελέτη του αλλά και στον εντοπισμό των κινδύνων ώστε να αντιμετωπίζονται εγκαίρως. Πολύ συχνά είναι τα προβλήματα που εντοπίζονται σε ορεινές λεκάνες απορροής ή και σε ταμιευτήρες, των οποίων η σωστή λειτουργία παρεμποδίζεται καθώς συγκεντρώνονται τεράστιοι όγκοι φερτών υλικών. Η εδαφική διάβρωση είναι μια φυσική διεργασία, η οποία δε θα πρέπει να συγχέεται με τη χημική διάβρωση, και ορίζεται ως ένα γεωλογικό φαινόμενο κατά το οποίο απομακρύνονται ανώτερα εδαφικά στρώματα κατόπιν επεισοδίων βροχόπτωσης και απορροής. Σε πολλές περιπτώσεις παράγοντας ενεργοποίησης εδαφικής διάβρωσης και αποκόλλησης, μπορεί να είναι και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις όπως αγροτικές εργασίες (όργωμα κλπ). Η διάβρωση διακρίνεται σε τρία στάδια, αυτά της αποκόλλησης, της μεταφοράς και της απόθεσης των υλικών είτε εντός είτε εκτός λεκάνης απορροής και συχνά επί του υδατορέματος.

Η εδαφική διάβρωση εμφανίζεται σε πολλές περιοχές της Μεσογείου, κι αυτό γιατί η αυξημένη δραστηριότητα και η παρέμβαση του ανθρώπου σε συνδυασμό με τα έντονα υδρολογικά φαινόμενα που προκύπτουν τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής, δρουν επιβαρυντικά. Τα προβλήματα που προκαλεί, δεν αφορούν μόνο την γεωλογική ευημερία της περιοχής (με απόσπαση εδαφών πολύ γονιμων και με θρεπτικά συστατικά, ερημοποίηση κ.α) αλλά και την αγροτική δραστηριοποίηση με τα εδάφη να μην παράγουν ικανοποιητικά λόγω υποβάθμισής τους.

Η απαίτηση που προέκυψε για την πρόβλεψη, τον εντοπισμό και την καταπολέμηση της διάβρωσης λόγω όλων των κινδύνων και αντίκτυπων στο φυσικό περιβάλλον και τις επεκτάσεις που έχει στον τομέα της οικονομίας, ήταν μονόδρομος για την δημιουργία μαθηματικών μοντέλων που θα περιγράφουν και θα υπολογίζουν το πρόβλημα. Η επιλογές ανάμεσα σε τέτοια μοντέλα είναι πολλές, καθώς ανάλογα με το είδος της διάβρωσης, την περιοχή που επηρεάζεται και την απαίτηση που έχει ο μελετητής σε ακρίβεια αντιστοιχεί συγκεκριμένο ομοίωμα. Έτσι τα είδη των μοντέλων που προσομοιώνουν το πρόβλημα, βάσει των απαιτούμενων δεδομένων προς επεξεργασία, χωρίζονται σε εμπειρικά, στοχαστικά και προσδιοριστικά όπου και θα αναλυθούν παρακάτω.

Το πεδίο στο οποίο θα εστιάσουμε και θα μελετήσουμε ως προς την εδαφική διάβρωση, είναι οι λεκάνες απορροής των ποταμών Πάμισου, Καλέντζη και Μέγα Ρέματος, οι οποίοι βρίσκονται στο λεκάνη απορροής του Πηνειού στο υδρολογικό διαμέρισμα Θεσσαλίας. Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει εφαρμογή δύο εμπειρικών μοντέλων, το RUSLE και το ομοίωμα EPM (ή Gavrilovic). Το RUSLE ή αλλιώς ΑΠΕΕΑ (Αναθεωρημένη παγκόσμια εξίσωση εδαφικών απωλειών) εξάγει αποτελέσματα προσομοιώνοντας και οπτικοποιώντας το φαινόμενο κατόπιν

επεξεργασίας των δεδομένων σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας. Αντιθέτως το EPM (Erosion potential method) υπολογίζει την ποσότητα των φερτών υλικών που παράγονται σε μία λεκάνη απορροής. Παρ' όλα αυτά οι παράμετροι που πρέπει να υπολογιστούν για να εισαχθούν στο μοντέλο είναι πολύ εύκολο, αν όχι απαραίτητο, να επεξεργαστούν σε περιβάλλον GIS. Στην παρούσα διπλωματική θα αναλυθούν και θα εφαρμοστούν τα δύο μοντέλα και στη συνέχεια τα εξαγόμενα αποτελέσματα θα συγκριθούν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 Τοποθέτηση προβλήματος	14
1.2 Σκοπός της εργασίας και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται	15
1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	17
2.1 Υδατικό διαμέρισμα	17
2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	29
3.1 Η διεργασία της εδαφικής διάβρωσης	29
3.2 Είδη εδαφικής διάβρωσης	30
3.2.1 Υδατική διάβρωση	30
3.2.2 Αιολική διάβρωση	33
3.2.3 Ανθρωπογενής διάβρωση	33
3.3 Παράγοντες επίδρασης στην εδαφική διάβρωση	35
3.3.1 Κλιματικά στοιχεία περιοχής	35
3.3.2 Η δομή του εδάφους	35
3.3.3 Ανάγλυφο εδάφους	36
3.3.4 Βλάστηση	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΙΔΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	37
4.1 Εμπειρικά μοντέλα	37
4.2 Στοχαστικά μοντέλα	38
4.3 Το μοντέλο Rusle	38
4.3.1 Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής R	39
4.3.2 Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K	40
4.3.4 Ο συντελεστής μήκους- κλίσης LS	41
4.3.5 Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C	42
4.3.6 Ο αδιάστατος συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης P	42
4.4 Το μοντέλο εδαφικής διάβρωσης- υποβάθμισης Gavrilovic (EPM)	43
4.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του μοντέλου	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RUSLE.....	46
5.1 Εμπειρικές σχέσεις R (Διαβρωτικότητα Βροχόπτωσης).....	46
5.1.2 Τροποποιημένος Δείκτης Fournier (MFI)	47
5.1.3 Renard and Freimund (1994)	47
5.1.4 D' Asaro and Santroro (1983).....	48
5.1.5 Wischmeier and Smith (1978)	48
5.2 Διαδικασία υπολογισμού R (Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχόπτωσης) ..	49
5.3 Διαδικασία υπολογισμού K (Συντελεστής Διαβρωσιμότητας Εδάφους).....	60
5.4 Διαδικασία υπολογισμού LS (Συντελεστής Μήκους- Κλίσης).....	65
5.5 Διαδικασία υπολογισμού C (Συντελεστής Κάλυψης- Διαχείρισης γης).....	69
5.6 Διαδικασία υπολογισμού P (Συντελεστής Ελέγχου Διάβρωσης)	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ GAVRILOVIC (EPM)	83
6.1 Μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης	83
6.2 Μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης και ο συντελεστής T	89
6.3 Εξαγωγή συντελεστών x και y για τις λεκάνες απορροής	93
6.3.1 Ο συντελεστής x	94
6.3.2 Συντελεστής Y	96
6.4 Συντελεστής φ	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ	104
7.1 RUSLE	104
7.2 GAVRILOVIC	111
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ	130
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	132
ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	133
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	
Εικόνα 1 Χάρτης Υδατικών Διαμερισμάτων Ελλάδας	17
Εικόνα 2 Υδρολογική λεκάνη Καλέντζη	18
Εικόνα 3 Υδρολογική λεκάνη Μέγα Ρέματος	19
Εικόνα 4 Υδρολογική λεκάνη Πάμισου	19
Εικόνα 5 Χάρτης με τις υπολεκάνες στην περιοχή μελέτης	20
Εικόνα 6 Χάρτης κλιματικών ζωνών Ελλάδας (ΥΠΕΝ)	21
Εικόνα 7 Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στην Καρδίτσα	22
Εικόνα 8 Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στα Τρίκαλα	22
Εικόνα 9 Βροχοβαθμίδα για την περιοχή μελέτης.....	23

Εικόνα 10 Χάρτης γεωλογικού υπόβαθρου περιοχής μελέτης.....	25
Εικόνα 11 Χρήσεις γης περιοχής μελέτης	26
Εικόνα 12 Επεξήγηση κωδικών CLC18 (Πηγή ΥΠΕΝ).....	27
Εικόνα 13 Ποσοστό κάλυψης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.....	28
Εικόνα 14 Επιφανειακή διάβρωση.....	31
Εικόνα 15 Αυλακωτή διάβρωση.....	31
Εικόνα 16 Διάβρωση διασποράς.....	32
Εικόνα 17 Χαραδρωτή διάβρωση	33
Εικόνα 18 Το μοντέλο RUSLE στο model builder	46
Εικόνα 19 Ο συντελεστής διαβρωτικότητας βάσει ESDAC στην περιοχή μελέτης	49
Εικόνα 20 Βροχογράφοι και βροχόμετρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης	50
Εικόνα 21 Βροχογράφοι και βροχόμετρα εντός της περιοχής μελέτης.....	51
Εικόνα 22 Αραχνοειδές διάγραμμα για τη σύγκριση των R ανά εμπειρική εξίσωση	52
Εικόνα 23 Regression model R-H (Van der Kniff)	55
Εικόνα 24 Regression model R-H (Wischmeier & Smith)	56
Εικόνα 25 Κατανομή του R (regression Van der Kniff) στο χώρο.....	57
Εικόνα 26 Κατανομή του R (regression Wischmeier & Smith) στο χώρο.....	58
Εικόνα 27 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης από σχέση Van der Kniff et. Al. (2000).	59
Εικόνα 28 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης από σχέση Wischmeier and Smith (1978)	59
Εικόνα 29 Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή K.....	61
Εικόνα 30 Συντελεστής K (διαβρωσιμότητας εδάφους) στην περιοχή μελέτης.....	63
Εικόνα 31 Χάρτης υψηλής ανάλυσης (500 m μέγεθος κελιού κανάβου) της εδαφικής διάβρωσης που εκτιμάται μέσω του συντελεστή K στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενσωματώνοντας την κάλυψη από πετρώδεις σχηματισμούς (Panagos et al., 2014c).	64
Εικόνα 32 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K (ESDAC).....	65
Εικόνα 33 Ψηφιακός χάρτης υψομέτρων (DEM)	66
Εικόνα 34 Χάρτης διευθύνσεων ροής.....	67
Εικόνα 35 Χάρτης συγκέντρωσης ροής.....	67
Εικόνα 36 Χάρτης κλίσεων (degrees)	68
Εικόνα 37 Χάρτης συντελεστή μήκους-κλίσης (LS factor)	68
Εικόνα 38 Χρήσεις Γης στην περιοχή μελέτης (Corine Land Cover 2018).....	70
Εικόνα 39 Εργαλείο Polygon Raster	71
Εικόνα 40 Χάρτης τιμών συντελεστή C στην περιοχή μελέτης	72
Εικόνα 41 Χάρτης υψηλής ανάλυσης (100 m μέγεθος κελιού κανάβου) του συντελεστή διαχείρισης - κάλυψης γης στην Ευρώπη (Panagos et al., 2015b).	73
Εικόνα 42 Ο δείκτης NDVI στην περιοχή μελέτης.....	74
Εικόνα 43 Ο συντελεστής C σύμφωνα με την εξίσωση των Van Der Kniff et al.(1999).....	75
Εικόνα 44 Ποσοστό κάλυψης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης.....	76
Εικόνα 45 Χάρτης συντελεστή P για την περιοχή μελέτης (κατά ESDAC).....	78
Εικόνα 46 Χάρτης συντελεστή P στην περιοχή μελέτης (εμπειρικές τιμές)	79
Εικόνα 47 Το μοντέλο Gavrilonic στο model builder.....	83
Εικόνα 48 Διάγραμμα βροχοβαθμίδας.....	85
Εικόνα 49 Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας	87
Εικόνα 50 Χάρτης υπολοίπων μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (residuals).....	87
Εικόνα 51 Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (με συνδυασμό βροχοβαθμίδας- IDW	88
Εικόνα 52 Μετεωρολογικοί σταθμοί στον χάρτη	90
Εικόνα 53 Διάγραμμα υψομέτρων-θερμοκρασιών	91

Εικόνα 54 Θερμοκρασιακή κατανομή στην περιοχή μελέτης (regression model)	91
Εικόνα 55 Κατανομή υπολοίπων θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης (residuals)	92
Εικόνα 56 Τελικός χάρτης θερμοκρασιακής κατανομής στην περιοχή μελέτης (συνδυασμός μεθόδων)	92
Εικόνα 57 Χάρτης κατανομής συντελεστή χ Gavrilovic	96
Εικόνα 58 Εδαφολογικός χάρτης περιοχής	97
Εικόνα 59 Χάρτης κατανομής συντελεστή γ	99
Εικόνα 60 Χάρτης κλίσεων (%) στην περιοχή μελέτης	100
Εικόνα 61 Χάρτης δυναμικού διάβρωσης στην περιοχή μελέτης	101
Εικόνα 62 Χάρτης εδαφικών απωλειών (ESDAC)	104
Εικόνα 63 Χάρτης εδαφικής απώλειας κατά Van Der Kniff et al.(2000)	105
Εικόνα 64 Χάρτης εδαφικής απώλειας κατά Wischmeier & Smith (1978)	106
Εικόνα 65 Χάρτης τιμών της εδαφικής απώλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση(Έτος αναφοράς 2010), RUSLE2015	107
Εικόνα 66 Χάρτη συντελεστή SDR	110
Εικόνα 67 Χάρτης στερεοαπορροής	111
Εικόνα 68 Χάρτης εδαφικής απώλειας με το μοντέλο Gavrilovic	112
Εικόνα 69 Χάρτης στερεοαπορροής με το μοντέλο Gavrilovic	114
Εικόνα 70 Χάρτης εδαφικής απώλειας 2000 (Gavrilovic)	118
Εικόνα 71 Χάρτης εδαφικής απώλειας 2012 (Gavrilovic)	119
Εικόνα 72 Χάρτης χρήσεων γης 2000	120
Εικόνα 73 Χάρτης χρήσεων γης 2012	120
Εικόνα 74 Συντελεστής C 2000	121
Εικόνα 75 Συντελεστής C 2012	121
Εικόνα 76 Χάρτης εδαφικής απώλειας για CLC 2000	125
Εικόνα 77 Χάρτης εδαφικής απώλειας CLC 2012	125
Εικόνα 78 Συντελεστής P βάσει του κώδικα 2015	127
Εικόνα 79 Χάρτης εδαφικής απώλειας βάσει του κώδικα 2015	128
Εικόνα 80 Χάρτης στερεοαπορροής βάσει του κώδικα 2015	129
Εικόνα 81 Προφίλ Καμπυλότητας	131

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Υδατικά Διαμερίσματα Ελλάδας	17
Πίνακας 2 Μέση θερμοκρασία ανά λεκάνη	21
Πίνακας 3 Κλιματικές ζώνες Ελλάδας Υπ. Περιβάλλοντος και Ενέργειας)	21
Πίνακας 4 Στατιστικά στοιχεία R (ESDAC) στις 3 μελετώμενες λεκάνες	49
Πίνακας 5 Βροχογράφοι εντός της περιοχής μελέτης	51
Πίνακας 6 Βροχογράφοι και βροχόμετρα πλησίον της περιοχής μελέτης	51
Πίνακας 7 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις, στις θεσεις των σταθμών.	52
Πίνακας 8 Όροι γραμμικής συσχέτισης R factor- Υψομέτρου	53
Πίνακας 9 Διαφορά αποτελεσμάτων μοντέλου και εμπειρικών σχέσεων	56
Πίνακας 10 Σύγκριση min-max-mean του συντελεστή R από διαφορετικές σχέσεις.	60
Πίνακας 11 Τιμές του συντελεστή K (Πηγή: Ευθυμίου,2016)	62
Πίνακας 12 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή K ανά λεκάνη	63
Πίνακας 13 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή K(ESDAC) ανά λεκάνη	65

Πίνακας 14 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή συντελεστή Ls ανά λεκάνη.....	69
Πίνακας 15 Χρήσεις γης-CLC κωδικοί- συντελεστής C.....	69
Πίνακας 16 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή C.....	72
Πίνακας 17 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή C (NDVI).....	75
Πίνακας 18 Τιμές για τον συντελεστή P στην περιοχή μελέτης.....	77
Πίνακας 19 Στατιστικά στοιχεία για τον συντελεστή P ανά λεκάνη απορροής.....	78
Πίνακας 20 Μέσες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη.....	80
Πίνακας 21 Μέγιστες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη.....	81
Πίνακας 22 Ελάχιστες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη.....	82
Πίνακας 23 Ιστογράμμο και στατιστικά στοιχεία ανάγλυφου περιοχής μελέτης.....	84
Πίνακας 24 Σταθμοί και τα στοιχεία τους.....	85
Πίνακας 25 Στατιστικά στοιχεία βροχόπτωσης στην περιοχή.....	88
Πίνακας 26 Τοποθεσίες μετεωρολογικών σταθμών και μέσες ετήσιες T.....	89
Πίνακας 27 Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας στην περιοχή.....	93
Πίνακας 28 Τιμές x κατά Gavrilovic (Πηγή Κωτούλας, 2001).....	94
Πίνακας 29 Τιμές x αντιστοιχισμένες στους κωδικούς Corine (Πηγή Panagos et. Al 2014) ...	94
Πίνακας 30 Τιμές x αντιστοιχισμένες στους κωδικούς Corine (Πηγή Panagos et. Al 2014) ...	95
Πίνακας 31 Τιμές γ ανάλογα με το είδος πετρώματος (Πηγή Κωτούλας 2001).....	97
Πίνακας 32 Κατηγοριοποίηση χειμαρρικών πετρωμάτων (Πηγή Κουρακλή 2010).....	97
Πίνακας 33 Χειμαρρικά πετρώματα σύμφωνα με την ομαδοποίηση Gavrilovic.....	98
Πίνακας 34 Ταξινόμηση εδαφών και αντιστοίχιση συντελεστή γ.....	98
Πίνακας 35 Συντελεστής φ σύμφωνα με την ταξινόμηση Gavrilovic.....	99
Πίνακας 36 Αποτελέσματα ομοιώματος Gavrilovic.....	100
Πίνακας 37 Ταξινόμηση αποτελεσμάτων ομοιώματος Gavrilovic.....	101
Πίνακας 38 Παραγωγή φερτών ανά έτος στην περιοχή μελέτης.....	101
Πίνακας 39 Τιμές συντελεστών Gavrilovic ανά υπολεκάνη.....	102
Πίνακας 40 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής απώλειας (ESDAC) ανά λεκάνη.....	104
Πίνακας 41 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής απώλειας (Van der Kniff).....	105
Πίνακας 42 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής διάβρωσης (Wischmeier & Smith).....	106
Πίνακας 43 Υπολογισμός συντελεστή SDR ανά υπολεκάνη.....	109
Πίνακας 44 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή SDR ανά λεκάνη.....	110
Πίνακας 45 Στατιστικά στοιχεία στερεοαπορροής ανά λεκάνη.....	111
Πίνακας 46 Ετήσια εδαφική διάβρωση Gavrilovic.....	112
Πίνακας 47 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δύο μοντέλων σε m ³ /km ² /year.....	113
Πίνακας 48 Συντελεστής απορροής Zemljic ανά λεκάνη απορροής.....	114
Πίνακας 49 Εδαφική διάβρωση και στερεοαπορροή ανά μοντέλο.....	115
Πίνακας 50 Ετήσια εδαφική διάβρωση Gavrilovic.....	118
Πίνακας 51 Ετήσια εδαφική διάβρωση 2012 Gavrilovic.....	119
Πίνακας 52 Δεδομένα χρήσεων γης 2000.....	122
Πίνακας 53 Δεδομένα χρήσεων γης 2012.....	123
Πίνακας 54 Διαφοροποιήσεις των ποσοστών έκτασης των χρήσεων γης.....	124
Πίνακας 55 Συγκεντρωτικές μέσες τιμές της εδαφικής απώλειας για διαφορετικά σενάρια του συντελεστή C.....	126
Πίνακας 56 Δεδομένα του συντελεστή P (2018/2015).....	127
Πίνακας 57 Μέση ετήσια εδαφική απώλεια 2018 βάσει του κώδικα 2015.....	128
Πίνακας 58 Συγκεντρωτικών πίνακας τιμών για τα δυο μοντέλα.....	130

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

(1).....	39
(2).....	40
(3).....	40
(4).....	40
(5).....	42
(6).....	42
(7).....	43
(8).....	44
(9).....	44
(10).....	47
(11).....	47
(12).....	47
(13).....	47
(14).....	47
(15).....	48
(16).....	48
(17).....	48
(18).....	61
(20).....	66
(21).....	74
(22).....	74
(23).....	83
(24).....	108
(25).....	108
(26).....	108
(27).....	109
(28).....	113
(29).....	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τοποθέτηση προβλήματος

Η εδαφική διάβρωση στην οποία υπόκειται το έδαφος από την επιφανειακή απορροή όμβριων υδάτων έχει υπάρξει αντικείμενο μελέτης των ερευνητών εδώ και 200 χρόνια. Συγκεκριμένα, η εδαφική διάβρωση λεκανών απορροής που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα και η υποβάθμιση που υφίστανται είναι αξιοσημείωτος μορφογενετικός παράγοντας στις ανώτερες στρώσεις του φλοιού της γης (Μαργαρόπουλος, 1963). Γενικά, διάβρωση μιας λεκάνης απορροής είναι η διαδικασία απομάκρυνσης εδαφικού υλικού, μεταφοράς και απόθεσης αυτού σε περιοχή που μπορεί να βρίσκεται είτε εντός είτε εκτός της ίδιας. Παρουσιάζει αρκετά μεγάλο οικονομικό και τεχνικό ενδιαφέρον το συγκεκριμένο φαινόμενο αφού συνιστά χαρακτηριστικό των χειμαρρικών ρευμάτων, που όσο ξέρουμε τείνουν να παρασύρουν και να αποθέτουν φερτά υλικά σε περιοχές που μπορεί να είναι από γεωργικές έως κατοικήσιμες ή και σε πεδιάδες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα σε βοσκοτόπια ή ήδη υπάρχοντα τεχνικά έργα κ.α. (Kotoulas, 1984, Borelli et al., 2018).

Στην εδαφική διάβρωση έχουν πολλή μεγάλη επίδραση πέντε παράγοντες που απαριθμούνται στη συνέχεια:

- Το κλίμα της περιοχής και η υδρολογική κατάσταση
- Τα εδαφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής
- Το ανάγλυφο, δηλαδή η γεωμορφολογία
- Η χλωρίδα, δηλαδή η βλάστηση και οι χρήσεις γης
- 5) οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον.

Παρ' όλα αυτά οι κυριότερες αιτίες εδαφικής διάβρωσης τα τελευταία χρόνια, οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα και σε εργασίες του, όπως οι λανθασμένες γεωργικές τεχνικές, η αποψίλωση των δασών και γενικότερα η υπερεκμετάλλευση του φυσικού περιβάλλοντος με σκοπό τα κέρδη που προέρχονται από τέτοιες δραστηριότητες. Αυτού του είδους οι παρεμβάσεις από τον άνθρωπο συμβάλλουν στην γιγάντωση του ρυθμού διάβρωσης έως και 50 φορές παραπάνω (Blanco & Lal, 2010). Σημειώνεται ότι οι περιοχές που καλλιεργούνται συστηματικά φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό διάβρωσης σε σχέση με αυτές που καλλιεργούνται. (Brown 1984).

Οι επιπτώσεις της εδαφικής διάβρωσης δεν φαίνονται μόνο άμεσα, δηλαδή μέσω της υποβάθμισης που υπόκεινται τα εδάφη και κατά συνέπεια δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτό, αλλά και πιο έμμεσα με την εγκατάλειψη της αγροτικής γης λόγω αδυναμίας αξιοποίησής της. Αυτό βέβαια, αφορά τις περιοχές που έχουν υποστεί τη διάβρωση και κυρίως την απαγωγή εδαφικού υλικού. Απεναντίας στις επιπτώσεις, προστίθενται και προβλήματα που δημιουργούνται από την απόθεση των φερτών σε ταμειυτήρες κυρίως αλλά και σε υδατορέματα, καθώς στην δεύτερη περίπτωση χάνεται η μεταφορική ικανότητα πλημμυρικών όγκων. Αυτό συνεπάγεται

την υπερχειλίση των ρεμάτων και την καταστροφή υποδομών, όπως λιμάνια ή γέφυρες που συνήθως βρίσκονται κοντά.

Στην περίπτωση των ταμιευτήρων, το πρόβλημα είναι στην πλήρωση του αποθηκευτικού τους χώρου με φερτά υλικά με ό,τι αυτό συνεπάγεται. Ακόμα πιο σύνθετο γίνεται το πρόβλημα όταν οι ταμιευτήρες συνδέονται με κάποιο φράγμα καθώς οι πιέσεις που δέχονται αυξάνονται, μειώνοντας την διάρκεια ζωής του έργου αφενός και αυξάνοντας τα κόστη συντήρησης ή επισκευής αφετέρου.

Στην Ελλάδα ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην εδαφική διάβρωση είναι η καταστροφή των δασών (Ντάφης, 1986). Αυτή επέρχεται από δραστηριότητες όπως η υλοτομία, η υπερβόσκηση, η συνεχής και επεκτεινόμενη αστικοποίηση και η μεταλλεία- εξόρυξη σε φυσικά περιβάλλοντα. Ένας άλλος παράγοντας υποβάθμισης των δασών, είναι οι πυρκαγιές που είναι αρκετά συχνές και ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. 65% οφείλονται σε εμπρησμούς, ενώ οι υπόλοιπες σε καλώδια της ΔΕΗ και σε αμέλεια.

1.2 Σκοπός της εργασίας και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται

Η εκτίμηση μεταφοράς φερτών υλικών και γενικότερα της υποβάθμισης λεκανών που βρίσκονται σε μεγάλα υψόμετρα είναι αρκετά δαπανηρή διαδικασία και με υψηλές απαιτήσεις σε υλικοτεχνικό εξοπλισμό, χρόνο αλλά και πληροφορία που τις περισσότερες φορές δεν είναι διαθέσιμη. Έτσι, οι εκτιμήσεις θα πρέπει να εστιάζουν σε πειραματικές λεκάνες που για να παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα και στον ελλαδικό χώρο, θα πρέπει να είναι μεγάλες και ακριβείς σε παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα, από τις κατακρημνίσεις έως τη γεωλογική τους πληροφορία και τις χρήσεις γης. Καθώς η επιτόπια μελέτη και η ανάκτηση όλων των δεδομένων είναι δύσκολη έως αδύνατη για να υπολογιστεί η εδαφική διάβρωση που υφίστανται οι λεκάνες προς μελέτη, υπεισέρχονται τα μαθηματικά μοντέλα όσον αφορά την έρευνα. Στην παρούσα διπλωματική ο σκοπός είναι να καθιερωθεί ένα πλαίσιο υπολογισμού και προσομοίωσης της εδαφικής διάβρωσης, με αποτελέσματα όμως που δεν περιορίζονται σημειακά, αλλά σε επιφανειακό επίπεδο και με χωρική και χρονική μεταβλητότητα.

Για να γίνει η διαστασιολόγηση του φαινομένου χωρίς μετρήσεις και έρευνα πεδίου, επιλέγονται τα μοντέλα RUSLE (Renard et. Al. 1997) και EPM ή αλλιώς Gavrilovic (Gavrilovic, 1998) τα οποία αναλύονται παρακάτω. Συγκεκριμένα στην περίπτωση της RUSLE, δίνεται βάση στο R, που είναι και η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης, δηλαδή το μέγεθος της επίδρασης που έχει η βροχή στην ανάπτυξη του φαινομένου. Η απαίτηση σε δεδομένα βροχογράφων είναι χρονική και ποιοτική, που σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι μικρό το βήμα καταγραφής του βροχογράφου και οι μετρήσεις να έχουν εύρος μεγαλύτερο των δώδεκα ετών για να είναι σωστή η εφαρμογή αλλά και τα αποτελέσματα αξιόπιστα. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού του R και τα έτη καταγραφής των βροχογράφων και βροχομέτρων, όσον αφορά τις όμβριες καμπύλες που αντλήθηκαν από το ΥΠΕΚΑ (Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλυμμήρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας), καλύπτουν από 12 έως 74 έτη, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις τα έτη καταγραφής είναι 21.

Όλα τα δεδομένα που ανακτώνται για την εφαρμογή των δύο μοντέλων, επεξεργάζονται σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας και ειδικότερα στο πρόγραμμα ArcMap του ArcGis. Η πληροφορία που χρησιμοποιούμε είναι σε ψηφιακή μορφή και απεικονίζεται σε χάρτες, είτε ως εικόνα (αρχεία raster) είτε χωρικά ως διάνυσμα (vectors). Τα δεδομένα των βροχογράφων που επεξεργαζόμαστε, εισάγονται από το excel στο ArcMap μετά την σειρά ενεργειών που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτά.

1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Στο 2^ο κεφάλαιο περιέχονται στοιχεία που αφορούν την περιοχή μελέτης και συνδέονται με το πρόβλημα όπως αυτό έχει τοποθετηθεί.

Στο 3^ο κεφάλαιο περιγράφεται το φαινόμενο της εδαφικής διάβρωσης, τα είδη και οι παράγοντες επίδρασης.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρατίθενται και αναλύονται τα είδη μοντέλων που χρησιμοποιούνται συχνότερα για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο αναλύονται τα δεδομένα και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται προκειμένου να εφαρμοσθούν τα μοντέλα.

Στο 6^ο κεφάλαιο συγκεντρώνονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των μοντέλων, στη συνέχεια σχολιάζονται

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Υδατικό διαμέρισμα

Οι 3 υδρολογικές λεκάνες που μελετώνται είναι αυτές των ποταμών Πάμισου, Καλέντζη και Μέγα Ρέματος οι οποίες βρίσκονται στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας. Ο Καλέντζης κι ο Πάμισος αποτελούν κύριους ποταμούς του ΥΔ με μήκος 58 km και 25 km αντίστοιχα ενώ το Μέγα Ρέμα χαρακτηρίζεται ως δευτερεύον υδάτινο σώμα με έκταση περίπου 44km. Το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας είναι ένα από τα 14 της Ελλάδας, έχει έκταση 13.377 km² και μέσο υψόμετρο περί τα 427 m και περιλαμβάνει δύο λεκάνες απορροής, αυτή της Θεσσαλίας και αυτή των Ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου.



Εικόνα 1 Χάρτης Υδατικών Διαμερισμάτων Ελλάδας

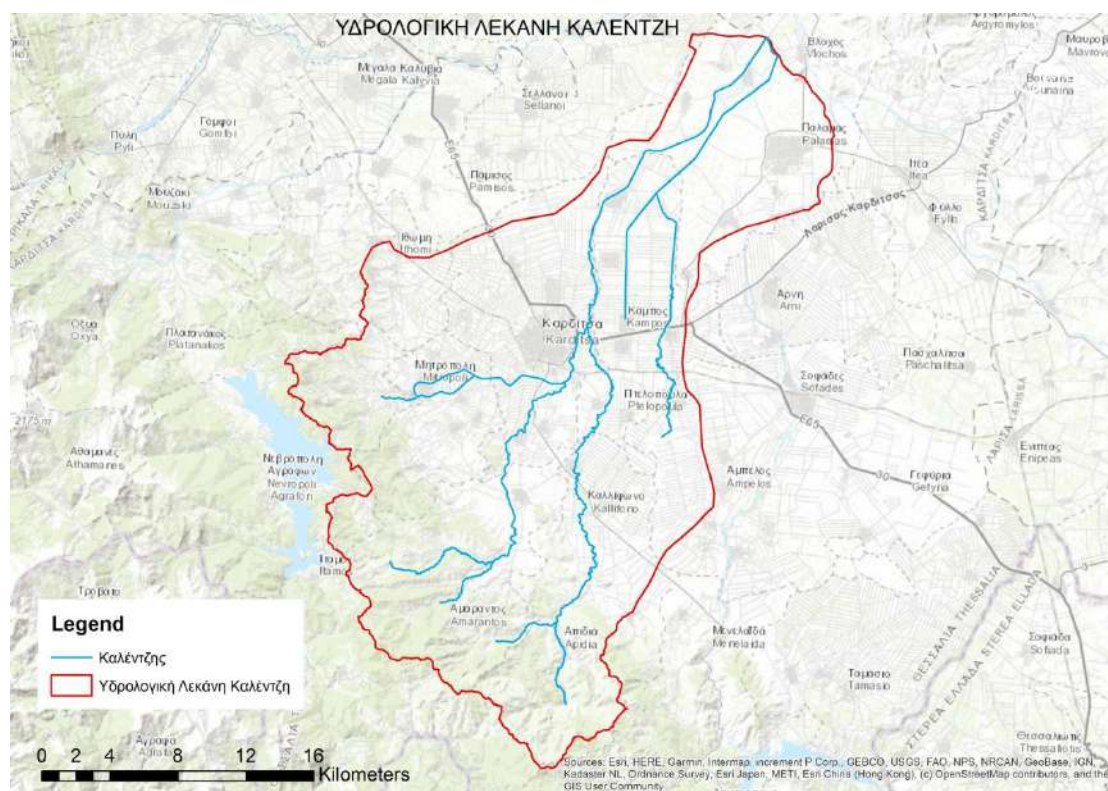
Πίνακας 1 Υδατικά Διαμερίσματα Ελλάδας

01 Δυτ.	04 Δυτ. Στερεάς	07 Ανατ.	10 Κεντρ.	13 Κρήτης
---------	-----------------	----------	-----------	-----------

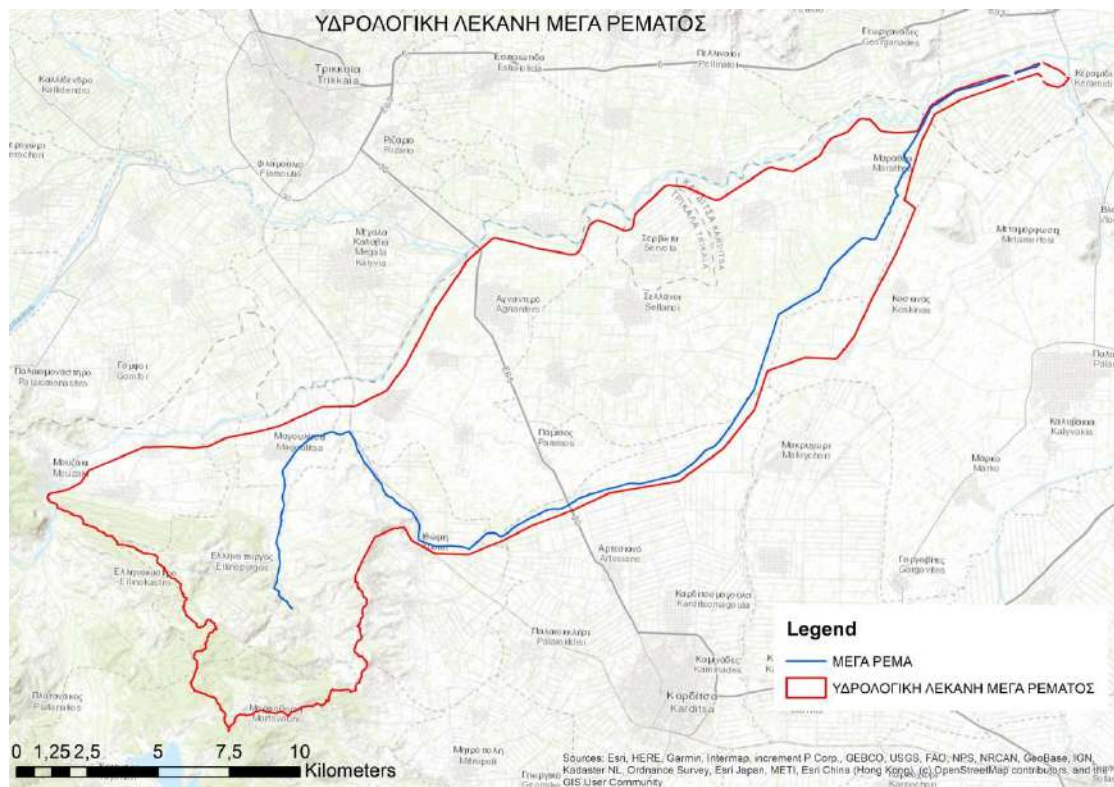
Πελοποννήσου	Ελλάδας	Στερεάς Ελλάδας	Μακεδονίας	
02 Βόρειας Πελοποννήσου	05 Ηπείρου	08 Θεσσαλίας	11 Ανατ. Μακεδονίας	
03 Ανατ. Πελοποννήσου	06 Αττικής	09 Δυτ. Μακεδονίας	12 Θράκης	

Το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας είναι το 8^ο και τα όριά του σχεδόν συμπίπτουν με τα διοικητικά. Περιλαμβάνει επίσης ένα πολύ μικρό μέρος της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας και της Στερεάς Ελλάδας. Οι λεκάνες που μελετάμε βρίσκονται στο Νομό Καρδίτσας, και εκτείνονται νοτιο-ανατολικά της οροσειράς Πίνδου. Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού, συγκαταλέγεται και η υπολεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού, η οποία συναντάται συχνά στη βιβλιογραφία. Λόγω της

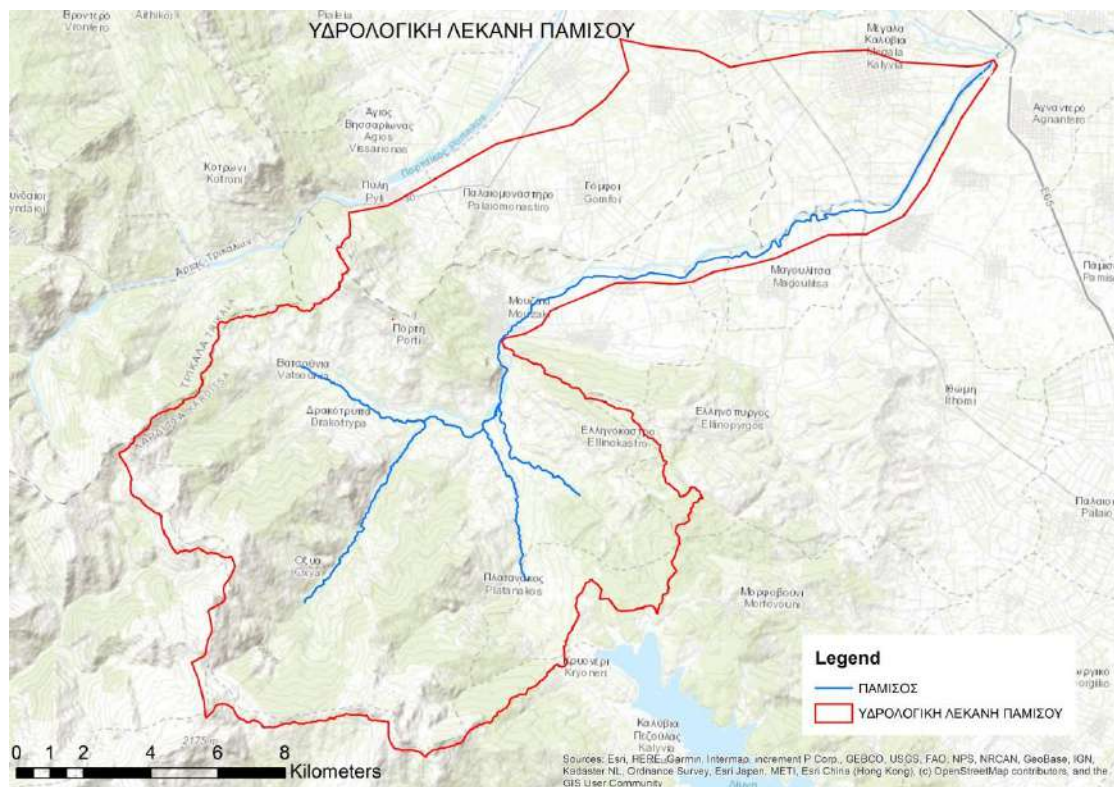
μικρής έκτασης των υδρολογικών λεκανών που μελετάμε, οι πληροφορίες που θα παρατεθούν, θα αφορούν και τις τρεις υδρολογικές λεκάνες και θα αντιστοιχούν σε κλίμα, γεωλογία, γεωμορφολογία και υδρολογικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2 Υδρολογική λεκάνη Καλέντζη



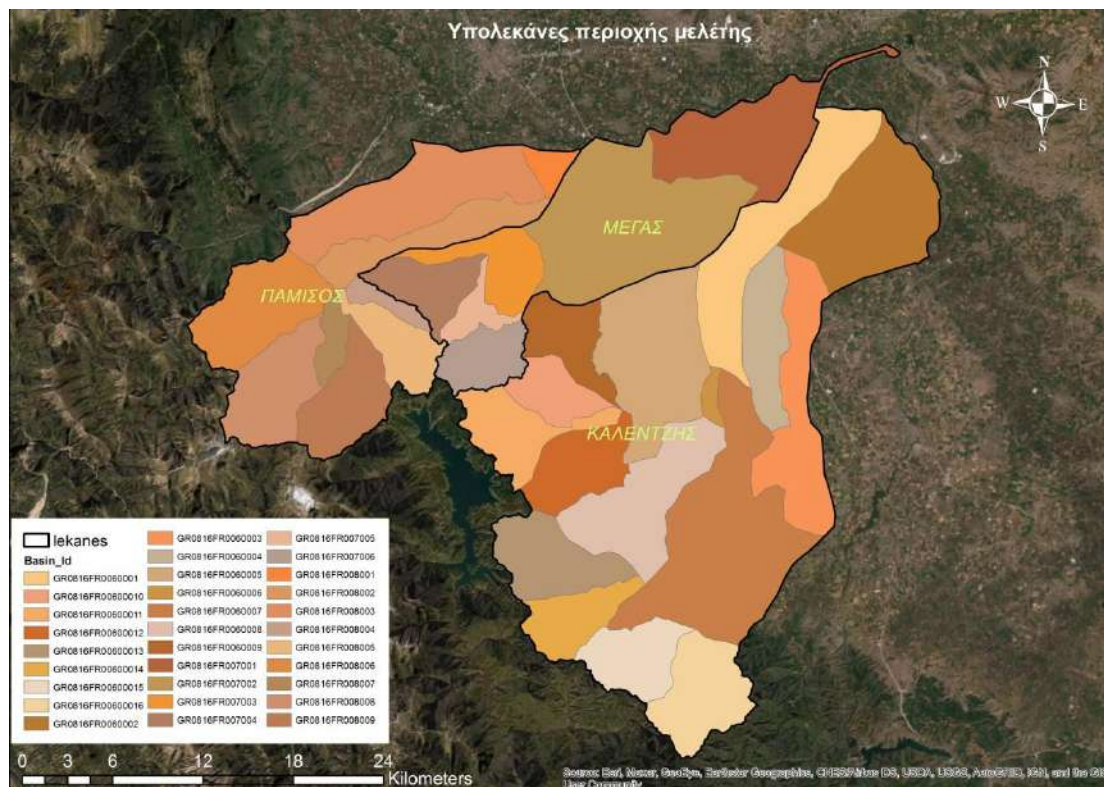
Εικόνα 3 Υδρολογική λεκάνη Μέγα Ρέματος



Εικόνα 4 Υδρολογική λεκάνη Πάμισου

Στην περιοχή εντοπίζονται πέρα από τις τρεις λεκάνες που μελετάμε και κάποιες υπολεκάνες. Στη λεκάνη του Καλέντζη υπάρχουν 16 υπολεκάνες, στου Μέγα Ρέματος υπάρχουν 5 και στη λεκάνη του Πάμισου 8. Αυτό στη συνέχεια της εργασία θα αποδειχθεί πολύ χρήσιμο καθώς τα διάφορα μοντέλα θα αναχθούν και μελετηθούν σε επίπεδο υπολεκάνης. Οι ελάχιστες, μέγιστες και μέσες τιμές εδαφικής διάβρωσης για κάθε μοντέλο αντίστοιχα, αλλά και οι απαιτούμενες παράμετροι θα

προσδιοριστούν εντός αυτών. Έτσι θα είναι δυνατή η διαχείριση των διάφορων παραγόντων που επηρεάζουν το μέγεθος της εδαφικής διάβρωσης που εμφανίζεται σε κάθε λεκάνη και φυσικά θα γίνονται πιο εύκολα αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο αυτή συμβαίνει. Ο χάρτης με τις λεκάνες στην περιοχή μελέτης υποδιαιρεμένες φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 5 Χάρτης με τις υπολεκάνες στην περιοχή μελέτης

2.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Το κλίμα είναι ηπειρωτικό λόγω των ορεινών όγκων που βρίσκονται στην περιοχή, με ψυχρότερους μήνες τον Ιανουάριο και Φλεβάρη με τη θερμοκρασία να πέφτει υπό του μηδενός, ενώ θερμότερους τον Ιούλιο και Αύγουστο. Το μέσο υψόμετρο των λεκανών επηρεάζει τις μέσες θερμοκρασίες που επικρατούν, με την υδρολογική λεκάνη του Πάμισου να έχει το μεγαλύτερο μέσο υψόμετρο και κατά συνέπεια τις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η αντίθεση που παρουσιάζεται στις θερμοκρασίες που επικρατούν στις λεκάνες αυτές οφείλεται στην ύπαρξη ορεινών όγκων (Πίνδος και Άγραφα στα νοτιο δυτικά) και πεδιάδων στα βορειο-ανατολικά. Παρόλα αυτά οι μέσες θερμοκρασίες ανά λεκάνη δεν απέχουν πολύ μεταξύ τους όπως βλέπουμε στον επόμενο πίνακα.

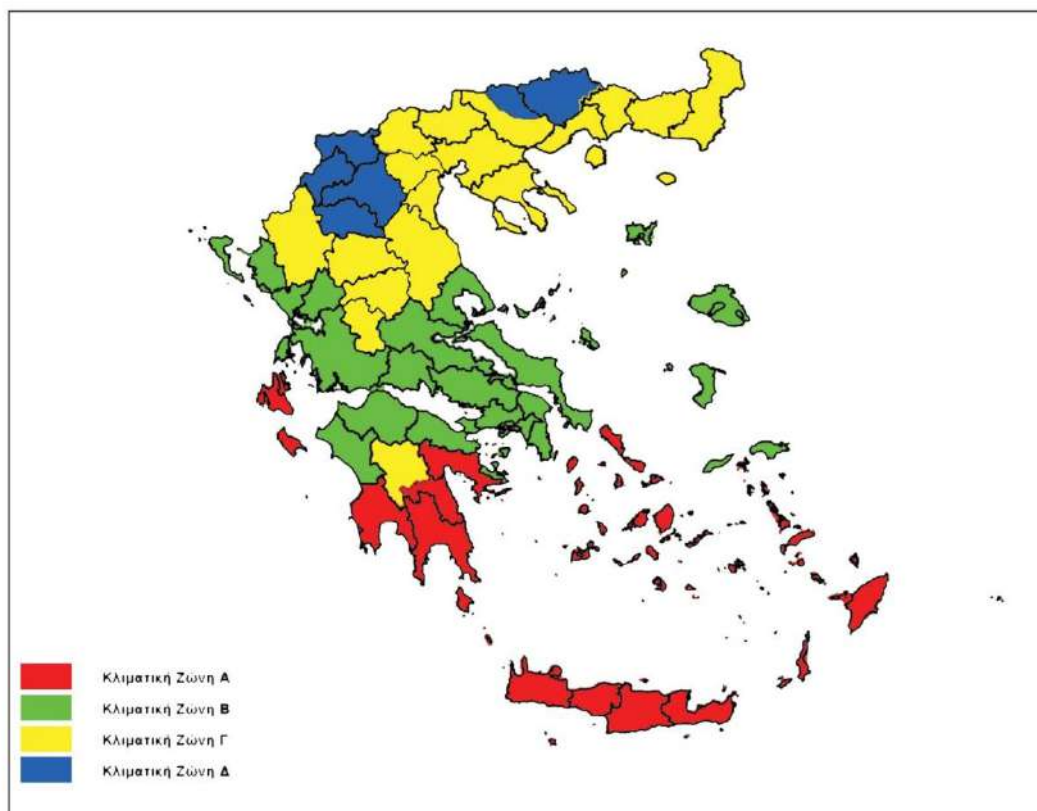
Πίνακας 2 Μέση θερμοκρασία ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ
1	ΜΕΓΑΣ	15,006
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	13,495
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	14,305

Η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στη ζώνη 3 με βάση τον χάρτη κλιματικών ζωνών της Ελλάδας, με την πρώτη να είναι η ψυχρότερη και την τέταρτη η θερμότερη. Η κατάταξη μπορεί να αλλάζει ανάλογα με το υψόμετρο συγκεκριμένων περιοχών, με αυτές που βρίσκονται σε υψόμετρο άνω των 600 μέτρων να κατατάσσονται στην αμέσως ψυχρότερη ζώνη από αυτή που βρίσκονται. Στη δική μας περίπτωση, το μέσο υψόμετρο κάθε λεκάνης απορροής δεν ξεπερνά τα 600 μέτρα.

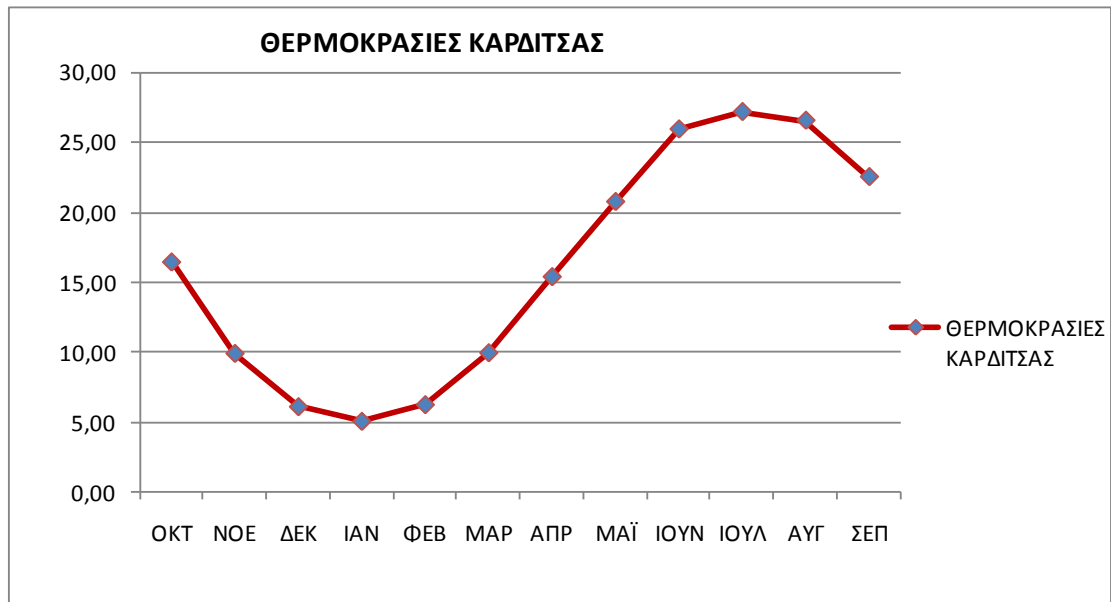
Πίνακας 3 Κλιματικές ζώνες Ελλάδας Υπ. Περιβάλλοντος και Ενέργειας)

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	ΝΟΜΟΙ
ΖΩΝΗ Α	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Λασιθί, Κυκλάδες, Δωδεκάνησα, Σάμος, Μεσσηνία, Λακωνία, Αργολίδα, Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Ιθάκη
ΖΩΝΗ Β	Κορινθία, Ηλεία, Αχαΐα, Αιτωλοακαρνανία, Φθιώτιδα, Φωκίδα, Βοιωτία, Αττική, Εύβοια, Μαγνησία, Σποράδες, Λέσβος, Χίος, Κέρκυρα, Λευκάδα, Θεσπρωτία, Πρέβεζα, Άρτα
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδία, Ευρυτανία, Ιωάννινα, Λάρισα, Καρδίτσα, Τρίκαλα, Πιερία, Ημαθία, Πέλλα, Θεσσαλονίκη, Κιλίκι, Χαλκιδική, Σέρρες, Καβάλα, Δράμα, Θάσος, Σαμοθράκη, Ξάνθη, Ροδόπη, Έβρος
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενά, Κοζάνη, Καστοριά, Φλώρινα



Εικόνα 6 Χάρτης κλιματικών ζωνών Ελλάδας (ΥΠΕΝ)

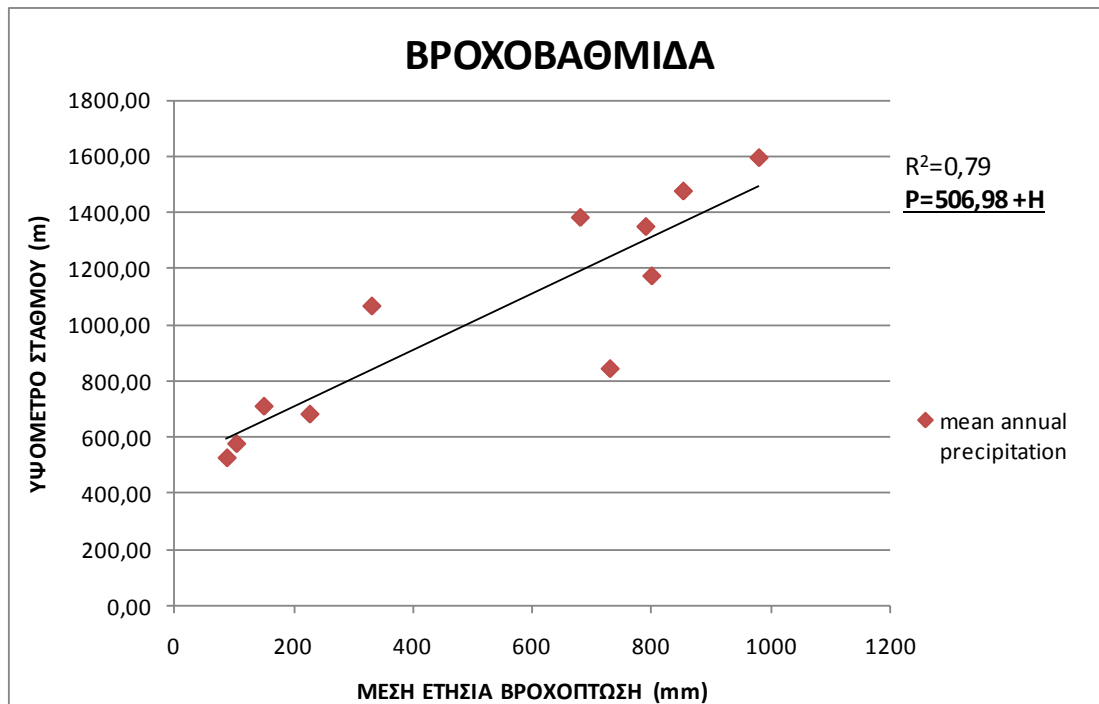
Οι βροχογράφοι που βρίσκονται εντός της περιοχής είναι στην Καρδίτσα ο ένας και στα Τρίκαλα ο άλλος. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που κατεγράφησαν για 20 χρόνια λειτουργίας φαίνονται παρακάτω, όπως και το διάγραμμα θερμοκρασίας-ύψους. Στην περίπτωση των βροχοπτώσεων θα καταρτιστεί η βροχοβαθμίδα έτσι όπως αυτή έχει υπολογιστεί από όλους τους βροχογράφους της περιοχής για τις ανάγκες των μοντέλων RUSLE και GAVRILOVIC .



Εικόνα 7 Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στην Καρδίτσα



Εικόνα 8 Διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών στα Τρίκαλα



Εικόνα 9 Βροχοβαθμίδα για την περιοχή μελέτης

Το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας για τον λόγο που αναφέρεται παραπάνω (γεωμορφολογική ποικιλότητα), είναι αρκετά μεγάλο και συνήθως ξεπερνάει τους 20 βαθμούς κελσίου. Ο χειμώνας χαρακτηρίζεται ως δριμύς και σε αυτό συμβάλλουν και οι άνεμοι οι οποίοι προερχόμενοι από οροσειρές της Πίνδου, με συνέπεια να είναι ψυχροί και να ενισχύουν την ανάπτυξη αρκετά χαμηλών θερμοκρασιών. Το καλοκαίρι η ατμόσφαιρα είναι πολύ ξηρή (<50%) ενώ το χειμώνα μετατρέπεται σε υγρή με υψηλά ποσοστά υγρασίας (>80%). Το μικροκλίμα της περιοχής, λόγω μεγάλης απόστασης από τη θάλασσα, είναι ιδιαίτερα ζεστό το καλοκαίρι με υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουν ανέβει ακόμα περισσότερο. Η συννεφοκάλυψη τους καλοκαιρινούς μήνες είναι πολύ μικρή, ο καιρός συνήθως χαρακτηρίζεται ως αίθριος, σε αντίθεση με τους χειμερινούς μήνες κατά τους οποίους στη κλίμακα 1-10 η συννεφοκάλυψη υπολογίζεται στο 6. Η διεύθυνση των ανέμων στην περιοχή είναι αρκετά σύνθετο να προσδιοριστεί καθώς το ανάγλυφο θεωρείται πολυσχιδές. Η χιονοπτώσεις είναι αρκετά συχνό φαινόμενο στα μεγάλα υψόμετρα, ενώ οι κατακρημνίσεις κυμαίνονται σε φυσιολογικά επίπεδα σε ορεινά και πεδινά, όπως φαίνεται και στην βροχοβαθμίδα παραπάνω.

