



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ – ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΗΝ**  
**ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΕΥΒΟΙΑΣ**

**ΙΜΠΑΜΠΙ ΜΟΧΑΜΕΤ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΠΑΛΤΑΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.**

**ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022**



## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ένας μεγάλος κύκλος φτάνει στο τέλος του. Ένας πολύ όμορφος κύκλος, με σκαμπανεβάσματα, πολλές όμορφες και πολλές δύσκολες στιγμές, οι οποίες με βοήθησαν να εξελιχθώ τόσο ως μηχανικός όσο και ως άνθρωπος.

Θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή κ. Ευάγγελο Μπαλτά, του τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση του θέματος καθώς και τις χρήσιμες συμβουλές του καθ' όλη την εκπόνηση της προσπάθειας αυτής.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Δημήτριο Δερματά και τον επίκουρο καθηγητή κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη, του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ακόμη, ευχαριστώ την κ. Αιμιλία – Παναγιώτα Θεοχάρη, υποψήφια Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τη βοήθεια, τη καθοδήγηση και το χρόνο που διέθεσε από την πρώτη στιγμή έως και τις μέρες της παρουσίασης.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την υποστήριξη που μου έχουν δώσει όλα αυτά τα χρόνια.

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	iv
Ευρετήριο Σχημάτων .....	vi
Ευρετήριο Πινάκων .....	ix
List of Figures .....	x
List of Tables .....	x
Ελληνικά Ακρωνύμια .....	xi
Μη ελληνικά ακρωνύμια .....	xi
Abstract.....	xii
Extended Summary.....	xiii
Introduction .....	xiii
Materials and Methods .....	xiii
Study Area.....	xix
Results .....	xxiii
Conclusions .....	xxx
Περίληψη .....	1
1. Εισαγωγή .....	2
2. Βιβλιογραφική επισκόπηση.....	3
2.1 Όμβριες Καμπύλες .....	3
2.2 Επιφανειακή ολοκλήρωση .....	4
2.2.1 Μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης.....	4
2.2.2 Μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας.....	5
2.3 Υετογράφημα σχεδιασμού .....	5
2.4 Ενεργή βροχόπτωση.....	6
2.5 Εδαφική Διάβρωση .....	11
2.5.1 Βασικές έννοιες και ορολογία .....	11
2.5.2 Υδατική διάβρωση.....	11
2.5.3 Γενεσιουργοί παράγοντες διάβρωσης .....	12
2.5.3 Ρυθμιστικοί παράγοντες διάβρωσης.....	13
2.5.4 Μορφές στερεομεταφοράς .....	14
2.5.5 Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής .....	15
3. Επιλογή Μεθόδων και Εργαλείων.....	18
3.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών – Λογισμικό ArcGIS.....	18
3.2 Υδρολογική προσομοίωση – Λογισμικό HEC-HMS.....	19
3.3 Υδραυλική προσομοίωση – Λογισμικό HEC-RAS .....	20
3.4 Μέθοδος Gavrilovic .....	21

3.4.1 Συντελεστής κατακράτησης R.....	23
3.5 RUSLE .....	25
3.5.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, R .....	25
3.5.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K .....	29
3.5.3 Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS .....	33
3.5.4 Συντελεστής διαχείρισης της κάλυψης γης C.....	37
3.5.5 Συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών έναντι της διάβρωσης P .....	38
3.5.6 Συντελεστής Στερεοαπορροής.....	39
4. Περιγραφή εξεταζόμενων λεκανών απορροής .....	41
4.1 Γενικά.....	41
4.1.1 Υδρολογική λεκάνη ποταμών Κηρέα – Νηλέα .....	42
4.1.2 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Μεσσαπίου .....	42
4.1.3 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Λήλα .....	42
4.1.4 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Κανάλη .....	43
4.1.5 Υδρολογική λεκάνη ρέματος Μανικιάτη .....	43
4.2 Γεωτεκτονικό καθεστώς.....	44
4.3 Υδρογεωλιθικές Καθεστώς .....	49
4.4 Χρήσεις Γης .....	51
4.5 Υδρολογικά δεδομένα .....	54
4.6 Μετεωρολογικά δεδομένα.....	57
5. Αποτελέσματα Ανάλυσης.....	58
5.1 Στερεομεταφορά.....	58
5.1.1 Gavrilovic .....	58
5.1.2 RUSLE.....	67
5.1.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων – εκτίμηση στερεοαπορροής .....	78
5.2 Υδρολογική Ανάλυση .....	80
5.2.1 Υδρολογική ανάλυση υπολεκάνης ποταμού Λήλα .....	82
5.2.2 Υδρολογική ανάλυση υπολεκάνης ποταμού Μανικιάτη.....	86
5.3 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής.....	90
5.3.1 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα .....	90
5.3.2 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη.....	91
5.4 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής.....	92
5.4.1 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα .....	93

5.4.2 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη.....	96
6. Συζήτηση .....	99
6.1 Γενικά Συμπεράσματα.....	99
6.2 Ειδικά Συμπεράσματα.....	99
6.2 Μελλοντική έρευνα.....	101
Διεθνής βιβλιογραφία .....	101
Ελληνική βιβλιογραφία.....	107
Διαδικτυακοί Ιστότοποι .....	109
Παράρτημα Α: Χρήσεις γης.....	110
Παράρτημα Β: Γεωλογικοί Σχηματισμοί.....	111

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Επιφανειακή διάβρωση (πηγή: <a href="http://www.geo.fu-berlin.de">www.geo.fu-berlin.de</a> ) .....	12
Σχήμα 2.2 : Αυλακωτή διάβρωση: Οι αυλακωτές πλαγιές της Κρήτης (πηγή <a href="http://www.voltarakia.gr">www.voltarakia.gr</a> ).....	12
Σχήμα 2.3 : Φαραγγωτή διάβρωση στην Εύβοια: το Φαράγγι της Αγάλης (πηγή: <a href="http://www.naturagraeca.com">www.naturagraeca.com</a> ).....	13
Σχήμα 2.4 : Μορφές στερεομεταφοράς (πηγή Ζαρρής κ.α. (2001)).....	15
Σχήμα 3.1 : Διαφορετικά στρώματα πληροφορίας GIS και ο συνδυασμός τους (πηγή: <a href="https://www.ncei.noaa.gov/">https://www.ncei.noaa.gov/</a> ).....	18
Σχήμα 3.2 : Βαθμονόμηση ρεμάτων κατά Strahler και Shreve (Πηγή <a href="http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/printBooks_topics.cfm?pid=6050">http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/printBooks_topics.cfm?pid=6050</a> ) .....	24
Σχήμα 3.3 : Συντελεστής αναλογίας α (πηγή: Φλαμπούρης, 2008) .....	28
Σχήμα 3.4 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	29
Σχήμα 3.5 : Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K (πηγή: Wischmeier και Smith (1978)).....	30
Σχήμα 3.6 : Θέσεις αντιπροσωπευτικών τιμών παραμέτρων περιεκτικότητας (πηγή: Van der Kniijff et al. 2000) .....	32
Σχήμα 3.7 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	32
Σχήμα 3.8 : Ποσοστό μείωσης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K, λόγω της επιρροής των βραχώδων περιοχών (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ).....	33
Σχήμα 3.9 : Οριζόντιο μήκος κλίσης λ (πηγή: Renard et al, 1996).....	34
Σχήμα 3.10 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	36
Σχήμα 3.11 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	38
Σχήμα 3.12 : Συντελεστής ελέγχου έναντι της διάβρωσης P για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	39
Σχήμα 4.1 : Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας .....	41
Σχήμα 4.2 : Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (αρχική πηγή: Μουντράκης, 1985).....	44

Σχήμα 4.3 : Λιθοστρωματογραφική στήλη της Υποπελαγονικής Ζώνης (πηγή: Paranikolaou et al, 1988).....	45
Σχήμα 4.4 : Γεωλογικός χάρτης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής .....	46
Σχήμα 4.5 : Ομαδοποιημένοι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	49
Σχήμα 4.6 : Χρήσεις γης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας (Κωδικοί Κάλυψης Corine).....	51
Σχήμα 4.7 : Επιλεγμένοι βροχομετρικοί σταθμοί με κατάλληλα ορισμένες όμβριες καμπύλες .....	56
Σχήμα 4.8 : Επιλεγμένοι βροχομετρικοί σταθμοί για την διερεύνηση της βροχόπτωσης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής.....	56
Σχήμα 4.9 : Επιλεγμένοι μετεωρολογικοί σταθμοί των εξεταζόμενων λεκανών απορροής ...	57
Σχήμα 5.1 : Συσχέτιση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο του εδάφους .....	59
Σχήμα 5.2 : Μέση ετήσια βροχόπτωση P (σε mm) των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	60
Σχήμα 5.3 : Συσχέτιση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με το υψόμετρο του εδάφους.....	61
Σχήμα 5.4 : Μέση ετήσια θερμοκρασία των εξεταζόμενων λεκανών απορροής .....	61
Σχήμα 5.5 : Συντελεστής θερμοκρασίας T των εξεταζόμενων λεκανών απορροής.....	62
Σχήμα 5.6 : Συντελεστής φυτοκάλυψης X των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας .....	64
Σχήμα 5.7 : Συντελεστής Διαβρωσιμότητας εδάφους X των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	64
Σχήμα 5.8 : Συντελεστής υφιστάμενης διάβρωσης φ των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας .....	65
Σχήμα 5.9: Ποσοστιαία μέση κλίση εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	65
Σχήμα 5.10 : Συντελεστής διάβρωσης εδάφους Z των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	66
Σχήμα 5.11 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο Gavrilovic.....	67
Σχήμα 5.12 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R, όπως προέκυψε από τη σχέση $R=0,7P$ ( $M \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ) .....	68
Σχήμα 5.13 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R, από την ESDAC ( $M \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ) (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	68
Σχήμα 5.14 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ) .....	69
Σχήμα 5.15 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K από την ESDAC ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ) (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	70
Σχήμα 5.16 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS με την μέθοδο που προτάθηκε από τους Wischmeier και Smith (1978) .....	71
Σχήμα 5.17 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS με την μέθοδο που προτάθηκε από τους Moore και Burch (1986).....	71
Σχήμα 5.18 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS, από την ESDAC (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	72
Σχήμα 5.19 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C .....	73
Σχήμα 5.20 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C, από την ESDAC (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ) .....	73
Σχήμα 5.21 : Συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών έναντι της διάβρωσης P, από την ESDAC (πηγή: <a href="http://esdac.jrc.ec.europa.eu">esdac.jrc.ec.europa.eu</a> ).....	74
Σχήμα 5.22 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE (συντελεστής LS κατά Wischmeier και Smith (1978) ) .....	75

Σχήμα 5.23 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE (συντελεστής LS κατά Moore και Burch (1986) ).....	76
Σχήμα 5.24 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE από την ESDAC (συντελεστής LS κατά Desmet και Govers, 1996).....	76
Σχήμα 5.25 : Ευρύτερη κατάντη περιοχή της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (πηγή: Google Earth).....	80
Σχήμα 5.26 : Ευρύτερη κατάντη περιοχή της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (Πηγή: Google Earth).....	81
Σχήμα 5.27 : Πολύγωνα Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα .....	82
Σχήμα 5.28 : Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Κάτω Στενή.....	84
Σχήμα 5.29 : Τμηματικό υετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (T=100 χρόνια).....	84
Σχήμα 5.30 : Αθροιστικό υετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (T=100 χρόνια).....	85
Σχήμα 5.31 : Αριθμός καμπύλης απορροής CN της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για μέσες συνθήκες εδάφους .....	85
Σχήμα 5.32 : Πολύγωνα Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη.....	87
Σχήμα 5.33 : Τμηματικό υετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (T=100 χρόνια).....	88
Σχήμα 5.34 : Αθροιστικό υετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (T=100 χρόνια).....	88
Σχήμα 5.35 : Αριθμός καμπύλης απορροής CN της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για μέσες συνθήκες εδάφους.....	89
Σχήμα 5.36 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για ξηρές συνθήκες εδάφους .....	90
Σχήμα 5.37 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για μέσες συνθήκες εδάφους .....	90
Σχήμα 5.38 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για υγρές συνθήκες εδάφους .....	91
Σχήμα 5.39 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για ξηρές συνθήκες εδάφους .....	91
Σχήμα 5.40 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για μέσες συνθήκες εδάφους .....	92
Σχήμα 5.41 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για υγρές συνθήκες εδάφους .....	92
Σχήμα 5.42 : Περιοχή προσομοίωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα, στο παράθυρο γεωμετρίας του προγράμματος HEC-RAS.....	93
Σχήμα 5.43 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό ξηρές συνθήκες εδάφους .....	94
Σχήμα 5.44 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό μέσες συνθήκες εδάφους .....	95
Σχήμα 5.45 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό υγρές συνθήκες εδάφους .....	95
Σχήμα 5.46 : Περιοχή προσομοίωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη, στο παράθυρο γεωμετρίας του προγράμματος HEC-RAS.....	96
Σχήμα 5.47 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό ξηρές συνθήκες εδάφους .....	97
Σχήμα 5.48 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό κανονικές συνθήκες εδάφους .....	97
Σχήμα 5.49 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο (T = 100 y) υπό υγρές συνθήκες εδάφους .....	98



## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Κατάταξη εδαφικών τύπων με βάση τη διηθητικότητα τους (πηγή: <a href="http://floods.ypeka.gr">floods.ypeka.gr</a> ).....	7
Πίνακας 2.2 : Επικρατούντες υδρολογικοί εδαφικοί τύποι των κυριότερων πετρωμάτων του Ελλαδικού χώρου (πηγή: <a href="http://floods.ypeka.gr">floods.ypeka.gr</a> ).....	8
Πίνακας 2.3 : Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN, ανάλογα με την ομάδα διηθητικότητας του εδάφους και την φυτοκάλυψη που υπάρχει (πηγή: <a href="http://floods.ypeka.gr">floods.ypeka.gr</a> ).....	9
Πίνακας 2.4 : Περιγραφή της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης του εδάφους από την SCS.....	10
Πίνακας 2.5 : Τιμές συντελεστών διαβρωσιμότητας K της σχέσης Κουτσογιάννη - Ταρλά..	16
Πίνακας 3.1 : Συντελεστής X μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κωτούλας, 2001).....	22
Πίνακας 3.2 : Συντελεστής Y μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κωτούλας, 2001).....	22
Πίνακας 3.3 : Συντελεστής φ μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κωτούλας, 2001) .....	23
Πίνακας 3.4 : Ταξινομημένος συντελεστής Z του μοντέλου Gavrilovic, με βάση το επίπεδο διάβρωσης (πηγή: Gavrilovic Z. et al., 2004).....	23
Πίνακας 3.5 : Συντελεστής α για μετεωρολογικούς σταθμούς του Ελλαδικού χώρου (Πηγή: Φλαμπούρης, 2008).....	27
Πίνακας 3.6 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K,A με βάση τον εδαφικό τύπο και την περιεκτικότητά του (πηγή: Van der Knijff et al, 2000).....	31
Πίνακας 4.1 : Χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας .....	42
Πίνακας 4.2 : Γεωλογικοί σχηματισμοί των λεκανών απορροής Κηρέα και Μεσσαπίου .....	47
Πίνακας 4.3 : Γεωλογικοί σχηματισμοί των λεκανών απορροής Λήλα, Κανάλη και Μανικιάτη .....	48
Πίνακας 4.4 : Χρήσεις γης των λεκανών απορροής Κηρέα και Μεσσαπίου αντίστοιχα .....	52
Πίνακας 4.5 : Χρήσεις γης των λεκανών απορροής Λήλα, Κανάλη και Μανικιάτη αντίστοιχα .....	53
Πίνακας 4.6 : Σημειακές όμβριες των σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης .....	54
Πίνακας 4.7 : Πληροφορίες επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας .....	55
Πίνακας 4.8 : Πληροφορίες επιλεγμένων μετεωρολογικών σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας.....	57
Πίνακας 5.1 : Μέση ετήσια βροχόπτωση των επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας.....	59
Πίνακας 5.2 : Μέση ετήσια θερμοκρασία των επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας.....	60
Πίνακας 5.3 : Ποσοστιαίες μέσες κλίσεις εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας.....	63
Πίνακας 5.4 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του μοντέλου Gavrilovic.....	66
Πίνακας 5.5 : Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση των λεκανών απορροής που εξετάστηκαν, με το μοντέλο RUSLE.....	77
Πίνακας 5.6 : Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση των λεκανών απορροής που εξετάστηκαν και σύγκριση με τα αποτελέσματα της ESDAC .....	78
Πίνακας 5.7 : Συντελεστές στερεοαπορροής – κατακράτησης και τελική στερεοαπορροή στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας με χρήση του μοντέλου Gavrilovic .....	78
Πίνακας 5.8 : Συντελεστής στερεοαπορροής και τελική στερεοαπορροή στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής με χρήση του μοντέλου RUSLE .....	79
Πίνακας 5.9 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μοντέλων εκτίμησης στερεοαπορροής Gavrilovic και RUSLE .....	79
Πίνακας 5.10 : Κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα.....	82

Πίνακας 5.11 : Εκτάσεις Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα.....	83
Πίνακας 5.12 : Σημειακή βροχόπτωση ( $d=5$ h, $T=100$ y) στους βροχομετρικούς σταθμούς με επιρροή στην υπολεκάνη του ποταμού Λήλα.....	83
Πίνακας 5.13 : Επιφανειακά ολοκληρωμένη βροχόπτωση ( $T=100$ y) για την υπολεκάνη του ποταμού Λήλα.....	83
Πίνακας 5.14 : Κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη .....	86
Πίνακας 5.15 : Εκτάσεις Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη .....	86
Πίνακας 5.16 : Επιφανειακά ολοκληρωμένη βροχόπτωση ( $T=100$ y) για την υπολεκάνη του ποταμού Μανικιάτη.....	87
Πίνακας 5.17 : Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστου βάθους πλημμύρας στη γέφυρα Βασιλικού.....	94
Πίνακας 5.18 : Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστου βάθους πλημμύρας στη γέφυρα Μονοδρύου.....	96

## List of Figures

Figure 1 : The three actions of soil erosion (source: <a href="https://graniteseed.com/">https://graniteseed.com/</a> ).....	xiii
Figure 2 : The nine-step workflow of HEC-GeoHMS extension, that was used in the purpose of this paper.....	xiv
Figure 3 : Digital Elevation Model of the study areas.....	xix
Figure 4 : Geologic map of the study areas.....	xx
Figure 5 : Hydrolithologic groups of the study areas.....	xxi
Figure 6 : Land Use map of the study areas.....	xxi
Figure 7 : Soil Erosion of the study areas estimated by the Gavrilovic model .....	xxiii
Figure 8 : Soil erosion estimated of the study areas estimated by RUSLE model ( $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ).....	xxiv
Figure 9 : Soil erosion of the study areas estimated by RUSLE model through the given maps from ESDAC.....	xxiv
Figure 10 : Hyetograph for rainfall with a return period of 100 years for Lilas subbasin.....	xxvi
Figure 11 : Cumulative hyetograph for rainfall with a return period of 100 years for Lilal subbasin.....	xxvii
Figure 12 : Flow hydrograph at the outlet of Lilas subbasin for wet conditions.....	xxvii
Figure 13 : Flow hydrograph at the outlet of Manikiatis' subbasin for wet conditions .....	xxviii
Figure 14 : Simulation of a flood event under wet soil conditions with the water depth at Vasilika bridge highlighted.....	xxix
Figure 15 : Simulation of a flood event under wet soil conditions with the water depth at Monodryo bridge highlighted.....	xxix

## List of Tables

Table 1 : Main characteristics of the basins of the study areas .....	xix
Table 2 : Precipitation Stations used for the study areas.....	xxii
Table 3 : Meteorological stations used for the study areas.....	xxii
Table 4 : Sediment discharge according to Gavrilovic model in the study areas.....	xxiii
Table 5 : Sediment diascharge according to RUSLE model in the study areas.....	xxv
Table 6 : Hydrological characteristics for the hydraulic analysis of Lilas's and Manikiatis' subbasins .....	xxv
Table 7 : Thiessen areas of the Lilas' and Manikiatis' subbasins respectively .....	xxvi

Table 8 : Spatial distributed rainfall from IDF curves (T=100y) for Lilas' and Manikiatis' subbasin respectively..... xxvi  
 Table 9 : Curve numbers ..... xxvii  
 Table 10 : Time of the peak water depth at Vasiliko and Monodryo bridge respectively... xxviii

## Ελληνικά Ακρωνύμια

EAA:	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
ΔΕΗ:	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΙΓΜΕ:	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
ΜΕΚΔΕ:	Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας
ΣΓΠ:	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών
ΣΔΚΠ:	Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας
ΥΠΕΚΑ:	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
ΥΠΕΝ:	Υπουργείο Ενέργειας
ΥΠΑΝ:	Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων
ΨΜΕ:	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

## Μη ελληνικά ακρωνύμια

CN:	Curve Number
DEM:	Digital Elevation Model
EPM:	Erosion Potential Method
ESDAC:	European Soil Data Centre
GIS:	Geographic Information System
HEC:	Hydraulic Engineering Center
ICONA:	Instituto para la Conservación de la Naturaleza
LUCAS:	Land Use/Cover Area Survey
MEE:	Ministry of Environment and Energy
RUSLE:	Revised Universal Soil Loss Equation
SCS:	Soil Conservation Service
SDR:	Sediment Delivery Ratio
SI:	Systeme International
USBR:	United States Bureau of Reclamation
USDA:	United States Department of Agriculture

## Abstract

This paper studies the sediment transport by water, in the region of Euboea island located in Greece. The study area includes the five largest basins of Euboea. The mean annual soil loss is estimated by using the Gavrilovic method and the Revised Universal Soil Loss Equation. Then the cause of erosion is to be examined by studying the effects of a flood with a return period of 100 years, in two of these five basins. The two basins are selected based on the mean annual soil erosion. The point IDF curves are used, which are then spatially distributed in order to specify the hyetograph based on the alternating block method. The hyetograph is afterwards converted into the flood hydrograph by using the HEC-HMS software, which is finally used in the HEC-RAS software in order to simulate the areal expansion of the flood.

## Extended Summary

### Introduction

The purpose of this paper is the integrated approach of soil erosion estimation. The sediment yield is calculated using two different methods. Also, hydrologic and hydraulic analysis are executed. Therefore, the steps of methodology are followed:

- Definition of the basins using the HEC-GeoHMS extension of the ArcMap software.
- Estimation of soil loss and sediment yield using the ArcMap software via the implementation of Gavrilovic and RUSLE models.
- Hydrologic analysis in selected basins of the study area via HEC-HMS software, with the usage of the calculated hyetographs and the curve numbers, in order to produce the flow hydrographs.
- Hydraulic analysis in the above basins, via HEC-RAS software, using the Elevation models of the basins and the flow hydrographs produced above.

### Materials and Methods

- Soil Erosion

Soil erosion is a natural process that occurs in three distinct actions, soil detachment sediment transport and sediment deposition, as described in Figure 1.

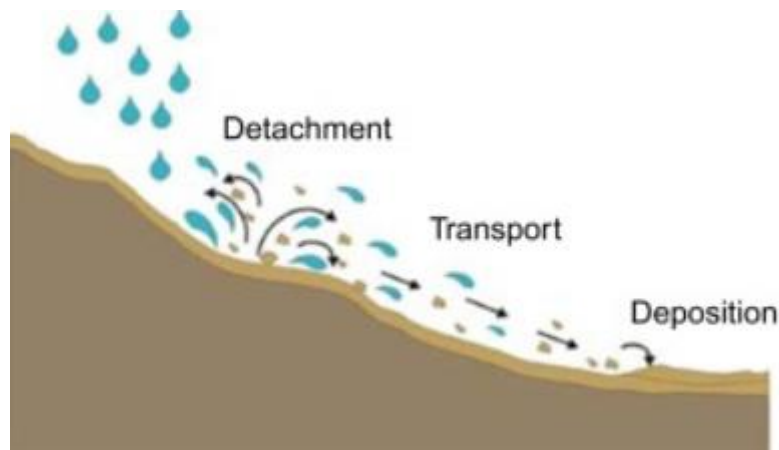


Figure 1 : The three actions of soil erosion (source: <https://graniteseed.com/>)

The most important terms for the subject of soil erosion, according to Zarris (2001) are described below:

- **Net Erosion:** the percentage of the mass of sediment that detach from the soil and not deposit in the same area unit.
- **Gross erosion:** the total mass of sediment effectively blown away from a surface
- **Sediment yield,  $S_y$ :** the amount of sediment reaching or passing a point of interest in a given period time

- **Sediment discharge,  $Q_s$** ,: the amount of sediment moved by a stream in a given time
- **Sediment Delivery Ratio, SDR**, is defined as “the sediment yield from an area divided by the gross erosion of the same area. Represents the efficiency of the watershed in moving soil particles from areas of erosion to the point where sediment yield is measured” (USDA, 1998)

- HEC-GeoHMS tool

The HEC-GeoHMS extension of the ArcMap is used in order to define the basins and the stream network. For the purpose of this paper, by inserting as input the DEM of the study areas, these nine steps were followed:

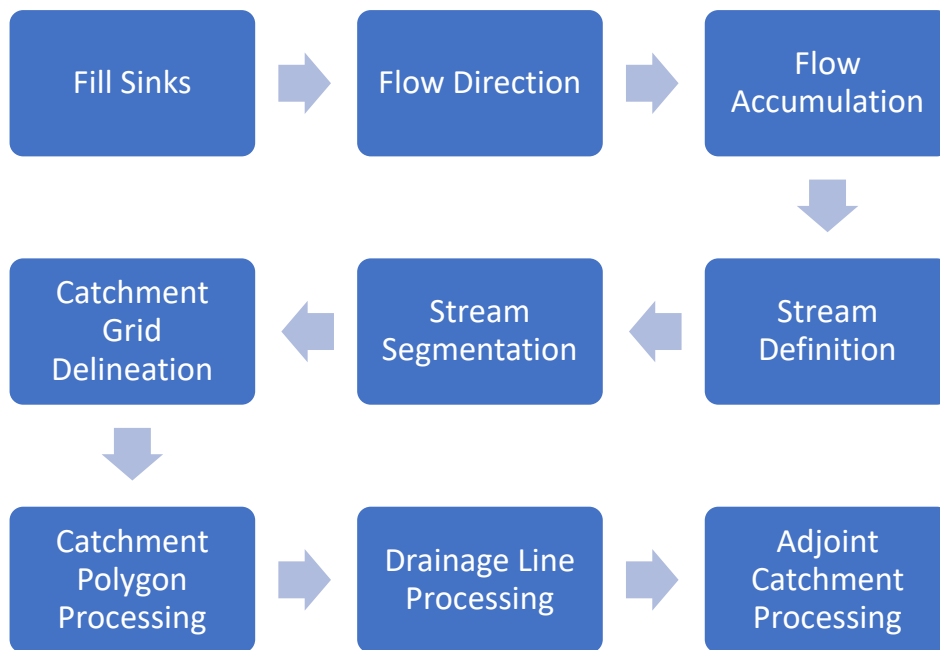


Figure 2 : The nine-step workflow of HEC-GeoHMS extension, that was used in the purpose of this paper

The stream network extracted by the above steps has some local errors. These errors are located when the river comes across with infrastructure like bridges. This happens because the information from the Digital Elevation Model sometimes refers at the level of the bridge and not the level of the ground under it. In order to fix these errors, an appropriate fix of the stream network takes place via *Editor*, and then the *DEM Reconditioning* Tool is used. The nine steps of the Figure 2 are then repeated on the Reconditioned DEM.

- Gavrilovic Model

The Gavrilovic model was developed in order to calculate the soil erosion at the Balkania area. The main equation of the model is:

$$w = \pi \cdot T \cdot P \cdot \sqrt{Z^3} \quad (1)$$

Where  $w$  the mean annual soil erosion in the basin ( $m^3 \cdot km^{-2} \cdot y^{-1}$ ),  $T$  the temperature coefficient,  $P$  the mean annual precipitation (mm) and  $Z$  the erosion coefficient. For the conversion of soil erosion in mass units,  $w$  is multiplied with the average density of the soil. In the case of Greece the average density is taken equal with  $2.67 t/m^3$ .

The temperature coefficient  $T$  is calculated by the Equation 2:

$$T = \sqrt{\left(0.1 + \frac{T_o}{10}\right)} \quad (2)$$

Where  $T_o$  the mean annual temperature ( $^{\circ}C$ ).

The erosion coefficient  $Z$  is calculated as follows:

$$Z = X \cdot Y \cdot (\varphi + \sqrt{J}) \quad (3)$$

Where  $X$  the soil protection coefficient (ranging from 0 to 1),  $Y$  the soil erodibility coefficient (ranging from 0 to 2),  $\varphi$  the erosion and stream network development coefficient (ranging from 0 to 1) and  $J$  the average slope of the study area [%].

The  $X$ ,  $Y$  and  $\varphi$  coefficients are estimated by using the proposed values from bibliography. The  $X$  coefficient depends on state of basin and the type of vegetation, the  $Y$  coefficient depends from the geologic conditions and the type of the subsoil and the  $\varphi$  coefficient depends on the current type and extend of erosion. For the purpose of this paper the values proposed by Kotoulas (2001), and Efthimiou (2016) were evaluated and some assumptions in some cases were made where values were not defined as well.

The estimation of  $\varphi$  coefficient requires field measurements, which were not available for the study areas. Therefore, for the purpose of this paper the coefficient was estimated by making the assumption that is an equation from  $X$  and  $Y$  coefficients:

$$\varphi = 0.65 \cdot X + 0.35 \cdot Y \quad (4)$$

After the application of the Equation 4 in a GIS environment, it may lead in values above one. Then, a division with the maximum number is necessary in order to normalize the  $\varphi$  factor so it fits in the range 0 to 1.

The Retention Coefficient ( $R$ ) is used in order to calculate the sediment yield at the outlet of the study areas, as it was proposed by Zemljic in 1971.

$$R_{Zemljic} = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{(L + 10)} \cdot \frac{(L + L_i)}{F} \quad (5)$$

Where  $O$  the perimeter of the basin (km),  $D$  is the difference between the mean altitude of the basin and the level of the output point of the basin (km),  $L$  the length of the main water course (km),  $L_i$  the length of the secondary waterways and  $F$  the catchment's area ( $km^2$ ).

- **RUSLE model**

The RUSLE model was introduced by Renard and Foster (1991). By the years many upgrades have taken place by the researchers. This model accounts for sheet and rill erosions but not for gully erosion. The main formula of the model is the product of six factors:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (6)$$

where **A** the mean annual soil erosion in the catchment ( $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ), **R** the rainfall erosivity factor or climatic factor ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ), **K** the soil erodibility factor ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ), **LS** the slope length and slope steepness (or topographic) factor, **C** the cover and management factor and **P** the conservation or support practices factor.

As mentioned above, many equations and improvements have been proposed by many researchers. For the purpose of this paper, the calculation of the factors occurred as mentioned below.

- **Rainfall Erosivity or climatic Factor, R**

For the Rainfall Erosivity Factor R, the equation of Van der Knijff (Equation 7) was used:

$$R = a \cdot P \quad (7)$$

Where P the mean annual rainfall (mm). Flabouris (2008) investigated the values of the coefficient  $\alpha$  in the region of Greece, using measurements from gauging stations. The study areas are under the effect of Lamia station, so the coefficient  $\alpha$  was taken equal to 0.7. The final expression for the rainfall erosivity factor R proposed by Flabouris (2008) for the region of Euboea is:

$$R = 0.7 \cdot P \quad (8)$$

Where P the mean annual precipitation (mm).

- **Soil Erodibility Factor, K**

The soil erodibility factor was calculated by giving the geological formations of the study areas a specific value, based on the bibliography, as shown at Appendix A.

- **Slope Length and slope steepness Factor or Topographic Factor, LS**

The slope length and slope steepness factor LS was calculated via the equation proposed by Wischmeier and Smith on 1978:

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \cdot (65.41 \cdot \sin^2(\beta) + 4.56 \cdot \sin(\beta) + 0.065) \quad (9)$$

Where  $\lambda$  the slope length (m),  $\beta$  the slope angle ( $^\circ$ ) and m coefficient. The value of the m coefficient is affected by the slope of the area (%), as shown below:

$$m = \begin{cases} 0.2 & \text{if } S < 1\% \\ 0.3 & \text{if } 1\% < S < 3\% \\ 0.4 & \text{if } 3\% < S < 5\% \\ 0.5 & \text{if } S > 5\% \end{cases}$$



Instead of slope length,  $\lambda$ , the upslope contributing area  $A_s$ , was used which is considered to be equivalent to the former, and can be calculated in ArcMap by multiplying the result of Flow Accumulation tool with the map's cell size.

- **Cover and Management Factor, C**

Similar to soil erodibility factor K, typical values from the bibliography were given to each land use code from CORINE. The Appendix B contains the values for each land use CORINE code.

- **Conservation or support practices Factor, P**

It was considered that support practices don't take place at the research area. This hypothesis is commonly used, according to Ghosal et al (2020), due to the lack of substantial practices. So, the support practices factor P was considered to be equal to 1.

The Sediment Delivery Ratio (SDR) is calculated, in order to estimate the sediment yield at the outlet of the study areas. Vanoni in 1975, studied 300 basins worldwide and concluded that the sediment delivery ratio is connected with the area of the basin via the following equation:

$$SDR = 0.42 \cdot A^{-0.125} \quad (10)$$

Where A the catchment's area (mi<sup>2</sup>).

- **Intensity – Duration – Frequency (IDF) curves**

IDF curves are a mathematical expression between the rainfall intensity  $i$ , the rainfall duration  $d$  and the return period T. Their generic form is described via Equation 1:

$$i(d, T) = \frac{\lambda \left[ \left( \frac{T}{\Delta} \right)^\kappa - \psi \right]}{\left( 1 + \frac{d}{\theta} \right)^\eta} \quad (11)$$

Where  $\kappa$  and  $\psi$  positive dimensionless parameters,  $\theta$  parameter with time units, and  $\eta$  dimensionless parameter where  $0 < \eta < 1$ .

- **Spatial Interpolation**

The IDF curves described above refer to point measurements. Therefore, there is the need of the spatial interpolation of the rainfall, in order to be able to describe an area like a catchment. In a basin there are multiple stations, and some stations outside the basin are used as well, if they are near the basin's boundaries. Each station has a specific effect in the basin, according to its position. The effect of each station is described with the usage of its weight  $w_i$ . The most common method of spatial interpolation, is the method proposed by Thiessen in 1911. According to Thiessen, the rainfall of a basin with multiple rain stations can be estimated by the following equations:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A \quad (12)$$

$$w_i = \frac{A_i}{A} \quad (13)$$

$$h_s = \sum_{i=1}^k w_i \cdot h_i \quad (14)$$

Where  $A$  the total area of the basin,  $w_i$  the weight of the station with of  $A_i$  area,  $h_s$  the spatial rainfall, and  $h_i$  the rainfall produced by the IDF curve of the  $i$  station.

- Alternating Block Method

The alternating block method is used in order to create a more realistic version of the rainfall event. The rainfall intensities are calculated by the IDF curves. The maximum value is placed at the center, the next largest value is placed alternately to the right and left of the rainfall peak in turn. The method was proposed by Chow et al in 1988.

- Curve Number Method

Rainfall losses must be taken into consideration, since only a percentage of the rainfall runoffs. According to FEMA (2018), rainfall losses depend on factors such as soil type, vegetation type and density, land use, percent of impervious area, and antecedent runoff conditions, a measure of how dry or wet a watershed is at the beginning of a storm.

In order to take all these parameters into consideration, the Natural Resource Conservation Service, has categorized soils based on their runoff potential into four groups (Group A, B, C and D). The runoff potential is increasing from Groups A to D. The Ministry of Environment and Energy (MEE) has given values to CORINE codes based on what type of soil they are on, known as Curve Number (CN). The CN number of the basin is given by Equation 5:

$$CN_{II} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \quad (15)$$

Where  $CN_{II}$  the curve number under normal conditions,  $A_i$  the area of the subsurface  $i$  with a curve number of  $CN_i$  and  $A$  the basin's area.

The complete approach of the study of a flood event requires the investigation of dry and wet soil conditions as well. Therefore, the following equations are used:

$$CN_I = \frac{0.42 \cdot CN_{II}}{1 - 0.0058 \cdot CN_{II}} \quad (16)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 \cdot CN_{II}}{1 + 0.013 \cdot CN_{II}} \quad (17)$$

Where  $CN_I$  the curve number for dry conditions and  $CN_{III}$  the curve number for wet conditions.

The runoff is then calculated according to Equation 8:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (18)$$

Where  $h_e$  the depth of runoff (mm),  $h$  the depth of rainfall (mm) and  $S$  the potential maximum retention (mm). The  $S$  parameter for each soil condition is calculated through CN number via the equation 9:

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (19)$$

In the ArcMap environment, a Look-Up Table which contains the curve number for every soil group and every land use is created (based on the values provided by MEE), and then the tool *Generate CN Grid* is used.

### Study Area

The study area includes the five largest basins of Euboea island, which were excluded from the nine-step methodology described above. The basins are located at the western and central part of Euboea. The basin characteristics are shown in Table 1. The Figure 3 contains the elevation model and the stream network of the study areas.

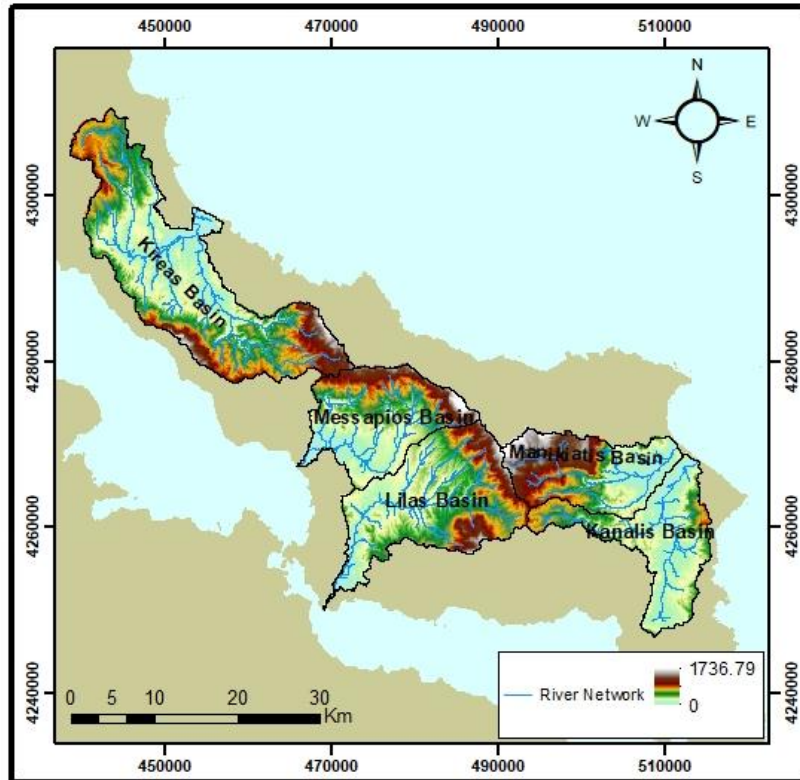


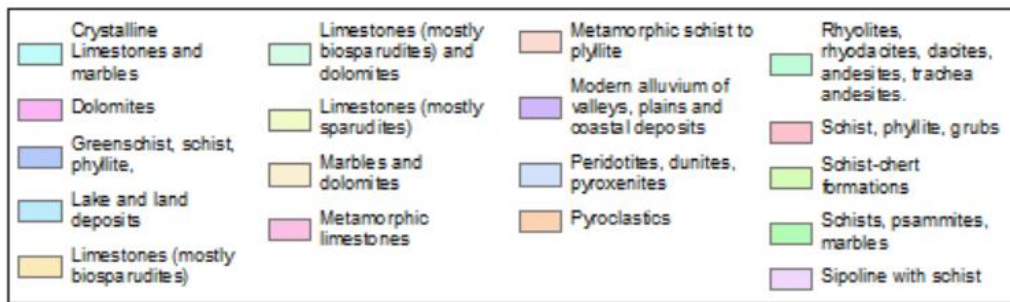
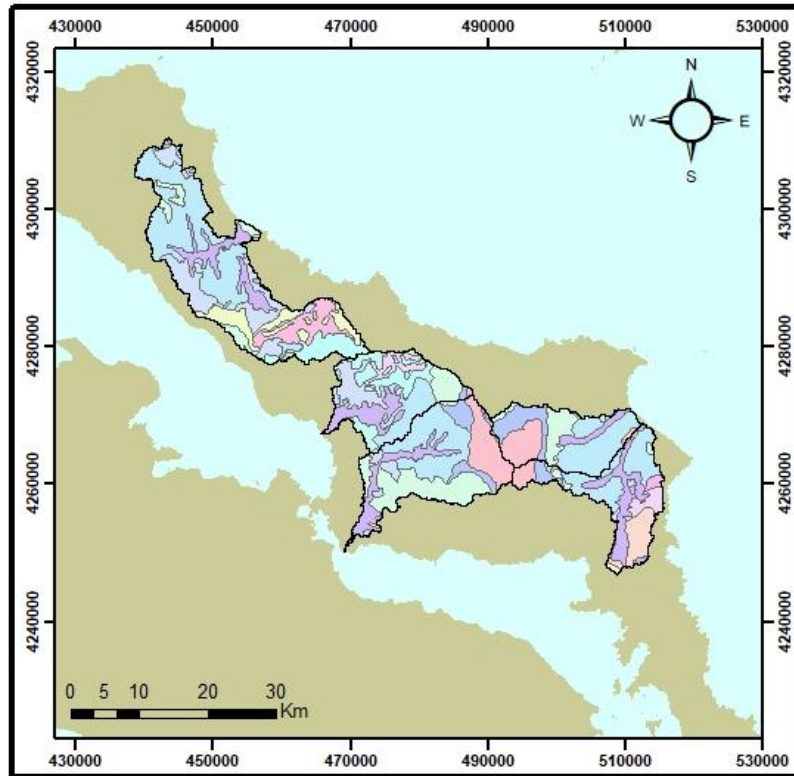
Figure 3 : Digital Elevation Model of the study areas

Table 1 : Main characteristics of the basins of the study areas

Basin	Area (km <sup>2</sup> )	Perimeter of basin (km)	Main river length (km)	Slope (%)
<b>Kireas</b>	385.9	198.2	41.41	33.9
<b>Lilas</b>	251.9	127.5	39.30	29.0
<b>Messapios</b>	182.5	100.4	32.69	30.0
<b>Kanalis</b>	166.8	123.8	25.90	24.9
<b>Manikiatis</b>	156.8	84.1	25.86	32.5

- Geological Data

The geologic map of the region was provided by IGME, and the perspective geologic formations are shown below:



*Figure 4 : Geologic map of the study areas*

- **Hydrogeology**

The hydrogeologic classification was extracted according to MEE's maps. The formations of the study areas belong to classes, A, B, C, which represent impervious, semi-pervious and pervious formations respectively (Figure 5)

- **Land Use Data**

Using the maps of the European program Copernicus Land Monitoring Service, the land use in the study areas according to the 2018 version of the Corine Land Cover inventory, is shown in Figure 6.

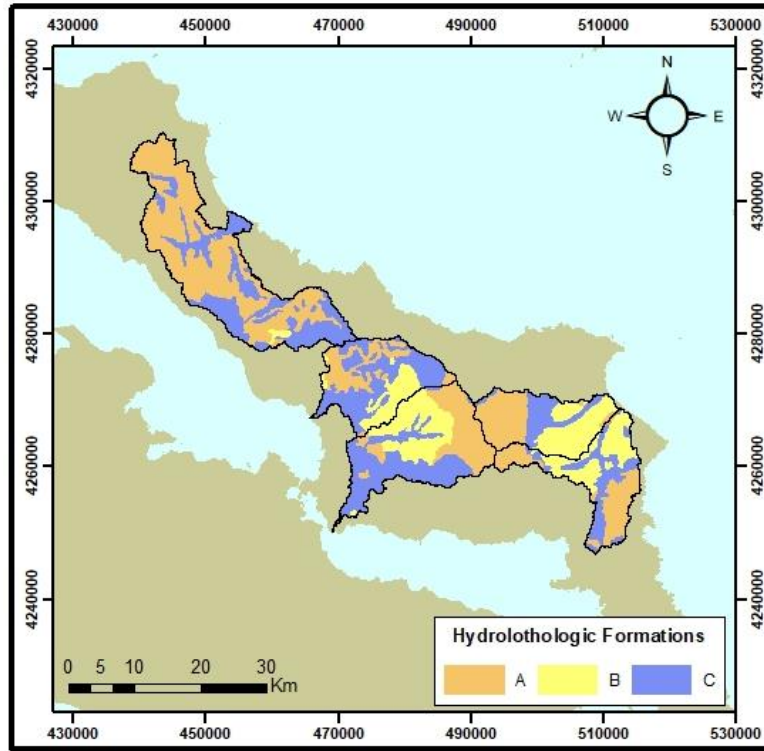


Figure 5 : Hydrogeologic groups of the study areas

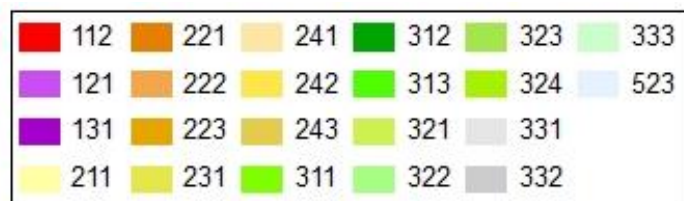
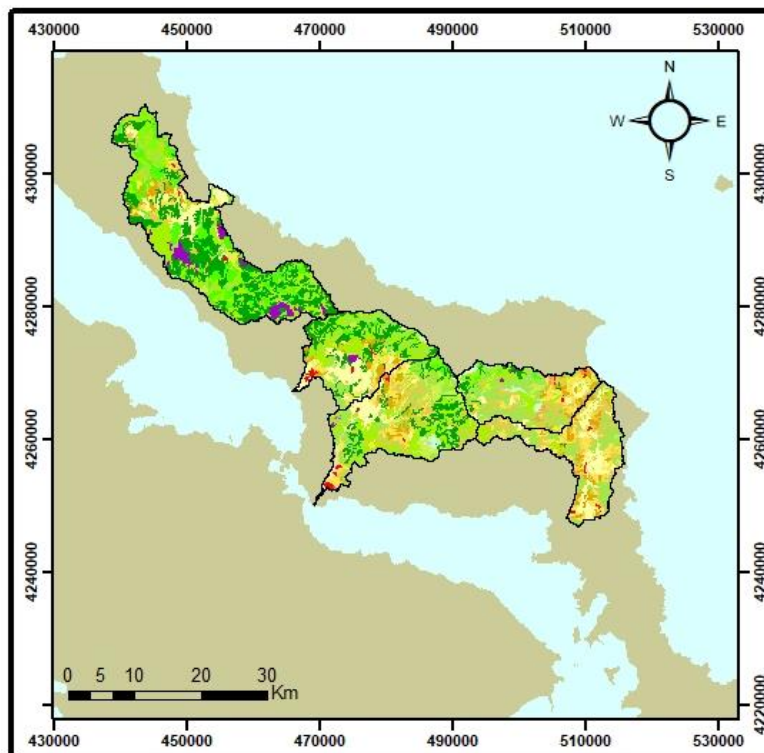


Figure 6 : Land Use map of the study areas

- Precipitation Data

The mean annual precipitation of the study areas was calculated by correlating the precipitation with the elevation. The point measurements of the precipitation stations of Table 2 were used, and the equation 20 was extracted.

*Table 2 : Precipitation Stations used for the study areas*

<b><math>\alpha/\alpha</math></b>	<b>Station</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Mean Annual Precipitation (mm)</b>
1	Zarakes	163	831.6
2	Setta	925	1680.6
3	Styra	32	700.2
4	Kato Steni	450	985.9
5	Ano Setta	840	1162.6
6	Kato Mamoula	40	558.2
7	Semia (Voutas)	409	970.2
8	Kastaniotissa	280	918.5
9	Milies	400	1192.8
10	Akres	490	1144.9
11	Theologos	240	693.5

$$P = 0.9614z + 612.26 \quad (20)$$

Where  $P$  the mean annual precipitation of a point (mm), and  $z$  the elevation of this point (m).

- Meteorological Data

The same methodology was applied by using the measurements of the meteorological stations of Table 3 and their respective elevation, leading to the Equation 21. The meteorological stations

*Table 3 : Meteorological stations used for the study areas*

<b><math>\alpha/\alpha</math></b>	<b>Station</b>	<b>Elevation (m)</b>	<b>Mean Annual Temperature (°C)</b>
<b>1</b>	Chalkis	200	18.1
<b>2</b>	Vateri	130	17.5
<b>3</b>	Zarakes	163	18.4
<b>4</b>	Setta	925	12.9
<b>5</b>	Kryeza	119	17.4
<b>6</b>	Styra	32	18.6

$$T = -0.0063z + 18.792 \quad (21)$$

Where  $T$  the mean annual temperature of a point (°C), and  $z$  the elevation of this point (m).

## Results

- Gavrilovic model

The application of the equation 1 in the ArcMap environment, resulted in the following map:

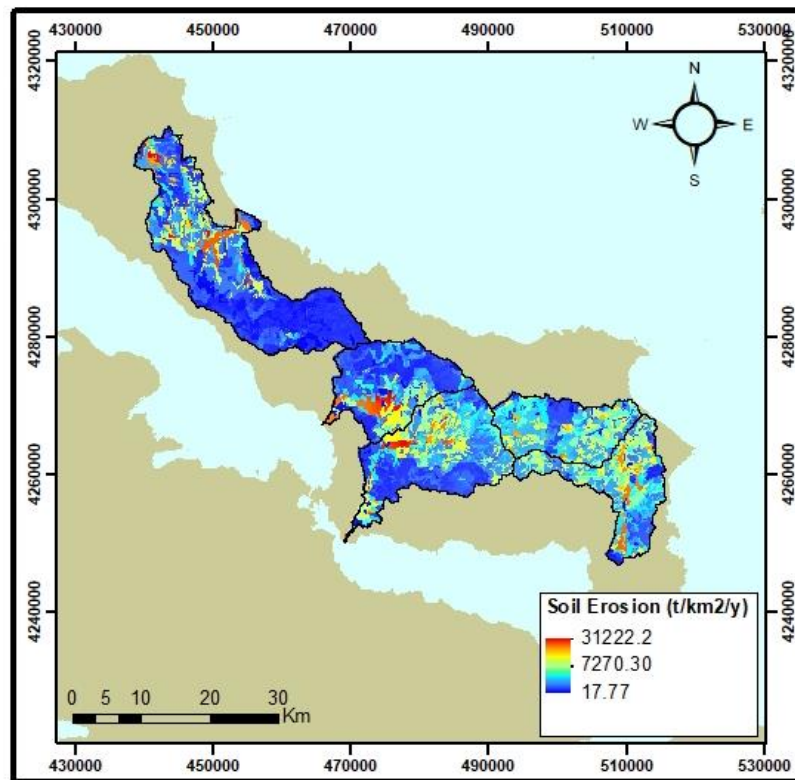


Figure 7 : Soil Erosion of the study areas estimated by the Gavrilovic model

Then, with the use of Zemilic's equation (1971) of the Retention coefficient, the sediment discharge at the outlet of the study areas is shown below:

Table 4 : Sediment discharge according to Gavrilovic model in the study areas

<b>SDR</b> \ <b>Basin</b>	<b>Kireas</b>	<b>Lilas</b>	<b>Messapios</b>	<b>Kanalis</b>	<b>Manikiatis</b>
<b>Zemljic</b>	0.044	0.039	0.046	0.049	0.057
<b>Sediment Discharge (t · y<sup>-1</sup>)</b>	88,158	77,982	56,699	80,591	78,408

- RUSLE model

After the application of the equations that are referred at the relevant section, the parameters of the RUSLE model were excluded as shown below:

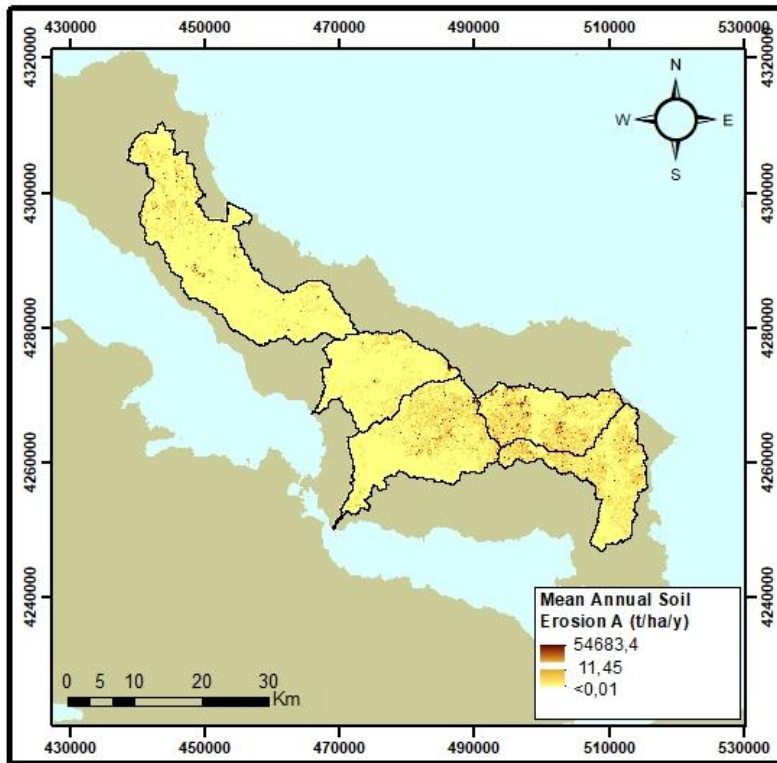


Figure 8 : Soil erosion estimated of the study areas estimated by RUSLE model ( $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ )

Soil erosion was then calculated by using the maps provided by ESDAC:

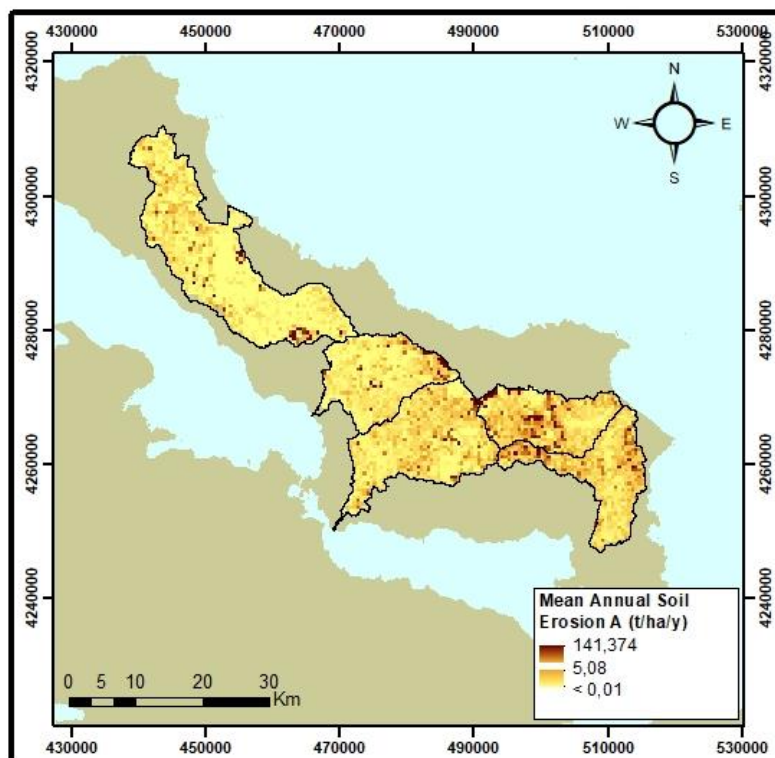


Figure 9 : Soil erosion of the study areas estimated by RUSLE model through the given maps from ESDAC

As we can see, there is a significant difference between the two estimations. The difference between the resolutions of the maps, is the result of difference in the map



resolutions. The resolutions of the maps provided by ESDAC is  $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$  for R & K factors,  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$  for C & P factors, and  $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$  for the LS factor, while the resolution of the maps produced is  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ . The biggest difference is observed for the LS factor, which makes sense considering the particularity of this factor and the difference that occurs when the resolution changes drastically.

Then, using the Vanoni's equation (1975) the Soil Delivery Ration (SDR) is calculated, therefore the sediment discharge at the outlet of the study areas is shown at Table 5.

Table 5 : Sediment discharge according to RUSLE model in the study areas

<b>SDR</b> \ <b>Basin</b>	<b>Kireas</b>	<b>Lilas</b>	<b>Messapios</b>	<b>Kanalis</b>	<b>Manikiatis</b>
<b>Vanoni</b>	0.225	0.237	0.247	0.250	0.252
<b>Sediment Discharge</b> ( $\text{t} \cdot \text{y}^{-1}$ )	46788	76243	29433	65213	100079

- Hydraulic analysis

According to the above calculations, and considering that the Gavrilovic's results are the more accurate, since the model was developed in mutual conditions with the study areas, the soil erosion takes the higher values at the Kanalis, Manikiatis and Lilas basins. This result was verified after the application of the RUSLE model as well. So, the Manikiatis and Lilas basins were selected in order to perform the hydraulic analysis and the hydraulic simulations. To perform these, there is the need to exclude a subbasin by selecting an appropriate pour point. In the case of Lilas's basin the pour point was selected near the Amarynthos and Vasilika region, where in Manikiatis basin the outlet of the extracted subbasin is right before the Ano Monodryo and Kato Monodryo villages. The major hydrological characteristics for the purpose of the hydraulic analysis of the two subbasins are shown below:

Table 6 : Hydrological characteristics for the hydraulic analysis of Lilas's and Manikiatis' subbasins

<b>Hydrologic parameter</b>	<b>Units</b>	<b>Lilas</b>	<b>Manikiatis</b>
<b>Subbasin Area</b>	$\text{km}^2$	240.46	103.39
<b>Main Channel Length L</b>	$\text{km}^2$	33.14	15.72
<b>Mean altitude <math>H_{\text{mean}}</math></b>	m	364.07	691.80
<b>Outlet altitude <math>H_{\text{min}}</math></b>	m	13.19	27.27
<b>Concentration Time <math>t_c</math></b>	h	7.46	3.12
<b>Lag Time <math>t_L</math></b>	h	4.47	1.87

The rainfall stations with appropriate defined IDF curves that have influence at the Lilas' and Manikiatis' subbasins and their percentage influence is shown below:

Table 7 : Thiessen areas of the Lilas' and Manikiatis' subbasins respectively

Station	Thiessen Areas			
	km <sup>2</sup>	%	Km2	%
<b>Makrikapa</b>	3.83	1.59%	-	-
<b>Theologos</b>	94.67	39.37%	-	-
<b>Kato Steni</b>	128.19	53.31%	75.00	72.54%
<b>Kato Mamoula</b>	13.77	5.73%	28.39	27.46%
	240.46	100.00%	103.39	100%

The IDF curves are then spatially distributed based on the Thiessen areas:

Table 8 : Spatial distributed rainfall from IDF curves (T=100y) for Lilas' and Manikiatis' subbasin respectively

d (h)	i (mm h-1)	d (h)	i (mm h-1)	d (h)	i (mm h-1)	d (h)	i (mm h-1)
1	67.34	13	14.60	1	80.80	13	17.52
2	45.33	14	13.95	2	54.39	14	16.74
3	35.66	15	13.37	3	42.79	15	16.04
4	30.00	16	12.85	4	36.00	16	15.42
5	26.21	17	12.38	5	31.45	17	14.85
6	23.46	18	11.95	6	28.15	18	14.33
7	21.35	19	11.55	7	25.62	19	13.86
8	19.68	20	11.19	8	23.61	20	13.43
9	18.31	21	10.86	9	21.97	21	13.03
10	17.16	22	10.55	10	20.59	22	12.66
11	16.18	23	10.27	11	19.42	23	12.32
12	15.34	24	10.00	12	18.41	24	12.00

- Hyetograph

Using the alternative block method and the cumulative hyetograph (S-Curve), for a rainfall event of 24 hours (over 4 times the subbasins' concentration time) the hyetographs were calculated.

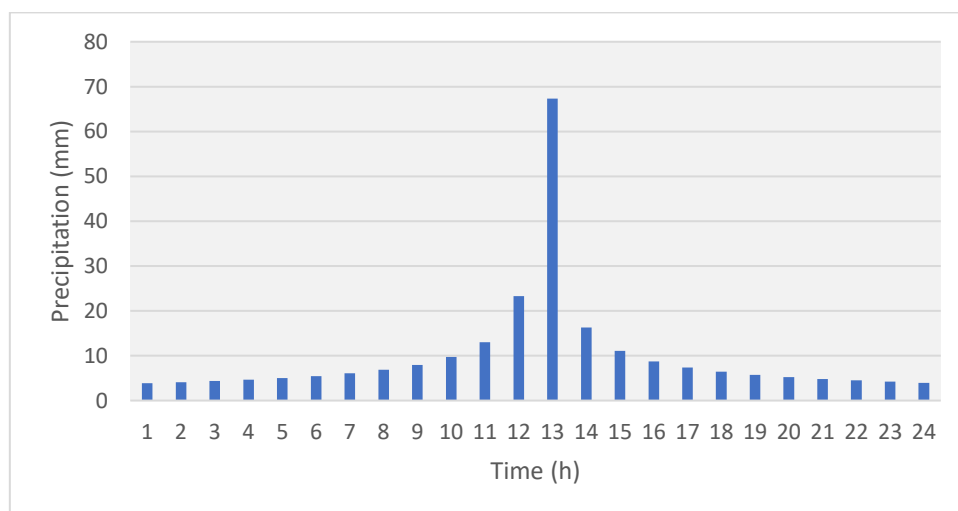


Figure 10 : Hyetograph for rainfall with a return period of 100 years for Lilas subbasin

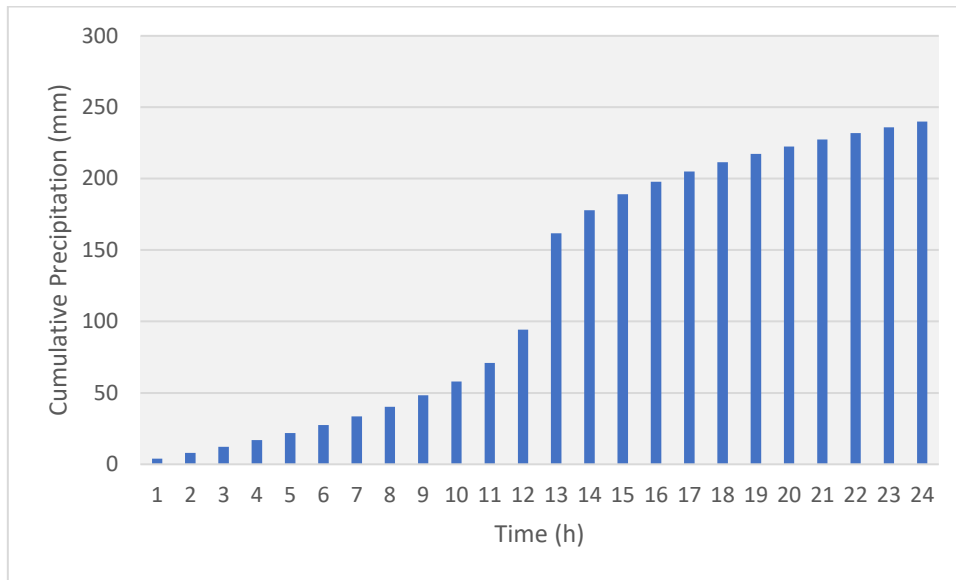


Figure 11 : Cumulative hyetograph for rainfall with a return period of 100 years for Lilals subbasin

Table 9 : Curve numbers

Previous Soil Moisturize Status	Dry	Average	Wet
CN ~ Lilas's subbasin	46.37	67.31	82.56
CN ~ Manikiatis's subbasin	38.69	69.04	77.56

In order to calculate the flow hydrographs, the baseflow of each subbasins river and the subbasin's imperviousness must be defined as well. For the Lilas's subbasin the imperviousness is 0.24%, according to Copernicus data, and the baseflow was taken equal to 0.2 – 4 m<sup>3</sup>/s, where the lower values belong to the months June to August, since the river goes dry. For the Manikiatis's subbasin the imperviousness is 0.09% and the monthly baseflow was taken equal to 0.1 – 3 m<sup>3</sup>/s, for the same reasons.

- Flow Hydrograph

The hyetographs above were transmuted into the following flow hydrographs, via HEC-HMS software:

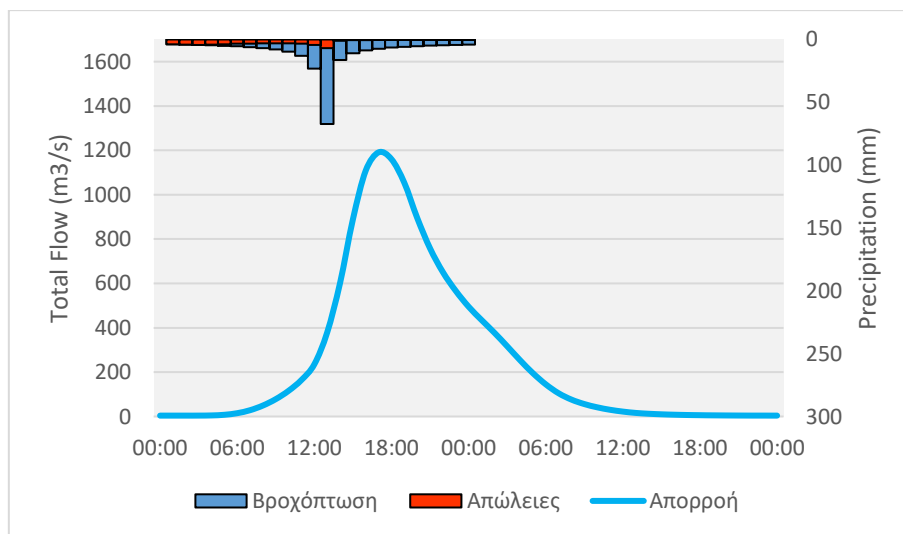


Figure 12 : Flow hydrograph at the outlet of Lilas subbasin for wet conditions

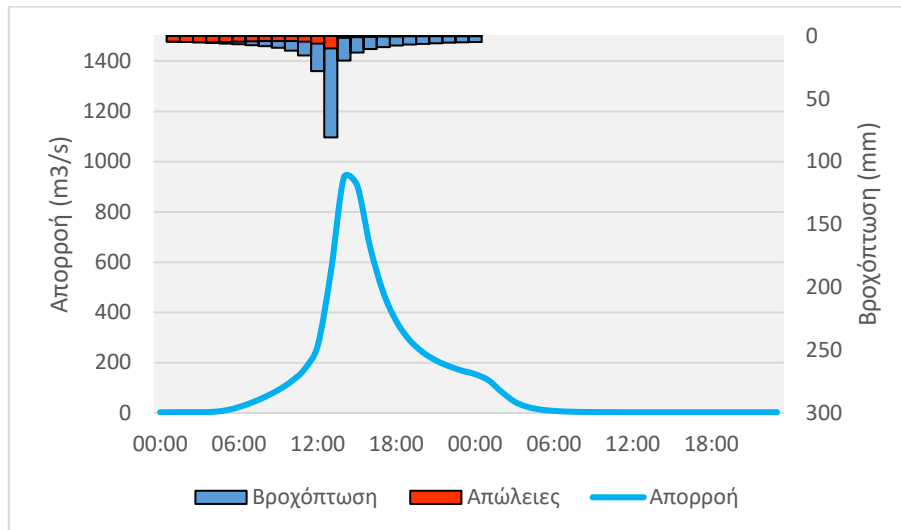


Figure 13 : Flow hydrograph at the outlet of Manikiatis' subbasin for wet conditions

The methodology was applied for dry and average conditions as well, though more information is given in the paper's results. As it was expected, the discharge peak increases as the soil moisture level increases.

- Hydraulic Simulation

The area used for the simulation is considered to be practical, because it contains a road bridge and two settlements, making it important to simulate the water depth in a flood event. In the recent history flood events have occurred in the area, which led to loss of human lives and major damages in the area. This applies for both of the subbasins examined.

The Manning's n number was defined to each land use code, by using the proposed values from MEE. Different values were given for each previous moisturized status, the values for dry and wet conditions are 50 % lower and higher from the proposed normal-condition values respectively.

The hydraulic simulation was performed in the HEC-RAS environment, and led to the results of Table 10.

Table 10 : Time of the peak water depth at Vasiliko and Monodryo bridge respectively

Previous soil moisturize status	Time	Water Depth	Time	Water Depth
	( h:m )	( m )	( h:m )	( m )
<b>Dry</b>	19:10	2.4	16:00	2.5
<b>Normal</b>	19:00	5.1	16:00	5.1
<b>Wet</b>	19:00	7.1	15:50	6.5

The flood outspreads of Lilas's and Manikiatis's subbasin for wet conditions are shown on Figures 14 and 15.

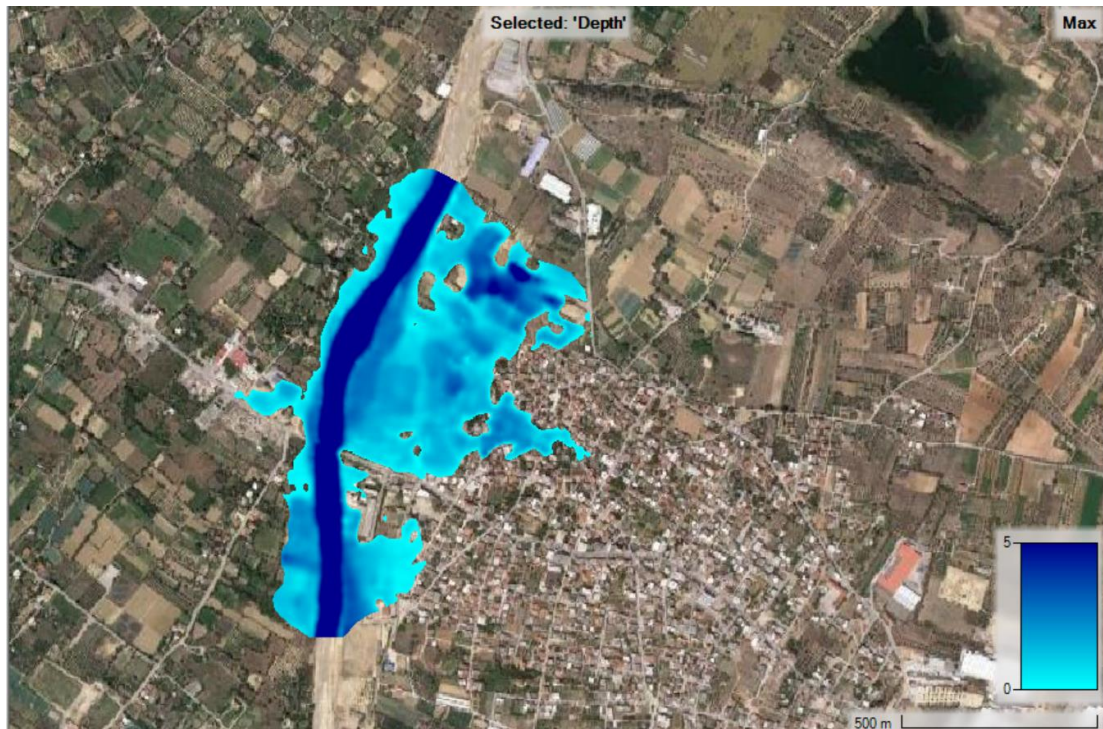


Figure 14 : Simulation of a flood event under wet soil conditions with the water depth at Vasilika bridge highlighted

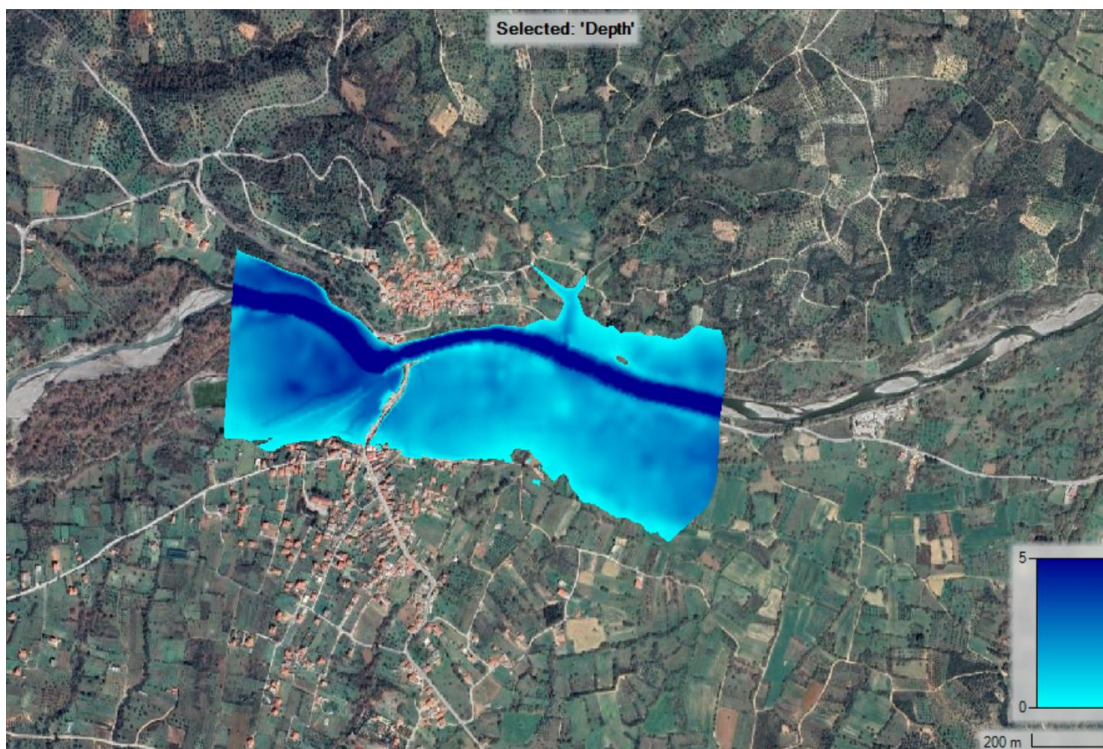


Figure 15 : Simulation of a flood event under wet soil conditions with the water depth at Monodryo bridge highlighted

Based on the above results of the simulations, it seems that the urban area in the case of Lilas is affected, since the water depth in the dwelled areas reaches the 2 m. Unfortunately, this has been confirmed by many flood events in the recent history, like the event of August 2020, which had lethal effects. In the case of Manikiatis's subbasin, even though the flood field reaches very close to the inhabited area of Kato Monodryo, it contains mostly agricultural and vegetal areas.

## Conclusions

This paper studied the integrated analysis of soil erosion in selected basins of Euboea. The conclusions are distinguished in generic and specific, where specific conclusions focus in the comparisons of the models used and the processes used.

- Generic Conclusions

With the completions of this research, these generic conclusions are:

- The international bibliography research showed that the soil erosion estimations varied depending on the geographic location of the study area and the estimations made by the research teams.
- In many cases, including the study areas of this paper, the absence of real measurements for the validation of the results of the estimation models. In this paper it was considered that the results of Gavrilovic model are more accurate than the results of RUSLE model.
- Soil moisturized levels contribute greatly in the flood discharges, affecting not only the water depth but also the velocity that the flood peak reaches.

- Specific Conclusions

The specific conclusions emerged after the application of the models and the hydraulic and hydrologic analysis at the study areas:

- The mean annual soil erosion under suspension is estimated to be 2017768 t/y and 208203 t/y at Kireas basin, 2016201 t/y and 321658 t/y at Lilas's basin, 1234692 t/y and 119275 t/y at Messapios' basin, 1657165 t/y and 261307 t/y at Kanalis' basin and 1383756 t/y and 397928 t/y at Manikiatis's basin according to Gavrilovic and RUSLE models respectively. This means that the fraction of the estimations fluctuates from 1/4 to 1/10.
- The sediment discharge estimated at the outlet of the basins is 88158 t/y and 46788 t/y at Kireas basin, 77982 t/y and 76243 t/y at Lilas's basin, 56699 t/y and 29433 t/y at Messapios' basin, 80591 t/y and 65213 t/y at Kanalis' basin and 78408 t/y and 100079 t/y at Manikiatis's basin according to Gavrilovic and RUSLE models respectively. Considering that Gavrilovic model gives the most realistic sediment discharges, since it was developed in similar conditions with the study areas, the RUSLE model seems to underestimate the sediment discharge by 47%, 2%, 48% and 19% in the case of Kireas, Lilas, Messapios and Kanalis basins respectively and overestimate the sediment discharge by 28% in the case of Manikiatis basin.
- The overestimation of sediment discharge in the case of Manikiatis' basin is assigned to the mountainous mass of Dirfys, which covers more than the 30% of the basin's area. The high elevation results in high rainfall height which extend in high R-factor. The high slopes of the area increase greatly the LS-factor.
- The excess rainfall that leads in the excess runoff for normal conditions is equivalent to 70% and 65% of the total rainfall for Lilas's and Manikiatis's subbasins respectively. For dry conditions it equals to 34% (decrease by 51%) and 28% (decrease by 57%) of the total rainfall, where in wet conditions it

equals to 90% (increase by 29%) and 88% (increase by 35%) of the total rainfall respectively.