2.3 Γεωμορφολογία και γεωλογία περιοχής

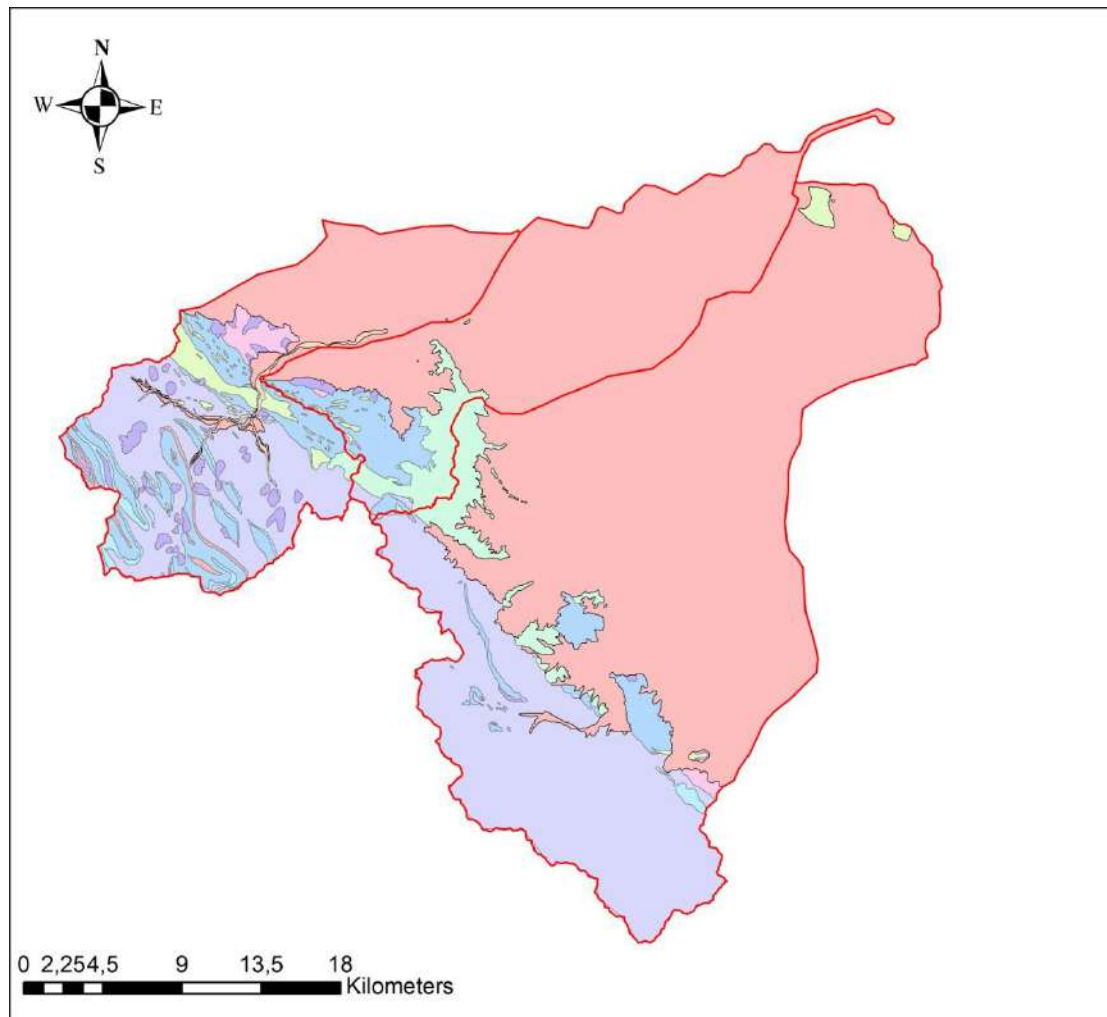
Το μεγαλύτερο μέρος της περιφέρειας Καρδίτσας, αποτελείται από πεδινά τμήματα, όπως είναι αναμενόμενο. Σε ποσοστά μεταφράζεται ως 49%, ενώ τα καθαρά ορεινά είναι 42% και τα ημιορεινά 9%. Τα πεδινά τμήματα εντοπίζονται ανατολικά και βόρεια της περιφέρειας και τα ορεινά κυρίως δυτικά, όπου και έχει τους πρόποδες της η Πίνδος και το όρος των Αγράφων. Υδρολογική κατάσταση περιγράφεται ως γεμάτη από επιφανειακά ύδατα, καθώς από την περιοχή περνάει πλήθος ποταμών όπως ο Καλέντζης, ο Μέγας (ή Μέγα Ρέμα), ο Σοφαδίτικος και ο Ενιπέας οι οποίοι στη συνέχεια συναντώνται με τον Πηνειό και ακολουθούν την πορεία του προς τα βόρεια

μέχρι αυτός να εκβάλλει στο Αιγαίο. Το ίδιο πλούσια είναι η περιοχή και σε υπόγεια ύδατα, στα οποία οι περίοικοι έχουν πρόσβαση μέσω πηγαδιών, για την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών. Η Καρδίτσα είναι αρκετά αγροτική περιοχή και προκειμένου να αρδευτούν οι καλλιέργειες διανοίγονται βαθιές γεωτρήσεις.

Από γεωλογικής άποψης και μετά τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, οι εδαφοσειρές που εντοπίστηκαν ήταν:

- Αλλουβιακά εδάφη αποτελούμενα από υλικά αμμώδη και αμμοαργιλώδη τα οποία θεωρούνται διαπερατά αλλά με πολύ αργούς ρυθμούς
- Αλλουβιακά εδάφη αποτελούμενα από άργιλο και άμμο με μέτρια διαπερατότητα
- Και αλλουβιακά εδάφη επίσης από αργίλους και άμμο, με μέτρια διαπερατότητα και μεσαία σύσταση.

Τα παραπάνω επιδρούν έντονα στις συνθήκες αποστράγγισης, οι οποίες υπό αυτές τις συνθήκες θεωρούνται δυσμενείς. Γι' αυτό το λόγο και τα ποσοστά υγρασίας στο έδαφος θεωρούνται αρκετά υψηλά, κάτι που ωφελεί στις καλλιέργειες, αφού δεν είναι απαραίτητες πρακτικές υψηλής άρδευσης. Το έδαφος χαρακτηρίζεται ως ελλιπές σε οργανικά, αρκετά αλκαλικό και σε γενικότερες, πέρα από την μεγάλη υγρασία που το καθιστά ιδανικό για πολλές καλλιέργειες, δεν θεωρείται ικανοποιητικό. Σύμφωνα με τον υδρολιθολογικό χάρτη που εισάγαμε στο ArcMap, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης αποτελείται από κοκκώδεις τεταρτογενείς προσχωματικούς σχηματισμούς με υδατοδιαπερατότητα μέτρια έως και χαμηλή. Το αμέσως μεγαλύτερο ποσοστό γεωλογικών σχηματισμών, είναι αλπικοί-κραστικοί σχηματισμοί πολύ υψηλής διαπερατότητας και αλπικοί-ημιπερατοί χαμηλής διαπερατότητας. Τέλος ένα μικρότερο μέρος της περιοχής αποτελείται από ρωγμώδεις ιζηματογενείς σχηματισμούς χαμηλής διαπερατότητας και κοκκώδεις προσχωματικούς σχηματισμούς πολύ χαμηλής διαπερατότητας.



Legend

<all other values>

LITHOLOGY

- AMΦΙΒΟΛΙΤΙΚΟΙ - ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ
- ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΙΣ
- ΔΙΛΟΥΒΙΟ ΚΑΙ ΑΛΛΟΥΒΙΟ
- ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ
- ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ
- ΜΕΓΑΛΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ
- ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΣΕΙΡΑ
- ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΕΣ
- ΠΡΩΤΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ ΚΑΙ ΕΡΥΘΡΕΣ ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ
- ΣΕΙΡΑ ΦΑΝΑΡΙΟΥ
- ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ
- ΦΛΥΣΧΗΣ

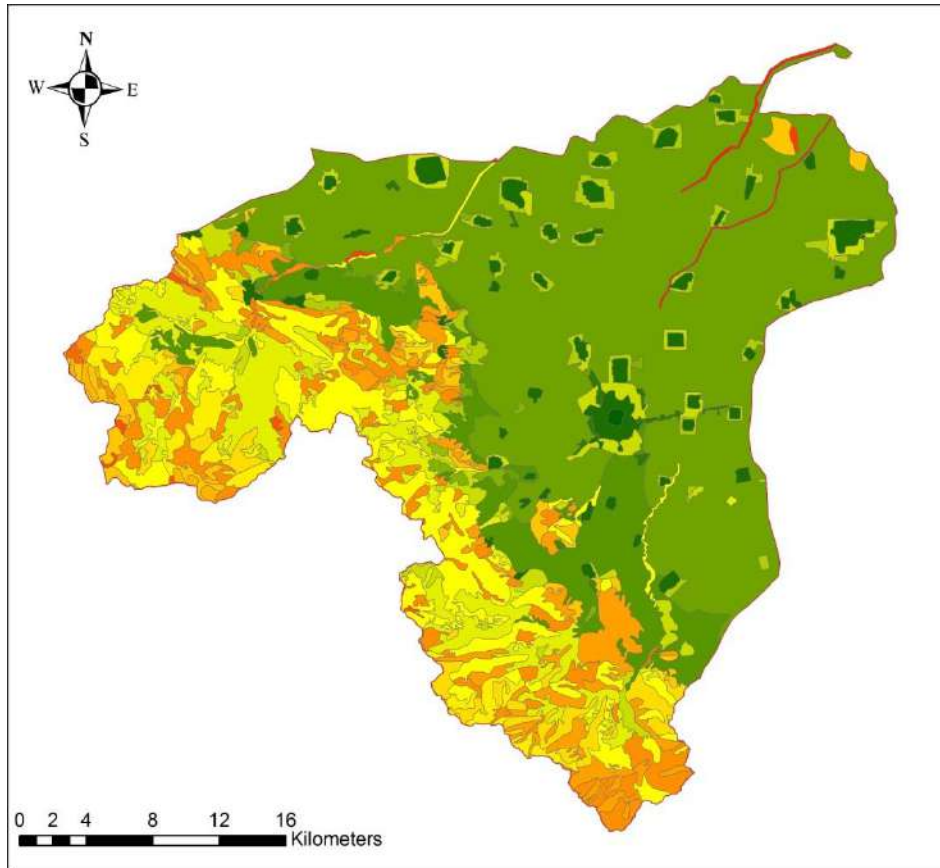


Εικόνα 10 Χάρτης γεωλογικού υπόβαθρου περιοχής μελέτης

2.4 Χρήσεις γης περιοχής μελέτης

Η περιοχή παρουσιάζει έντονη γεωργική δραστηριότητα όπως είναι αναμενόμενο σε κάθε περιοχή του Θεσσαλικού κάμπου. Η καλλιέργειες αποτελούνται επί το πλείστον από βαμβάκι, σιτηρά, καλαμπόκι, καπνά, ντομάτα, όσπρια, κηπευτικά, δημητριακά και μηδική. Η Θεσσαλία είναι πολύ γνωστή για την παραγωγή βαμβακιού καθώς

είναι η μεγαλύτερη σε επίπεδο χώρας. Από τους 6 δήμους που αποτελούν την περιφέρεια Καρδίτσας, οι έξι έχουν χαρακτηριστεί ως αγροτικού τύπου από την Ελ. Στατ. Από αυτά εξαιρείται ο Δήμος Καρδίτσας και Καρδίτσομαγούλας. Με βάση το Corine Land Cover και τον χάρτη κάλυψης που αντλήσαμε οι χρήσεις γης σύμφωνα με τους κωδικούς που επεξηγούνται στον θεματικό χάρτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος φαίνονται παρακάτω:



Legend

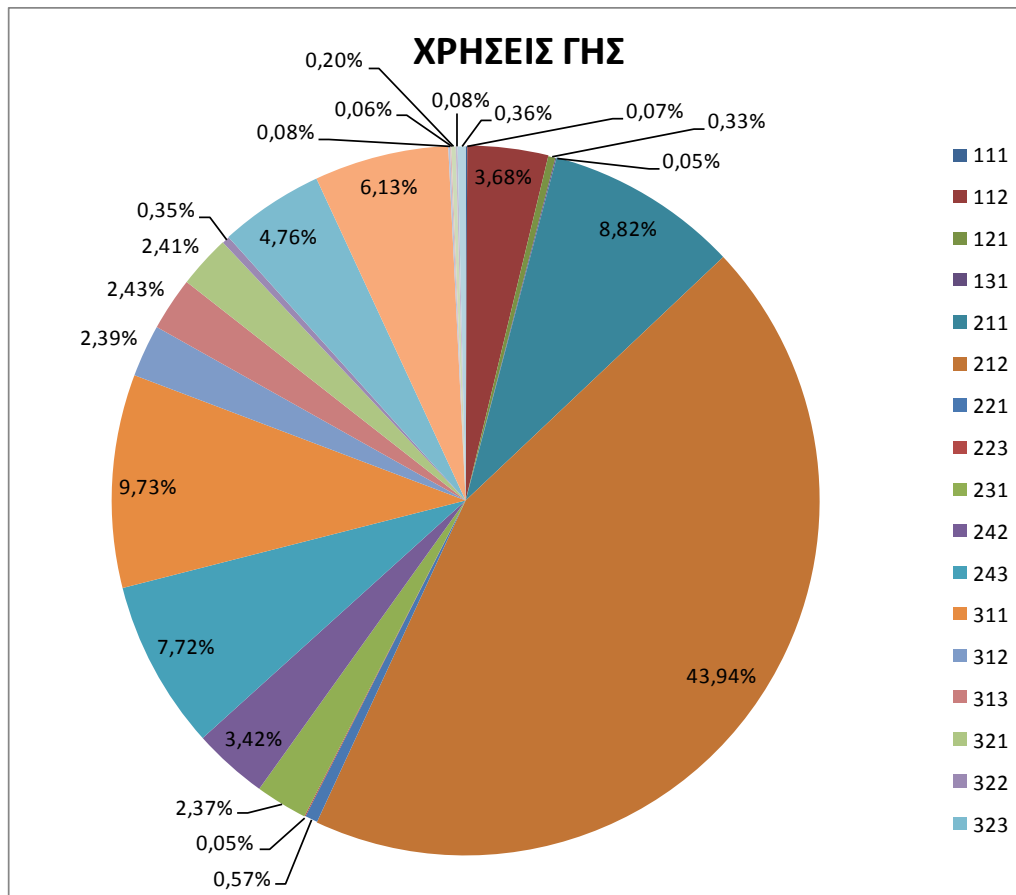
<all other values>	312
CODE_18	313
111	321
112	322
121	323
131	324
211	331
212	332
221	333
223	411
231	511
242	
243	
311	



Εικόνα 11 Χρήσεις γης περιοχής μελέτης

- 1.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ
 - 1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός
 - 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
- 1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ - ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ
 - 1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες
 - 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
 - 1.2.3 Ζώνες λιμένων
 - 1.2.4 Αεροδρόμια
- 1.3 ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ
 - 1.3.1 Χώροι εξορυξέως ορυκτών
 - 1.3.2 Χώροι απορριψέως απορριμμάτων
 - 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
- 1.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ
 - 1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου
 - 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
- 2.1 ΑΡΟΣΙΜΗ ΓΗ
 - 2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
 - 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη
 - 2.1.3 Ορυζώνες
- 2.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ
 - 2.2.1 Αμπελώνες
 - 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
 - 2.2.3 Ελαιώνες
- 2.3 ΛΙΒΑΔΙΑ
 - 2.3.1 Λιβάδια
- 2.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
 - 2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες
 - 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες
 - 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
 - 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
- 3.1 ΔΑΣΗ
 - 3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων
 - 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων
 - 3.1.3 Μικτό δάσος
- 3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ ΉΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
 - 3.2.1 Φυσικοί βοσκοτόποι
 - 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι
 - 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση
 - 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
- 3.3 ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ
 - 3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιάς
 - 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι
 - 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
 - 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις
 - 3.3.5 Παγετώνες και αέναιο χιόνι
- 4.1 ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ
 - 4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα
 - 4.1.2 Τυρφώνες
- 4.2 ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ
 - 4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι
 - 4.2.2 Αλυκές
 - 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
- 5.1 ΧΕΡΣΑΙΑ ΎΔΑΤΑ
 - 5.1.1 Υδατορρεύματα
 - 5.1.2 Επιφανειακές στάσιμου ύδατος
- 5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΎΔΑΤΑ
 - 5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες
 - 5.2.2 Εκβολές ποταμών
 - 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

Εικόνα 12 Επεξήγηση κωδικών CLC18 (Πηγή ΥΠΕΝ)



Εικόνα 13 Ποσοστό κάλυψης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

Όπως μπορούμε να δούμε στο παραπάνω γράφημα το μεγαλύτερο ποσοστό στην περιοχή μελέτης καταλαμβάνεται από μόνιμα αρδευόμενη αρόσιμη γη (212). Στη συνέχεια το 10% περίπου είναι δάσος πλατύφυλλων, το 8,82% μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, το 7,72% γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης, το 6,13% είναι θαμνώδεις και δασώδεις εκτάσεις, το 4,76% είναι βοσκότοποι και τέλος το 3,68% αποτελείται από συνεχή αστικό ιστό. Όλες οι υπόλοιπες χρήσεις γης καταλαμβάνουν πολύ μικρές εκτάσεις, με ποσοστά να μην ξεπερνούν το 0,5%. Να σημειωθεί πως καμία από αυτές δεν αποτελείται από καλλιεργούμενες εκτάσεις, αλλά κυρίως από δάση και εκτάσεις με αραιή βλάστηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Η ΕΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

3.1 Η διεργασία της εδαφικής διάβρωσης

Η διάβρωση του εδάφους γενικότερα πραγματοποιείται εξαιτίας πολλών παραγόντων και σε περιοχές που είναι αγροτικές, προκαλεί συνεχώς προβλήματα τα οποία αναφέρθηκαν και παραπάνω. Αυτό που προκαλεί διάβρωση είναι κυρίως η παρουσία νερού σε εδάφη που έχουν χάσει την αποθηκευτική τους ικανότητα, δηλαδή αυτό δεν διηθείται, με αποτέλεσμα να απορρέει με ρυθμούς ικανούς να συμπαρασύρουν φερτά και άλλα. Σε αυτό παίζει πολύ μεγάλο ρόλο και η κλίση του εδάφους που απορρέει το νερό, καθώς σε εδάφη με μεγάλες κλίσεις επιταχύνεται η απορροή και στερεοαπορροή σε αντίθεση με ανάγλυφα όπου οι κλίσεις είναι μικρές και το νερό μένει στάσιμο στις κοιλότητες που συναντάει. Στις περιπτώσεις που η κινητική ενέργεια του νερού είναι ικανή, παρασέρνει μεγάλες ποσότητες εδαφικού υλικού ώστε να καταστεί δυνατό να περάσει, κι έτσι δημιουργούνται δίοδοι. Αυτό το στάδιο είναι το πρώτο στην εδαφική διάβρωση. (Αντωνιάδης, 2001)

Φυσικά όλη αυτή η γεωλογική διεργασία που περιγράφηκε παραπάνω, είναι φυσική και αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να εξομαλύνεται το ανάγλυφο της γης και χαρακτηρίζεται ως το αντίθετο των ορογενετικών διαδικασιών οι οποίες είναι αυτές που δημιουργούν το ανάγλυφο της γης. Τα παραπάνω δρουν αποκαταστατικά για το ανάγλυφο και την ομαλότητα της γης και είναι αναπόφευκτα, χωρίς όμως να σημαίνει ότι δεν επιδρούν αρνητικά σε συνδυασμό με την αυξημένη δραστηριότητα του ανθρώπου τα τελευταία χρόνια. Συνήθως όταν παρεμβαίνει ο άνθρωπος στη φύση, τέτοιες διεργασίες συμβαίνουν με πιο γρήγορους ρυθμούς, κάτι που τις καθιστά επικίνδυνες αλλά και αποσταθεροποιητικές για το οικοσύστημα. Η δίοδος που ακολουθεί συχνά η διάβρωση είναι τα υπάρχοντα υδρογραφικά δίκτυα, τα οποία γίνονται διαδρομή για τη μεταφορά εδαφικού υλικού, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν δρουν και άλλοι παράγοντες πέραν του νερού (όπως η βαρύτητα, οι άνεμοι κ.α) (Παπανικολάου και Σιδέρης, 2014).

Η υδατική διάβρωση που όπως φαίνεται και από τον τίτλο της συμβαίνει λόγω της επίδρασης του νερού, αποτελείται από πιο σύνθετες διεργασίες, όπως μηχανικές, και είναι αρκετά συχνό φαινόμενο σε αρκετές περιοχές του κόσμου. Αντίθετα με τη διεργασία ορογένεσης, έχει ως αποτέλεσμα την ομαλοποίηση της γης και αποκαθιστά τις ισορροπίες που η τελευταία διαταράσσει. Φυσικά, η διάβρωση μπορεί να είναι και επακόλουθο ενεργειών και πρακτικών που ακολουθούνται από τον άνθρωπο. Αυτού του είδους η διάβρωση αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως ανθρωπογενής ή επιταχυνόμενη. Οι παρεμβάσεις που πραγματοποιεί ο άνθρωπος στη φύση και μπορούν να είναι από μόνες τους καταστροφικές είναι η υποβάθμιση των δασών που προκύπτει από αποψίλωση μέχρι και παράνομη υλοτομία, αλλά και σε πιο συχνή κλίμακα οι ακατάλληλες καλλιεργητικές πρακτικές που εφαρμόζονται από τους αγρότες, όπως η παρέμβαση στο ανάγλυφο και την επιφάνεια του εδάφους. Σε κάθε περίπτωση, η εδαφική διάβρωση χαρακτηρίζεται ως μη αναστρέψιμη όταν ο τόνος εδάφους ανά εκτάριο, υπερβαίνει τον έναν ανά χρόνο. Δηλαδή σε περιπτώσεις απόσπασης εδάφους μεγαλύτερης του 1ton/ha/year τίθεται περιβαλλοντικό θέμα

καθώς το έδαφος αδυνατεί να αποκαταθεί με γοργούς ρυθμούς και επανέρχεται στη αρχική του κατάσταση σε 50-100 χρόνια κατά μέσο όρο. (Huber et. Al, 2008)

3.2 Είδη εδαφικής διάβρωσης

Τα διαφορετικά είδη εδαφικής διάβρωσης που συναντώνται, διαχωρίζονται σύμφωνα με τον παράγοντα που τις προκαλεί. Αυτός ο παράγοντας συνήθως περιλαμβάνει και κινητική ενέργεια. Οι διαφορετικές μορφές διάβρωσης σύμφωνα με τα παραπάνω, χωρίζονται σε:

- Υδατική διάβρωση
- Βαρυτική διάβρωση (αποκολλήσεις και κατολισθήσεις εδαφών)
- Παράκτια διάβρωση
- Αιολική
- Ανθρωπογενής
- Παγετωνική

Στην παρούσα εργασία, η μορφή διάβρωσης που μελετάται είναι η υδατική, αν και επιδρούν σημαντικά και παράγοντες όπως ο αέρας και η παρέμβαση του ανθρώπου.

3.2.1 Υδατική διάβρωση

Συχνά οι διάφορες μορφές διάβρωσης, εμφανίζονται συνδυαστικά, χωρίς όμως να είναι ανεπηρέαστες από το είδος των κατακρημνίσεων και του εδάφους (όπως το ανάγλυφο) (Ξανθάκης, 2011). Σε αυτό το είδος, κατηγοριοποιούμε τη διάβρωση ανάλογα με την εδαφική μορφή που εμφανίζει.

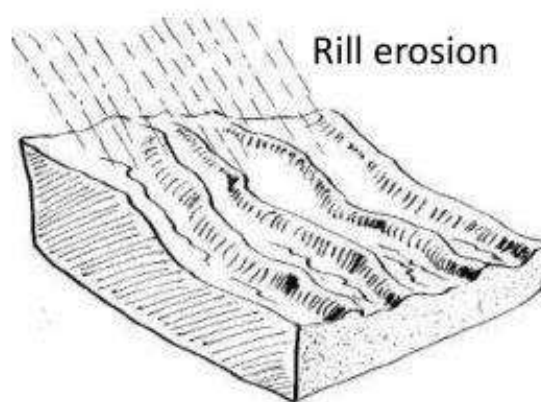
Έτσι έχουμε:

1. Επιφανειακή διάβρωση (sheet erosion)
 2. Αυλακωτή διάβρωση (rill erosion)
 3. Υπόγεια διάβρωση (underground erosion)
 4. Διάβρωση διασποράς (splash erosion)
 5. Χαραδρωτή διάβρωση (gully erosion)
- Επιφανειακή διάβρωση χαρακτηρίζεται αυτή που το εδαφικό υλικό της περιοχής αποσπάται ομοιόμορφα καθώς δέχεται την επίδραση των κατακρημνίσεων, οι οποίες συνήθως προκαλούν επιφανειακή απορροή προκειμένου να πραγματοποιηθεί το φαινόμενο. Παρ' όλα αυτά δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει επιφανειακή απορροή, προκειμένου να υπάρξει και απόσπαση εδάφους. Συνήθως η επίδραση της βροχής μπορεί να είναι ικανή όταν η κινητική ενέργειά της είναι τόσο μεγάλη που από μόνη της παρασέρνει υλικό μέσω της σύγκρουσής της στο έδαφος.



Εικόνα 14 Επιφανειακή διάβρωση

- Αυλακωτή διάβρωση μπορεί να χαρακτηριστεί και η επιφανειακή όταν αυτή εμφανίζεται σε αρκετά εντονότερη μορφή υπό την επίδραση της απορροής επιφανειακών υδάτων. Το νερό όταν έχει μεγάλη κινητική ενέργεια, προκειμένου να δημιουργήσει δίοδο, ανοίγει αυλάκια ώστε να καταφέρει να κινηθεί ειδικά σε εδάφη που παρουσιάζουν μεγάλες κλίσεις, αλλά πολλές φορές και σε μέτριες κλίσεις. Ο λόγος που εμφανίζονται αυτά τα αυλάκια, είναι επειδή η μορφολογία του εδάφους είναι τέτοια, που τα απορρέοντα ύδατα, πρώτα συγκεντρώνονται σε πιο κοίλες επιφάνειες και μετά αποκτά ενέργεια ικανή να διαφύγει, ανοίγοντας πέρασμα ώστε να κινηθεί. Η εμφάνιση τέτοιας μορφής διάβρωσης είναι πολύ συνηθισμένη σε αγροτικές περιοχές, αντιμετωπίζεται όμως εύκολα με τη διαδικασία της άροσης και εξομαλύνονται οι ανομοιομορφίες έτσι ώστε να είναι καλλιεργήσιμα και πάλι τα εδάφη.



Εικόνα 15 Αυλακωτή διάβρωση

- Η Υπόγεια διάβρωση δεν είναι τόσο συνηθισμένη όσο η παραπάνω, αφού επηρεάζεται κυρίως από τα εδάφη και όχι από κάποιου είδους κατακρήμνιση που δημιουργεί κινητική ενέργεια. Για να αναπτυχθεί απαιτείται η παρουσία αργίλου σε μεγάλο βαθμό, ώστε να υπάρχει μεγάλη διηθητικότητα και να ενισχύεται η διεργασία. Η συγκεκριμένη διάβρωση δεν είναι ορατή και διακριτή με το μάτι όπως η παραπάνω.
- Η διάβρωση διασποράς εξαρτάται αποκλειστικά από τις κατακρημνίσεις και όχι από τα απορρέοντα ύδατα όπως σε πολλές από τις παραπάνω περιπτώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί η πρόσκρουση των σταγονιδίων της βροχής προκαλεί πολύ έντονα το φαινόμενο του εκτοπισμού μικρών εδαφικών ποσοτήτων. Φυσικά, η απόσταση που διανύουν οι μικρές ποσότητες του εδάφους, εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την ταχύτητα των σταγονιδίων, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης.



Εικόνα 16 Διάβρωση διασποράς

- Η χαραδρωτή διάβρωση είναι αντίστοιχη της αυλακωτής, αλλά σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το νερό καθώς απορρέει με πολύ μεγάλη ορμή ανοίγει χαράδρες, στις οποίες αφού διανυθούν κινείται, με αποτέλεσμα να ενισχύεται ακόμα περισσότερο η απόσπαση εδάφους. Παρόλο που στην αυλακωτή διάβρωση η κατάσταση είναι εντελώς αναστρέψιμη, στην περίπτωση της χαραδρωτής δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν αντίστοιχες ενέργειες και συνεπώς χαρακτηρίζεται ως μη αναστρέψιμη. Επίσης το βάθος των χαραδρών είναι αρκετά μεγάλο με συνέπεια να μην μπορεί να αναπτυχθεί ξανά με ευκολία η βλάστηση κι έτσι αποκαθίσταται πολύ δύσκολα το έδαφος και η ομοιομορφία του. Σύμφωνα με τον Συλλαίο, 1990 ενώ φαινομενικά είναι ένα πολύ καταστροφικό είδος διάβρωσης, σε γενικότερα πλαίσια δεν θεωρείται αξιοσημείωτα επικίνδυνη. Όπως είναι αναμενόμενο παρουσιάζεται με μεγαλύτερη συχνότητα σε περιοχές με έντονες κλίσεις που επιτρέπουν την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων του νερού. Είναι ένα φαινόμενο που εξελίσσεται πολύ γρήγορα αφού η κίνηση του νερού επιφέρει κίνηση εδάφους και αντίστροφα η κίνηση εδάφους του νερού. Όσο περισσότερο κινούνται τα ύδατα, τόσο περισσότερο διαβρώνουν τις χαράδρες κι έτσι το βάθος τους σταδιακά αυξάνεται πολύ. Για να κατανοηθεί το μέγεθος μίας χαράδρας, οι

Imenson et. Al, 2008 αναφέρουν πώς μπορεί να κυμανθεί από μισό μέτρο και μέχρι 25 μέτρα. Ένα άλλο σημείο αναφοράς για την χαραδρωτή διάβρωση είναι και τα υδρογραφικά δίκτυα, με τη διαφορά πως εκεί απορρέει σε μόνιμη βάση το νερό και όταν αυτό αλλάζει κατεύθυνση εμφανίζονται οι διακλαδώσεις. Να σημειωθεί πώς από τα προαναφερθέντα είδη διάβρωσης, το συγκεκριμένο εμφανίζει τη χαμηλότερη αναλογία απώλειας εδάφους.



Εικόνα 17 Χαραδρωτή διάβρωση

3.2.2 Αιολική διάβρωση

Η αιολική ενέργεια συνήθως δρα προκαλώντας διάβρωση σε μέση όπου επικρατούν πολύ χαμηλά ποσοστά υγρασίας και ανομβρία. Όπως στην υδατική διάβρωση ο βαθμός εμφάνισης του φαινομένου συσχετιζόταν με την κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης, έτσι σε αυτή την περίπτωση ο δραστηκός παράγοντας είναι η ταχύτητα του ανέμου. Οι περιοχές που επηρεάζονται, είναι ξηρές με απουσία βλάστησης, επίπεδο ανάγλυφο και γενικότερα χαρακτηρίζονται ως γυμνά εδάφη. Πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου εδάφους, είναι το αμμώδες με έντονη απουσία υγρασίας, έδαφος δηλαδή που εμφανίζεται κυρίως σε έρημους και ξηρούς τόπους. Στην Ελλάδα δεν εντοπίζεται η αιολική διάβρωση, αφού πέραν κάποιων καλοκαιρινών μηνών που εμφανίζονται υψηλές θερμοκρασίες, δεν επικρατούν συνθήκες που να ευνοούν την ανάπτυξη του φαινομένου, ισχυρούς ανέμους και υψηλές θερμοκρασίες συνδυαστικά δηλαδή. Τα εδάφη που είναι πιο ευαίσθητα σε αυτό τον τύπο διάβρωσης, είναι αυτά που δεν εμφανίζουν τάσεις συγκόλλησης, όπως η άργιλος και η άμμος για παράδειγμα

3.2.3 Ανθρωπογενής διάβρωση

Η ανθρωπογενής διάβρωση όπως είναι εμφανές και από την ονομασία της, προέρχεται από δραστηριότητες του ανθρώπου και παρεμβάσεις που κάνει στο φυσικό περιβάλλον. Τα παραπάνω μπορεί να μην προκαλούν άμεσα την εξέλιξη του φαινομένου, όμως το ενισχύουν και το επιταχύνουν. Μερικοί από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην ένταση του φαινομένου είναι οι κακές γεωργικές πρακτικές, οι πυρκαγιές, η εκμετάλλευση δασικών εκτάσεων για γεωργία, η υπερβόσκηση, η αποψίλωση των δασών κλπ. Οι πιο συχνές περιπτώσεις ανθρωπογενούς διάβρωσης είναι σε καλλιεργούμενες εκτάσεις όπου το περιθώριο για ανθρώπινο λάθος αυξάνεται και η ελλιπής ενημέρωση για καλλιεργητικές πρακτικές επιφέρει

καταστροφικά αποτελέσματα. Η συρρίκνωση των ριζών των καλλιεργειών καθιστά πιο επιρρεπές το έδαφος σε διάβρωση αφού η διήθηση είναι σαφώς μικρότερη. Η απουσία φυτοκάλυψης επίσης οδηγεί σε έδαφος αποδυναμωμένο και πιο ευπαθές σε διάβρωση σε σχέση με ένα με έντονη βλάστηση.

Η αυξημένη εκμετάλλευση της γης και η χρήση λιπασμάτων επίσης υποβαθμίζουν την ποιότητά της και ελαττώνουν την οργανική ουσία που οδηγεί σε υψηλή διαβρωσιμότητα εδάφους. Τέλος, σε ό,τι αφορά τη γεωργία το πιο σημαντικό από τα παραπάνω είναι οι μη βιώσιμες πρακτικές που οδηγούν σε έντονη διάβρωση. Αυτές μπορεί να οφείλονται σε λανθασμένο όργωμα, επειδή το άροτρο μηχανικά εισχωρεί σε βαθύτερα στρώματα, ή και σε επιλογή μίας και μόνο καλλιέργειας, η πολύ συχνή χρήση φυτοφαρμάκων κ.α. Όλες αυτές οι τακτικές ενισχύουν τα είδη διάβρωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, αφού συσχετίζονται άμεσα με το έδαφος και την ποιότητά του. Αυτό καθίσταται πιο επιρρεπές όχι μόνο σε υδατική διάβρωση, αλλά και σε αιολική αφού ένα υποβαθμισμένο έδαφος μπορεί με πολύ μεγάλη ευκολία να χάσει τις ιδιότητες του.

Η άροση των εδαφών που καλλιεργούνται είναι πολύ συχνός παράγοντας αποσύνθεσης και υποβάθμισης τους εδάφους, καθώς τα θρεπτικά συστατικά του, μαζί με την οργανική ύλη μειώνονται. Για την αποφυγή υποβάθμισής του, προτείνεται από τους ερευνητές να εναλλάσσονται οι καλλιέργειες αλλά και να χρησιμοποιούνται σύνθετες και φυσικά ανά διαστήματα να τίθενται σε αγρανάπαυση. Αυτό γιατί η έμμετρη καλλιέργεια του εδάφους συνεπάγεται μικρότερη αποστράγγιση όλων των θρεπτικών συστατικών που είναι απαραίτητα για τη διατήρηση της δομής του, αλλά και λιγότερες πρακτικές ενίσχυσής του ώστε να είναι κατάλληλο να υποδεχτεί την επόμενη καλλιέργεια. Στη σύγχρονη γεωργία, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα έχουν αντικατασταθεί από βιολογικά προϊόντα, πιο φιλικά στο υπέδαφος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κοπριά, που εκτός των ευεργετικών ιδιοτήτων στις καλλιέργειες και το έδαφος, είναι και πιο φιλική στο περιβάλλον από άποψη αέριας ρύπανσης καθώς δεν εκπέμπει τα ίδια υψηλά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα σε σύγκριση με τα συμβατικά λιπάσματα.

Τελευταίος επιβαρυντικός παράγοντας ως προς την ανθρωπογενή διάβρωση, είναι φυσικά η έντονη αστικοποίηση με ταχύτερη αύξηση του ρυθμού εξάπλωσης των δομών, σε περιοχές που μέχρι πρότινος ήταν δάση και εδάφη με πυκνή φυτοκάλυψη. Η συμπίεση του εδάφους έχει επακόλουθο την μειωμένη ικανότητα διήθησης, κάτι που καθίσταται ανέφικτο και λόγω του αδιαπέρατου στρώματος που δημιουργείται από τις ασφαλτώσεις/ σκυροδετήσεις. Η απουσία πρασίνου και φυτοκάλυψης, καθώς είναι αδύνατη η αποστράγγιση οδηγούν σε ανάπτυξη επιφανειακών απορροών με πολύ μεγάλες ταχύτητες. Η απορροές συμπαρασύρουν το επιφανειακό φιλμ που βρίσκεται στην ασφαλτο και είναι εμπλουτισμένο με ρύπους (όπως καύσιμα και διάφορα χημικά) με αυτή να καταλήγει μολυσμένη σε περιοχές εκτός αστικού ιστού, επιφορτίζοντας υδάτινα σώματα και διαταράσσοντας την ισορροπία σε γειτονικές λεκάνες απορροής.

3.3 Παράγοντες επίδρασης στην εδαφική διάβρωση

Όπως προαναφέρθηκε, η εδαφική διάβρωση επηρεάζεται και πυροδοτείται από κάποιους παράγοντες που συνδέονται με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής. Αυτοί, αν αναλογιστούμε και τις παραμέτρους που απαιτούνται στα περισσότερα μοντέλα εδαφικής διάβρωσης, είναι συνήθως οι θερμοκρασίες και οι βροχοπτώσεις, δηλαδή τα κλιματικά στοιχεία, το ανάγλυφο του εδάφους δηλαδή η τοπογραφία, οι χρήσεις γης, άρα τα είδη γεωργίας και οι πρακτικές που εφαρμόζονται κ.α που θα αναλυθούν παρακάτω.

3.3.1 Κλιματικά στοιχεία περιοχής

Τα κλιματικά στοιχεία είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την εδαφική διάβρωση, καθώς οι μεταβολές σε θερμοκρασίες, τα ακραία καιρικά φαινόμενα, και οι συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους με άμεσο ή έμμεσο τρόπο επιδρούν σε μεγάλο βαθμό. Όπως είναι αναμενόμενο τον σημαντικότερο ρόλο σε αυτού του είδους τις διεργασίες έχουν οι κατακρημνίσεις (βροχοπτώσεις, χιόνια και χαλάζι). Ο πιο άμεσος τρόπος που μπορεί να συνεισφέρει μία βροχόπτωση σε εδαφική διάβρωση, είναι αυτός της πρόσκρουσης των σταγονιδίων με ταχύτητα αρκετά μεγάλη ώστε να παρασυρθεί και εδαφικό υλικό. Αντίθετα με έμμεσο τρόπο η εδαφική διάβρωση συμβαίνει όταν λόγω μειωμένης διηθητικότητας του εδάφους ή πολύ έντονης βροχόπτωσης προκαλείται απορροή και οδηγεί σε στερεοαπορροή, δηλαδή σύρση εδάφους. Στα περισσότερα μοντέλα όταν γίνεται προσπάθεια αποτύπωσης της επίδρασης που έχει η βροχόπτωση, συνήθως ποσοτικοποιείται με κάποιο τρόπο, όπως προσδιορίζοντας τη κινητική ενέργεια και την ένταση.

3.3.2 Η δομή του εδάφους

Οι πρακτικές που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια και οι αυξανόμενες επεμβάσεις που πραγματοποιούνται στο έδαφος ώστε να είναι παραγωγικό, το αποδυναμώνουν και υποβιβάζουν την ποιότητά του αλλά και την ικανότητα αντίστασης σε διαβρωτικές δυνάμεις. Φυσικά υπάρχουν και εδάφη τα οποία είναι εγγενώς πιο ευπαθή σε διάβρωση, λόγω της δομής τους και των ιδιοτήτων τους. Οι πιο σημαντικές εδαφικές ιδιότητες σε ό,τι αφορά την τρωτότητά τους είναι η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη και άργιλο.

Η συνεκτικότητα των εδαφών είναι ένα επίσης πολύ σημαντικό ζήτημα, αφού σε αυτά που παρατηρείται παρουσία πηλού έχουμε και πολύ μικρές τιμές διάβρωσης. Επίσης, τα αμμώδη εδάφη που έχουν μεγάλο πορώδες και υπάρχουν διάκενα ώστε το νερό να διηθείται με ευκολία, εμφανίζουν χαμηλή διαβρωτικότητα καθώς δεν δημιουργείται απορροή. Αυτό που διαφοροποιεί τα εδάφη είναι η υφή τους και ως μεσαίας υφής θεωρούνται τα λασπώδη, που είναι τα πιο τρωτά σε διάβρωση. Τα οργανικά, έχουν το ρόλο του συνδέσμου επειδή αυξάνουν τη συνεκτικότητα των εδαφών και σε συνδυασμό με τη δομή, τη διάταξη και την ύπαρξη άλλων ουσιών μπορούν να τα καταστήσουν αρκετά ανθεκτικά σε τέτοιες διεργασίες. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου, αφού η παρουσία υγρασίας επίσης μεταβάλλεται από τους πιο θερμούς μήνες στους πιο ψυχρούς. Ένα έδαφος όταν βρίσκεται σε περίοδο ξηρασίας, αυξάνεται η

διαβρωσιμότητά του σε αντίθεση με τους χειμερινούς μήνες που η παρουσία υγρασία το καθιστά πιο ανθεκτικό (Kember et al, 1985).

3.3.3 Ανάγλυφο εδάφους

Το ανάγλυφο εδάφους μαζί με τη βροχόπτωση είναι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν στην εδαφική διάβρωση. Το ανάγλυφο μπορεί να ενισχύσει ή και να ανασχέσει το φαινόμενο, αφού η κλίση του εδάφους και το μήκος κλιτύος επιταχύνουν ή αντίθετα επιβραδύνουν την απορροή. Σε περιπτώσεις με πολύ μεγάλες κλίσεις, η διάβρωση είναι πάντα ανάλογη. Σύμφωνα με τον Foster, 1982 η κλίσης μίας πλαγιάς μπορεί να επιδράσει ακόμα περισσότερο από τον συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, κι αυτό γιατί η επιταχυνόμενη απορροή που προκαλείται στο πρηνές παρασύρει μεγάλους όγκους. Ο πιο έμμεσος τρόπος που μπορεί να επιδράσει το ανάγλυφο είναι μέσω της παρουσίας υγρασίας ή βλάστησης σε κάποια σημεία του εδάφους που με τη σειρά τους προκαλούν αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ύλη.

3.3.4 Βλάστηση

Η ύπαρξη βλάστησης, προστατεύει τις ανώτερες εδαφικές στρώσεις και απορροφά μέρος της ενέργειας των σταγονιδίων που προσκρούουν σε αυτή. Η βλάστηση συνεπάγεται και ψηλότερα ποσοστά οργανικών στο έδαφος, με πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επίσης η ταχύτητα των σταγονιδίων μειώνονται από τη χλωρίδα, είτε αφορά δέντρα είτε πιο επιφανειακή βλάστηση. Το νερό των κατακρημνίσεων δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος, αλλά με το πράσινο, με αποτέλεσμα όποια φθορά προκαλείται να περιορίζεται σε αυτό. Το ιδανικότερο σενάριο είναι να υπάρχει ικανή φυτοκάλυψη σε εποχές όπου η διαβρωτικότητα της βροχής είναι μεγαλύτερη. Οι αναβαθμοί και διάφορες άλλες παρόμοιες πρακτικές μπορούν να λειτουργήσουν αποτρεπτικά για τη διάβρωση, καθώς τα υπολείμματα και η βιομάζα του εδάφους παγιδεύονται στο εδαφικό υλικό με ευεργετικές ιδιότητες, λειτουργώντας ως φυσικό λίπασμα (West, 1990).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΙΔΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

Για την εδαφική διάβρωση αλλά και τη μεταφορά φερτών υλικών έχουν αναπτυχθεί αρκετά μοντέλα τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους τόσο στην ακρίβεια που προσφέρουν αλλά και στα δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό τους. (Hajigholizadeh et al. 2018). Ο σκοπός τους είναι να προβλέψουν το μέγεθος της εδαφικής απώλειας και της απόθεσης, ώστε να υπάρχει κατάλληλη και έγκαιρη κινητοποίηση για σχεδιασμό αντιδιαβρωτικών έργων. Το να πραγματοποιηθούν μετρήσεις υπαίθρου είναι μία χρονοβόρα διαδικασία και ασύμφορη καθώς προκύπτουν μεγάλοι όγκοι δεδομένων προς επεξεργασία. Έτσι τις τελευταίες δεκαετίες τα μαθηματικά μοντέλα είναι αρκετά δημοφιλή (Στεφανίδης κ.ά., 2016).

Το πρόβλημα της στεροαπορροής είναι αρκετά σύνθετο κι έτσι πρέπει για κάθε περίπτωση ξεχωριστά να αναζητούμε το κατάλληλο είδος μοντέλου ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα, την έκταση της λεκάνης απορροής, το είδος της διάβρωσης (π.χ αυλακωτή, χαραδρωτή κ.λπ) αλλά και την επιθυμητή ακρίβεια στα αποτελέσματα. (Croke et al., 2006).

Τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί χωρίζονται κυρίως σε 3 κατηγορίες, εμπειρικά (empirical), στοχαστικά (conceptual) και φυσικά/προσδιοριστικά (physically based).

4.1 Εμπειρικά μοντέλα

Πρόκειται για προσομοίωση φυσικών διαδικασιών, συσχετίζοντας φυσικά μεγέθη μέσω της στατιστικής, όπως το μέγεθος της στεροαπορροής με άλλα μεγέθη ή χαρακτηριστικά που αφορούν τη λεκάνη, θεωρώντας πως σημειακές μετρήσεις ισχύουν και για άλλα σημεία εντός της περιοχής προς μελέτη. Είναι τα απλούστερα μοντέλα καθώς οι απαιτήσεις που έχουν (όπως μετρήσεις, κόστος και υλικοτεχνικός εξοπλισμός) είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τα στοχαστικά ή αναλυτικά. (Li et al., 1996). Χρησιμοποιούνται ευρέως αφού πρόκειται για μια χρήσιμη αρχική επιλογή στον υπολογισμό των πηγών φερτών υλικών. (Ξανθάκης, 2011).

Βασίζονται σε αναλύσεις υπαίθριων πειραμάτων και γενικότερα στην ανάλυση του φαινομένου της διάβρωσης μέσω στατιστικών τεχνικών για την εξαγωγή εξισώσεων και πολλές φορές προτιμούνται όταν υπάρχει έλλειψη δεδομένων, και κατά συνέπεια αδυναμία εφαρμογής άλλης μεθόδου, αρκεί να υπάρχει έντονη ομοιότητα των χαρακτηριστικών- συνθηκών (όπως υδρολογικές, γεωλογικές κ.λπ) της περιοχής μελέτης με την περιοχή αναφοράς των σχέσεων. Επίσης είναι αρκετά κατάλληλα εργαλεία για την ανάλυση δεδομένων της λεκάνης, αφού χρησιμοποιούνται στοχαστικές τεχνικές (Wheater et al., 1993).

Παρόλο που πρόκειται για διαδομένα μοντέλα και πολύ εύχρηστα, η χρήση τους έχει διχάσει ως προς την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και έχουν αμφισβητηθεί καθώς συχνά για τον υπολογισμό τους αξιοποιούνται στοιχεία λεκανών που παρουσιάζουν ετερογένεια. Κάποια χαρακτηριστικά αφορούν υδρολογικές συνθήκες όπως κατακρημνίσεις και κάποια άλλα τύπους εδαφών. Αυτά τα δύο για να

συνδυαστούν συνήθως πρέπει να γίνουν παραδοχές οι οποίες κατά καιρούς χαρακτηρίστηκαν ως μη ρεαλιστικές (Foster, 1996).

Πολλές φορές για την μελέτη η ποικιλία δεδομένων που απαιτείται είναι αδύνατο να αντληθεί ή δεν υπάρχει. Τέτοιο παράδειγμα είναι η έλλειψη μετεωρολογικών δεδομένων (αραιά μετεωρολογικά ή τα ανεπαρκή στοιχεία για τη βλάστηση μιας περιοχής και γενικότερα τη γεωλογία αλλά και η χρονική μεταβλητότητά τους. Αυτό σημαίνει πως άλλα μοντέλα πιο αναλυτικά και περισσότερο πολύπλοκα δεν καθίστανται πιο αξιόπιστα και ακριβή από τα εμπειρικά (Mitasova et al., 2013). Τέλος σε μεγάλες κλίμακες η μεταφορά και απόθεση φερτών υλικών δεν έχει κατανοηθεί πλήρως, επομένως για την πρόβλεψή τους χρησιμοποιούνται συχνά εμπειρικά μοντέλα (Lu et al. 2001).

4.2 Στοχαστικά μοντέλα

Πρόκειται για συνδυασμό εμπειρικών και φυσικών/ προσδιοριστικών μοντέλων που είναι εφαρμόσιμα σε αρκετές περιπτώσεις και μπορούν να δώσουν απαντήσεις σε γενικά ερωτήματα σχετικά με την εδαφική διάβρωση. Τα κοινά σημεία που έχουν με τα άλλα είδη μοντέλων, αφορούν τις εξισώσεις που συνήθως είναι εμπειρικές προκειμένου να περιγράψουν φυσικές διεργασίες. (Sivaralan et. al, 2002).

Τα στοχαστικά μοντέλα στοχεύουν στη πρόβλεψη στερεοαπορροής και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις φυσικές διεργασίες, βασιζόμενα στο μοναδιαίο υδρογράφημα, κάτι που τα ξεχωρίζει από τα εμπειρικά καθώς αυτά παρουσιάζουν στατιστική συσχέτιση χωρίς να προβλέπουν. Επίσης συνδυάζουν διεργασίες που συμβαίνουν στη λεκάνη απορροής χωρίς να εισέρχονται σε λεπτομέρειες που αφορούν τα χαρακτηριστικά της. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να περιγράψουν ποιοτικά και ποσοτικά επιπτώσεις στην αλλαγή της γεωμορφολογίας χωρίς να λαμβάνουν υπόψη χωρικά και χρονικά δεδομένα (Hajjgholizadeh et al. 2018).

Τα μοντέλα αυτά δίνουν τιμές στις παραμέτρους, τις οποίες παίρνουν μετά από βαθμονόμηση μετρήσεων πεδίου κι έτσι παρουσιάζονται προβλήματα που αφορούν τον προσδιορισμό των τιμών. Σε γενικές γραμμές τα πιο απλά στοχαστικά μοντέλα έχουν λιγότερες δυσκολίες και ασάφειες σε σχέση με τα πολύπλοκα, οπότε προτείνεται όπου αυτό καθίσταται δυνατό να ελαχιστοποιούνται οι παράμετροι που απαιτούνται, χωρίς φυσικά να σημαίνει ότι θα έχουν το ίδιο καλή εφαρμογή τα δεδομένα βαθμονόμησης. (Wheater et al., 1993).

Ο τρόπος λειτουργίας αυτών των μοντέλων είναι ο διαχωρισμός της λεκάνης απορροής σε υπολεκάνες με όμοια χαρακτηριστικά. Έτσι συνδυάζουν την περιγραφή των διεργασιών χωρίς να εισέρχονται σε λεπτομέρειες για την αλληλεπίδρασή τους, αποφεύγοντας την εισαγωγή περισσότερων παραμέτρων με αυτόν τον τρόπο. (Nearing et al 2004)

4.3 Το μοντέλο Rusle

Το μοντέλο RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al, 1997) είναι ένα εμπειρικό μοντέλο εδαφικής διάβρωσης του οποίου προκάτοχος είναι το USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier and Smith, 1978). Πρόκειται για μία μαθηματική έκφραση που αποτελείται από παράγοντες που σχετίζονται με το

έδαφος, την υδρολογία, την τοπογραφία και έχει στόχο να αναπαραστήσει τις διεργασίες που συμβαίνουν σε αυτό.

Είναι αρκετά διαδεδομένο μοντέλο σε Ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο, καθώς οι απαιτήσεις που έχει σε δεδομένα αλλά και ακρίβεια είναι σχετικά χαμηλές αλλά και το αντίστροφο, η επεκταμένη του χρήση δηλαδή, είχε ως αποτέλεσμα να υπάρχει ποικιλία δεδομένων κατάλληλων ώστε να εφαρμοσθεί. Είναι μοντέλο που εξάγει ασφαλή συμπεράσματα αρκεί να χρησιμοποιείται στις κατάλληλες περιπτώσεις. Τα είδη της εδαφικής διάβρωσης που υπολογίζει είναι η αυλακωτή και η επιφανειακή.

Η αναθεωρημένη εξίσωση (RUSLE) έχει προκύψει μετά από τροποποιήσεις στην USLE που αφορούν τον προσδιορισμό των παραμέτρων που καθορίζουν το μέγεθος της εδαφικής απώλειας. Η σημαντικότερη τροποποίηση της USLE και μάλιστα ένας από τους λόγους που η RUSLE πλεονεκτεί συγκριτικά με την προηγούμενη, είναι η ενσωμάτωση του συντελεστή φυτοκάλυψης C που με γνωστές τις χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα και τα καθιστά πιο ακριβή. (Merritt et al, 2003).

Παρ' όλη τη διαδεδομένη χρήση του μοντέλου RUSLE, θα πρέπει η εφαρμογή του να γίνεται αρκετά προσεκτικά και με επάρκεια δεδομένων αλλά και στην κατάλληλη χωροχρονική κλίμακα, δηλαδή σε λεκάνες απορροής.

Η RUSLE ακολουθώντας την απλή μορφή του μοντέλου USLE, εκφράζεται ως γινόμενο εδαφικών, υδρολογικών και άλλων συντελεστών οι οποίοι θα αναλυθούν παρακάτω.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Όπου:

- A: Η μέση ετήσια εδαφική απώλεια ανά μονάδα επιφάνειας ($t \cdot ha^{-1} \cdot year^{-1}$)
- R: Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$)
- K: Η διαβρωσιμότητα του εδάφους ($t \cdot h \cdot MJ \cdot mm^{-1}$)
- LS: Ο αδιάστατος συντελεστής μήκους-κλίσης
- C: Ο αδιάστατος συντελεστής φυτοκάλυψης
- P: Ο αδιάστατος συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης

4.3.1 Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής R

Αντιπροσωπεύει την επίδραση που έχουν οι βροχοπτώσεις βάσει της έντασης και της διάρκειας του κάθε επεισοδίου (Panagos et al., 2015). Ο συγκεκριμένος συντελεστής έχει πολύ μεγάλη επίδραση στα αποτελέσματα της εδαφικής διάβρωσης καθώς η κινητική ενέργεια των βροχοπτώσεων και οι απορροές επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο. Για τον υπολογισμό του είναι απαραίτητο τα βροχομετρικά δεδομένα να

είναι ακριβή και σε μεγάλη χρονική κλίμακα (άνω των 20 ετών). Πρόκειται για ένα συντελεστή που πρέπει να μεταχειρίζεται προσεκτικά καθώς είναι ευμετάβλητος χρονικά, μιας και σε μηνιαία ή εποχική ή και ετήσια βάση παρουσιάζει διακυμάνσεις.

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m (EI_{30})_k \quad (2)$$

Όπου:

- n τα έτη για τα οποία έχουμε βροχομετρικά δεδομένα
- m ο αριθμός επεισοδίων
- E είναι η συνολική κινητική ενέργεια της βροχής
- I_{30} είναι η μέγιστη ένταση της βροχόπτωσης διάρκειας 30 λεπτών

Το γινόμενο EI_{30} υπολογίζεται από τη σχέση :

$$EI_{30} = \left(\sum_{r=1}^r e_r v_r \right) I_{30} \quad (3)$$

Όπου:

- e_r μονάδα κινητικής ενέργειας της βροχής ($\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$)
- v_r ο όγκος βροχής (mm)

Η μονάδα κινητικής ενέργειας υπολογίζεται κάθε φορά (για κάθε διάστημα) με βάση τον τύπο:

$$e_r = 0.29 [1 - 0.72e^{(-0.05i_r)}] \quad (4)$$

Όπου i_r είναι η ένταση βροχής επεισοδίου.

4.3.2 Ο συντελεστής διαβρωσιμότητας του εδάφους K

Ο συντελεστής K εκφράζει το πόσο επιρρεπές είναι ένα έδαφος σε διάβρωση. Σύμφωνα με τους Renard et al., 1996, η τιμή που λαμβάνει ο K είναι πειραματική και αφορά έκταση προκαθορισμένου μήκους με συγκεκριμένη κλίση σε συνθήκες αγρανάπαυσης. Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό διαβρωσιμότητας ενός εδάφους είναι:

- Η δομή του επιφανειακού εδαφικού στρώματος
- Το ποσοστό άμμου ή ιλύος (διογκούμενης) που βρίσκεται σ αυτό
- Η κοκκομετρική σύστασή του
- Η παρουσία οργανικών στο έδαφος
- Η παρουσία αδιαπέρατου εδαφικού στρώματος

Συνήθως για την ακριβέστερη τιμή του συντελεστή K απαιτούνται λήψεις εδαφικών δοκιμίων σε κάθε γεωλογική μορφή που εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης και κατόπιν εργαστηριακές αναλύσεις για τον προσδιορισμό των γεωλογικών χαρακτηριστικών ώστε μέσω αυτών να υπολογισθεί ο συντελεστής.

Φυσικά σε περιπτώσεις που αυτό δεν καθίσταται δυνατό θα πρέπει να υπολογίζεται βιβλιογραφικά ο συντελεστής μέσω δεδομένων που προέκυψαν από έρευνες που αφορούν τους συγκεκριμένους γεωλογικούς σχηματισμούς. Μπορεί να μην είναι τόσο δόκιμη πλέον αυτή η τακτική, καθώς υπάρχει και πληθώρα δεδομένων, όμως προτιμήθηκε τα πρώτα χρόνια εφαρμογής της RUSLE και αναφέρθηκε στο εγχειρίδιο της μεθόδου συνοδευόμενη από τιμές του K κάποιων εδαφών. (Wischmeier and Smith, 1978)

Τα τελευταία χρόνια μάλιστα έχει καταβληθεί προσπάθεια από την Ευρώπη σε συνεργασία με το Ευρωπαϊκό Γραφείο Εδαφών να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη βάση εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Μία από τις γνωστές βάσεις τέτοιων δεδομένων είναι η LUCAS (2009) η οποία παρέχει εικόνα για ολόκληρο τον Ευρωπαϊκό χώρο, με δείγματα να έχουν λειφθεί απ όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε.