- The flow hydrograph in normal conditions peaks at 878.9 m<sup>3</sup>/s and 666.9 m<sup>3</sup>/s, for the subbasins of Lilas's and Manikiatis's respectively. In the case of Lilas's subbasin, in dry conditions the decrease of the surface runoff by 51% leads to the decrease of the flow hydrograph peak by 52% (426.1 m<sup>3</sup>/s). In the case of Manikiatis' subbasin, in the dry conditions the decrease of the excess runoff by 57% leads to a peak in the flow hydrograph at 287.1 m<sup>3</sup>/s (decrease by 57%), where in wet conditions the increase of the excess runoff by 35% leads to a flow hydrograph peak of 936.7 m<sup>3</sup>/s (increase by 41%).
- Regarding the water depth at Vasiliko and Monodryio bridges, it reaches at 5.1 m in normal conditions for both bridges. Under dry conditions, the decrease of the excess rainfall by 51% and 57% results in decrease of the water depth at the points of interest by 53% (2.4 m) and 52% (2.5 m). For the wet conditions the increase of the excess runoff by 29% and 35% lead to an increase of the water depth at the two points by 39% (7.1 m) and 27% (6.5 m), for the Vasiliko and Monodryio bridge respectively.

- Future research

The completion of this research, lead to the conclusion that the subject of sediment transport is extremely complicated, especially in a region with geomorphological complexity like Greece. It is also comparatively new, considering that complex calculations required have not been easy to implement before the development of GIS software.

Therefore, there is a lot of room for improvements and research. The future researchers are impelled to take into consideration the following suggestions:

- Usage of the analytical equations for the estimation of RUSLE's R and K parameters and comparison with the empirical estimations.
- Usage of weight factors for the better regulation of the soil erosion estimation models.
- Repetition of the hydraulic analysis by considering different concentration times for dry and wet conditions.
- Usage of advanced softwares developed for the RUSLE model, like the extensions LS-tool and GISus-M for the ArcMap software and RUSLE2.

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται συνολικά το φαινόμενο της στερεομεταφοράς στις πέντε μεγαλύτερες λεκάνες απορροής της Εύβοιας. Για τη μέση ετήσια εδαφική απώλεια εξετάζεται το αμερικάνικο μοντέλο RUSLE και το Ευρωπαϊκό μοντέλο Gavrilovic. Μέσω του συντελεστή στερεοαπορροής που εντοπίζεται στη διεθνή βιβλιογραφία γίνεται η εκτίμηση της στερεομεταφοράς στην έξοδο κάθε λεκάνης. Στη συνέχεια επιλέγονται δύο από τις λεκάνες με τη μεγαλύτερη μέση ετήσια εδαφική διάβρωση ανά μονάδα επιφάνειας και ‘κόβονται’ στα σημεία ενδιαφέροντος και έτσι εξάγονται οι δύο υπολεκάνες ανάντη αυτών των σημείων που εξετάζονται στη συνέχεια. Σε κάθε μία από τις δύο υπολεκάνες, παράγεται το υετογράφημα μελέτης με περίοδο επαναφοράς 100 χρόνων. Η παραγωγή του υετογραφήματος γίνεται με τη χρήση των επιφανειακά ολοκληρωμένων όμβριων καμπυλών της περιοχής και τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Με τη χρήση του λογισμικού HEC-HMS το υετογράφημα αυτό μεταφράζεται σε πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης, ενώ με τη χρήση του λογισμικού HEC-RAS γίνεται διόδευση του πλημμυρογραφήματος αυτού και εκτιμάται η εξάπλωση της πλημμύρας στην ευρύτερη περιοχή.



## 1. Εισαγωγή

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατάρτιση ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την ολοκληρωμένη προσέγγιση του προβλήματος της εδαφικής διάβρωσης.

Η εδαφική διάβρωση αποτελεί ένα πολύ σημαντικό περιβαλλοντικό ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο και έχει άμεση επίδραση τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον.

Η μεθοδολογία που αναλύεται στα κεφάλαια που ακολουθούν συνοψίζεται από τα παρακάτω σημεία:

1. Ορισμός των λεκανών απορροής με το λογισμικό GIS και την επέκταση Hec-GeoHMS.
2. Εκτίμηση της εδαφικής απώλειας εντός των πέντε μεγαλύτερων λεκανών απορροής και της στερεοαπορροής με τη χρήση του συντελεστή στερεοαπορροής και το λογισμικό GIS για τη χωρική επεξεργασία των παραμέτρων των μοντέλων και την κατάρτιση ψηφιακών χαρτών.
3. Χρήση όμβριων καμπυλών για εξαγωγή της μέγιστης έντασης σημειακής βροχόπτωσης και επιφανειακή ολοκλήρωσή της σε επιφανειακή με χρήση των πολυγώνων Thiessen σε δύο από τις λεκάνες απορροής.
4. Επιλογή σημείου εξόδου για κάθε μία από τις δύο λεκάνες ορίζοντας την ανάντη υπολεκάνη για κάθε μία από τις παραπάνω δύο λεκάνες απορροής.
5. Παραγωγή του υετογραφήματος σχεδιασμού με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ και χρήση της μεθόδου SCS-CN.
6. Εισαγωγή του παραπάνω υετογραφήματος στο λογισμικό HEC-HMS και εξαγωγή του πλημμυρογραφήματος σε κάθε υπολεκάνη.
7. Εισαγωγή του πλημμυρογραφήματος στο λογισμικό HEC-RAS για τη δισδιάστατη υδραυλική προσομοίωση του υδρολογικού δικτύου και της κατάντη περιοχής.

## 2. Βιβλιογραφική επισκόπηση

### 2.1 Όμβριες Καμπύλες

Το πρώην ΥΠΕΚΑ, τέως ΥΠΕΝ κατάρτησε Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) για όλη τη χώρα, σε επίπεδο υδατικών διαμερισμάτων. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αντλήθηκαν στοιχεία από το *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας*.

Η γενική συναρτησιακή εξίσωση όμβριων καμπυλών σύμφωνα με τον Κουτσογιάννη (1997), είναι της μορφής:

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \quad (2.1)$$

Όπου  $i$  η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης χρονικής κλίμακας  $d$  για περίοδο επαναφοράς  $T$ , και  $a(T)$  και  $b(d)$  κατάλληλες συναρτησιακές σχέσεις. Η συνάρτηση  $b(d)$ , είναι της παρακάτω μορφής:

$$b(d) = \left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^\eta \quad (2.2)$$

όπου  $d$  η χρονική κλίμακα (ή διάρκεια) της βροχόπτωσης,  $\theta \geq 0$  παράμετρος προς εκτίμηση με μονάδες χρόνου, και  $0 < \eta < 1$  αδιάστατη παράμετρος προς εκτίμηση. Η μορφή της συναρτησιακής εξίσωσης του  $b(d)$  είναι εμπειρικά διαπιστωμένη και θεωρητικά τεκμηριωμένη (Κουτσογιάννης, 1997; Koutsoyiannis, 2006).

Ο αναλυτικός υπολογισμός της συνάρτησης  $a$  γίνεται με χρήση της συναρτησιακής κατανομής που ισχύει για τη μέγιστη ένταση βροχόπτωσης, όπως αυτή προκύπτει μετά από επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων. Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχόπτωσης, όπως προέκυψε από έρευνες βασισμένες σε δεδομένα από όλο τον κόσμο, είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών II (Koutsoyiannis, 2004β), και η συνάρτηση  $a(T)$  εκφράζεται μέσω της Εξίσωσης 2.3:

$$a(T) = \lambda \left[ \left( \frac{T}{\Delta} \right)^\kappa - \psi \right] \quad (2.3)$$

Όπου  $\Delta = 1$  έτος,  $\kappa$  και  $\psi$  αδιάστατες παράμετροι ( $>0$ ), και  $\lambda$  παράμετρος με διαστάσεις εντάσεως βροχόπτωσης. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η τελική εξίσωση των όμβριων καμπυλών, είναι:

$$i(d, T) = \frac{\lambda \left[ \left( \frac{T}{\Delta} \right)^\kappa - \psi \right]}{\left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^\eta} \quad (2.4)$$

## 2.2 Επιφανειακή ολοκλήρωση

Οι μετρήσεις βροχόπτωσης οι οποίες λαμβάνονται από τους βροχογράφους και τα βροχόμετρα είναι σημειακές. Σε επίπεδο λεκάνης απορροής, είναι απαραίτητη η εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης, και αυτό επιτυγχάνεται μέσω της επιφανειακής ολοκλήρωσης. Το δίκτυο των οργάνων μέτρησης βροχόπτωσης πρέπει να τέτοιο, έτσι ώστε να περιγράφεται όσο το δυνατόν καλύτερα η χωρική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης. Οι μέθοδοι επιφανειακής ολοκλήρωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις μεθόδους άμεσης ολοκλήρωσης και στις μεθόδους προσαρμογής επιφάνειας (Κουτσογιάννης, 1999).

### 2.2.1 Μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης

Ο Thiessen το 1911 πρότεινε την ομώνυμη μέθοδο, η οποία αποτελεί την πιο διαδεδομένη μέθοδο επιφανειακής ολοκλήρωσης, λόγω της απλότητας στην εφαρμογή της. Η συνολική επιφάνεια  $A$  της λεκάνης απορροής χωρίζεται γεωμετρικά σε ζώνες επιρροής  $A_i$ , μία για κάθε σταθμό, δηλαδή:

$$\sum_{i=1}^k A_i = A \quad (2.5)$$

Ο συντελεστής βάρους θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής κάθε σταθμού:

$$w_i = \frac{A_i}{A} \quad (2.6)$$

Πέρα από σταθμούς που βρίσκονται μέσα στη λεκάνη απορροής, μπορεί να γίνει χρήση επιπλέον σταθμών εφόσον βρίσκονται κοντά σε αυτή. Τελικά, η επιφανειακή βροχόπτωση είναι:

$$h_s = \sum_{i=1}^k w_i \cdot h_i \quad (2.7)$$

Όπου  $h_s$  το επιφανειακό ύψος βροχής (mm),  $h_i$  το σημειακό ύψος του  $i$  σταθμού (mm) και  $w_i$  ο συντελεστής επιρροής του σταθμού  $i$  στην λεκάνη απορροής. Ο προσδιορισμός των ζωνών επιρροής γίνεται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού  $i$  να απέχει από τη θέση του σταθμού  $i$  λιγότερο απ' όσο απέχει από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Η αρχή αυτή οδηγεί σε μια απλή γεωμετρική κατασκευή των ζωνών επιρροής βασισμένη στις μεσοκαθέτους των ευθυγράμμων τμημάτων που συνδέουν τους σταθμούς ανά ζεύγη. Τα πολύγωνα που προκύπτουν από την παραπάνω διαδικασία, ονομάζονται πολύγωνα Thiessen (Μιμίκου, 2012).

## 2.2.2 Μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας

Οι μέθοδοι προσαρμογής επιφάνειας εκτιμούν αρχικά τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης, και στη συνέχεια την επιφανειακή βροχόπτωση. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή των ισοϋετιών. Οι ισοϋέτιες καμπύλες ορίζονται από τον γεωμετρικό τόπο των σημείων στα οποία το ύψος παίρνει μια δεδομένη τιμή, είναι δηλαδή το αντίστοιχο με τις ισοϋψείς για το υψόμετρο. Ο μελετητής αρχικά σημειώνει στο χάρτη τις θέσεις των διαθέσιμων βροχομετρικών σταθμών, και τα ύψη βροχόπτωσης των σταθμών αυτών. Στη συνέχεια, μέσω γραμμικής παρεμβολή πάνω στα ευθύγραμμα τμήματα που ορίζονται από τις θέσεις γειτονικών σταθμών, χαράσσει τις ισοϋέτιες καμπύλες. Είναι απαραίτητο ο μελετητής να αξιοποιήσει την εμπειρία και την κρίση του, ξεφεύγοντας από την αυστηρά ορισμένη γραμμική παρεμβολή για να βελτιώσει κατά περιοχές τη χάραξη των καμπυλών αυτών (πχ σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου) (Κουτσογιάννης, 2012; Μιμίκου, 2012).

Μετά τη χάραξη των καμπυλών, η επιφανειακή μέση βροχόπτωση προκύπτει από εμβαδομέτρηση των επιφανειών  $A_i$  οι οποίες βρίσκονται μεταξύ των διαδοχικών καμπυλών, που αντιστοιχούν σε ύψη βροχής  $P_i$  και  $P_{i-1}$ , ως εξής:

$$P_s = \sum_r \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \frac{A_i}{A} \quad (2.8)$$

## 2.3 Υετογράφημα σχεδιασμού

Για την κατάρτιση υετογραφήματος καταίγιδας, σύμφωνα με τις Προδιαγραφές Μελετών οι οποίες καταρτίστηκαν στα πλαίσια των ΣΔΚΠ, η διάρκεια βροχόπτωσης λαμβάνεται ως σημαντικό πολλαπλάσιο του χρόνου συγκέντρωσης της ανάντη λεκάνης απορροής.

Η πιο διαδεδομένη σχέση για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, προτάθηκε από τον Giandotti το 1934, σύμφωνα με τον οποίο:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{mean} - H_{min}}} \quad (2.9)$$

Όπου  $t_c$  ο χρόνος συγκέντρωσης (h),  $A$  η επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής ( $\text{km}^2$ ),  $L$  το μήκος του κύριου υδατορέματος (km) και  $H_{mean}$  το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m) και  $H_{min}$  το υψόμετρο του σημείου εξόδου (m).

Ο χρόνος υστέρησης υπολογίζεται από την εξίσωση του Mockus (1957):

$$t_L = 0.6t_c \quad (2.10)$$

Όπου  $t_L$  ο χρόνος συγκέντρωσης της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής (h).

Το υετογράφημα παράγεται από τις όμβριες της περιοχής μελέτης και με βάση μία από τις παρακάτω μεθόδους χρονικής κατανομής της βροχόπτωσης. Η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης δίνει ένα πιο ρεαλιστικό σενάριο βροχόπτωσης σε σχέση με τη θεώρηση σταθερής έντασης βροχόπτωσης σε όλη τη διάρκειά της.

Για πλημμύρες μέσης και υψηλής πιθανότητας εμφάνισης (με περιόδους επαναφοράς 50 και 100 χρόνια αντίστοιχα) γίνεται χρήση της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ, η οποία προτάθηκε από τους Chow et al (1988). Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται αρχικά τα τμηματικά ύψη βροχόπτωσης και στη συνέχεια κατανέμονται ως εξής: το μεγαλύτερο υψόμετρο τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα και τα υπόλοιπα υψόμετρα τοποθετούνται σε φθίνουσα σειρά εναλλάξ αριστερά και δεξιά γύρω από κεντρικό διάστημα.

Για πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης (με περιόδους επαναφοράς πάνω από 1000 χρόνια), προτείνεται η χρήση της μεθόδου του δυσμενέστερου συνδυασμού. Προτάθηκε το 1977 από την USBR, αποτελεί μια παραλλαγή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ, και προϋποθέτει την κατάρτιση του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η διαφορά είναι ότι το μεγαλύτερο ύψος βροχόπτωσης δεν τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα, αλλά στο χρονικό διάστημα που βρίσκεται απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος, το αμέσως μικρότερο απέναντι από την αμέσως μικρότερη τεταγμένη κλπ και το υετογράφημα τελικά προκύπτει με αντιστροφή αυτής της διάταξης.

Αυτές οι δύο μέθοδοι είναι οι προτιμότερες, καθώς σύμφωνα με τον Koutsoyiannis (1999) παρουσιάζουν τρία σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους χρονικής κατανομής της βροχόπτωσης:

- Οδηγούν σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού, χωρίς να απαιτείται καμία περαιτέρω παραδοχή.
- Χρησιμοποιούν αποκλειστικά δεδομένα της περιοχής μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι διαγράμματα της βιβλιογραφίας.
- Σε σύγκριση με τη μέθοδο των αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών δίνουν πολύ πιο εύλογα αποτελέσματα.

Βασική παραδοχή των παραπάνω δύο μεθόδων είναι ότι, σε κάθε επιμέρους διάρκεια, το προκύπτον ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το συνολικό ύψος βροχής. Η παραδοχή αυτή δε είναι ρεαλιστική, και αποτελεί το σημαντικότερο μειονέκτημα των δύο μεθόδων (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

## 2.4 Ενεργή βροχόπτωση

Ως ενεργή βροχόπτωση ορίζεται το καθαρό ποσό της βροχής που τελικά απορρέει. Το υετογράφημα σχεδιασμού περιλαμβάνει τις συνολικές βροχοπτώσεις, είναι απαραίτητο επομένως να γίνει διαχωρισμός των υδρολογικών απωλειών από το συνολικό υετογράφημα αυτό, έτσι ώστε να προκύψει η ενεργή βροχόπτωση. Οι υδρολογικές απώλειες συνδέονται άμεσα με τη προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους τόσο στον όγκο όσο και στο ρυθμό της απορροής σε ένα πλημμυρικό επεισόδιο. Το ΥΠΕΝ προτείνει τη χρήση της μεθόδου SCS-CN, η οποία δημιουργήθηκε το 1954 και αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες σε παγκόσμιο επίπεδο μεθόδους.

Η μέθοδος βασίζεται στις ακόλουθες τρεις παραδοχές (Soil Conservation Service, 1972, Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999):

- Για ένα αρχικό διάστημα  $t_{a0}$ , όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης  $h_{a0}$  μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει

καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Συνεπώς, μετά το χρόνο  $t_{a0}$ , το μέγιστο ενεργό ύψος βροχής  $h_e$  δε δύναται να υπερβεί το δυνητικό μέγεθος  $h-h_{a0}$ , όπου  $h$  το ολικό ύψος βροχής.

- Το επιπλέον, πέραν του αρχικού  $h_{a0}$ , ελλειμματικό ύψος κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης βροχόπτωσης δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή  $S$ , η οποία καλείται μέγιστη δυνητική κατακράτηση (potential maximum retention).
- Σε κάθε χρονική στιγμή  $t > t_{a0}$ , οι λόγοι του ενεργού (καθαρού) ύψους βροχής  $h_e$  και του ελλειμματικού μείον το αρχικό έλλειμμα ( $h-h_{a0}$ ), προς τα αντίστοιχα δυνητικά μεγέθη ( $h-h_{a0}$  και  $S$ , αντίστοιχα), είναι ίσοι.

Με βάση αυτές τις παραδοχές και θεωρώντας ότι  $h_{a0}=0.2S$ , η ενεργή βροχόπτωση εκφράζεται από την Εξίσωση 2.11:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (2.11)$$

Όπου  $h_e$  το ενεργό ύψος βροχής,  $h$  το συνολικό ύψος βροχής και  $S$  η μέγιστη δυνητική κατακράτηση.

Η παράμετρος  $S$  εκτιμάται εμπειρικά μέσα από τον αριθμό καμπύλης απορροής CN. Αρχικά γίνεται κατάταξη των εδαφικών τύπων δεδομένης της διηθητικότητάς τους, με βάση τον παρακάτω Πίνακα της SCS, ο οποίος περιέχεται και στις οδηγίες του ΥΠΕΝ.

Πίνακας 2.1: Κατάταξη εδαφικών τύπων με βάση τη διηθητικότητά τους (πηγή: [floods.ypeka.gr](http://floods.ypeka.gr))

Ομάδα	Περιγραφή
<b>A</b>	Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης (π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου)
<b>B</b>	Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης (π.χ. αμμώδης πηλός)
<b>C</b>	Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης (π.χ. εδάφη με αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό)
<b>D</b>	Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι). Στην ίδια ομάδα περιλαμβάνονται εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους υπο-ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια

Το ΥΠΕΝ έχει αντιστοιχήσει σε κάθε ένα από τα κυριότερα πετρώματα που βρίσκονται στον ελλαδικό χώρο, μία ή περισσότερες ομάδες διηθητικότητας εδάφους (Πίνακας 2.2) όπως επίσης και τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN για κάθε χρήση γης και κάθε ομάδα διηθησιμότητας (Πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.2 : Επικρατούντες υδρολογικοί εδαφικοί τύποι των κυριότερων πετρωμάτων του Ελλαδικού χώρου (πηγή: [floods.ypeka.gr](http://floods.ypeka.gr))

Τύπος	Υφή	Ομάδα
<b>Πλουτώνια πετρώματα</b>		
Γρανίτης	Αμμώδη έως πηλώδη	A
Συηνίτης	Βαρύτερα του γρανίτη	B
Διορίτης	Αργιλώδη ή αργιλοπηλώδη	D
Γάββρος και Περιδοτίτης	Πηλώδη μέχρι αργιλώδη	B, C, D
<b>Εκρηξιγενή πετρώματα</b>		
Διαβάσης	Αργιλώδη	D
Οφείτης	Λεπτή ή μέτρια λεπτή υφή	C, D
Ρυόλιθος	Αμμώδη	A
Τραχείτης	Αμμώδη	A
Ανδεσίτης	Αργιλώδη	D
Βασάλτης	Αργιλώδη	D
<b>Μηχανικά ιζηματογενή πετρώματα</b>		
Αμμόλιθοι και ψαμμίτες	Αμμώδη έως αμμοπηλώδη	A
Κροκαλοπαγή, λατυποπαγή	Αμμοπηλώδη	A
Σχιστή άργιλος, αργιλίτες	Αργιλώδη	D
Φλύσσης Αδριατικοϊόνιας ζώνης και Ωλονού – Πίνδου	Αμμοαργιλώδη έως αργιλώδη	D
Φλύσσης Πίνδου	Ελαφρύτερα της προηγούμενης	B
Φλύσσης Τριπόλεως – Γαβρόβου	Ενδιάμεση υφή μεταξύ των προηγούμενων	C
<b>Χημικά και βιογενή ιζηματογενή πετρώματα</b>		
Σκληροί ασβεστόλιθοι	Αργιλοπηλώδη έως αργιλώδη	D
Ασβεστολιθικές μάργες	Πηλώδη έως αργιλοπηλώδη	C
<b>Μεταμορφωσιγενή πετρώματα</b>		
Γνεύσιος	Αμμοπηλώδη έως πηλώδη	A, B
Σχιστόλιθος (μαρμαρυγιακός)	Αμμοπηλώδη	A
Σχιστόλιθος (σερικιτικός)	Αμμώδη έως πηλοαμμώδη	A
Σχιστόλιθος (χλωριτικός)	Βαρύτερα από τα τρία παραπάνω	B
Αργιλικός σχιστόλιθος ή σχίστης	Βαριά εδάφη	D
Χαλαζίτης	Αμμώδη	A

Πίνακας 2.3 : Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN, ανάλογα με την ομάδα διηθητικότητας του εδάφους και την φυτοκάλυψη που υπάρχει (πηγή: [floods.yrpeka.gr](http://floods.yrpeka.gr))

Κωδικός	Περιγραφή	Ομάδα Διηθησιμότητας			
		A	B	C	D
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	66	77	83	86
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	85	90	93	94
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	69	80	87	90
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	67	76	83	86
221	Αμπελώνες	63	72	79	82
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	44	66	77	83
223	Ελαιώνες	49	59	72	82
231	Λιβάδια	54	70	80	85
241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	67	76	83	86
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	67	76	83	86
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	67	76	83	86
311	Δάσος πλατύφυλλων	35	61	74	80
312	Δάσος κωνοφόρων	35	61	74	80
313	Μικτό δάσος	35	61	74	80
321	Φυσικοί βοσκότοποι	49	69	79	84
322	Θάμνοι και χερσότοποι	42	62	74	80
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	42	62	74	80
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	42	62	74	80
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	42	62	74	80
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	76	86	90	92
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	42	62	74	80
523	Θάλασσες και ωκεανοί	100	100	100	100

Ο αριθμός καμπύλης απορροής υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$CN_{II} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \quad (2.12)$$

Όπου  $A_i$  η έκταση της υποπεριοχής  $i$ ,  $A$  έκταση της συνολικής λεκάνης απορροής και  $CN_i$  ο αριθμός καμπύλης απορροής της υποπεριοχής  $i$ .

Το αποτέλεσμα των παραπάνω υπολογισμών, αναφέρεται σε υγρασιακή κατάσταση τύπου II, δηλαδή αφορά μια μέση κατάσταση του εδάφους. Για τον υπολογισμό του αριθμού καμπύλης απορροής CN υγρασιακής κατάστασης I (ξηρά εδάφη) και III (κορεσμένα εδάφη) γίνεται αναγωγή με βάση τις σχέσεις 2.13 και 2.14, ενώ στον Πίνακα 2.4 αναφέρονται τα αναλυτικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης.



$$CN_I = \frac{0.42 \cdot CN_{II}}{1 - 0.0058 \cdot CN_{II}} \quad (2.13)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 \cdot CN_{II}}{1 + 0.013 \cdot CN_{II}} \quad (2.14)$$

Πίνακας 2.4 : Περιγραφή της προηγούμενης υγρασιακής κατάστασης του εδάφους από την SCS

Προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση	Περιγραφή
Τύπος I	Ξηρές συνθήκες, όπου τα εδάφη είναι ξηρά αλλά η υγρασία τους δεν βρίσκεται στο σημείο μόνιμης μάρανσης. Το σημείο μόνιμης μάρανσης αναφέρεται στο ποσοστό του νερού που υπάρχει στο έδαφος όταν τα φυτά ξεραίνονται οριστικά. Οι ξηρές συνθήκες αντιστοιχούν στην περίπτωση που η βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών είναι μικρότερη από 13 mm (ή μικρότερη των 35 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
Τύπος II	Μέσες συνθήκες, που αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεταξύ 13 και 38 mm (ή μεταξύ 35 και 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).
Τύπος III	Υγρές συνθήκες, όπου τα εδάφη είναι σχεδόν κορεσμένα). Οι συνθήκες αυτές αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών μεγαλύτερη των 38 mm (ή μεγαλύτερη των 53 mm, για φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης), ή χαμηλή βροχόπτωση και χαμηλές θερμοκρασίες.

Τελικά, η μέγιστη δυνητική κατακράτηση είναι:

$$S = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (2.15)$$

Όπου  $CN$  ο αριθμός καμπύλης απορροής. Όπως είναι προφανές, το  $S$  λαμβάνει τρεις διαφορετικές τιμές, ανάλογα με την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους που εξετάζεται κατά περίπτωση.

Σε περιβάλλον GIS, ο υπολογισμός του αριθμού καμπύλης απορροής σε περιοχή με γνωστά δεδομένα χρήσεων γης και γεωλογικών σχηματισμών εδάφους, γίνεται με την παρακάτω μεθοδολογία. Στον χάρτη γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης, αντιστοιχίζεται το ποσοστό ομάδας διηθητικότητας ( $pct_i$ ) με βάση τον Πίνακα 2.2 (για παράδειγμα ο χαλαζίτης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2 ανήκει σε κατηγορία A, επομένως τα ποσοστά που του αντιστοιχούν είναι  $pct_A=100$ ,  $pct_B=0$ ,  $pct_C=0$  και  $pct_D=0$ ). Στη συνέχεια δημιουργείται ένας Πίνακας (LookUpTable) ο οποίος για κάθε χρήση γης και για κάθε ομάδα διηθητικότητας έχει μία συγκεκριμένη τιμή  $CN$  (όπως ο Πίνακας 2.3).

Έπειτα γίνεται ένωση των δύο χαρτών με την εντολή *Union*. Ο νέος χάρτης που προκύπτει έχει σε κάθε σημείο του ορισμένο έναν κωδικό χρήσεως γης και τα ποσοστά εδαφικού τύπου που του αντιστοιχούν.

Τέλος, με χρήση του εργαλείου *Generate CN Grid* του HEC-GeoHMS, προκύπτει ο ψηφιακός χάρτης αριθμού καμπύλης απορροής CN.

## 2.5 Εδαφική Διάβρωση

Η εδαφική διάβρωση είναι η φυσική διεργασία απόσπασης, μεταφοράς και απόθεσης των εδαφικών υλικών, υπό την επίδραση του νερού (βροχόπτωση, επιφανειακή απορροή, πάγος), του ανέμου, της μεταβολής θερμοκρασίας και άλλων φυσικών ή ανθρωπογενών παραγόντων. Για την διερεύνηση του θεωρητικού υπόβαθρου του φαινομένου αντλήθηκαν πληροφορίες από το ερευνητικό πρόγραμμα ΜΕ.Κ.Δ.Ε του ΕΜΠ.

### 2.5.1 Βασικές έννοιες και ορολογία

Χρησιμοποιούνται οι παρακάτω όροι για την ποσοτική περιγραφή του φαινομένου (Ζαρρής κ.α.,2001):

**Καθαρή διάβρωση (Net Erosion):** εκφράζει το ποσοστό των φερτών υλικών που αποκολλούνται από το εδαφικό στρώμα και δεν εναποτίθενται μέσα στην ίδια μονάδα επιφάνειας.

**Ολική διάβρωση (Gross Erosion):** περιγράφει την ποσότητα του υλικού που αποκολλάται από την επιφάνεια του εδάφους, λόγω της επίδρασης της βροχής ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας (μάζα/χρόνος/επιφάνεια)

**Στερεοαπορροή (Sediment Yield):** εκφράζει τη συνολική ποσότητα των φερτών υλικών τα οποία διέρχονται από μία διατομή αναφοράς σε μία καθορισμένη χρονική διάρκεια (μάζα / χρόνος / επιφάνεια). Είναι το φυσικό μέγεθος που εκφράζει και τις τρεις διαδικασίες της εδαφικής διάβρωσης (εδαφική απώλεια, μεταφορά και απόθεση) (Vanoni, 1975).

**Στερεοπαροχή (Sediment Discharge):** είναι ο ρυθμός μεταφοράς των φερτών υλικών που διέρχονται από μία διατομή αναφοράς (μάζα/χρόνος)

**Συντελεστής στερεοαπορροής (Sediment Delivery Ratio):** είναι ο λόγος των φερτών υλικών που μεταφέρθηκαν μέσω της επιφανειακής απορροής μέχρι τη διατομή αναφοράς προς τον όγκο των φερτών που αποκολλήθηκαν από το έδαφος, δηλαδή είναι ο λόγος της στερεοαπορροής προς την ολική διάβρωση. Είναι αδιάστατο μέγεθος και με βάση τον ορισμού του λαμβάνει τιμές μικρότερες της μονάδας.

### 2.5.2 Υδατική διάβρωση

Η υδατική διάβρωση έχει έντονη παρουσία στις ορεινές και λοφώδεις περιοχές της Ελλάδας, συνιστώντας ένα σημαντικό πρόβλημα εδαφικής υποβάθμισης των περιοχών αυτών. Συμβάλει άμεσα στη διαδικασία δημιουργίας και διαμόρφωσης του υδρογραφικού δικτύου. Διακρίνεται σε διάφορους τύπους και εξελίσσεται σε διαφορετικά στάδια, με γνώμονα της πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής στην επιφάνεια του εδάφους, τη συγκέντρωση του νερού και την ταχύτητα ροής.

### 2.5.3 Γενεσιουργοί παράγοντες διάβρωσης

Η πτώση των σταγόνων της βροχής προκαλεί την **διάβρωση διασποράς**, η οποία εκδηλώνεται με την αποκόλληση και την απομάκρυνση σωματιδίων του εδάφους μέσω εκτόξευσης. Από την ταυτόχρονη ενέργεια βροχόπτωσης και επιφανειακής απορροής προκαλείται η **επιφανειακή – φυλλοειδής διάβρωση ή διάβρωση κατά στρώσεις** (Sheet - Interill Erosion) η οποία είναι το αποτέλεσμα δύο φάσεων.



Σχήμα 2.1: Επιφανειακή διάβρωση (πηγή: [www.geo.fu-berlin.de](http://www.geo.fu-berlin.de))

Στην πρώτη φάση (**φάση απόσπασης – soil detachment**) τα εδαφικά σωματίδια αποκολλώνται με την αναπήδηση των σταγόνων της βροχής, ενώ στη δεύτερη φάση (**φάση μεταφοράς**) τα εδαφικά σωματίδια μεταφέρονται μέσω της απορροής. Πρόκειται για μία διαδικασία που γίνεται σε αργούς ρυθμούς, κατά την οποία σταδιακά μειώνεται η διηθητικότητα του εδάφους σε ευρείες επιφάνειες. Αν αυξηθεί σημαντικά η ταχύτητα ροής, το νερό τείνει να συγκλίνει σε κάποια τοπική ταπεινώση του εδάφους και αποκτά μεγαλύτερη διαβρωτική ικανότητα. Τότε εμφανίζεται η **αυλακωτή – αυλακοειδής διάβρωση ή διάβρωση ρυακίων (Rill Erosion)**, η οποία συναντάται κυρίως σε επικλινή καλλιεργημένα εδάφη, όπου σχηματίζονται αυλάκια (συνήθως βάθους 30 – 45 cm), οι λεγόμενες αυλακώσεις.



Σχήμα 2.2 : Αυλακωτή διάβρωση: Οι αυλακωτές πλαγιές της Κρήτης (πηγή [www.voltarakia.gr](http://www.voltarakia.gr))

Με την πάροδο του χρόνου η αυλακωτή διάβρωση εξελίσσεται σε **χαραδρωτική διάβρωση ή διάβρωση χαντακιών (Gully Erosion)**, όπου η συγκέντρωση του νερού σε χαράδρες έχει αυξηθεί αρκετά με αποτέλεσμα το εδαφικό υλικό να απομακρύνεται με ταχείς ρυθμούς σε σημαντικό βάθος αλλά και πλάτος. Το βάθος μίας τυπικής χαραδρωτικής διάβρωσης κυμαίνεται από 0.5 έως 5 m. Το βάθος αυτό σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να ξεπεράσει τα 200 m. Είναι μία ακραία περίπτωση χαραδρωτικής διάβρωσης η οποία καλείται **φαραγγωτή διάβρωση** και σχηματίζεται συνήθως στην κεντρική κοίτη των χειμαρρικών ρευμάτων.



Σχήμα 2.3 : Φαραγγωτή διάβρωση στην Εύβοια: το Φαράγγι της Αγάλης (πηγή: [www.naturagraeca.com](http://www.naturagraeca.com))

### 2.5.3 Ρυθμιστικοί παράγοντες διάβρωσης

Οι ρυθμιστικοί παράγοντες αναφέρονται στη γενικότερη τοπογραφία της περιοχής, και επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τη ρύθμιση της έντασης του φαινομένου της διάβρωσης. Σύμφωνα με τον Ευθυμίου (2016), οι κυριότεροι παράγοντες είναι:

- Φυτοκάλυψη: Η ύπαρξη χλωρίδας προκαλεί σημαντική μείωση της διάβρωσης συμβάλλοντας:
  - στη μείωση της επιφανειακής απορροής μέσω της αύξησης της τραχύτητας (μείωση ταχύτητας ροής) και της διηθητικής ικανότητας του εδάφους
  - στην απορρόφηση της κινητικής ενέργειας της βροχής από τη φυτοκόμη, καθώς επίσης και τη μείωση της πιθανότητας επαφής του νερού με το έδαφος
- Χαρακτηριστικά εδάφους: Η κοκκομετρική σύσταση, η συνεκτικότητα, η δομή κτλ. προκαλούν:
  - μείωση του ρυθμού απόσπασης των κόκκων (ισχυρή δομή, συνεκτικότητα)
  - μείωση της διαβρωτικής και μεταφορικής ικανότητας της ροής (τραχύτητα, μεγάλο μέγεθος κόκκων)
  - μείωση της ποσότητας της απορροής (υψηλή διαπερατότητα)
- Τοπογραφικά χαρακτηριστικά: Οι μεγάλες γωνίες κλίσης (slope gradient) και τα μεγάλα μήκη πλαγιάς (slope length) προκαλούν:

- αύξηση της παροχής που συνεπάγεται αύξηση της διαβρωτικής και μεταφορικής ικανότητας της ροής
- ευκολότερη απόσπαση των εδαφικών κόκκων

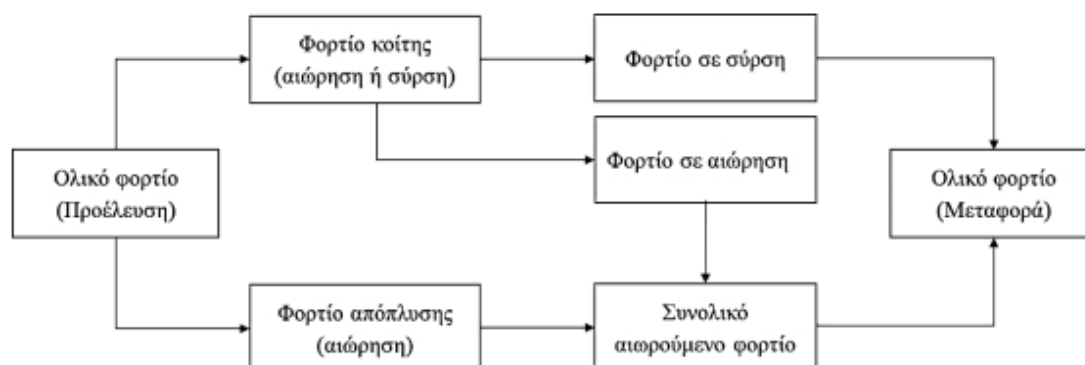
Ένας ακόμη παράγοντας που συνδέεται με την φυτοκάλυψη είναι οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες καταστρέφουν την υπερκείμενη βλάστηση και αφήνουν τα έδαφος εκτεθειμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στον Ελλαδικό χώρο όπου οι δασικές πυρκαγιές έχουν μεγάλη συχνότητα, σε συνδυασμό με το μεσογειακό κλίμα (ξηρά και θερμά καλοκαίρια, χειμώνες με έντονες βροχοπτώσεις), την μεγάλη παρουσία αδιαπέρατων σχηματισμών και το έντονο ανάγλυφο με απότομες κλίσεις η υδατική διάβρωση λαμβάνει πολύ υψηλές τιμές συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου.

#### 2.5.4 Μορφές στερεομεταφοράς

Η διάκριση των φερτών υλικών, σύμφωνα με τους Ζαρρής κ.α. (2001), μπορεί να γίνει ως προς δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας αναφέρεται στον τρόπο μεταφοράς των φερτών. Ως προς τον παράγοντα αυτό διακρίνεται το **φορτίο σε αιώρηση (suspended load)**, όπου τα στερεά υλικά μεταφέρονται με την τύρβη χωρίς καμία επαφή με την κοίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα, και το **φορτίο σε σύρση (bed load)**, όπου τα στερεά υλικά μεταφέρονται σχεδόν σε απόλυτη επαφή με την κοίτη. Όμως, ακόμη και τα φερτά υλικά κοινού μεγέθους και κοινής ορυκτολογικής σύστασης είναι πιθανό να μεταφέρονται είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση, ανάλογα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της περιβάλλουσας ροής (όπως η ταχύτητα ροής). Επομένως, η διάκριση με τους παραπάνω δύο τρόπους δεν είναι μοναδική. Χονδροειδώς μπορεί να θεωρηθεί ότι ως φερτά υλικά σε σύρση είναι εκείνα με μέγεθος άνω των 0.85mm. Η διάκριση αυτή βασίζεται στο κριτήριο που αναφέρει ότι η ταχύτητα καθίζησης γίνεται ίση με τη συρτική ταχύτητα (Bagnold, 1996).