Σε δημοσίευμα των Panagos et al. (2014) παρουσιάζεται ολοκληρωμένος χάρτης προσδιορισμού του συντελεστή σε όλη την Ευρώπη απλοποιώντας έτσι πολύ τον υπολογισμό της εδαφικής διάβρωσης μέσω ΓΣΠ. Αυτό που μπορεί να συμβάλει στην υπερεκτίμησή του είναι η μη συμπερίληψη βραχωδών εκτάσεων, ενώ στην Ελλάδα και γενικότερα στη Μεσόγειο υπάρχουν αρκετές τέτοιες, και φυσικά δεν παράγουν εδαφική διάβρωση.

4.3.4 Ο συντελεστής μήκους- κλίσης LS

Πρόκειται για συντελεστή που σχετίζεται με την γεωμορφολογία και το ανάγλυφο μίας περιοχής και αποτυπώνει τον βαθμό στον οποίο επηρεάζει την εδαφική διάβρωση. Ο LS (Length Slope- Steepness), είναι συντελεστής που συχνά αποκαλείται και συντελεστής ανάγλυφου ή τοπογραφικός. Το μήκος κλιτύος (L) είναι η οριζόντια απόσταση από το σημείο έναρξης της απορροής μέχρι το σημείο όπου η κλίση μειώνεται τόσο ώστε να σταματήσει η απορροή ή μέχρι το σημείο που εισέρχεται σε άλλο υδατόρεμα. Η κλίση (S) έχει ως αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες, που σημαίνει ότι θα παρασυρθούν εδαφικά υλικά, και σε συνδυασμό με ένα μεγάλο μήκος κλιτύος που θα έχει αρκετό υλικό προς σύρση θα προκαλέσουν εδαφική διάβρωση σε μεγάλο βαθμό.

Υποστηρίζεται πως ο βαθμός εδαφικής διάβρωσης εξαρτάται σε μεγαλύτερο ποσοστό από τον βαθμό κλίσης του εδάφους παρά του μήκους κλιτύος (McCool et al. 1987). Ο συντελεστής ορίζεται από τον λόγο της εδαφικής ποσότητας που χάνεται λόγω της διάβρωσης προς την ποσότητα που χάνεται σε πειραματική έκταση με κλίση 9% και μήκος κλιτύος 22.13 μέτρα (έκταση σε αγρανάπαυση). Να σημειωθεί πως σε πειραματικές συνθήκες η τιμή του LS είναι 1. Με τις σύγχρονες μεθόδους ο συντελεστής μπορεί να προσδιοριστεί από το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM) σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας.

Μία σχέση υπολογισμού του συντελεστή LS είναι η:

$$LS = \left(\frac{L}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad (5)$$

Όπου:

- L: το μήκος κλιτύος (m)
- m: σταθερά που εξαρτάται από τον βαθμό της κλίσης (0,2 για $s < 1\%$, 0,3 για $1\% < s < 3\%$, 0,4 για $3\% < s < 5\%$ και 0,5 για $s > 5\%$)
- s: Η γωνία (%)

4.3.5 Ο συντελεστής φυτοκάλυψης C

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης ή διαχείρισης ή χρήσης γης, είναι αρκετά σημαντικός στον προσδιορισμό της εδαφικής διάβρωσης, αφού στην εξίσωση εκφράζει τις διαχειριστικές πρακτικές του εδάφους και τις πρακτικές καλλιεργειών που τυχόν εφαρμόζονται, και μπορούν να συνεισφέρουν στην ελάττωσή του φαινομένου (Βαχαβιώλος, 2014). Οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται από 0 έως 1, με το έδαφος με έντονη φυτοκάλυψη και συνεπώς καλά προστατευμένο να είναι 0, ενώ το γυμνό έδαφος 1.

Στη RUSLE ο συντελεστής φυτοκάλυψης εκφράζεται ως μία συνάρτηση διάφορων παραγόντων που κατά βάση σχετίζονται με τον ρυθμό εδαφικής απώλειας, επιφανειακής κάλυψης, εδαφικής υγρασίας και ταχύτητας. Η σχέση που εκφράζει τον συντελεστή φυτοκάλυψης είναι η :

$$C = SLR = PLU * CC * SC * SR * SM \quad (6)$$

Όπου:

- PLU ο συντελεστής προηγούμενης χρήσης γης
- CC ο συντελεστής κάλυψης κομοστέγης
- SC ο συντελεστής επιφανειακής κάλυψης εδάφους
- SR ο συντελεστής επιφανειακής εδαφικής τραχύτητας
- SM ο συντελεστής εδαφικής υγρασίας

4.3.6 Ο αδιάστατος συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης P

Ο συγκεκριμένος συντελεστής αφορά διαχειριστικές πρακτικές όπως η φύτευση στις ισοϋψείς ή η φύτευση κατά ζώνες που μπορεί να έχουν ανασταλτικό ρόλο στη διάβρωση. Πρόκειται για ένα συντελεστή περισσότερο εμπειρικό και σε πολλές περιπτώσεις αναξιόπιστο, ειδικά σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συντελεστές της εξίσωσης (Renard et al. 1994). Σε μικρότερες τιμές του συντελεστή έχουμε αποτελεσματικότερες πρακτικές ενώ λαμβάνει την τιμή ένα όταν δεν έχει εφαρμοσθεί καμία απολύτως πρακτική. Σύμφωνα με τον (Παπάζογλου, 2009) τέτοιες ενέργειες οδηγούν σε μία θεωρητική τιμή του συντελεστή, καθώς δεν αποτρέπουν τη διάβρωση να συμβεί, αλλά την καθυστερούν.

Η εξίσωση που περιγράφει τον συντελεστή, σύμφωνα με Lopez & Navas (2008), είναι η:

$$P = P_c P_w P_{gm} \quad (7)$$

Όπου:

- P : ο συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης
- P_c : είναι βοηθητικός συντελεστής για ισουψείς έκτασης σε δεδομένη κλίση
- P_{sw} : ο βοηθητικός συντελεστής για τοίχους αντιστήριξης
- P_{gm} : ο συντελεστής για αναχώματα (προστατευτικές λωρίδες)

Να σημειωθεί πως ο συντελεστής επηρεάζεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις και οι συγκεκριμένες έχουν ανασταλτικό ρόλο στη διάβρωση όταν οργώνονται, καλλιεργούνται σ αυτές φυτείες σε σχηματισμούς παράλληλους στις ισουψείς ή κατασκευάζονται αναχώματα κάθετα στη διεύθυνση κλίσης ώστε να μειώνεται η ταχύτητα ροής και συνεπώς να μην παρασύρεται τόσο μεγάλος όγκος φερτών υλικών.

4.4 Το μοντέλο εδαφικής διάβρωσης- υποβάθμισης Gavrilovic (EPM)

Πρόκειται για μοντέλο εμπειρικό/ ημι-ποσοτικό το οποίο αναπτύχθηκε μετά από πειραματικές μετρήσεις πεδίου σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες στη Νότια Ευρώπη (Gavrilovic (1972). Οι εργασίες υπαίθρου έγιναν στον Μοράβα, στη Σερβία και εν συνεχεία κατόπιν εργαστηριακών ενεργειών, που το κατέστησαν ακόμη πιο αξιόπιστο, προσδιορίστηκαν επιτυχώς οι πιθανές τιμές των παραμέτρων του. Τέτοιες εργαστηριακές ενέργειες συνεχίζονται ακόμη και σήμερα στο Ινστιτούτο Ανάπτυξης Υδατικών Πόρων στο Βελιγράδι ώστε να υπολογιστούν επακριβώς τα εύρη των τιμών που λαμβάνουν οι παράμετροι του μοντέλου (Globevnik et al., 2003).

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης είχε έντονη παρουσία στην ανάπτυξη του μοντέλου σε συνδυασμό με την παρακολούθηση πειραματικών λεκανών σε διάφορες περιοχές της πρώην Γιουγκοσλαβίας. Το μοντέλο δεν έχει σταματήσει να εξελίσσεται μέχρι σήμερα και αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για διάφορες εφαρμογές στη σύγχρονη υδρολογία, καθώς πλέον μπορεί και συμπεριλαμβάνει συγκρατημένα υλικά εντός των λεκανών (Kalinderis et al 2009).

Το μοντέλο αρχικά σχεδιάστηκε για εφαρμογή σε ορεινές περιοχές της Γιουγκοσλαβίας με χείμαρρους, κατάφερε όμως να εφαρμοσθεί με επιτυχία και σε πολλές άλλες Ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στην Ελλάδα, παρέχοντας αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι εκτιμήσεις που προσφέρει αφορούν την εδαφική διάβρωση, άρα και την μεταφορά φερτών και ευνοούν πολύ εργασίες για προστασία από αυτά τα φαινόμενα, όπως διευθέτηση χειμάρρων κ.α (Κουράκλη, 2010).

4.4.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του μοντέλου

Το μοντέλο είναι αρκετά εύκολο στην εφαρμογή, με τις παραμέτρους του να μην είναι απαιτητικές σε περιοχές όπου εμφανίζεται έλλειψη δεδομένων. Η ευκολία του έγκειται στο γεγονός ότι δεν έχει αναπτυχθεί για εκτάσεις που καλλιεργούνται, όπως

η RUSLE, κι έτσι δεν συνυπολογίζονται οι χρήσεις γης. Επιπλέον είναι αρκετά κατάλληλο για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που το απαρτίζουν, έτσι ώστε αυτές να αποτυπώνονται χωρικά (Globevnik et al. 2003).

Εκεί που πλεονεκτεί συγκριτικά με τη RUSLE, είναι πως εφαρμόζεται όχι μόνο για αυλακωτή και επιφανειακή διάβρωση, αλλά και για χαραδρωτή, παράκτια, απόθεση· ακόμα και κατολισθήσεις, εκτιμώντας την συμβολή τους.

Παρόλα αυτά, το μοντέλο παρουσιάζει περιορισμούς, καθώς στα χαρακτηριστικά που περιγράφουν το έδαφος υπάρχει μεγάλη ανάγκη σε ακρίβεια στις πληροφορίες, όπως ο καθορισμός της κοκκομετρικής σύστασης και του ποσοστού της οργανικής ύλης. Σε περιοχές που είναι μεγάλες και υπάρχει ανομοιογένεια σε αυτά τα χαρακτηριστικά δεν καθορίζονται οι τιμές τους. Φυσικά, όπως και σε άλλα μοντέλα, πολλές τιμές παραμέτρων έχουν καθοριστεί στην περιοχή μελέτης και ανάπτυξης του μοντέλου και δεν αντιστοιχούν σε άλλα εδάφη, με αποτέλεσμα να πρέπει να γίνει επέκταση και προσαρμογή τους στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Τέλος το πιο συνηθισμένο πρόβλημα με τη Gavrilovic, είναι πως σε μεγάλες λεκάνες απορροής που δεν υπάρχει ομοιογένεια σε χαρακτηριστικά κλιματικά, γεωμορφολογικά και περιβαλλοντικά, για την αποτελεσματικότερη και πιο ασφαλή εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η διαίρεση της λεκάνης σε υπολεκάνες με όμοια χαρακτηριστικά ώστε να λαμβάνονται ενιαίες οι τιμές των συντελεστών (De Vente and Poesen, 2005).

Σύμφωνα με τον Gavrilovic, η σχέση που περιγράφει τη μέση ετήσια παραγωγή φερτών υλικών μιας λεκάνης, είναι η εξής:

$$W = 3.14 P T F \sqrt{z^3} \quad (8)$$

Όπου:

- W : ο μέσος ετήσιος όγκος παραγωγής φερτών υλικών σε μία λεκάνη απορροής (m³ / year)
- T: ο συντελεστής θερμοκρασίας που υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση
 $T = \sqrt{\frac{t}{10} + 0,1}$ (t η μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο, σε °C)
- h: το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης (mm)
- F : το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km²)
- z: ο συντελεστής διάβρωσης που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z = x \cdot y \cdot (\varphi + \sqrt{s}) \quad (9)$$

Όπου:

x: συντελεστής που εκφράζει τη συμβολή της φυτοκάλυψης στη μείωση της αντίστασης του γεωλογικού υποθέματος κατά τη διάβρωση. Οι τιμές που λαμβάνει είναι από 0,1 για προστατευμένες περιοχές, μέχρι 1 για εντελώς γυμνά εδάφη.

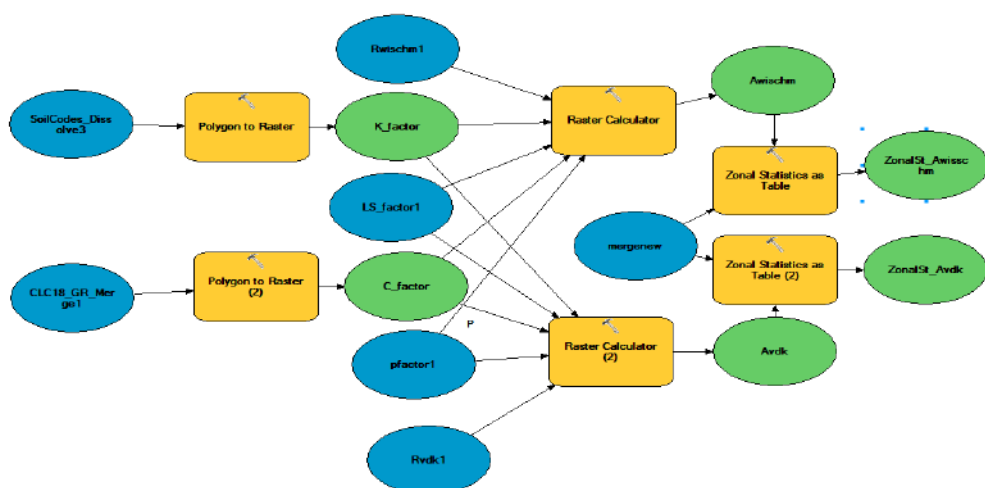
γ : συντελεστής μεγέθους διάβρωσης του γεωλογικού υποθέματος με τιμές που κυμαίνονται από 0.2 έως 2.

φ : συντελεστής που αντιστοιχεί στο μέγεθος και το είδος της διάβρωσης της λεκάνης απορροής, με τιμές από 0,1 έως 1.

s : η μέση κλίση της λεκάνης απορροής (%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RUSLE

Σ' αυτό το σημείο θεωρούμε αναγκαία την αξιοποίηση του εργαλείου που προσφέρεται από το ArcMap σε περιπτώσεις που εφαρμόζονται μοντέλα. Περιγράφεται καλύτερα με τον όρο «διάγραμμα ροής», έχει ως δεδομένα εισόδου αρχεία raster ή vector και εργαλεία, από τα οποία προκύπτουν και τα δεδομένα εξόδου. Τα δεδομένα εισόδου απεικονίζονται με μπλε χρώμα και οβάλ σχήμα, τα εργαλεία με κίτρινο χρώμα και παραλληλόγραμμο σχήμα και τα δεδομένα εξόδου με πράσινο χρώμα και οβάλ σχήμα. Το model builder πέρα από την ευκολία χρήσης, έχει και άλλα πλεονεκτήματα, όπως η εύκολη οργάνωση, η απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθείται και η προσδιορισμός των παραμέτρων του μοντέλου που εν συνεχεία επιτρέπει υπολογισμό για διαφορετικές τιμές των δεδομένων εισόδου.



Εικόνα 18 Το μοντέλο RUSLE στο model builder

5.1 Εμπειρικές σχέσεις R (Διαβρωτικότητα Βροχόπτωσης)

Σε πολλές περιπτώσεις ο αναλυτικός υπολογισμός των συντελεστών μίας εξίσωσης δεν είναι δυνατός, λόγω έλλειψης δεδομένων ή μετρήσεων που δεν μπορούν να γίνουν καθώς υπάρχει απαίτηση σε οικονομοτεχνικά μέσα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου απαιτείται η ύπαρξη χρονοσειρών βροχογράφου με μεγάλη ακρίβεια 30min ή 15min, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί ο δείκτης I_{30} και να προσδιοριστούν όλα τα πλημμυρικά επεισόδια δεν είχαμε τα απαραίτητα δεδομένα. Έτσι, αναζητήθηκαν εμπειρικές σχέσεις που να είναι κατάλληλες για την περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της, όπως το κλίμα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να υπάρχει επάρκεια στα δεδομένα τόσο χρονικά όσο και χωρικά. Στη δική μας μελέτη, οι βροχογράφοι έχουν λειτουργήσει για διάστημα μεγαλύτερο των 20 χρόνων και η πυκνότητά τους στις λεκάνες απορροής είναι ικανοποιητική. Άλλα στοιχεία που παρουσιάζουν ενδιαφέρον πέρα από την καταγραφή των βροχοπτώσεων, είναι η μέση ετήσια θερμοκρασία, το υψόμετρο του βροχογράφου, ο μέσος αριθμός ημερών με βροχόπτωση και άλλα που θα αναφερθούν και στη συνέχεια.

Οι πιο ευρέως διαδεδομένες σχέσεις και με ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι οι παρακάτω, που αφού περιγραφούν και συγκριθούν, θα επιλεγεί η καταλληλότερη.

5.1.1 Van der Kniff et. Al. 2000

$$R = a P_j \quad (10)$$

Όπου:

- a : συντελεστής που κυμαίνεται από 1,1-1,5
- P_j : η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)

Συχνά η παραπάνω σχέση αναφέρεται ως η εξίσωση της Τοσκάνης και εφαρμόζεται με συντελεστή $a=1,3$. Η εφαρμογή της είναι καταλληλότερη για περιοχές που βρίσκονται στη Νότια Ευρώπη. Σε πρώτη παρατήρηση βλέπουμε πως είναι μια πολύ απλή σχέση που συσχετίζει γραμμικά την μέση ετήσια βροχόπτωση με τη διαβρωτικότητα. Πρόκειται για μία σχέση υπεραπλουστευμένη που παρόλα αυτά θεωρείται αρκετά εφαρμόσιμη για το κλίμα της Νότιας Ευρώπης.

5.1.2 Τροποποιημένος Δείκτης Fournier (MFI)

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i}{P} \quad (11)$$

Όπου:

- P_i : Το άθροισμα των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων στο σύνολο ενός υδρολογικού έτους
- P : Η μέση ετήσια βροχόπτωση

Ο δείκτης MFI είναι ο λόγος των μηνιαίων βροχοπτώσεων προς τις ετήσιες και αντιπροσωπεύει την ισχυρότητα των βροχοπτώσεων του έτους που μελετάται. Αφού υπολογιστεί υπάρχουν διάφορες σχέσεις που καθορίζουν την διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης συναρτήσει του. Μία από τις πιο κοινές είναι αυτή που ανέπτυξαν οι Renard and Freimund (1994) και επεξηγείται παρακάτω.

$$i. \quad R = 0.07397 MFI - 1.847 \quad (MFI \leq 55mm) \quad (12)$$

$$i. \quad R = 95.77 - 6.081 MFI + 0.477 MFI^2 \quad (MFI > 55mm) \quad (13)$$

Όπου:

- R : Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης
- MFI : Ο δείκτης Fournier που σύμφωνα με το που κυμαίνεται επιλέγεται και η αντίστοιχη σχέση.

5.1.3 Renard and Freimund (1994)

$$i. \quad R = 0.0483 P - 1.61 \quad (P \leq 850mm) \quad (14)$$

$$i. \quad R = 578.8 - 1.219 P + 0.004105 P^2 \quad (P > 55\text{mm}) \quad (15)$$

Όπου:

- P: Η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)

Η παραπάνω σχέσεις προέκυψαν κατόπιν συσχέτισης της διαβρωτικότητας με τη μέση ετήσια βροχόπτωση και σύμφωνα με τους Renard and Freimund (1994) εμφανίζουν μεγάλο συντελεστή συσχέτισης μεταξύ ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής, όμως σε περίπτωση αρκετά μεγάλων τιμών P δεν υπάρχει καλή εφαρμογή καθώς υποεκτιμάται το μέγεθος του R. Έτσι για τιμές ετήσιας βροχόπτωσης μεγαλύτερες από 850mm, εισάγεται μία καινούρια σχέση στη μορφή πολυωνύμου.

5.1.4 D' Asaro and Santroro (1983)

$$0.21q^{-0.096} P^{2.3} NPG^{-2} \quad (16)$$

Όπου:

- q: το υψόμετρο του σταθμού (m)
- P: μέση ετήσια κατακρήμνιση (mm)
- NPG: ο μέσος αριθμός ημερών με βροχή ανά έτος

Πρόκειται για μία εξίσωση ελαφρώς πολυπλοκότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες εμπειρικές, αφού ενσωματώνονται και στοιχεία όπως το υψόμετρο και οι ημέρες με βροχόπτωση, χωρίς να αποτελούν δυσεύρετα δεδομένα όπως αυτά των αναλυτικών σχέσεων. Η καταλληλότητά της για την περιοχή μελέτης θα αναλυθεί παρακάτω μαζί με τις υπόλοιπες.

5.1.5 Wischmeier and Smith (1978)

$$R_j = 0.417 D_{6h,2y,j}^{2.17} \quad (17)$$

Όπου:

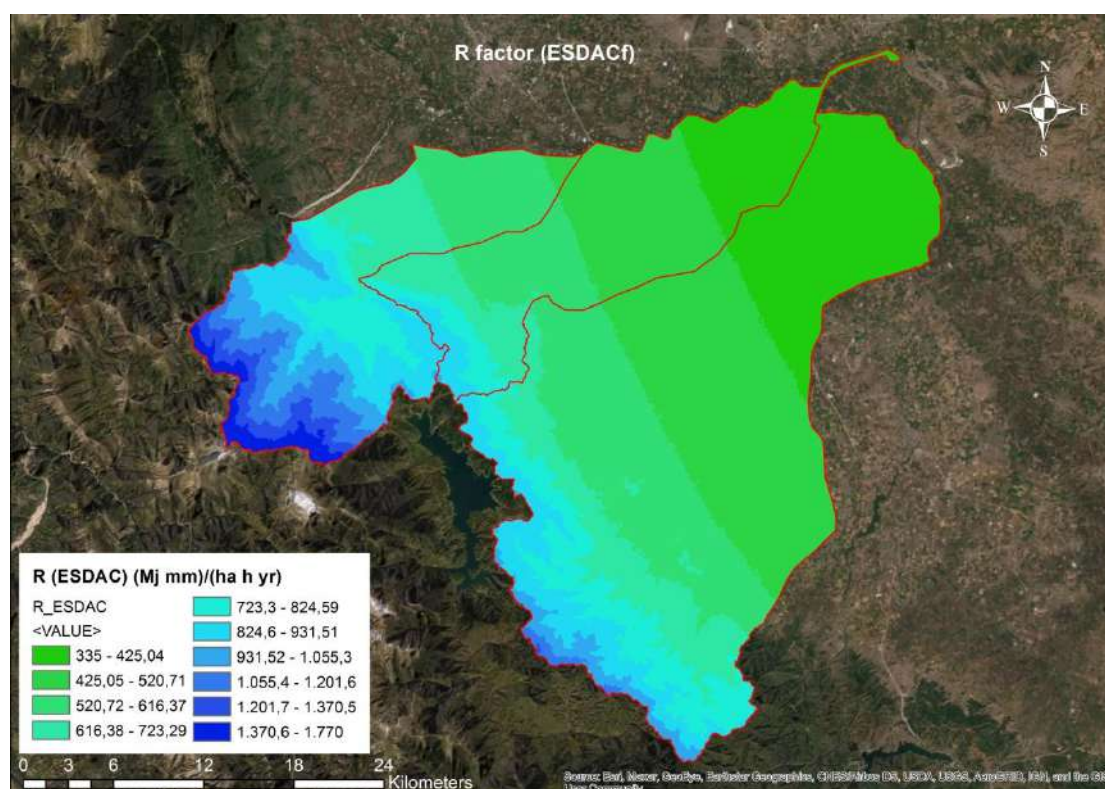
- D: Το ύψος βροχόπτωσης για επεισόδιο 6 ωρών και με περίοδο επαναφοράς 2 ετών για τον βροχογράφο υπό επεξεργασία (mm).

Αυτή η σχέση εξυπηρετεί κυρίως όταν υπάρχουν όμβριες καμπύλες και όλα τα δεδομένα είναι επεξεργασμένα. Απαιτείται να υπάρχουν οι παράμετροι του εκάστοτε βροχογράφου κι όχι δεδομένα όπως ετήσιες βροχοπτώσεις και άλλα στοιχεία που χρειάζονται πιο πολύπλοκους υπολογισμούς. Στη δική μας περίπτωση υπήρχαν δεδομένα θα αναφερθούν και θα αναλυθούν παρακάτω.

5.2 Διαδικασία υπολογισμού R (Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχόπτωσης)

Για να υπολογίσουμε από κάποια εμπειρική σχέση τη διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης, εφαρμόσαμε όλες τις παραπάνω και τις συγκρίναμε μεταξύ τους αλλά και με την υπολογισμένη διαβρωτικότητα βροχόπτωσης στην Ελλάδα. Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης στην Ελλάδα έχει υπολογιστεί με αναλυτικές σχέσεις από τους Panagos et. Al. (2015). Οι προαναφερθέντες μελέτησαν την παράμετρο σημειακά σε 80 επιλεγμένους βροχογράφους σε όλη την Ελλάδα. Για την εφαρμογή της αναλυτικής σχέσης λήφθηκαν δεδομένα με υψηλή ανάλυση (βήμα 30min) και επεξεργάστηκαν ώστε να είναι γνωστή η κινητική ενέργεια κάθε επεισοδίου, αλλά και για να διακριθούν αυτά σε πλημμυρικά και μη.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία, έγινε αναγωγή της διαβρωτικότητας από σημειακή σε επιφανειακή. Οι μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης είναι αρκετές και μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε περιβάλλον GIS όπως και στην περίπτωση των Panagos et. Al. (2015). Η επιστημονική δημοσίευση και οι χάρτες που παρήχθησαν διατίθενται ελεύθερα στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Κέντρου Εδάφους (ESDAC).



Εικόνα 19 Ο συντελεστής διαβρωτικότητας βάσει ESDAC στην περιοχή μελέτης

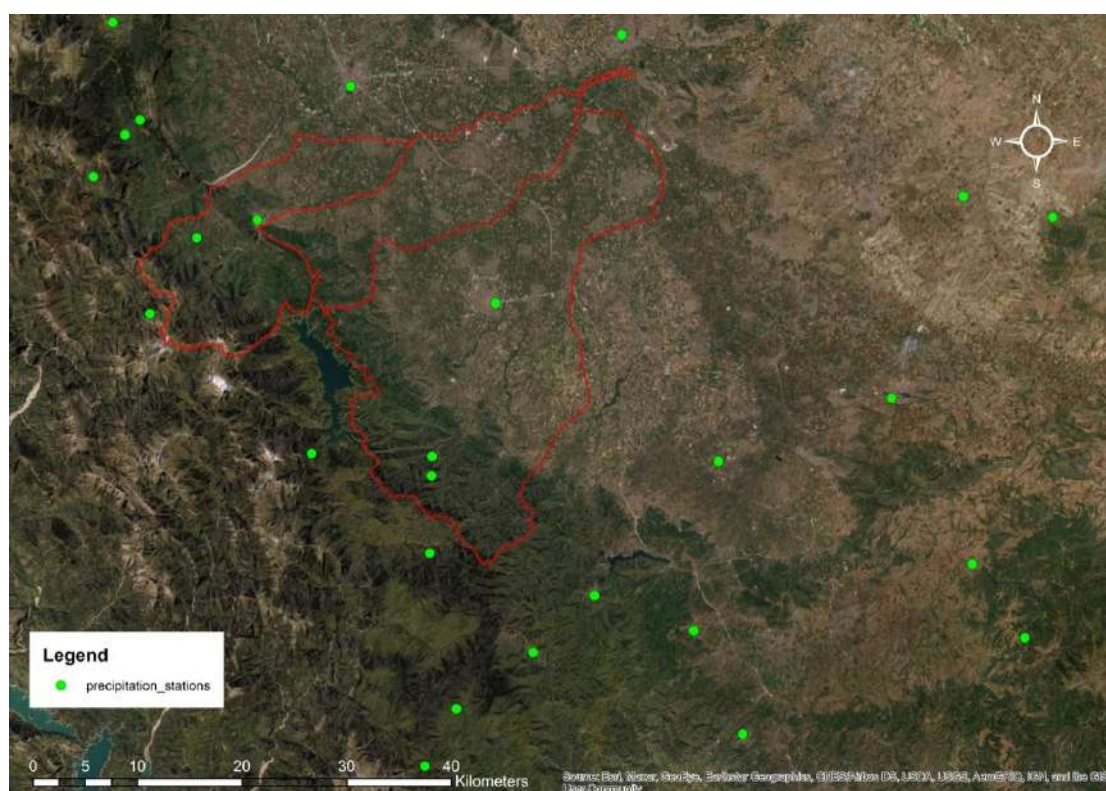
Στον παραπάνω χάρτη φαίνεται η διαβρωτικότητα και στις 3 λεκάνες, μπορούν όμως να παραχθούν αντίστοιχα για την κάθε λεκάνη ξεχωριστοί χάρτες που ταξινομούν το μέγεθος της παραμέτρου. Συνολικά στην περιοχή μελέτης ο R κυμαίνεται από 335

Πίνακας 4 Στατιστικά στοιχεία R (ESDAC) στις 3 μελετώμενες λεκάνες

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	341	957	528,63235
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	494	1770	876,18865
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	335	1233	568,08384

μέχρι $1770 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Για να εστιάσουμε στην πληροφορία της συγκεκριμένης περιοχής, επεξεργαστήκαμε τον χάρτη από ESDAC σε GIS και τον προσαρμόσαμε στην επιφάνεια των λεκανών που μας ενδιαφέρουν.

Για τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν, θα επιλεγθούν βροχογράφοι και βροχόμετρα εντός της περιοχής μελέτης, αλλά και περιμετρικά σε μικρή ακτίνα ώστε να έχουμε πλήθος δεδομένων αλλά και για να μπορέσουμε να τα παρεμβάλουμε στο χώρο με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στον χάρτη που βλέπουμε παρακάτω εμφανίζονται όλοι οι μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή και εμείς θα επιλέξουμε αυτούς που μπορούν να μας προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια, δηλαδή σε περιπτώσεις που στην ίδια τοποθεσία εμφανίζεται και βροχογράφος και βροχόμετρο, κρατάμε για τους υπολογισμούς τους βροχογράφους που έχουν ακρίβεια από 5min έως 24 ώρες.



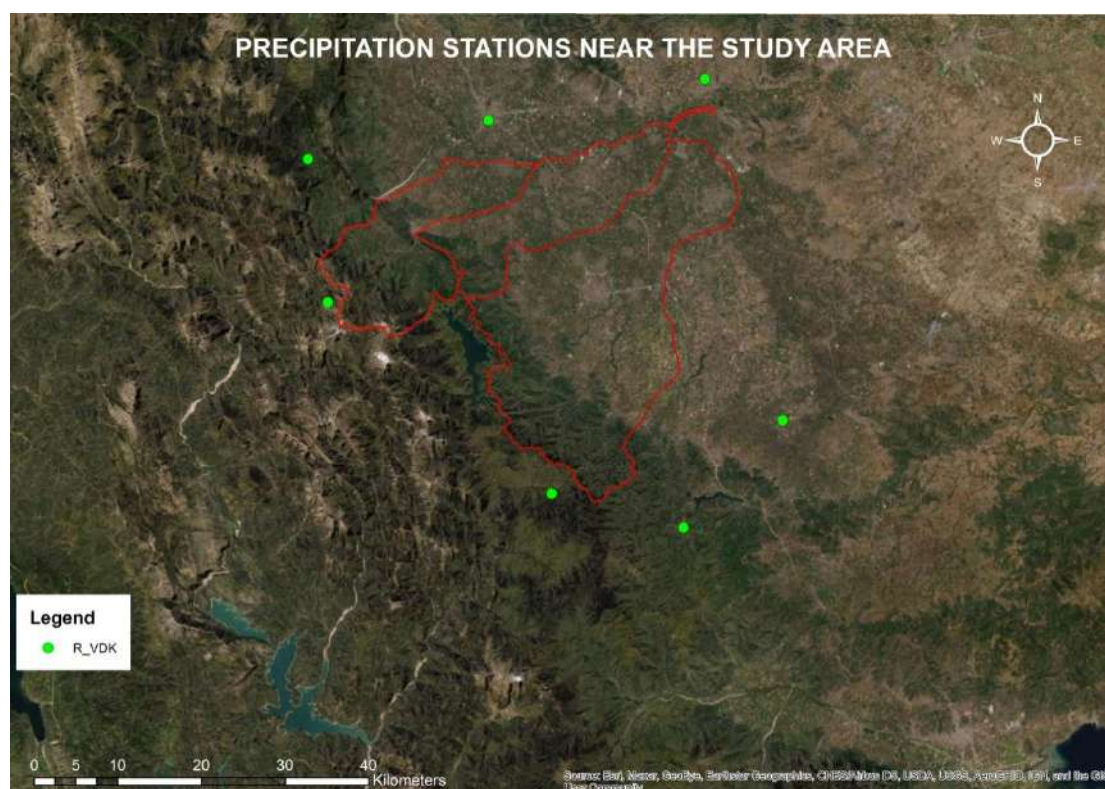
Εικόνα 20 Βροχογράφοι και βροχόμετρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

Οι σταθμοί που εμφανίζονται μέσα στην περιοχή μελέτης είναι 5 όπως φαίνεται και στον πίνακα παρακάτω, και απ αυτούς 2 είναι βροχογράφοι και οι υπόλοιποι είναι βροχόμετρα. Στις τοποθεσίες Καρδίτσα και Δρακότρυπα υπάρχουν και βροχόμετρα αλλά επιλέξαμε τους βροχογράφους, καθώς για τις όμβριες καμπύλες που θα χρειαστούμε για να εφαρμόσουμε την εξίσωση των Wischmeier and Smith (1978) θέλουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και επομένως το μικρότερο δυνατό βήμα.

Πίνακας 5 Βροχογράφοι εντός της περιοχής μελέτης

ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΡΓΑΝΟ	ΟΝΟΜΑ	X	Y	Z
GR08	342	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	321757	4359103	103
GR08	340	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	293185	4365363	680
GR08	382	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΡΑΧΟΥΛΑ	315664	4344437	330
GR08	376	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΜΟΥΖΑΚΙ	298972	4367063	226
GR08	354	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	315620	4342587	800

Οι 7 σταθμοί που επιλέχθηκαν και βρίσκονται κοντά στην περιοχή μελέτης φαίνονται στον επόμενο χάρτη και παρακάτω τα στοιχεία τους.



Εικόνα 21 Βροχογράφοι και βροχόμετρα εντός της περιοχής μελέτης

Πίνακας 6 Βροχογράφοι και βροχόμετρα πλησίον της περιοχής μελέτης.

ΥΔ	ΚΩΔΙΚΟΣ	ΟΡΓΑΝΟ	ΟΝΟΜΑ	X	Y	Z
GR08	350	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΤΡΙΚΑΛΑ	307901	4379795	149
GR08	375	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΜΟΛΟΧΑ	315446	4335188	790
GR04	165	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΑΡΓΙΘΕΑ	288679	4358079	980
GR08	351	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΒΡΟΝΤΕΡΟ	286305	4375195	853
GR08	345	ΒΡΟΧΟΓΡΑΦΟΣ	ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	331211	4331131	730
GR08	359	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	333800	4384747	87
GR08	-	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΟ	ΜΑΓΟΥΛΑ	343055	4343956	170

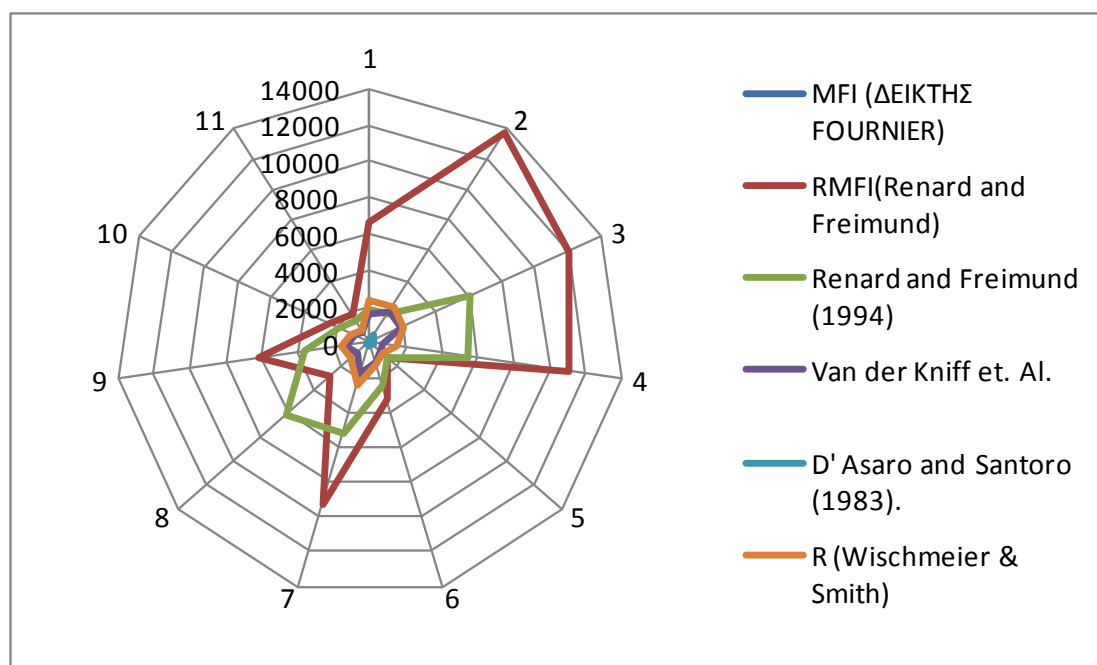
Όλα τα δεδομένα των σταθμών έχουν αντληθεί από το ΥΠΕΚΑ από τον σύνδεσμο: https://floods.ypeka.gr/egyFloods/gr08/report/GR08_P02_T1.pdf

Αφού επιλέχθηκαν όλοι οι σταθμοί με τους οποίους θα δουλέψουμε εφαρμόζουμε για τον καθένα ξεχωριστά τις εμπειρικές σχέσεις. Για την σχέση Wischmeier and Smith

(1978) οι όμβριες καμπύλες μπόρεσαν να παραχθούν από τις σχέσεις και τις παραμέτρους που δίνει το ΥΠΕΚΑ, στο Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας το οποίο βρίσκεται αναρτημένο και είναι διαθέσιμο στον παραπάνω σύνδεσμο. Τα υπόλοιπα δεδομένα είναι χρονοσειρές, οι οποίες μας παρείχαν μέσες κατηκριμνήσεις είτε σε ετήσιο είτε σε μηνιαίο επίπεδο, ανάλογα με την απαίτηση της εκάστοτε σχέσης. Συγκεντρωτικά, όλες οι σχέσεις και τα αποτελέσματα που έδωσαν φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης σύμφωνα με τις εμπειρικές σχέσεις, στις θέσεις των σταθμών.

ΠΕΡΙΟΧΗ	P (μέση ετήσια)	MFI (ΔΕΙΚΤΗΣ FOURNIER)	R _{MFI} (Renard and Freimund)	Renard and Freimund (1994)	Van der Kniff et. Al.	D' Asaro and Santoro	R (Wischmeier & Smith)
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	1172,0	123,5	6619,0	1869,0	1523,6	224,7	2337,2
ΑΡΓΙΘΕΑ	1594,0	175,4	13701,7	1869,0	2072,2	454,1	2384,7
ΒΡΟΝΤΕΡΟ	1475,0	164,9	12064,2	6106,3	1917,5	226,8	2032,3
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	637,7	158,3	11081,0	5489,7	829,0	199,3	1426,4
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	573,5	56,9	1295,6	1334,0	745,6	32,5	889,5
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	841,2	87,4	3209,5	2472,2	1093,6	75,8	1260,3
ΜΟΛΟΧΑ	1348,3	145,8	9351,4	5283,2	1752,8	276,6	2514,5
ΜΟΥΖΑΚΙ	679,1	82,4	2832,0	6106,3	882,8	67,4	1336,2
ΡΑΧΟΥΛΑ	1064,8	119,2	6152,6	3613,1	1384,2	124,2	1572,1
ΤΡΙΚΑΛΑ	707,1	77,1	2464,0	1869,0	919,2	50,8	1124,3
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	523,0	57,0	1822,5	1382,4	679,9	37,6	831,6



Εικόνα 22 Αραχνοειδές διάγραμμα για τη σύγκριση των R ανά εμπειρική εξίσωση

Η Renard and Freimund (1994) ή αλλιώς R_{MFI} εμφανίζει αρκετά μεγάλες τιμές και εκ πρώτης όψεως δεν φαίνεται κατάλληλη. Η D' Asaro and Santoro, παρά την ποικιλομορφία που εμφανίζει στις απαιτούμενες παραμέτρους, δεν είναι κατάλληλη στη συγκεκριμένη περίπτωση, αφού όλες οι τιμές είναι πάρα πολύ χαμηλές.

Χαρακτηριστικό της ακαταλληλότητας της συγκεκριμένης είναι πως καμία τιμή δεν ξεπερνάει τα 1000 Mj mm ha⁻¹ yr⁻¹ και η υψηλότερη τιμή που εμφανίζεται, είναι υπερβολικά κοντά στην μικρότερη του ESDAC (454≈335).

Οι 2 τελευταίες σχέσεις που θα συγκρίνουμε είναι η Van der Kniff και η Wischmeier & Smith. Πρόκειται για διαμετρικά αντίθετες σχέσεις, καθώς η μία είναι αρκετά απλουστευμένη και η άλλη αρκετά πολύπλοκη και απαιτητική. Η πρώτη λέγεται αλλιώς και εξίσωση της Τοσκάνης και έχει αναπτυχθεί για εφαρμογή στη Νότια Ευρώπη. Η παράμετρος που προηγείται της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης μπορεί και λαμβάνει τιμές από 1,1-1,5 και προσαρμόζεται στο κλίμα της περιοχής που μελετάμε. Εμείς λαμβάνουμε το α=1,3 μιας και το κλίμα της περιοχής εντάσσεται στο κλίμα της Βόρειας Ευρώπης και η εξίσωση έχει εφαρμοσθεί αρκετές φορές σε μελέτες στον Ελλαδικό χώρο. Στη δεύτερη σχέση βλέπουμε πως σε κάποιους σταθμούς το R συγκλίνει αρκετά με το R από Van der Kniff.

Για να μπορέσει να γίνει σωστή σύγκριση όλων των εμπειρικών σχέσεων, θα εξαχθούν σχέσεις συσχέτισης μεταξύ του υψόμετρου και του συντελεστή R. Θα γίνει γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ h(m) - R(Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ yr⁻¹) και θα υπολογιστεί το τετράγωνο του συντελεστή Pearson, ώστε να δούμε σε τι ποσοστό εξαρτάται η διαβρωτικότητα της βροχής από το υψόμετρο σε κάθε περίπτωση. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 8 Όροι γραμμικής συσχέτισης R factor- Υψόμετρου

ΣΤΑΘΜΟΣ	Υψόμετρο σταθμού	MFI (ΔΕΙΚΤΗΣ FOURNIER)	R _{MFI} (Renard and Freimund)	Renard and Freimund (1994)	Van der Kniff et. Al.	D' Asaro and Santoro (1983).	R (Wischmeier & Smith)	P (μέση ετήσια)
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	800	123,49	6619,0	1868,98	1523,6	224,73	2337,16	1172,00
ΑΡΓΙΘΕΑ	980	175,39	13701,7	1868,98	2072,2	454,13	2384,73	1594,00
ΒΡΟΝΤΕΡΟ	853	164,90	12064,2	6106,27	1917,5	226,81	2032,33	1475,00
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	680	158,26	11081,0	5489,70	1795,3	199,32	1426,36	1381,0
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	103	56,93	1295,6	1334,02	745,6	32,48	889,48	573,5
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	730	87,42	3209,5	2472,16	1093,6	75,79	1260,27	841,2
ΜΟΛΟΧΑ	790	145,82	9351,4	5283,25	1752,8	276,58	2514,50	1348,3
ΜΟΥΖΑΚΙ	226	82,38	2832,0	6106,27	882,8	67,44	1336,23	679,1
ΡΑΧΟΥΛΑ	330	119,24	6152,6	3613,06	1384,2	124,19	1572,11	1064,8
ΤΡΙΚΑΛΑ	149	77,12	2464,0	1868,98	919,2	50,83	1124,32	707,1
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	87	57,04	1822,51	1382,37	679,9	37,60	831,60	523
	mean	113,45	6417,59	3399,46	1342,43	160,90	1609,92	
	a=	0,110	11,029	1,616	1,312	0,323	1,500	
	b=	56,073	674,681	2557,718	659,079	-7,358	828,905	
	R² =	0,744	0,703	0,078	0,797	0,714	0,705	

Για να αξιολογήσουμε την καταλληλότητα των σχέσεων, θα λάβουμε υπόψιν τον συντελεστή συσχέτισης Pearson στο τετράγωνο, τις μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης.

MFI Ο δείκτης Fournier, παρατηρούμε πως έχει αρκετά ικανοποιητικό συντελεστή συσχέτισης, που σημαίνει ότι το 74% των τιμών της διαβρωτικότητας, εξαρτάται από το υψόμετρο του σταθμού. Παρά το γεγονός αυτό, οι τιμές που δίνει το MFI, είναι πάρα πολύ χαμηλές και υποεκτιμούν τον συντελεστή. Η max τιμή που δίνει ο MFI είναι $175,39 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, πολύ μικρότερη από όλες τις τιμές που δίνει το ESDAC. Το τετράγωνο Pearson και μια αρκετά μεγάλη συσχέτιση των δύο μεγεθών δεν είναι αρκετά ώστε να κριθεί κατάλληλη η σχέση, αφού το R μπορεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υψόμετρο, θα πρέπει όμως και τα αποτελέσματα να είναι ορθά, καθώς μία υποεκτίμηση του R μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις συνολικά στην εφαρμογή του μοντέλου RUSLE.

R_{MFI} Ο δείκτης R_{MFI} επίσης συσχετίζεται σε μεγάλο βαθμό με το υψόμετρο των βροχομετρικών σταθμών, και συγκεκριμένα οφείλεται κατά 70% περίπου σε αυτό. Εδώ το πρόβλημα στην εφαρμογή φαίνεται να είναι οι υπερβολικά μεγάλες τιμές που εξάγει ο R_{MFI} και συγκεκριμένα, ακόμα και η μικρότερη τιμή του απέχει απείρως από αυτές του ESDAC και γενικότερα από αυτές που συνήθως εμφανίζονται στην Ελλάδα. Κατά τους Panagos et. Al (2016) η μέση ετήσια τιμή του συντελεστή R στην Ελλάδα είναι $870 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ενώ η μεγαλύτερη είναι $2000 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως οι τιμές είναι υπερβολικά υψηλές για τον ελλαδικό χώρο. Σε περίπτωση που είχαμε σε λίγους μεμονωμένους σταθμούς τέτοιες υψηλές τιμές, δε θα ήταν πρόβλημα καθώς θα θεωρούνταν σφάλμα, με όλες τις εξαγόμενες όμως να είναι τόσο υψηλές κρίνεται ακατάλληλο το μοντέλο για εφαρμογή στη δική μας περιοχή μελέτης.

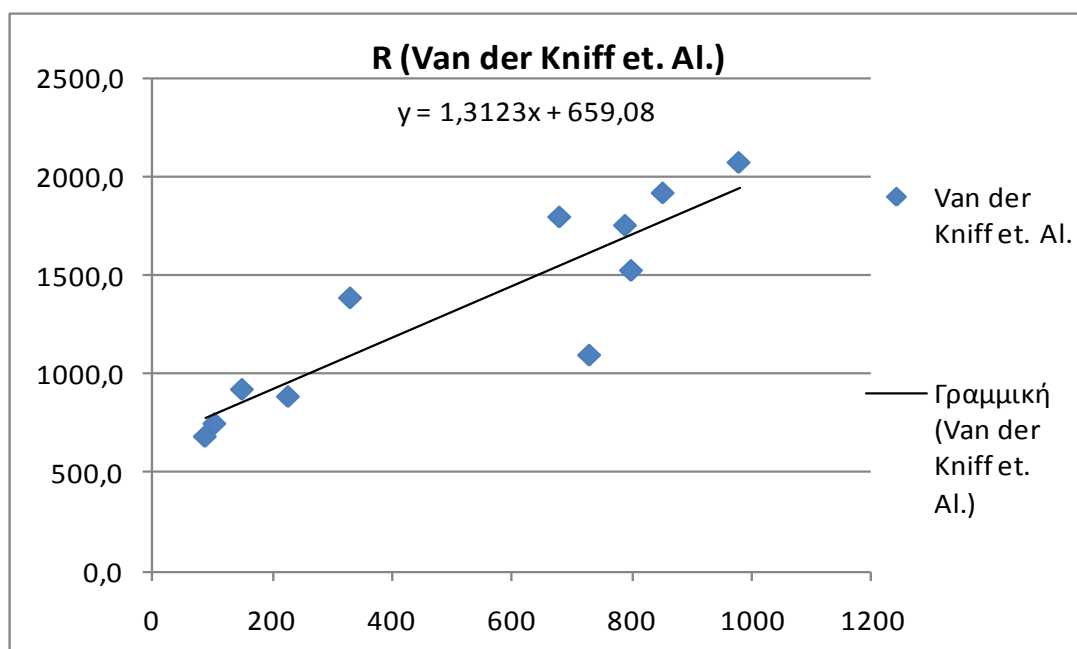
Renard and Freimund (1994) Εδώ ενώ πρόκειται για μία πιο πολύπλοκη σχέση συγκριτικά με τις υπόλοιπες, καθώς λαμβάνει υπόψιν για την επιλογή της κατάλληλης σχέσης το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης, ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι πάρα πολύ μικρός και δεν είναι αποδεκτός για την εφαρμογή της γραμμικής συσχέτισης. Φαίνεται το R να εξαρτάται μόλις κατά 7% από το υψόμετρο του βροχογράφου, κάτι που δεν ισχύει μιας και τα ύψη βροχής σχετίζονται άμεσα με το υψόμετρο και κατά συνέπεια κι ο R. Πέρα όμως από το πολύ μικρό R² παρατηρούμε και πολύ υψηλές τιμές, με τη μέγιστη να είναι $6106,27 \text{ Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Από τα παραπάνω, η εξίσωση κρίνεται ακατάλληλη για εφαρμογή στην περιοχή μελέτης.

Van der Kniff Στην εμπειρική σχέση Van der Kniff, παρατηρούμε την καλύτερη εφαρμογή του μοντέλου με συντελεστή Pearson 0,797 (80% μεταφρασμένο σε ποσοστό, επομένως και μεγάλη εξάρτηση του R από h). Φυσικά λόγω της μορφής της σχέσης, και εφόσον σχετίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό η ετήσια βροχόπτωση με το υψόμετρο, ο συντελεστής R όπως εξάγεται από την VdK είναι γραμμικά εξαρτημένος από το υψόμετρο. Για να είναι εφικτή η ορθή αξιολόγηση της Van Der Kniff θα χρειαστεί να γίνει επιφανειακή αναγωγή και να ελέγξουμε πώς παρεμβάλλεται στο χώρο. Μέχρι τότε κρίνεται πιθανώς κατάλληλη και θα εισαχθούν τα δεδομένα στο ArcMap, ώστε να επεξεργαστούν. Τα βήματα θα αναλυθούν παρακάτω.

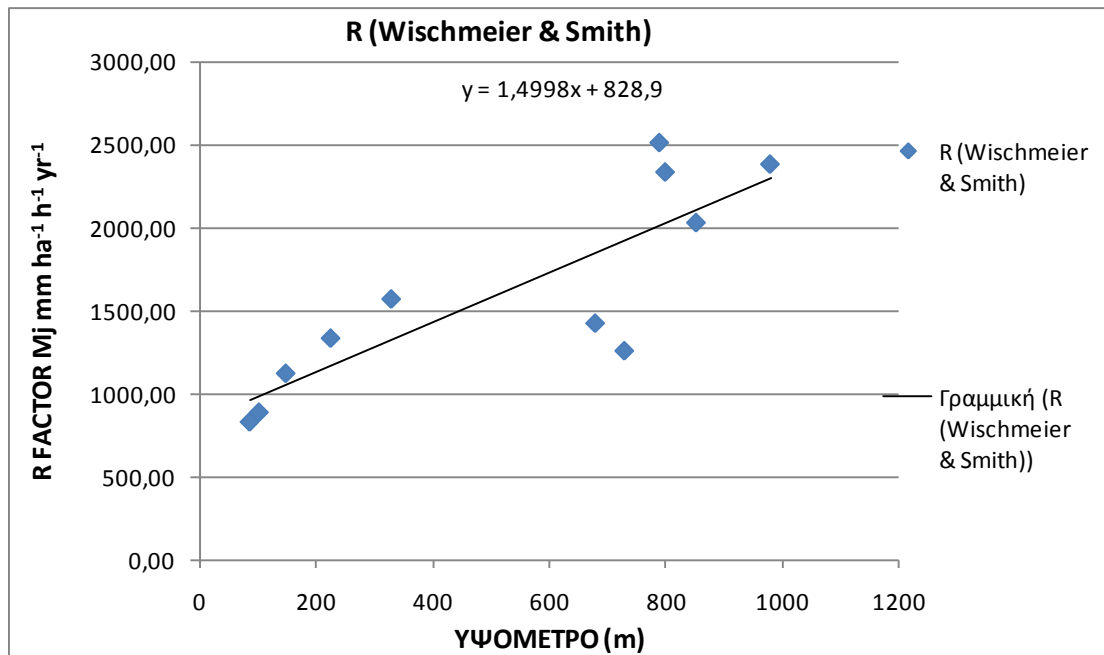
D' Asaro & Santoro Σε αυτή τη σχέση, έχουμε πάλι πολύ μεγάλο συντελεστή Pearson. Η διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης εξαρτάται κατά 71,4% από το υψόμετρο του βροχομετρικού σταθμού. Παρ' όλα αυτά στις τιμές εμφανίζεται το ίδιο

πρόβλημα με την MFI. Και στις 2 σχέσεις είχαμε υπερβολικά χαμηλές τιμές, με την παρούσα να έχει ακόμα πιο μικρές τιμές ειδικά στα μικρά υψόμετρα. Λόγω της κακής εφαρμογής, κρίνεται ακατάλληλη για εφαρμογή στην περιοχή μελέτης.

Wischmeier and Smith Η τελευταία σχέση, είχε την ιδιαιτερότητα ότι βασίστηκε σε όμβριες καμπύλες για να υπολογιστεί, σε αντίθεση με τις άλλες που κύριο ρόλο είχε η ετήσια βροχόπτωση. Ο συντελεστής Pearson ανέρχεται στο 0,705 που σημαίνει πως ο R εξαρτάται κατά 75% από το υψόμετρο του εκάστοτε βροχογράφου. Η μέση τιμή είναι 1609,92 $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ενώ η μέγιστη 2514,50 $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Παρατηρούμε πως είναι ελαφρώς πιο αυξημένες οι τιμές σε σχέση με την Van der Kniff, όμως ο συντελεστής Pearson είναι επίσης μεγαλύτερος και γι αυτό κρίνεται σκόπιμο να συγκριθούν αυτές οι δύο σχέσεις στο ArcMap μεταξύ τους αλλά και με τον χάρτη που αντλήσαμε από ESDAC. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα γραμμικής συσχέτισης $H(m)$ - $R(\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1})$ για Van der Kniff και Wischmeier and Smith.