Ο δεύτερος παράγοντας αναφέρεται στην προέλευση των φερτών. Ως προς την προέλευσή τους, τα φερτά υλικά μπορούν να διακριθούν σε **φορτίο κοίτης (bed material load)** και σε **φορτίο απόπλυσης (wash load)**. Το φορτίο κοίτης, το οποίο μπορεί να είναι είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση, αναφέρεται σε φερτά υλικά τα οποία βρίσκονται ήδη στις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου ενώ αποτελεί τη μοναδική πηγή φερτών υλικών σε ξηρές περιόδους. Το φορτίο απόπλυσης παράγεται μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων και προέρχεται από τη διάβρωση της λεκάνης απορροής. Το φορτίο απόπλυσης λόγω του ότι μεταφέρεται μέσω της πλημμυρικής απορροής συνήθως είναι φορτίο σε αιώρηση και είναι πιο εύκολο να μετρηθεί στο πεδίο καθώς είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στη διατομή της κοίτης του ποταμού. Η στερεοπαροχή του φορτίου απόπλυσης σε ένα τμήμα ενός υδατορεύματος εξαρτάται από το ρυθμό που τα φερτά υλικά είναι διαθέσιμα στη λεκάνη απορροής και όχι από τη στερεομεταφορική ικανότητα της ροής. Το φορτίο απόπλυσης ιδιαίτερα στο Μεσογειακό χώρο αποτελεί το συντριπτικό ποσοστό της συνολικής στερεοαπορροής της λεκάνης και μεταφέρεται κατά τη διάρκεια λίγων έντονων πλημμυρικών επεισοδίων το χρόνο.

Στο Σχήμα 2.4 αναφέρονται συνοπτικά οι μορφές στερεομεταφοράς που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 2.4 : Μορφές στερεομεταφοράς (πηγή Ζαρρής κ.α. (2001))

### 2.5.5 Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής

Ο ρόλος των μοντέλων διάβρωσης είναι η εκτίμηση της απώλειας εδάφους, η ανάπτυξη σχεδίων συντήρησης και ο καθορισμός κατευθυντήριων γραμμών με σκοπό τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη αντιδιαβρωτικών έργων υποδομής (Croke et al., 2006)

Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης και της στερεοαπορροής αποτελεί ένα πολυσύνθετο πρόβλημα, καθώς εξαρτάται από πολλές παραμέτρους με στοχαστικό χαρακτήρα και επίσης δεν υπάρχει κάποια αξιόπιστη διαδικασία μέτρησης των συγκεντρώσεων των φερτών σε αιώρηση και κυρίως σε σύρση. Το φορτίο σε αιώρηση μετράται μέσω λήψης και εργαστηριακής ανάλυσης δειγμάτων από το ποτάμι, ενώ το φορτίο σε σύρση μετράται με τη ζύγιση των φερτών τα οποία συλλέγονται (παγιδεύονται) με τη χρήση διάφορων κατασκευών. Η διαδικασία αυτή είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα και ακριβή επειδή ο ρυθμός στερεοπαροχής των φερτών σε σύρση εξαρτάται από την πραγματοποίηση ισχυρών πλημμυρικών επεισοδίων και την προηγούμενη κατάσταση της λεκάνης απορροής. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως αφορούν κυρίως πειραματικές λεκάνες, καθώς σε αυτή την κλίμακα οι φυσικές διεργασίες μετρώνται και γίνονται αντιληπτές πολύ πιο εύκολα (Ζαρρής κ.α., 2001; Βαχαβιώλος, 2014). Οι δύο βασικές κατηγορίες μοντέλων για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης και της στερεοαπορροής είναι τα εμπειρικά και τα προσδιοριστικά μοντέλα. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα προσδιοριστικά μοντέλα εμπεριέχουν και μία βάση εμπειρικών συσχετίσεων που υποβοήθησε στην ανάπτυξή τους. Επομένως, δεν είναι πάντα εφικτός ο σαφής διαχωρισμός των μοντέλων μεταξύ των δύο κατηγοριών (Ραΐσης, 2020).

#### 2.5.5.1 Εμπειρικά μοντέλα

Οι καμπύλες παροχής – στερεοπαροχής (ή καμπύλες μεταφοράς φερτών) καταρτίζονται από ταυτόχρονες μετρήσεις παροχής και στερεοπαροχής σε μία

συγκεκριμένη διατομή του υδατορέματος και περιγράφονται από μία εξίσωση της μορφής:

$$Q_s = aQ_b \quad (2.15)$$

Όπου  $Q_s$  η στερεοπαροχή,  $Q$  η παροχή και  $a$ ,  $b$  οι παράμετροι που προκύπτουν από τη συσχέτιση των δύο μεγεθών. Έχουν γίνει έρευνες για τη συσχέτιση της στερεοαπορροής και με άλλους παράγοντες, όπως γεωλογικούς – γεωμορφολογικούς. Στον Ελλαδικό χώρο, οι Κουτσογιάννης και Ταρλά (1987) συσχέτισαν τη στερεοαπορροή με το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής και τη βροχοπτώση, σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$G = 15 \cdot \gamma \cdot e^{3P} \quad (2.16)$$

$$\gamma = K_1 \cdot p_1 + K_2 \cdot p_2 + K_3 \cdot p_3 \quad (2.17)$$

όπου  $G$  η μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση<sup>1</sup> ( $t \cdot km^{-2}$ ),  $\gamma$  ο γεωλογικός συντελεστής,  $P$  η μέση ετήσια βροχοπτώση (m),  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  οι συντελεστές διαβρωσιμότητας και  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  το ποσοστό εμφάνισης των αντίστοιχων πετρωμάτων στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Οι τιμές των συντελεστών διαβρωσιμότητας  $K$  εκτιμώνται με βάση τον Πίνακα 2.5:

Πίνακας 2.5 : Τιμές συντελεστών διαβρωσιμότητας  $K$  της σχέσης Κουτσογιάννη - Ταρλά

Διαβρωσιμότητα	Γεωλογικός Σχηματισμός	$K$
Υψηλή	Αλλούβια, Φλύσχης	$K_1 = 1.0$
Μέτρια	Μάργες, Ψαμμίτες, Σχιστόλιθοι	$K_2 = 0.5$
Χαμηλή	Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες, Μεταμορφωμένα, Εκρηξιγενή	$K_3 = 0.1$

Μία παρόμοια προσέγγιση έκαναν και οι Dendy και Bolton (1976) στις ΗΠΑ. Χρησιμοποιώντας δεδομένα 800 λεκανών απορροής του Αμερικανικού χώρου, συσχέτισαν την στερεοαπορροή με την απορροή και την έκταση της λεκάνης. Προέκυψε η παρακάτω εξίσωση:

$$S_Y = \begin{cases} 1965 \cdot Q^{0.46} \cdot [1.43 - 0.11 \cdot \log(A)], & \text{για } Q \leq 5 \text{ cm} \\ 1958 \cdot e^{-0.14Q} \cdot [1.43 - 0.11 \cdot \log(A)], & \text{για } Q > 5 \text{ cm} \end{cases} \quad (2.18)$$

όπου  $S_Y$  η μέση ετήσια στερεοαπορροή ( $t \cdot km^{-2}$ ),  $Q$  η μέση ετήσια απορροή (cm) και  $A$  η έκταση της λεκάνης απορροής ( $km^2$ ).

Το μοντέλο USLE αποτελεί το πιο διαδεδομένο μοντέλο εδαφικής διάβρωσης. Αναπτύχθηκε από την αξιοποίηση δεδομένων πεδινών λεκανών των ΗΠΑ, βασιζόμενο

<sup>1</sup> Στην περίπτωση ορεινής λεκάνης απορροής (με μεγάλες κλίσεις), γίνεται προσαύξηση της τάξεως του 50% προκειμένου να ληφθούν υπόψιν τα φερτά που μεταφέρονται σε σύρση (Κουτσογιάννης, 2001)

σε εμπειρικές συσχετίσεις εκτίμηση διάφορων παραγόντων. Σήμερα, γίνεται χρήση των αναθεωρημένων εκδόσεών του .

Στον Ευρωπαϊκό χώρο, βασιζόμενο σε δεδομένα λεκανών απορροής των Βαλκανίων καταρτίστηκε το μοντέλο Gavrilovic το 1972. Πρόκειται για ένα παραμετρικό μοντέλο το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης σε ετήσια κλίμακα. Η μέθοδος αναπτύχθηκε αρχικά για την προστασία καλλιεργούμενων εκτάσεων από τη διάβρωση και τον έλεγχο των ρεμάτων.

Βασικό μειονέκτημα των εμπειρικών μοντέλων είναι η θεώρηση μονιμότητας των επιμέρους συντελεστών σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Αυτό φυσικά δεν ισχύει, και έτσι σε περίπτωση αλλαγών στο σύστημα είναι δόκιμο να γίνει εκ νέου συλλογή δεδομένων και επαναπροσδιορισμός των συντελεστών των μοντέλων αυτών.

### 2.5.5.2 Προσδιοριστικά μοντέλα

Οι αδυναμίες των εμπειρικών μοντέλων και της ικανότητας τους να περιγράψουν μαθηματικά το φυσικό φαινόμενο της στερεοαπορροής, οδήγησε στην ανάπτυξη προσδιοριστικών μοντέλων προσομοίωσης της εδαφικής απώλειας και της στερεοαπορροής, τα οποία μπορεί να είναι είτε φυσικά θεμελιωμένα (Flanagan and Nearing, 1995, Wicks and Bathurst, 1996) είτε εννοιολογικά (ή παραμετρικά) (Singh, 1983, Hrissanthou, 1988).

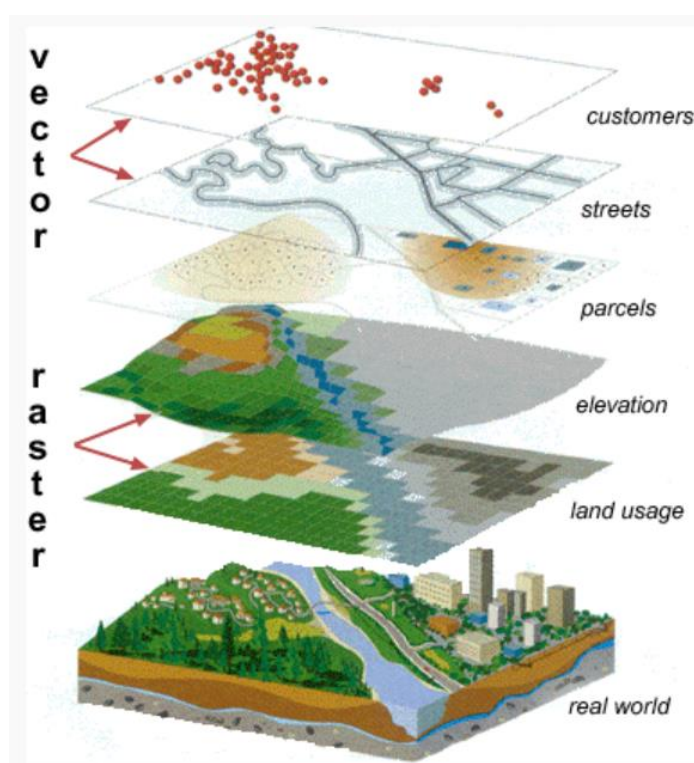
Τα πιο ευρέως διαδεδομένα προσδιοριστικά ομοιώματα είναι το Water Erosion Prediction Method (WEPP) το οποίο προτάθηκε από τους Flanagan and Nearing το 1995, το μοντέλο CREAMS (Knisel, 1980), το μοντέλο KINEROS (Woolhiser et al., 1990), το μοντέλο WGHM (Walnut Gulch Hydrologic Method) (Lane and Nichols, 1997), το μοντέλο ANSWERS (Beasley and Huggins, 1980), το μοντέλο EUROSEM (European Soil Erosion Model) (Morgan et al., 1998) και το μοντέλο SHETRAN (Wicks and Bathurst, 1996). Το τελευταίο αποτελεί ίσως το πιο αξιόπιστο, σύγχρονο αλλά και πολυσύνθετο μοντέλο εκτίμησης της στερεοαπορροής κυρίως γιατί βασίζεται στην υδρολογική πλατφόρμα του πολύ γνωστού υδρολογικού μοντέλου Systeme Hydrologique Europeen (SHE) (Abbott et al., 1986a,b).



### 3. Επιλογή Μεθόδων και Εργαλείων

#### 3.1 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών – Λογισμικό ArcGIS

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) παρέχουν τη δυνατότητα του συνδυασμού πολλών επιπέδων πληροφορίας και την εξαγωγή ψηφιακών χαρτών. Χρησιμοποιούνται ευρέως για την υδρολογική ανάλυση λεκανών απορροής καθώς τα δεδομένα που επεξεργάζονται φέρουν χωρική πληροφορία. Παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και είναι εύκολα στην εφαρμογή.



Σχήμα 3.1 : Διαφορετικά στρώματα πληροφορίας GIS και ο συνδυασμός τους (πηγή: <https://www.ncei.noaa.gov/>)

Για τη γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης έγινε χρήση της επέκτασης Hec-GeoHMS του ArcMap. Με δεδομένο το ΨΜΕ της περιοχής, οι λεκάνες απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο προκύπτουν από την παρακάτω μεθοδολογία εννιά βημάτων:

- i. Διόρθωση βυθισμάτων (**Fill Sinks**): Διόρθωση των κοιλοτήτων του ΨΜΕ.
- ii. Διεύθυνση ροής (**Flow Direction**): Προσδιορισμός κατεύθυνσης ροής, βάσει του αλγορίθμου 8 σημείων (σε ένα κανάβο κάθε σημείο περιβάλλεται από 8 άλλα σημεία, επομένως η διεύθυνσή του έχει 8 πιθανές κατευθύνσεις).
- iii. Συσσώρευση ροής (**Flow Accumulation**): Προσδιορισμός πλήθους ανάντη κελιών που απορρέουν σε κάθε κελί.

- iv. Ορισμός ρέματος (**Stream Definition**): Με βάση μία τιμή που δίνει ο χρήστης (threshold) παράγονται τα επιμέρους ρέματα της περιοχής μελέτης.
- v. Τμηματοποίηση ρέματος (**Stream Segmentation**): Τμηματοποίηση του υδατορέματος μεταξύ δύο διαδοχικών συμβολών.
- vi. Οριοθέτηση των λεκανών απορροής (**Catchment Grid Delineation**): Προσδιορισμός της υδρολογικής λεκάνης κάθε τμήματος που υπολογίστηκε στο βήμα v.
- vii. Επεξεργασία των λεκανών απορροής (**Catchment Polygon Processing**): Δημιουργία αρχείου .shp με τις λεκάνες απορροής που ορίζονται στο βήμα vi.
- viii. Επεξεργασία υδατορέματος (**Drainage line processing**): Δημιουργία αρχείου .shp με το υδρογραφικό δίκτυο που ορίζεται στο βήμα iv
- ix. Άθροιση υπολεκάνων (**Adjoint Catchment Processing**): Άθροιση των ανάντη υπολεκάνων κάθε συμβολής ποταμού. Είναι ένα απαιτούμενο βήμα προκειμένου να μειωθεί ο υπολογιστικός χρόνος και να βελτιωθεί το αποτέλεσμα. Αυτό το βήμα δεν έχει κάποια υδρολογική σημασία.

Το υδρογραφικό δίκτυο που υπολογίζεται από την παραπάνω διαδικασία, παρουσιάζει τοπικά σφάλματα στα σημεία που διασταυρώνεται με τεχνικά έργα όπως γέφυρες. Η πληροφορία που εξάγεται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους αφορά το υψόμετρο της γέφυρας στο σημείο διασταύρωσης, και όχι της κοίτης του ποταμού. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί από τη μηκοτομή του κύριου υδατορέματος, η οποία παρουσιάζει τοπικές αυξήσεις στα σημεία που οι κλάδοι του ποταμού συναντώνται με γέφυρες. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, γίνεται κατάλληλη διόρθωση του υδατορέματος μέσω του *Editor*. Στη συνέχεια γίνεται 'κάψιμο του ΨΜΕ' (*DEM Reconditioning*) και επαναλαμβάνονται όλα τα παραπάνω βήματα με το διορθωμένο αυτή τη φορά ΨΜΕ.

### 3.2 Υδρολογική προσομοίωση – Λογισμικό HEC-HMS

Το HEC-HMS αποτελεί μια πλατφόρμα διασύνδεσης μοντέλων για τον υπολογισμό διάφορων υδρολογικών παραμέτρων και περιλαμβάνει:

- Μοντέλο λεκάνης απορροής (Basin Model)
- Μετεωρολογικό μοντέλο (Meteorological Model Manager)
- Μοντέλο υπολογισμού απωλειών
- Μοντέλο υπολογισμού επιφανειακής απορροής
- Μοντέλο υπολογισμού βασικής απορροής
- Μοντέλο υδρολογικής διόδευσης

Τα απαιτούμενα δεδομένα εισόδου, με τα σχετικά Κεφάλαια στα οποία αναφέρονται περισσότερα στοιχεία είναι:

- i. Η έκταση της εξεταζόμενης υπολεκάνης, όπως προέκυψε από το ArcMap μετά από την διαδικασία των εννιά βημάτων που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.1 και την επιλογή σημείου εξόδου (Κεφάλαιο 5.2).
- ii. Η ενεργή βροχόπτωση και ο αριθμός καμπύλης απορροής CN, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου SCS-CN (Κεφάλαιο 2.4).
- iii. Η αδιαπερατότητα της περιοχής μελέτης (αναφέρεται στο Κεφάλαιο 5.2).

- iv. Ο χρόνος υστέρησης της αιχμής (Εξίσωση 2.10).
- v. Το υετόγραμμα σχεδιασμού που καταρτίζεται σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2.3.
- vi. Η μέση μηνιαία βασική παροχή ποταμού (αναφέρεται στο Κεφάλαιο 5.2).

### 3.3 Υδραυλική προσομοίωση – Λογισμικό HEC-RAS

Το λογισμικό HEC-RAS αναπτύχθηκε από την USACE, είναι ελεύθερο για χρήση και χρησιμοποιείται για την υδραυλική ανάλυση ποταμών. Το πρόγραμμα, δίνει τις δυνατότητες για:

- Μονοδιάστατη (1d) προσομοίωση ομοιόμορφης ροής (εξισώσεις Saint-Venant)
- Συνδυασμένη μονοδιάστατη (1d) και δισδιάστατη (2d) προσομοίωση ανομοιόμορφης ροής, η οποία στηρίζεται στις εξισώσεις συνέχειας (Αρχή Διατήρησης Μάζας) και ποσότητας κίνησης (Αρχή Διατήρησης Ορμής)
- Ανάλυση μεταφοράς ιζήματος
- Μοντελοποίηση θερμότητας και ποιότητας νερού

Η μονοδιάστατη (1D) ανάλυση ενδείκνυται σε περιπτώσεις συστημάτων ανοιχτών αγωγών με καθορισμένη διατομή, και σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο οι οποίες έχουν μικρό πεδίο κατάκλισης πλημμύρας. Η ύπαρξη μετρήσεων διατομών είναι απαραίτητη προκειμένου να γίνει ακριβής περιγραφή του υδατορέματος και της περιοχής μελέτης γενικότερα. Τα τεχνικά έργα της περιοχής προσομοίωσης μπορούν να εισαχθούν στη μονοδιάστατη ανάλυση, οδηγώντας σε πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Η συνδυασμένη μονοδιάστατη (1d) - δισδιάστατη (2d) ανάλυση ενδείκνυται σε περιπτώσεις συστημάτων που περιλαμβάνουν αστικό και μη αστικό ιστό. Η μονοδιάστατη ανάλυση γίνεται εντός του υδρογραφικού δικτύου, ενώ η δισδιάστατη ανάλυση γίνεται στις χαμηλές κλίσεις (πεδινές εκτάσεις) και στο πλημμυρικό πεδίο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, γίνεται χρήση της συνδυασμένης 1d-2d ανάλυσης στα πλαίσια της υδραυλικής προσομοίωσης επιλεγμένων λεκανών. Τα δεδομένα που εισήχθησαν και τα σχετικά Κεφάλαια - Παραρτήματα στα οποία αναφέρονται περισσότερες πληροφορίες, είναι:

- i. Το επεξεργασμένο ΨΜΕ (όπως προέκυψε από την δεύτερη εφαρμογή της μεθοδολογίας των 9 βημάτων, η οποία αναλύεται στο Κεφάλαιο 3.1)
- ii. Οι χρήσεις γης της εξεταζόμενης λεκάνης, για να γίνει αντιστοίχιση με τον αριθμό Manning n
- iii. Το πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης (όπως προέκυψε από την εφαρμογή του μοντέλου HEC-HMS)

### 3.4 Μέθοδος Gavrilovic

Ο Gavrilovic το 1962, ξεκίνησε αναλυτικές μελέτες για την περιοχή των Δανειρικών Άλπεων (Σερβία), οι οποίες κράτησαν περίπου 20 χρόνια, προκειμένου να κατανοήσει και να μοντελοποιήσει το φαινόμενο της εδαφικής διάβρωσης και της στερεομεταφοράς. Το μοντέλο Gavrilovic (ή μοντέλο EPM) είναι εμπειρικό και αποτελείται από μία εξίσωση. «Η εξίσωση προέκυψε από το συνδυασμό πληροφοριών που προήλθαν από την επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης, την επίβλεψη πειραματικών λεκανών απορροής ποσοτικοποίησης της διάβρωσης χωροθετημένες σε διαφορετικές τοποθεσίες της πρώην Γιουγκοσλαβίας, ενώ ενισχύθηκε από εργαστηριακές εργασίες.» (Ευθυμίου, 2016). Σήμερα, χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση της διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής χειμαρρικών ρεμάτων και την εκτίμηση στερεομεταφοράς.

Η απλότητα των απαιτούμενων δεδομένων καθιστά πολύ εύκολη την εφαρμογή του μοντέλου. Η εφαρμογή του γίνεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής, ενώ έχει τη δυνατότητα υπολογισμού όλων των σημαντικών διαδικασιών διάβρωσης, όπως η επιφανειακή ή φυλλοειδής, η αυλακωτή, η χαραδρωτική και η ποτάμια διάβρωση, οι κατολισθήσεις και η απόθεση των κατολισθήσεων (Blinkov I. και Kostadinov S., 2010). Ωστόσο, κάποιες σημαντικές μεταβλητές όπως η κοκκομετρική σύσταση και η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη δεν λαμβάνονται υπόψιν, μιας και τα χαρακτηριστικά του εδάφους περιγράφονται μέσω της λιθολογίας.

Η βασική εξίσωση του μοντέλου Gavrilovic (1962, 1970, 1972) είναι:

$$w = \pi \cdot T \cdot P \cdot \sqrt{Z^3} \quad (3.1)$$

Όπου  $w$  ο μέσος ετήσιος όγκος εδαφικής διάβρωσης ( $m^3 \cdot km^{-2} \cdot y^{-1}$ ),  $T$  ο συντελεστής θερμοκρασίας,  $P$  η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) και  $Z$  ο συντελεστής διάβρωσης του εδάφους.

Ο συντελεστής θερμοκρασίας του μοντέλου Gavrilovic, ορίζεται ως:

$$T = \sqrt{\left(0.1 + \frac{T_o}{10}\right)} \quad (3.2)$$

Όπου  $T_o$  η μέση ετήσια θερμοκρασία ( $^{\circ}C$ ).

Ο συντελεστής διάβρωσης του εδάφους  $Z$ , εκτιμάται από την εξίσωση 3.3:

$$Z = X \cdot Y \cdot (\varphi + \sqrt{J}) \quad (3.3)$$

Όπου  $X$  συντελεστής που εκφράζει την προστασία που προσδίδει η φυτοκάλυψη έναντι της εδαφικής διάβρωσης,  $Y$  συντελεστής που εκφράζει την ανθεκτικότητα των πετρωμάτων έναντι της εδαφικής διάβρωσης,  $\varphi$  κανονικοποιημένος συντελεστής με μέγιστη τιμή το 1 που εκφράζει το βαθμό και το είδος της υφιστάμενης διάβρωσης και  $J$  η μέση κλίση της λεκάνης ( $\%$ )<sup>2</sup>. Για τον προσδιορισμό των συντελεστών γίνεται χρήση των παρακάτω πινάκων, οι οποίοι συναντώνται στη βιβλιογραφία (Κωτούλας,

<sup>2</sup> Σε περιβάλλον GIS δεν αρκεί μόνο ο υπολογισμός της κλίσης σε ποσοστό, αλλά απαιτείται και η διαίρεση με το 100 για τον υπολογισμό του συντελεστή  $Z$

2001), ενώ η μέση κλίση της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής προκύπτει έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία του ΨΜΕ.

Πίνακας 3.1 : Συντελεστής Χ μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κοτούλας, 2001)

α/α	Κατάσταση Λεκάνης και Είδος Φυτοκάλυψης	X
<b>ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ</b>		
1	Έδαφος πλήρως υποβαθμισμένο, μη καλλιεργήσιμο	1.00
2	Αγροί καλλιεργούμενοι με κλιτείς	0.90
3	Αμπελώνες χωρίς βλάστηση στο έδαφος	0.70
4	Υποβαθμισμένες δασοσυστάδες και θαμνώνες με υποβαθμισμένο έδαφος	0.60
5	Λιβάδια, αγροί με τριφύλλι και άλλες παρόμοιες καλλιέργειες	0.40
6	Εκτεταμένες δασοσυστάδες και θαμνώνες σε καλή κατάσταση	0.05
<b>ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ</b>		
1	Διευθετημένες κοίτες με φράγματα	0.70
2	Αγροί καλλιεργημένοι συχνά κατά τις ισοΰψεις	0.63
3	Αγροί καλά καλλιεργούμενοι	0.54
4	Αγροί καλλιεργημένοι κατά λωρίδες οριζόντιες	0.45
5	Αγροί βαθμιδωμένοι	0.36
6	Αμπελώνες κατά τις ισοΰψεις	0.32
7	Υποβαθμισμένα εδάφη μετά από αναχλόαση, βελτιωμένα λιβάδια	0.30
8	Εδάφη με αγωγούς ανάσχεσης και συγκράτησης του νερού	0.27
9	Εδάφη λεκανών με αναδασώσεις συνοδευόμενες και από βαθμίδωση του εδάφους	0.10
<b>ΜΟΡΦΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ</b>		
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	0.20-0.40
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 3.2 : Συντελεστής Υ μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κοτούλας, 2001)

α/α	Είδος Πετρώματος και Υπεδάφους	Υ
1	Σκληρά πετρώματα, ανθεκτικά στη διάβρωση	0.20-0.60
2	Πετρώματα μετρίως ανθεκτικά στη διάβρωση	0.60-1.00
3	Εύθρυπτα πετρώματα	1.00-1.30
4	Αποθέσεις, μορένες, άργιλοι, ψαμμόλιθοι και άλλα λιγότερο ανθεκτικά πετρώματα	1.30-1.80
5	Πολύ ευαίσθητα στη διάβρωση πετρώματα και εδάφη	1.80-2.00

Πίνακας 3.3 : Συντελεστής  $\phi$  μοντέλου Gavrilovic (Πηγή: Κοτούλας, 2001)

α/α	Είδος και Βαθμός Διάβρωσης Λεκάνης	$\phi$
1	Ασθενής διάβρωση	0.10-0.20
2	Επιφανειακή διάβρωση στα 25-50% της λεκάνης	0.30-0.50
3	Επιφανειακή διάβρωση, ολισθήσεις και αποθέσεις, καρστική διάβρωση	0.60-0.70
4	Το 50-80% της λεκάνης είναι υποβαθμισμένο από χαραδρώσεις και ολισθήσεις	0.80-0.90
5	Πλήρης υποβάθμιση από έντονες διαβρώσεις	0.90-1.00

Πίνακας 3.4 : Ταξινομημένος συντελεστής  $Z$  του μοντέλου Gavrilovic, με βάση το επίπεδο διάβρωσης (πηγή: Gavrilovic Z. et al., 2004)

Κατηγορία Διάβρωσης	Ποιοτική Κατηγοριοποίηση Διάβρωσης	$Z$
I	Εκτενής διάβρωση – βαθιές διεργασίες διάβρωσης (χαραδρώσεις, ολισθήσεις και παραπλήσια)	>1.00
II	Εντονότερες ή ηπιότερες μορφές εκτενούς διάβρωσης	0.71-1.00
III	Μέτρια διάβρωση	0.41-0.70
IV	Ήπια διάβρωση	0.20-0.40
V	Μηδαμινή διάβρωση	<0.19

### 3.4.1 Συντελεστής κατακράτησης $R$

Ο Gavrilovic (1962) όρισε τον συντελεστή κατακράτησης  $R$  ως εξής:

$$R = \frac{G}{w} \quad (3.4)$$

όπου  $R$  ο συντελεστής κατακράτησης, που λαμβάνει τιμές από 0.00 έως 1.00,  $G$  η μέση ετήσια στερεοαπορροή στην έξοδο της εξεταζόμενης λεκάνης και  $w$  η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση εντός της λεκάνης απορροής.

Στο μοντέλο Gavrilovic, προτείνεται η εξίσωση:

$$R_{Gavrilovic} = \frac{4 \cdot \sqrt{O \cdot D}}{L + 10} \quad (3.5)$$

Όπου  $O$  το μήκος υδροκρίτη (km),  $D$  η μέση υψομετρική απόσταση της λεκάνης απορροής (km) και  $L$  το μήκος του κύριου υδατορέματος που διατρέχει τη λεκάνη απορροής (km).

Λίγα χρόνια αργότερα, ο Zemljic (1971) παρατήρησε ότι η εξίσωση 3.5 τείνει να υπερεκτιμά το συντελεστή κατακράτησης  $R$ , επιστρέφοντας μερικές φορές τιμές ακόμη και μεγαλύτερες της μονάδας (Milanesi et al, 2015). Πρότεινε λοιπόν την αντικατάσταση του συντελεστή  $R$  με την παρακάτω εξίσωση (3.6), η οποία συναντάται στη βιβλιογραφία ως τροποποίηση κατά Zemljic:

$$R_{Zemljic} = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{(L + 10)} \cdot \frac{(L + L_i)}{F} \quad (3.6)$$

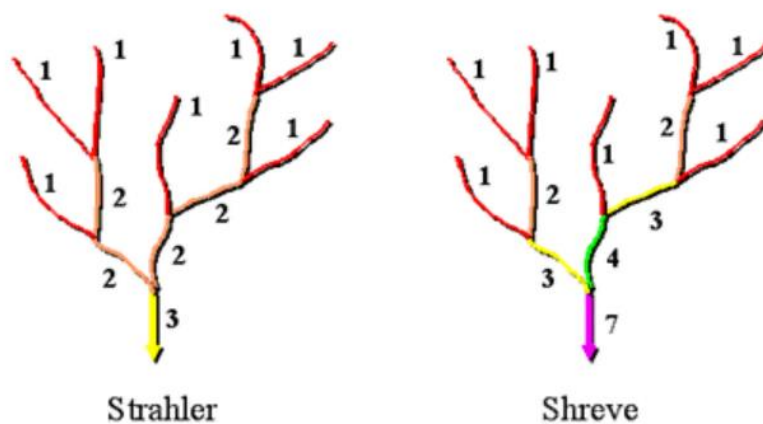
όπου  $O$  το μήκος υδροκρίτη (km),  $D$  η μέση υψομετρική απόσταση της λεκάνης απορροής (km),  $L$  το μήκος του κύριου υδατορέματος (km),  $L_i$  το μήκος των παραποτάμων δεύτερης τάξεως (km) και  $F$  η επιφάνεια της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>).

Η επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης χωρίζεται σε  $n$  ζεύγη ισοϋψών και έτσι σύμφωνα με τους Globevnik et al (2003) η μέση υψομετρική απόσταση της εξεταζόμενης λεκάνης, δίνεται από την εξίσωση 3.7:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n f_i \cdot h_i}{F} - H_{min} \approx H_{mean} - H_{min} \quad (3.7)$$

όπου  $f_i$  η επιφάνεια μεταξύ δύο ισοϋψών (km<sup>2</sup>),  $h_i$  το μέσο υψόμετρο μεταξύ των δύο ισοϋψών (m),  $F$  η επιφάνεια όλης της λεκάνης απορροής (km<sup>2</sup>),  $H_{min}$  το χαμηλότερο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m) και  $H_{mean}$  το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (m).

Για το μήκος των δευτερευόντων παραποτάμων του συντελεστή κατακράτησης κατά Zemilic, γίνεται ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου. Οι δύο πιο διαδεδομένες μέθοδοι προτάθηκαν από τους Strahler (1952) και Shreve (1967), η δεύτερη μάλιστα είναι παρόμοια με την μέθοδο κατάταξης κατά Horton (1945). Ο Strahler θεωρεί ως ρέματα 1<sup>ης</sup> τάξεως αυτά που δεν έχουν καμία διακλάδωση, σαν 2<sup>ης</sup> τάξεως αυτά τα οποία έχουν κλάδους 1<sup>ης</sup> τάξεως, κ.ο.κ., ενώ ο Shreve αθροίζει τα ρέματα κάθε φορά, με αποτέλεσμα το τελικό κύριο υδατόρεμα να έχει μεγάλο αριθμό τάξης (Μιμίκου, Μπαλτάς, 2012). Η βαθμονόμηση των ρεμάτων για τις δύο μεθόδους, περιγράφεται από το Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 : Βαθμονόμηση ρεμάτων κατά Strahler και Shreve (Πηγή [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/printBooks\\_topics.cfm?pid=6050](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/printBooks_topics.cfm?pid=6050))

### 3.5 RUSLE

Το μοντέλο RUSLE, με θεμελιωτές τους Renard και Foster (1991) αποτελεί μία αναθεωρημένη έκδοση του μοντέλου USLE. Εκτιμά την εδαφική απώλεια που προκαλείται από επιφανειακή και αυλακωτή διάβρωση, χωρίς να συμπεριλαμβάνει τις επιπτώσεις της συγκεντρωμένης απορροής (χαραδρωτή – παραγωγική διάβρωση) (Ραΐσης, 2020).

Η βασική εξίσωση του μοντέλου RUSLE είναι της μορφής:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (3.8)$$

όπου  $A$  η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση ( $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ),  $R$  ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ),  $K$  ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ),  $L$  ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης,  $C$  ο συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης και  $P$  ο συντελεστής προστασίας του εδάφους έναντι της διάβρωσης .

#### 3.5.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, $R$

Έχουν αναπτυχθεί τόσο αναλυτικές όσο και εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$ . Σύμφωνα με τους Renard και Freimund (1994), είναι η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη βαρύτητα του μοντέλου RUSLE.

##### 3.5.1.1 Αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή $R$

«Η ενέργεια της βροχόπτωσης, μεμονωμένα, δεν αποτελεί καλό δείκτη της διαβρωτικής ικανότητας της, καθώς μια μεγάλης διάρκειας και μικρής έντασης καταιγίδα μπορεί να έχει την ίδια ενέργεια με μια καταιγίδα μικρότερης διάρκειας αλλά μεγαλύτερης έντασης» (Ευθυμίου, 2016).

Ο ακριβής υπολογισμός του συντελεστή απαιτεί αναλυτικά δεδομένα βροχόπτωσης μικρής χρονικής κλίμακας (από 1 έως 60 λεπτά) για μεγάλη χρονική περίοδο, τα οποία συνήθως δεν είναι διαθέσιμα. Ο ακριβέστερος υπολογισμός του συντελεστή αυτού για ένα επεισόδιο βροχόπτωσης, σύμφωνα με τους Wischmeier και Smith (1957) επιτυγχάνεται με τη χρήση του δείκτη διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $EI_{30}$ , ως εξής:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{k=1}^m (E \cdot I_{30})_k \right]_j \quad (3.9)$$

όπου  $R$  ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ),  $n$  τα έτη των διαθέσιμων μετρήσεων,  $m$  τα επεισόδια βροχοπτώσεων ενός δεδομένου έτους,  $E$  η κινητική ενέργεια της βροχόπτωσης ( $MJ \cdot ha^{-1}$ ) και  $I_{30}$  η μέγιστη ένταση μισάωρου ( $mm \cdot h^{-1}$ ). Ο δείκτης διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ενός επεισοδίου, ορίζεται ως:

$$EI_{30} = \left( \sum_{r=1}^m e_r \cdot v_r \right) I_{30} \quad (3.10)$$



Όπου  $e_r$  η ειδική κινητική ενέργεια του επιμέρους διαστήματος επεισοδίου βροχόπτωσης ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ),  $m$  τα επιμέρους διαστήματα επεισοδίου βροχής με σταθερή βροχόπτωση, και  $v_r$  το ύψος βροχόπτωσης του επιμέρους διαστήματος  $r$  (mm).

Για τον υπολογισμό της κινητικής ενέργειας της βροχόπτωσης κάθε επιμέρους διαστήματος, ο Kinnel πρότεινε λίγο νωρίτερα (1981) μια εξίσωση της μορφής:

$$e = e_{max} \cdot (1 - \alpha \cdot e^{-b \cdot i}) \quad (3.11)$$

Όπου  $e_{max}$  η μέγιστη κινητική ενέργειας καθώς η ένταση πλησιάζει το άπειρο,  $a$  και  $b$  αδιάστατοι συντελεστές. Έγιναν μελέτες σε διάφορες περιοχές ανά το κόσμο, και παρατηρήθηκε ότι οι συντελεστές  $a$  και  $b$  παρουσιάζουν μεταβλητότητα. Οι Brown και Foster (1987), βασισμένοι στη δουλειά των McGregor και Mutchler (1976) για τους συντελεστές  $a$  και  $b$  και του Rosewell (1993) για το  $e_{max}$  πρότειναν τις τιμές 0.72, 0.05 και 0.29 αντίστοιχα, διαμορφώνοντας τελικά την εξίσωση 3.11 ως:

$$e = 0.29 \cdot (1 - 0.72 \cdot e^{-0.05 \cdot i}) \quad (3.12)$$

Όπου  $i$  η ένταση της βροχόπτωσης του επιμέρους διαστήματος ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

### 3.5.1.2 Εμπειρικός υπολογισμός του συντελεστή R

Σύμφωνα με τους Ghosal et al (2020), ο συντελεστής R διακρίνεται από μεγάλη μεταβλητότητα, λόγω των διαφορετικών κλιματικών ζωνών. Σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα, υπάρχει εποχικό υετολογικό καθεστώς, με ξηρά καλοκαίρια και υγρούς χειμώνες. Σε περιοχές με μικρή μέση ετήσια βροχόπτωση (κάτω των 500 mm), το Ινστιτούτο Φυσικής Προστασίας της Ισπανίας ICONA (Instituto para la Conservación de la Naturaleza) (1988) προτείνει την εξίσωση 3.13:

$$R = 10 \cdot f \cdot P \cdot I_{1,2} \cdot I_{24,2} \quad (3.13)$$

Όπου  $f$  συντελεστής ζώνης με τιμή 0.00035,  $P$  η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής μελέτης (mm),  $I_{1,2}$  και  $I_{24,2}$  η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης 1-ώρας και 24-ωρών αντίστοιχα, με περίοδο επαναφοράς 2 έτη.