Εικόνα 23 Regression model R-H (Van der Kniff)



Εικόνα 24 Regression model R-H (Wischmeier & Smith)

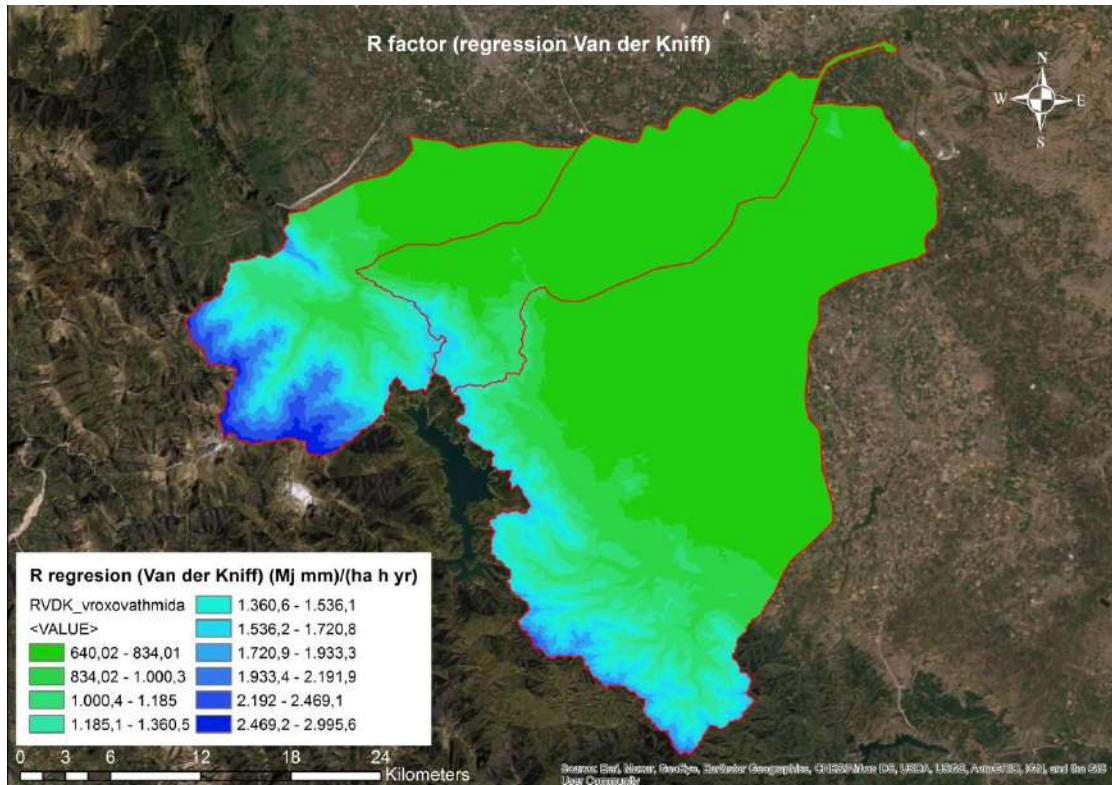
Είναι εμφανές και στις δύο εμπειρικές σχέσεις πως τα υψόμετρα συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τη διαβρωτικότητα της βροχοπτώσης. Σε κάποια μέσα υψόμετρα παρ' όλα αυτά, παρατηρούμε πως και οι 2 σχέσεις δίνουν αρκετά μεγάλη απόκλιση συγκριτικά με το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Όπως στα υψόμετρα που κυμαίνονται από 600 έως 800 μέτρα, θα πρέπει να διερενήσουμε γενικότερα τις συμβαίνει στις περιπτώσεις που η τιμή του μοντέλου απέχει πολύ από αυτή των εμπειρικών σχέσεων. Για τον παραπάνω λόγο κρίνεται απαραίτητο να υπολογιστούν τα υπόλοιπα, δηλαδή οι ποσότητες που παρεμβάλλονται ώστε να είναι μεγαλύτερη ακρίβεια των δεδομένων που θα εισαχθούν στο gis και κατά συνέπεια οι τελικοί χάρτες. Η διαδικασία υπολογισμού είναι απλή και φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 9 Διαφορά αποτελεσμάτων μοντέλου και εμπειρικών σχέσεων

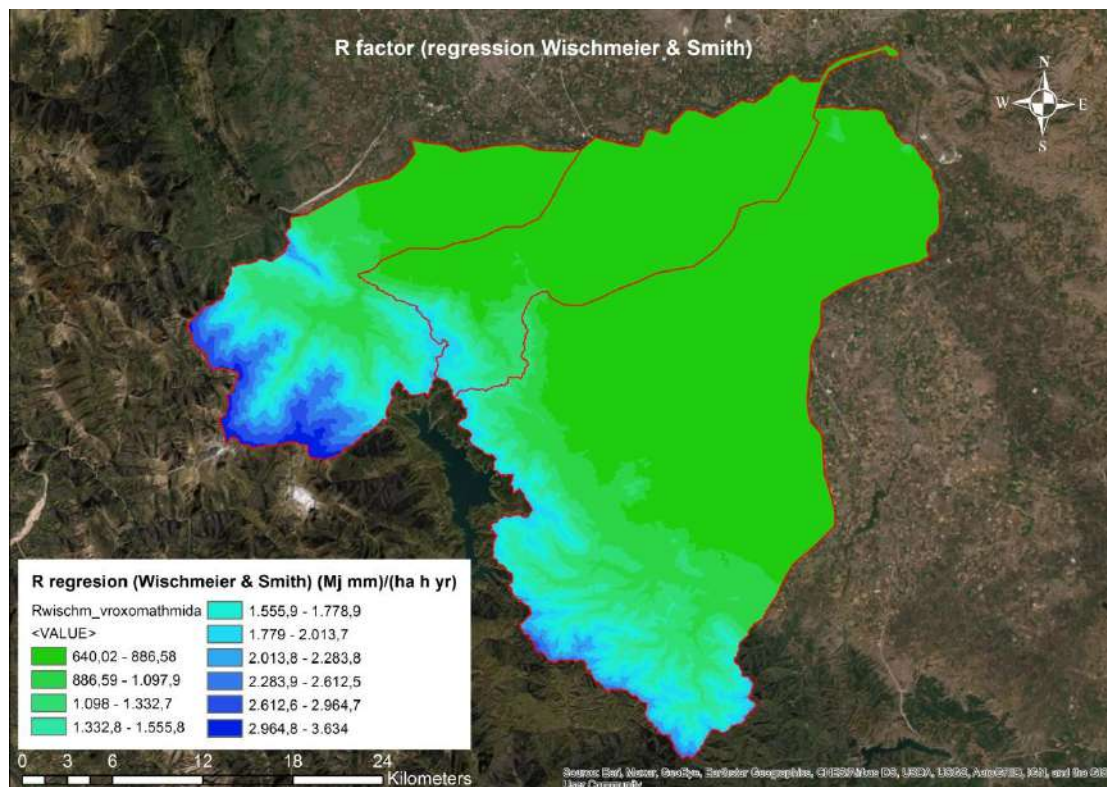
Van der Kniff et. Al.	$Y_{(regression\ model)}$	residuals	R (Wischmeier & Smith)	$Y_{(regression\ model)}$	residuals
1523,6	1584,18	-60,58	2337,16	2028,91	308,26
2072,2	1796,62	-275,58	2384,73	2298,91	-85,82
1917,5	1646,73	-270,77	2032,33	2108,41	76,08
829,0	1442,56	613,57	1426,36	1848,91	422,55
745,6	761,58	16,03	889,48	983,41	93,92
1093,6	1501,57	408,01	1260,27	1923,91	663,64
1752,8	1572,38	-180,41	2514,50	2013,91	-500,59
882,8	906,75	23,92	1336,23	1167,91	-168,32
1384,2	1029,49	-354,75	1572,11	1323,91	-248,21
919,2	815,87	-103,36	1124,32	1052,41	-71,92
679,9	742,70	62,80	831,60	959,41	127,81

Για την ολοκλήρωση της μεθόδου, μένει να εισαχθούν τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης και τα residuals στο gis ώστε να συνδυαστούν και να

αναχθούν επιφανειακά στην περιοχή μελέτης. Για να μπορέσει να προβληθεί το R στο χώρο και εφόσον έχει εξαχθεί το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης, θα συσχετιστεί με το υψόμετρο. Για να γίνει αυτό θα αξιοποιήσουμε το αρχείο DEM της περιοχής και με το εργαλείο Map Algebra θα υπολογίσουμε για κάθε σημείο στο χώρο της διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης. Ο χάρτης που θα προκύψει θα είναι υψηλής ανάλυσης, όσο δηλαδή και του DEM το οποίο έχει κελί κανάβου 5x5. Ο χάρτης R βασισμένος στο regression model φαίνεται παρακάτω:



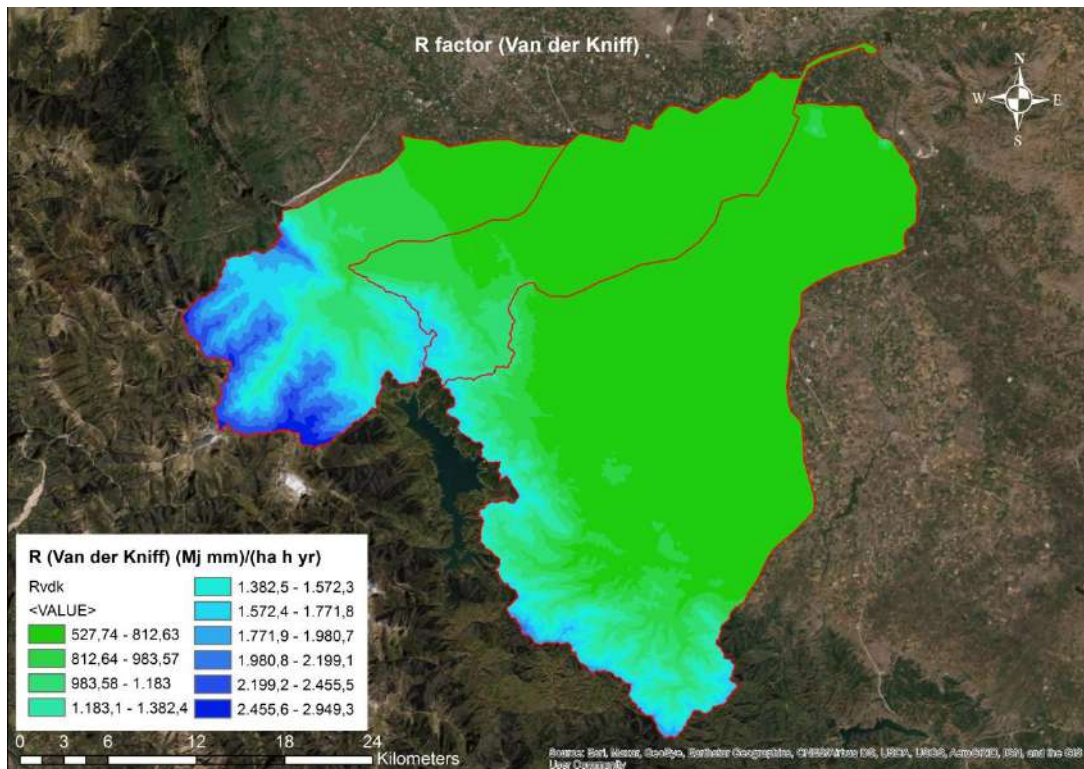
Εικόνα 25 Κατανομή του R (regression Van der Kniff) στο χώρο



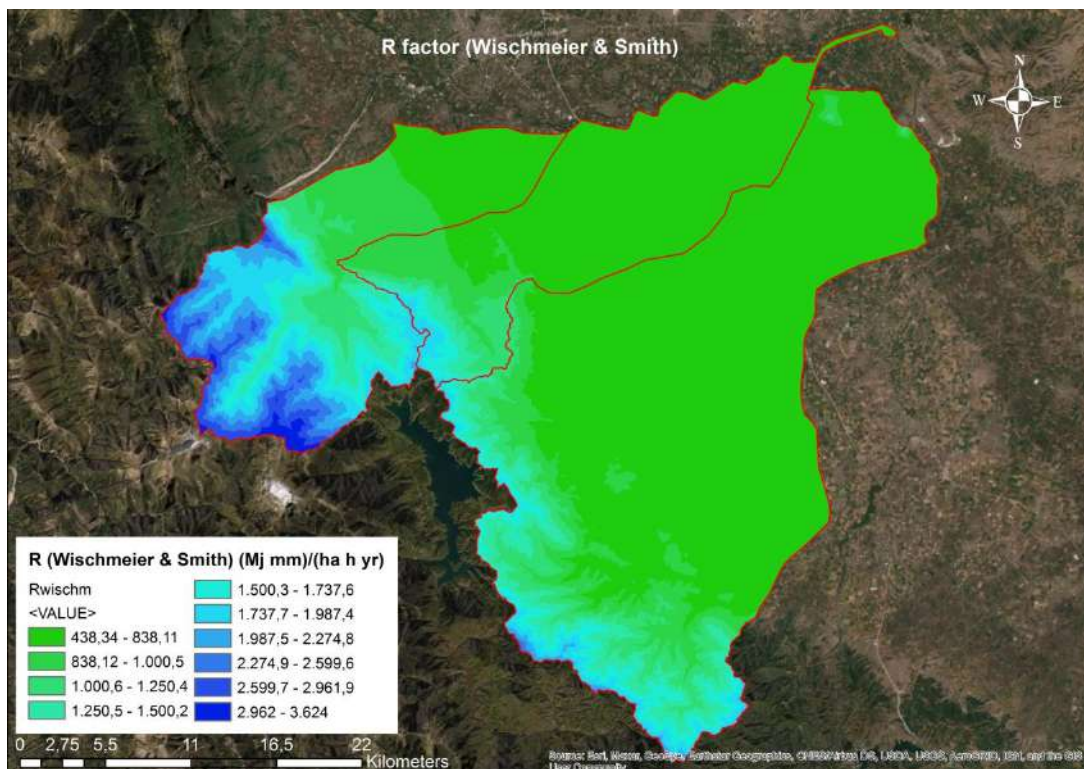
Εικόνα 26 Κατανομή του R (regression Wischmeier & Smith) στο χώρο

Στους δύο χάρτες βλέπουμε πως τα αποτελέσματα και ειδικά η κατανομή τους στο χώρο συγκλίνουν αρκετά. Αυτό συμβαίνει αφενός γιατί τα δύο μοντέλα παλινδρόμησης μοιάζουν αρκετά και αφετέρου γιατί η επιφανειακή αναγωγή τους έγινε με τον ίδιο τρόπο, μέσω του αρχείου DEM. Για να είναι ολοκληρωμένη η διαδικασία σύγκρισης και οι διαφορές πιο ευδιάκριτες, θα εισάγουμε και τα residuals και θα τα συνδυάσουμε. Τα residuals δεν ακολουθούν συγκεκριμένο μοτίβο, όπως ο συντελεστής R που εξαρτάται μέχρι ένα βαθμό από τα υψόμετρα. Είναι απαραίτητο λοιπόν να βρεθεί μία μέθοδος επιφανειακής ολοκλήρωσης στο ArcMap. Τα εργαλεία που προσφέρονται από το λογισμικό ArcMap για επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακής πληροφορίας είναι αρκετά και βασίζονται σε μαθηματικά μοντέλα. Τα πιο συνήθη και συγκεκριμένα για κατακρημνίσεις, ή R στη δική μας περίπτωση, χωρίζονται σε 2 κατηγορίες, άμεσης ολοκλήρωσης και προσαρμογής επιφάνειας. Στην άμεση ολοκλήρωση ανήκουν μέθοδοι όπως ο μέσος όρος, τα πολύγωνα Thiessen και η βέλτιστη ολοκλήρωση (Kriging), ενώ στην προσαρμογή επιφάνειας η μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων, γραμμική παρεμβολή, βέλτιστη παρεμβολή (Kriging) και άλλες.

Για δική μας διευκόλυνση επιλέξαμε τη μέθοδο αντίστροφων αποστάσεων, καθώς στο GIS αναφέρεται ως IDW και είναι από τις πιο απλές και φιλικές προς το χρήστη μεθόδους. Όσον αφορά την ακρίβεια που θα μας δώσει στην επιφανειακή ολοκλήρωση, είναι πιο σημαντική η πυκνότητα της σημειακής πληροφορίας και όχι η μέθοδος για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα (Μιμίκου και Μπαλτά, 2003). Οι χάρτες που παρήχθησαν για τις 2 εμπειρικές εξισώσεις με το εργαλείο IDW φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 27 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης από σχέση Van der Kniff et. Al. (2000).



Εικόνα 28 Διαβρωτικότητα βροχόπτωσης από σχέση Wischmeier and Smith (1978)

Για την σύγκριση των τριών χαρτών, του ESDAC, της σχέσης Van der Kniff και της Wischmeier & Smith θα συγκρίνουμε πέρα από την επιφανειακή ολοκλήρωση τα στατιστικά στοιχεία που προσφέρονται από το ArcMap με το εργαλείο Zonal

Statistics. Πέραν των ποσοτικών διαφορών που υπάρχουν στο χάρτη Van der Kniff και ESDAC, οι οποίες είναι αρκετά αναμενόμενες αν αναλογιστεί κανείς πως ο ένας προέρχεται από αναλυτική σχέση υπολογισμού και ο άλλος από εμπειρική, υπάρχουν και κάποιες πολύ μικρές διαφορές στη χωρική κατανομή. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν έχει ολοκληρωθεί με την ίδια μέθοδο η σημειακή πληροφορία. Δεν μας προβληματίζει τόσο όμως καθώς ούτε η πυκνότητα πληροφορίας είναι μεγάλη στους υπολογισμούς του ESDAC (λιγότεροι από 3 σταθμοί στην περιοχή που μελετάμε), ούτε η ανάλυση των rasters είναι υψηλή (1x1km).

Πίνακας 10 Σύγκριση min-max-mean του συντελεστή R από διαφορετικές σχέσεις.

R Van der Kniff				
ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	625,561	1870,495	840,263
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	627,753	2949,326	1391,086
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	527,740	2256,850	882,851
R Wischmeier & Smith				
ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	642,162	2175,287	911,635
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	579,725	3624,007	1512,395
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	438,342	2873,328	1060,057
R (ESDAC)				
ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	341	957	528,63235
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	494	1770	876,18865
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	335	1233	568,08384

Στην εφαρμογή του μοντέλου RUSLE θα διερευνήσουμε δύο περιπτώσεις. Για συντελεστή R υπολογισμένο από την εμπειρική σχέση Van der Kniff και από την εμπειρική σχέση, όμβριων καμπυλών- R. Η χρονολογία που τοποθετούνται οι δύο εξισώσεις στη βιβλιογραφία μας προδιαθέτει πως ενδέχεται η πιο πρόσφατη να έχει αρκετά πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Υπενθυμίζεται πως η Van der Kniff θεμελιώθηκε μεταγενέστερα της Wischmeier & Smith.

5.3 Διαδικασία υπολογισμού K (Συντελεστής Διαβρωσιμότητας Εδάφους)

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαβρωσιμότητας K, η καταλληλότερη μέθοδος που θα έπρεπε να ακολουθήσουμε είναι η συγκέντρωση και ανάλυση εδαφικών δειγμάτων της περιοχής της μελέτης μας και έπειτα να γίνει η χρήση του νομογραφήματος (Εικόνα 29) ή της σχέσης (18) που περιέχεται στη RUSLE. Εξαιτίας της συγκυρίας, των τεχνοοικονομικών μέσων και των ελλιπών πληροφοριών σχετικά με την εδαφολογία της περιοχής μας, καταφέραμε μέσω της εργασίας των Panagos et al.(2014), να απομονώσουμε την περιοχή ενδιαφέροντος μας και να εξάγουμε τις τιμές του K.

$$K = \frac{[2.1 \cdot 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]}{100} \quad (18)$$

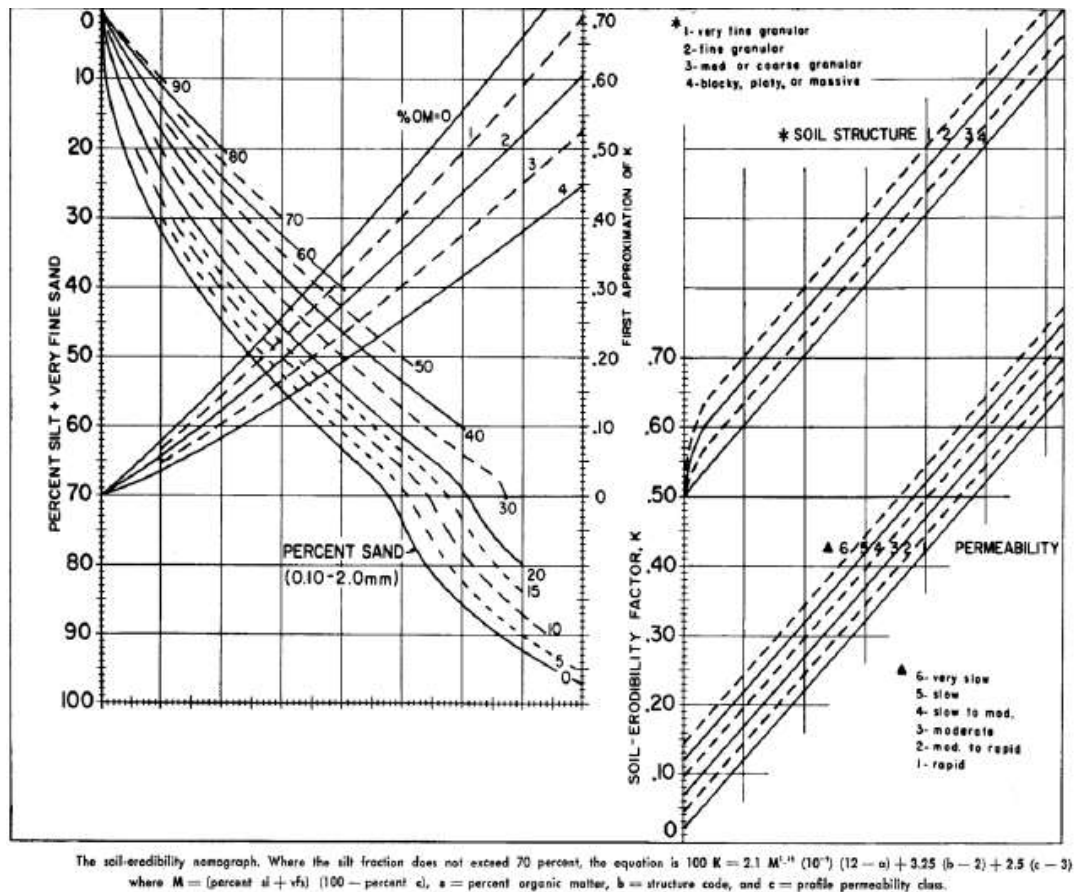
Όπου:

OM : οργανική ουσία (%)

M : δομή επιφανειακής στρώσης του εδάφους [(100-Ac)*(L+Arm_f)], όπου Ac ποσοστό αργίλου (<0,002mm), L ποσοστό ιλύος (0,002~0,05mm), Arm_f ποσοστό άμμου (0,05~0,1mm)

s : εδαφική δομή

p : διαπερατότητα εδάφους



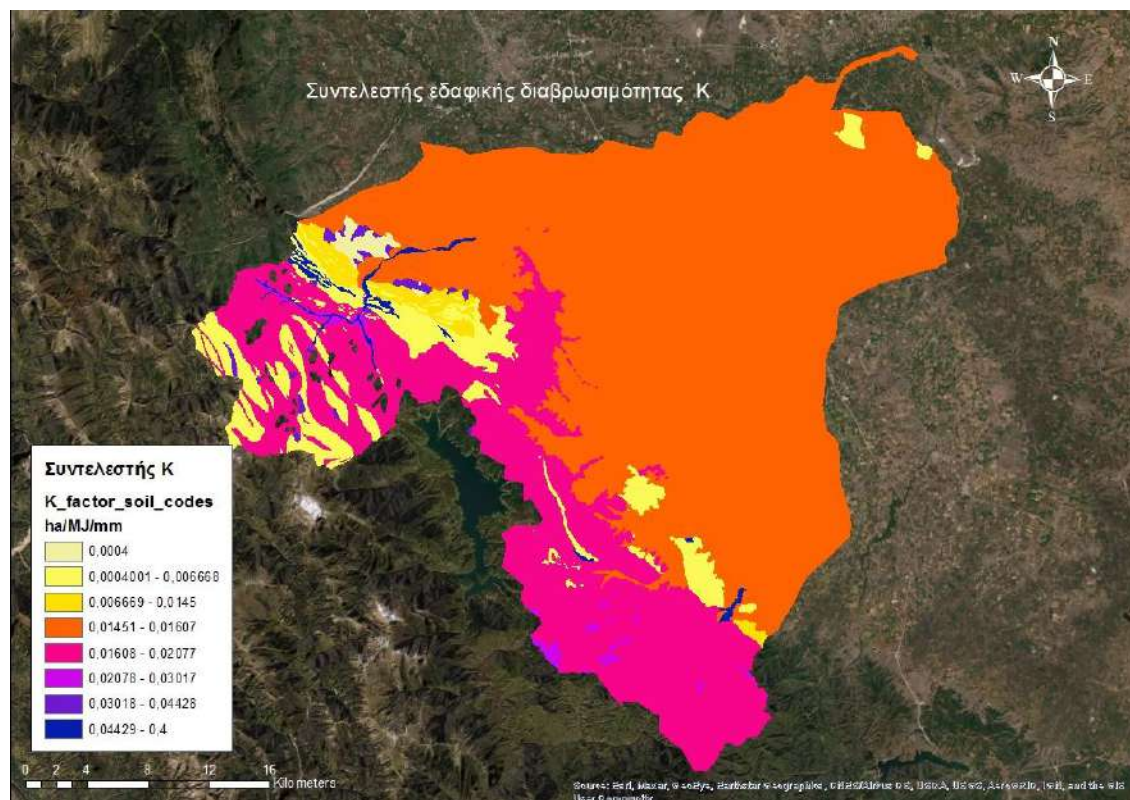
Εικόνα 29 Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή K

Εξαιτίας της συγκυρίας, των τεχνοοικονομικών μέσων και των ελλειπών πληροφοριών σχετικά με την εδαφολογία της περιοχής μας, δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες ενέργειες προκειμένου να υπολογίσουμε αναλυτικά τον συντελεστή. Έτσι, επιτεύχθηκε μέσω της εργασίας του Ευθυμίου, 2016 η άντληση τιμών για το K. Βάσει των ομαδοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών αποδόθηκε μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή K, η οποία σχετίζεται άμεσα με την εργασία των Panagos et al., 2014 και την ελληνική βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τον Ευθυμίου (2016), τονίζεται πως οι τιμές αυτές δεν είναι αποτέλεσμα μετρήσεων του πεδίου, αλλά είναι εκτιμημένες τιμές για τις οποίες έχουν ληφθεί υπόψη η υδροπερατότητα και η

διηθητικότητα του μητρικού υλικού, η απόδοση γεωλογικού υλικού κατά τη δράση του φαινομένου και η εδαφική διάβρωση.

Πίνακας 11 Τιμές του συντελεστή K (Πηγή: Ευθυμίου,2016)

Κωδικός ΙΓΜΕ	LITHOLOGY	K
al	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	0,015
fo	ΦΛΥΣΧΗΣ	0,017
Fo	ΦΛΥΣΧΗΣ	0,017
fo.k	ΠΛΑΚΩΔΕΙΣ ΦΑΚΟΕΙΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,017
fo.st	ΨΑΜΜΙΤΕΣ	0,03
H.c_s	ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΚΟΙΤΕΣ ΠΟΤΑΜΩΝ	0,021
H_t	ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΕΣ	0,045
Is	ΖΩΝΕΣ ΕΡΠΥΣΜΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	-
J ch	ΣΕΙΡΑ ΚΟΖΙΑΚΑ: ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	0,0006
J k	ΣΕΙΡΑ ΚΟΖΙΑΚΑ: ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,0006
J.h	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	0,0008
J.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,0006
J11.K1 k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΕ ΚΑΛΠΙΟΝΕΛΛΕΣ	0,0006
Jim.sh	ΑΡΓΙΛΟΠΥΡΙΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	0,007
Jms. H	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ	0,0008
Jms.k	ΕΠΙΚΛΥΣΕΓΕΝΕΙΣ ΩΟΛΟΘΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,0008
K1-7 fl	ΠΡΩΤΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ ΚΑΙ ΕΡΥΘΡΕΣ ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ	0,017
K7-9 k	ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,00085
K7 Pc	ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ (ΘΥΜΙΑΜΑ) ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΑ ΦΛΥΣΧΗΣ	0,00085
Ks k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΘΥΜΙΑΜΑΤΟΣ	0,0007
Ks.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΙΣ	0,0007
KsPc	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	0,0007
Ml k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΟΡΓΑΝΟΓΕΝΕΙΣ	0,02
Ml m	ΣΕΙΡΑ ΦΑΝΑΡΙΟΥ	0,02
mls	ΜΟΛΑΣΣΑ ΦΑΝΑΡΙΟΥ	0,02
o	ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ	0,007
o.c	ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΑ ΚΡΟΚΑΛΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ	0,007
Q.al	ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	0,015
Q.sc_cs	ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ	0,031
Q.t	ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΚΟΙΤΕΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΚΑΙ ΡΕΜΑΤΩΝ	0,045
sc1	ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΠΛΕΥΡΙΚΑ ΚΟΡΗΜΑΤΑ	0,045
tb	ΑΝΩΤΕΡΗ ΣΕΙΡΑ ΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ)	0,0008
Tm-J. mr	ΜΑΡΜΑΡΑ	0,0005
Tm-Jm.k	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	0,4
β	ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ:ΛΑΒΕΣ ΚΥΡΙΕΣ ΒΑΣΑΛΤΙΚΕΣ	0,0004
σ	ΟΦΙΟΛΙΘΟΙ:ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	0,0004



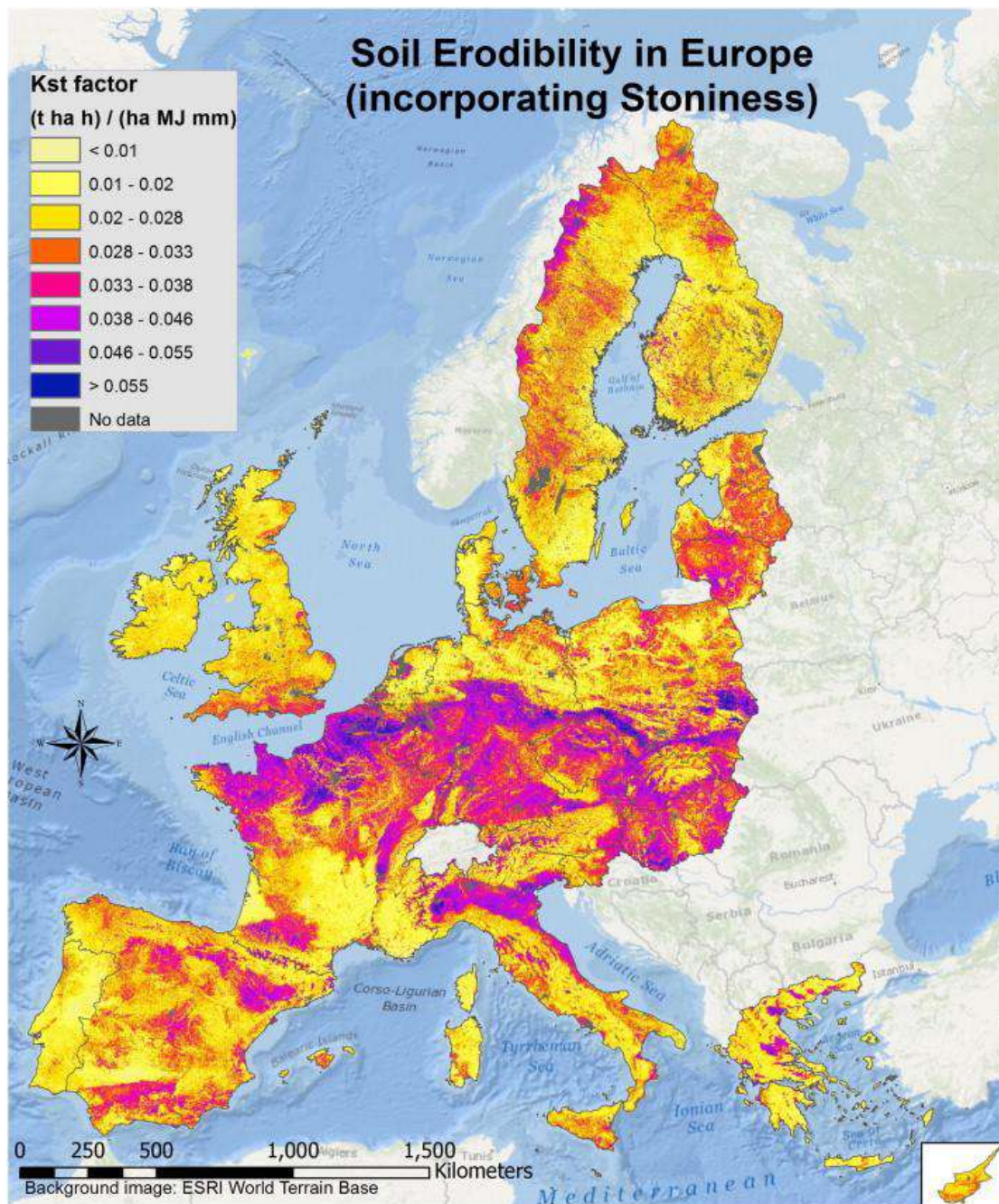
Εικόνα 30 Συντελεστής K (διαβρωσιμότητας εδάφους) στην περιοχή μελέτης

Το αποτέλεσμα της εξαγωγής σε επίπεδο λεκάνης με το εργαλείο Polygon to Raster έπειτα από ταξινόμηση έδωσε τον χάρτη με τις τιμές να κυμαίνονται από 0,0004 έως 0,4. Η μέση τιμή βάσει των υπολογισμών ισούται με 0,01577 t h/MJ/mm και απόκλιση 0,02128.

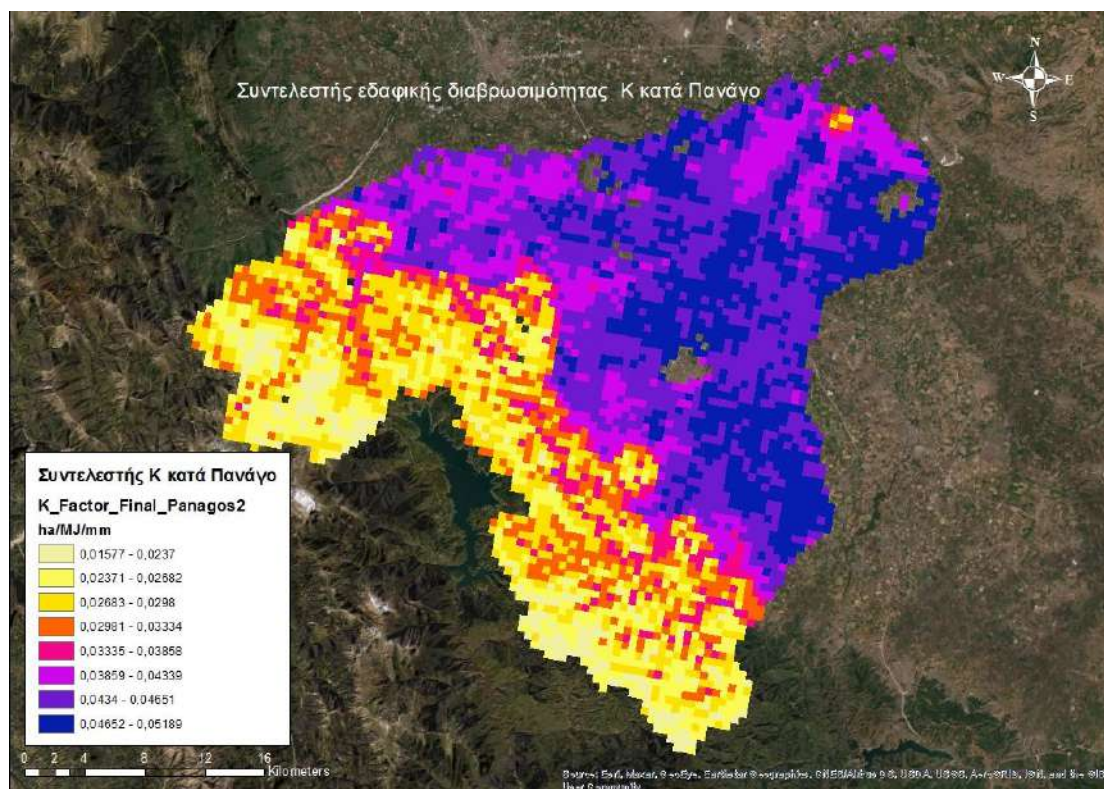
Πίνακας 12 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή K ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,0004	0,4000	0,0147
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,0004	0,4000	0,0180
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,0005	0,0450	0,0154

Ωστόσο, για να μπορέσουμε να κάνουμε μια εκτίμηση του κατά πόσο σωστή ήταν η αντιστοίχιση του συντελεστή με βιβλιογραφικές τιμές, μπορούμε να κάνουμε μια σύγκριση με το συντελεστή K που υπολογίστηκε σε ευρωπαϊκό επίπεδο λαμβάνοντας υπόψη τα εδαφολογικά δεδομένα του προγράμματος LUCAS (Land Use/Cover Area frame Survey) (Panagos et al., 2012), σε υψηλή χωρική ανάλυση (διάσταση κελιού 500 m), χρησιμοποιώντας το νομογράφημα των Wischmeier and Smith (1978). Η μέση τιμή του K υπολογίστηκε ίση με 0.032 t h/MJ/mm.



Εικόνα 31 Χάρτης υψηλής ανάλυσης (500 m μέγεθος κελιού κανάβου) της εδαφικής διάβρωσης που εκτιμάται μέσω του συντελεστή K στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενσωματώνοντας την κάλυψη από πετρώδεις σχηματισμούς (Panagos et al., 2014c).



Εικόνα 32 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K (ESDAC)

Ο παραπάνω χάρτης αποτελεί προϊόν περικοπής από το ESDAC στην περιοχή μελέτης μας, με τη χρήση του εργαλείου Extract by Mask. Η μέση τιμή σε επίπεδο ενιαίας λεκάνης είναι ίση με 0,03772 t h/MJ/mm και απόκλιση 0,008985.

Πίνακας 13 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή K(ESDAC) ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,0236	0,0510	0,0411
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,0159	0,0479	0,0325
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,0158	0,0519	0,0386

Παρατηρούμε ότι οι τιμές συγκλίνουν πολύ και βασίζονται πάνω σε κοινά δεδομένα. Θα επιλέξουμε, όμως, να κρατήσουμε για τον τελικό υπολογισμό τον βιβλιογραφικό K, καθώς η ανάλυση είναι πολύ καλύτερη και τυχόν αποκλίσεις μεταξύ του K από ESDAC και των πραγματικών τιμών, θα διανείμει σφάλμα σε πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια. Επίσης, ο χάρτης που παράγεται εφαρμόζοντας τις βιβλιογραφικές τιμές μπορεί να θεωρηθεί αρκετά ακριβής σε επίπεδο λεκάνης απορροής, αφού εμφανίζονται λίγων ειδών πετρώματα και οι τιμές που αντλούνται αντιστοιχούν σε μετρήσεις σε ελληνικά εδάφη.

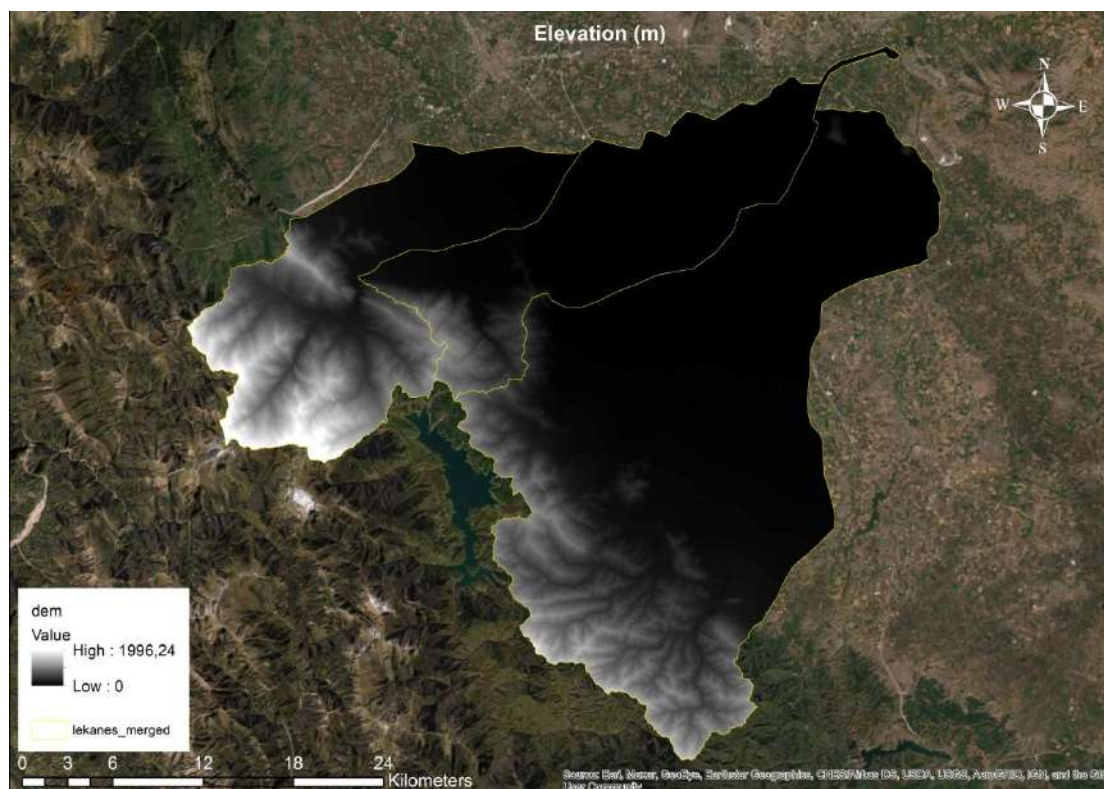
5.4 Διαδικασία υπολογισμού LS (Συντελεστής Μήκους- Κλίσης)

Για τον υπολογισμό του συντελεστή μήκους-κλίσης απαιτείται η ύπαρξη ψηφιακού υψομετρικού χάρτη (DEM). Είναι χάρτης σε μορφή raster ο οποίος αναπαριστά το ανάγλυφο μιας περιοχής. Ο χάρτης μας δόθηκε και για να υπολογίσουμε τον συντελεστή επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε μία σχέση που συναντάται στα

περισσότερα άρθρα που επιχειρούν να υπολογίσουν αυτοματοποιημένα τον συντελεστή σε περιβάλλον GIS. Η μέθοδος αναφέρεται ως USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition) (Jim Pelton, Eli Frazier, and Erin Pickilingis, 2012. Calculating Slope Length Factor (LS) in the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)). Το αρχείο DEM χρησιμοποιείται για να παραχθούν και να συνδυαστούν τα raster “flow accumulation” και κλίσεων της λεκάνης. Το πρώτο είναι αντιπροσωπευτικό όσον αφορά τα σημεία που συγκεντρώνονται απορρέοντα ύδατα, ενώ το δεύτερο μέσω του DEM υπολογίζει κλίσεις σε μοίρες στη δική μας περίπτωση. Για να είναι επιτυχής ο συνδυασμός των δύο εικόνων στο raster calculator θα πρέπει να είναι σωστά διατυπωμένη η σχέση που θα εισάγουμε και στοιχεία όπως η ανάλυση του αρχείου DEM να είναι ακριβή.

Η σχέση που εξάγει τον συντελεστή LS είναι η παρακάτω:

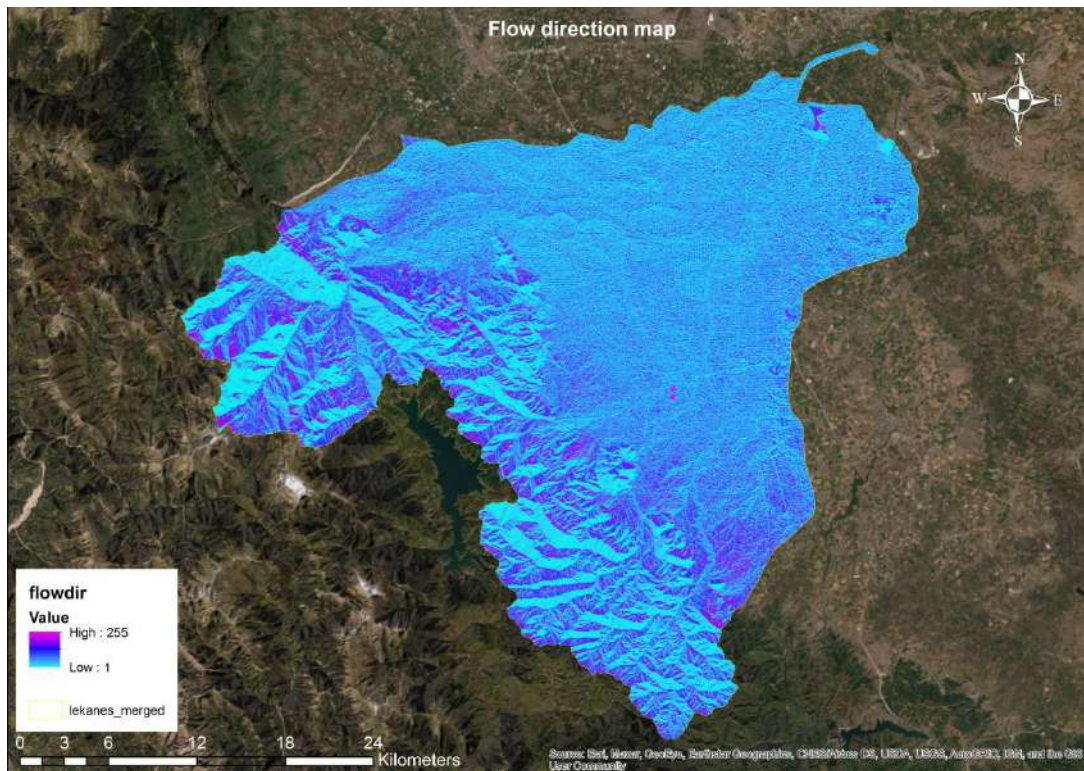
$$LS = (\text{flowacc} * [\text{cell resolution}]/22.1)^{0.4} * (\text{Sin}(\text{sloperasterdeg} * 0.01745)/0.09)^{1.4} * 1.4 \quad (19)$$



Εικόνα 33 Ψηφιακός χάρτης υψομέτρων (DEM)

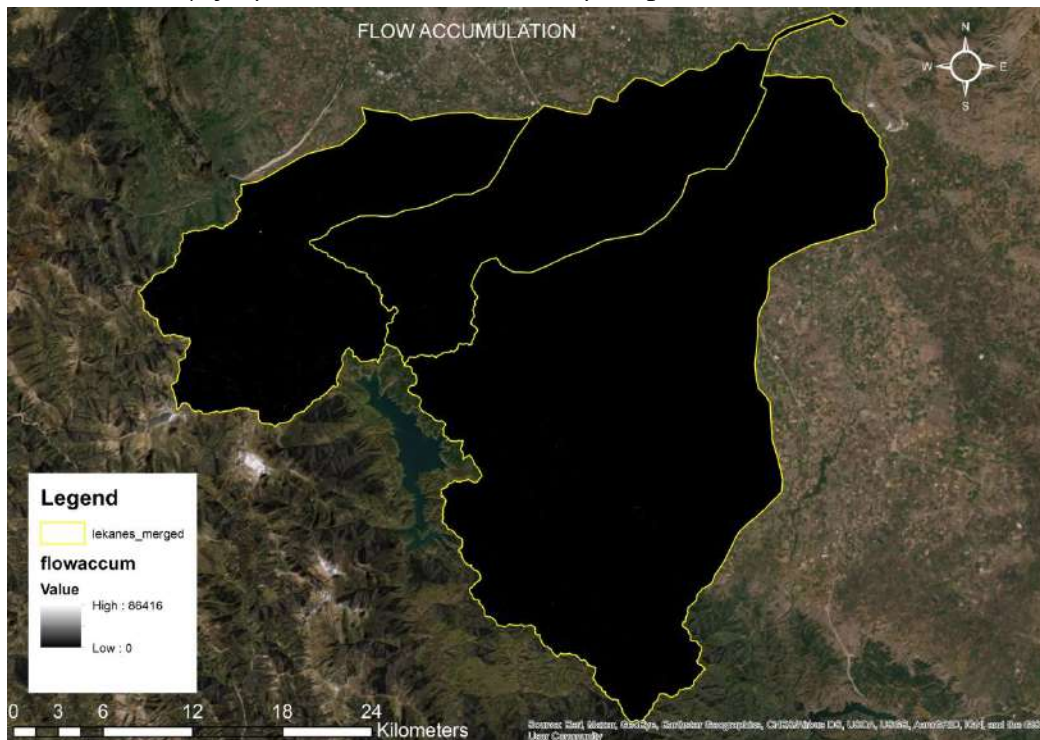
Η διαδικασία που ακολουθείται ώστε να φτάσουμε στους χάρτες που απαιτούνται για την παραγωγή του raster Ls factor έχει ως εξής:

1. Υπολογίζουμε το Flow Direction με input το DEM, όπως φαίνεται παρακάτω:



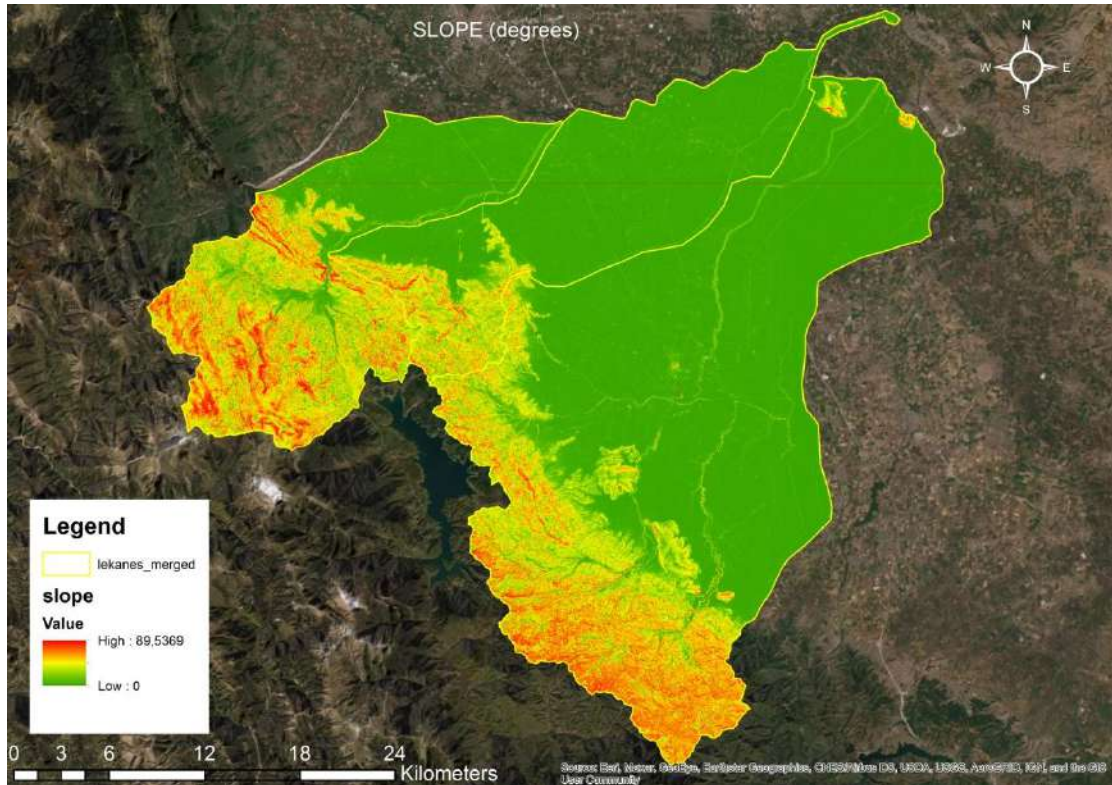
Εικόνα 34 Χάρτης διευθύνσεων ροής

2. Υπολογίζουμε το Flow accumulation με input το Flow direction



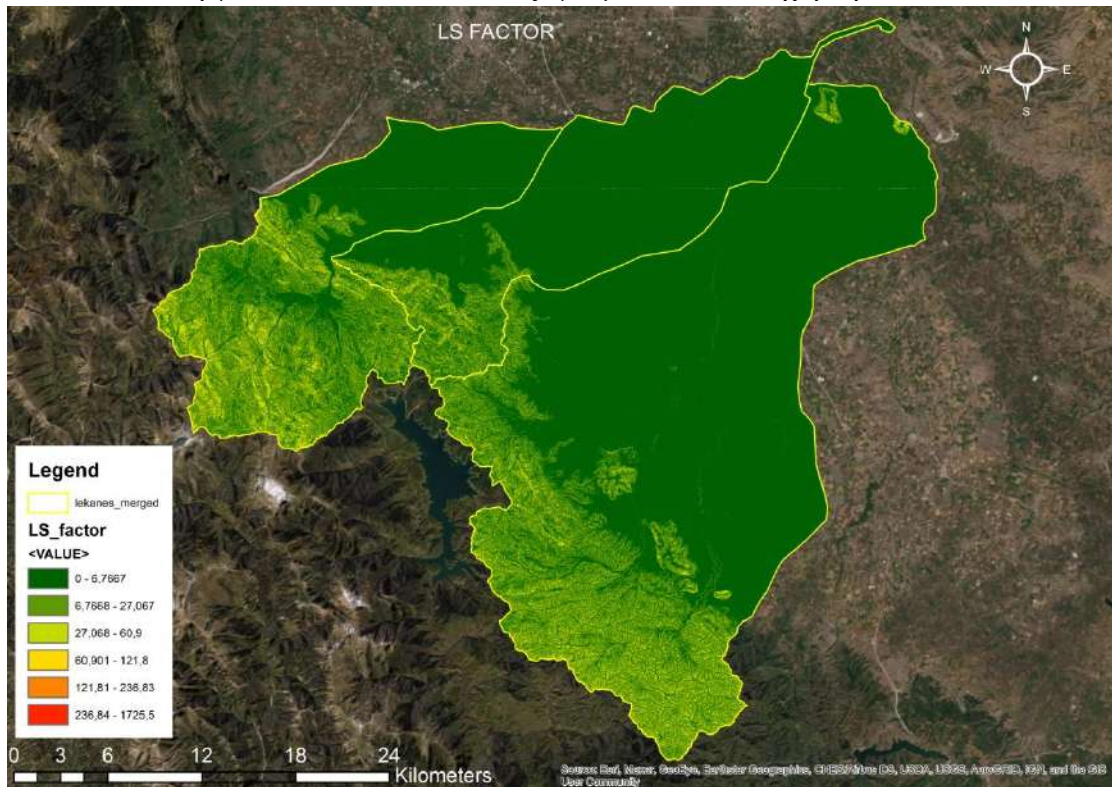
Εικόνα 35 Χάρτης συγκέντρωσης ροής

3. Υπολογίζουμε τις κλίσεις σε μοίρες (εργαλείο Slope)



Εικόνα 36 Χάρτης κλίσεων (degrees)

4. Με το εργαλείο raster calculator εξάγουμε τον τελικό χάρτη LS factor



Εικόνα 37 Χάρτης συντελεστή μήκους-κλίσης (LS factor)

Παρά τις μεγάλες τιμές που εμφανίζονται στο υπόμνημα του συντελεστή μήκους-κλίσης, ο συντελεστής κυμαίνεται σε φυσιολογικά πλαίσια όπως φαίνεται και

παρακάτω βάσει μέσων τιμών ανά λεκάνη, ενώ οι μεγάλες τιμές οφείλονται σε σημειακά πολύ μεγάλες κλίσεις και δεν επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Πίνακας 14 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή συντελεστή Ls ανά λεκάνη.

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0	993,734	2,696
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0	1725,502	11,284
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0	1272,256	5,526

5.5 Διαδικασία υπολογισμού C (Συντελεστής Κάλυψης- Διαχείρισης γης)

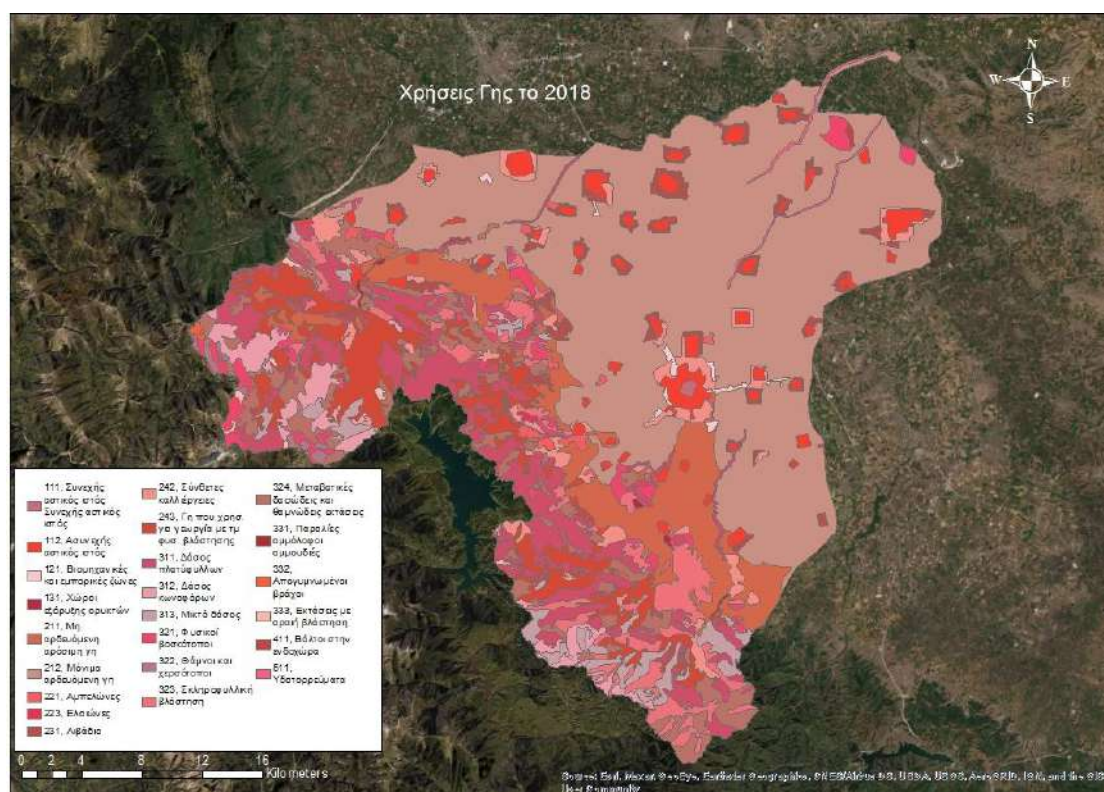
Ο συντελεστής C εκφράζει ουσιαστικά και υποδηλώνει με ποιόν τρόπο ή με τι μέσο καλύπτεται ένα συγκεκριμένο ποσοστό της έκτασης. Μας δίνει δηλαδή πληροφορίες για τη χρήση που έχει υποστεί μια περιοχή, κα άρα μπορούμε να καταλάβουμε αρκετά εύκολα την επικρατέστερη διαχείριση. Για κάθε κωδικοποιημένη χρήση γης που συναντάται σε μια υδρολογική λεκάνη δόθηκε μια τιμή του C, η οποία προέκυψε από εκτιμήσεις παραγόντων βλάστησης όπως επιφανειακής κάλυψης, κάλυψης κόμης, ύψους φυτών για τις κυριότερες χρήσεις γης της περιοχής μελέτης (δάσοι κωνοφόρων και πλατύφυλλων, σκληροφυλλική βλάστηση, βοσκότοποι, ελαιώνες, αμπελώνες, καμένες εκτάσεις, οικιστικές εκτάσεις). Παρακάτω παρουσιάζονται οι χρήσεις γης των υδρολογικών λεκανών, με τους αντίστοιχους κωδικούς της κατάταξης κατά CORINE, και τους αντίστοιχους συντελεστές κάλυψης και διαχείρισης του εδάφους.

Πίνακας 15 Χρήσεις γης-CLC κωδικοί- συντελεστής C

Χρήσεις Γης	Κωδικός Corine	Συντελεστής C
Συνεχής αστικός ιστός	111	0,075
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	0,001
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,01
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	131	0,05
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	0,28
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	0,2
Αμπελώνες	221	0,3269
Ελαιώνες	223	0,2094
Λιβάδια	231	0,1132
Σύνθετες καλλιέργειες	242	0,1476
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	243	0,1307
Δάσος πλατύφυλλων	311	0,0014
Δάσος κωνοφόρων	312	0,0011
Μικτό δάσος	313	0,0011
Φυσικοί βοσκότοποι	321	0,0522

Θάμνοι και χερσότοποι	322	0,0219
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	0,0623
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	0,026
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,075
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,075
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,3062
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,075
Υδατορρέυματα	511	0,075

Το CORINE Land Cover (CLC) είναι ένα πρόγραμμα μέσω του οποίου πραγματοποιείται η χαρτογράφηση της κάλυψης γης και ξεκίνησε το 1985 (έτος αναφοράς 1990). Ακολούθησαν ενημερώσεις του προγράμματος τα έτη 2000, 2006, 2012 και 2018, δηλαδή υπάρχουν πέντε διαφορετικές εκδόσεις και η κάθε μια αποτελεί ένα διαφορετικό επίθεμα (CLC-1990, CLC-2000, CLC-2006, CLC-2012 και CLC-2018). Τα αναθεωρημένα αυτά αρχεία του CLC μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών, υποστηρίζοντας διάφορες κοινοτικές πολιτικές στους τομείς του περιβάλλοντος, της γεωργίας, των μεταφορών, του χωροταξικού σχεδιασμού κ.ά.



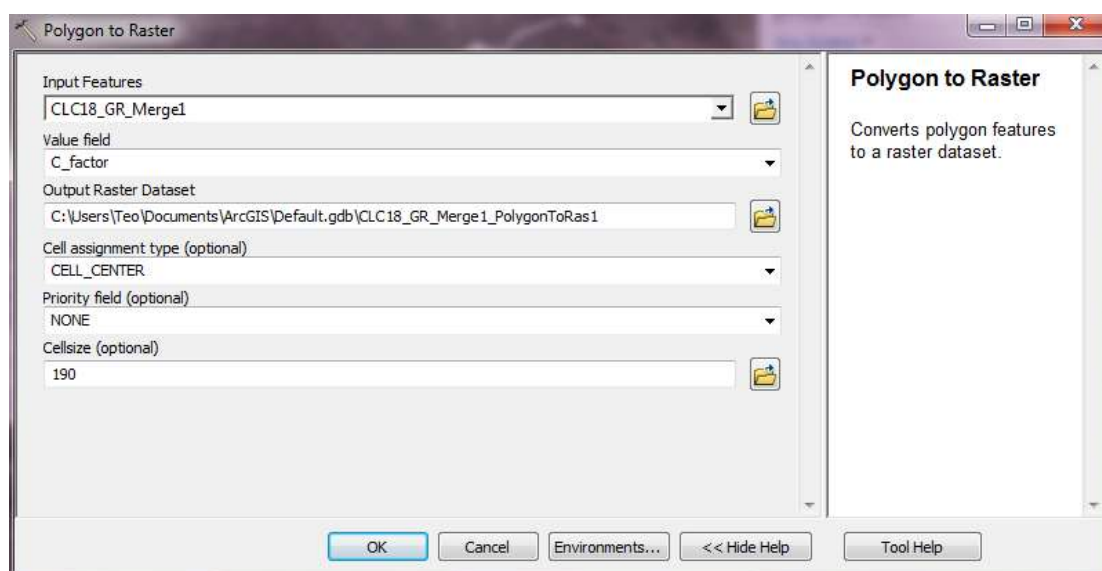
Εικόνα 38 Χρήσεις Γης στην περιοχή μελέτης (Corine Land Cover 2018)

Ο υπολογισμός του συντελεστή C πραγματοποιείται με το μοντέλο LANDUM που έχει αναπτυχθεί σε Ευρωπαϊκή κλίμακα και διαφοροποιείται μεταξύ των αρόσιμων γαιών και των άλλων χρήσεων γης (μη αρόσιμες). Το LANDUM βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση, σε δεδομένα τηλεπισκόπησης υψηλής χωρικής ανάλυσης και σε στατιστικά στοιχεία για τις γεωργικές καλλιέργειες και τις πρακτικές διαχείρισης. Τεχνητές εκτάσεις, υγράτοποι, υδάτινα σώματα, απογυμνωμένες

βραχώδεις εκτάσεις, παραλίες και παγετώνες δεν λαμβάνονται υπόψη στην αξιολόγηση του συντελεστή C (Panagos et al., 2015b).

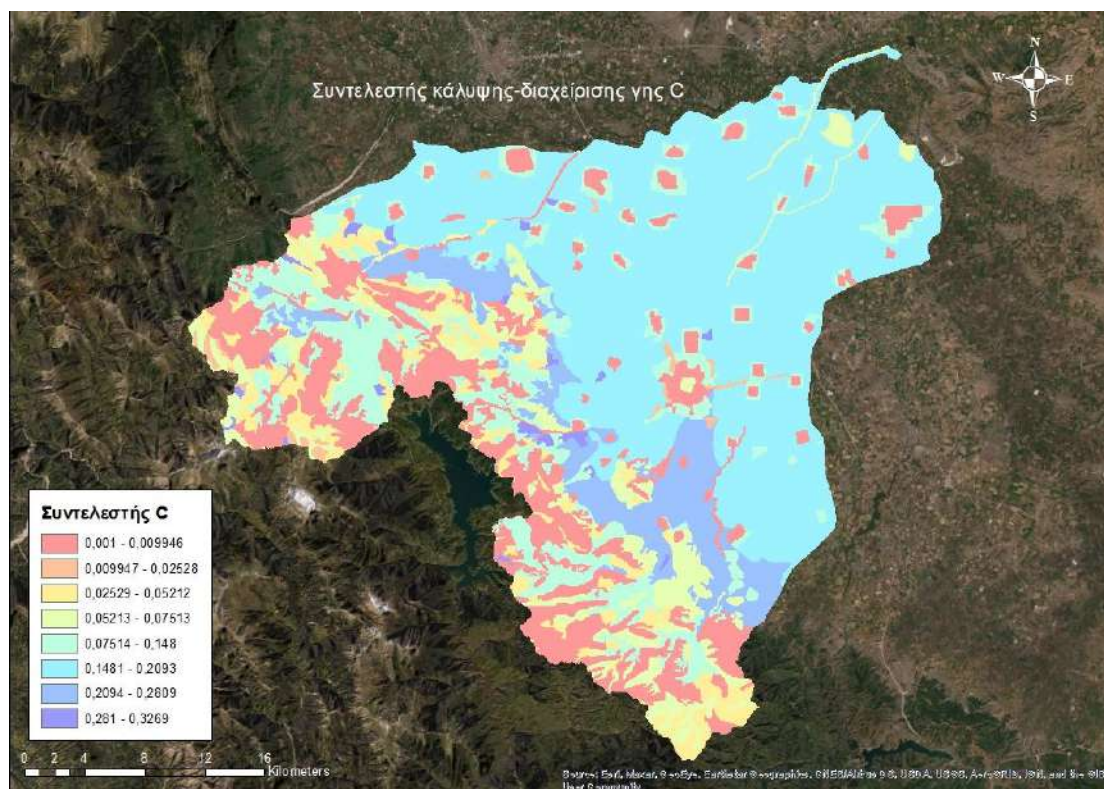
Η μεθοδολογία για την εκτίμηση του συντελεστή C στην Ευρωπαϊκή Ένωση περιλαμβάνει την χρήση πανευρωπαϊκών δεδομένων, όπως αυτά του προγράμματος κάλυψης-χρήσης γης CORINE, τις βιοφυσικές ιδιότητες που προκύπτουν μέσω Τηλεπισκόπησης (ENVISAT/MERIS), και τα στατιστικά στοιχεία για τις γεωργικές καλλιέργειες (Eurostat).

Έχοντας εισάγει το επίθεμα CLC-2018 στο περιβάλλον επεξεργασίας – ArcMap κάνουμε extract by mask στην περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή στις τρεις υδρολογικές λεκάνες της μελέτης μας. Με την εντολή Add Field εισάγουμε τις τιμές του συντελεστή C που έχουμε αντλήσει από τη βιβλιογραφία μας, ενδεικτικά Panagos et al.2015b, Βαχαβιώλος 2014. Στη συνέχεια με το εργαλείο Polygon to Raster εξάγουμε ένα raster αρχείο με τις τιμές ενδιαφέροντος μας, δηλαδή το συντελεστή C, όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 39 Εργαλείο Polygon Raster

Το αποτέλεσμα αυτής της εξαγωγής έπειτα από ταξινόμηση έδωσε τον χάρτη με τις τιμές να κυμαίνονται από 0,001 έως 0,3269. Η μέση τιμή βάσει των υπολογισμών ισούται με 0,1397.

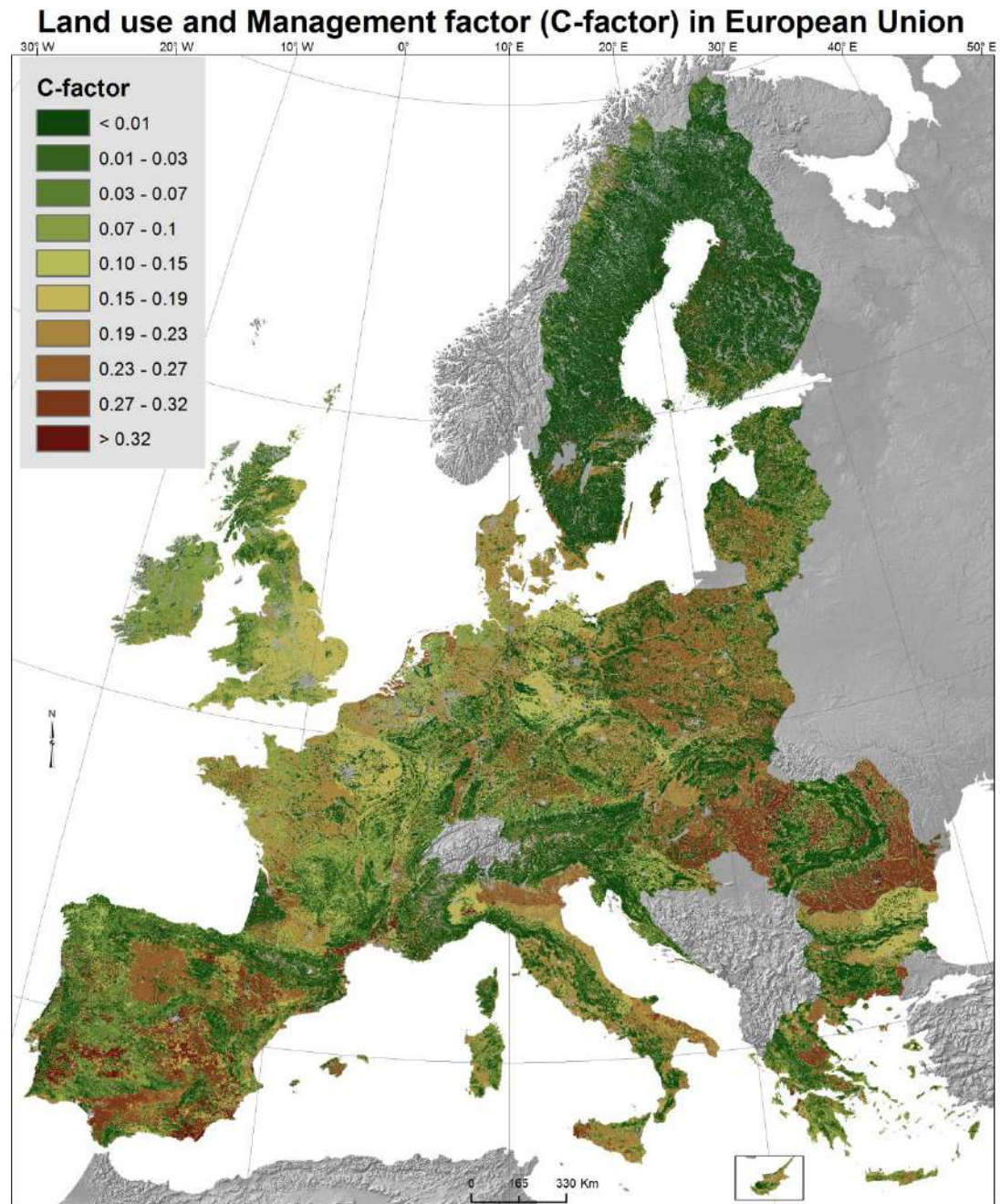


Εικόνα 40 Χάρτης τιμών συντελεστή C στην περιοχή μελέτης

Πίνακας 16 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή C

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,001	0,200	0,179
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,001	0,200	0,159
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,001	0,200	0,163

Η μέση τιμή του συντελεστή C για την Ελλάδα είναι 0,110 με μια τυπική απόκλιση της τάξεως του 0,104, σύμφωνα με τους Panagos et al., 2015b, ενώ από την εργασία της Παπαπέτρου, 2017 για την περιοχή της Θεσσαλίας η μέση τιμή του συντελεστή C ισούται με 0,1489.



Εικόνα 41 Χάρτης υψηλής ανάλυσης (100 m μέγεθος κελιού κανάβου) του συντελεστή διαχείρισης - κάλυψης γης στην Ευρώπη (Panagos et al., 2015b).

Χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του συντελεστή C άλλη μια μέθοδος, η οποία βασίστηκε σε NDVI δεδομένα. Αρχικά, αντλήθηκε εικόνα από το δορυφόρο Landsat 8 μέσω του προγράμματος GloVis, του ερευνητικού προγράμματος των Η.Π.Α., USGS. Η εικόνα αυτή η οποία αποθηκεύτηκε σε αρχείο TIFF, αναπαριστά μια περιοχή της Ελλάδας που συμπεριλαμβάνει την περιοχή μελέτης μας και έχει τραβηχτεί από το δορυφόρο το μήνα Απρίλιο του 2020, ενώ η ατμόσφαιρα ήταν καθαρή και η ανάλυση επαρκής. Για την αποτύπωση μιας NDVI εικόνας επιλέχθηκαν οι μπάντες 5 και 4, σύμφωνα και με το δορυφόρο Landsat 8.

Band 5→ InfraRed (NIR)

Band 4→ RED

Μια προσέγγιση για τον προσδιορισμό του συντελεστή από δεδομένα από απόσταση είναι με το Normalized Difference Vegetation Index NDVI (Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένων Διαφορών) :

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (20)$$

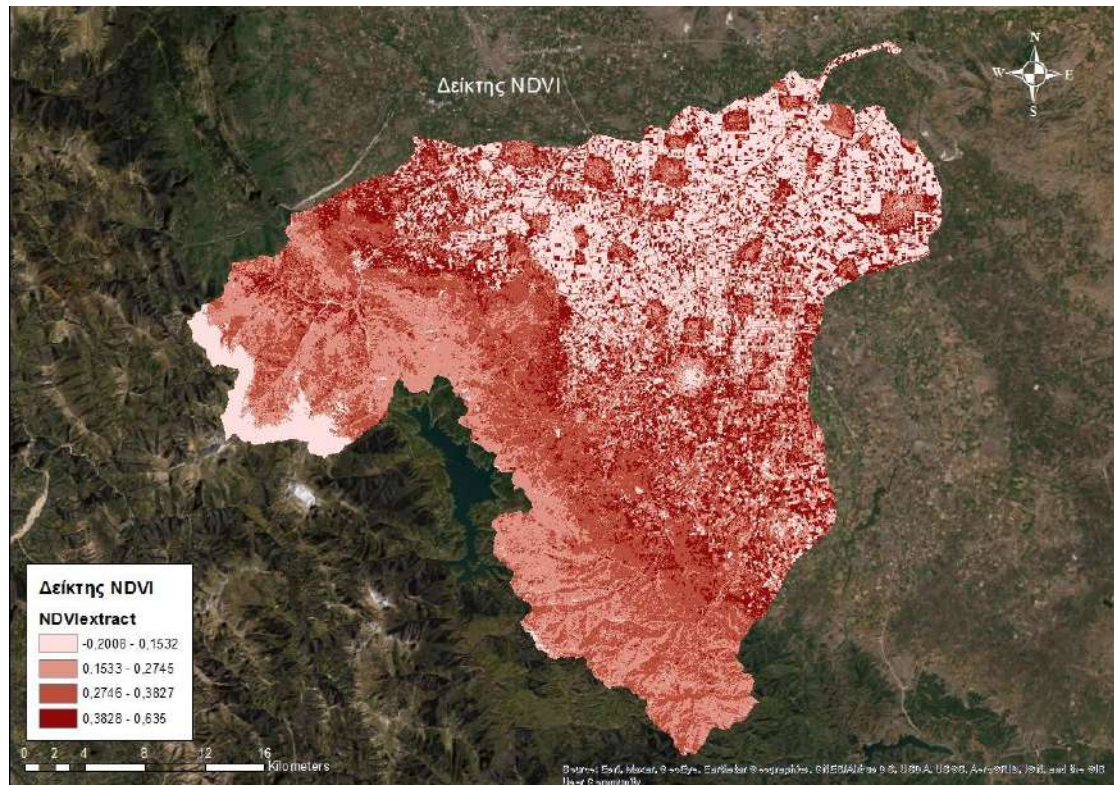
Όπου:

- NIR= Εγγύς υπέρυθρο
- RED= Ερυθρό

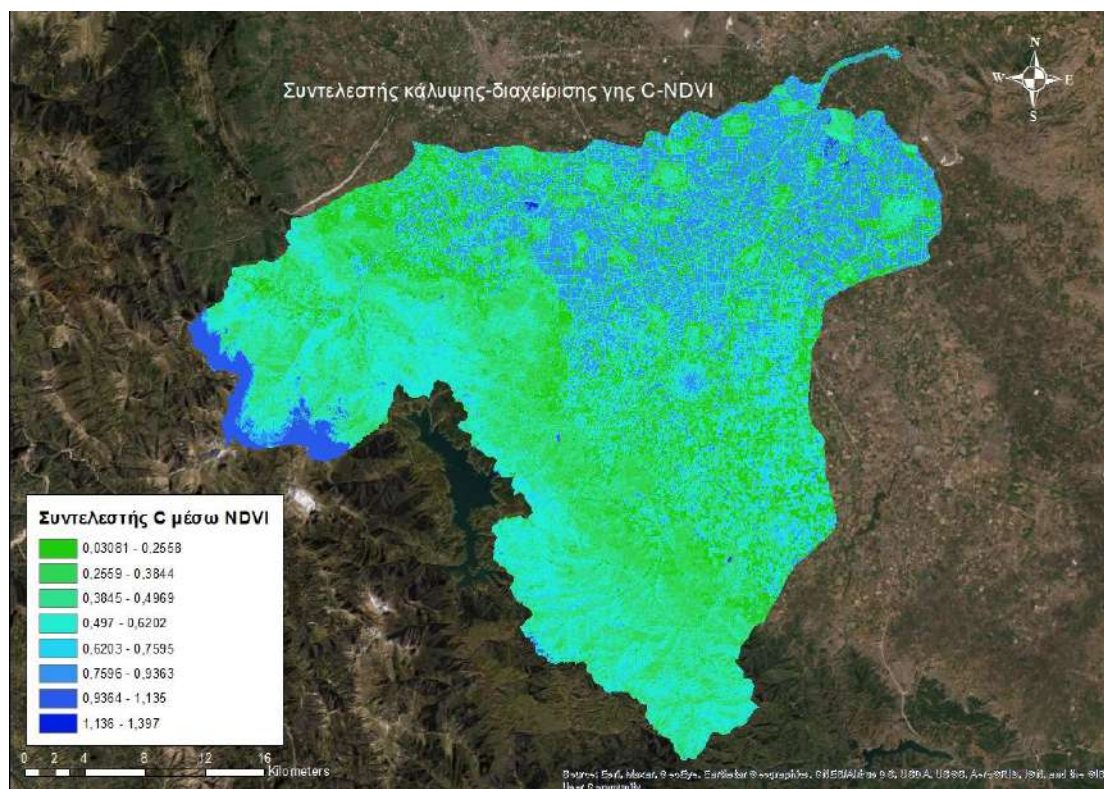
Σύμφωνα με τους Van Der Kniff et al., (1999), προτάθηκε η εξής εκθετική συνάρτηση με την οποία θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε τον συντελεστή C σε μια NDVI εικόνα:

$$C_{vk} = \exp\left(-a \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}\right) \quad (21)$$

Όπου τα α και β είναι παράμετροι που καθορίζουν το σχήμα της καμπύλης NDVI-C. Για τις κλιματικές συνθήκες στην Ευρώπη, οι τιμές των α και β ισούνται με 2 και 1 αντίστοιχα.



Εικόνα 42 Ο δείκτης NDVI στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 43 Ο συντελεστής C σύμφωνα με την εξίσωση των Van Der Kniff et al.(1999)

Η μέση τιμή του συντελεστή C υπολογισμένη σε μια εικόνα NDVI ισούται με 0,5069.

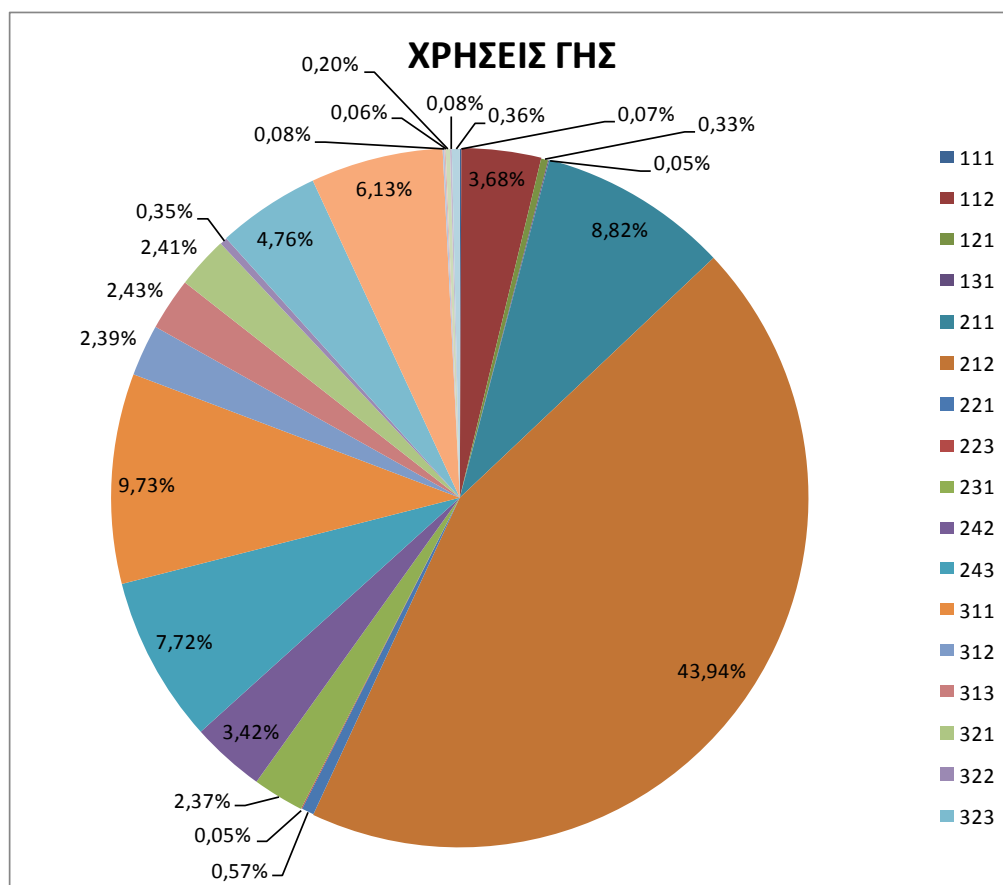
Πίνακας 17 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή C (NDVI)

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,031	1,397	0,559
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,039	1,366	0,530
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,037	1,391	0,479

5.6 Διαδικασία υπολογισμού P (Συντελεστής Ελέγχου Διάβρωσης)

Τον σημαντικότερο ρόλο στον υπολογισμό του συντελεστή ελέγχου της διάβρωσης, έχουν οι καλλιεργητικές πρακτικές που ασκούνται στην περιοχή μελέτης. Τέτοιες πρακτικές μπορεί να είναι η φύτευση κατά ζώνες, η φύτευση κατά ισουψείς, η δημιουργία αναβαθμίδων και η ύπαρξη βοσκότοπων. Οι τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής, προσδιορίζονται αυστηρά μετά από επιτόπια έρευνα και παρατήρηση πεδίου κάτι που είναι συχνά ανέφικτο και που πολλές φορές δεν γίνεται από επιλογή μιας και οι πρακτικές που ασκούνται στη Ελλάδα είναι απειροελάχιστες. Ο συντελεστής, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους της εξίσωσης RUSLE είναι ο πιο αναξιόπιστος λόγω του ότι δεν μπορεί να ανταποκριθεί πραγματικά στην ισχύουσα κατάσταση (Renard et. Al, 1994). Στις περισσότερες περιπτώσεις ο συντελεστής λαμβάνει τιμές μέσω βιβλιογραφίας ή λαμβάνει την εννιαία τιμή P=1 για ολόκληρη την περιοχή μιας και σπάνια ασκούνται οι πρακτικές που προαναφέρθηκαν. Επίσης ελλείψει δεδομένων ο συντελεστής μπορεί να ληφθεί 1. Σύμφωνα με τους Panagos et.

ΑΙ 2015, ο μέσος συντελεστής για την Ελλάδα είναι $P=0,9502$. Πριν λάβουμε τον συντελεστή ίσο με 1 θα διερευνήσουμε τις πιθανές τιμές στην περιοχή μελέτης.

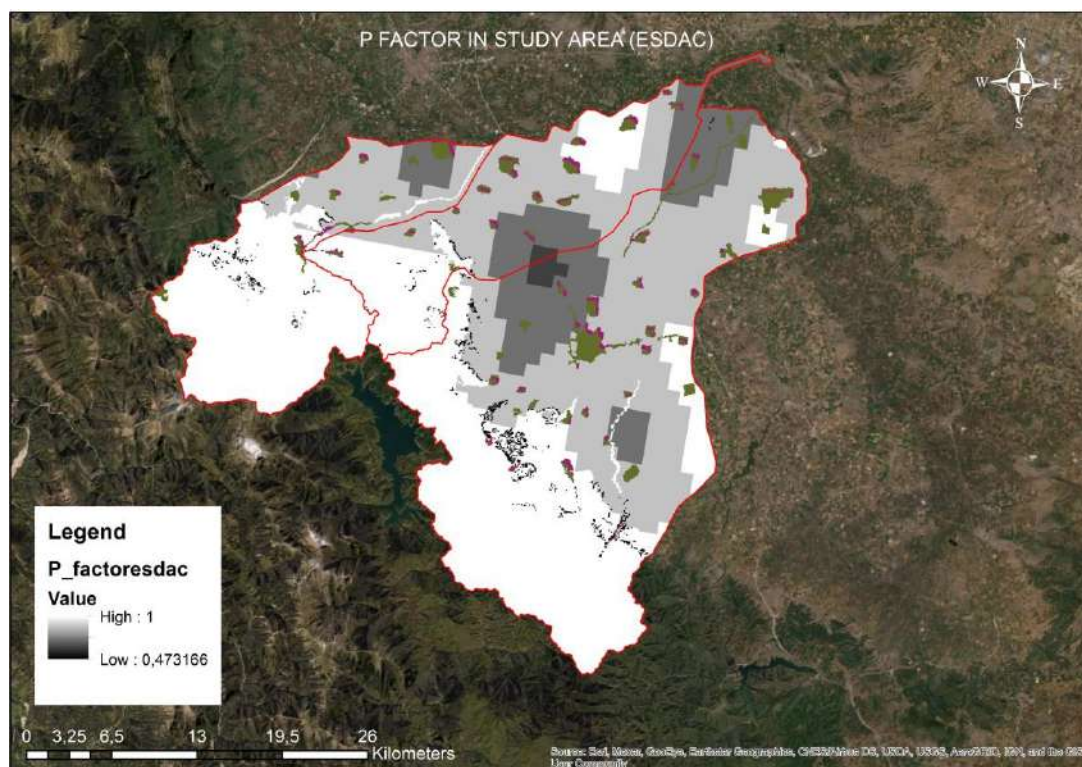


Εικόνα 44 Ποσοστό κάλυψης χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα ένα αρκετά μεγάλο ποσοστό (60% περίπου) αντιστοιχεί σε καλλιέργειες και γι αυτές τις περιοχές θα διερευνήσουμε πως μπορεί να εφαρμοστεί ο συντελεστής P. Στο ArcMap, στις περιοχές που αποτελούν καλλιέργειες και είναι δυνατό να έχουν εφαρμοσθεί πρακτικές όπως φύτευση κατά τις ισοϋψείς κλπ θα δωθούν τιμές μικρότερες του 1 με τη λογική πως ακόμα και με έμμεσες παρεμβάσεις, όπως η αναβαθμίδες, περιορίζουν το φαινόμενο της εδαφικής διάβρωσης. Ο χάρτης που θα παραχθεί θα συγκριθεί με αυτόν από την έρευνα των Panagos et al 2015, ανηγμένο σε επίπεδο λεκάνης.

Πίνακας 18 Τιμές για τον συντελεστή P στην περιοχή μελέτης

Χρήσεις γης	CODE_18	Ποσοστό κάλυψης (%)	P factor
χώροι εξορύξεως ορυκτών	131	0,05%	1
ελαιώνες	223	0,05%	0,8
απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,06%	1
συνεχής αστικός ιστός	111	0,07%	1
παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,08%	1
βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,08%	1
εκτάσεις με αραϊή βλάστηση	333	0,20%	1
βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,33%	1
θάμνοι και χερσότοποι	322	0,35%	1
υδατορρέυματα	511	0,36%	1
αμπελώνες	221	0,57%	0,8
λιβάδια	231	2,37%	0,8
δάσος κωνοφόρων	312	2,39%	1
φυσικοί βοσκότοποι	321	2,41%	1
μικτό δάσος	313	2,43%	1
σύνθετες καλλιέργειες	242	3,42%	0,75
ασυνεχής αστικός ιστός	112	3,68%	1
σκληροφυλλική βλάστηση	323	4,76%	1
μεταβατικές δασώσεις και θαμνώσεις εκτάσεις	324	6,13%	1
γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής	243	7,72%	0,9
μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	8,82%	0,8
δάσος πλατύφυλλων	311	9,73%	1
μόνιμα αρδευόμενη γη	212	43,94%	1
		Pmean=	0,9601

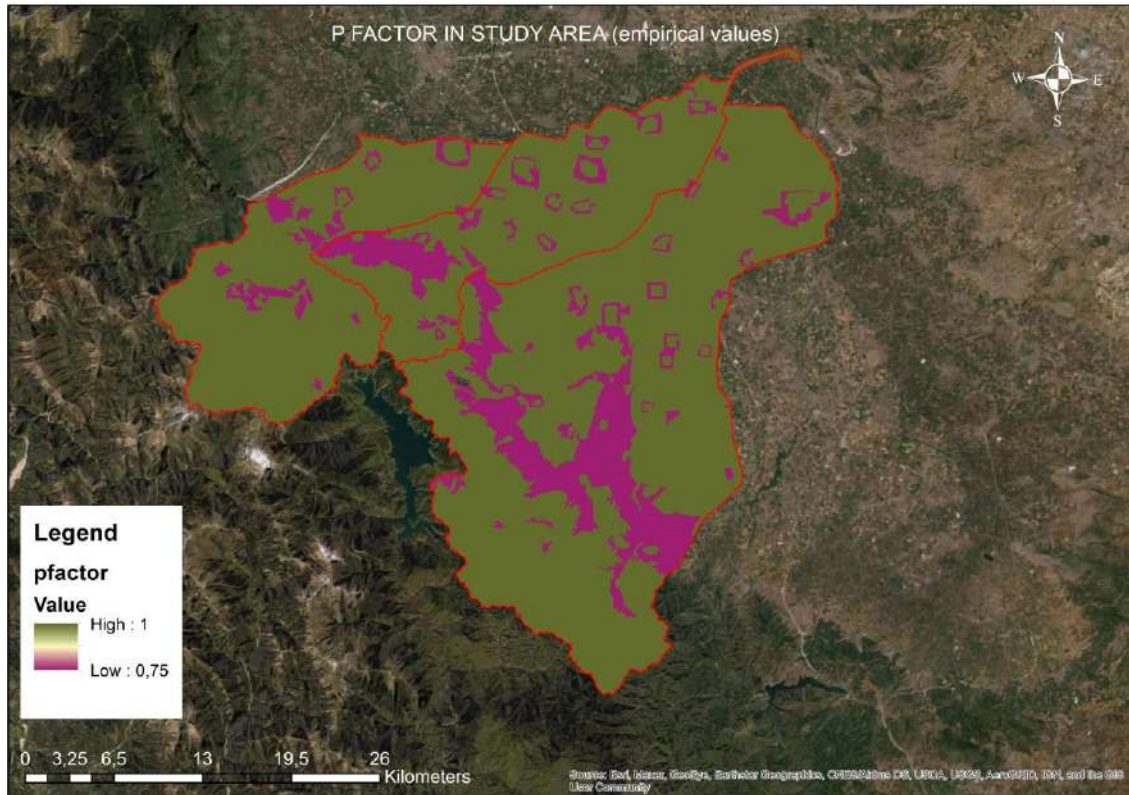


Εικόνα 45 Χάρτης συντελεστή P για την περιοχή μελέτης (κατά ESDAC)

Πίνακας 19 Στατιστικά στοιχεία για τον συντελεστή P ανά λεκάνη απορροής

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,75	1	0,966
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,75	1	0,964
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,75	1	0,957

Όπως βλέπουμε στον χάρτη του συντελεστή P και στον πίνακα με τα στατιστικά στοιχεία για την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τους Panagos et. Al 2015, η μέση τιμή κυμαίνεται στο 0,91 περίπου, ενώ η ελάχιστη τοπικά στο 0,43 και η μέγιστη φυσικά στο 1. Από τις τιμές που είχαν δοθεί εμπειρικά στις περιοχές όπου καλλιεργούνται, εμείς υπολογίσαμε τη μέση τιμή του $P=0,96$. Η διαφορά δεν είναι πάρα πολύ μεγάλη κι έτσι επιλέγουμε να διατηρήσουμε τις τιμές που δόθηκαν εμπειρικά, αφού ο χάρτης από ESDAC έχει αρκετά χαμηλή ανάλυση (1 km) σε σχέση με αυτό που παράγαμε εμείς (25m).



Εικόνα 46 Χάρτης συντελεστή P στην περιοχή μελέτης (εμπειρικές τιμές)

Πίνακας 20 Μέσες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη

SUBASINS	MEAN									
	C	Cndvi	K	Kpanagos	Rvdk	Rwischm	LS	P	Awischm	Avdk
GR0816FR008008	0,053854	0,637065	0,010986	0,026373	1849,089	2204,354	22,3672	0,977158	20,44397	17,372
GR0816FR008003	0,157113	0,458832	0,017411	0,039812	892,5183	881,8186	2,80361	0,972107	9,119066	8,606885
GR0816FR008004	0,040733	0,502229	0,048341	0,029877	1291,204	1312,208	16,17383	0,978505	19,41841	19,85466
GR0816FR008005	0,060809	0,513213	0,016531	0,028608	1382,512	1486,3	12,38678	0,953552	12,95674	12,56432
GR0816FR008009	0,070619	0,602993	0,012285	0,026843	1824,717	2113,146	16,64567	0,951908	19,3614	17,31451
GR0816FR008006	0,0777	0,543337	0,02553	0,028413	1854,804	1998,061	15,6554	0,951857	78,41142	74,64617
GR0816FR008007	0,075794	0,463171	0,015851	0,02745	1445,917	1522,402	11,35313	0,935135	9,852975	9,716231
GR0816FR008001	0,162019	0,498573	0,015	0,043054	724,012	777,2225	0,284821	0,979955	0,362708	0,337757
GR0816FR008002	0,140947	0,498235	0,017915	0,039969	901,0278	867,8427	4,024735	0,968498	2,971614	2,884427
GR0816FR007006	0,059701	0,455674	0,013199	0,028246	1265,233	1432,162	12,58644	0,96141	9,05717	8,033306
GR0816FR007004	0,125358	0,409658	0,014248	0,033002	1033,552	1025,812	8,175107	0,905853	2,930185	2,783722
GR0816FR007002	0,181694	0,60658	0,015028	0,044981	743,4791	816,4594	0,227015	0,982297	0,447882	0,408669
GR0816FR007001	0,175274	0,627298	0,015	0,044899	752,7801	838,9974	0,186815	0,982588	0,383519	0,344203
GR0816FR007003	0,176492	0,471165	0,015992	0,039448	821,0233	840,8711	2,54691	0,931177	2,569127	2,421378
GR0816FR007005	0,104442	0,431189	0,009459	0,031376	1068,944	1146,71	10,07904	0,928559	3,315759	3,073327
GR0816FR0060007	0,174273	0,40457	0,014461	0,038671	791,068	980,0273	3,823919	0,926547	3,391603	2,598151
GR0816FR00600016	0,041798	0,476771	0,017164	0,026099	1326,333	1592,172	20,53798	0,979867	19,60556	16,41416
GR0816FR00600013	0,064238	0,496795	0,016465	0,028566	1119,461	1441,013	14,42197	0,948718	16,82953	13,10049
GR0816FR00600011	0,087645	0,454349	0,016476	0,029762	1137,317	1342,038	10,66238	0,943187	11,19651	9,576918
GR0816FR00600012	0,153656	0,411172	0,014826	0,032127	883,3063	1071,589	6,485263	0,915666	5,496438	4,49655
GR0816FR00600010	0,175011	0,367725	0,016897	0,036317	835,8925	953,8316	4,482767	0,920031	7,48751	6,561795
GR0816FR0060009	0,166727	0,463087	0,016409	0,039	799,9173	890,6228	3,311439	0,952839	4,331769	3,904893
GR0816FR0060004	0,186933	0,519212	0,015	0,046277	757,2	866,475	0,153046	0,985946	0,371356	0,324483
GR0816FR0060003	0,190528	0,469155	0,015	0,046919	754,6557	878,747	0,118588	0,99341	0,299695	0,257195
GR0816FR0060002	0,178861	0,594823	0,014818	0,046646	758,8808	860,1027	0,368914	0,985175	0,247026	0,218121
GR0816FR00600015	0,04062	0,470115	0,017467	0,026285	1309,557	1713,483	20,00616	0,985277	20,57459	15,44652
GR0816FR00600014	0,034497	0,504018	0,018365	0,025314	1283,798	1696,326	18,4485	0,980084	11,15091	8,384715
GR0816FR0060008	0,174877	0,391359	0,014342	0,03664	775,271	962,6709	4,751688	0,885466	4,06629	3,200293
GR0816FR0060005	0,162396	0,516517	0,015008	0,045327	757,9598	864,3468	0,238014	0,970874	0,344633	0,301477
GR0816FR0060006	0,155892	0,399865	0,015	0,047021	779,6917	893,0458	0,345122	0,907896	0,668077	0,583417
GR0816FR0060001	0,176609	0,583154	0,014336	0,045131	761,8613	861,4629	0,839821	0,99051	0,518886	0,458244

Πίνακας 21 Μέγιστες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη

SUBASINS	MAX									
	C	Cndvi	K	Kpanagos	Rvdk	Rwischm	LS	P	Awischm	Avdk
GR0816FR008008	0,3062	1,121724	0,045	0,035813	2832,227	3592,243	1032,72	1	11615,32	9030,54
GR0816FR008003	0,3269	1,343904	0,4	0,047822	2349,781	2569,525	1725,502	1	26608,16	25323,98
GR0816FR008004	0,1307	1,155105	0,4	0,038642	1726,226	1939,681	360,7906	1	3483,649	3575,136
GR0816FR008005	0,28	0,978291	0,4	0,037996	1870,507	2175,24	474,815	1	4220,684	3997,418
GR0816FR008009	0,3062	1,12116	0,045	0,036659	2949,326	3624,007	962,891	1	3244,891	2908,623
GR0816FR008006	0,3062	1,137254	0,4	0,036683	2769,916	3382,047	742,5406	1	119466,5	112420,9
GR0816FR008007	0,28	1,108238	0,045	0,035462	2225,796	2604,589	497,6837	1	963,0146	875,2714
GR0816FR008001	0,3269	1,163541	0,015	0,04626	752,2763	803,3888	22,08664	1	50,70858	47,29464
GR0816FR008002	0,3269	1,366162	0,4	0,047917	2069,104	2235,354	382,5852	1	5385,883	5061,343
GR0816FR007006	0,28	0,92002	0,045	0,036214	1870,495	2175,287	993,7337	1	1533,097	1337,394
GR0816FR007004	0,28	1,125428	0,4	0,046678	1799,907	2053,378	455,7517	1	5636,731	5081,134
GR0816FR007002	0,3269	1,203168	0,02	0,050384	1054,588	1178,474	289,9084	1	695,6555	642,2995
GR0816FR007001	0,2	1,397077	0,015	0,05099	805,4006	900,3108	38,94112	1	103,6598	92,89188
GR0816FR007003	0,3269	1,015624	0,02	0,047917	1162,336	1311,476	197,584	1	359,1178	338,1977
GR0816FR007005	0,28	0,855299	0,4	0,047224	1813,944	2074,287	431,3391	1	2168,677	1921,351
GR0816FR0060007	0,3269	1,369665	0,045	0,050741	1571,866	2208,14	309,2677	1	1337,194	1055,355
GR0816FR00600016	0,28	0,935411	0,03	0,03526	2090,201	2439,042	666,4695	1	888,3508	791,0173
GR0816FR00600013	0,3062	0,932776	0,045	0,036312	1750,151	2237,86	403,1478	1	1883,025	1498,544
GR0816FR00600011	0,3269	1,241268	0,031	0,045544	1776,059	2132,394	456,3104	1	955,9559	818,1659
GR0816FR00600012	0,3269	1,200124	0,045	0,044722	1687,244	2092,394	444,8467	1	1009,118	814,7196
GR0816FR00600010	0,3269	0,854237	0,02	0,047301	1324,689	1541,034	243,4266	1	659,2333	587,0404
GR0816FR0060009	0,3269	0,96941	0,02	0,049375	1203,912	1376,135	261,2473	1	450,0006	416,2567
GR0816FR0060004	0,2	1,091718	0,015	0,050741	777,8879	893,7073	28,25489	1	72,16332	63,38036
GR0816FR0060003	0,2	1,087457	0,015	0,051421	774,8893	925,1852	66,73219	1	175,031	149,6619
GR0816FR0060002	0,2	1,349574	0,015	0,051892	1036,072	1204,346	1272,256	1	2779,87	2497,321
GR0816FR00600015	0,1476	1,010219	0,03	0,03549	2124,473	2579,574	631,8758	1	1817,423	1292,018
GR0816FR00600014	0,1476	1,063264	0,03	0,036312	2256,85	2873,328	610,9789	1	972,0896	726,8882
GR0816FR0060008	0,3269	1,391456	0,02	0,050016	1481,285	1874,774	350,7672	1	549,091	418,8047
GR0816FR0060005	0,3269	1,02322	0,02	0,051294	813,6112	978,9534	170,4132	1	148,3923	129,3665
GR0816FR0060006	0,28	1,001539	0,015	0,05036	797,7523	916,7209	22,50873	1	56,08259	49,04205
GR0816FR0060001	0,3269	1,354656	0,015	0,05055	1048,578	1217,838	249,5068	1	630,5974	559,5392

Πίνακας 22 Ελάχιστες τιμές συντελεστών RUSLE ανά υπολεκάνη

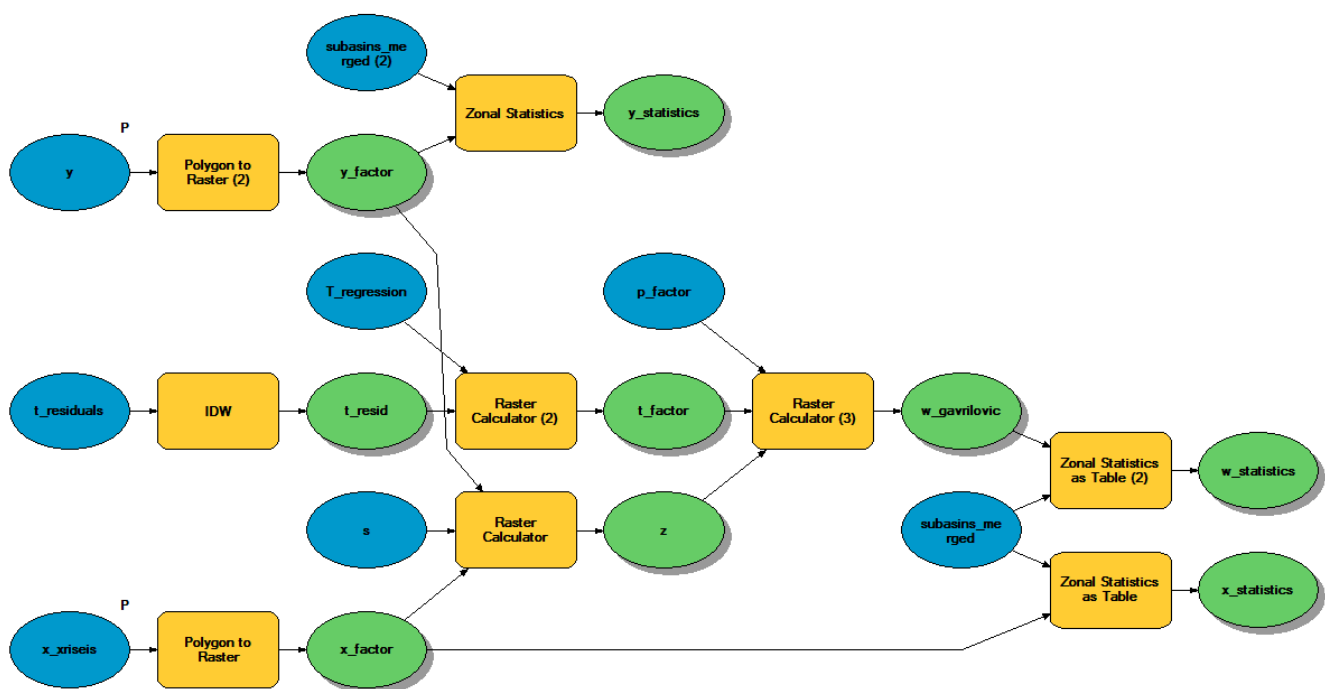
SUBASINS	MIN									
	C	Cndvi	K	Kpanagos	Rvdk	Rwischm	LS	P	Awischm	Avdk
GR0816FR008008	0,0011	0,126021	0,0006	0,015923	1188,59	1132,337	0	0,8	0	0
GR0816FR008003	0,001	0,045954	0,0004	0,02169	662,4377	579,7254	0	0,75	0	0
GR0816FR008004	0,001	0,159037	0,0008	0,024524	879,7457	747,9142	0	0,8	0	0
GR0816FR008005	0,0011	0,084494	0,0008	0,022743	972,6826	883,7906	0	0,75	0	0
GR0816FR008009	0,0011	0,095011	0,0007	0,016977	1030,302	963,4479	0	0,75	0	0
GR0816FR008006	0,0011	0,047233	0,0006	0,015923	1187,977	1131,038	0	0,8	0	0
GR0816FR008007	0,0011	0,073956	0,0007	0,016761	1030,321	963,4249	0	0,75	0	0
GR0816FR008001	0,001	0,056827	0,015	0,040526	705,3459	759,1993	0	0,75	0	0
GR0816FR008002	0,001	0,039367	0,0004	0,024188	627,7534	616,7615	0	0,75	0	0
GR0816FR007006	0,0011	0,066561	0,0006	0,023998	851,2405	878,1216	0	0,75	0	0
GR0816FR007004	0,001	0,040975	0,0004	0,023625	794,0587	741,4526	0	0,75	0	0
GR0816FR007002	0,001	0,030808	0,015	0,027443	625,5606	642,1617	0	0,75	0	0
GR0816FR007001	0,001	0,040952	0,015	0,039261	728,0966	800,0615	0	0,8	0	0
GR0816FR007003	0,001	0,044982	0,0006	0,02531	756,4586	755,6113	0	0,75	0	0
GR0816FR007005	0,001	0,076404	0,0006	0,023625	792,0149	795,9555	0	0,75	0	0
GR0816FR0060007	0,001	0,039752	0,0006	0,022354	687,0912	861,4214	0	0,75	0	0
GR0816FR00600016	0,0011	0,138414	0,017	0,016808	527,7399	438,3417	0	0,75	0	0
GR0816FR00600013	0,0011	0,101959	0,0007	0,019407	655,4248	882,929	0	0,75	0	0
GR0816FR00600011	0,001	0,063858	0,0007	0,021506	743,1371	862,3115	0	0,75	0	0
GR0816FR00600012	0,001	0,061142	0,0006	0,023067	712,5598	859,1202	0	0,75	0	0
GR0816FR00600010	0,001	0,042112	0,015	0,024378	748,9122	840,6074	0	0,75	0	0
GR0816FR0060009	0,001	0,040585	0,015	0,023107	743,9658	809,9232	0	0,75	0	0
GR0816FR0060004	0,001	0,042693	0,015	0,043628	744,3055	844,5748	0	0,75	0	0
GR0816FR0060003	0,001	0,039841	0,015	0,042409	740,718	844,1972	0	0,75	0	0
GR0816FR0060002	0,001	0,036704	0,0005	0,038895	644,7592	712,7121	0	0,75	0	0
GR0816FR00600015	0,0011	0,1263	0,017	0,015773	786,9771	1013,399	0	0,75	0	0
GR0816FR00600014	0,0011	0,130905	0,015	0,017047	661,527	886,061	0	0,75	0	0
GR0816FR0060008	0,001	0,045071	0,0006	0,023287	658,1862	852,611	0	0,75	0	0
GR0816FR0060005	0,001	0,042179	0,0006	0,026002	648,9244	727,8866	0	0,75	0	0
GR0816FR0060006	0,001	0,051082	0,015	0,043051	770,0192	883,0704	0	0,75	0	0
GR0816FR0060001	0,001	0,039686	0,0005	0,027572	637,4485	699,5975	0	0,75	0	0

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ GAVRILOVIC (ERM)

Για την εφαρμογή του ομοιώματος Gavrilovic ή Erosion Potential Method, χρειάζεται να προσδιοριστούν οι συντελεστές που σχετίζονται με την θερμοκρασία της λεκάνης, την μέση ετήσια βροχόπτωση, το εμβαδό της λεκάνης, και ο συντελεστής διάβρωσης που με τη σειρά του εξαρτάται από την φυτοκάλυψη, τα πετρώματα και τη μέση κλίση. Οι εργασίες για τον προσδιορισμό των παραπάνω θα γίνουν σε GIS και τα δεδομένα που θα εξαχθούν θα επεξεργαστούν σε excel όπως θα δούμε παρακάτω.

Υπενθυμίζεται πώς το ομοίωμα είναι το:

$$W = 3.14 P T F \sqrt{z^3} \quad (22)$$



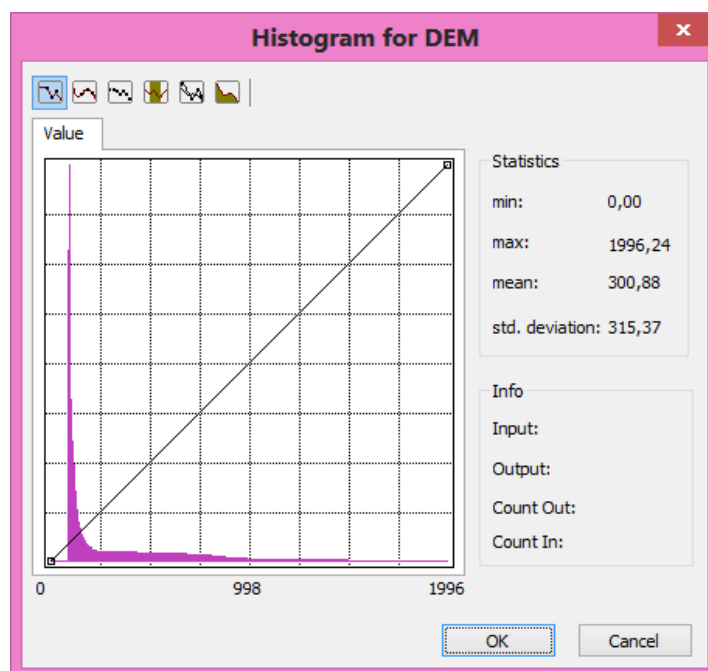
Εικόνα 47 Το μοντέλο Gavrilovic στο model builder

6.1 Μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης

Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στο μέσο υψόμετρο και της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας αντίστοιχα, θα επεξεργαστούμε το αρχείο DEM (Digital Elevation Model) ώστε να αντλήσουμε υψομετρικές πληροφορίες για κάθε λεκάνη ξεχωριστά. Επειδή το μοντέλο Gavrilovic είναι κατάλληλο για εφαρμογή σε επίπεδο λεκάνης, θα διαχειριστούμε την πληροφορία συγκεντρωμένη για τις υδρολογικές λεκάνες του Πάμισσου, του Καλέντζη και του Μέγα ρέματος. Εισάγοντας τον υψομετρικό χάρτη, με το εργαλείο zonal statistics, λαμβάνουμε τα στατιστικά στοιχεία του raster DEM όπως μέγιστο, ελάχιστο και μέσο υψόμετρο. Για να μη γίνεται η διαδικασία ξεχωριστά για κάθε λεκάνη, δημιουργούμε ένα ενοποιημένο

vector αρχείο που περιλαμβάνει και τις 3 λεκάνες που μας ενδιαφέρουν. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 23 Ιστόγραμμα και στατιστικά στοιχεία ανάγλυφου περιοχής μελέτης

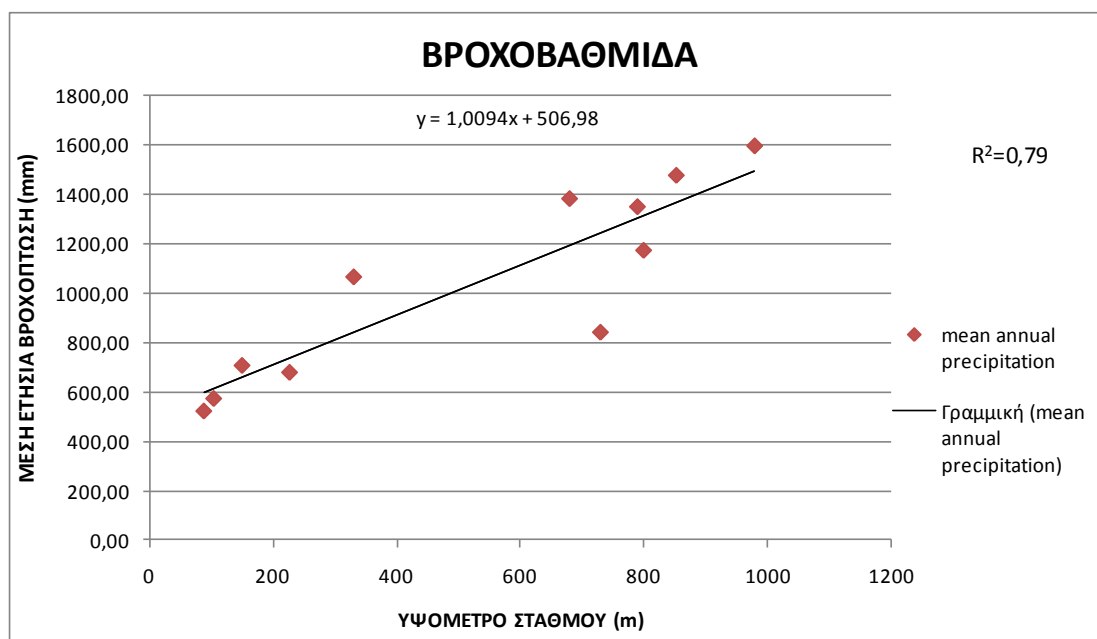


Γνωρίζοντας και έχοντας επεξεργαστεί προηγουμένως στο μοντέλο RUSLE τα δεδομένα βροχογράφων της περιοχής συσχετίζουμε ετήσια ύψη βροχής με τα υψόμετρα των βροχογράφων. Για να αξιολογήσουμε πρώτα την μέθοδο, βρίσκουμε τον αδιάστατο συντελεστή Pearson R^2 , που αναφέρεται ως συντελεστής προσδιορισμού και υποδηλώνει τον βαθμό στον οποίο η εξαρτημένη μεταβλητή μιας σχέσης προσδιορίζεται από την ανεξάρτητη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση $R^2=0,709$ που σημαίνει πως η μέση ετήσια βροχόπτωση στο σημείο που βρίσκεται ο σταθμός εξαρτάται κατά 71% από το υψόμετρό του και είναι αρκετά ικανοποιητική. Ο Κουτσογιάννης (1999) αναφέρει πως έχει επικρατήσει η τιμή $r>0,7$ ώστε να θεωρείται σημαντικά από στατικής άποψης η συσχέτιση και σ αυτή την περίπτωση καλυπτόμαστε αφού $r=0,88$. Για να εφαρμοσθεί η βροχοβαθμίδα γίνεται γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των υψομέτρων των σταθμών και της ετήσιας βροχόπτωσης. Οι σταθμοί και τα υψόμετρα είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στο μοντέλο RUSLE και φαίνονται παρακάτω όπως και η σχέση που εξήχθη μαζί με τη βροχοβαθμίδα.