Ο Zanchi C., καθηγητής του Πανεπιστημίου της Φλωρεντίας, αξιοποιώντας βροχομετρικά δεδομένα 25 σταθμών της Ιταλίας, συσχέτισε τον συντελεστή R με τη μέση ετήσια βροχόπτωση με βάση τη παρακάτω εξίσωση, η οποία συναντάται στη βιβλιογραφία ως «Εξίσωση της Τοσκάνης»:

$$R = a \cdot P \quad (3.14)$$

Όπου  $a$  συντελεστής με τιμές 1.1 έως 1.5, και  $P$  η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm). Ο Zanchi δεν δημοσίευσε τα αποτελέσματα των μελετών του, αλλά τα προσέφερε στους Van et al (2000). Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, κυμαίνονται από 600 έως 1200 mm.

Μία νέα εξίσωση εκτίμησης του συντελεστή R στον Ιταλικό χώρο, ήρθε να δώσει την επόμενη χρονιά (2001) ο Sorrentino, σύμφωνα με τον οποίο:

$$R = \frac{1163.45 + 4.9H - 35.2NGP - 0.58q}{100} \quad (3.15)$$

Όπου  $H$  η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm),  $NGP$  ο μέσος όρος των βροχερών ημερών του έτους και  $q$  η ανύψωση από το σημείο όπως προκύπτει από το MSL(?)

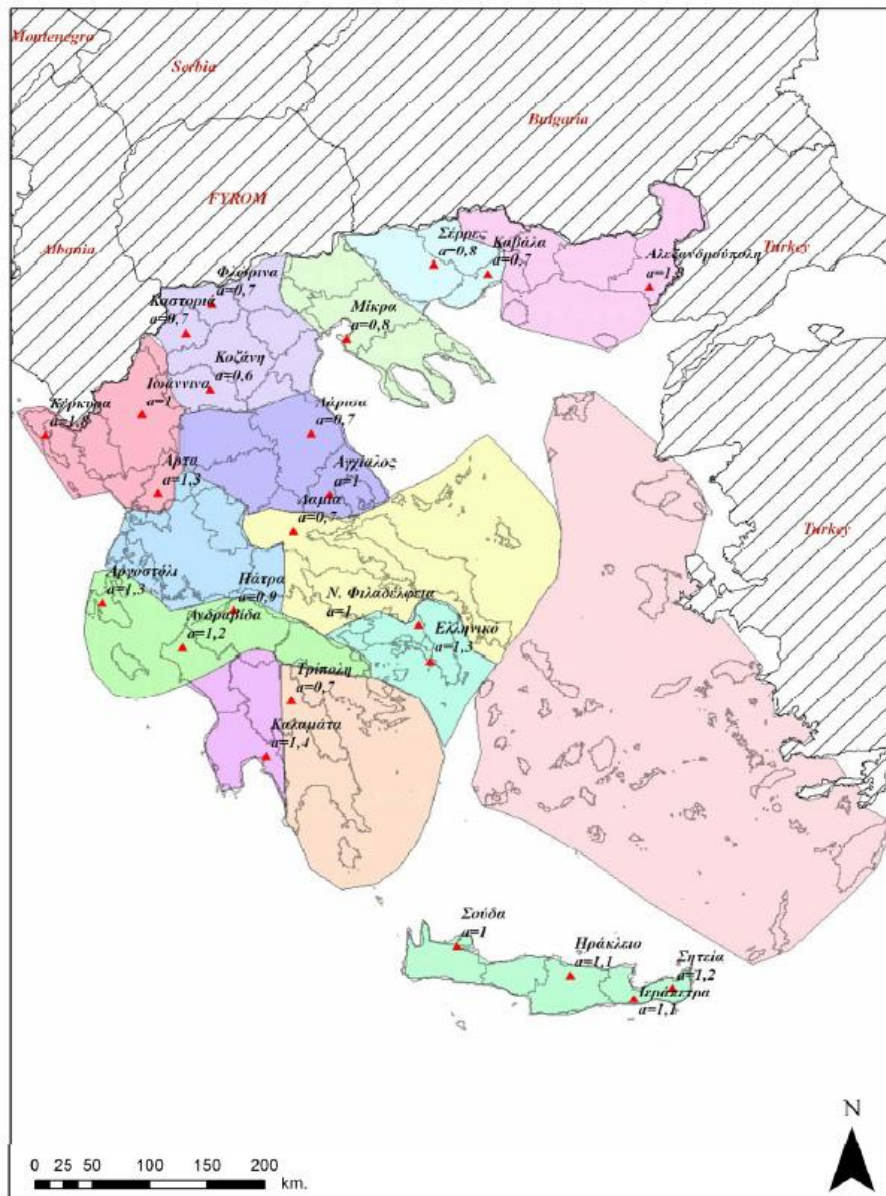
Ο Φλαμπούρης το 2008 διερεύνησε την τιμή του συντελεστή  $a$  της εξίσωσης της Τοσκάνης για τον Ελλαδικό χώρο. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από 24 σταθμούς όλης της χώρας, κατάρτισε καμπύλες συσχέτισης του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$  με την μέση ετήσια βροχόπτωση  $P$ , και κατέληξε ότι:

$$R = a \cdot P \quad (3.16)$$

όπου  $R$  ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ),  $P$  η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) και  $a$  ο συντελεστής αναλογίας ( $MJ \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ), ο οποίος ορίζεται από τον Πίνακα 3.5 και το Σχήμα 3.3.

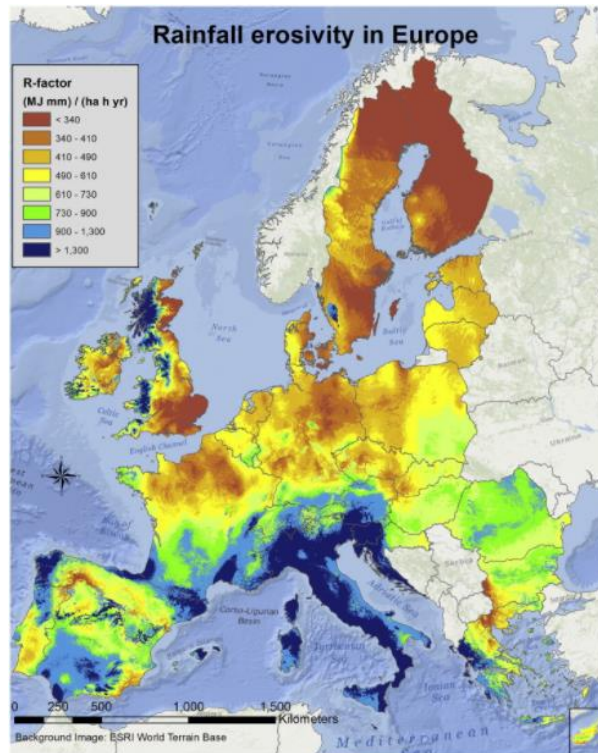
Πίνακας 3.5 : Συντελεστής  $a$  για μετεωρολογικούς σταθμούς του Ελλαδικού χώρου (Πηγή: Φλαμπούρης, 2008)

α/α	Μετεωρολογικός Σταθμός	$a$	α/α	Μετεωρολογικός Σταθμός	$a$
1	ΑΓΧΙΑΛΟΣ	1.0	13	ΚΟΖΑΝΗ	0.8
2	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	1.3	14	ΚΕΡΚΥΡΑ	1.8
3	ΑΝΔΡΑΒΙΔΑ	1.3	15	ΛΑΜΙΑ	0.7
4	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	1.3	16	ΛΑΡΙΣΑ	0.8
5	ΑΡΤΑ	1.3	17	ΜΙΚΡΑ	0.8
6	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	1.3	18	ΠΑΤΡΑ	0.9
7	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1.1	19	ΣΕΡΡΕΣ	0.8
8	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	1.1	20	ΣΗΤΕΙΑ	1.2
9	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	1.0	21	ΣΟΥΔΑ	1.0
10	ΚΑΒΑΛΑ	0.7	22	ΤΡΙΠΟΛΗ	0.7
11	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	1.4	23	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	1.0
12	ΚΑΣΤΟΡΙΑ	0.7	24	ΦΛΩΡΙΝΑ	0.7



Σχήμα 3.3 : Συντελεστής αναλογίας  $\alpha$  (πηγή: Φλαμπούρης, 2008)

Η ESDAC αξιοποιώντας δεδομένα από 1541 βροχομετρικούς σταθμούς της Ευρώπης, 80 από τους οποίους βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο, με μια μέση περίοδο 30 ετών, κατάρτισε τόσο μηνιαίους όσο και ετήσιο χάρτη μεταβολής του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης. Στο Μεσογειακό χώρο γενικότερα, ο συντελεστής R και κατά συνέπεια ο κίνδυνος διάβρωσης λαμβάνει υψηλότερες τιμές, σε αντίθεση με τις Βόρειες Χώρες. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν λήφθηκε υπόψιν η απορροή από λιωμένο χιόνι.



Σχήμα 3.4 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$  για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 3.5.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας $K$

Η ανάγκη υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$ , έγκειται στο ότι ένα έδαφος με σχετικά χαμηλό δείκτη διαβρωσιμότητας μπορεί να εμφανίσει υψηλές τιμές διάβρωσης. Σε γενικές γραμμές η εδαφική διάβρωση μειώνεται όταν η συγκέντρωση σε λάσπη είναι χαμηλή, ανεξάρτητα με την έντονη παρουσία άμμου και αργίλου (Ghosal et al, 2020).

Ο ορισμός αυτού του συντελεστή προϋποθέτει την εξαγωγή εδαφικών δειγμάτων και την ανάλυσή τους ώστε να διαπιστωθεί το ποσοστό εδαφικών υλικών.

Οι El – Swaify και Dangler το 1976, οι οποίοι μοντελοποίησαν τον συντελεστή αυτό με βάση την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, λαμβάνοντας υπόψιν τα ποσοστά άμμου, λάσπης και αργίλου καθώς και τον βαθμό κορεσμού του εδάφους.

$$K = \frac{-3.970 + 0.311A_1 + 0.043A_2 + 0.185A_3 + 0.258A_4 - 0.823A_5}{759} \quad (3.17)$$

Όπου  $K$  ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot Mj^{-1} \cdot mm^{-1}$ )<sup>3</sup>,  $A_1$  το ποσοστό αδρανών <0.250 mm,  $A_2$  το γινόμενο των ποσοστών αργίλου (0.002–0.01 mm) και άμμου (0.1–2 mm) του δείγματος,  $A_3$  ο βαθμός κορεσμού του εδάφους,  $A_4$  το

<sup>3</sup> Η διαίρεση με το 759 γίνεται για την μετατροπή των μονάδων στο SI

ποσοστό λάσπης (0.002 – 0.050 mm) και  $A_5$  το ποσοστό άμμου του εδάφους (0.1 – 2 mm).

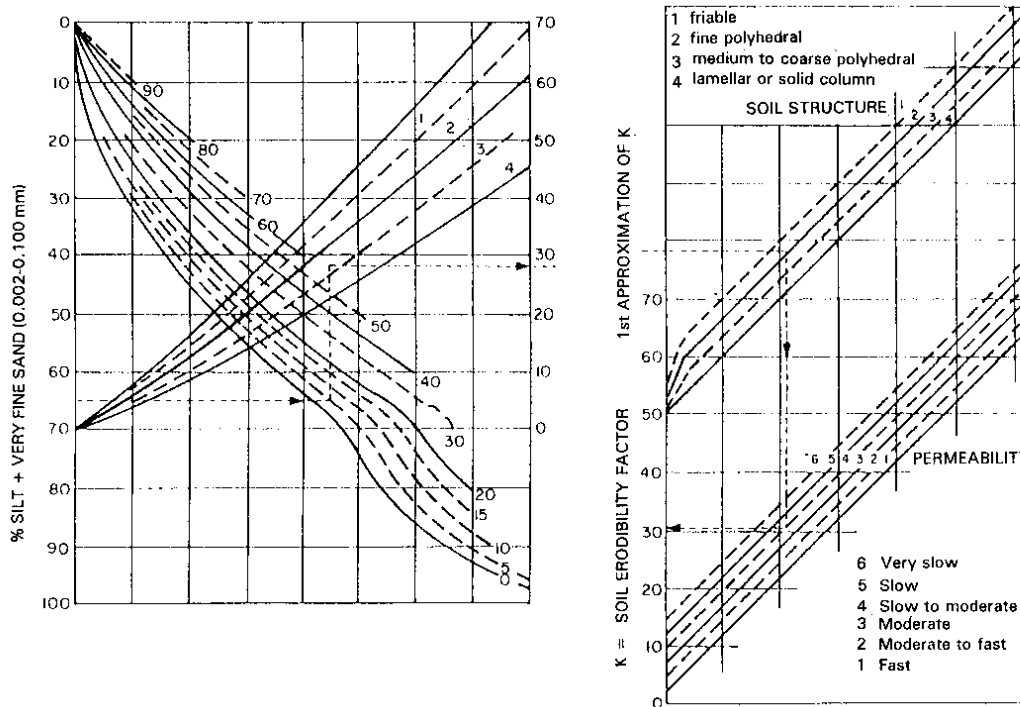
Ένας εναλλακτικός τρόπος εκτίμησης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  προτάθηκε από τους Wischmeier και Smith (1978). Για εδάφη που αποτελούνται από λάσπη και λεπτόκοκκη άμμο σε ποσοστό μικρότερο από 70%, το νομογράφημα των Wischmeier και Smith (1978) (Σχήμα 3.5) δίνει το συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  μέσω της εξίσωσης 3.18:

$$K = \frac{0.00021(12 - 0M)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)}{759} \quad (3.18)$$

Όπου  $K$  ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας ( $\text{Mg} \cdot \text{h} \cdot \text{Mj}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ),  $\alpha$  το ποσοστό της οργανικής ουσίας,  $M$  η δομή της επιφανειακής εδαφικής στρώσης,  $s$  η τάξη εδαφικής δομής και  $p$  η κλάση διαπερατότητας του εδάφους. Η τάξη εδαφικής δομής  $s$  παίρνει τιμές από 1 έως 4 και αυξάνεται όσο η διάμετρος των αδρανών αυξάνεται, ενώ η κλάση διαπερατότητας εδάφους  $p$  παίρνει τιμές από 1 έως 6 και αυξάνεται όσο η διαπερατότητα μειώνεται. Η δομή της επιφανειακής εδαφικής στρώσης, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$M = (100 - m_c) \cdot (m_{silt} + m_{vfs}) \quad (3.19)$$

Όπου  $m_c$  το ποσοστό περιεκτικότητας σε άργιλο (<0.002 mm),  $m_{silt}$  το ποσοστό περιεκτικότητας σε ιλύ (0.002~0.05 mm) και  $m_{vfs}$  το ποσοστό περιεκτικότητας σε άμμο (0.05 – 0.1 mm).



Σχήμα 3.5 : Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  (πηγή: Wischmeier και Smith (1978))

Οι Renard et al (1997), στηριζόμενοι στη διάμετρο των σωματιδίων του εδάφους και τα δεδομένα πεδίου, κατέληξαν στην εξίσωση 3.20, με πολύ υψηλό δείκτη συσχέτισης ( $R^2=0.983$ ).

$$K = 0.0034 + 0.0405 \exp \left[ -0.5 \left( \frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \quad (3.20)$$

Όπου  $K$  ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας ( $\text{Mg} \cdot \text{h} \cdot \text{Mj}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) και  $D_g$  το μέσο γεωμετρικό μέγεθος σωματιδίου (για άμμο, άργιλο και λάσπη), το οποίο υπολογίζεται από τις εξισώσεις 3.21 και 3.22:

$$D_g = \exp \left( 0.01 \sum f_i \times \ln m_i \right) \quad (3.21)$$

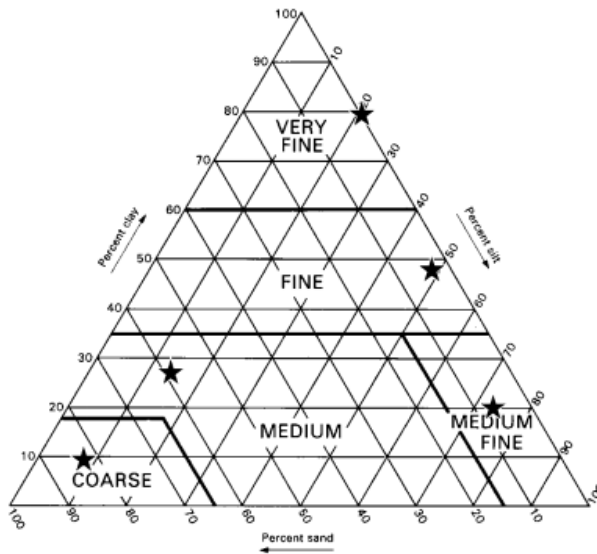
$$m_i = \frac{d_{max} + d_{min}}{2} \quad (3.22)$$

Όπου  $f_i$  το αρχικό κλάσμα μεγέθους σωματιδίων (%), και  $m_i$  ο αριθμητικός μέσος της μέγιστης  $d_{max}$  και της ελάχιστης τιμής  $d_{min}$  μεγέθους σωματιδίου.

Η συλλογή και επεξεργασία εδαφικών δειγμάτων, αποτελεί μία δύσκολη εργασία, γι' αυτό είναι σύνθηες να γίνεται η αντιστοίχιση του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  με τους γεωλογικούς και εδαφικούς σχηματισμούς που συναντώνται. Οι Van der Kniff et al (2000), αφού άντλησαν δεδομένα από την ESGDB, μέσω της σχέσης που προτάθηκε από τους Renard et al (1997) κατάρτισαν τον Πίνακα υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  (Πίνακας 3.6). Η χαρακτηριστική περιεκτικότητα κάθε εδαφικού τύπου σε άργιλο, άμμο και ιλύ, εκτιμήθηκε με τη χρήση του τριγώνου του Σχήματος 3.6.

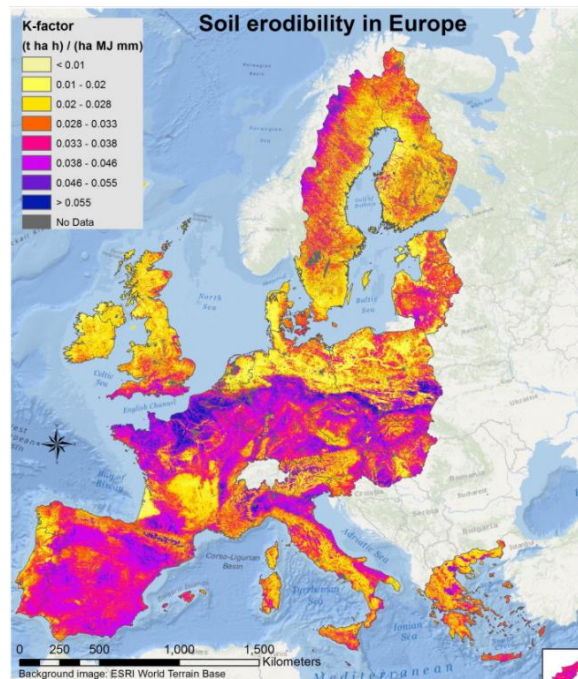
Πίνακας 3.6 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$ , με βάση τον εδαφικό τύπο και την περιεκτικότητά του (πηγή: Van der Knijff et al, 2000)

TEXT	Dominant surface textural class. (Present in: STU)	% clay	% silt	% sand	K
0	No information	-	-	-	
9	No texture (histosols, ...)	-	-	-	
1	Coarse (clay < 18 % and sand > 65 %)	9	8	83	0.0115
2	Medium (18% < clay < 35% and sand > 15%, or clay < 18% and 15% < sand < 65%)	27	15	58	0.0311
3	Medium fine (clay < 35 % and sand < 15 %)	18	74	8	0.0438
4	Fine (35 % < clay < 60 %)	48	48	4	0.0339
5	Very fine (clay > 60 %)	80	20	0	0.0170

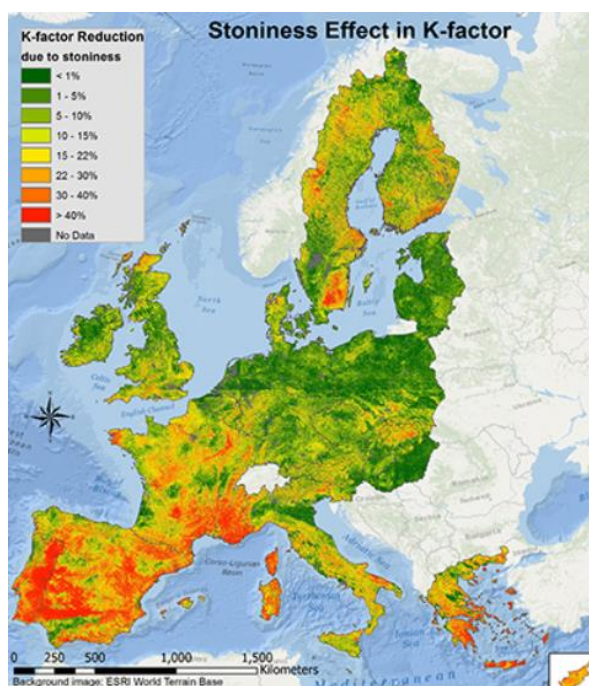


Σχήμα 3.6 : Θέσεις αντιπροσωπευτικών τιμών παραμέτρων περιεκτικότητας (πηγή: Van der Knijff et al. 2000)

Η ESDAC αξιοποιώντας 20000 εδαφικά δείγματα από τη βάση δεδομένων LUCAS και τη σχέση που πρότειναν οι Wischmeier και Smith (1978), κατάρτισε το χάρτη του σχήματος 3.7. Ο χάρτης αυτός έχει ανάλυση 500 m × 500 m. Έγινε μείωση του συντελεστή K κατά 15% κατά μέσο όρο προκειμένου να ληφθεί υπόψη η προστατευτική ιδιότητα έναντι διάβρωσης που δίνουν οι βραχώδεις περιοχές (>2 mm). Το Σχήμα 3.8 αναφέρεται στη μείωση του συντελεστή K λόγω των βραχώδων περιοχών. Παρατηρούμε ότι στο Μεσογειακό χώρο, η μείωση του συντελεστή K ξεπερνάει το 40%.



Σχήμα 3.7 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))



Σχήμα 3.8 : Ποσοστό μείωσης του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$ , λόγω της επιρροής των βραχώδων περιοχών (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

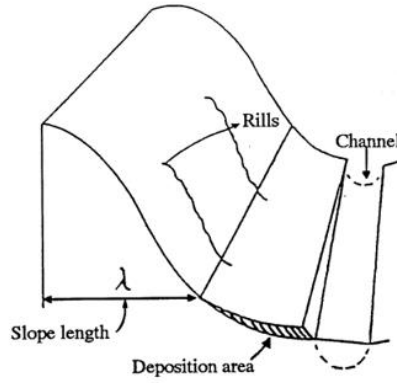
### 3.5.3 Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης $LS$

Ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης (ή συντελεστής ανάγλυφου)  $LS$  του μοντέλου  $RUSLE$  εμπεριέχει στην πραγματικότητα τους δύο συντελεστές  $L$  και  $S$ , που αντιστοιχούν στο μήκος και το βαθμό κλίσης αντίστοιχα. Ο συνδυασμός των δύο εκφράζει την επίδραση της μορφολογίας και του ανάγλυφου του εδάφους στην εδαφική διάβρωση. Για το μήκος κλίσης  $L$ , οι Wischmeier και Smith (1957) πρότειναν την παρακάτω εξίσωση:

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (3.23)$$

Όπου  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m), και  $m$  συντελεστής που εξαρτάται από την κλίση, και διαφέρει σε κάθε μοντέλο όπως αναλύεται στη συνέχεια. Η εξίσωση για το συντελεστή  $L$  μένει σταθερή για τα μοντέλα που αναλύονται στη συνέχεια, ενώ το μόνο που αλλάζει είναι η τιμή του συντελεστή  $m$ . Οι Renard et al (1996) όρισαν το μήκος κλίσης ως την απόσταση από την κορυφή της πλαγιάς έως το σημείο που ξεκινά η εναπόθεση φερτών κοντά στη βάση της πλαγιάς, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.9.





Σχήμα 3.9 : Οριζόντιο μήκος κλίσης λ (πηγή: Renard et al, 1996)

Το 1996, οι Desmet και Govers έκαναν μία διαφορετική προσέγγιση για τον υπολογισμό του συντελεστή μήκους κλίσης  $L$ , σύμφωνα με τους οποίους:

$$L_{ij} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} \times X_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (3.24)$$

Όπου  $A_{i,j-in}$  η ανάντη περιοχή στην είσοδο του κελιού ( $i,j$ ) ( $m^2$ ),  $D$  η ισοδιάσταση του κελιού (m),  $m$  αδιάστατος συντελεστής με τιμές 0 έως 1. Για τον προσδιορισμό αυτών των μεταβλητών, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις:

$$X_{i,j} = \sin a_{i,j} + \cos a_{i,j} \quad (3.25)$$

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (3.26)$$

$$\beta = \frac{\frac{\sin \theta}{0.0896}}{0.56 + 3 \times (\sin \theta)^{0.8}} \quad (3.27)$$

Όπου  $a_{i,j}$  η διεύθυνση του κελιού ( $i,j$ ),  $\beta$  ο λόγος της αυλακωτής προς την επιφανειακή διάβρωση και  $\theta$  η γωνία κλίσης. Σύμφωνα με τον Panagos (2014) η τιμή του  $m$  τείνει στο 0 όταν ο συντελεστής  $\beta$  είναι κοντά στο 0.

Ο ενοποιημένος συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης  $LS$ , αποτελεί το λόγο της εδαφικής απώλειας ανά μονάδα επιφάνειας με κλίση 9%, με τις ίδιες συνθήκες με την περιοχή μελέτης, από μία κεκλιμένη επιφάνεια προς αυτή των μοναδιαίων διαστάσεων (μήκους 22.13 m και κλίσης 9%) κάτω από τις ίδιες συνθήκες (Ευθυμίου, 2016). Στην συνέχεια εξετάζεται ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης ενοποιημένος, όπως έχει προταθεί από διάφορους μελετητές, με αφετηρία τη σχέση που πρότειναν οι θεμελιωτές του συντελεστή  $L$  Wischmeier και Smith (1957) :

$$LS = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \cdot (0.065 + 0.046s + 0.0065s^2) \quad (3.28)$$

Όπου  $LS$  ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης,  $m$  συντελεστής,  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m) και  $s$  η μέση κλίση του εδάφους (%). Σε περιβάλλον GIS, από το ΨΜΕ ισοδιάστασης  $a$  (m), το οριζόντιο μήκος κλίσης υπολογίζεται ως:

$$\lambda = \text{συσσώρευση ροής} \times \alpha \quad (3.29)$$

Οι τιμές του συντελεστή  $m$  ποικίλλουν ανάλογα με τη μέση κλίση εδάφους ως εξής:

$$m = \begin{cases} 0.2 & \text{για } S < 1\% \\ 0.3 & \text{για } 1\% < S < 3\% \\ 0.4 & \text{για } 3\% < S < 5\% \\ 0.5 & \text{για } 3\% < S < 5\% \\ 0.6 & \text{για } S > 12\% \end{cases}$$

Λίγο αργότερα, οι Wischmeier και Smith (1957) τροποποίησαν την Σχέση 3.28 αντικαθιστώντας τη ποσοστιαία μέση κλίση εδάφους με το ημίτονο της γωνίας κλίσης. Η νέα εξίσωση που προκύπτει, είναι:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \cdot (65.41 \cdot \sin^2(\theta) + 4.56 \cdot \sin(\theta) + 0.065) \quad (3.30)$$

Όπου  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m) και  $\theta$  η γωνία κλίσης. Σε αυτή την περίπτωση, ο συντελεστής  $m$  μεταβάλλεται ως εξής:

$$m = \begin{cases} 0.2 & \text{για } S < 1\% \\ 0.3 & \text{για } 1\% < S < 3\% \\ 0.4 & \text{για } 3\% < S < 5\% \\ 0.5 & \text{για } S > 5\% \end{cases}$$

Οι Gaudasasmitta (1987), πρότειναν την χρήση της Σχέσης 3.30 για κλίσεις έως 21%, ενώ για κλίσεις μεγαλύτερες από 21% πρότειναν την παρακάτω σχέση:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \cdot (6.432 \times \sin(\theta^{0.79}) \times \cos\theta) \quad (3.31)$$

Όπου  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m) και  $\theta$  η γωνία κλίσης.

Μία διαφορετική προσέγγιση του συντελεστή ανάγλυφου, βασισμένη στη θεωρία μοναδιαίας ροής, πρότειναν λίγο νωρίτερα οι Moore και Burch (1986), σύμφωνα με τους οποίους:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \cdot \left(\frac{\sin(\beta)}{0.0896}\right)^n \quad (3.32)$$

Όπου  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m),  $m$ ,  $n$  συντελεστές και  $\beta$  η γωνία κλίσης του εδάφους (rad), η οποία σε περιβάλλον ΣΓΠ υπολογίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{S}{100}\right) \quad (3.33)$$

και

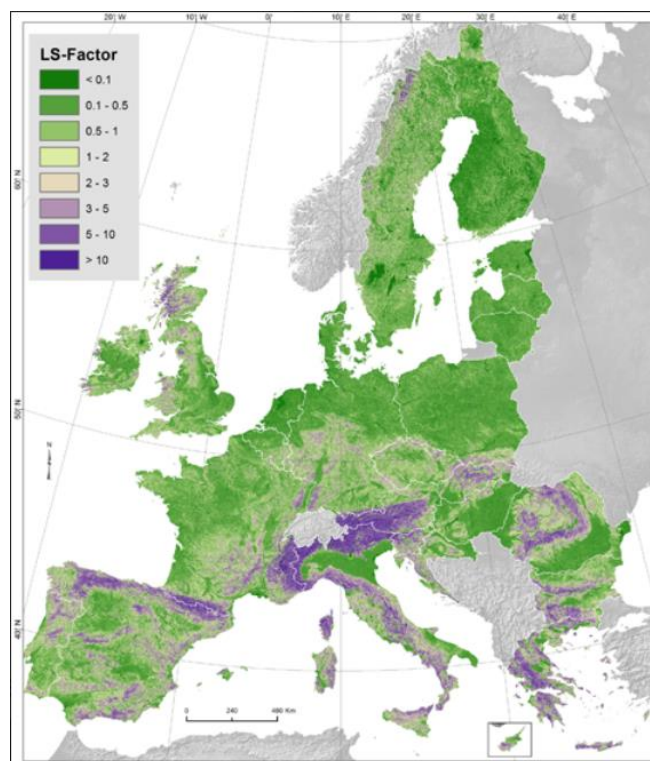
$$m = \begin{cases} 0.2 & \text{για } S < 1\% \\ 0.3 & \text{για } 1\% < S < 3\% \\ 0.4 & \text{για } 3.5\% < S < 4.5\% \\ 0.5 & \text{για } S > 5\% \end{cases}$$

Οι McCool et al (1987) ανακάλυψαν ότι η εδαφική διάβρωση γίνεται με μεγαλύτερο ρυθμό σε κλίσεις μεγαλύτερες του 9%. Πρότειναν λοιπόν, την εξίσωση 3.34:

$$LS = \begin{cases} \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \cdot 10.8 \sin \theta + 0.03 & \text{για } S < 9\% \\ \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \cdot 16.8 \sin \theta - 0.50 & \text{για } S \geq 9\% \end{cases} \quad (3.34)$$

Όπου  $\lambda$  το οριζόντιο μήκος κλίσης (m), και  $\theta$  η γωνία κλίσης του εδάφους ( $^\circ$ ).

Στον Ευρωπαϊκό χώρο, η ESDAC μέσα από τις σχέσεις που πρότειναν οι Desmet και Govers (1996) για το συντελεστή L και οι McCool et al (1987) για το συντελεστή S, κατάρτισαν τον ψηφιακό χάρτη μήκους και βαθμού κλίσης του Σχήματος 3.11, με ανάλυση 25×25 m. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στις ορεινές περιοχές όπου η μορφολογία είναι σαφώς πιο έντονη, ενώ η εκτίμηση του LS γίνεται για μέγιστη γωνία κλίσης 50% (26.6 $^\circ$ ).



Σχήμα 3.10 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 3.5.4 Συντελεστής διαχείρισης της κάλυψης γης C

Η φυτοκάλυψη αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην εδαφική διάβρωση και εκφράζεται μέσα από τον συντελεστή διαχείρισης – κάλυψης γης C. Πρόκειται για έναν αδιάστατο συντελεστή με τιμές 0 έως 1, ενώ παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα μέσα στο έτος, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε προστατευόμενο έδαφος έναντι διάβρωσης, δηλαδή σε έντονη φυτοκάλυψη, ενώ η τιμή 1 εκφράζει την απουσία κάλυψης, δηλαδή σε γυμνό έδαφος. Σύμφωνα με τους Renard et al (1996):

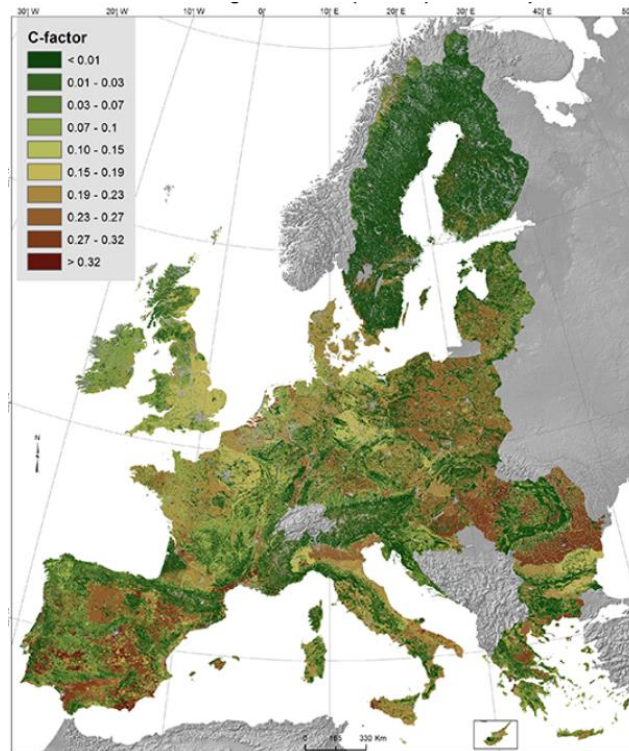
$$SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM \quad (3.35)$$

Όπου **SLR** ο ρυθμός απώλειας του εδάφους, **PLU** η παράμετρος της χρήσης γης που υπήρχε προηγουμένως, **CC** η παράμετρος φυτοκάλυψης, **SC** η παράμετρος της επιφανειακής κάλυψης, **SR** η παράμετρος της εδαφικής τραχύτητας και **SM** η παράμετρος της εδαφικής υγρασίας.

«Η τιμή του λόγου SLR, όπως αυτή υπολογίζεται για κάθε χρονική περίοδο, πολλαπλασιάζεται με το αντίστοιχο ποσοστό της ετήσιας τιμής του παράγοντα E·I30 που αναλογεί στην περίοδο αυτή. Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης, C, ως το άθροισμα των γινομένων για το σύνολο της εκάστοτε χρονικής περιόδου ενδιαφέροντος» (Ευθυμίου, 2016).

Ένας εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του συντελεστή διαχείρισης – κάλυψης γης C, είναι ο ορισμός κατάλληλης τιμής, με βάση τη βιβλιογραφία, για κάθε κωδικό χρήσης γης.

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικές μέθοδοι ορισμού του συντελεστή C, ανάλογα με το αν η περιοχή είναι καλλιεργήσιμη ή όχι. Σύμφωνα με τους Panagos et al (2015), για τις καλλιεργήσιμες περιοχές, οι οποίες αποτελούν το 25.2% της έκτασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έγινε διερεύνηση των στατιστικών καλλιεργειών από την EUROSTAT, ενώ για τις μη καλλιεργήσιμες περιοχές έγινε προσαρμογή των τιμών της βιβλιογραφίας. Η μέση τιμή για την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι 0.1043 με τεράστια μεταβλητότητα. Στις δασώδεις περιοχές ο μέσος δείκτης C είναι 0.00116, ενώ στις καλλιεργήσιμες περιοχές και τις περιοχές με αραϊή βλάστηση είναι 0.233 και 0.2654 αντίστοιχα. Κατά μέσο όρο, οι υποστηρικτικές πρακτικές προστασίας/διατήρησης οδήγησαν σε μείωση του συντελεστή της τάξεως του 19.1% στις καλλιεργήσιμες περιοχές. Ο συντελεστής C που προέκυψε για την Ευρωπαϊκή Ένωση, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.12.



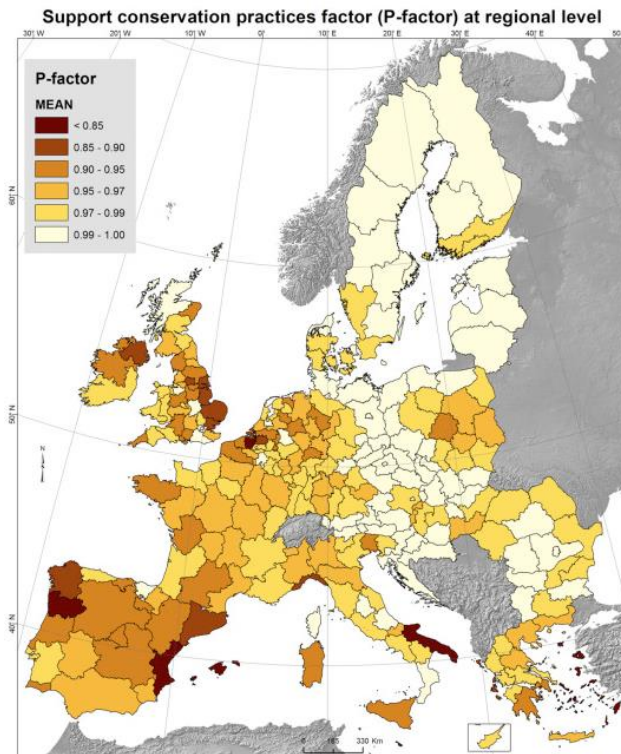
Σχήμα 3.11 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 3.5.5 Συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών έναντι της διάβρωσης P

Η παρουσία πρακτικών προστασίας έναντι της εδαφικής διάβρωσης οδηγεί σε μείωση του συντελεστή P, ο οποίος είναι αδιάστατος και κυμαίνεται από 0 έως 1. Οι συνήθεις πρακτικές προστασίας περιλαμβάνουν τις καλλιέργειες σε αναβαθμίδες και προστασία αυτών ( $P = 0.12 - 0.18$ ), τις λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών ( $P = 0.3 - 0.45$ ), και τις καλλιέργειες παράλληλα με τις ισοϋψείς ( $P = 0.6 - 0.9$ ) (Παναγούλια και Δήμου, 2002). Ειδικότερα σε ελαιώνες σε επικλινή εδάφη, γίνεται χρήση του ζιζανίου οξαλίδα, η οποία παρέχει προστασία έναντι της εδαφικής διάβρωσης μέσω του χλοοτάπητα που δημιουργεί κατά τη διάρκεια των χειμερινών βροχοπτώσεων.