Πίνακας 24 Σταθμοί και τα στοιχεία τους

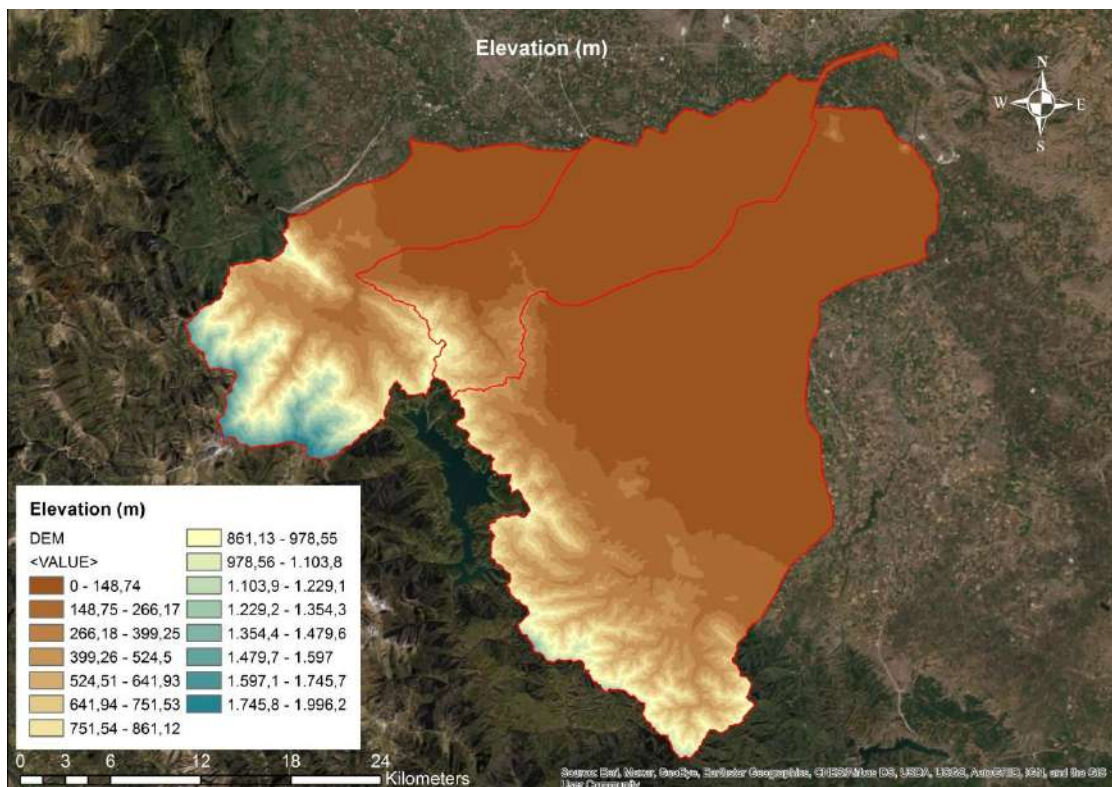
ΣΤΑΘΜΟΣ	P (μέση ετήσια)	Υψόμετρο σταθμού
ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	1172,00	800
ΑΡΓΙΘΕΑ	1594,00	980
ΒΡΟΝΤΕΡΟ	1475,00	853
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	1380,8	680
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	573,5	103
ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	841,2	730
ΜΟΛΟΧΑ	1348,3	790
ΜΟΥΖΑΚΙ	679,1	226
ΡΑΧΟΥΛΑ	1064,8	330
ΤΡΙΚΑΛΑ	707,1	149
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	523	87

Στον πίνακα με τους καταγεγραμμένους βροχογράφους και τα υψόμετά τους, παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο μέρος των περιοχών βρίσκεται σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο. Η ύπαρξη των λίγων σταθμών σε χαμηλότερα υψόμετρα, μας βοηθάει ώστε να υπάρχει εύρος στις τιμές που μπορεί και λαμβάνει η ανεξάρτητη μεταβλητή στο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης. Έτσι όταν θα διαμορφωθεί το μοντέλο θα είναι κατάλληλο και για μικρότερα υψόμετρα σε περιοχές κοντά στην πόλη της Καρδίτσας ή στη Φαρκαδώνα κλπ.

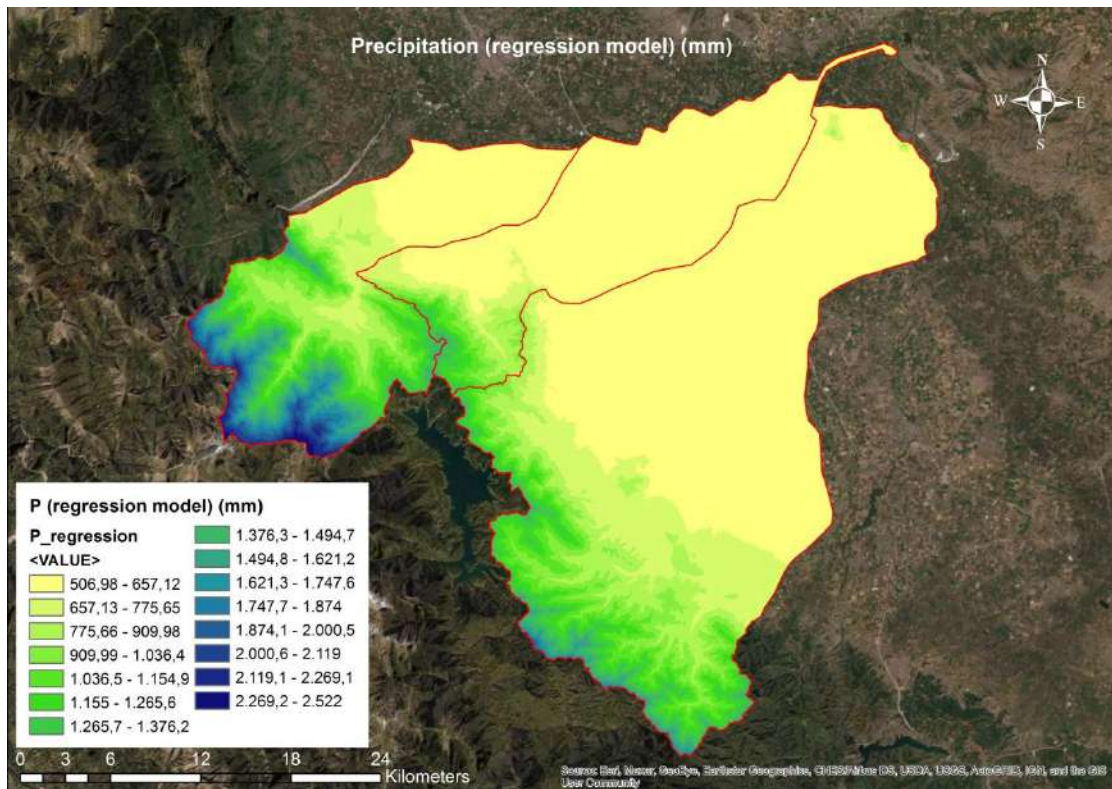


Εικόνα 48 Διάγραμμα βροχοβαθμίδας

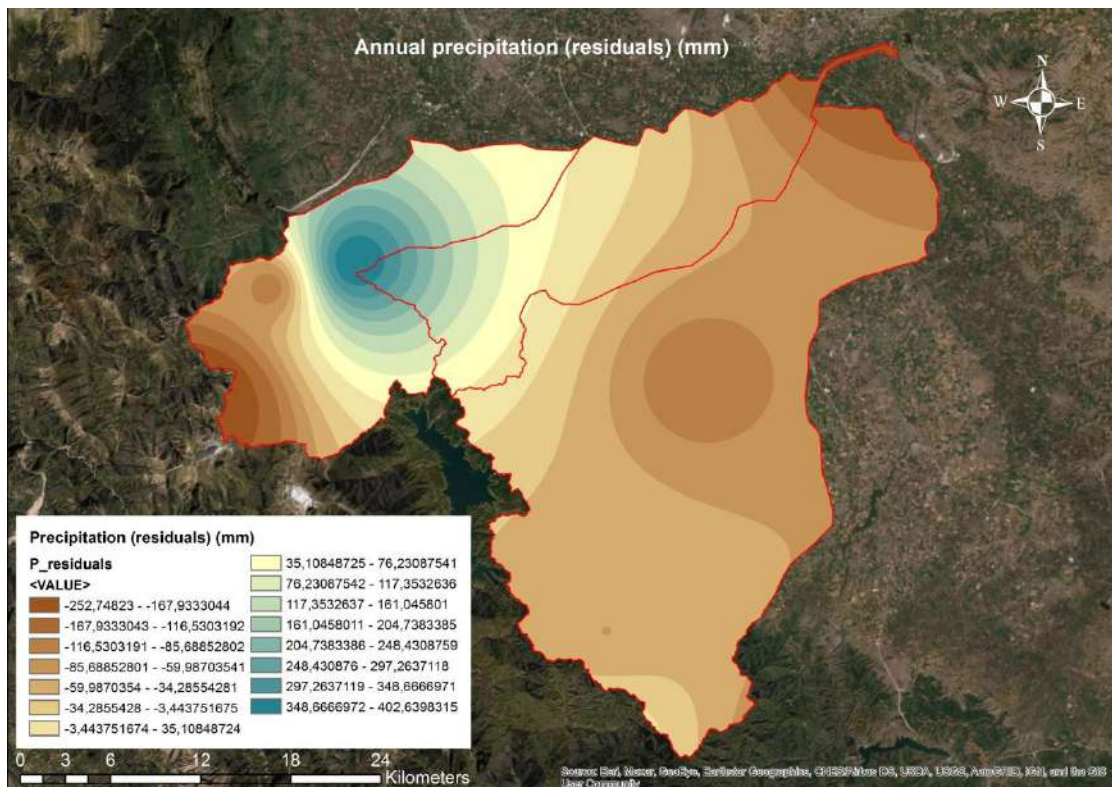
Αντίστοιχα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο μοντέλο Gavrilovic, έτσι κι εδώ θα αξιοποιήσουμε τη βροχοβαθμίδα που εξάγεται από τα ύψη βροχών των 11 σταθμών και τα υψόμετά τους. Για να είναι ακόμα πιο ακριβείς οι χάρτες και κατά συνέπεια η μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο, θα πρέπει να πλησιάσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο τις πραγματικές τιμές των μέσων ετήσεων βροχοπτώσεων. Έτσι θα υπολογίσουμε τα υπόλοιπα, δηλαδή τις ποσότητες που παρεμβάλλονται στις πραγματικές τιμές και αυτές της βροχοβαθμίδας. Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας έγκειται στο γεγονός πως χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικοί τρόποι για την επιφανειακή αναγωγή της βροχόπτωσης. Ο ένας που συσχετίζει τα δύο μεγέθη μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, εφαρμόζεται βασιζόμενη στο αρχείο DEM και ο χάρτης που παράγει είναι αρκετά όμοιος με αυτόν του ψηφιακού χάρτη υψομέτρων. Ο άλλος τρόπος, που κατανέμει τα υπόλοιπα, είναι η χρήση του εργαλείου IDW που παρέχεται από το λογισμικό ArcMap και βασίζεται στο μαθηματικό μοντέλο στάθμισης αντίστροφων αποστάσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όταν ανάγουμε σημειακή πληροφορία σε επιφανειακή, το πιο σημαντικό για αξιόπιστα αποτελέσματα είναι να υπάρχει πυκνότητα στις μετρήσεις και όχι τόσο πολύ το είδος του μοντέλου που χρησιμοποιείται.



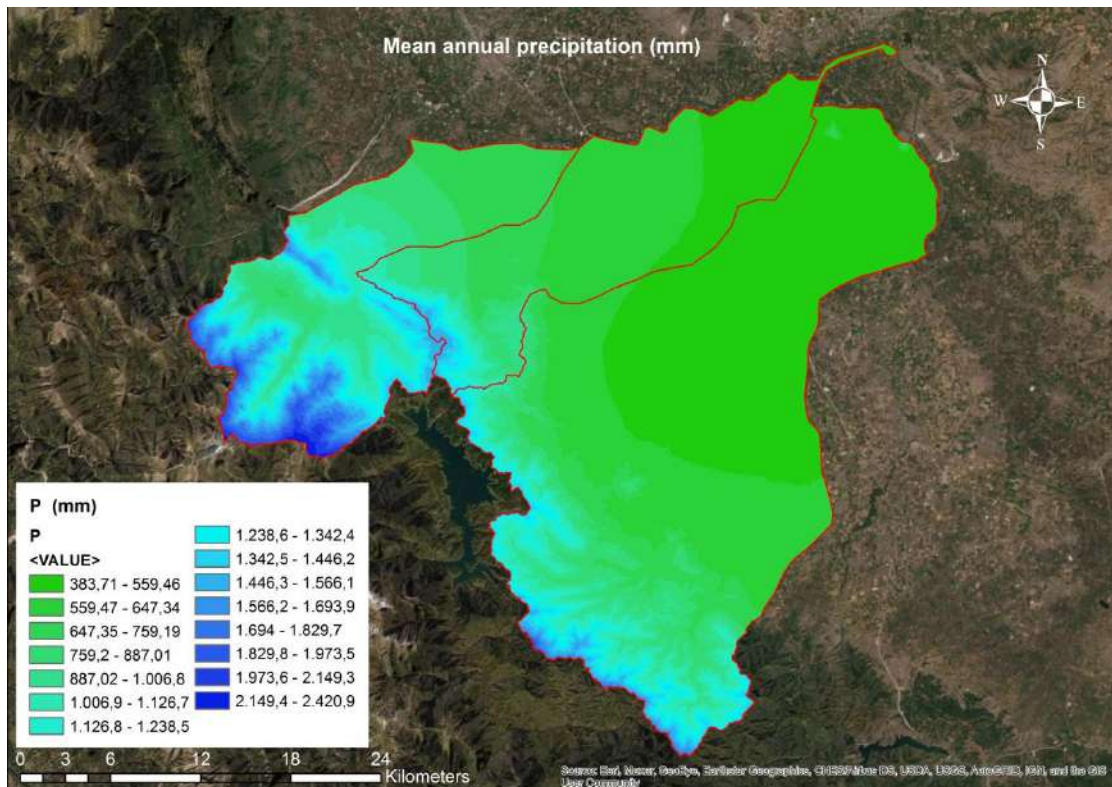
Εικόνα 6.2: Υψομετρικός χάρτης περιοχής



Εικόνα 49 Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με τη μέθοδο της βροχοβαθμίδας



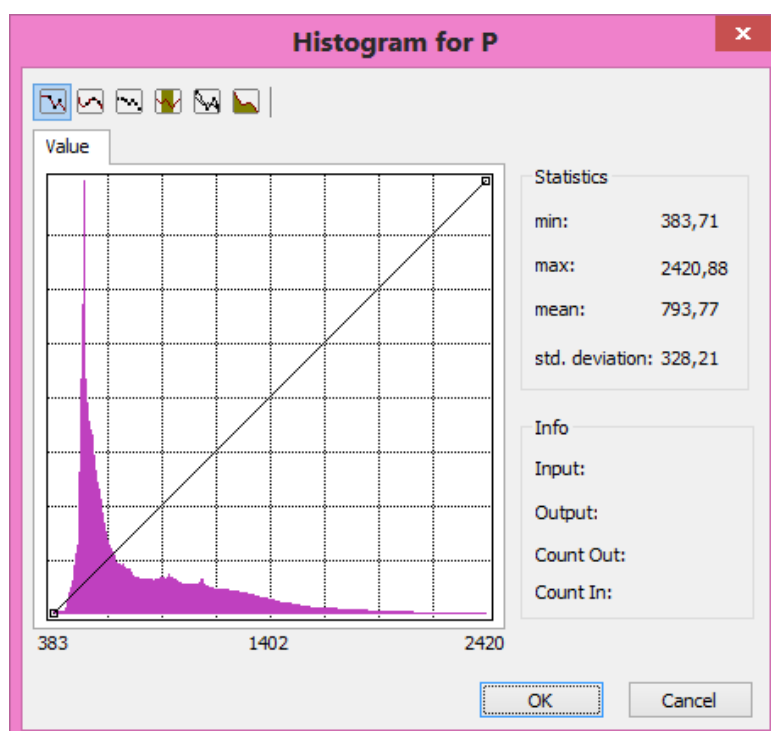
Εικόνα 50 Χάρτης υπολοίπων μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (residuals)



Εικόνα 51 Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (με συνδυασμό βροχοβαθμίδας-IDW)

Αφού συνδυάσαμε τους δύο χάρτες (βροχοβαθμίδα και residuals) ο τελικός χάρτης που εξάγαμε, είναι αρκετά αντιπροσωπευτικός των ετήσιων κατακρμνήσεων στην περιοχή μελέτης. Για να είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης για το ομοίωμα Gavrilovic, θα αντλήσουμε τα στατιστικά στοιχεία του Raster. Βλέπουμε στον επόμενο πίνακα πως η μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο είναι 793,77 mm.

Πίνακας 25 Στατιστικά στοιχεία βροχόπτωσης στην περιοχή



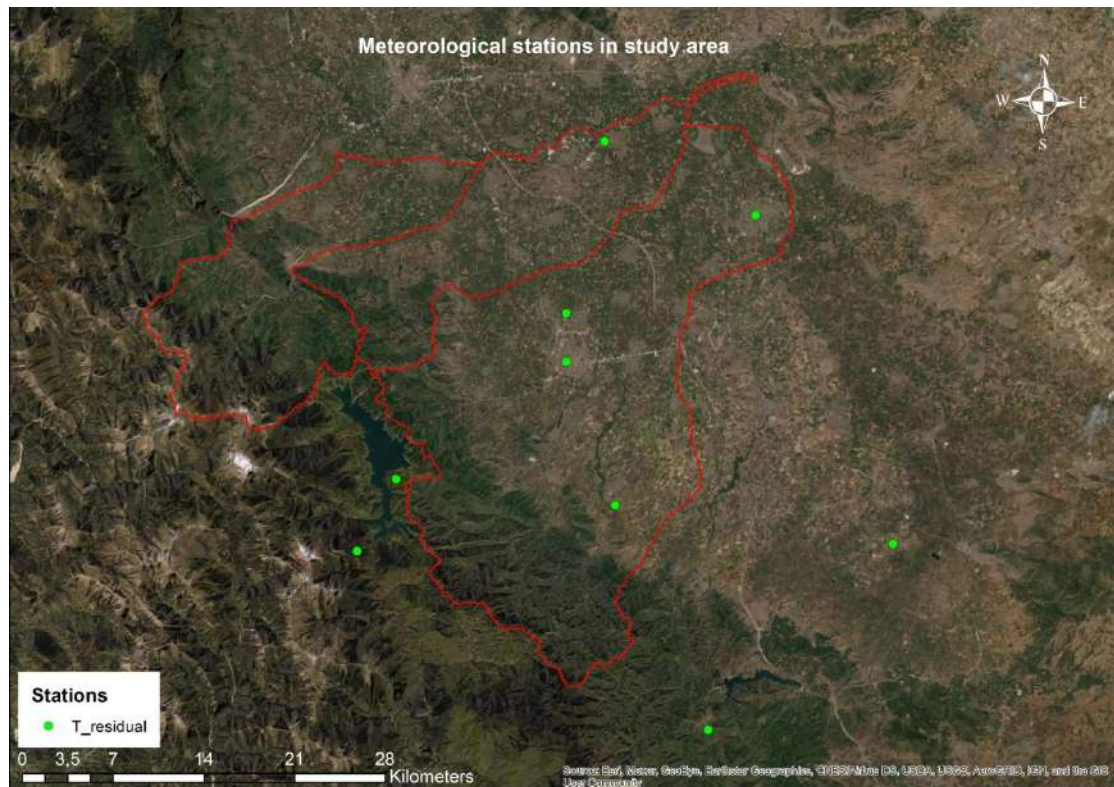
h=793.77 mm

6.2 Μέση ετήσια θερμοκρασία στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης και ο συντελεστής T

Για την εύρεση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στο μέσο υψόμετρο της κάθε λεκάνης σε αντίθεση με τη βροχόπτωση, το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας θα γίνει στο GIS. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης έχουν δεδομένα σε ετήσια κλίμακα κι έτσι μπορεί να γίνει επιφανειακή αναγωγή των θερμοκρασιών με το εργαλείο IDW. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που θα επιλεγθούν, σε αντίθεση με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μέση ετήσια βροχόπτωση, θα είναι σε μεγαλύτερη ακτίνα. Η μικρή πυκνότητα πληροφορίας που υπάρχει στην περιοχή, όσον αφορά τη θερμοκρασία, δε μας επιτρέπει να την ανάγουμε επιφανειακά με το IDW. Επομένως θα κρατήσουμε και αρκετές μετρήσεις που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από την περιοχή μελέτης.

Πίνακας 26 Τοποθεσίες μετεωρολογικών σταθμών και μέσες ετήσιες T

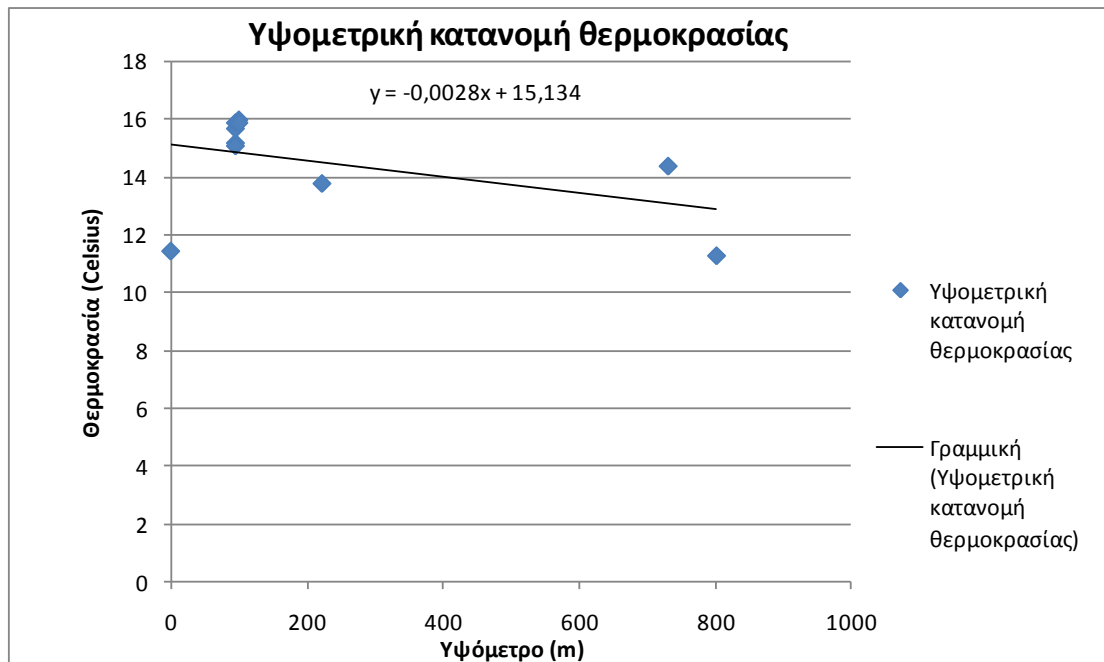
Αρίθμηση	Τοποθεσία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	Υψόμετρο
3	ΦΑΡΣΑΛΑ	15,94	150
4	ΑΡΓΙΘΕΑ	12,4	992
5	ΠΟΛΥΝΕΡΙ	12,8	802
6	ΛΑΡΙΣΑ	15,8	72
7	ΤΡΙΚΑΛΑ	16,5	116
11	ΜΑΚΡΥΡΑΧΗ	14,7	600
12	ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	14,4	730
13	ΥΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ (ΦΡΑ	11,3	801
14	ΥΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ (ΥΔΡΟ	11,46	0
15	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	16	100
16	ΠΑΛΑΜΑΣ	15,2	95
17	ΚΑΛΛΙΦΩΝΙ	15,1	95
18	ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟ	15,7	95
19	ΠΕΔΙΝΟ	15,9	95
20	ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	15,9	100



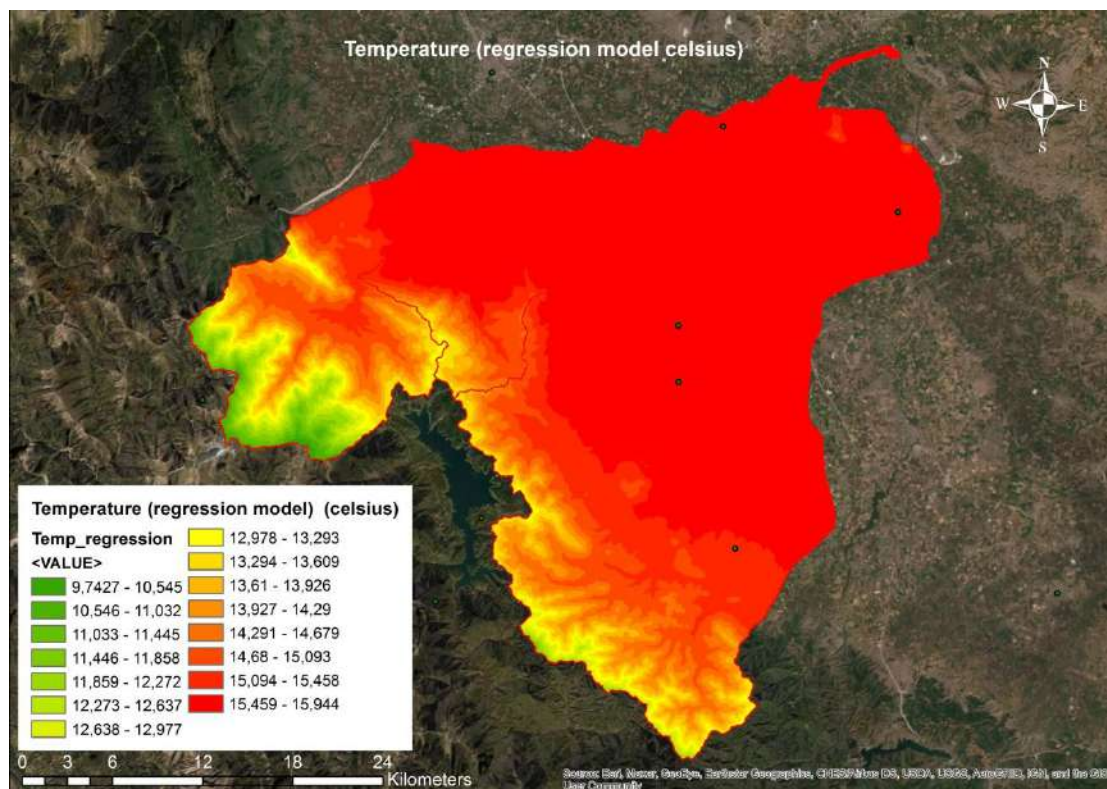
Εικόνα 52 Μετεωρολογικοί σταθμοί στον χάρτη

Για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας, ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με τις βροχοπτώσεις. Γίνεται γραμμική παλινδρόμηση στις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες που έχουν καταγραφεί από τους μετεωρολογικούς σταθμούς και στα υψόμετρα. Στη συνέχεια οι θερμοκρασίες κατανέμονται στην περιοχή μελέτης

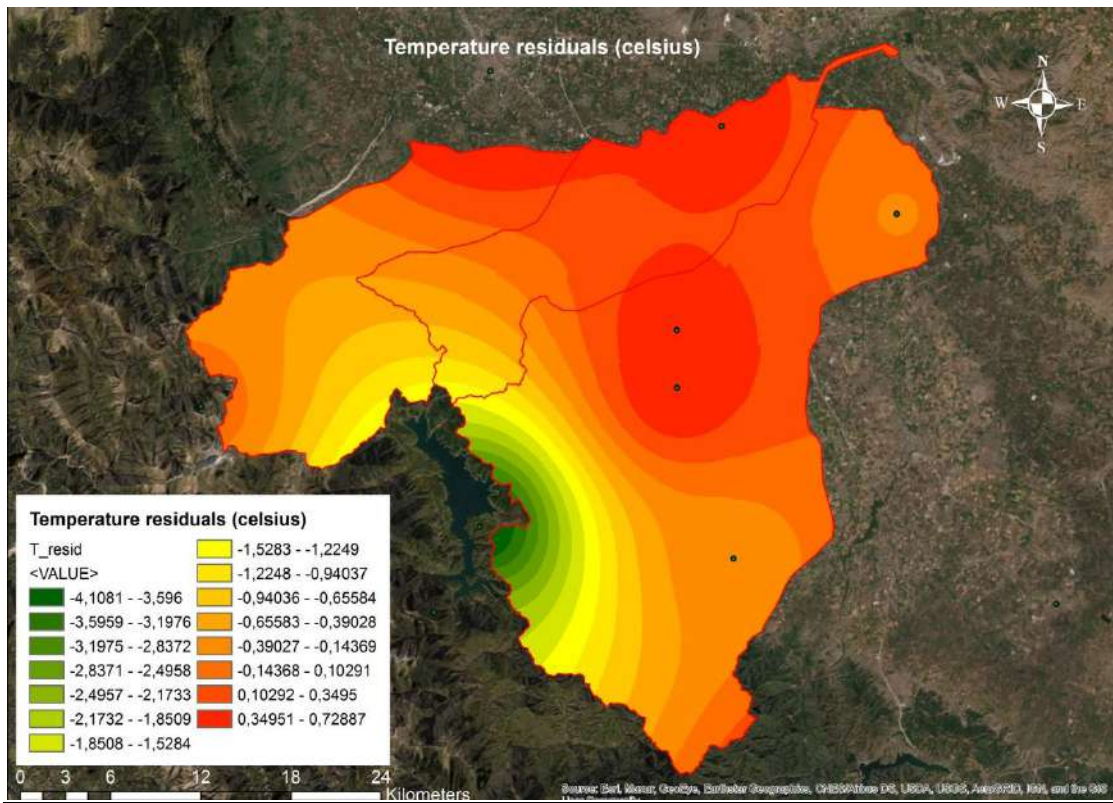
βάσει του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου. Τα υπόλοιπα που θα προκύψουν, δηλαδή οι τιμές που παρεμβάλλονται μεταξύ των πραγματικών τιμών και αυτών της παλινδρόμησης θα αναχθούν επιφανειακά με τη μέθοδο IDW. Ο συνδυασμός αυτών των 2 χαρτών είναι αυτός που θα αντληθεί η μέση ετήσια θερμοκρασία ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο ώστε να υπολογιστεί ο συντελεστής της θερμοκρασίας.



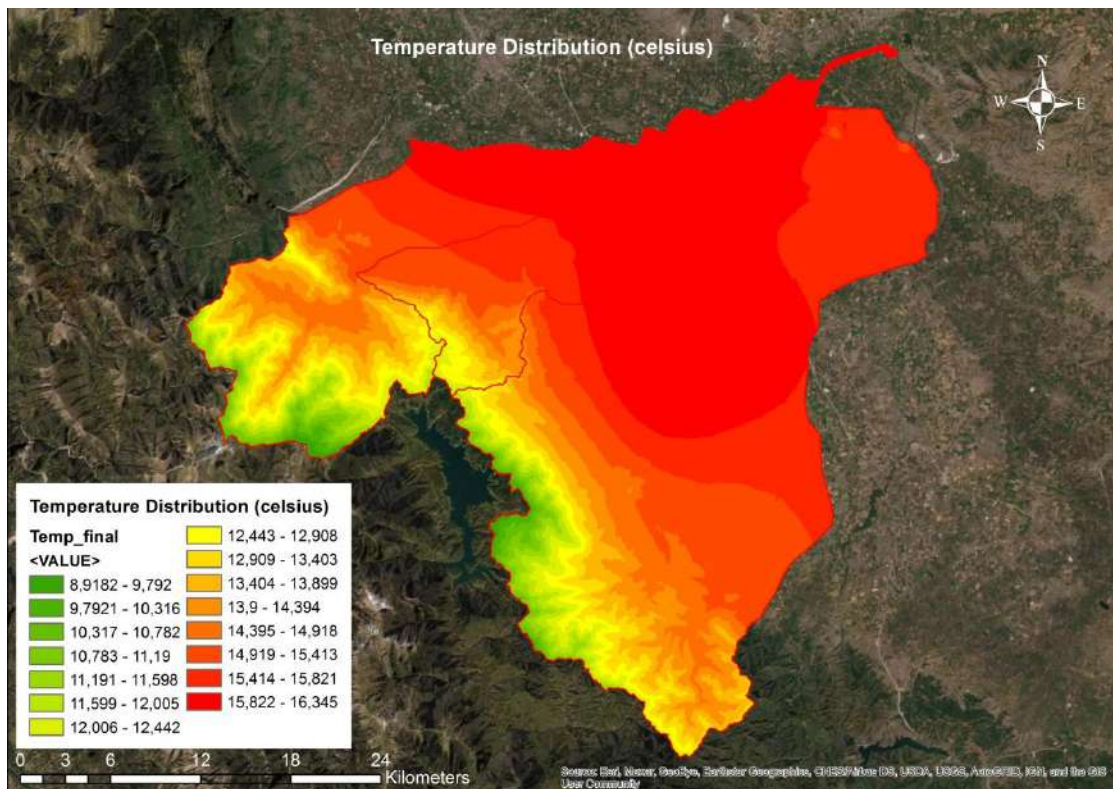
Εικόνα 53 Διάγραμμα υψομέτρων-θερμοκρασιών



Εικόνα 54 Θερμοκρασιακή κατανομή στην περιοχή μελέτης (regression model)

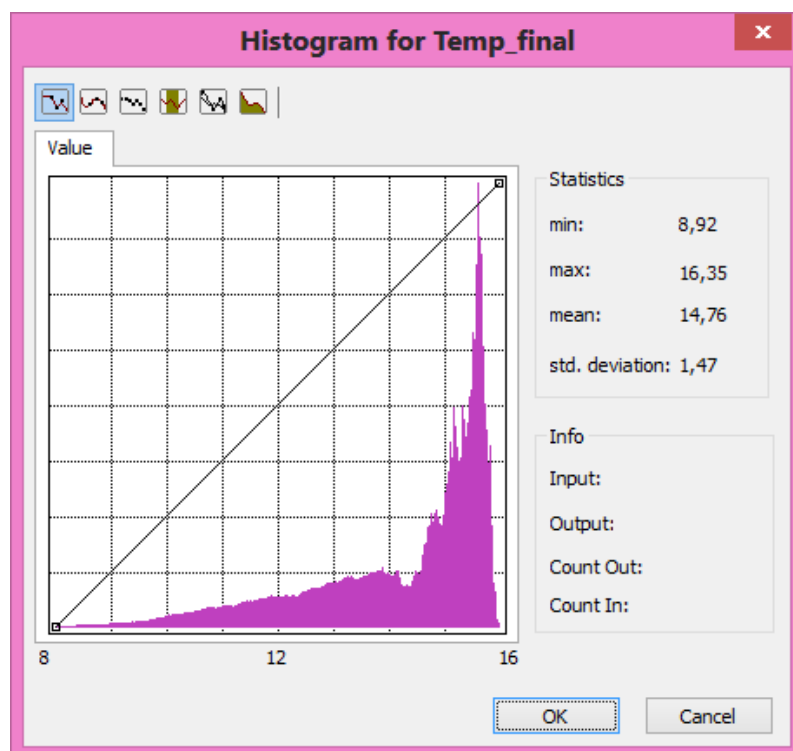


Εικόνα 55 Κατανομή υπολοίπων θερμοκρασιών στην περιοχή μελέτης (residuals)



Εικόνα 56 Τελικός χάρτης θερμοκρασιακής κατανομής στην περιοχή μελέτης (συνδυασμός μεθόδων)

Πίνακας 27 Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας στην περιοχή



T=1.255

6.3 Εξαγωγή συντελεστών χ και γ για τις λεκάνες απορροής

Ο συντελεστής χ αναφέρεται στην φυτοκάλυψη της περιοχής και τον ρόλο που έχει στη μείωση της αντίστασης του υποθέματος στη διάβρωση. Για να εκτιμηθεί χρησιμοποιούνται βιβλιογραφικές αναφορές και οι χρήσεις γης από Corine σύμφωνα με τους την φυτοκάλυψη αντιστοιχίζονται είτε μέσω του πίνακα τιμών χ κατά Ganilovic, είτε από πίνακα των Panagos et. Al. (2014) που υπάρχει άμεση συσχέτιση κωδικών και συντελεστή χ .

6.3.1 Ο συντελεστής x

Πίνακας 28 Τιμές x κατά Gavrilovic (Πηγή Κωτούλας, 2001)

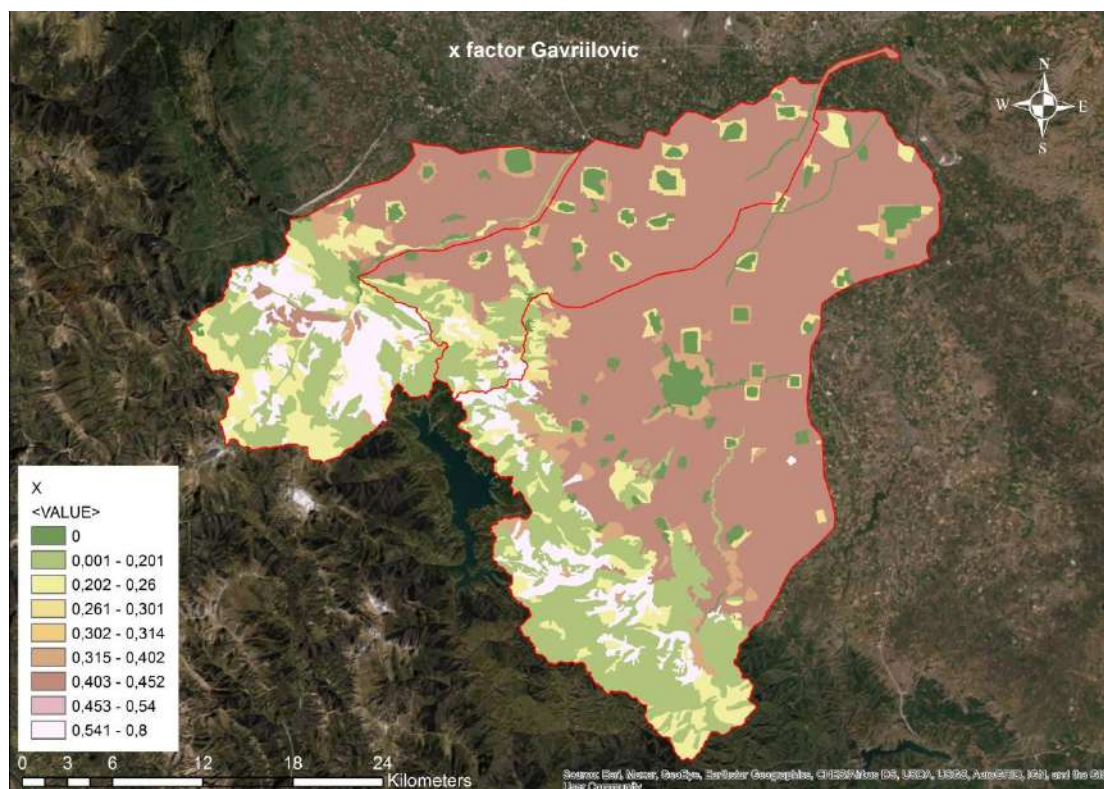
Κατάσταση της λεκάνης και είδος φυτοκάλυψης	X
I. Λεκάνες απορροής πριν από την εκτέλεση υδρονομικών έργων	
1. Έδαφος, πλήρως υποβαθμισμένο, μη καλλιεργήσιμο	1,00
2. Αγροί καλλιεργούμενοι σε κλιθείς	0,90
3. Αμπελώνες χωρίς βλάστηση στο έδαφος	0,70
4. Υποβαθμισμένες δασοσυστάδες και θαμνώνες με υποβαθμισμένο έδαφος	0,60
5. Λιβάδια, αγροί με τριφύλλα και άλλες παρόμοιες καλλιέργειες	0,40
6. Εκτεταμένες δασοσυστάδες και θαμνώνες σε καλή κατάσταση	0,05
II. Λεκάνες απορροής μετά την εκτέλεση υδρονομικών έργων	
1. Διευθετημένες κοιτές με φράγματα	0,70
2. Αγροί καλλιεργούμενοι συχνά κατά τις ισούψεις	0,63
3. Αγροί καλά καλλιεργούμενοι	0,54
4. Αγροί καλλιεργούμενοι κατά λωρίδες οριζόντιες	0,45
5. Αγροί βαθμιδωμένοι	0,36
6. Αμπελώνες κατά τις ισούψεις	0,32
7. Υποβαθμισμένα εδάφη μετά από αναχλόαση, βελτιωμένα λιβάδια	0,30
8. Εδάφη με αγωγούς ανάσχεσης και συγκράτησης του νερού	0,27
9. Επιφάνειες λεκανών με αναδασώσεις συνοδευόμενες και από βαθμίδωση του εδάφους	0,10
III. Μορφή της φυτοκάλυψης	
1. Μικτές δασοσυστάδες και πυκνοί θαμνώνες ή δασοσυστάδες αραιές με υπόροφο	0,05-0,20
2. Δασοσυστάδες κωνοφόρων με υπόροφο ασθενή ή θαμνώνες όχι σύμπυκνοι	0,20-0,60
3. Δασοσυστάδες και θαμνώνες υποβαθμισμένοι, λιβάδια	0,40-0,60
4. Λιβάδια και εδάφη καλλιεργούμενα, υποβαθμισμένα	0,60-0,80
5. Επιφάνεια χωρίς φυτοκάλυψη	0,80-1,00

Πίνακας 29 Τιμές x αντιστοιχιζόμενες στους κωδικούς Corine (Πηγή Panagos et. Al 2014)

Gavrilovic land use categories	Xa parameter	CORINE class codes
A1 Barren untilled soil	1.000	-
A2 Ploughed field up and down the slope	0.900	-
A3 Orchards and vineyards without low vegetation	0.700	-
A4 Degraded woods and under bush with eroded soil	0.600	322/324
A5 Mountain pastures	0.600	321
A6 Meadows and similar perennial crops	0.400	-
A7 Good woods on slopes	0.200	311/312/313
A8 Good woods on flat land	0.050	-
B1 Contour farming	0.630	-
B2 Contour farming with mulching	0.540	-
B3 Contour – strip cultivation with crop rotation	0.450	211/212/213
B4 Contour orchards and vineyards	0.315	221/222/223
B5 Terracing of ploughed fields, terraces, graded terraces	0.360	211/212/213
B6 Grazing, meadow amelioration	0.300	231
B7 Contour trenches of medium density	0.240	-
B8 Forestation (holes and strips)	0.200	323
B9 Forestation and grading	0.100	-

Πίνακας 30 Τιμές x αντιστοιχισμένες στους κωδικούς Corine (Πηγή Panagos et. Al 2014)

Χρήσεις γης	CODE_18	Ποσοστό κάλυψης (%)	x factor
χώροι εξορύξεως ορυκτών	131	0,05%	0
ελαιώνες	223	0,05%	0,2
απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,06%	0
συνεχής αστικός ιστός	111	0,07%	0
παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,08%	0
βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,08%	0
εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,20%	0,8
βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,33%	0
θάμνοι και χερσότοποι	322	0,35%	0,26
υδατορρέυματα	511	0,36%	0
αμπελώνες	221	0,57%	0,315
λιβάδια	231	2,37%	0,3
δάσος κωνοφόρων	312	2,39%	0,2
φυσικοί βοσκότοποι	321	2,41%	0,26
μικτό δάσος	313	2,43%	0,2
σύνθετες καλλιέργειες	242	3,42%	0,4
ασυνεχής αστικός ιστός	112	3,68%	0
σκληροφυλλική βλάστηση	323	4,76%	0,2
μεταβατικές δασώσεις και θαμνώσεις εκτάσεις	324	6,13%	0,26
γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής	243	7,72%	0,54
μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	8,82%	0,45
δάσος πλατύφυλλων	311	9,73%	0,2
μόνιμα αρδευόμενη γη	212	43,94%	0,45
		Xmean=	0,365111

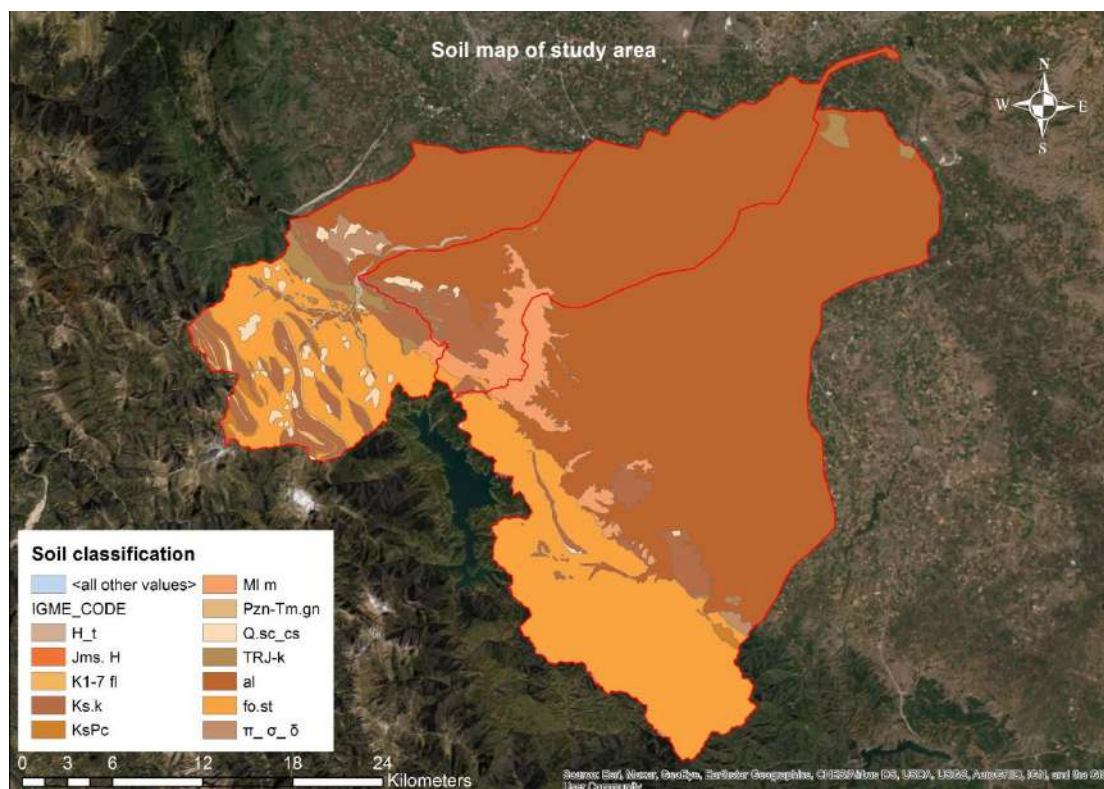


Εικόνα 57 Χάρτης κατανομής συντελεστή x Gavrilovic

x= 0.3651

6.3.2 Συντελεστής Y

Ο συντελεστής y αναφέρεται στο μέγεθος της διάβρωσης του γεωλογικού υποθέματος της περιοχής και για να εξαχθεί απαιτούνται γεωλογικοί χάρτες. Στη συνέχεια συσχετίζονται τα πετρώματα με τους συντελεστές κατά Gavrilovic, ο οποίος τα κατηγοριοποιεί ως προς τη σκληρότητά τους και την αντοχή τους στη διάβρωση. Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης δεν κατηγοριοποιούνται από το ΙΓΜΕ ώστε να είναι δυνατό να εξαχθούν άμεσα συμπεράσματα κι έτσι δημιουργούνται ομάδες χειμαρρικών πετρωμάτων. Η κάθε μία από αυτές χαρακτηρίζεται από την αντοχή της ως προς τη διάβρωση αλλά και τα κατακρημνίσματα (Καραπάνος 2007; Κουρακλή, 2010) και κατόπιν συσχετίζονται με τους σχηματισμούς κατά Gavrilovic.



Εικόνα 58 Εδαφολογικός χάρτης περιοχής

Πίνακας 31 Τιμές γ ανάλογα με το είδος πετρώματος (Πηγή Κωτούλας 2001)

Είδος πετρώματος και υπέδαφος	Τιμές συντελεστή γ
Σκληρά πετρώματα, ανθεκτικά στη διάβρωση	0,2 - 0,6
Πετρώματα μετρίως ανθεκτικά στη διάβρωση	0,6 - 1,0
Εύθρυπτα πετρώματα (σχιστες, συμπαγείς άργιλοι κλπ)	1,0 - 1,3
Αποθέσεις, μορένες, άργιλοι, ψαμόλιθοι και άλλα λιγότερο ανθεκτικά πετρώματα	1,3 - 1,8
Πολύ ευαίσθητα στη διάβρωση πετρώματα και εδάφη	1,8 - 2,0

Πίνακας 32 Κατηγοριοποίηση χειμαρρικών πετρωμάτων (Πηγή Κουρακλή 2010)

Πετρολογικοί σχηματισμοί	Πετρώματα
F	Φλύσχης
G	Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος
	Σχιστό/ Κερατόλιθοι
	Σχιστόλιθοι και ορθογενεύσιοι
K1	Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι
	Κρυστάλλινοι ασβεστόλιθοι
	Ασβεστόλιθοι

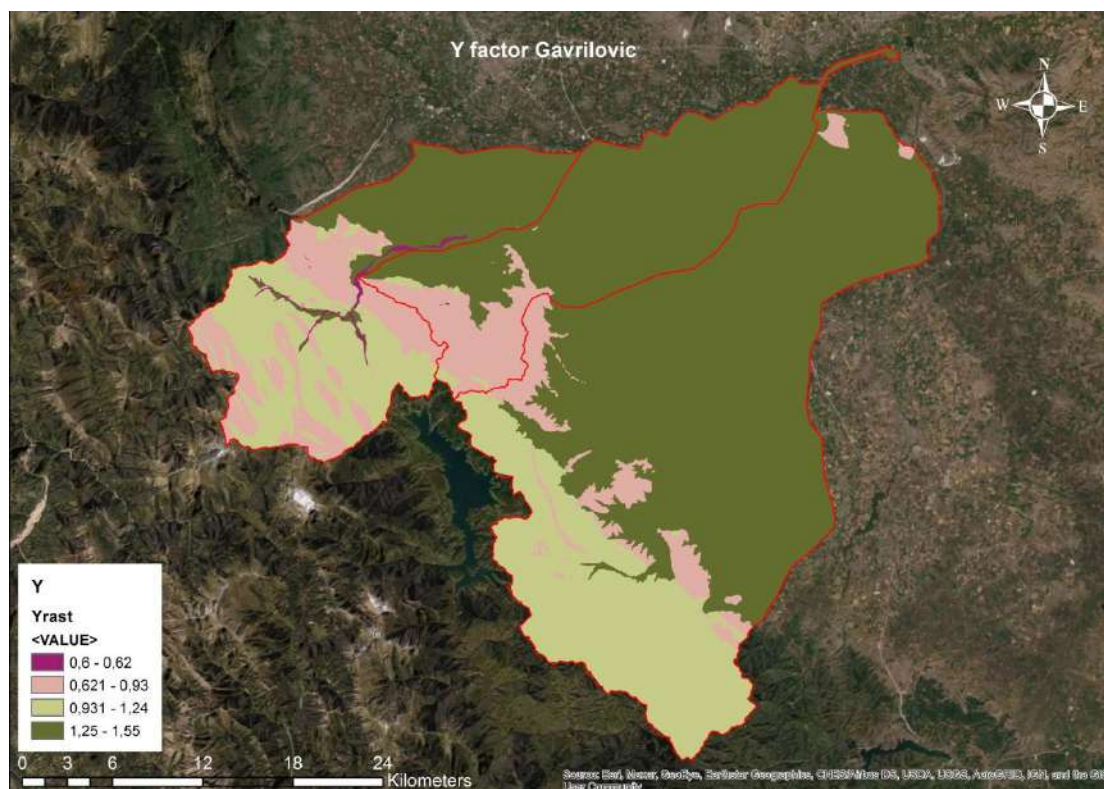
K2	Μάρμαρα
M1	Γρανίτης
	Μεταγρανίτης
M2	Βασαλτική, Ανδεσιτική, Διαβασική Λάβα
	Οφιόλιθοι
	Σερπεντίνης
	Υπερβασικά πετρώματα
M3	Αμφιβολίτες
	Κρυσταλλοσχιστώδες αδιαίρετο (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες, γρανίτες)
S1	Αλλουβιακές αποθέσεις
	Κώνοι και αλλουβιακά πεδία
	Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι
	Κορήματα
	Κορήματα και κώνοι κορημάτων
	Ιζήματα
	Χερσαίες αποθέσεις
Ερυθρές άργιλοι με λατυποπαγή	
S2	Μάργες
	Μάργες, άργιλοι, λιγνίτες
	Ψαμίτες και μάργες

Πίνακας 33 Χειμαρρικά πετρώματα σύμφωνα με την ομαδοποίηση Gavrilovic

F	Φλυσχικοί σχηματισμοί	Εύθρυπτα πετρώματα
G	Σχιστολιθικοί	Εύθρυπτα πετρώματα
M3	Κρυσταλλοσχιστώδεις	Εύθρυπτα πετρώματα
K1	Ασβεστολιθικοί	Μέτρια ανθεκτικά στη διάβρωση
M2	Κρυσταλλοπυριγενείς	Μέτρια ανθεκτικά στη διάβρωση
S	Νεογενείς	Λιγότερο ανθεκτικά πετρώματα

Πίνακας 34 Ταξινόμηση εδαφών και αντιστοίχιση συντελεστή γ

IGME_CODE	LITHOLOGY	Σχηματισμοί	γ	area	percent
fo.st	ΦΛΥΣΧΗΣ	F	1,15	253,023659	22%
Q.sc_cs	ΚΟΡΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ	S1	1	13,465214	1%
K1-7 fl	ΠΡΩΤΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ ΚΑΙ ΕΡΥΘΡΕΣ ΜΑΡΓΕΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΟΖΩΑ	F	1,15	3,398898	0%
Pzn-Tm.gn	ΑΜΦΙΒΟΛΙΤΙΚΟΙ - ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΑΚΟΙ ΓΝΕΥΣΙΟΙ	G	0,6	0,054423	0%
KsPc	ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΜΕΤΑΒΑΣΗΣ	K	0,7	10,062073	1%
Jms. H	ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΟΙ		0,7	0,547658	0%
Ks.k	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΙΣ	K1	0,8	77,690616	7%
Ml m	ΣΕΙΡΑ ΦΑΝΑΡΙΟΥ	M	0,7	42,329977	4%
TRJ-k	ΜΕΓΑΛΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΕΣ ΜΑΖΕΣ	K1	0,8	15,967844	1%
H_t	ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΕΣ		0,6	3,605964	0%
π_σ_δ	ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΣΕΙΡΑ	M2	0,7	8,035827	1%
al	ΔΙΛΟΥΒΙΟ ΚΑΙ ΑΛΛΟΥΒΙΟ	S1	1,55	707,75144	62%
		sum=	1135,93	mean=	1,3428



Εικόνα 59 Χάρτης κατανομής συντελεστή γ

$$\gamma = 1.3428$$

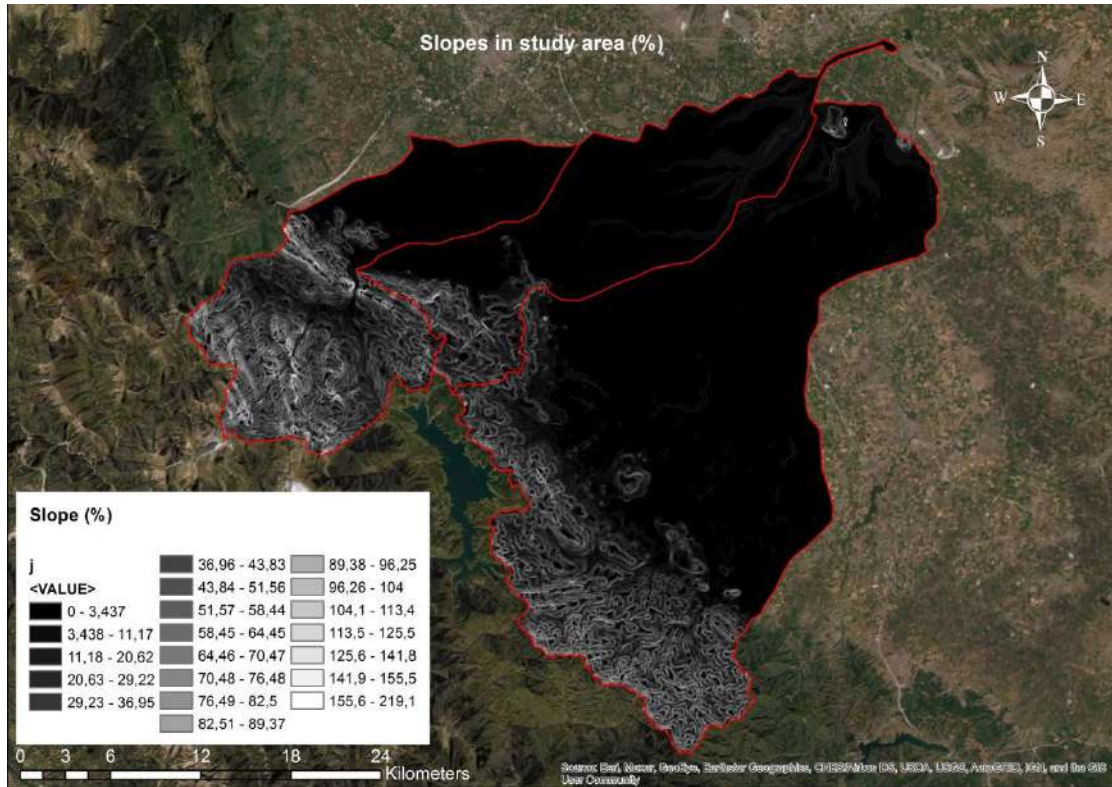
6.4 Συντελεστής ϕ

Ο τελευταίος συντελεστής που πρέπει να προσδιοριστεί είναι ο ϕ , που εκφράζει το είδος και μέγεθος της διάβρωσης της υδρολογικής λεκάνης. Σε αντίθεση με τους προηγούμενους συντελεστές, ο συγκεκριμένος για να προσδιοριστεί απαιτεί έρευνα πεδίου και παρατήρηση των φαινομένων που επικρατούν. Στην περίπτωση μας, όπως και σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογής της Gavrilovic, αυτό δεν καθίσταται δυνατό. Έτσι με μία εκτίμηση για μέτρια επιφανειακή διάβρωση και σε συνδυασμό με αναφορές ο δείκτης να είναι ίσος με 0,7 για την ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Πάμισσου (Καραπάνος, 2007), επιλέγουμε αυτή την τιμή. Ο πίνακας που ακολουθεί δείχνει τις τιμές ϕ κατά Gavrilovic.

Πίνακας 35 Συντελεστής ϕ σύμφωνα με την ταξινόμηση Gavrilovic

Είδος και διάβρωση στη λεκάνη απορροής	ϕ
Ασθενής διάβρωση στις λεκάνες απορροής	0,1-0,2
Επιφανειακή διάβρωση στο 25-60% της λεκάνης	0,3-0,5
Επιφανειακή διάβρωση, ολισθήσεις και αποθέσεις, καρστική διάβρωση	0,6-0,7
Χαραδρώσεις και κατολισθήσεις στο 50-80% της λεκάνης	0,8-0,9
Λεκάνες εντελώς υποβαθμισμένες από κατολισθήσεις και διαβρώσεις	0,9-1

Η τελευταία παράμετρος που πρέπει να έχουμε για να υπολογιστεί το z, είναι η μέση κλίση της λεκάνης απορροής. Σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας εισάγεται αρχείο DEM της περιοχής και εξάγεται αρχείο raster με την κλίση σε ποσοστό. Η κλίση της ευρύτερης περιοχής κυμαίνεται από 0-219% ήτοι 2,19 ως εφαπτομένη γωνίας. Φυσικά οι μεγαλύτερες κλίσεις εντοπίζονται νοτιοδυτικά, όπου βρίσκεται τμήμα της Πίνδου και των Αγράφων.



Εικόνα 60 Χάρτης κλίσεων (%) στην περιοχή μελέτης

$$J(\%) = 0.1411$$

Έχοντας συγκεντρώσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα κάθε λεκάνης, τα εισάγουμε στο excel ώστε να υπολογίσουμε τον συντελεστή z και στη συνέχεια τον όγκο φερτών που παράγεται ανά έτος στη λεκάνη. Μαζί με άλλα δεδομένα, λαμβάνουμε υπόψη και την έκταση της λεκάνης. Σε περίπτωση που η διαδικασία είχε γίνει εξ ολοκλήρου στο ArcMap, τα αποτελέσματα θα ήταν m³/km²/year, όμως επιλέξαμε να ακολουθήσουμε την κλασική μεθοδολογία EPM, όπως έχει οριστεί από τον Gavrilovic και να εξάγουμε μέσες τιμές ανά υψόμετρο ανά λεκάνη. Στην συνέχεια βλέπουμε τα αποτελέσματα του ομοιώματος Gavrilovic και πίνακες με την ταξινόμηση του συντελεστή z αλλά και την παραγωγή φερτών σύμφωνα με τη μέθοδο.

Πίνακας 36 Αποτελέσματα ομοιώματος Gavrilovic.

AREA (km ²)	T	mean annual precip (mm)	x	y	φ	j (%)	z	Ετήσια ειδική διάβρωση (m ³ /km ² /year)	Ετήσια διάβρωση W (m ³ /year)
1137,58	1,255	793,77	0,3651	1,34283099	0,7	0,1001	0,450	897,25	1.020.693,66

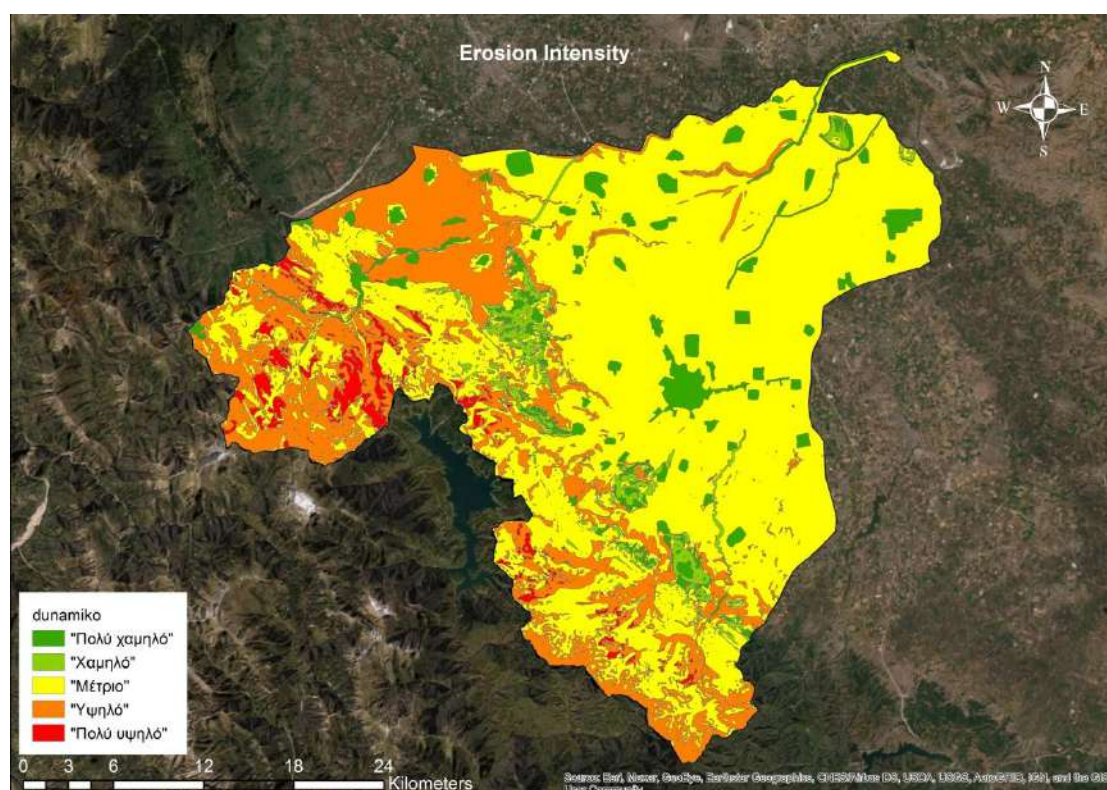
Πίνακας 37 Ταξινόμηση αποτελεσμάτων ομοιώματος Gavrilovic .

Intensity of erosion processes	Categories	Sediment yield	z factor	mean z factor
Excessive	I	3000-5000	1,01-1,51+	1,25
High	II	1500-3000	0,71-1,00	0,85
Medium	III	1000-1500	0,45-0,70	0,55
Low	IV	500-700	0,20-0,40	0,3
Very Low	V	80-500	0,01-0,19	0,1

Παρατηρούμε πως ο συντελεστής z στη δική μας περίπτωση κυμαίνεται στο 0,45 και το δυναμικό της διάβρωσης αντιστοιχίζεται στην κατηγορία μέσης έντασης. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, η Gavrilovic υπολογίζει τον μέσο ετήσιο όγκο φερτών υλικών που παράγονται σε ορεινή λεκάνη εκφρασμένο σε m^3 . Για τη μετατροπή του σε t/ha πολλαπλασιάζουμε με το ειδικό βάρος των αποθέσεων. Μία μέση τιμή για την πυκνότητα του εδαφικού υλικού κυμαίνεται στο $1,36 t/m^3$. Όμως σύμφωνα με τον Κωστούλα, 2001a κυμαίνεται περίπου σε $\gamma=2,76 t/m^3$. Έτσι έχουμε:

Πίνακας 38 Παραγωγή φερτών ανά έτος στην περιοχή μελέτης

Ετήσια διάβρωση W (t/year)	
Με μέση πυκνότητα εδαφικού υλικού $\gamma=1,36 (t/m^3)$	Σύμφωνα με Κωστούλα (2001a) για $\gamma=2,76 (t/m^3)$
1.388.143,37	2.817.114,49



Εικόνα 61 Χάρτης δυναμικού διάβρωσης στην περιοχή μελέτης

Πίνακας 39 Τιμές συντελεστών Gavrilovic ανά υπολεκάνη

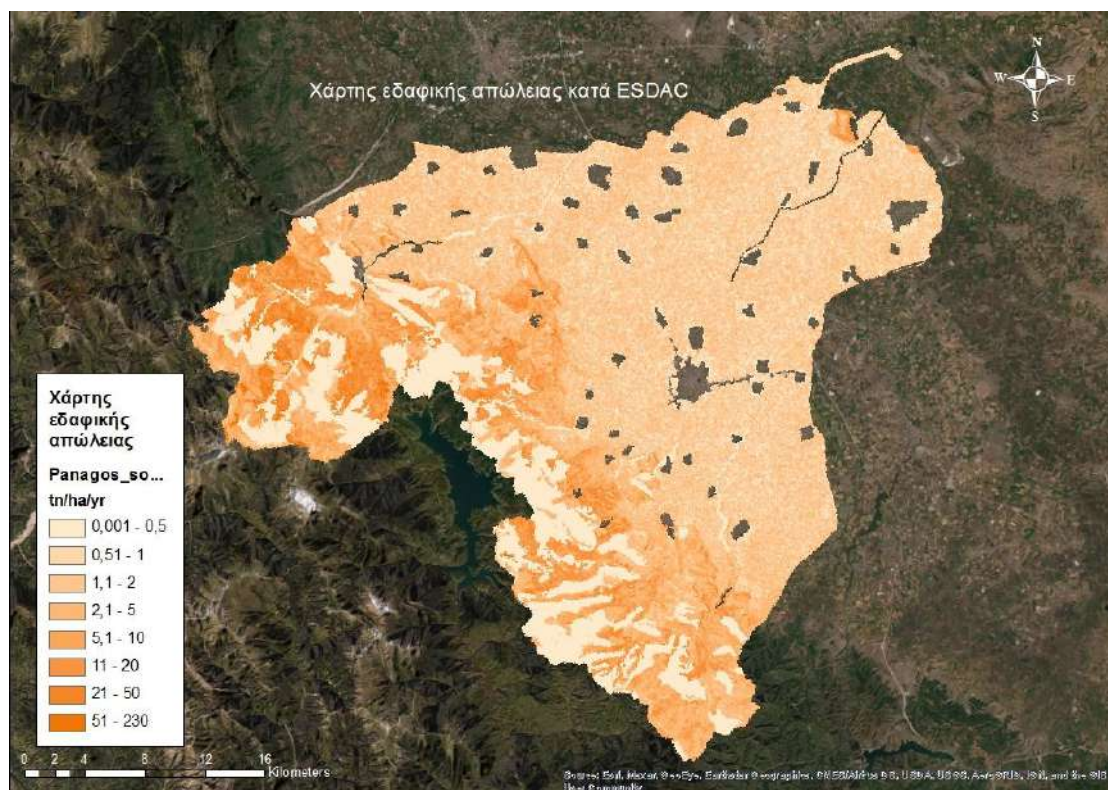
SUBBASINS	MIN					MAX					MEAN				
	x	y	t	p	w	x	y	t	p	w	x	y	t	p	w
GR0816FR0060007	0	0,7	1,14	505,21	0	0,54	1,55	1,29	1297,29	3297,00	0,38	1,40	1,25	652,65	837,89
GR0816FR00600016	0,2	0,7	1,12	471,84	165,97	0,54	1,15	1,28	1811,98	3316,40	0,25	1,15	1,20	1133,86	930,71
GR0816FR00600013	0,2	0,8	0,99	682,42	141,28	0,8	1,55	1,23	1555,48	6559,09	0,35	1,15	1,12	1035,57	1187,08
GR0816FR00600011	0	0,7	1,01	554,01	0	0,54	1,55	1,27	1503,04	4095,19	0,33	1,21	1,15	954,98	1025,62
GR0816FR00600012	0	0,7	1,02	551,36	0	0,54	1,55	1,28	1455,31	2812,42	0,35	1,34	1,19	746,10	823,37
GR0816FR00600010	0	0,7	1,17	556,03	0	0,54	1,55	1,27	1117,11	3221,69	0,39	1,23	1,23	678,17	802,99
GR0816FR0060009	0	0,7	1,20	552,07	0	0,45	1,55	1,28	1016,21	2428,66	0,38	1,31	1,26	640,44	763,09
GR0816FR0060004	0	1,55	1,27	508,79	0	0,45	1,55	1,28	544,88	1739,65	0,42	1,55	1,28	526,58	829,14
GR0816FR0060003	0	1,55	1,26	524,81	0	0,54	1,55	1,28	578,71	2175,51	0,43	1,55	1,27	545,72	837,28
GR0816FR0060002	0	0,8	1,24	412,67	0	0,45	1,55	1,28	697,33	2487,66	0,41	1,54	1,27	511,08	730,00
GR0816FR00600015	0,2	1,15	1,08	706,13	228,01	0,54	1,15	1,24	1891,09	3651,51	0,25	1,15	1,17	1152,50	913,50
GR0816FR00600014	0,2	1,15	1,03	683,85	222,90	0,54	1,55	1,23	1984,09	3603,71	0,26	1,15	1,14	1187,19	913,23
GR0816FR0060008	0	0,7	1,08	516,90	0	0,54	1,55	1,29	1312,43	3498,70	0,36	1,33	1,23	664,05	754,01
GR0816FR0060005	0	0,7	1,24	401,97	0	0,45	1,55	1,30	657,19	2174,12	0,37	1,55	1,29	537,18	739,54
GR0816FR0060006	0	1,55	1,28	505,25	0	0,45	1,55	1,29	533,36	1928,88	0,34	1,55	1,29	513,53	680,39
GR0816FR0060001	0	0,8	1,25	430,40	0	0,45	1,55	1,29	719,13	2620,43	0,40	1,52	1,28	517,35	748,36
GR0816FR007006	0,2	0,7	1,10	749,21	117,96	0,54	1,55	1,24	1594,28	4006,42	0,30	0,78	1,18	1079,00	572,25
GR0816FR007004	0	0,6	1,14	725,48	0	0,54	1,55	1,26	1570,46	3637,84	0,31	1,16	1,23	1014,73	817,08
GR0816FR007002	0	0,7	1,24	451,20	0	0,45	1,55	1,29	895,05	3154,39	0,41	1,55	1,28	595,45	893,23
GR0816FR007001	0	1,55	1,28	383,71	0	0,45	1,55	1,29	611,59	2313,89	0,39	1,55	1,29	526,62	754,70
GR0816FR007003	0	0,7	1,22	639,52	0	0,45	1,55	1,27	997,96	2584,78	0,37	1,36	1,26	741,86	916,47
GR0816FR007005	0	0,7	1,13	723,40	0	0,54	1,55	1,27	1580,73	2920,83	0,33	1,03	1,22	943,71	792,69
GR0816FR008008	0,2	0,6	1,01	829,63	86,48	0,8	1,55	1,23	2315,53	9364,55	0,31	0,99	1,14	1413,08	1201,15
GR0816FR008003	0	0,6	1,13	644,21	0	0,45	1,55	1,30	1675,34	4449,36	0,38	1,42	1,27	841,98	1057,05
GR0816FR008004	0	0,6	1,15	985,86	0	0,54	1,55	1,24	1570,54	2783,54	0,27	0,79	1,20	1271,04	706,19
GR0816FR008005	0,2	0,6	1,11	922,92	93,83	0,54	1,55	1,24	1594,28	4055,68	0,34	1,03	1,18	1218,56	1127,81
GR0816FR008009	0,2	0,6	0,99	918,02	117,33	0,8	1,55	1,23	2420,88	6385,45	0,37	1,03	1,12	1483,12	1521,76
GR0816FR008006	0	0,6	1,05	728,86	0	0,8	1,55	1,23	2176,43	5795,44	0,34	1,04	1,18	1196,14	1147,95
GR0816FR008007	0,2	0,6	1,10	852,19	87,29	0,54	1,55	1,23	1774,09	4500,90	0,35	1,10	1,19	1135,01	1208,64
GR0816FR008001	0	1,55	1,28	634,43	0	0,45	1,55	1,30	669,30	2186,71	0,38	1,55	1,29	654,31	932,65
GR0816FR008002	0	0,6	1,15	553,72	0	0,45	1,55	1,29	1695,40	3676,00	0,35	1,30	1,26	913,84	937,68

Ο παραπάνω πίνακας εξυπηρετεί στο να εντοπιστούν σε επίπεδο υπολεκάνης οι τιμές που έχουν καθοριστικό ρόλο στα αποτελέσματα του ομοιώματος Gavrilovic. Συγκεκριμένα μας ενδιαφέρουν οι ελάχιστες, οι μέγιστες και οι μέσες τιμές κάθε συντελεστή. Αν ανατρέξουμε στις μέγιστες τιμές της εδαφικής διάβρωσης ανά υπολεκάνη, παρατηρούμε πως η πλειονότητα των υπολεκανών εμφανίζει πολύ υψηλά νούμερα και σε ποσοστό εκφράζεται ως 61%. Ως υψηλές τιμές θεωρούμε αυτές που υπερβαίνουν τα $3000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$. Αντίθετα, αν επεξεργαστούμε τις μέσες τιμές εδαφικής απώλειας ανά υπολεκάνη, θα δούμε πως δεν υπάρχει υπολεκάνη που να έχει εδαφική απώλεια μεγαλύτερη από $3000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$. Η μέγιστη τιμή είναι της τάξης των $1521,76 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ και κατατάσσεται στο εύρος τιμών που χαρακτηρίζουν τη μέση εδαφική απώλεια. Πραγματοποιώντας μία σύντομη αναζήτηση του παράγοντα που έχει καθοριστική σημασία στην εμφάνιση διάβρωσης τέτοιου μεγέθους, παρατηρούμε ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο είναι πολύ υψηλή και συγκεκριμένα η μεγαλύτερη. Αναζητώντας την υπολεκάνη που εμφανίζει την χαμηλότερη εδαφική απώλεια, βλέπουμε πως η μέση τιμή της είναι $572,25 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ και απέχει κατά πολύ από την αμέσως μεγαλύτερη τιμή. Σε αυτή την περίπτωση τον καθοριστικό ρόλο, έχει ο συντελεστής y που εκφράζει το δυναμικό διάβρωσης του γεωλογικού υποθέματος. Ο παραπάνω πίνακας καθίσταται πολύ χρήσιμος, καθώς μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε το μέγεθος το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη έντονης διάβρωσης. Από αυτά, μεταβλητός και διαχειρίσιμος με σκοπό τη μείωση του φαινομένου, θεωρούμε πως είναι ο συντελεστής x που εκφράζει την συμβολή της φυτοκάλυψης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ/ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ -ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ

7.1 RUSLE

Η εκτίμηση της εδαφικής απώλειας, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίζεται από το τροποποιημένο μοντέλο RUSLE, και πιο συγκεκριμένα από το συνδυασμό των δεικτών R, K, LS, C και P. Ένα από τα πλεονεκτήματα της RUSLE είναι πως είναι πολύ αποτελεσματική τόσο σε γεωργικές εκτάσεις όσο και σε ορεινές περιοχές (Στεφανίδης Σ., Χατζηχρηστάκη Χ., Στεφανίδης Π. 2016). Καθώς η μελέτη μας βασίστηκε κατά ένα πολύ μεγάλο βαθμό σε δεδομένα και μετρήσεις από το ESDAC (Panagos, et. Al, 2020). Έτσι λοιπόν με το εργαλείο extract by mask, απομονώσαμε την περιοχή μελέτης μας από το συνολικό Ευρωπαϊκό χάρτη.



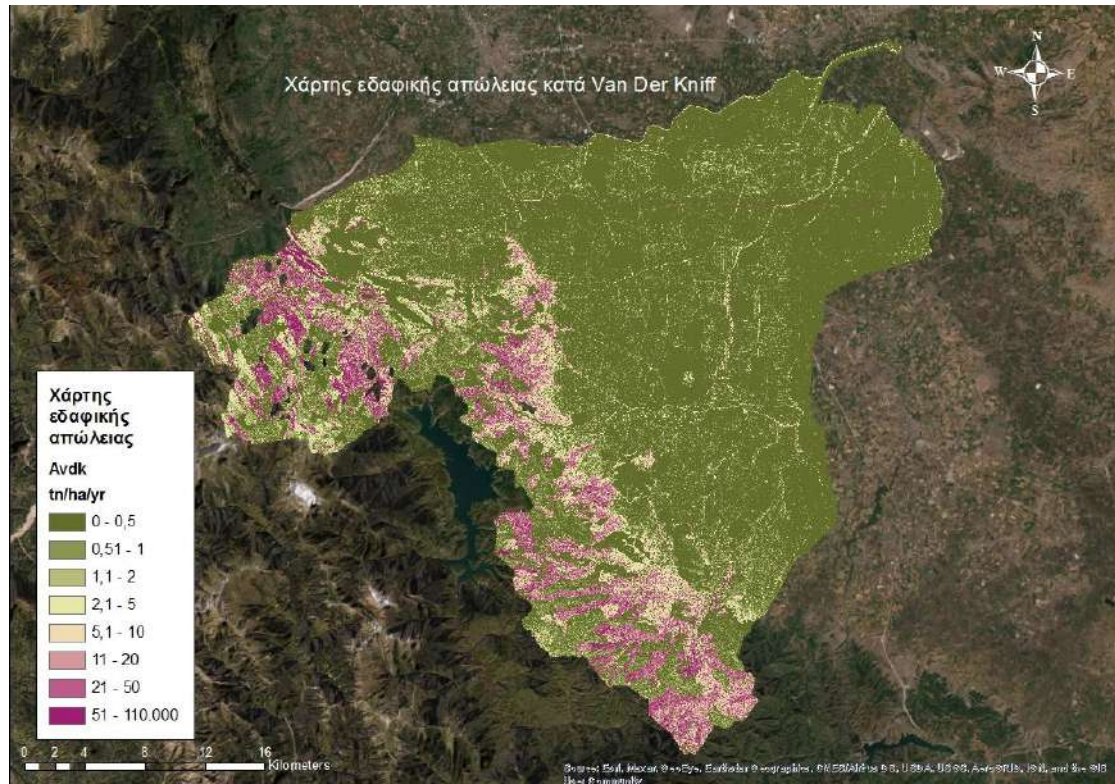
Εικόνα 62 Χάρτης εδαφικών απωλειών (ESDAC)

Πίνακας 40 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής απώλειας (ESDAC) ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,001	131,856	2,202
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,004	227,531	6,181
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,001	94,402	2,599

Η μέση τιμή της ετήσιας εδαφικής απώλειας της περιοχής μελέτης είναι 3,307 t/ha/year με μια τυπική απόκλιση ισοδύναμη με 6,500 t/ha/year.

Αναλυτικότερα, βάσει των δεικτών που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρείχθησαν οι δύο παρακάτω χάρτες εδαφικής απώλειας. Η διαφοροποίηση τους βασίζεται στο δείκτη διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R, όπου έχουν αναπτυχθεί χάρη στις εμπειρικές σχέσεις των Wischmeier & Smith (1978) και Van Der Kniff et al.(2000) αντίστοιχα.

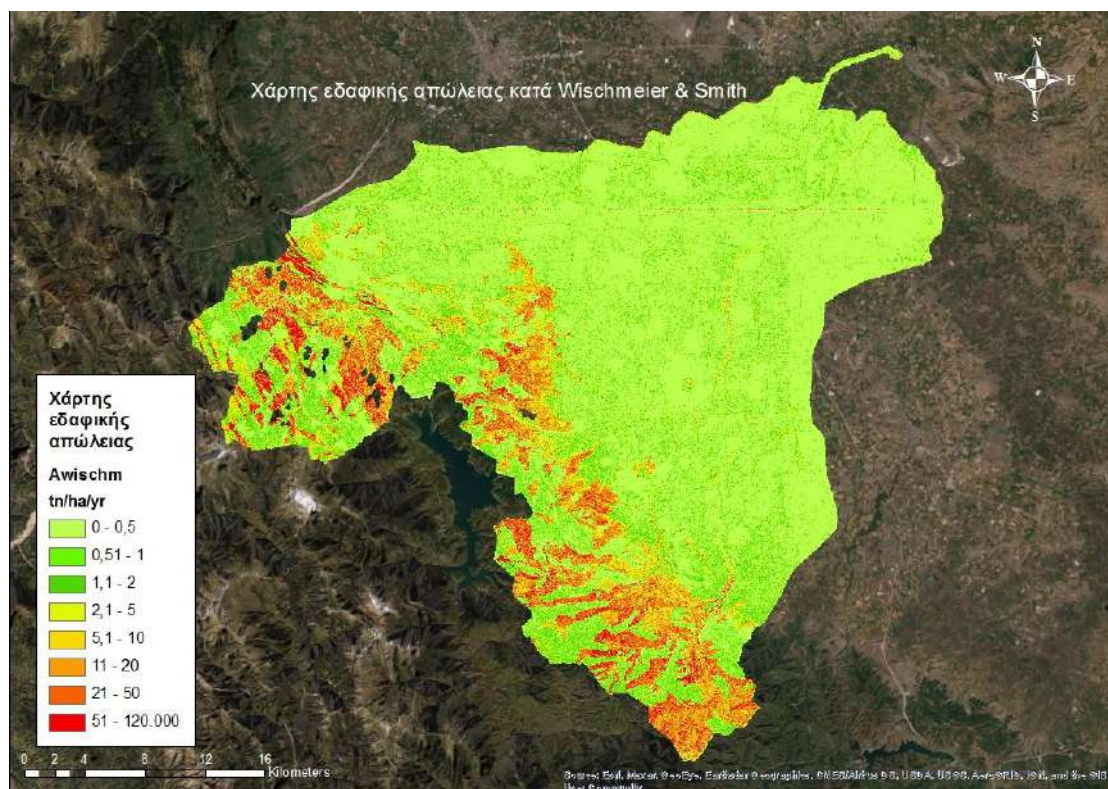


Εικόνα 63 Χάρτης εδαφικής απώλειας κατά Van Der Kniff et al.(2000)

Η μέση τιμή της ετήσιας εδαφικής απώλειας της περιοχής μελέτης για εξαγωγή του συντελεστή R μέσω της εμπειρικής σχέσης Van der Kniff (2000) είναι 7,493 t/ha/year με μια τυπική απόκλιση ισοδύναμη με 158,2 t/ha/year.

Πίνακας 41 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής απώλειας (Van der Kniff)

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0	5081,13	1,60
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0	112420,94	22,01
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0	2497,32	4,27

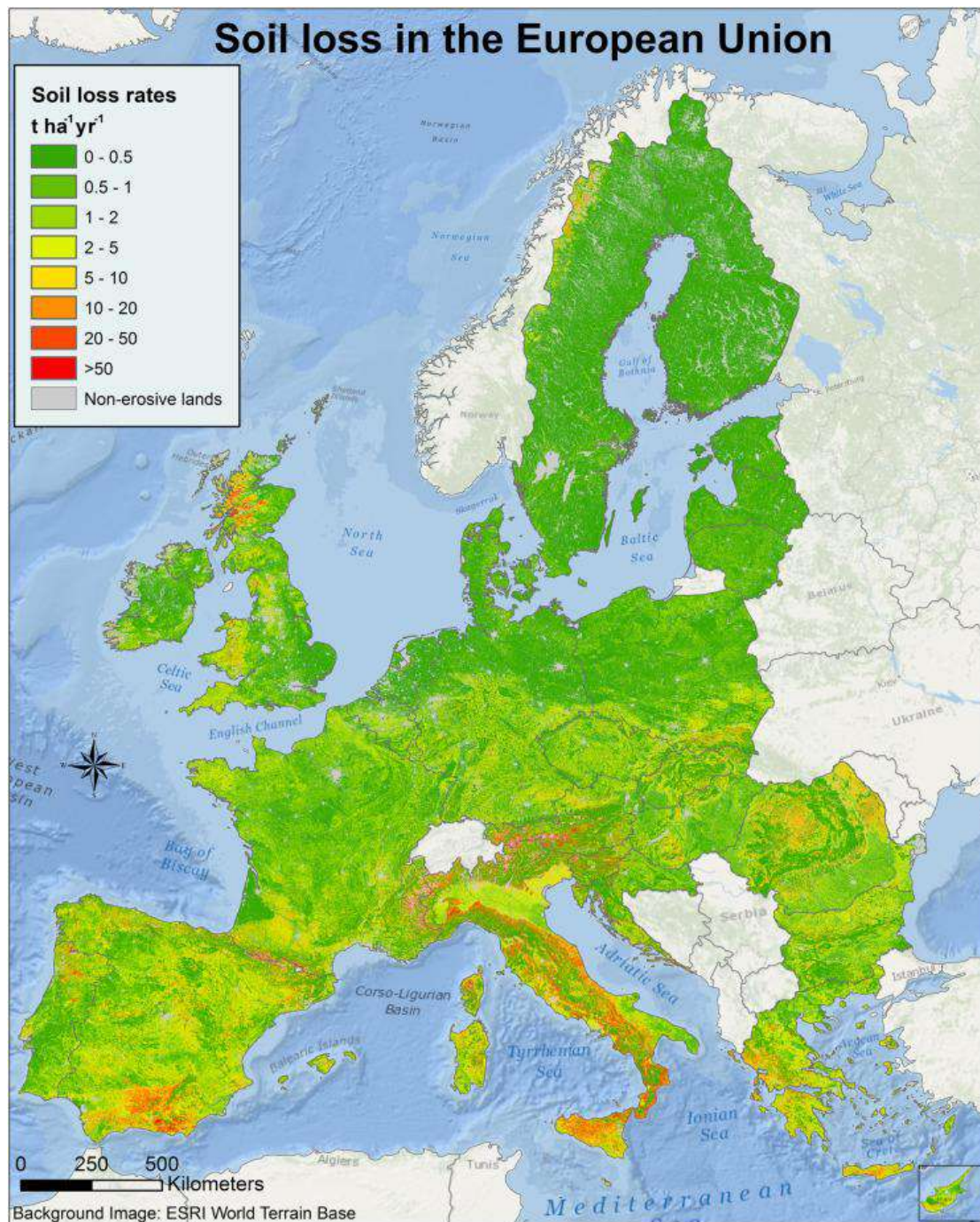


Εικόνα 64 Χάρτης εδαφικής απώλειας κατά Wischmeier & Smith (1978)

Η μέση τιμή της ετήσιας εδαφικής απώλειας της περιοχής μελέτης για εξαγωγή του συντελεστή R μέσω της εμπειρικής σχέσης Wischmeier & Smith (1978) είναι 8,452 t/ha/year με μια τυπική απόκλιση ισοδύναμη με 167,7 t/ha/year.

Πίνακας 42 Στατιστικά στοιχεία εδαφικής διάβρωσης (Wischmeier & Smith)

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0	5636,73	1,75
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0	119466,49	23,52
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0	2779,87	5,32



Εικόνα 65 Χάρτης τιμών της εδαφικής απώλειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση(Ετος αναφοράς 2010), **RUSLE2015**

Παρατηρούμε πως η απόκλιση μεταξύ των τιμών αυτών των δυο χαρτών δεν είναι μεγάλη. Θα επιλέξουμε όμως ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου **RUSLE** την Εικόνα 63 με τη μέθοδο υπολογισμού του δείκτη **R** κατά **Van Der Kniff et al.(2000)**, καθώς είναι η πιο πρόσφατη εμπειρική σχέση και άρα πιο ανανεωμένη.

Μεγάλο πλεονέκτημα της **RUSLE** είναι η ευκολία χρήσης και εφαρμογής. Μειονεκτεί, όμως, στο ότι αποτελεί αποκλειστικά μοντέλο διάβρωσης και όχι ταυτόχρονα και στερεοαπορροής. Για να μπορέσουμε να μελετήσουμε σε επίπεδο υδρολογικής διαχείρισης την εφαρμογή της μεθόδου **RUSLE**, η οποία περιορίζεται στην εκτίμηση της παραγωγής της διάβρωσης του εδάφους, θα πρέπει να υπολογίσουμε και την ποσότητα των φερτών υλών που θα μεταφερθεί.

Ο SDR (Sediment Delivery Ratio) είναι ο συντελεστής στερεοαπορροής που χρησιμοποιείται για το συνδυασμό της εδαφικής διάβρωσης με τη στερεοαπορροή. Ο SDR πολλαπλασιάζεται με την υπολογισμένη ποσότητα εδαφικής διάβρωσης ώστε να προκύψει η ποσότητα των φερτών υλών που αναζητούμε.

Για την εκτίμηση της στερεοαπορροής έγινε η χρήση του SDR που συσχετίζει τη στερεοαπορροή με τη διάβρωση, με τον παρακάτω τύπο:

$$SDR = \frac{S_Y}{A_S} \quad (23)$$

Όπου:

- SDR (Sediment Delivery Ratio): συντελεστής στερεοαπορροής με τιμές από 0 έως 1
- S_Y : στερεοαπορροή (t/ha)
- A_S : εδαφική απώλεια (t/ha)

Ουσιαστικά, η στερεοαπορροή σε επίπεδο λεκάνης απορροής είναι η διαφορά μεταξύ της παραγόμενης εδαφικής απώλειας και των ποσοτήτων των φερτών υλών που καταλήγουν σε περιοχές εναπόθεσης.

Για την εκτίμηση του SDR γίνεται χρήση εμπειρικών εξισώσεων που συσχετίζουν το συντελεστή είτε με την έκταση είτε με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου. Πιο συνηθισμένη είναι η χρήση των πρώτων, μιας και η μεταβολή του συντελεστή στερεοαπορροής σε σχέση με τη λεκάνη απορροής εμφανίζει καλύτερη στατιστική συσχέτιση και η εφαρμογή τους γίνεται πιο εύκολα.

Οι τρεις πιο διαδεδομένες σχέσεις εκτίμησης του SDR μέσω της έκτασης (A) της λεκάνης απορροής είναι:

1. Η σχέση του Renfro (1975), που προέρχεται από δεδομένα στερεοαπορροής στην περιοχή των Blackland Prairies (Τέξας, Η.Π.Α.). Τα δεδομένα προέρχονταν από 14 λεκάνες απορροής με έκταση που κυμαίνεται από 1,1~252,3km², και η σχέση που προέκυψε είναι - r²~0.92:

$$\log SDR = 1,7935 - 0,14191 \log A \quad (24)$$

Όπου:

- A: η έκταση σε km².
2. Το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. με δεδομένα από την ίδια περιοχή με τη σχέση του Renfro, κατέληξε στην παρακάτω σχέση (USDA-SCS, 1971):

$$SDR = 0,51 * A^{-0,11} \quad (25)$$

Όπου:

- A: η έκταση σε mi².
3. Πιο γενικευμένη από τις μέχρι τώρα σχέσεις θεωρείται η σχέση του Vanoni (1975), καθώς προέκυψε από δεδομένα στερεοαπορροής 300 λεκανών σε παγκόσμια κλίμακα:

$$SDR = 0,42 * A^{-0,125} \quad (26)$$

Όπου:

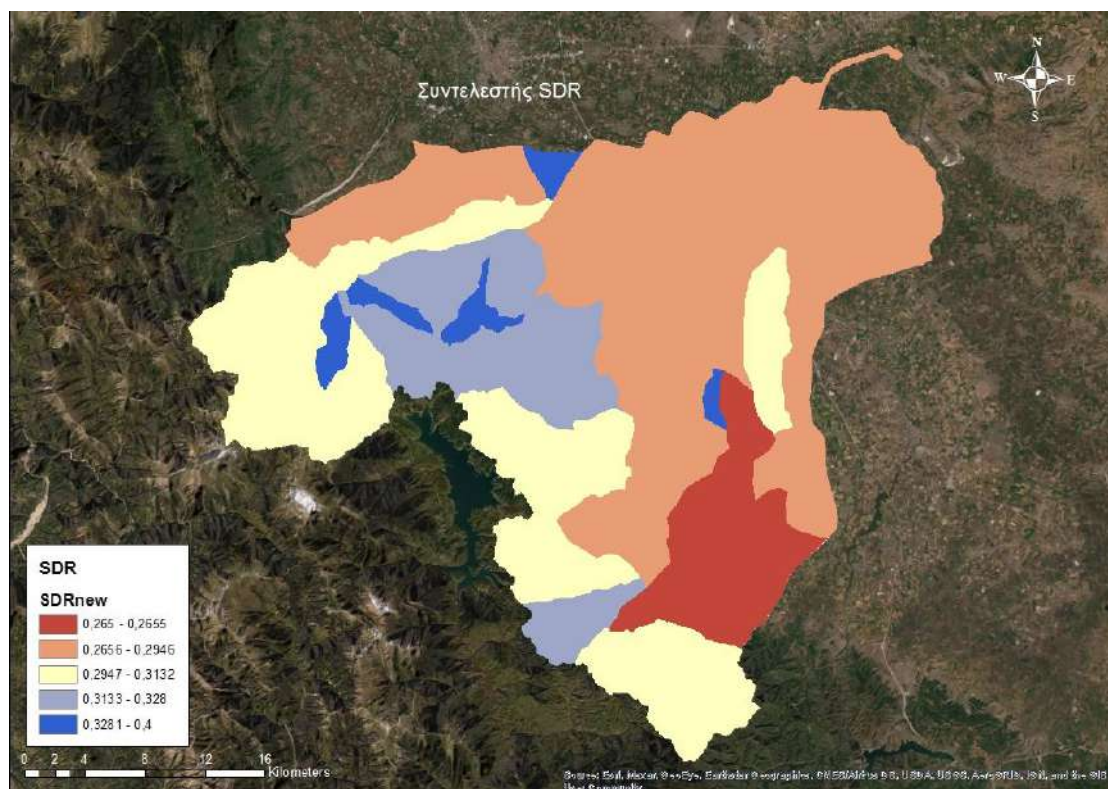
- A: η έκταση σε mi².

Κατόπιν υπολογισμού της συνολικής επιφάνειας της περιοχής μελέτης μας (σε mi²) έγινε η χρήση της σχέσης Vanoni (1975) για την εύρεση του συντελεστή στερεοαπορροής SDR.

Πίνακας 43 Υπολογισμός συντελεστή SDR ανά υπολεκάνη

Υπολεκάνη	area (mi ²)	SDR	Υπολεκάνη	area (mi ²)	SDR
GR0816FR0060007	40,20	0,265	GR0816FR007006	7,93	0,324
GR0816FR00600016	14,11	0,302	GR0816FR007004	8,82	0,320
GR0816FR00600013	13,13	0,304	GR0816FR007002	39,20	0,266
GR0816FR00600011	11,16	0,311	GR0816FR007001	22,25	0,285
GR0816FR00600012	11,40	0,310	GR0816FR007003	9,25	0,318
GR0816FR00600010	7,22	0,328	GR0816FR007005	3,68	0,357
GR0816FR0060009	9,27	0,318	GR0816FR008008	13,97	0,302
GR0816FR0060004	11,02	0,311	GR0816FR008003	24,23	0,282
GR0816FR0060003	19,23	0,290	GR0816FR008004	2,62	0,372
GR0816FR0060002	25,76	0,280	GR0816FR008005	8,37	0,322
GR0816FR00600015	10,38	0,313	GR0816FR008009	12,27	0,307
GR0816FR00600014	8,88	0,320	GR0816FR008006	16,79	0,295
GR0816FR0060008	19,96	0,289	GR0816FR008007	3,50	0,359
GR0816FR0060005	25,68	0,280	GR0816FR008001	2,63	0,372
GR0816FR0060006	1,46	0,400	GR0816FR008002	11,28	0,310
GR0816FR0060001	23,59	0,283	SDR_{mean}	0,196	

SDR=0,196

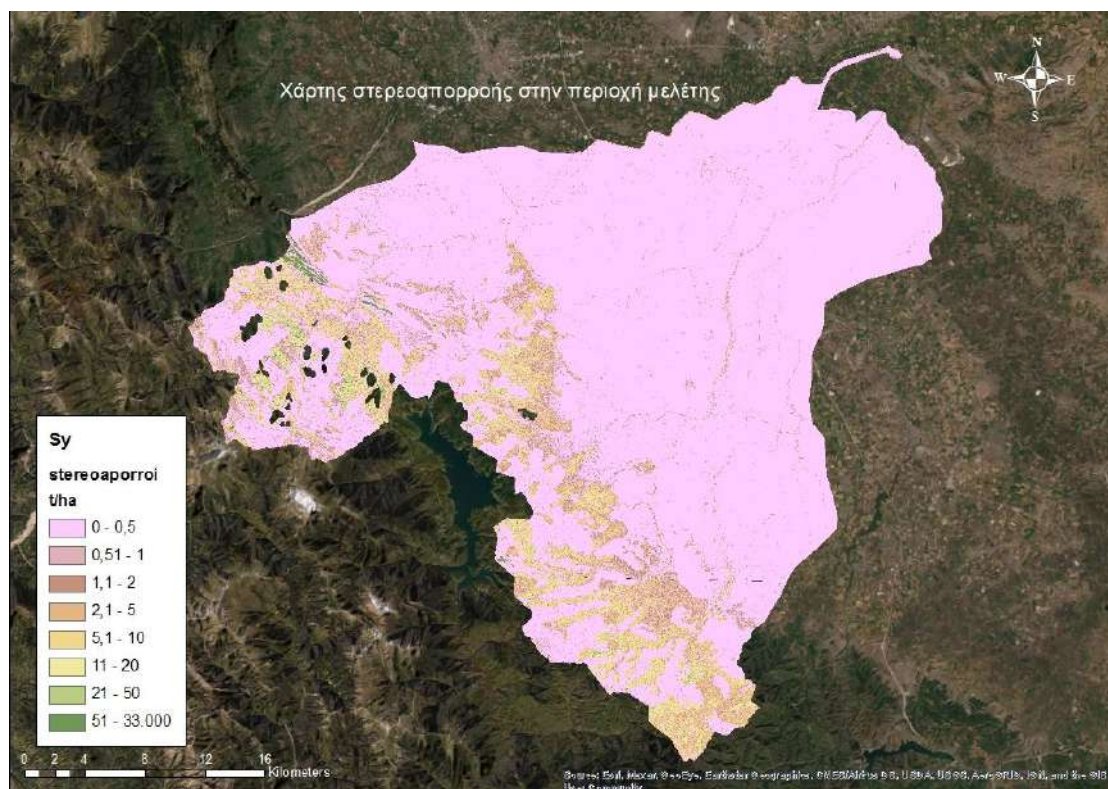


Εικόνα 66 Χάρτη συντελεστή SDR

Πίνακας 44 Στατιστικά στοιχεία συντελεστή SDR ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,266	0,357	0,290
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,282	0,372	0,305
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,265	0,400	0,292

Με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας, φαίνεται παρακάτω η εκτιμώμενη στερεοαπορροή συναρτήσει της εδαφικής διάβρωσης με χρήση της RUSLE για το σενάριο να έχει υπολογιστεί ο συντελεστής R από την εμπειρική σχέση Van Der Kniff (2000).



Εικόνα 67 Χάρτης στερεοαπορροής

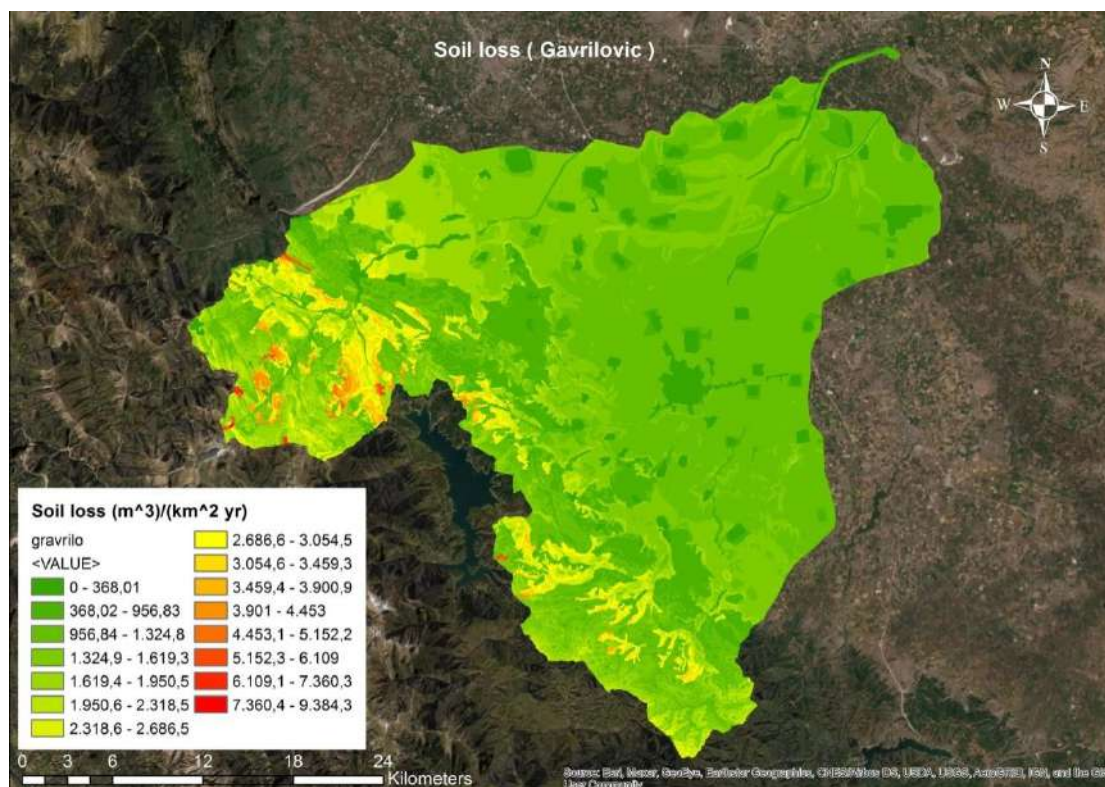
Πίνακας 45 Στατιστικά στοιχεία στερεοαπορροής ανά λεκάνη

ΑΡΙΘΜΗΣΗ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	MIN	MAX	MEAN
1	ΜΕΓΑΣ	0,000	1625,963	0,506
2	ΠΑΜΙΣΟΣ	0,000	33164,179	6,609
3	ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	0,000	699,250	1,295

Όπως προκύπτει από παραπάνω, η μέση ετήσια στερεοαπορροή ισούται με 2,263 t/ha/yr.

7.2 GAVRILOVIC

Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο τρόπος λειτουργίας του ομοιώματος Gavrilovic (EPM), το οποίο εκτός από μοντέλο εδαφικής διάβρωσης είναι παράλληλα και στερεοαπορροής. Για να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου αυτού με της RUSLE, θα πρέπει να εκφράζονται σε ίδιες μονάδες μέτρησης. Παρακάτω ο χάρτης της εδαφικής απώλειας που έχει παραχθεί σε περιβάλλον GIS.



Εικόνα 68 Χάρτης εδαφικής απώλειας με το μοντέλο Gavriloic

Πίνακας 46 Ετήσια εδαφική διάβρωση Gavriloic

Ετήσια ειδική διάβρωση (m ³ /km ² /year)	Ετήσια διάβρωση W (m ³ /year)
897,25	1.020.693,66

Η μέση τιμή της ετήσιας εδαφικής απώλειας της περιοχής μελέτης είναι 897,25 m³/km²/year με μια τυπική απόκλιση ισοδύναμη με 526,08 m³/km²/year. Για να γίνει εφικτή η σύγκριση, πρέπει να ανάγουμε τις μονάδες της μίας μεθόδου ώστε να είναι αντιληπτή η διαφορά που θα προκύψει. Για λόγους ευκολίας και κατανόησης των τιμών που θα εμφανιστούν και της φυσικής τους σημασίας, θα ανάγουμε τη RUSLE από t/ha/year σε m³/km²/year. Έτσι ο όγκος που παρουσιάζεται ανά μονάδα επιφάνειας, αλλά και οι αποθέσεις θα γίνουν πιο εύκολα αντιληπτές. Υπενθυμίζεται πως στο ομοίωμα Gavriloic που χρειάστηκε να εκτιμήσουμε την πυκνότητα του εδαφικού υλικού για την μετατροπή του όγκου σε βάρος, είχαμε αξιοποιήσει μία μέση τιμή $\gamma=1,35 \text{ t/ m}^3$ και μία ακραία τιμή που όπως αναφέρει ο Κωτούλας (2001α) πρόκειται για το πραγματικό ειδικό βάρος του εδαφικού υλικού. Οι σύγκριση των αποτελεσμάτων σε μονάδες εδαφικής διάβρωσης, δηλαδή ανά επιφάνεια, φαίνονται στον επόμενο πίνακα και για τις 2 μεθόδους.

Πίνακας 47 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δύο μοντέλων σε m³/km²/year

OUTPUT	RUSLE	GAVRILOVIC
Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση	v	
Μέση ετήσια εδαφική απώλεια		v
Μονάδες μέτρησης	t/ha/year	m ³ /year
Για γ=1,35 t/m ³ και ha=0,01 km ²	m ³ /km ² /year	m ³ /km ² /year
Τιμές εδαφικής διάβρωσης ανά μέθοδο	555,04	897,25
Διαφορά στις εκτιμήσεις δύο μεθόδων	342,21	m³/km²/year

Από τον πίνακα παρατηρούμε πως υπάρχει μία απόκλιση της τάξης των 342,21 m³/km²/year στα αποτελέσματα που εξάγουν τα δύο μοντέλα. Φυσικά λόγω της πολύ διαφορετικής δομής τους και των διαφορετικών απαιτήσεων σε δεδομένα, ήταν αναμενόμενη αυτή η διαφορά. Για την αξιολόγησή τους παρ' όλα αυτά δεν είναι αρκετή μελέτη των ποσοτικών διαφορών που εμφανίζουν, αλλά απαιτείται μία εντονότερη ανασκόπηση η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από μετρήσεις πεδίου μέχρι και επιτόπια έρευνα στην πραγματική στερεοαπορροή στην έξοδο της λεκάνης. Τέτοιες ενέργειες σπάνια συμβαίνουν λόγω της υψηλής υλικοτεχνικής απαίτησης που έχουν. Για την σύγκριση της στερεοαπορροής που εμφανίζει η περιοχή σύμφωνα με το εκάστοτε μοντέλο, θα υπολογίσουμε τον συντελεστή στερεοαπορροής μέσω της σχέσης Zemljic που είναι ειδικά ανεπτυγμένος για εφαρμογή στη Gavrilovic. Ο συντελεστής επιλέχθηκε να υπολογισθεί με βάση αυτή τη σχέση έναντι της σχέσης ου εξήγαγε ο Gavrilovic, καθώς θεωρείται καταλληλότερη για μεγάλες λεκάνες απορροής. Οι δικές μας λεκάνες υπενθυμίζεται πως κυμαίνονται περίπου από 236 km² έως 653 km². Οι απαραίτητες εξισώσεις φαίνονται παρακάτω.

$$G=W*R \quad (27)$$

Όπου:

- G: Η στερεοαπορροή
- W: Η εδαφική απώλεια σύμφωνα με το μοντέλο Gavrilovic
- R: Συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R = \frac{\sqrt{O * D} * (Li + L)}{F * (L + 10)} \quad (28)$$

Όπου:

- O: Η περίμετρος της λεκάνης (km)
- D: Η μέση διαφορά του μέγιστου και ελάχιστου υψόμετρου (km)
- Li: Το μήκος του δευτερεύοντος υδατορέματος (km)
- L: Το μήκος του κύριου υδατορέματος (km)
- F: Το εμβαδό της λεκάνης απορροής (km²)

περιοχές της Ελλάδας αλλά και της Ευρώπης σε ευρύτερη κλίμακα. Επίσης η RUSLE είναι κατασκευασμένη ώστε να υπολογίζει γενικά την υποβάθμιση εδάφους και σε μεγάλες επιφάνειες όπως μία λεκάνη απορροής, μπορεί να εξάγει παραπλανητικά αποτελέσματα. Σε κάθε περίπτωση για να υπάρχει εικόνα της στερεοαπορροής της λεκάνης, υπολογίστηκαν οι όγκοι που καταλήγουν κάθε χρόνο στην έξοδο, σύμφωνα και με τα δύο μοντέλα.

Πίνακας 49 Εδαφική διάβρωση και στερεοαπορροή ανά μοντέλο.

ΜΟΝΤΕΛΟ/ ΟΜΟΙΩΜΑ	Εδαφική Διάβρωση (m³/km²/year)	Στερεοαπορροή (m³/year)
RUSLE	555,08	167,63
Gavrilovic	897,25	264,84
SDR mean	0,196	0,196
	discrepancy	97,21

Μετά τη σύγκριση όλων των αποτελεσμάτων, καταλήγουμε στο ότι η χρήση και εφαρμογή τέτοιων εμπειρικών μοντέλων εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης εξυπηρετεί περισσότερο στον εντοπισμό περιοχών που είναι πιο ευπαθείς σε τέτοιου είδους διεργασίες παρά σε μία ακριβή ποσοτική εκτίμηση. Τέτοιες περιοχές που απαιτούν διερεύνηση μπορεί να βρίσκονται κοντά σε αστικά δίκτυα ή σε υδάτινα σώματα από τα οποία πραγματοποιούνται υδροληψίες κλπ.

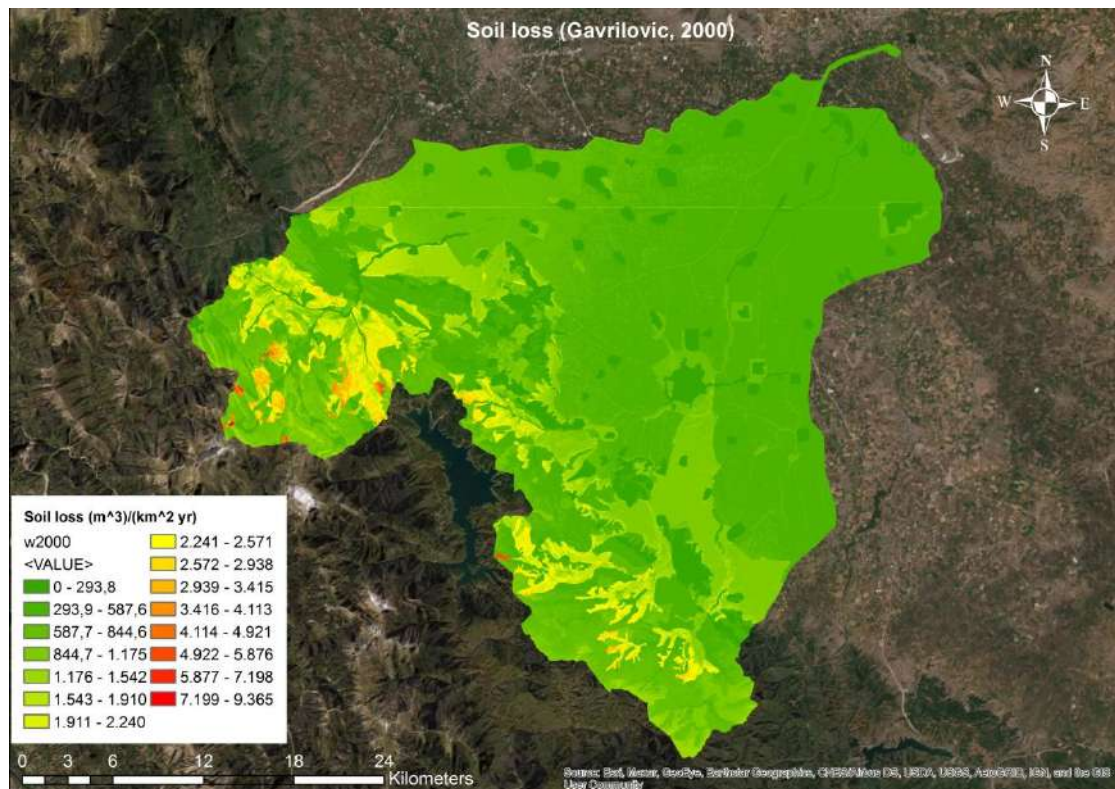
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ

Τα δύο μοντέλα που αναλύθηκαν και εφαρμόστηκαν παραπάνω, έδωσαν αποτελέσματα βάσει παραμέτρων όπως η ετήσια βροχόπτωση, θερμοκρασία, οι χρήσεις γης, εδαφολογικά δεδομένα και γεωργικές πρακτικές που ενδεχομένως να εφαρμόζονται. Τα στοιχεία της περιοχής όπως το κλίμα, το ανάγλυφο και η γεωλογία δεν είναι σκόπιμο να εξεταστούν σε περιπτώσεις διερεύνησης της εδαφικής διάβρωσης υπό διαφορετικά σενάρια και παράγοντες. Αντίθετα, στοιχεία που αφορούν την ανθρώπινη δραστηριότητα και παρέμβαση στο περιβάλλον είναι απαραίτητο να εξετασθούν, αφού είναι αρκετά ασταθή στο χρόνο και ασκούν μεγάλη επιρροή στην ανάπτυξη του φαινομένου. Ανεξαρτήτως των δεδομένων εισόδου, που όπως είναι φυσικό διαφοροποιούνται από μοντέλο σε μοντέλο, εστιάζουμε σε δύο πολύ βασικές παραμέτρους. Οι χρήσεις γης σε κάθε περιοχής μελέτης, αλλάζουν συνεχώς τα τελευταία χρόνια και η αστικοποίηση δίνει τη θέση της στην εργασία στην ύπαιθρο. Έτσι, καθίσταται πολύ σημαντική η εξέταση των χρήσεων γης και άλλων ετών, πέραν του 2018 που λάβαμε εμείς υπόψη αλλά και οι σύγχρονες και πιο ορθές γεωργικές που τυχόν εφαρμόζονται κατόπιν έκδοσης κώδικα ορθής γεωργικής πρακτικής το 2015 από το ΥΠΕΝ. Στα δύο παραπάνω διαχειριστικά σενάρια και στον τρόπο με τον οποίο επιδρούν στο μέγεθος της διάβρωσης θα αναφερθούμε παρακάτω.