«Είναι σύνηθες σε παγκόσμιο επίπεδο να λαμβάνεται μοναδιαία τιμή για τον συντελεστή P εξαιτίας της απουσίας ουσιαστικών μέτρων προστασίας έναντι διάβρωσης» (Ghosal et al, 2020).

Η ESDAC, αξιοποιώντας περισσότερες από 226000 παρατηρήσεις της βάσης δεδομένων LUCAS, κατάρτησε το χάρτη του Σχήματος 3.13. Ο ψηφιακός χάρτης έχει ισοδιάσταση 100 m, ενώ η μέση τιμή για την Ευρώπη υπολογίστηκε στο 0.97.



Σχήμα 3.12 : Συντελεστής ελέγχου έναντι της διάβρωσης  $P$  για την Ευρωπαϊκή Ένωση (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 3.5.6 Συντελεστής Στερεοαπορροής

Με τη χρήση του συντελεστή στερεοαπορροής  $SDR$  γίνεται η μετάβαση από την εδαφική απώλεια στην στερεοαπορροή. Η γενική εξίσωση υπολογισμού του  $SDR$  είναι της μορφής:

$$SDR = \frac{S_Y}{A_S} \quad (3.36)$$

όπου  $S_Y$  η στερεοαπορροή στην έξοδο της λεκάνης απορροής και  $A_S$  η διάβρωση – εδαφική απώλεια εντός της λεκάνης απορροής.

Οι εμπειρικές σχέσεις που συναντώνται στη βιβλιογραφία, συσχετίζουν τον συντελεστή στερεοαπορροής με την έκταση της υδρολογικής λεκάνης.

Μετά από επεξεργασία δεδομένων 14 λεκανών απορροής των ΗΠΑ, με έκταση από 1.1 έως 252.3 km<sup>2</sup>, ο Renfro (1972) κατέληξε στην εξίσωση 3.37, με συντελεστή συσχέτισης  $R^2 = 0.92$ .

$$\log(SDR) = 1.8768 - 0.14191 \cdot \log(10 \cdot A) \quad (3.37)$$

όπου  $SDR$  ο συντελεστής στερεοαπορροής (%) και  $A$  η επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής (mi<sup>2</sup>).

Ο Vanoni το 1975, αξιοποιώντας δεδομένα από 300 λεκάνες απορροής από όλο τον κόσμο, κατέληξε στην παρακάτω εξίσωση:

$$SDR = 0.42 \cdot A^{-0.125} \quad (3.38)$$

όπου **SDR** ο συντελεστής στερεοαπορροής και **A** η επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής (mi<sup>2</sup>). Η σχέση του Vanoni αποτελεί την πιο γενικευμένη εξίσωση υπολογισμού συντελεστή στερεοαπορροής.

Τα δεδομένα του Renfro χρησιμοποιήθηκαν και από την Αμερικάνικη Υπηρεσία το 1979, η οποία πρότεινε την εξίσωση 3.39:

$$SDR = 0.51 \cdot A^{-0.11} \quad (3.39)$$

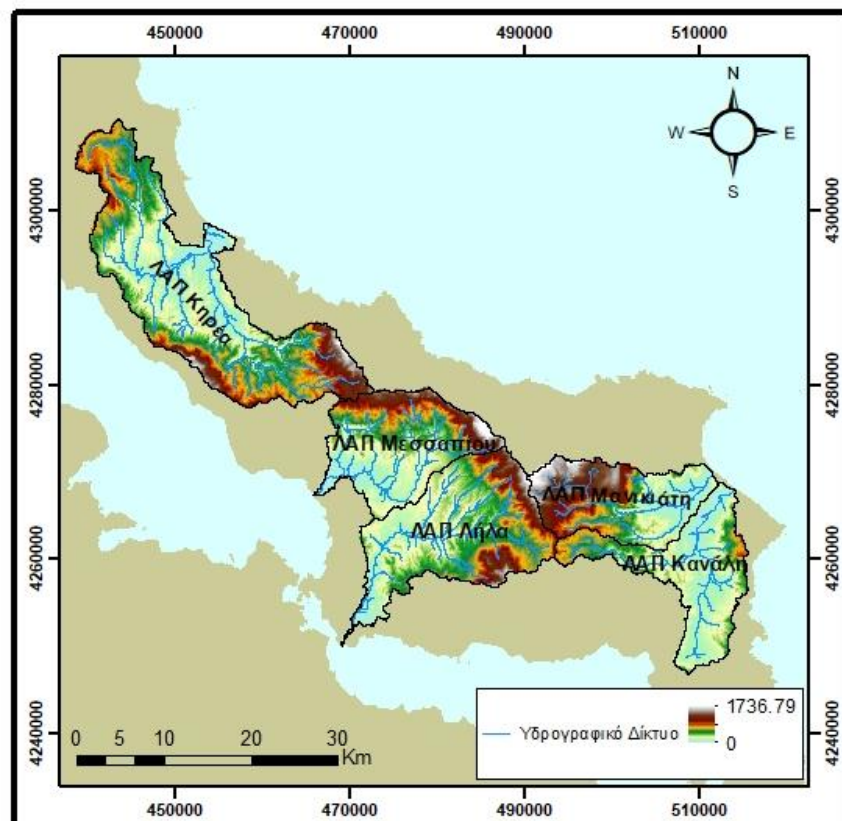
όπου **A** η επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής (mi<sup>2</sup>).

Σε όλες τις εμπειρικές σχέσεις που έχουν προταθεί, παρατηρείται ότι η σχέση μεταξύ των SDR και A είναι αρνητική. Όταν η έκταση της ανάντη λεκάνης απορροής αυξάνεται, ο συντελεστής στερεοαπορροής μειώνεται. Την ερμηνεία για αυτή τη σχέση δίνει ο Boyce (1975). Σύμφωνα με τους Leopold και Maddock (1953), η μέση κλίση του εδάφους μειώνεται όσο η έκταση της λεκάνης απορροής αυξάνεται. Η μείωση της μέσης κλίσης εδάφους συνεπάγεται μείωση της παραγωγής φερτών υλικών μιας και η απόθεση υλικών δεν γίνεται μόνο στην έξοδο της λεκάνης απορροής, αλλά κατά μήκος όλης αυτής.

## 4. Περιγραφή εξεταζόμενων λεκανών απορροής

### 4.1 Γενικά

Η Εύβοια αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της Ελλάδος και το έκτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου. Βρίσκεται βορειοανατολικά της Ηπειρωτικής Στερεάς Ελλάδας, δεξιά βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος, ενώ αριστερά βρέχεται από την Ευβοϊκή θάλασσα, η οποία χωρίζεται στο Βόρειο και Νότιο τμήμα της με κέντρο την Χαλκίδα. Το χαρακτηριστικό στενόμακρο σχήμα της αποτελεί και το όνομά της στην Ελληνική Νοηματική Γλώσσα. Η έκτασή της είναι 3684 km<sup>2</sup> και το μέγιστο υψόμετρο ανέρχεται στα 1743 m. Αποτελεί από μόνη της μία μεγάλη λεκάνη απορροής, ενώ εξετάστηκαν οι 5 μεγαλύτερες σε έκταση υπολεκάνες της, όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία των 9 βημάτων που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.1. Οι υπολεκάνες αυτές εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της Εύβοιας. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους αναφέρονται στον Πίνακα 4.1.



Σχήμα 4.1 : Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας



Πίνακας 4.1 : Χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Μήκος Υδροκρίτη (km)	Μήκος κύριου Υδατορέματος (km)	Μέση Κλίση (%)
<b>Κηρέα</b>	385.9	198.2	41.41	33.9
<b>Λήλα</b>	251.9	127.5	39.30	29.0
<b>Μεσσαπίου</b>	182.5	100.4	32.69	30.0
<b>Κανάλη</b>	166.8	123.8	25.90	24.9
<b>Μανικιάτη</b>	156.8	84.1	25.86	32.5

#### 4.1.1 Υδρολογική λεκάνη ποταμών Κηρέα – Νηλέα

Η λεκάνη απορροής των ποταμών Κηρέα - Νηλέα εντοπίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα της Εύβοιας, και αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση υδρολογική λεκάνη της. Ο Κηρέας με διεύθυνση N-B πηγάζει από τις νοτιοανατολικές κλιτύες του όρους Κανδηλίου, ενώ διασχίζει μεγάλο κομμάτι της βόρειας Εύβοιας. Ο Νηλέας (με διεύθυνση B-N μέχρι τα Φαράκλα Ευβοίας και Δ-Α στη συνέχεια) πηγάζει από το όρος Ξηρό, ενώνεται με τον ποταμό Κηρέα στο ύψος του Μαντουδιού και καταλήγουν μαζί στα νερά του Αιγαίου πελάγους και πιο συγκεκριμένα στην παραλία Κρύα Βρύση, σχηματίζοντας τον χείμαρρο Βούδωρο. Σύμφωνα με τον Στράβωνα και τον Αριστοτέλη τα δύο αυτά ποτάμια της περιοχής είχαν μαγικές ικανότητες\* τα πρόβατα που έπιναν από τα νερά του Κηρέα γεννούσαν άσπρα πρόβατα, ενώ τα πρόβατα που έπιναν από τα νερά του Νηλέα γεννούσαν μαύρα.

#### 4.1.2 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Μεσσαπίου

Ο ποταμός Μεσσαπίος εντοπίζεται στο κεντρικοανατολικό τμήμα της Εύβοιας. Ο κύριος κλάδος του πηγάζει από τις νοτιοδυτικές πλαγιές της Δίρφεως, έχει κατεύθυνση από τα βόρεια προς τα νοτιοδυτικά, ενώ εμπλουτίζεται με πληθώρα ρεμάτων κατά μήκος της διαδρομής του. Εκβάλλει στο Βόρειο Ευβοϊκό κόλπο, στην περιοχή Καστέλλα. Οι κυριότεροι οικισμοί από τους οποίους διέρχεται είναι το Μακρυμάλλι, η Τριάδα και τα Ψαχνά.

#### 4.1.3 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Λήλα

Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Λήλα ονομάζεται Ληλάντιο πεδίο. Από την αρχαιότητα αποτελούσε μια πολύ πλούσια και εύφορη πεδιάδα, ενώ στα τέλη του 8ου αιώνα π.Χ. στάθηκε η αφορμή ενός μεγάλου πολέμου ανάμεσα στη Χαλκίδα και την Ερέτρια. Ο Λήλας πηγάζει από τους πρόποδες της Δίρφεως και εκβάλλει στο νότιο Ευβοϊκό κόλπο, με κατεύθυνση από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά, χωρίζοντας το Ληλάντιο πεδίο στα δύο. Διασχίζει πολλούς οικισμούς όπως το Αφράτι, τα Φύλλα και το Βασιλικό στα ανατολικά και τον Μύτικα, τον Άγιο Νικόλαο και τη Νέα Λάμψακο στα δυτικά. Η ραγδαία οικιστική ανάπτυξη των

τελευταίων δεκαετιών έχει επηρεάσει σε πολύ μεγάλο βαθμό τη σημερινή κατάσταση του Ληλαντίου πεδίου. Σύμφωνα με το ΥΠΕΝ, το πλάτος της κοίτης του ποταμού έχει μειωθεί τόσο που σε πολλά σημεία φτάνει και το 1/3 ή και λιγότερο της αρχικής κοίτης. Είναι σχεδόν ομοιόμορφο σε ολόκληρο το μήκος, ενώ τοπικές διαπλατύνσεις, ανάλογα με τη ροή υπάρχουν μόνο στο ανώτερο τμήμα του ποταμού, εκτός των ορίων του Δήμου Ληλαντίων. Στις εκβολές η κοίτη στενεύει ενώ θα έπρεπε να συμβαίνει το αντίθετο αφού η ποσότητα και η ροή των υδάτων αυξάνεται. Σήμερα, τα νερά του ποταμού αξιοποιούνται κυρίως για την άρδευση αμπελιών.

#### 4.1.4 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Κανάλη

Στο ανατολικό τμήμα της Εύβοιας εντοπίζεται η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κανάλη. Σημαντικό ρέμα της περιοχής είναι ο Χόνδρος, ο οποίος ενώνεται με τον Κανάλη δυτικά του χωριού Αυλωναρίου και απορρέουν μαζί στο Αιγαίο Πέλαγος στο ύψος της παραλίας Μούρτερη. Μαζί με κάποιους μικρότερους χειμάρρους σχηματίζουν μία μακρόστενη ποτάμια κοιλάδα.

#### 4.1.5 Υδρολογική λεκάνη ρέματος Μανικιάτη

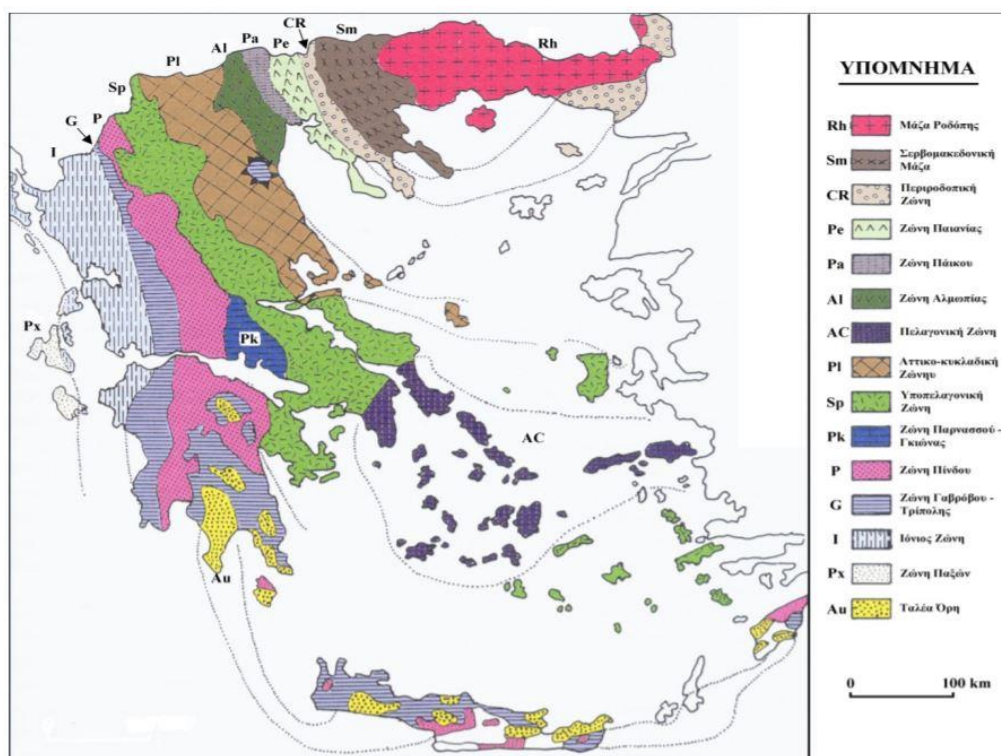
Η λεκάνη απορροής του ρέματος Μανικιάτη βρίσκεται στο κεντρικοανατολικό τμήμα της Εύβοιας. Κύριο χαρακτηριστικό της λεκάνης είναι οι μεγάλες υψομετρικές διαφορές, οι πολλές δολίνες και καταβόθρες, και οι κλειστές κοιλάδες. Ο ποταμός πηγάζει από τους νότιους πρόποδες του Ξηροβουνίου, ενώ εμπλουτίζεται με νερά που απορρέουν από το Μαυροβούνι. Κατευθύνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά και εκβάλει στο Αιγαίο, στη μέση της παραλίας του Στομίου. Περνάει μέσα από ένα μικρό φαράγγι διασχίζοντας τα χωριά Νεοχώρι, Κοίλι, Μονόδρυο και Οξύλιθο πριν καταλήξει τελικά στη θάλασσα.

Ο ποταμός Μανικιάτης παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μέσα στο έτος λόγω των βροχοπτώσεων, ενώ κατά τη διάρκεια μεγάλων νεροποντών μετατρέπεται σε ένα ορμητικό ποτάμι. Κατά μήκος του, δημιουργούνται πολλά και διαφορετικά οικοσυστήματα, όπως πυκνά παρόχθια δάση, κάθετα βράχια, ήρεμοι κάμποι με καλλιέργειες. Έχει χαρακτηριστεί ως προστατευόμενη περιοχή του δικτύου NATURA, ενώ προσελκύει πολλά σπάνια είδη τόσο χλωρίδας (όπως η ενδημική καμπανούλα) όσο και πανίδας (όπως η ευβοϊκή Μπριάνα, που αποτελεί ένα είδος κινδυνεύοντος ενδημικού ψαριού). Παρόλα αυτά, η εκβολή του ποταμού έχει υποστεί πολλές ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και θεωρείται πλέον υποβαθμισμένος υγρότοπος. Πιο συγκεκριμένα, όλη η βορειοδυτική όχθη της κοίτης του ποταμού προς την παραλία είναι εγκιβωτισμένη και οικοδομημένη. Σε πολλά σημεία του υγρότοπου υπάρχουν εναποθέσεις αδρανών και απορριμάτων, και έντονες επιχλωματώσεις.

## 4.2 Γεωτεκτονικό καθεστώς

Οι Roberts και Jackson (1991) μελέτησαν γενικότερα τα ενεργά ρήγματα της Στερεάς Ελλάδος και αναφέρουν πως ο σχηματισμός του υδρογραφικού δικτύου στην περιοχή αυτή ελέγχεται από τις ρηξιγενείς ζώνες και από τη λιθολογία των τεμαχών που ανέρχονται. Οι ρηξιγενείς δομές της περιοχής αντιστοιχούν σε δύο υποθαλάσσιες αντιθετικές ζώνες κανονικών ρηγμάτων που έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, οι οποίες οριοθετούν το ορεινό ανάγλυφο του βόρειου τμήματος της Εύβοιας και το χωρίζουν από τον βόρειο Ευβοϊκό κόλπο στα δυτικά και από το Αιγαίο στα ανατολικά. Η ρηξιγενής ζώνη των όρων Κανδηλίου και Τελέθριου βρίσκεται στα δυτικά και κλίνει προς τα ΝΔ, ενώ στα ανατολικά βρίσκεται η ρηξιγενής ζώνη της Δίρφυος που κλίνει προς τα ΒΑ. Η ρηξιγενής ζώνη της Δίρφυος, η οποία εντοπίζεται κατά μήκος της οροσειράς αυτής, είναι περισσότερο ενεργή, παρουσιάζει μεγαλύτερη μετατόπιση και εκτείνεται υποθαλάσσια προς το Βορρά ακολουθώντας την ισοβαθή γραμμή των 200 m. Τα χαρακτηριστικά όμως της υποθαλάσσιας προέκτασης υποδηλώνουν πως το τμήμα αυτό είναι λιγότερο ενεργό. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι οι υποθαλάσσιες ρηξιγενείς ζώνες κατά μήκος των ανατολικών και δυτικών ακτών, είναι υπεύθυνες για την εξέλιξη του αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής όπως τα υδρογραφικά δίκτυα, οι κλιτύες, η παρουσία ποτάμιων αναβαθμίδων και οι ανυψωμένες θαλάσσιες εγκοπές δείχνουν πρόσφατη τεκτονική ανύψωση (Roberts και Jackson, 1991, Βαλκάνου κ.α., 2015).

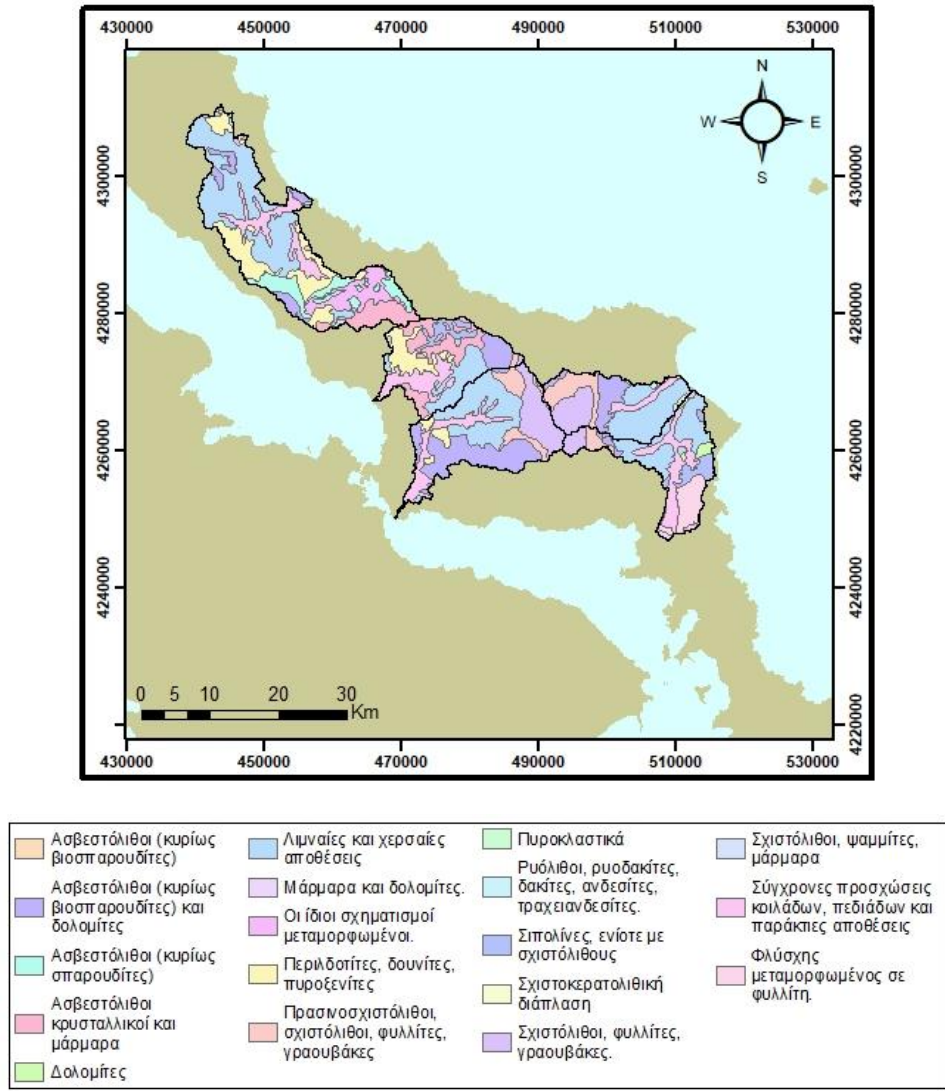
Σύμφωνα με το γεωτεκτονικό χάρτη της Ελλάδος (Σχήμα 4.2), το κεντρικό τμήμα του νησιού στο οποίο βρίσκονται οι εξεταζόμενες λεκάνες απορροής ανήκει στην Υποπελαγονική Ζώνη.



Σχήμα 4.2 : Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (αρχική πηγή: Μουντράκης, 1985)



Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης υπάρχει ψηφιοποιημένος και παραχωρήθηκε από το ΓΓΜΕ. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι γεωλογικοί σχηματισμοί που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης, ενώ στους Πίνακες 4.2 και 4.3 αναφέρονται οι εκτάσεις που καλύπτουν.



Σχήμα 4.4 : Γεωλογικός χάρτης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής

Πίνακας 4.2 : Γεωλογικοί σχηματισμοί των λεκανών απορροής Κηρέα και Μεσσαπίου

Γεωλογικός σχηματισμός κατά ΙΓΜΕ	Κηρέας		Μεσσάπιος	
	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)
Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιοσπαρουδίτες) και δολομίτες	20.67	5.36	18.59	10.20
Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιοσπαρουδίτες)	-	-	0.36	0.20
Ασβεστόλιθοι (κυρίως σπαρουδίτες)	41.81	10.85		
Ασβεστόλιθοι κρυσταλλικοί και μάρμαρα της ίδιας ηλικίας.	30.83	8.00	46.82	25.67
Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, μάργες, κοκκινοχώματα, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	145.31	37.70	38.20	20.95
Οι ίδιοι σχηματισμοί μεταμορφωμένοι (ασβεστόλιθοι)	37.08	9.62	-	-
Περιλδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες	70.12	18.19	30.05	16.48
Πρασινοςχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολίθων ή δολομιτών.	-	-	1.63	0.89
Σιπολίτες, ενίοτε με σχιστόλιθους	-	-	14.77	8.10
Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις	37.80	9.81	30.83	16.91
Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες.			1.11	0.61
Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες με φακούς λευκών ασβεστολίθων και εγκλωβισμένα οφιολιθοι	0.58	0.15	-	-
Σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, μάρμαρα ή χαλαζίτες, φυλλίτες, διαβάσες, ασβεστόλιθοι (σειρά Σβούλας)	1.27	0.33	-	-
	385.46	100.00	182.36	100.00

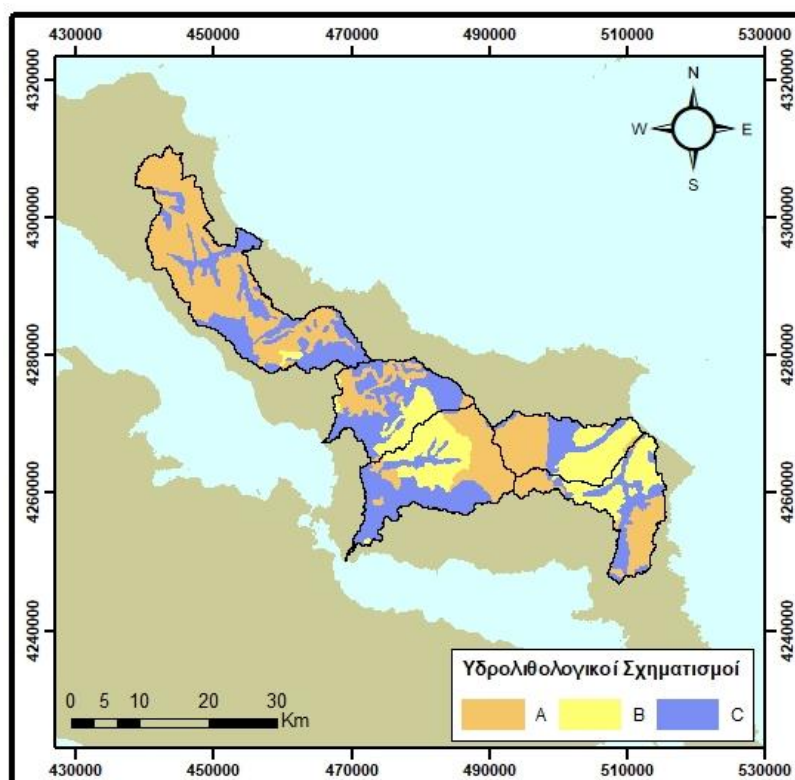
Πίνακας 4.3 : Γεωλογικοί σχηματισμοί των λεκανών απορροής Λήλα, Κανάλη και Μανικιάτη

Γεωλογικός σχηματισμός κατά ΗΓΜΕ	Λήλας		Κανάλης		Μανικιάτης	
	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)
Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιοσπαρουδίτες) και δολομίτες	71.82	28.53	5.28	3.17	26.11	16.67
Ασβεστόλιθοι (κυρίως σπαρουδίτες)	-	-	-	-	0.48	0.30
Δολομίτες.	-	-	4.68	2.81	-	-
Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, μάργες, κοκκινοχώματα, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	73.39	29.16	56.63	33.98	61.44	39.21
Μάρμαρα και δολομίτες.	-	-	1.74	1.05	-	-
Περιλδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες	9.04	3.59	-	-	-	-
Πρασινοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολίθων ή δολομιτών	22.59	8.97	7.60	4.56	25.90	16.53
Πυροκλαστικά: τόφφοι, ιγνιμβρίτες	-	-	1.05	0.63	1.73	1.10
Σιπολίτες, ενίοτε με σχιστόλιθους	-	-	14.71	8.82	-	-
Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις	31.59	12.55	37.57	22.54	10.73	6.85
Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες.	43.27	17.19	10.09	6.06	29.47	18.81
Φλύσχης μεταμορφωμένος σε φυλλίτη.	-	-	27.30	16.38	-	-
Ρυόλιθοι, ροδοκίτες, δακίτες, ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες.	-	-	-	-	0.81	0.51
	251.69	100.00	166.65	100.00	156.66	100.00

Οι λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις αποτελούν σημαντικό ποσοστό στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής, εκλαμβάνοντας ποσοστά από 20 έως 40%, ενώ πολύ έντονη είναι και η παρουσία του ασβεστόλιθου.

### 4.3 Υδρογεωλιθικές Καθεστώς

Ο υδρολιθολογικός χάρτης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής καταρτίστηκε με άντληση δεδομένων από την *Ανάλυση Χαρακτηριστικών Περιοχής και Μηχανισμών Πλημμύρας του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (GR07)* του ΥΠΕΝ. Ο χάρτης αυτός είναι ομαδοποιημένος ανάλογα με την περατότητα που παρουσιάζουν οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4.5 : Ομαδοποιημένοι υδρολιθολογικοί σχηματισμοί των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας

#### Αδιαπέρατοι σχηματισμοί – Ομάδα Α

Στην κατηγορία των αδιαπέρατων σχηματισμών εντάσσονται οι σχηματισμοί με σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκου κλάσματος στην κοκκομετρική τους σύνθεση, όπως μάργες, άργιλοι των νεογενών και ταταρτογενών αποθέσεων, και φλυσικά και μολασσικά ιζήματα. Χαρακτηριστικό των σχηματισμών αυτής της ομάδας είναι ο χαμηλός συντελεστής κατείσδυσης I ( $I < 5\%$ ), ο οποίος σε περιοχές με έντονο και λοφώδες ανάγλυφο ευνοεί την επιφανειακή απορροή και τον σχηματισμό χειμάρρων, ενώ σε πεδινές περιοχές ευνοεί την επιφανειακή συγκέντρωση των υδάτων.

#### Ημιπερατοί σχηματισμοί – Ομάδα Β

Στους ημιπερατούς σχηματισμούς εντάσσονται τα συνεκτικά κροκαλοπαγή και λατυποπαγή πλειστοκαινικής ηλικίας. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζουν μικρή



πρωτογενή περατότητα, αλλά σημαντική δευτερογενή, εξαιτίας του τεκτονισμού που έχουν υποστεί.

Ακόμη, εντάσσονται οι τεταρτογενείς αποθέσεις με αυξημένο ποσοστό αργίλου και οι νεογενείς σχηματισμοί. Στους νεογενείς σχηματισμούς παρατηρείται εναλλαγή αδρομερών και λεπτομερών υλικών και η παρουσία στρωμάτων αργιλομαργαϊκής σύστασης είναι σημαντική.

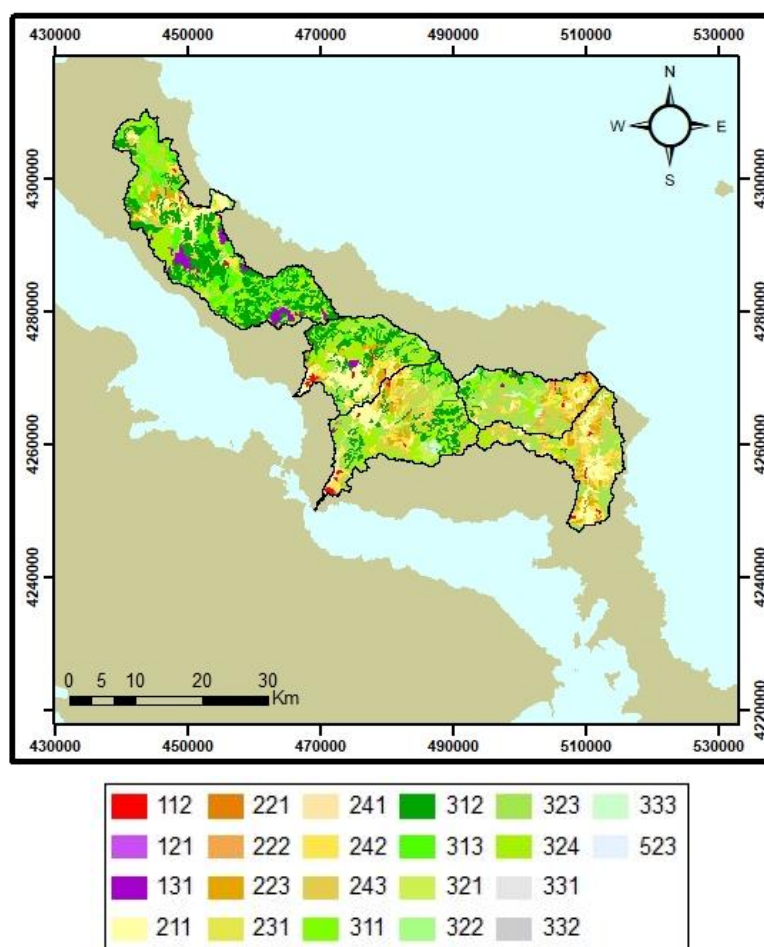
### **Περατοί σχηματισμοί – Ομάδα C**

Κύριο χαρακτηριστικό των περατών σχηματισμών είναι το υψηλό πορώδες, και ο αυξημένος συντελεστής κατείδυσης I. Στις πεδινές περιοχές συναντώνται αλλουβιακές αποθέσεις, ποτάμιες αναβαθμίδες και κώνοι κορημάτων με τη μορφή ασύνδετων αδρομερών αποθέσεων και παράκτιων σχηματισμών. Ο συντελεστής κατείδυσης I για τους σχηματισμούς αυτούς είναι της τάξεως 10-15%.

Στην ομάδα C εντάσσονται επίσης ασβεστόλιθοι και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης και δυναμικότητας, ο συντελεστής κατείδυσης I των οποίων ξεπερνά το 20%. Στις περιοχές έντονης καρστικοποίησης τα μάρμαρα χαρακτηρίζονται πλέον ως καρστικά και οι ασβεστόλιθοι ως εκτεταμένης ανάπτυξης, ενώ ο συντελεστής κατείδυσης ξεπερνά το 50%.

#### 4.4 Χρήσεις Γης

Οι χρήσεις γης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής αντλήθηκαν από τους ψηφιακούς χάρτες (έκδοση 2018) του Ευρωπαϊκού προγράμματος γεωσκόπησης Copernicus, οι οποίοι προέκυψαν έπειτα από συλλογή και επεξεργασία τόσο δορυφορικών όσο και επίγειων δεδομένων. Στην συγκεκριμένη έκδοση τα δορυφορικά δεδομένα προέρχονται από το δορυφόρο Sentinel-2, ενώ γίνεται χρήση και του Landsat-8 για την πλήρωση κενών. Ο ψηφιακός χάρτης που προκύπτει είναι υψηλής γεωμετρικής ακρίβειας ( $\leq 10$  m), και κάθε σημείο του αντιστοιχεί σε μία από τις 44 τάξεις που έχουν οριστεί, μέσα από έναν τριψήφιο κωδικό (Copernicus Land Monitoring Service: User Manual, 2018). Η σημασία κατηγοριοποίησης των διαφορετικών χρήσεων γης για την στερεομεταφορά έγκειται στο ότι σε κάθε μία από αυτές αλλάζει ο βαθμός των υδρολογικών παραμέτρων όπως η εξάτμιση, η διήθηση και η απορροή αλλά και οι μεταβλητές των δύο μοντέλων που σχετίζονται με τον τύπο χρήσεως γης (συντελεστής Z για το μοντέλο Gavrilovic και συντελεστής C για το μοντέλο RUSLE). Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζεται ο χάρτης χρήσεων γης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας, ενώ οι Πίνακες 4.4 και 4.5 περιλαμβάνουν τα αναλυτικά στοιχεία του ψηφιακού αυτού χάρτη. Υπολογίστηκαν και τα σύνολα κάθε μίας από τις 5 μεγάλες ομάδες στις οποίες η Corine διακρίνει τις χρήσεις γης, προκειμένου να ληφθεί μία πληρέστερη εικόνα για την περιοχή μελέτης.



Σχήμα 4.6 : Χρήσεις γης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας (Κωδικοί Κάλυψης Corine)

Πίνακας 4.4 : Χρήσεις γης των λεκανών απορροής Κηρέα και Μεσσαπίου αντίστοιχα

Κωδικός Κάλυψης	Ονομασία χρήσης γης κατά ΥΠΕΝ	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)
<b>1.x.x</b>	Τεχνητές επιφάνειες				
<b>112</b>	Ασυνεχής αστικός ιστός	1.31	0.34	2.73	1.50
<b>131</b>	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	15.91	4.12	1.35	0.74
	<b>Σύνολο ομάδας 1</b>	<b>17.22</b>	<b>4.46</b>	<b>4.09</b>	<b>2.24</b>
<b>2.x.x</b>	Αγροτικές εκτάσεις				
<b>211</b>	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	26.49	6.86	29.74	16.29
<b>223</b>	Ελαιώνες	10.20	2.64	9.58	5.25
<b>242</b>	Σύνθετες καλλιέργειες	18.35	4.76	16.35	8.96
<b>243</b>	Γεωργική γη (κυρίως) και σημαντικά τμήματα βλάστησης	24.71	6.40	3.01	1.65
	<b>Σύνολο ομάδας 2</b>	<b>79.75</b>	<b>20.67</b>	<b>58.68</b>	<b>32.15</b>
<b>3.x.x</b>	Δάση και ημιφυσικές περιοχές				
<b>311</b>	Δάσος πλατύφυλλων	18.12	4.70	0.55	0.30
<b>312</b>	Δάσος κωνοφόρων	124.67	32.31	42.61	23.34
<b>313</b>	Μικτό δάσος	57.38	14.87	2.43	1.33
<b>321</b>	Φυσικοί βοσκότοποι	2.11	0.55	1.29	0.71
<b>322</b>	Θάμνοι και χερσότοποι			0.55	0.30
<b>323</b>	Σκληροφυλλική βλάστηση	11.54	2.99	26.89	14.73
<b>324</b>	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	74.76	19.37	44.05	24.14
<b>333</b>	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.30	0.08	1.34	0.74
	<b>Σύνολο ομάδας 3</b>	<b>288.88</b>	<b>74.87</b>	<b>119.71</b>	<b>65.58</b>
<b>5.x.x</b>	Υδατικά σώματα				
<b>523</b>	Θάλασσες και ωκεανοί	-	-	0.05	<b>0.03</b>
	<b>Σύνολο ομάδας 5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.05</b>	<b>0.03</b>

Πίνακας 4.5 : Χρήσεις γης των λεκανών απορροής Λήλα, Κανάλη και Μανικιάτη αντίστοιχα

Κωδικός Κάλυψης	Ονομασία χρήσης γης κατά ΥΠΕΝ	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Ποσοστό κάλυψης (%)
<b>1.x.x</b>	Τεχνητές επιφάνειες						
<b>112</b>	Ασυνεχής αστικός ιστός	2.87	1.14	1.57	0.94	1.11	0.71
<b>121</b>	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0.54	0.21	-	-	-	-
<b>131</b>	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0.42	0.17	-	-	0.50	0.32
	<b>Σύνολο ομάδας 1</b>	<b>3.82</b>	<b>1.52</b>	<b>1.57</b>	<b>0.94</b>	<b>1.61</b>	<b>1.03</b>
<b>2.x.x</b>	Αγροτικές εκτάσεις						
<b>211</b>	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	19.46	7.72	29.15	17.48	7.32	4.67
<b>221</b>	Αμπελώνες	-	-	0.52	0.31	-	-
<b>222</b>	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	-	-	-	-	3.55	2.27
<b>223</b>	Ελαιώνες	10.85	4.31	15.97	9.58	7.59	4.84
<b>231</b>	Λιβάδια	1.04	0.41	0.45	0.27	1.02	0.65
<b>241</b>	Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	2.34	0.93	-	-	-	-
<b>242</b>	Σύνθετες καλλιέργειες	31.91	12.67	31.98	19.17	17.87	11.40
<b>243</b>	Γεωργική γη (κυρίως) και σημαντικά τμήματα βλάστησης	30.70	12.19	37.80	22.67	24.23	15.46
	<b>Σύνολο ομάδας 2</b>	<b>96.28</b>	<b>38.22</b>	<b>115.88</b>	<b>69.48</b>	<b>61.59</b>	<b>39.28</b>
<b>3.x.x</b>	Δάση και ημιφυσικές περιοχές						
<b>311</b>	Δάσος πλατύφυλλων	3.54	1.41	1.25	0.75	1.67	1.06
<b>312</b>	Δάσος κωνοφόρων	35.63	14.14	0.27	0.16	8.03	5.12
<b>313</b>	Μικτό δάσος	3.15	1.25	-	-	3.58	2.29
<b>321</b>	Φυσικοί βοσκότοποι	13.96	5.54	0.92	0.55	6.30	4.02
<b>322</b>	Θάμνοι και χερσότοποι	0.14	0.05				
<b>323</b>	Σκληροφυλλική βλάστηση	39.73	15.77	38.97	23.37	49.94	31.85
<b>324</b>	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	49.12	19.50	7.93	4.75	16.84	10.74
<b>331</b>	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	1.55	0.62	-	-	0.36	0.23
<b>332</b>	Απογυμνωμένοι βράχοι	0.32	0.13	-	-		
<b>333</b>	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	4.61	1.83			6.86	4.38
	<b>Σύνολο ομάδας 3</b>	<b>151.76</b>	<b>60.25</b>	<b>49.33</b>	<b>29.58</b>	<b>93.59</b>	<b>59.69</b>
<b>5.x.x</b>	Υδατικά σώματα						
<b>523</b>	Θάλασσες και ωκεανοί	0.03	0.01	-	-	-	-
	<b>Σύνολο ομάδας 5</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>				

Παρατηρείται ότι οι λεκάνες απορροής που εξετάζονται αποτελούνται σε συντριπτικό βαθμό από δάση και ημιφυσικές περιοχές (ΛΑΠ Κηρέα – 74.87%, ΛΑΠ Μεσσαπίου – 65.58%, ΛΑΠ Λήλα – 60.25%, ΛΑΠ Μανικιάτη – 59.69%), με μόνη εξαίρεση την

υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κανάλη, στην οποία οι αγροτικές εκτάσεις εκλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος (ΛΑΠ Κανάλη – 69.48%).

#### 4.5 Υδρολογικά δεδομένα

Έγινε χρήση των όμβριων καμπυλών που καταρτίστηκαν από το ΥΠΕΝ, μετά από συγκέντρωση και αξιολόγηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων. Μερικοί σταθμοί απορρίφθηκαν, κυρίως λόγω μικρών χρονοσειρών δεδομένων, ενώ στους υπόλοιπους ορίστηκαν κατάλληλα οι βασικοί παράμετροι που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 2.1. Στον Πίνακα 4.6 περιέχονται οι παράμετροι των σημειακών όμβριων των σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Πίνακας 4.6 : Σημειακές όμβριες των σταθμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

α/α	Σταθμός	λ'	ψ'	θ	η	κ
1	ΣΗΜΙΑ	373,9	0,759	0,124	0,622	0,097
2	ΜΗΛΙΕΣ	352,8	0,651	0,124	0,622	0,097
3	ΠΡΟΚΟΠΙΟΝ	392,4	0,74	0,124	0,622	0,097
4	ΑΚΡΕΣ	271,9	0,792	0,124	0,622	0,097
5	ΜΑΚΡΥΚΑΠΑ	402,6	0,66	0,124	0,622	0,097
6	ΘΕΟΛΟΓΟΣ	230,8	0,702	0,124	0,622	0,097
7	ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ	375,8	0,707	0,124	0,622	0,097
8	ΚΑΤΩ ΜΑΜΟΥΛΑ	200,9	0,716	0,124	0,622	0,097
9	ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	317,7	0,762	0,124	0,622	0,07

Παρατηρούμε ότι οι μόνες παράμετροι που μεταβάλλονται είναι οι λ' και ψ', ενώ οι υπόλοιπες μένουν σταθερές. Οι παράμετροι θ και η είναι σταθερές καθώς αναφέρονται στην ίδια περιοχή μελέτης, ενώ η παράμετρος κ είναι σταθερή επειδή οι σταθμοί ανήκουν στην ίδια ζώνη (Ζώνη II). Για την ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας έχουν προσδιοριστεί 3 ζώνες ενιαίου συντελεστή κ. Οι ζώνες αυτές διαμορφώθηκαν με χωρική παρεμβολή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν μετά από στατιστική επεξεργασία και χρήση ΣΓΠ. Περισσότερες πληροφορίες για την διαδικασία που εφαρμόστηκε μπορούν να βρεθούν στην Τεχνική Έκθεση Όμβριων του ΥΠΕΝ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης μερικών από τους παραπάνω σταθμούς δεν ήταν διαθέσιμες. Επομένως, για το βροχομετρικό καθεστώς των εξεταζόμενων λεκανών απορροής έγινε χρήση κάποιων σταθμών οι οποίοι δεν χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση όμβριων. Οι επιλεγμένοι σταθμοί αναφέρονται στον Πίνακα 4.7, ενώ περισσότερες πληροφορίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 5.1.1.1.

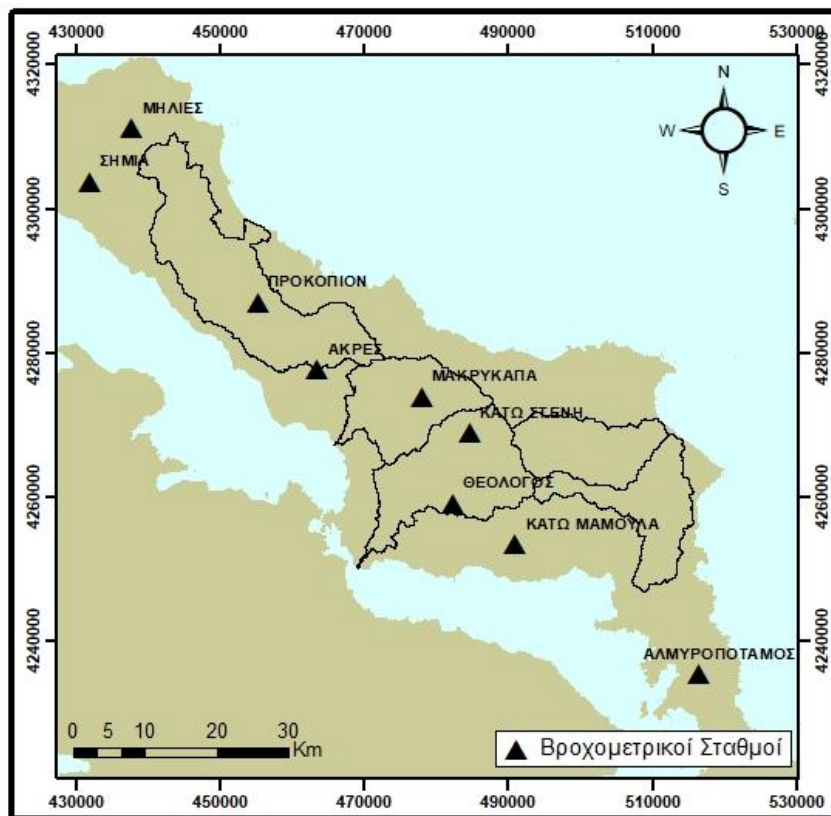
Γενικά, το υφιστάμενο δίκτυο σταθμών της Εύβοιας είναι αρκετά προβληματικό, τα δεδομένα που υπάρχουν παρουσιάζουν ελλείψεις, και οι περισσότεροι σταθμοί βρίσκονται σε υψόμετρο κάτω των 1200 m. Επιπλέον οι σταθμοί δεν καλύπτουν το σύνολο της περιοχής, καθώς στα νοτιοανατολικά και τα ανατολικά της Εύβοιας οι

σταθμοί απουσιάζουν, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις βρίσκονται στην ίδια περιοχή περισσότεροι του ενός σταθμού (Κεμερίδης, 2017).

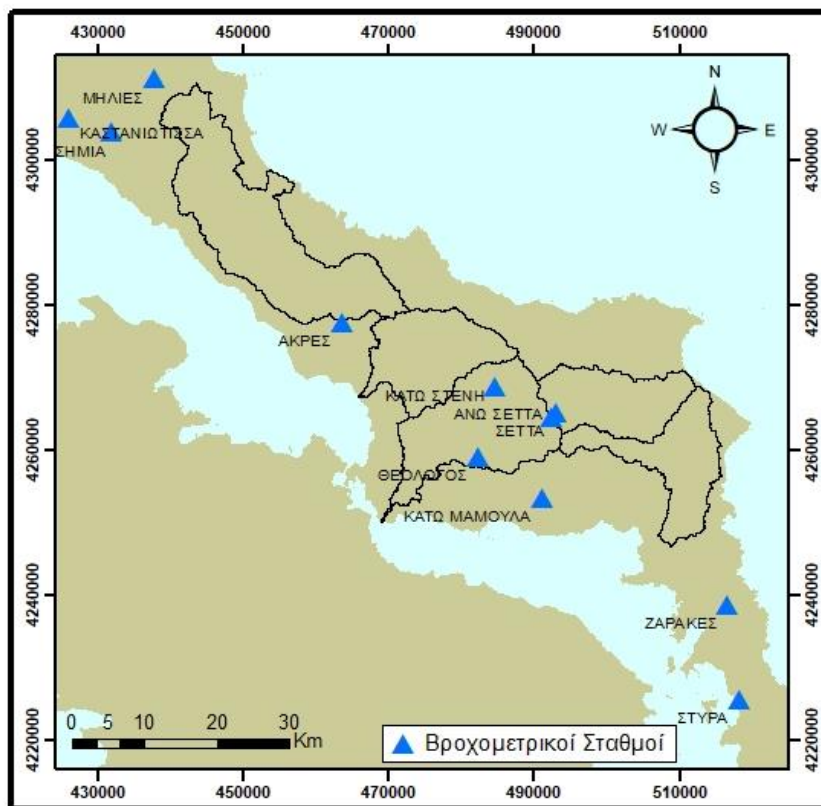
*Πίνακας 4.7 : Πληροφορίες επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας*

<b>a/a</b>	<b>Σταθμός</b>	<b>Φορέας</b>	<b>X (ΕΓΣΑ87)</b>	<b>Y (ΕΓΣΑ87)</b>	<b>Υψόμετρο (m)</b>
<b>1</b>	Ζάρακες	ΕΑΑ	516647	4238803	163
<b>2</b>	Σέττα	ΕΑΑ	493004	4265242	925
<b>3</b>	Στύρα	ΕΑΑ	518242	4225852	32
<b>4</b>	Κάτω Στενη	ΥΠΕΝ	484702	4268908	450
<b>5</b>	Άνω Σέττα	ΥΠΑΑΤ	492538	4264591	840
<b>6</b>	Κάτω Μαμούλα	ΥΠΑΑΤ	491073	4253497	40
<b>7</b>	Σήμια (Βούτας)	ΥΠΑΑΤ	431908,14	4303834,24	409
<b>8</b>	Καστανιώτισσα	ΥΠΑΑΤ	426142,96	4305735	280
<b>9</b>	Μηλιές	ΥΠΑΑΤ	437748,66	4311184,86	400
<b>10</b>	Άκρες	ΥΠΑΑΤ	463593,2	4277732,68	490
<b>11</b>	Θεολόγος	ΥΠΑΑΤ	482406,75	4259175,38	240

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται οι βροχομετρικοί σταθμοί των λεκανών απορροής με κατάλληλα ορισμένες όμβριες, ενώ το Σχήμα 4.8 περιλαμβάνει τους επιλεγμένους βροχομετρικούς σταθμούς για την διερεύνηση της βροχόπτωσης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής. Η επεξεργασία των σταθμών του Σχήματος 4.7 αναφέρεται στο Κεφάλαιο XX, ενώ τα δεδομένα των σταθμών του Σχήματος 4.8 επεξεργάζονται στο Κεφάλαιο 5.1.1.1.



Σχήμα 4.7 : Επιλεγμένοι βροχομετρικοί σταθμοί με κατάλληλα ορισμένες όμβριες καμπύλες



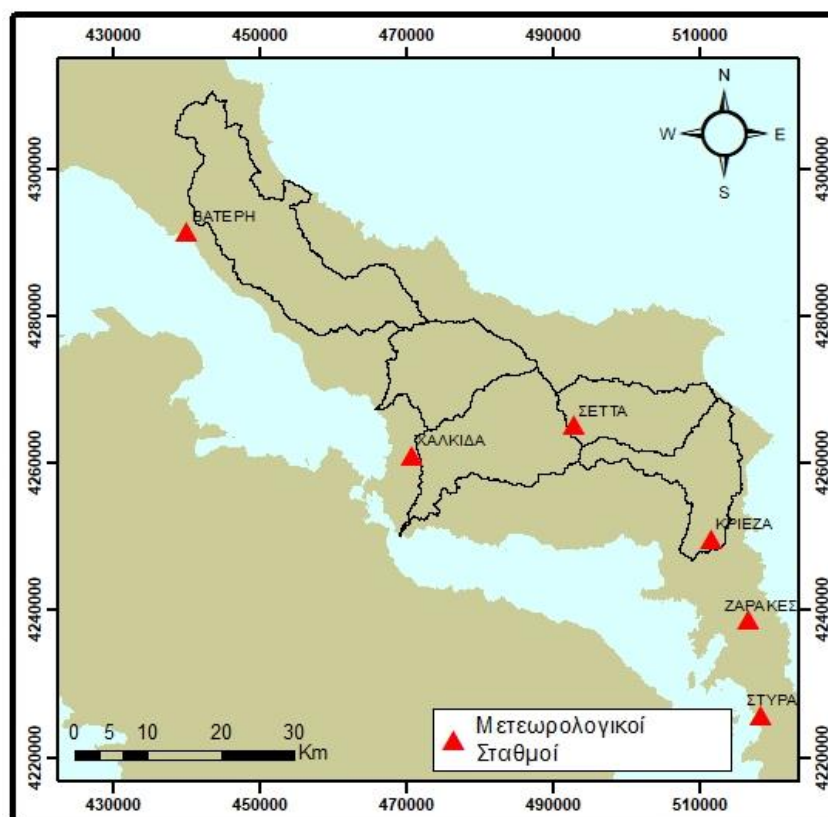
Σχήμα 4.8 : Επιλεγμένοι βροχομετρικοί σταθμοί για την διερεύνηση της βροχόπτωσης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής

#### 4.6 Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα δεδομένα των μετεωρολογικών σταθμών των εξεταζόμενων λεκανών απορροής λήφθηκαν από το ΕΑΑ. Στο Κεφάλαιο 5.1.1.2 αναλύεται ο ακριβής τρόπος επεξεργασίας τους, ενώ στον Πίνακα 4.8 αναφέρονται κάποιες γενικές πληροφορίες για τους σταθμούς αυτούς.

Πίνακας 4.8 : Πληροφορίες επιλεγμένων μετεωρολογικών σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας

α/α	Σταθμός	Φορέας	X (ΕΓΣΑ87)	Y (ΕΓΣΑ87)	Υψόμετρο (m)
1	Χαλκίδα	ΕΑΑ	470805	4261110	200
2	Βατερή	ΕΑΑ	440202	4291643	130
3	Ζάρακες	ΕΑΑ	516647	4238803	163
4	Σέττα	ΕΑΑ	412637	4265318	925
5	Κριεζιά	ΕΑΑ	511630	4249785	119
6	Στύρα	ΕΑΑ	518242	4225852	32



Σχήμα 4.9 : Επιλεγμένοι μετεωρολογικοί σταθμοί των εξεταζόμενων λεκανών απορροής



## 5. Αποτελέσματα Ανάλυσης

### 5.1 Στερεομεταφορά

Για την εκτίμηση της στερεομεταφοράς των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας γίνεται εφαρμογή των μοντέλων Gavrilovic και RUSLE. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων και επιλέγεται ένα μοντέλο ως κατάλληλο για τις συνθήκες των περιοχών μελέτης.

#### 5.1.1 Gavrilovic

Στα επόμενα εδάφια γίνεται διερεύνηση κάθε συντελεστή του μοντέλου Gavrilovic (Εξίσωση 3.1).

##### 5.1.1.1 Μέση ετήσια βροχόπτωση P

Για τον ορισμό της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των περιοχών μελέτης, έγινε άντληση δεδομένων από σταθμούς που βρίσκονται υπό την επίβλεψη του ΥΠΑΑΤ<sup>4</sup> και της ΕΜΥ. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε γενικές γραμμές διαπιστώθηκε ότι στην Εύβοια υπάρχει πρόβλημα, καθώς υπάρχουν μόλις 2 σταθμοί σε υψόμετρο άνω των 800 m και σε κάποιες μηνιαίες χρονοσειρές σταθμών υπήρχαν ελλείψεις. Τα υδρολογικά έτη στα οποία έλειπαν μετρήσεις άνω των 5 μηνών απορρίφθηκαν ολοκληρωτικά, ενώ στα υπόλοιπα έγινε συμπλήρωση των ελλείψεων εκμεταλλευόμενοι της εποχικότητας την οποία παρουσιάζουν οι υδρομετεωρολογικές μεταβλητές. Για παράδειγμα στον σταθμό Κάτω Στενή, υπάρχει έλλειψη για τη μηνιαία τιμή της βροχόπτωσης του μήνα Απριλίου για το υδρολογικό έτος 1985-1986. Το κενό αυτό αντικαταστάθηκε με την μέση τιμή της μετρούμενης βροχόπτωσης όλων των υπόλοιπων ετών στα οποία διατίθενται μετρήσεις. Έτσι, δεν χάνεται η πληροφορία των υπόλοιπων 11 μηνών, υπάρχει όμως μικρή μείωση της τυπικής απόκλισης. Για τη διόρθωση αυτού του στατιστικού χαρακτηριστικού μπορεί να γίνει εισαγωγή ενός τυχαίου όρου, όμως δεν έγινε περαιτέρω διερεύνηση στην παρουσία διπλωματική εργασία. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί με επαρκείς χρονοσειρές, γενικά στοιχεία των οποίων αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.5.

---

<sup>4</sup> Τα δεδομένα των σταθμών που βρίσκονται υπό την επίβλεψη του ΥΠΑΑΤ είναι ανοικτά για διάθεση σε όλους και βρίσκονται στον παρακάτω σύνδεσμο:

<http://www.minagric.gr/index.php/el/eservicesmenu-2/e-ask/402-greek-content/eggeiesbeltioseis/geologiydrologia/561-geologiydrologia>

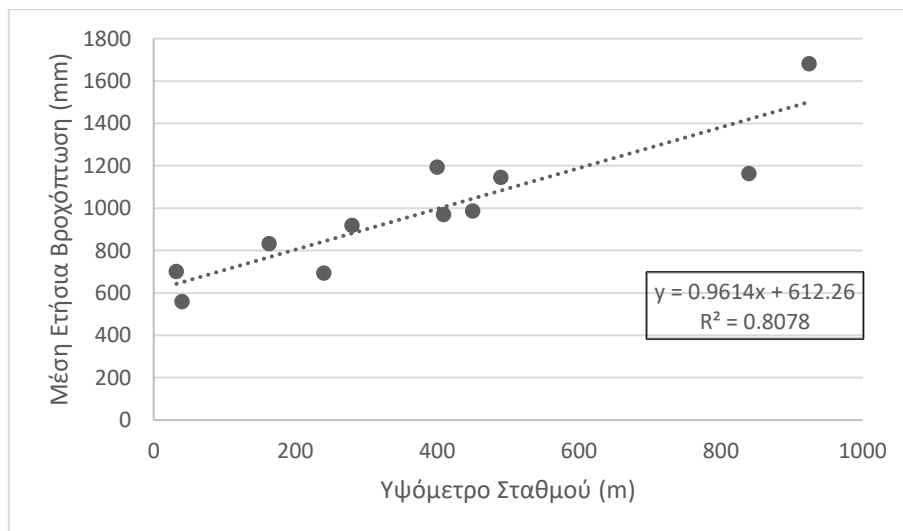
Πίνακας 5.1 : Μέση ετήσια βροχόπτωση των επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας

α/α	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)
1	Ζάρακες	163	831.6
2	Σέττα	925	1680.6
3	Στύρα	32	700.2
4	Κάτω Στενη	450	985.9
5	Άνω Σέττα	840	1162.6
6	Κάτω Μαμούλα	40	558.2
7	Σήμια (Βούτας)	409	970.2
8	Καστανιώτισσα	280	918.5
9	Μηλιές	400	1192.8
10	Άκρες	490	1144.9
11	Θεολόγος	240	693.5

Συσχετίζοντας τη μέση ετήσια σημειακή βροχόπτωση με το υψόμετρο, προέκυψε η εξίσωση 5.1 με δείκτη συσχέτισης 0.81.

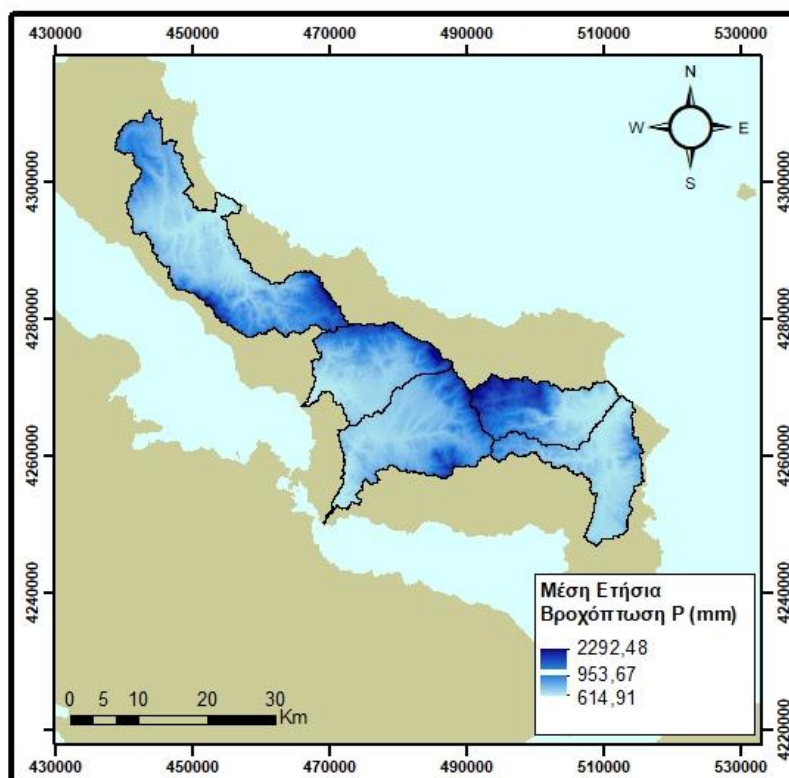
$$P = 0.9614z + 612.26 \quad (5.1)$$

Όπου  $P$  η μέση ετήσια βροχόπτωση ενός σημείου (mm) και  $z$  το υψόμετρο του σημείου αυτού (m).



Σχήμα 5.1 : Συσχέτιση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο του εδάφους

Με χρήση του *Raster Calculator* του GIS, προέκυψε ο χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης των εξεταζόμενων λεκανών απορροής.



Σχήμα 5.2 : Μέση ετήσια βροχόπτωση  $P$  (σε mm) των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας

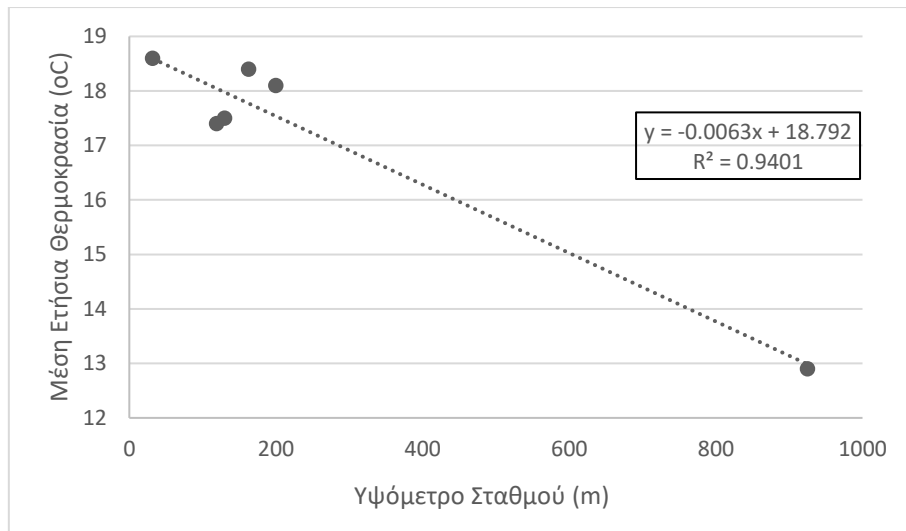
### 5.1.1.2 Συντελεστής θερμοκρασίας $T$

Όλοι οι σταθμοί που επιλέχθηκαν ανήκουν στην επίβλεψη του ΕΑΑ, όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4.6. Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται η μέση ετήσια θερμοκρασία για τα έτη 2016-2020 καθώς και το υψόμετρο κάθε επιλεγμένου σταθμού.

Πίνακας 5.2 : Μέση ετήσια θερμοκρασία των επιλεγμένων σταθμών για τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας

α/α	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια Θερμοκρασία (οC)
1	Χαλκίδα	200	18.1
2	Βατερή	130	17.5
3	Ζάρακες	163	18.4
4	Σέττα	925	12.9
5	Κριεζιά	119	17.4
6	Στύρα	32	18.6

Έγινε η θεώρηση ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία μπορεί να εκφραστεί συσχετίζοντας τις σημειακές θερμοκρασίες με το υψόμετρο των σταθμών.

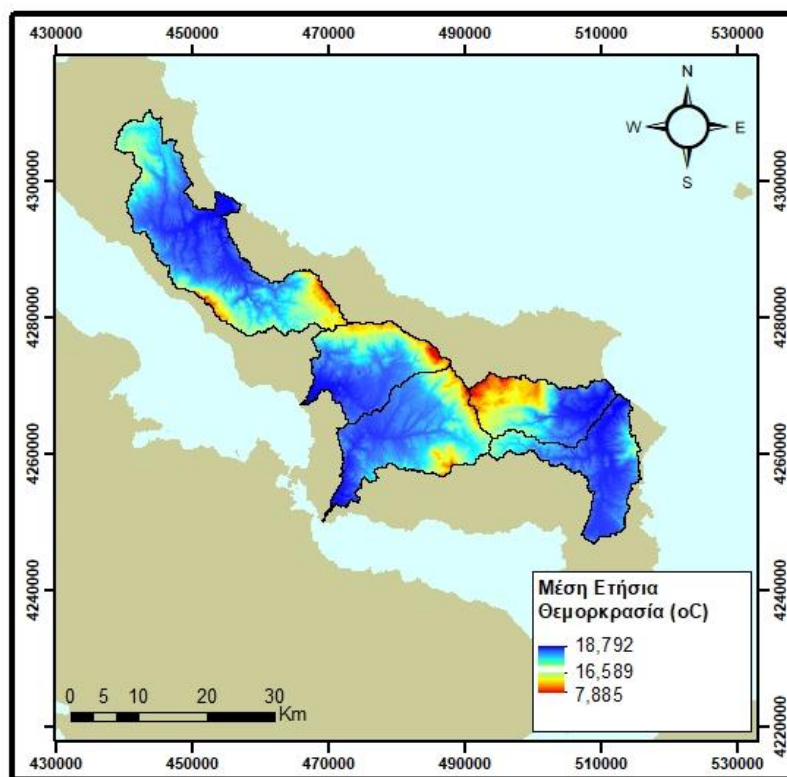


Σχήμα 5.3 : Συσχέτιση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με το υψόμετρο του εδάφους

Μέσω γραμμικής παλινδρόμησης εξήχθη μία γραμμική εξίσωση τάσης (Εξίσωση 5.2), με δείκτη συσχέτισης 0.94.

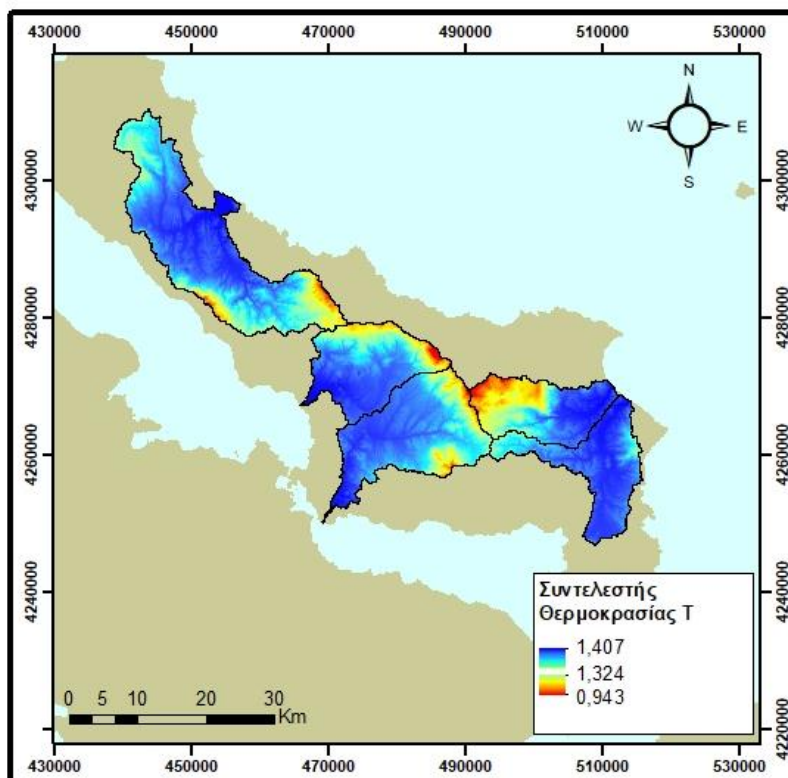
$$T = -0.0063z + 18.792 \quad (5.2)$$

Όπου  $T$  η μέση ετήσια θερμοκρασία ενός σημείου ( $^{\circ}\text{C}$ ) και  $z$  το υψόμετρο του σημείου αυτού (m). Εισάγοντας την παραπάνω εξίσωση στο *Raster Calculator* προκύπτει ο παρακάτω χάρτης.



Σχήμα 5.4 : Μέση ετήσια θερμοκρασία των εξεταζόμενων λεκανών απορροής

Κάνοντας χρήση της εξίσωσης 3.2, υπολογίστηκε ο συντελεστής θερμοκρασίας των εξεταζόμενων λεκανών απορροής όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5:



Σχήμα 5.5 : Συντελεστής θερμοκρασίας T των εξεταζόμενων λεκανών απορροής

### 5.1.1.3 Συντελεστής Z

Οι υποπαραμέτροι της παραμέτρου διάβρωσης Z του μοντέλου Gavrilovic (Εξίσωση 3.3) υπολογίστηκαν ως εξής:

#### Συντελεστής φυτοκάλυψης x

Η εκτίμηση του συντελεστή φυτοκάλυψης X έγινε με αντιστοίχιση των κωδικών Corine με τιμές που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001) και έγιναν εύλογες παραδοχές για τις ελλειπούσες τιμές. Επομένως, προέκυψε ο ψηφιακός χάρτης του Σχήματος 5.6.

#### Συντελεστής ανθεκτικότητας πετρωμάτων Y

Ο συντελεστής ανθεκτικότητας πετρωμάτων εκφράζει την ανθεκτικότητα των πετρωμάτων έναντι της διάβρωσης. Έγινε αντιστοίχιση του συντελεστή αυτού με τους γεωλογικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή, αντλώντας στοιχεία από τη βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001), ενώ έγιναν εύλογες παραδοχές για τις ελλειπούσες τιμές.

### Συντελεστής υφιστάμενης διάβρωσης φ

Ο συντελεστής υφιστάμενης διάβρωσης φ, εκφράζει το βαθμό και το είδος της διάβρωσης που εντοπίζονται στην περιοχή μελέτης. Για τον ακριβή υπολογισμό του εξάγονται δείγματα από την περιοχή τα οποία αναλύονται. Κάτι τέτοιο είναι δύσκολο να γίνει για όλη την έκταση των λεκανών, οπότε έγινε η θεώρηση ότι αποτελεί συνάρτηση των χρήσεων γης και των γεωλογικών σχηματισμών που εντοπίζονται, μέσω της γραμμικής εξίσωσης 5.3.

$$\varphi = 0.65X + 0.35Y \quad (5.3)$$

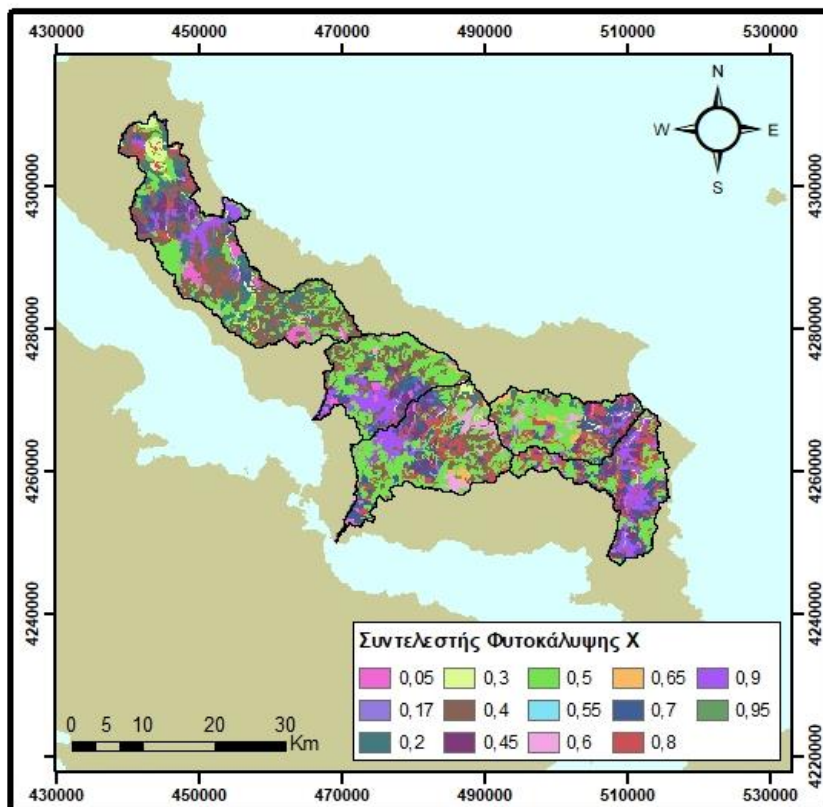
Στη συνέχεια, έγινε κανονικοποίηση του παραπάνω συντελεστή έτσι ώστε η μέγιστη τιμή που λαμβάνει να είναι η μονάδα. Αυτό επιτεύχθηκε εύκολα, διαιρώντας με την μέγιστη τιμή σε κάθε λεκάνη. Προέκυψε έτσι ο ψηφιακός χάρτης του Σχήματος 5.8.

### Μέση κλίση εδάφους J

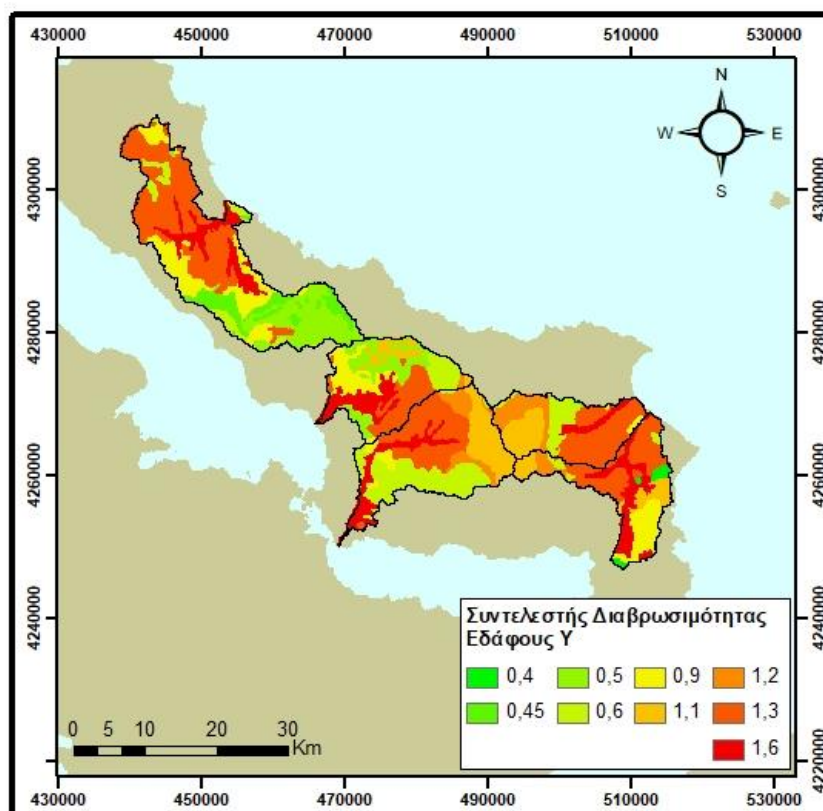
Η ποσοστιαία μέση κλίση εδάφους λήφθηκε ορίζοντας κατάλληλα την εντολή Slope. Η τιμή της κλίσης για κάθε λεκάνη απορροής που εξετάστηκε, αναφέρεται στον Πίνακα 5.3, ενώ στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζεται ο ψηφιακός χάρτης που προέκυψε.