8.1 CLC 2000 και 2012 στο ομοίωμα Gavrilovic

Διερευνώντας την εφαρμογή των διαφορετικών χρήσεων γης στα δύο μοντέλα, εντοπίζουμε τους συντελεστές μέσω των οποίων εκφράζονται αυτές. Στο ομοίωμα Gavrilovic ο αντίστοιχος συντελεστής είναι ο x που ονομάζεται συντελεστής φυτοκάλυψης και εκφράζει τον ρόλο που αυτή έχει στην μείωση της αντίστασης του υποθέματος στη διάβρωση. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με αυτή της εκτίμησης του συντελεστή x για το έτος 2018, υπολογίζουμε τις τιμές και για τα έτη 2012 και 2000. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την κάθε χρήση γης σύμφωνα με το έτος που παρατηρήθηκε, το ποσοστό κάλυψης αντίστοιχα για κάθε χρονιά και τέλος τον συντελεστή όπως αυτός προέκυψε από τη βιβλιογραφία.

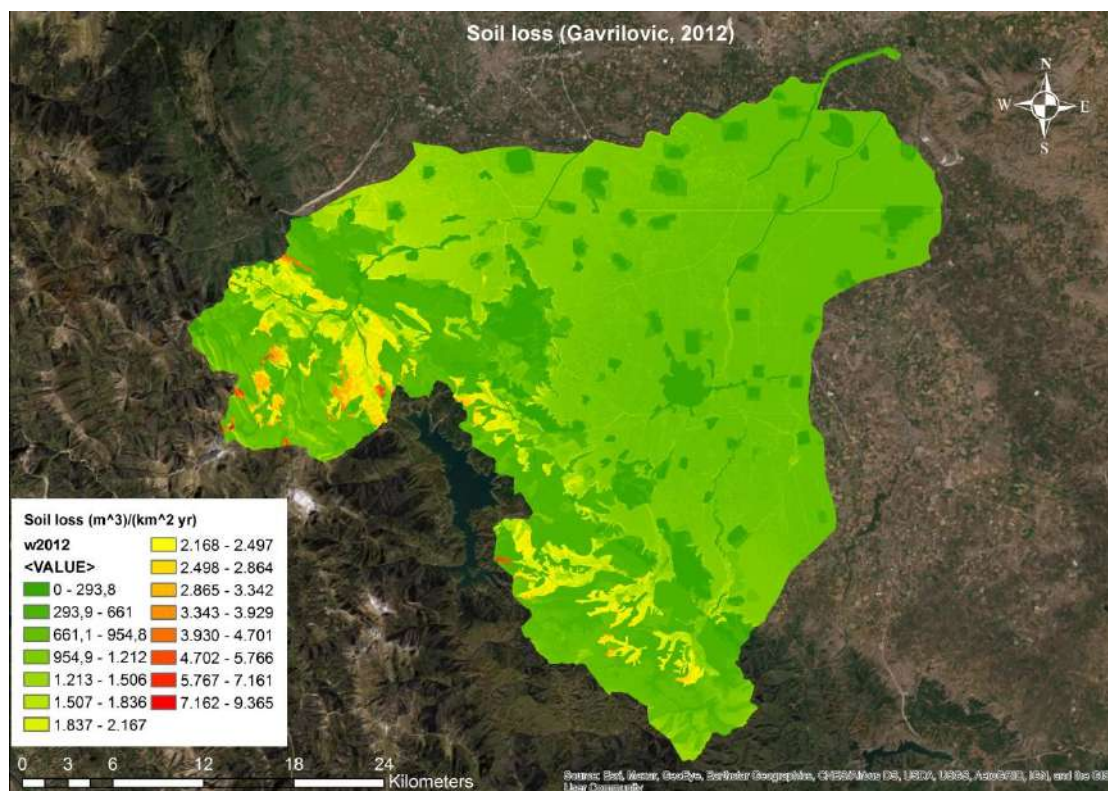
Όπως φαίνεται παραπάνω, τα έτη 2012 και 2018 δεν εμφανίζουν διαφορές στις χρήσεις γης, παρά μόνο μία μικρή διαφορά στο ποσοστό κάλυψης κάποιων χρήσεων, της τάξης του 0,06%. Αυτό περιορίζεται μόνο στο δάσος πλατύφυλλων και στις μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις περιοχές. Αντιθέτως μία μεγαλύτερη διαφορά εντοπίζεται όπως ήταν αναμενόμενο στο έτος 2000 και σε αυτό θα εστιάσουμε. Παρατηρείται πιο έντονα η αυξομείωση στα ποσοστά κάλυψης και συγκεκριμένα έχουν τονιστεί αυτά που υπέστησαν τη μεγαλύτερη αλλαγή. Για παράδειγμα η έκταση του μικτού δάσους αυξήθηκε κατά 0,81% από το 2000 μέχρι το 2018, ενώ η μη αρδευόμενη αρόσιμη γη μειώθηκε κατά το ίδιο ποσοστό από το 2000 στο 2018. Ο μόνος κωδικός που έχει αλλαχτεί, είναι αυτός που αντιστοιχεί σε ελαιώνες οι οποίοι μέχρι το 2000 ήταν έκταση που περιείχαν αθλητικές εγκαταστάσεις. Εφόσον λοιπόν οι αλλαγές δεν εντοπίζονται στις τιμές του συντελεστή x αλλά στο ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε χρήση γης, η τελική επιρροή τους θα εκφραστεί πιο ορθά στον χάρτη που θα παραχθεί για την αποτύπωση της εδαφικής διάβρωσης.



Εικόνα 70 Χάρτης εδαφικής απώλειας 2000 (Gavrilovic)

Πίνακας 50 Ετήσια εδαφική διάβρωση Gavrilovic

Ετήσια ειδική διάβρωση ($m^3/km^2/year$)	Ετήσια διάβρωση W ($m^3/year$)
734,28	835.302,24



Εικόνα 71 Χάρτης εδαφικής απώλειας 2012 (Gavriloic)

Πίνακας 51 Ετήσια εδαφική διάβρωση 2012 Gavriloic

Ετήσια ειδική διάβρωση ($m^3/km^2/year$)	Ετήσια διάβρωση W ($m^3/year$)
896,27	1.019.578,83

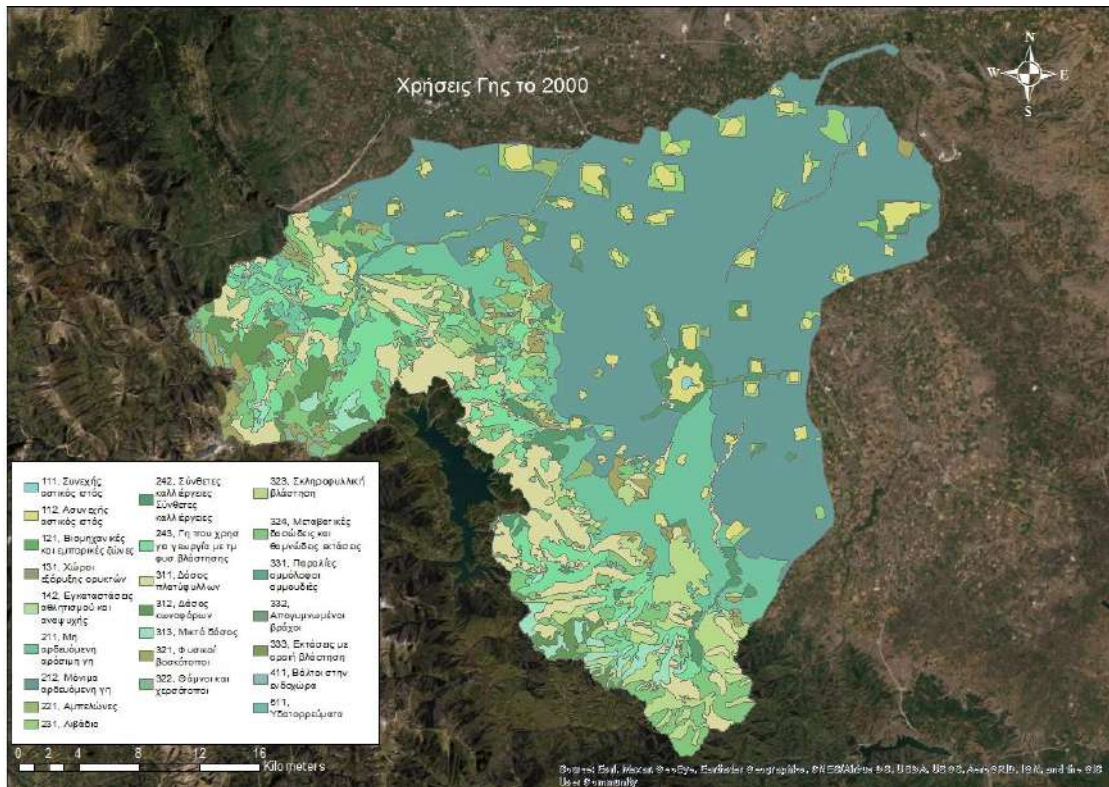
Παρατηρούμε από τα παραπάνω πως με την πάροδο του χρόνου εμφανίζεται μία αύξηση στην εδαφική διάβρωση. Το έτος 2000 έχουμε την μικρότερη τιμή ενώ το 2012 και το 2018 δεν διαφέρουν και πολύ. Η απόκλιση από έτος σε έτος είναι πιο εμφανής όταν συγκρίνουμε τον συνολικό όγκο και όχι την ειδική διάβρωση που ανάγεται στην επιφάνεια Έτσι έχουμε τον παρακάτω πίνακα στον οποίο βλέπουμε πως από το 2000 μέχρι το 2018, μόνο από τις αλλαγές στις χρήσεις γης, προέκυψε αύξηση του όγκου που διαβρώνεται περί τα 185.391 m^3 .

Έτος	Ετήσια ειδική διάβρωση ($m^3/km^2/year$)	Ετήσια διάβρωση ($m^3/year$)
2000	734,28	835.302,24
2012	896,27	1.019.578,83
2018	897,25	1.020.693,66

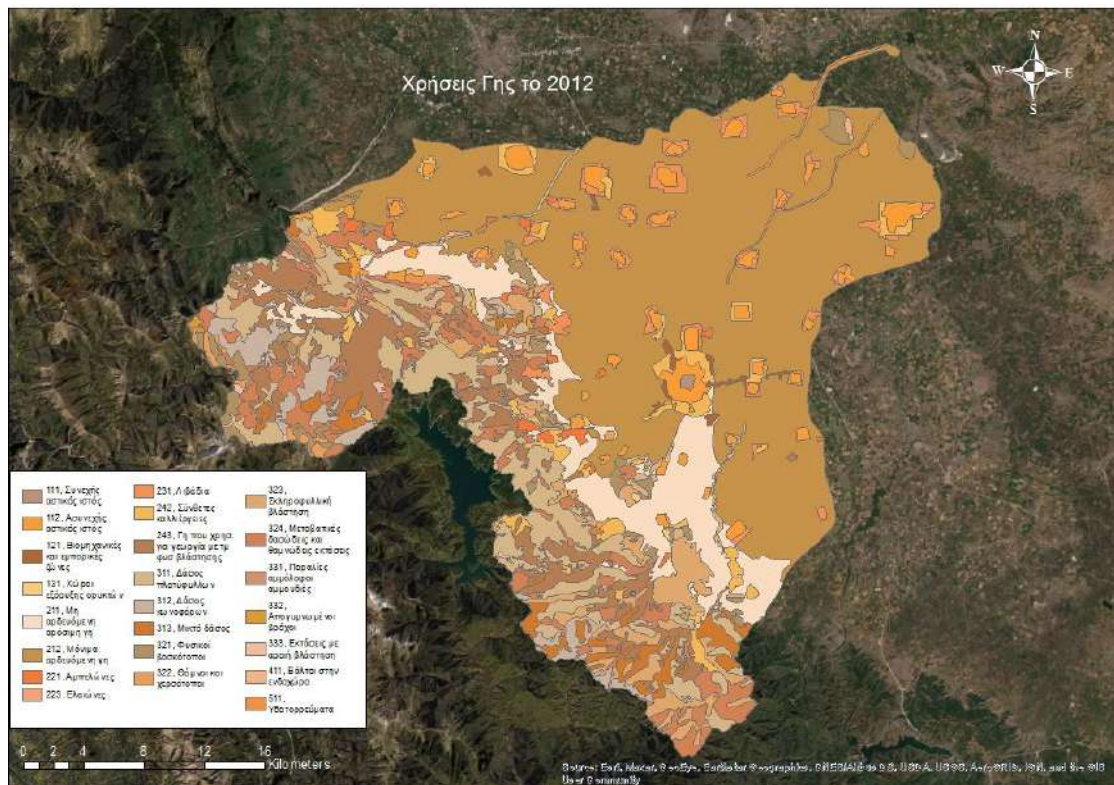
8.2 CLC 2000 και 2012 στο μοντέλο RUSLE

Για το μοντέλο RUSLE, ο δείκτης ο οποίος θα διερευνηθεί είναι αυτός των χρήσεων γης-C. Αρχικά, συλλέξαμε δεδομένα από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα CORINE Land

Cover για τις χρονολογίες 2000 και 2012 (CLC-2000, CLC-2012), και δημιουργήσαμε τους αντίστοιχους χάρτες χρήσεων γης σε περιβάλλον GIS.

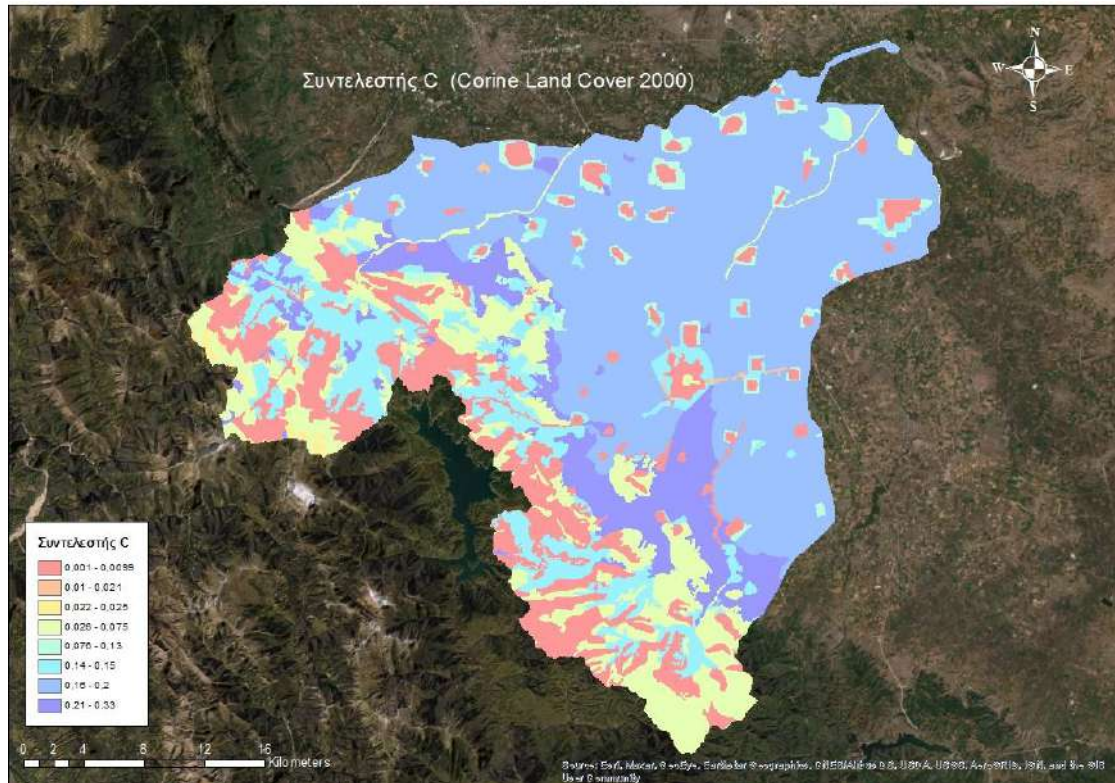


Εικόνα 72 Χάρτης χρήσεων γης 2000

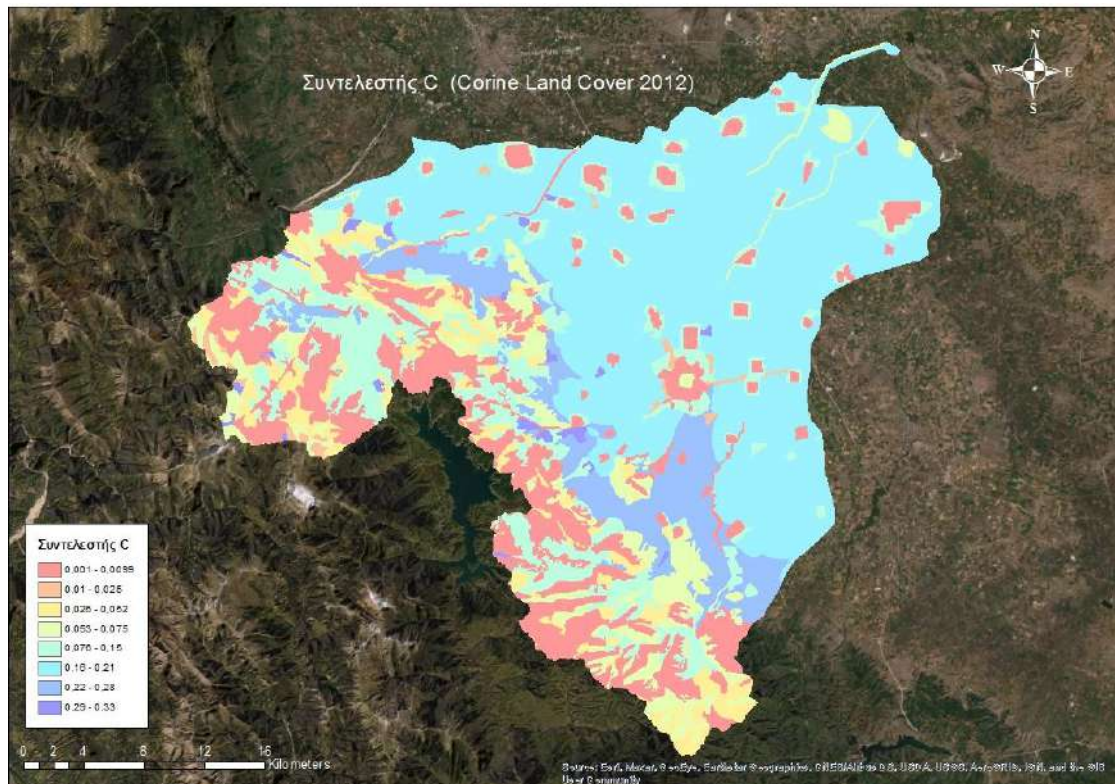


Εικόνα 73 Χάρτης χρήσεων γης 2012

Στη συνέχεια, βάσει των βιβλιογραφικών τιμών που έχουμε αντλήσει, με την εντολή Add Field εισάγουμε νέα στήλη με τους αντίστοιχους συντελεστές και με το εργαλείο Polygon to Raster δημιουργούμε τους νέους χάρτες.



Εικόνα 74 Συντελεστής C 2000



Εικόνα 75 Συντελεστής C 2012

Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά οι πίνακες με τις χρήσεις γης και τους αντίστοιχους κωδικούς κατά Corine, το ποσοστό κάλυψης (%) και στις τρεις υδρολογικές λεκάνες συνολικά που καταλαμβάνει η κάθε μια χρήση, αλλά και ο συντελεστής C που τους αντιστοιχεί.

Πίνακας 52 Δεδομένα χρήσεων γης 2000

Χρήσεις Γης	Κωδικός Corine 2000	Ποσοστό Κάλυψης (%) 2000	Συντελεστής C 2000
Συνεχής αστικός ιστός	111	0,05%	0,075
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	3,34%	0,001
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,13%	0,01
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	131	0,02%	0,05
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211		0,28
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	9,65%	0,2
Αμπελώνες	221	44,30%	0,3269
Ελαιώνες		0,47%	
Λιβάδια	231	2,70%	0,1132
Σύνθετες καλλιέργειες	242	3,40%	0,1476
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής	243	8,13%	0,1307
Δάσος πλατύφυλλων	311	9,06%	0,0014
Δάσος κωνοφόρων	312	2,21%	0,0011
Μικτό δάσος	313	1,62%	0,0011
Φυσικοί βοσκότοποι	321	2,28%	0,0522
Θάμνοι και χερσότοποι	322	0,35%	0,0219
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	5,19%	0,0623
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	6,49%	0,026
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,14%	0,075
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,06%	0,075
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,15%	0,3062
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,05%	0,075
Υδατορρέματα	511	0,18%	0,075
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	142	0,05%	0,005

Πίνακας 53 Δεδομένα χρήσεων γης 2012

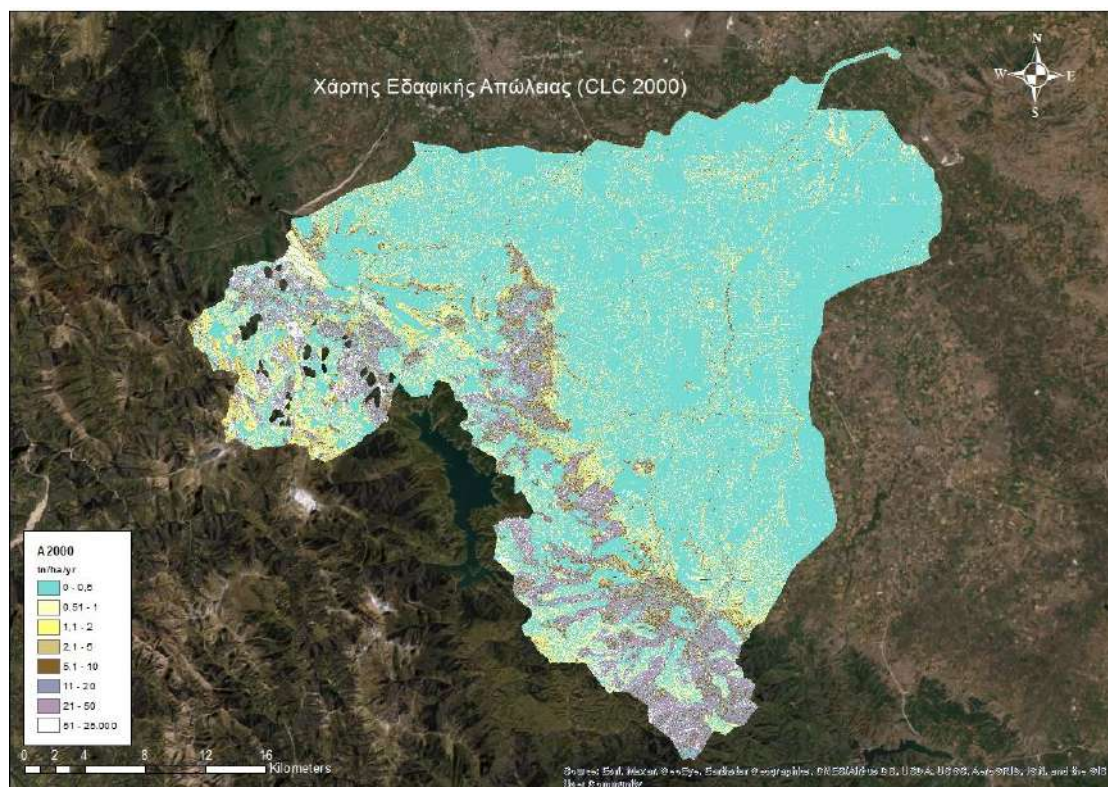
Χρήσεις Γης	Κωδικός Corine 2012	Ποσοστό Κάλυψης (%) 2012	Συντελεστής C 2012
Συνεχής αστικός ιστός	111	0,07%	0,075
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	3,68%	0,001
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,33%	0,01
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	131	0,05%	0,05
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	8,82%	0,28
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	43,94%	0,2
Αμπελώνες	221	0,57%	0,3269
Ελαιώνες	223	0,05%	0,2094
Λιβάδια	231	2,37%	0,1132
Σύνθετες καλλιέργειες	242	3,42%	0,1476
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής	243	7,72%	0,1307
Δάσος πλατύφυλλων	311	9,79%	0,0014
Δάσος κωνοφόρων	312	2,39%	0,0011
Μικτό δάσος	313	2,43%	0,0011
Φυσικοί βοσκότοποι	321	2,41%	0,0522
Θάμνοι και χερσότοποι	322	0,35%	0,0219
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	4,76%	0,0623
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	6,06%	0,026
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,08%	0,075
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,06%	0,075
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,20%	0,3062
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,08%	0,075
Υδατορεύματα	511	0,36%	0,075
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής			
C₂₀₁₂=0,139			

Συγκρίνοντας τα δεδομένα από τους δυο αυτούς χάρτες (2012 και 2000) παρατηρούμε ότι οι διαφοροποιήσεις δεν είναι μεγάλες. Ο αστικός ιστός έχει μια μικρή αύξηση, και όσον αφορά τις καλλιέργειες έχει προστεθεί η καλλιέργεια ελαιώνων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφοροποιήσεις των εκτάσεων σε ποσοστά τόσο από τις χρήσεις γης του 2000 με του 2018, καθώς από το 2012 μέχρι το 2018 παρατηρήθηκαν μηδενικές μεταβολές.

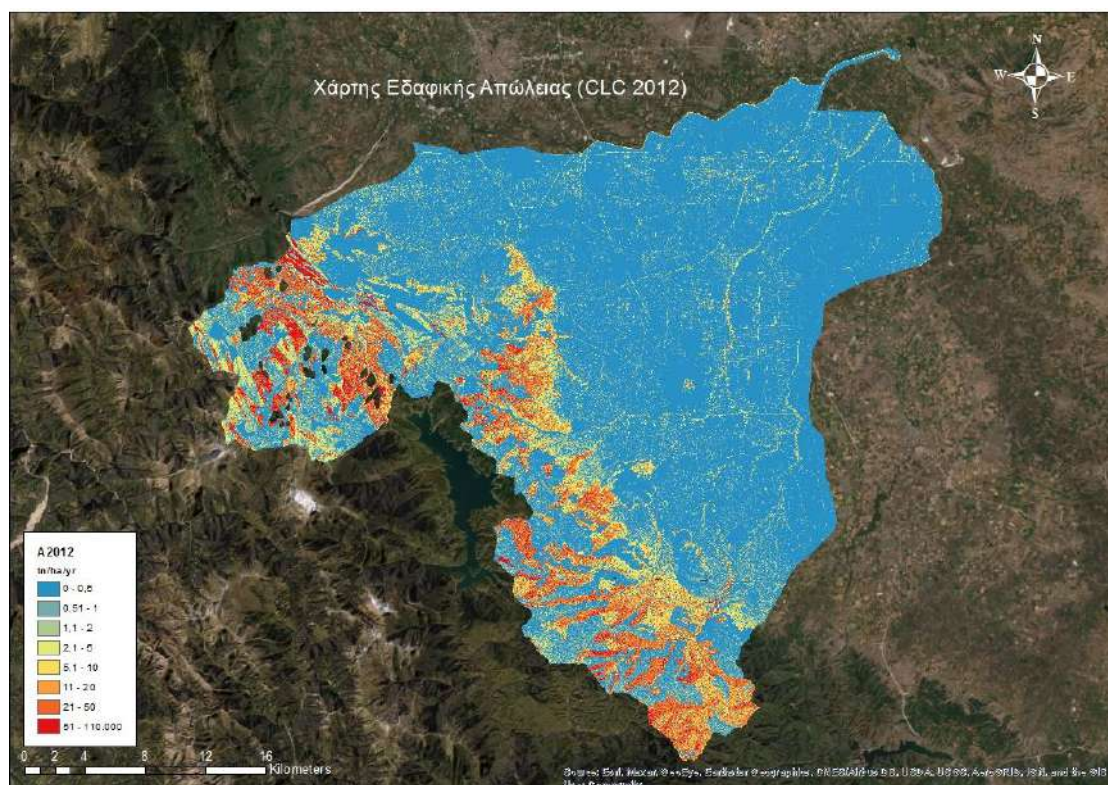
Πίνακας 54 Διαφοροποιήσεις των ποσοστών έκτασης των χρήσεων γης

Χρήσεις Γης	Διαφορά 2018/2000
Συνεχής αστικός ιστός	0,03%
Ασυνεχής αστικός ιστός	0,34%
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0,20%
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	0,02%
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	8,82%
Μόνιμα αρδευόμενη γη	34,30%
Αμπελώνες	-43,73%
Ελαιώνες	
Λιβάδια	-0,33%
Σύνθετες καλλιέργειες	0,02%
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής	-0,41%
Δάσος πλατύφυλλων	0,67%
Δάσος κωνοφόρων	0,18%
Μικτό δάσος	0,81%
Φυσικοί βοσκότοποι	0,13%
Θάμνοι και χερσότοποι	0,00%
Σκληροφυλλική βλάστηση	-0,43%
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	-0,37%
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	-0,06%
Απογυμνωμένοι βράχοι	0,00%
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0,05%
Βάλτοι στην ενδοχώρα	0,04%
Υδατορρέυματα	0,19%
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	-0,42%

Βάσει των παραπάνω τιμών που αντιστοιχούν στο συντελεστή C για CLC2000 και CLC2012, παραθέτουμε τους χάρτες της εδαφικής διάβρωσης ώστε να παρατηρήσουμε τις τυχόν αλλαγές που θα επιφέρουν.



Εικόνα 76 Χάρτης εδαφικής απώλειας για CLC 2000



Εικόνα 77 Χάρτης εδαφικής απώλειας CLC 2012

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η μέση εδαφική απώλεια για τρία διαφορετικά σενάρια, δηλαδή για το συντελεστή C να αντιστοιχεί σε χρήσεις γης των 2000, 2012 και 2018.

Πίνακας 55 Συγκεντρωτικές μέσες τιμές της εδαφικής απώλειας για διαφορετικά σενάρια του συντελεστή C

Έτος	Μέση Ετήσια Εδαφική Απώλεια (tn/ha/yr)
2000	6,158
2012	7,492
2018	7,493

8.3 Ο κώδικας ορθών γεωργικών πρακτικών

Το 2015 αναρτήθηκε κώδικας ορθών γεωργικών πρακτικών που προτείνεται να ακολουθείται από επαγγελματίες στους τομείς της κτηνοτροφίας και της γεωργίας. Σκοπός του κώδικα ήταν να περιοριστεί η ρύπανση των υδάτων που προκαλείται από τα νιτρικά που προέρχονται από γεωργική δραστηριότητα. Άρθρο του κώδικα αφορούσε και την προστασία εδαφών τα οποία είναι ευάλωτα σε διάβρωση και από αυτό θα αντλήσουμε προτάσεις, ώστε να συσχετίζονται άμεσα με το υλικό της παρούσας εργασίας. Στο άρθρο 9, μεταξύ άλλων προτείνεται:

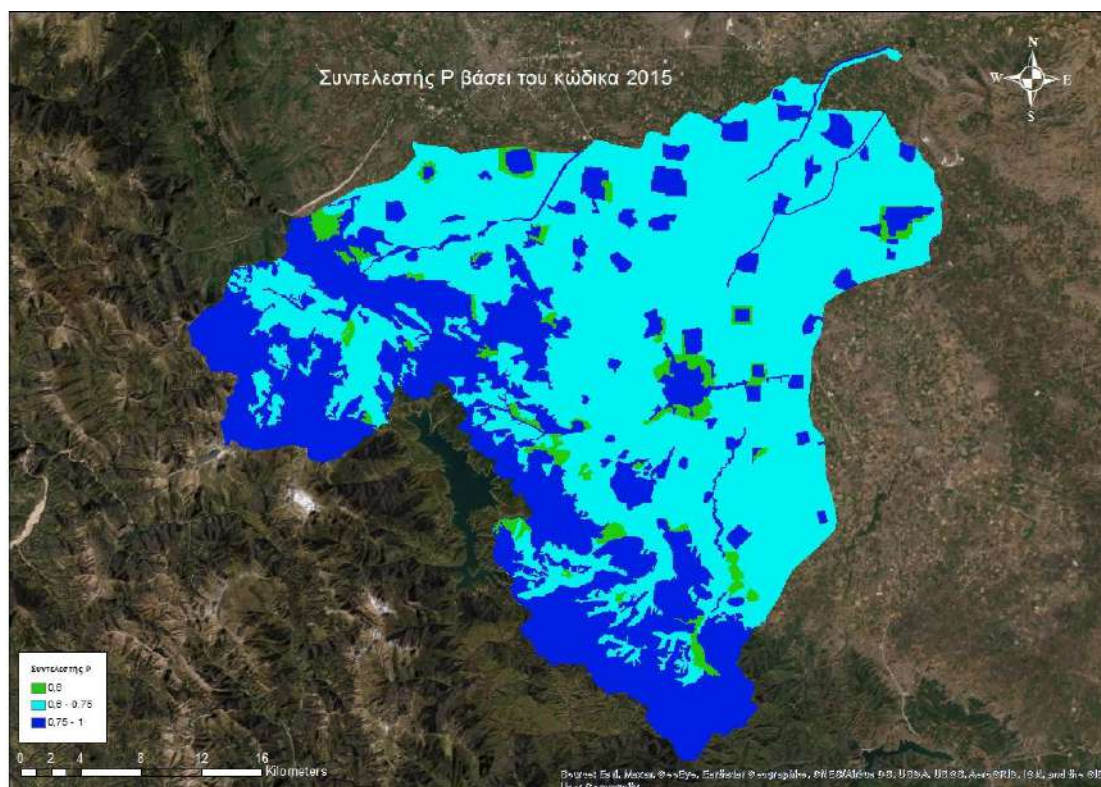
- Η δημιουργία ακαλλιέργητων λωρίδων που θα λειτουργούν ως ανασχετικές
- Η άροση του εδάφους να γίνεται κατά τις ισοϋψείς
- Το χωράφι να παραμένει κατά τη διάρκεια του χρόνου με φυτοκάλυψη ώστε να προστατεύεται από τη μεταφορά του αζώτου στους υπόγειους υδροφορείς
- Σταθεροποίηση ανώτερης στρώσης εδάφους με χρήση διαθέσιμου οργανικού υλικού

Οι παραπάνω γεωργικές πρακτικές, όταν εφαρμόζονται σωστά λειτουργούν ως μέτρα πρόληψης ως προς τη διάβρωση. Η επιρροή τους, στα μοντέλα που εφαρμόσαμε, εκφράζεται μέσω του συντελεστή P που εμφανίζεται στη RUSLE. Ο συντελεστής παίρνει τιμές από 0-1 και εξαρτάται από το είδος της γεωργικής πρακτικής που ασκείται και την αποτελεσματικότητα που αυτή έχει στην πρόληψη της διάβρωσης. Ο συντελεστής έχει μελετηθεί παραπάνω και οι τιμές έχουν αντιστοιχηθεί μόνο σε περιοχές που καλλιεργούνται, με την υπόθεση πως έστω και έμμεσα εφαρμόζονται κάποιες πρακτικές. Εν συνεχεία θα μελετηθεί το πώς η εφαρμογή αυτών των πρακτικών που προτείνονται από τον κώδικα καταφέρνουν να ελαττώσουν την εδαφική διάβρωση. Ιδιαίτερη βάση δίνεται στις εκτάσεις που θεωρούμε πως καλλιεργούνται και οργώνονται κατά τις ισοϋψείς αλλά και στις σύνθετες καλλιέργειες. Υποθέτουμε πως για όργωμα και φύτευση κατά τις ισοϋψείς ο συντελεστής λαμβάνει τη μέση τιμή 0,75, ενώ για τις σύνθετες καλλιέργειες λαμβάνει τη βέλτιστη τιμή 0,6. Ο πίνακας με τις νέες τιμές αλλά και ο τελικός χάρτης με τη διάβρωση στην περιοχή μελέτης φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 56 Δεδομένα του συντελεστή P (2018/2015)

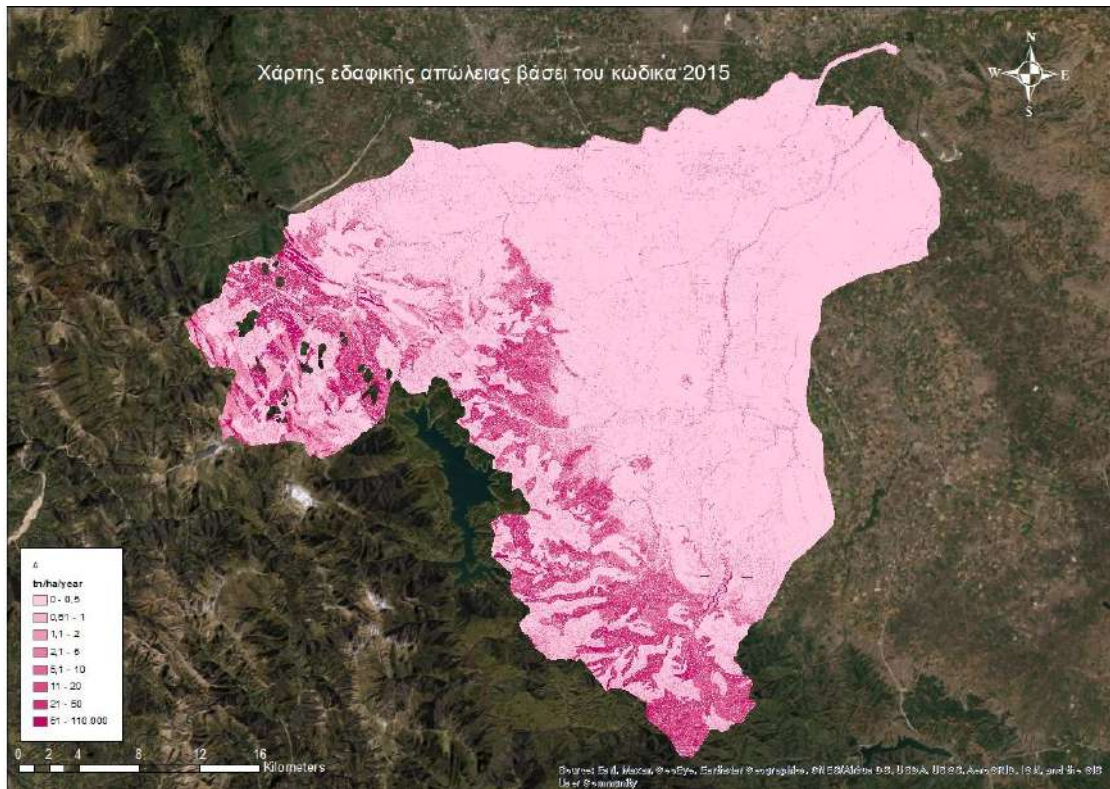
Χρήσεις Γης	Κωδικός Corine 2018	Ποσοστό κάλυψης(%)	Συντελεστής P 2018	Συντελεστής P (βάσει του κώδικα 2015)
Συνεχής αστικός ιστός	111	0,07%	1	1
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	3,68%	1	1
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,33%	1	1
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	131	0,05%	1	1
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	8,82%	0,8	0,75
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	43,94%	1	0,75
Αμπελώνες	221	0,57%	0,8	0,75
Ελαιώνες	223	0,05%	0,8	0,75
Λιβάδια	231	2,37%	0,8	1
Σύνθετες καλλιέργειες	242	3,42%	0,75	0,6
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	243	7,72%	0,9	0,75
Δάσος πλατύφυλλων	311	9,73%	1	1
Δάσος κωνοφόρων	312	2,39%	1	1
Μικτό δάσος	313	2,43%	1	1
Φυσικοί βοσκότοποι	321	2,41%	1	1
Θάμνοι και χερσότοποι	322	0,35%	1	1
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	4,76%	1	1
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	6,13%	1	1
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,08%	1	1
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,06%	1	1
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,20%	1	1
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,08%	1	1
Υδατορρέυματα	511	0,36%	1	1

Ο αντίστοιχος χάρτης του συντελεστή P βάσει του κώδικα 2015 που έχει παραχθεί για τις τρεις υδρολογικές λεκάνες σε περιβάλλον GIS είναι ο παρακάτω.



Εικόνα 78 Συντελεστής P βάσει του κώδικα 2015

Έχοντας εισάγει το νέο συντελεστή P στην εξίσωση της RUSLE, προκύπτει νέος χάρτης εδαφικής απώλειας.



Εικόνα 79 Χάρτης εδαφικής απώλειας βάσει του κώδικα 2015

Πίνακας 57 Μέση ετήσια εδαφική απώλεια 2018 βάσει του κώδικα 2015

Μέση Ετήσια Εδαφική Απώλεια (tn/ha/year)	A 7,048
---	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

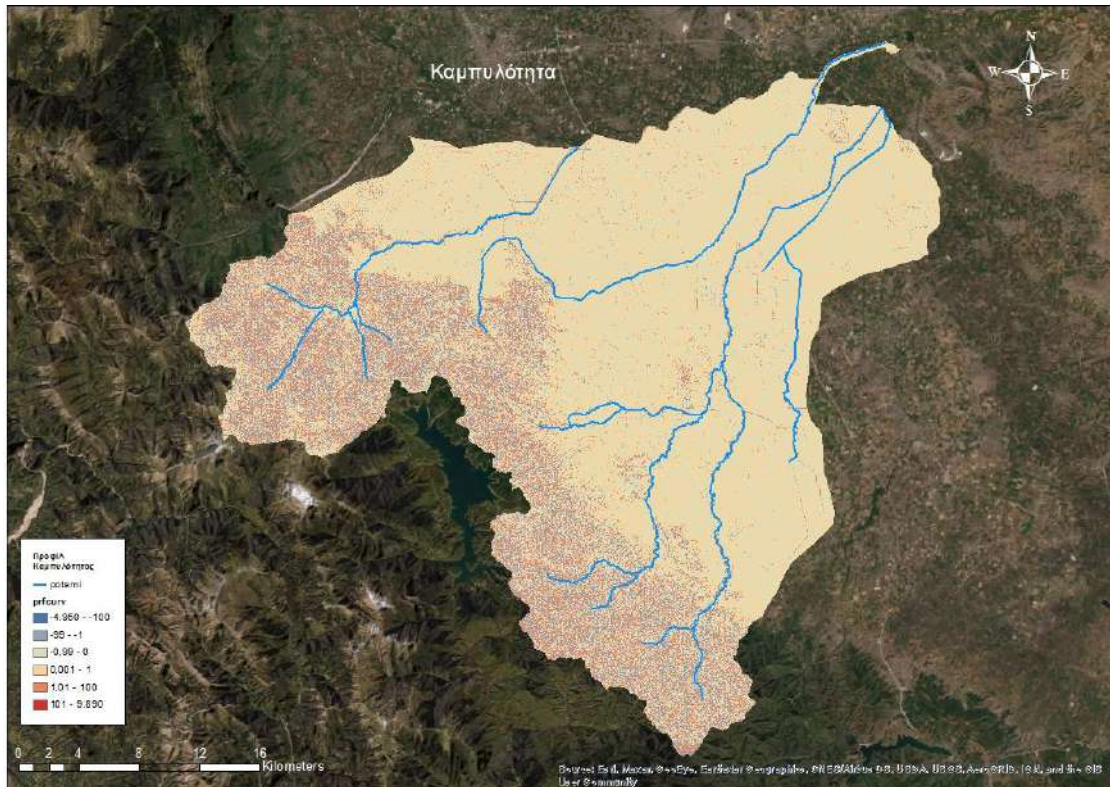
9.1 Ειδικά Συμπεράσματα

Έχοντας αναλύσει σε προηγούμενα κεφάλαια διεξοδικά τα δύο μοντέλα εδαφικής διάβρωσης για τις τρεις υδρολογικές λεκάνες, παραθέτουμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα με τις τιμές της μέσης εδαφικής διάβρωσης και της στερεοαπορροής για κάθε σενάριο που τελικώς λάβαμε υπόψη.

Πίνακας 58 Συγκεντρωτικών πίνακας τιμών για τα δυο μοντέλα

	Μέση Εδαφική Διάβρωση		Στερεοαπορροή	
	RUSLE (tn/ha/year)	GAVRILOVIC (m ³ /km ² /year)	RUSLE (tn/ha/year)	GAVRILOVIC (m ³ /km ² /year)
CLC2000	6,158	734,89	1,868	264,74
CLC2012	7,492	896,88	2,262	218,77
CLC2018	7,493	897,25	2,263	264,84
Κώδικας Ορθών Πρακτικών 2015	7,048		2,128	

Επιπροσθέτως, κάνοντας χρήση του εργαλείου Curvature στο περιβάλλον GIS, διακρίνουμε κάπως αυθαίρετα τους χώρους απόθεσης των φερτών υλών και τις περιοχές όπου η εδαφική διάβρωση είναι πιο πιθανό να συμβεί. Όπου οι τιμές είναι αρνητικές, η επιφάνεια είναι κυρτή προς τα πάνω. Οι θετικές τιμές είναι αυτές που δείχνουν ότι η επιφάνεια είναι κοίλη, οπότε και θα αποτελέσουν χώρους απόθεσης.



Εικόνα 81 Προφίλ Καμπυλότητας

9.2 Γενικά Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της παρούσας προπτυχιακής διατριβής αποτελούν έναν οδηγό για την λιγότερο σύνθετη εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε μικρές λεκάνες απορροής της Ελλάδας. Παρ' όλα αυτά δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πλέον αξιόπιστη καθώς η έλλειψη που υπάρχει σε μεγάλο αριθμό δεδομένων που είναι απαραίτητα για την εύρυθμη αν όχι σωστή εκτίμηση μπορεί να οδηγήσει σε επισφαλή αποτελέσματα. Ακόμη και τα προσδιοριστικά μοντέλα που θεωρούνται πιο ικανοποιητικά σε output από τα εμπειρικά καθώς ακολουθούν νόμους της φυσικής, σπάνια είναι ικανά να εκτιμήσουν με ακρίβεια τη διάβρωση που υφίστανται λεκάνες τέτοιας έκτασης.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που εξάγουν τα μοντέλα εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης, είναι η χωρική και χρονική κλίμακα η οποία καθορίζει και το σφάλμα που μπορεί να προκύψει.

Για τον περιορισμό του φαινομένου της διάβρωσης, όπως είναι φυσικό, τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν αφορούν τους συντελεστές των μοντέλων οι οποίοι εμφανίζουν ομοιότητες. Για παράδειγμα η χρήσεις γης που εμφανίζονται και στα δύο μοντέλα είναι σημαντικοί συντελεστές οι οποίοι κατά μία έννοια μπορούν να εκφράσουν και την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι καλλιεργητικές πρακτικές που χρησιμοποιούνται, η ορθή εκμετάλλευση δασικών εκτάσεων αλλά και η προστασία τους από ενέργειες όπως η αποψίλωση και ο εμπρησμός επιδρούν έντονα στην εξέλιξη του φαινομένου.

Στη δική μας εργασία εντοπίστηκαν πολύ μεγάλες τιμές διάβρωσης αρχικά σε περιοχές με έντονη κλίση και κατά δεύτερον σε περιοχές όπου καλλιεργούνται. Στις

περιοχές με έντονο ανάγλυφο είναι αρκετά δύσκολο να περιοριστεί το φαινόμενο αφού απαιτείται η μείωση του μήκους πρσανούς ώστε να μειωθούν οι απορροές. Αντίστοιχα σε περιοχές που καλλιεργούνται, εφαρμογές όπως η σωστή και μειωμένη άροση, η κατασκευή αναβαθμίδων και άλλα μέτρα τα οποία έχουν αναφερθεί και αναλυθεί παραπάνω είναι αρκετά επιβοηθητικά.

Επιπρόσθετα, στην υδρολογική λεκάνη Πάμισου παρατηρούνται υψηλές τιμές διάβρωσης. Τα αντιδιαβρωτικά έργα κρίνονται αναγκαία στην περιοχή εκείνη.

Όσον αφορά συμπεράσματα πάνω στα μοντέλα που εκτελέστηκαν για την διεξαγωγή της εργασίας μας, οφείλουμε να παρατηρήσουμε πως για αυτό της RUSLE τα μειονεκτήματα υπερτερούν. Όντας ένα μοντέλο που πολλαπλασιάζει ανόμοια μεγέθη για να υπολογίσει την εδαφική απώλεια, δεν μπορεί να προσεγγίσει το φαινόμενο της διάβρωσης με τόσο απλουστευμένο τρόπο (Kirkby, 1980). Στην περίπτωση μας όπου οι λεκάνες μας δεν παρουσιάζουν απόλυτη ομοιομορφία, κυρίως τοπογραφικά αλλά και δευτερευόντως υδρολογικά και εδαφολογικά, το μοντέλο της RUSLE αποδεικνύεται προβληματικό. Επίσης, δεν περιλαμβάνει καθόλου τον υπολογισμό της στερεοαπορροής ή της απόθεσης φερτών υλικών σε ποταμούς κλπ. Θετικό, παρ'όλα αυτά, κρίνεται το γεγονός πως λόγω του συντελεστή P, είναι κατάλληλο για μακροχρόνιο αντιδιαβρωτικό σχεδιασμό (καθοδήγηση της επιλογής της φυτοπροστασίας ή άλλων έργων αντιδιαβρωτικής προστασίας εδαφικών εκτάσεων, καθοδήγηση της επιλογής του είδους καλλιέργειας καλλιεργήσιμων εκτάσεων). Το ομοίωμα Gavrilovic υστερεί στο τελευταίο αυτό σημείο αλλά κρίνεται συνολικά πιο κατάλληλο.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βαχαβιώλος, Θ. (2014). Εκτίμηση Εδαφικής διάβρωσης, στερεοαπορροής και αποθέσεων ταμιευτήρα από εμπειρικές μεθόδους με έμφαση στην επίδραση της βροχόπτωσης. Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ.
- [2] Καραπάνος, Σ. (2007). Το χειμαρρικό περιβάλλον (δυναμικό) του χειμάρρου

Πάμισου Θεσσαλίας (Εστίες παραγωγής χειμαρρικών φαινομένων-αποτελεσματικότητα των εκτελεσθέντων έργων διευθέτησης). Μεταπτυχιακή Εργασία, ΑΠΘ.

- [3] Κουράκλη, Π. (2010). Εκτίμηση του κινδύνου πρόσχωσης των ταμιευτήρων νερού με τη χρήση των GIS και της τηλεπισκόπησης (Εφαρμογή: Τεχνητή Λίμνη Πολυφύτου Νομού Κοζάνης). Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ.
- [4] Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ. (1999). Τεχνική Υδρολογία. 3η έκδοση. ΕΜΠ, Αθήνα.
- [5] Κωτούλας Δ., 2001: Διευθετήσεις χειμαρρικών ρευμάτων. Μέρος Ι. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.
- [6] Μαργαρόπουλος Θ.Π. 1963. Η Υδατική Διάβρωση και το χειμαρρικών φαινόμενον. Αναλυτική έρευνα των μορφολογικών και ποσοτικών συστατικών του προβλήματος. Αθήνα
- [7] Ξανθάκης, Μ. (2011). Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. Διδακτορική Διατριβή, ΧΠΑ
- [8] M. Papapetrou, *Estimation of soil erosion and sediment discharge in Greece*, MSc thesis, 110 pages, February 2017.
- [9] Παπάζογλου, Π. (2009). Εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης στη λεκάνη του Ανθεμούντα. Δράση 3 του έργου LIFE07/ENV/GR/000278-Soil Sustainability
- [10] Στεφανίδης, Σ., Χατζηχριστάκη, Χ., Στεφανίδης, Π., (2016). Εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με τη συνδυασμένη χρήση του μοντέλου RUSLE και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ 25: 1-12
- [11] Ευθυμίου Ν. (2016). Ανάπτυξη στρατηγικών για την ποσοτική εκτίμηση της στερεοαπορροής από την υδατική διάβρωση με τη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες. Διδακτορική διατριβή, ΓΠΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Blanco-Canqui H, Lal R (2010) Cropping systems. In: Principles of soil conservation and management. Springer, Dordrecht, pp 165-192
- [2] Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. and

- Panagos, P. (2018) 'A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes', *Environmental Research*, Vol. 161, pp.291-8 [online] <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.009>.
- [3] Croke J.C., Hairsine P.B. 2006. Sediment delivery in managed forests: a review. *Environmental Reviews* 14: 59-87. DOI 10.1139/a05-016.
- [4] D' Asaro F., Santoro M., 1983: Aggresivity of rain in the study of Water erosion of Sicily. CNR, Targeted project: Soin Conservation, Subproject: Morrow of the slopes, Publication 130
- [5] D. K. McCool, L. C. Brown, G. R. Foster, C. K. Mutchler, L. D. Meyer Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation *Transactions of the ASAE*. 30 (5): 1387-1396. (doi: 10.13031/2013.30576) 1987
- [6] De Vente, J. and Poesen, J. (2005). Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issue and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews*, 71, 95.125. doi:10.1016/j.earscirev.2005.02.002
- [7] Foster, G.R., 1996. Process-based modelling of soil erosion by water on agricultural land. In: J. Boardman, I.D.L. Foster and H.D. Dearing (Editors), *Soil Erosion on Agricultural Land*. Wiley, Chichester, pp. 429-445.
- [8] Gavrilovic, S. (1972). *Engineering of Torrents and Erosion*. Journal of Construction (Special Issue). Belgrade: Izgradnja. (In Serbian).
- [9] Globevnik, L., Holjevic, D., Petkovsek, G. and Rubinic, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic Method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. In: D.H. De Boer, ed. *Erosion prediction in ungauged basins: integrating methods and techniques*. Wallingford, England: IAHS publication No. 279, 224-233.
- [10] Hajigholizadeh, Mohammad; Melesse, Assefa M.; Fuentes, Hector R. 2018. "Erosion and Sediment Transport Modelling in Shallow Waters: A Review on Approaches, Models and Applications" *Int. J. Environ. Res. Public Health* 15, no. 3: 518.
- [11] J. Pelton, E. Frazier, E. Pickilingis Calculating Slope Length Factor (LS) in the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)
- [12] Kalinderis, I., Sapountzis, M., Stathis, D., Tziaftani, F., Kourakli, P. and Stefanidis, P. (2009). The risk of sedimentation of artificial lakes, following the soil loss and degradation process in the wider drainage basin. Artificial lake of Smokovo case study (Central Greece). In: International Conference LANDCON 0905 "Global Change-Challenges for soil management from degradation through soil and water conservation to sustainable soil management", 26.30 May 2009, Tara Mountain, Serbia.
- [13] Kotoulas, D. 1984. Denudation and sedimentation in Greece as an example from the mountains and the plain of Salonica. *Proceedings of the International Symposium of INTERPRAEVENT*, Villach, 343-353.
- [14] Li, Z., O'Neill, A.L. and Lacey, S., 1996. Modelling approaches to the prediction of soil erosion in catchments. *Environmental Software*, 11(1-3): 123-

- [15] Lopez-Vicente, M., Poesen, J., Navas, A. and Gaspar, L. (2011). Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees. *Catena*, 102, 62-73.
- [16] Lu, X. and Higgitt, D.L., 2001. Sediment delivery to the Three Gorges. 2: local response. *Geomorphology*, 41: 157-169.
- [17] Merritt, W.S., R.A. Letcher and A.J. Jakeman, 2003, A review of erosion and sediment transport models, Elsevier, University of British Columbia, Australia
- [18] Mitasova, H., Ullah, I., Barton, C.M., Hofierka, J. (2013). GIS-based soil erosion modeling. in John F. Shroder (Editor-in-chief), Bishop, M.P. (Volume editor), *Treatise on Geomorphology, Vol 3, Remote Sensing and GIScience in Geomorphology*, San Diego: Academic Press, pp. 228-258
- [19] Nearing, M.A., Lane, L.J. and Lopez, J.L., 1994. Modelling soil erosion. In: R. Lad (Editor), *Soil Erosion: Research Methods*. CRC Press, New York, USA, pp. 127-156.
- [20] P. Panagos, C. Ballabio, P. Borrelli, K. Meusburger, Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece, *CATENA*, Volume 137, 2016, Pages 161-172, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.09.015>.
- [21] Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabal?kov?, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Begueria, S., Alewell, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ*. 511: 801-814. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.008 .
- [22] Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L., 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use policy journal*. 48C, 38-50. doi:10.1016/j.landusepol.2015.05.021
- [23] Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C. 2015. Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale.. *Environmental Science & Policy*, 51: 23-34.
- [24] Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, *Science of Total Environment*, 479-480 (2014) pp. 189-200
- [25] Renard, K.G. and Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
- [26] Renard, K.G., A., F.G., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., 1997. Prediction of soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agric. Handbook 703*. USDA, Washington D.C.

- [27] Renard, K.G., A., F.G., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., 1997. Prediction of soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Agric. Handbook 703. USDA, Washington D.C.
- [28] Sivapalan, M., Jothityangkoon, C. and Menabde, M., 2002. Linearity and non linearity of basin response as a function of scale: discussion of alternative definitions. *Water Resources Research*, 38(2).
- [29] Toth, G., Jones, A., Montanarella, L. (eds.) 2013. LUCAS Topsoil Survey. Methodology, data and results. JRC Technical Reports. Luxembourg. Publications Office of the European Union, EUR26102 - Scientific and Technical Research series - ISSN 1831-9424 (online); ISBN 978-92-79-32542-7; doi: 10.2788/97922.
- [30] Wheater, H. S., Jakeman, A. J., Beven, K. J., 1993. Progress and directions in rainfall-runoff modelling. In: Jakeman, A. J., Beck, M. B., McAleer, M. J. (Eds.), *Modelling Change in Environmental Systems*. John Wiley and Sons, Chichester, 101-132.
- [31] Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook 537*. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, USA.