*Πίνακας 5.3 : Ποσοστιαίες μέσες κλίσεις εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας*

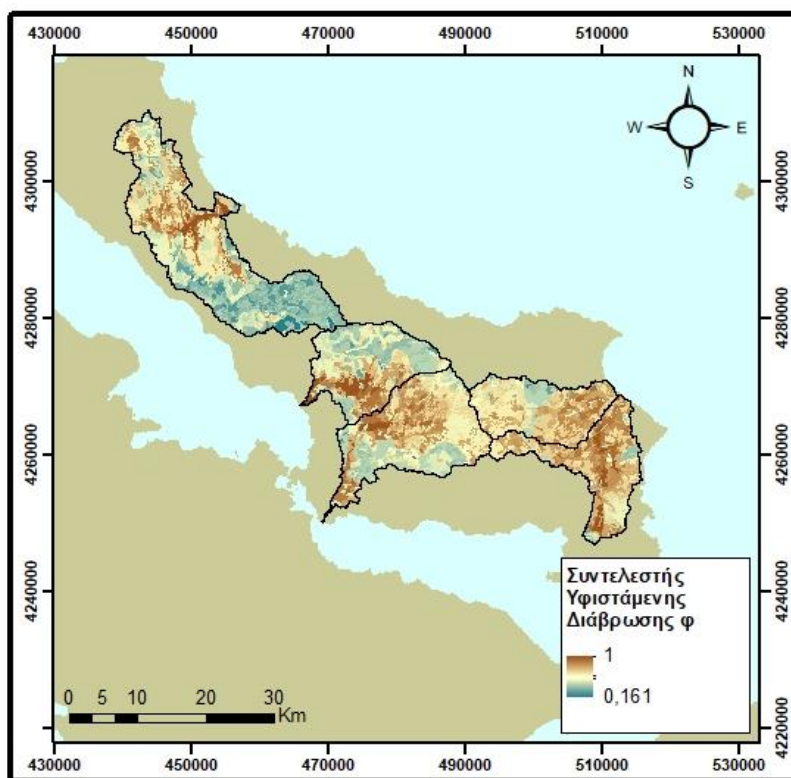
<b>Υδρολογική λεκάνη</b>	<b>J (%)</b>
<b>Κηρέα</b>	33,88
<b>Μεσσαπίου</b>	30,05
<b>Λήλα</b>	28,98
<b>Κανάλη</b>	24,90
<b>Μανικιάτη</b>	32,52



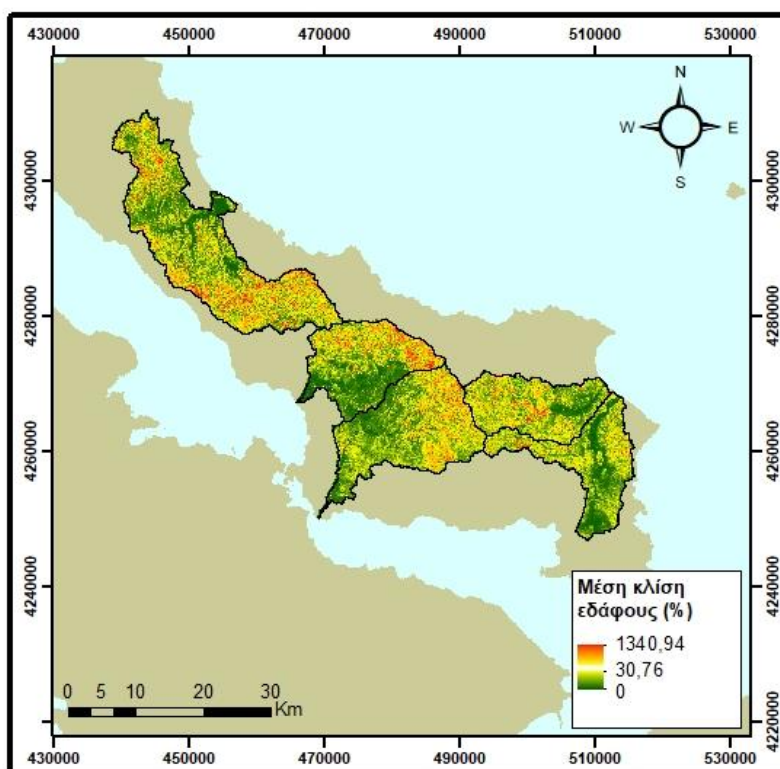
Σχήμα 5.6 : Συντελεστής φυτοκάλυψης Χ των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας



Σχήμα 5.7 : Συντελεστής Διαβρωσιμότητας εδάφους Χ των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας



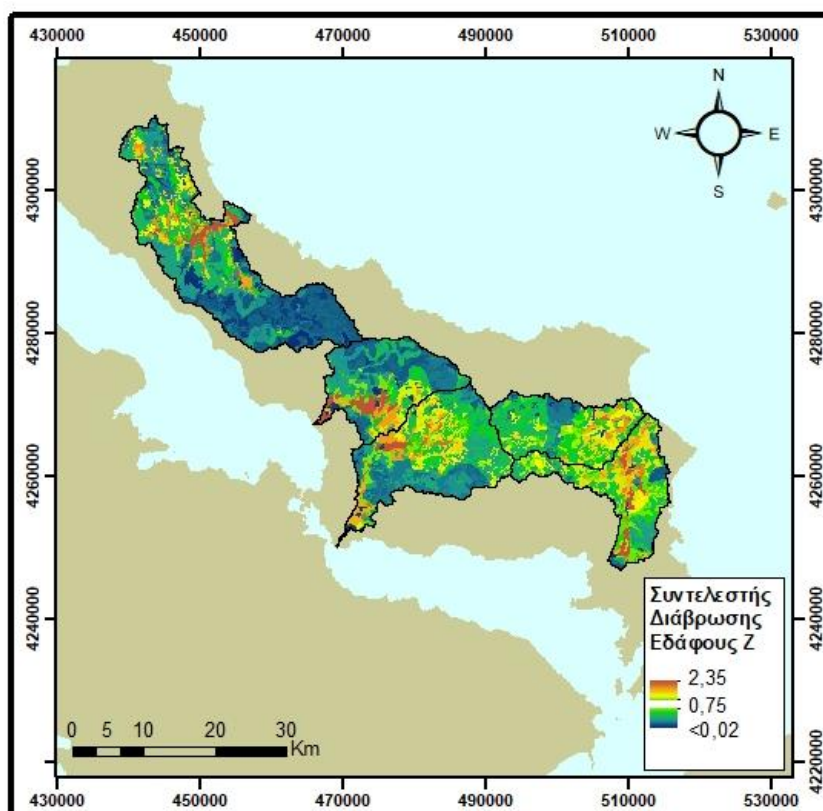
Σχήμα 5.8 : Συντελεστής υφιστάμενης διάβρωσης φ των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας



Σχήμα 5.9: Ποσοστιαία μέση κλίση εδάφους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας



Αφού ορίστηκαν οι επιμέρους παράμετροι, προέκυψε ο συντελεστής διάβρωσης του εδάφους Z (Σχήμα 5.10).



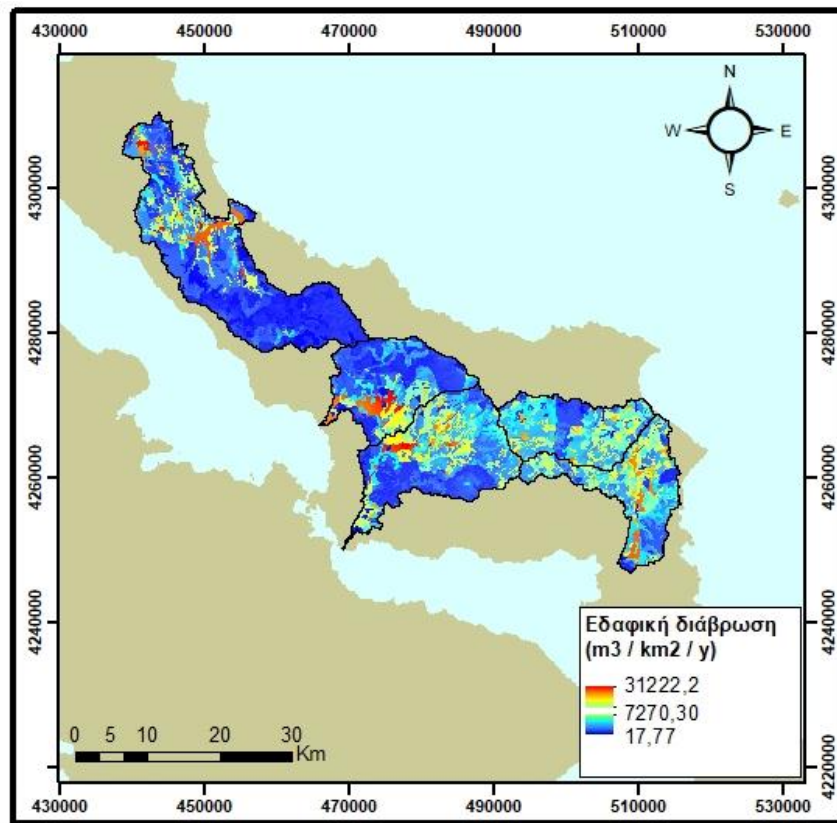
Σχήμα 5.10 : Συντελεστής διάβρωσης εδάφους Z των εξεταζόμενων λεκανών απορροής της Εύβοιας

#### 5.1.1.4 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου Gavrilovic

Με ορισμένες όλες τις παραμέτρους του μοντέλου Gavrilovic και χρήση της εξίσωσης 3.1 προέκυψε ο ψηφιακός χάρτης του Σχήματος 5.11. Στον Πίνακα 5.4 αναφέρεται η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση για κάθε μία από τις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας.

Πίνακας 5.4 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής, όπως προέκυψε από την εφαρμογή του μοντέλου Gavrilovic

Λεκάνη απορροής	Εδαφική Διάβρωση	
	( t · km <sup>2</sup> · y <sup>-1</sup> )	( t · y <sup>-1</sup> )
<b>Κηρέα</b>	5233.3	2017767.9
<b>Λήλα</b>	8010.7	2016201.4
<b>Μεσσαπίου</b>	6770.0	1234692.4
<b>Κανάλη</b>	9944.0	1657164.8
<b>Μανικιάτη</b>	8832.6	1383756.2



Σχήμα 5.11 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο Gavrilovic

## 5.1.2 RUSLE

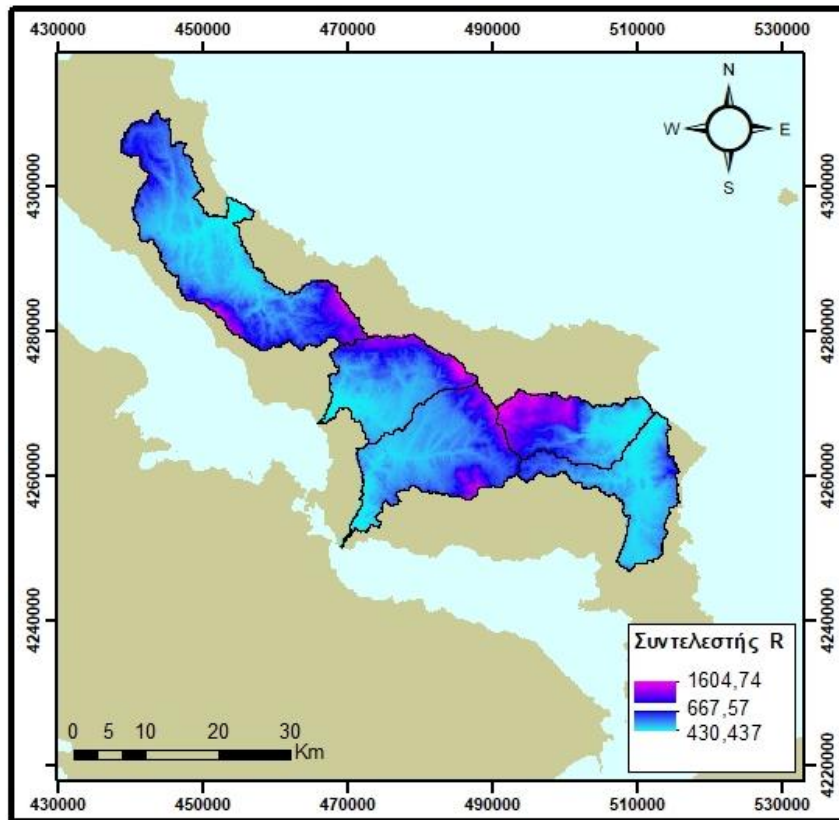
Για την εκτίμηση της στερεομεταφοράς με βάση το μοντέλο RUSLE, γίνεται διερεύνηση των συντελεστών της εξίσωσης 3.8. Επιπλέον γίνεται αναφορά στις προτεινόμενες τιμές από την ESDAC, και σύγκριση με τα αποτελέσματα μετά από εφαρμογή του μοντέλου.

### 5.1.2.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R

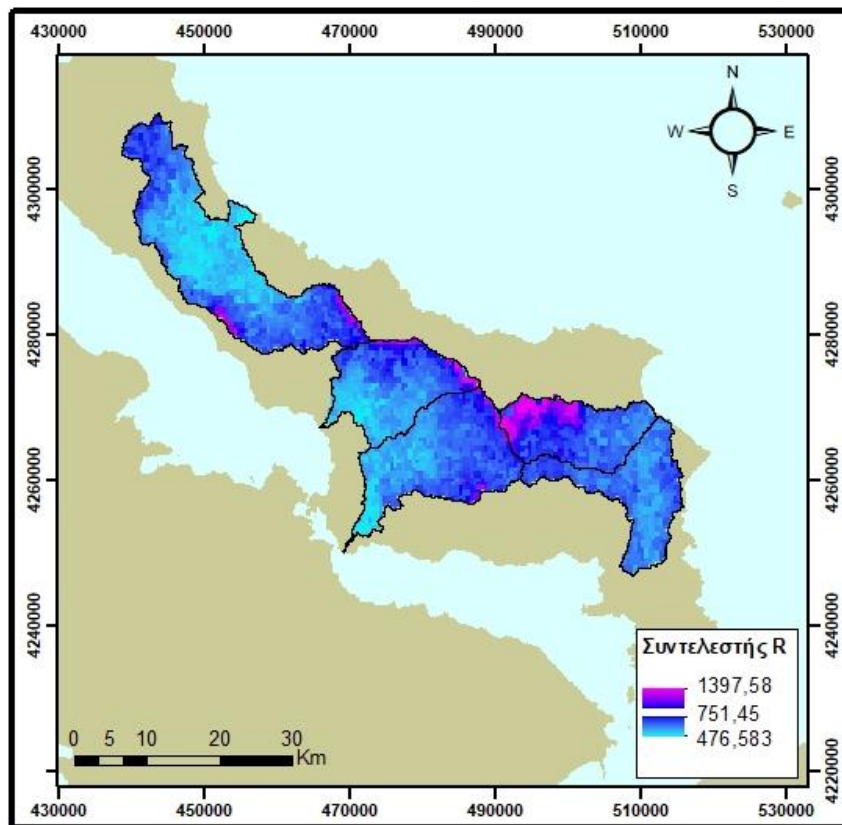
Ο συντελεστής διαβρωτικότητας βροχόπτωσης R, υπολογίζεται με βάση την εξίσωση που πρότεινε ο Φλαμπούρης (2008), όπως αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.5.1.2. Για την Εύβοια, η οποία σύμφωνα με το Σχήμα 3.3 υπάγεται στη ζώνη επιρροής του Σταθμού Λαμίας, η τιμή του  $\alpha$  ισούται με 0.7, διαμορφώνοντας την εξίσωση 3.16 ως:

$$R = 0.7 \cdot P \quad (5.4)$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω εξίσωση στο GIS, προέκυψε ο ψηφιακός χάρτης του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R (Σχήμα 5.10), ενώ στο Σχήμα 5.13 περιλαμβάνεται ο συντελεστής R όπως εκτιμήθηκε από την ESDAC.



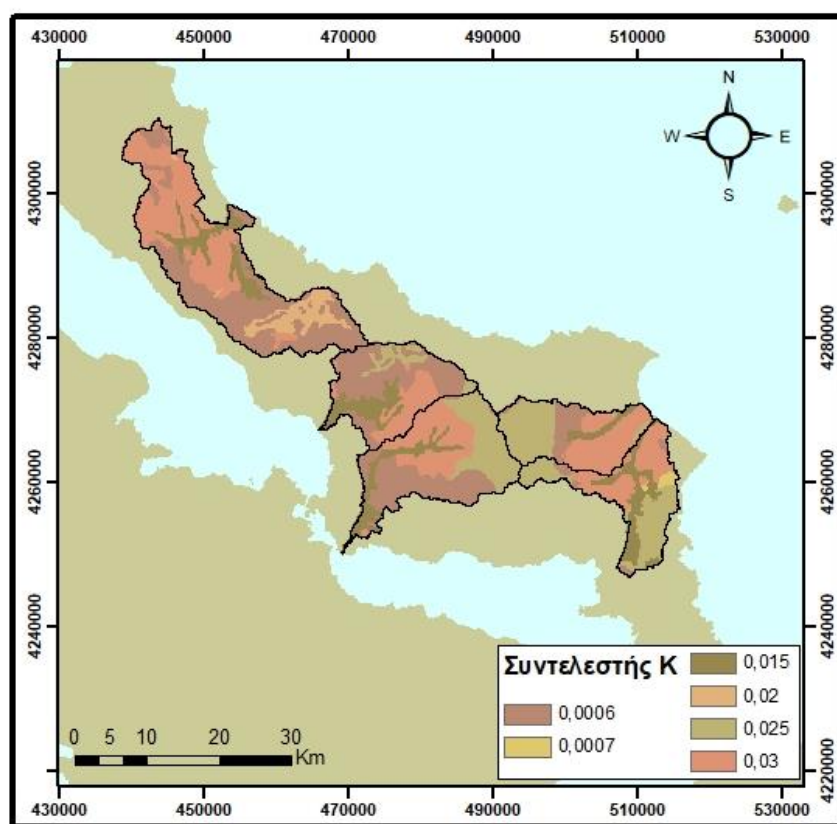
Σχήμα 5.12 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$ , όπως προέκυψε από τη σχέση  $R=0,7P$  ( $M \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ )



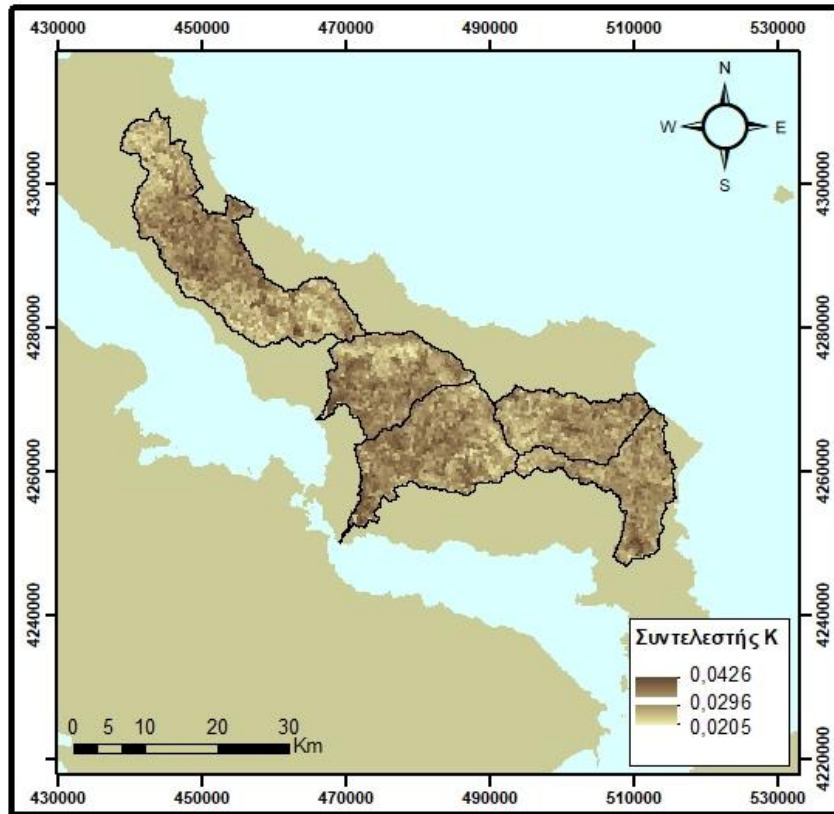
Σχήμα 5.13 : Συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης  $R$ , από την ESDAC ( $M \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot y^{-1}$ ) (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 5.1.2.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K

Όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 3.5.2, η εξαγωγή και ανάλυση εδαφικών δειγμάτων είναι ιδιαίτερα απαιτητική, επομένως γίνεται αντιστοίχιση των γεωλογικών σχηματισμών που εντοπίζονται στην περιοχή και της υδατοπερατότητάς τους με τον συντελεστή K, αντλώντας τιμές από τη βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001, Ευθυμίου, 2016) και κάνοντας εύλογες παραδοχές για τις ελλειπούσες τιμές. Στο Παράρτημα Β αναφέρεται η αναλυτική αντιστοίχιση των σχηματισμών με το συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K, ενώ προέκυψε ο ψηφιακός χάρτης του Σχήματος 5.12.



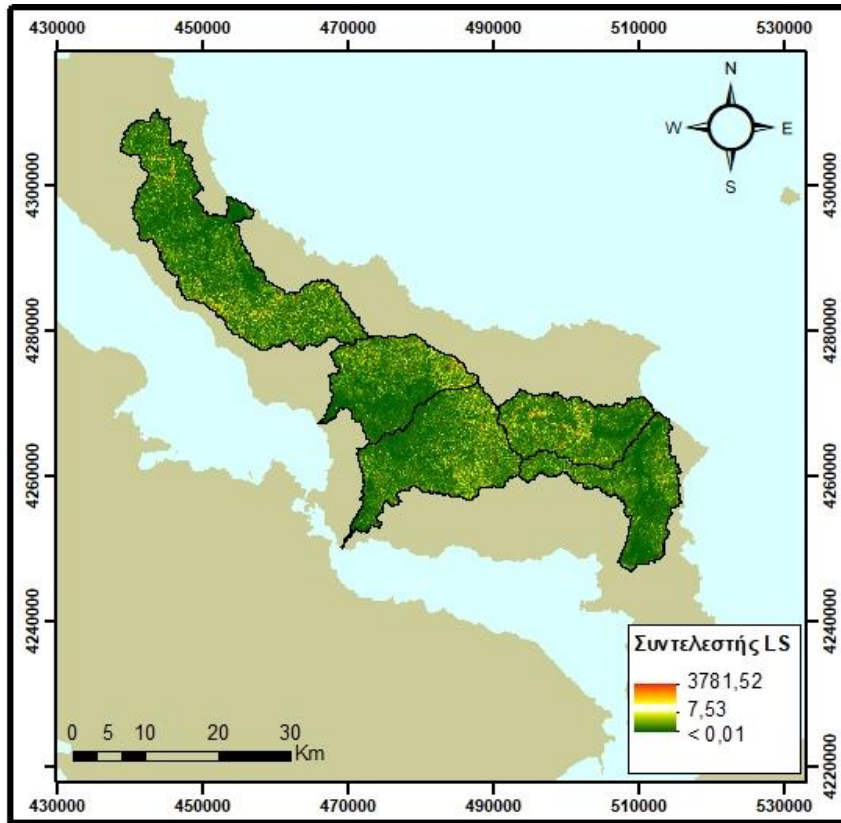
Σχήμα 5.14 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ )



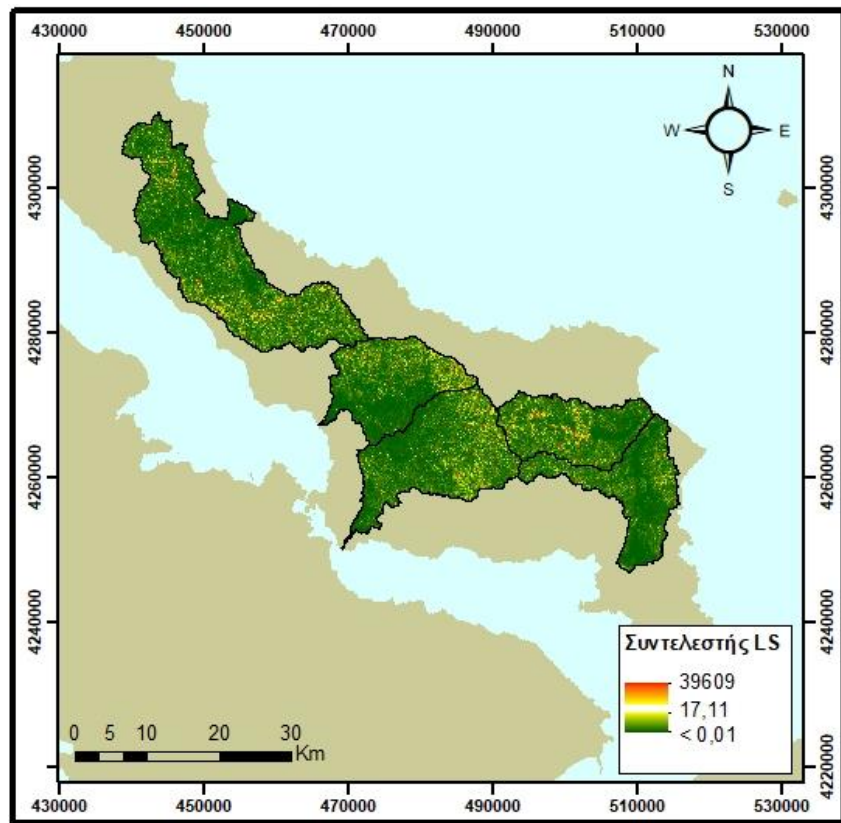
Σχήμα 5.15 : Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας  $K$  από την ESDAC ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ )  
(πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 5.1.2.3 Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS (DONE?)

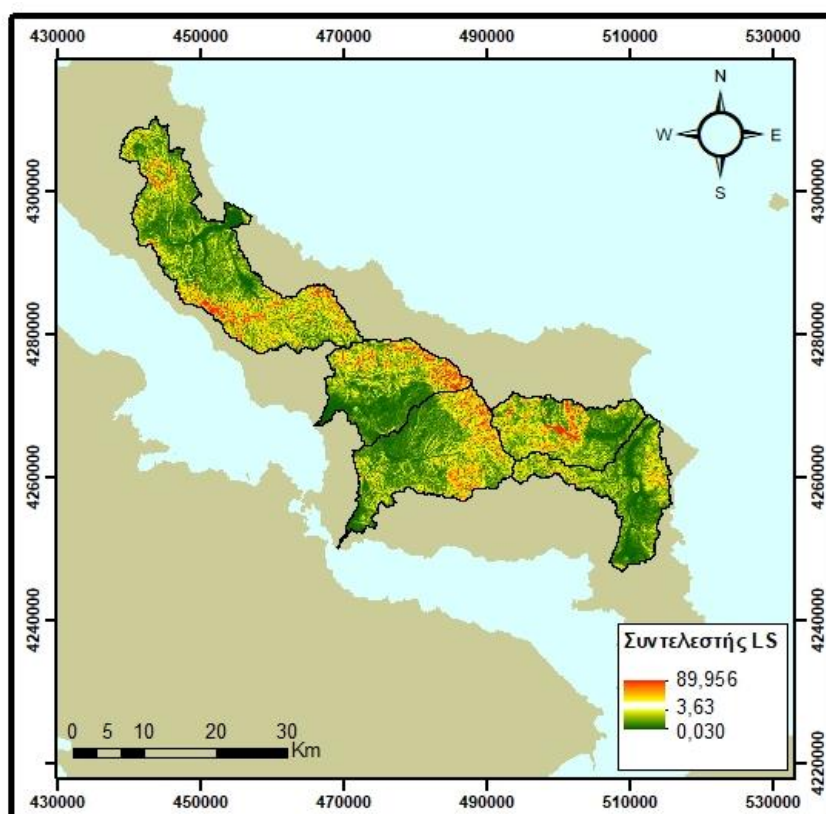
Ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS εκτιμήθηκε με βάση τις εξισώσεις των Wischmeier και Smith (1978) και Moore και Burch (1986), οι οποίες αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.5.3 (Σχήματα 5.14 και 5.15 αντίστοιχα).



Σχήμα 5.16 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS με την μέθοδο που προτάθηκε από τους Wischmeier και Smith (1978)



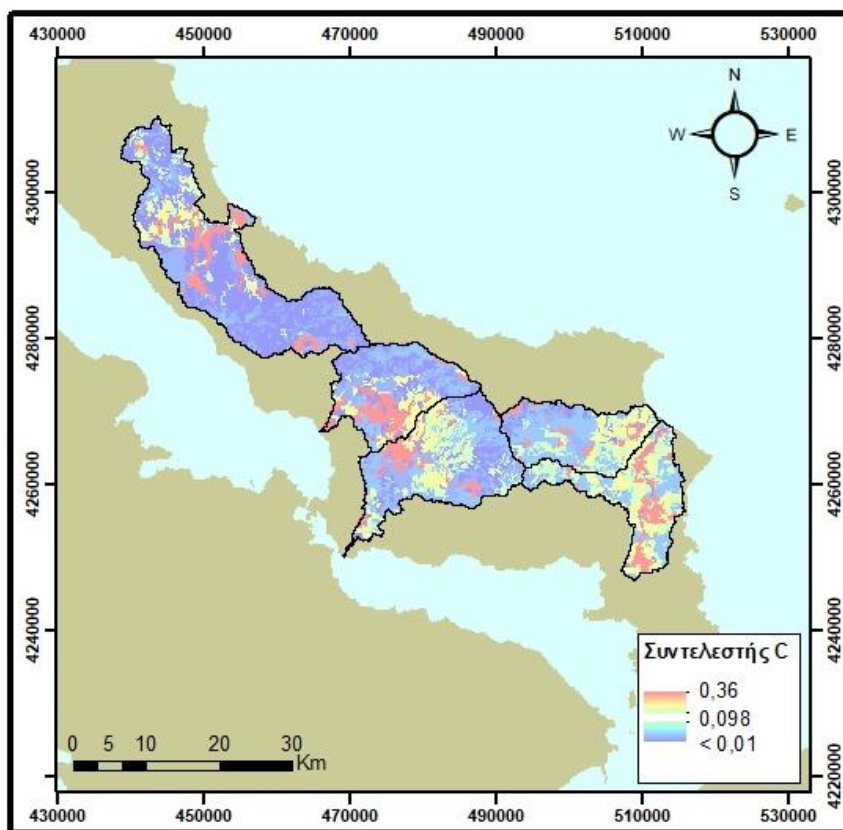
Σχήμα 5.17 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS με την μέθοδο που προτάθηκε από τους Moore και Burch (1986)



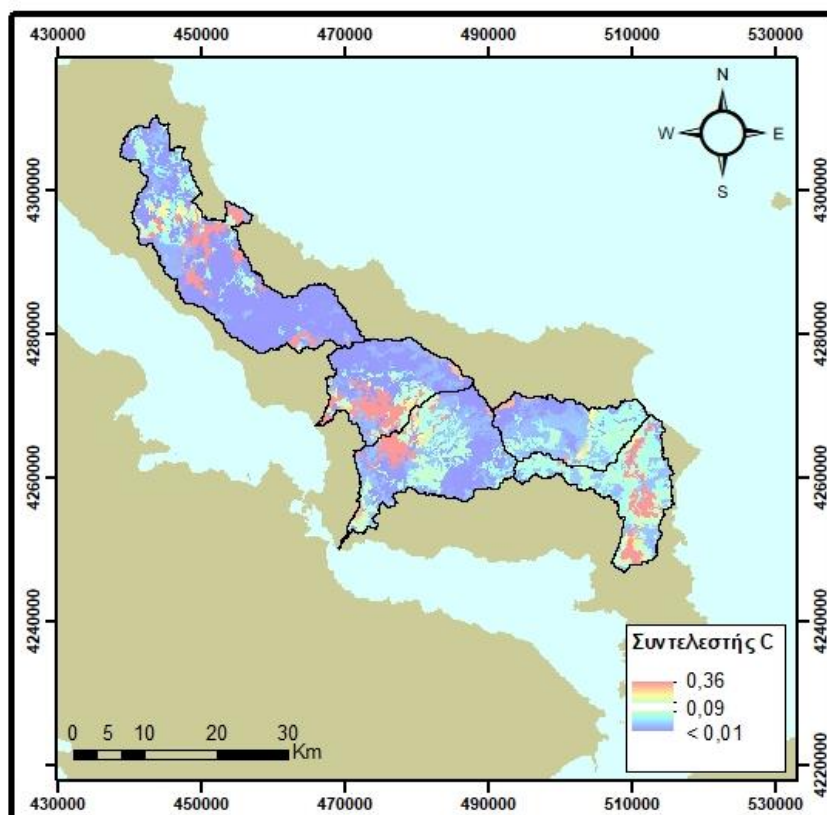
Σχήμα 5.18 : Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS, από την ESDAC (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

#### 5.1.2.4 Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C

Για κάθε κωδικό χρήσης γης έγινε αντιστοίχιση με την τιμή του συντελεστή, όπως λήφθηκε από τη βιβλιογραφία (Κωτούλας, 2001, Ευθυμίου, 2016) κάνοντας εύλογες παραδοχές κάνοντας εύλογες παραδοχές για τις ελλειπούσες τιμές. Ο χάρτης που προέκυψε βρίσκεται στο Σχήμα 5.17, ενώ στο Παράρτημα Β αναφέρεται αναλυτικά η αντιστοίχιση του συντελεστή C με κάθε χρήση γης που εντοπίζεται στις περιοχές μελέτης.



Σχήμα 5.19 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C

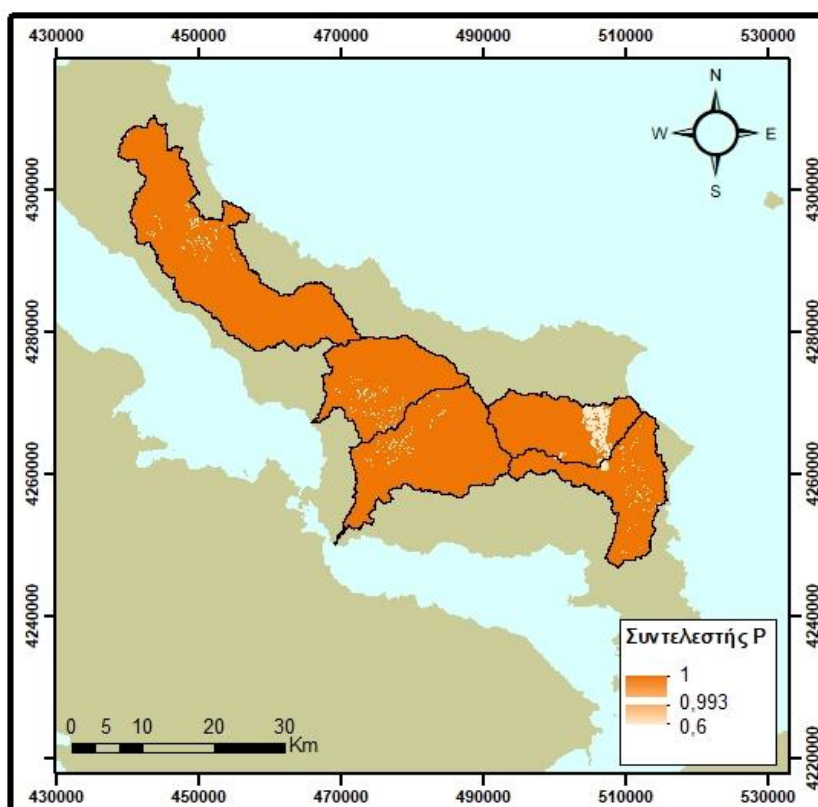


Σχήμα 5.20 : Συντελεστής διαχείρισης – κάλυψης γης C, από την ESDAC (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))



### 5.1.2.5 Συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών έναντι της διάβρωσης, P

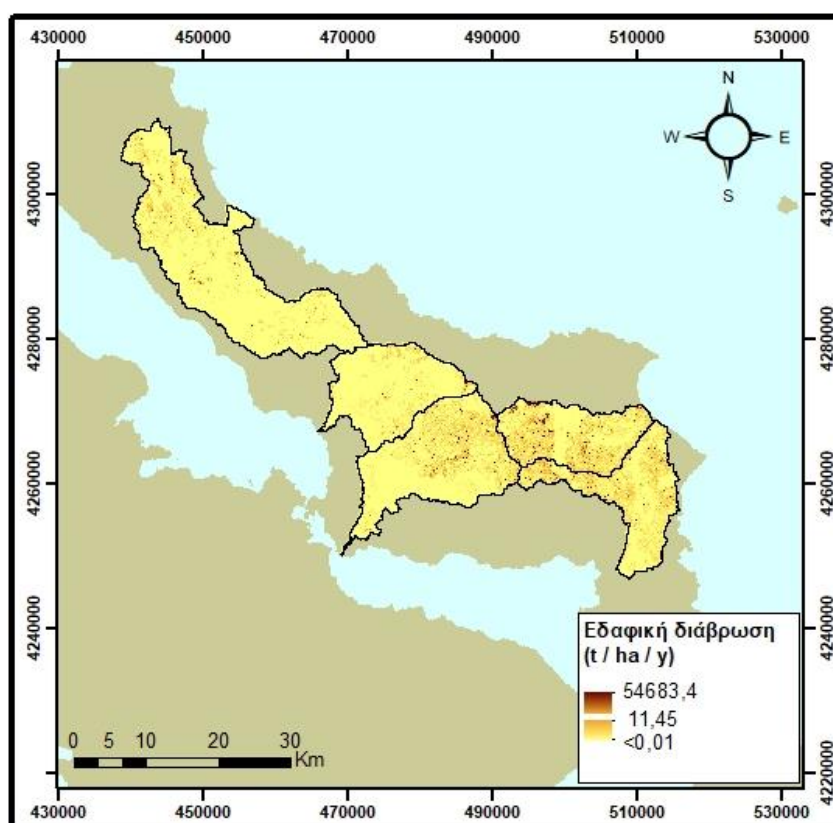
Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3.2.5, ο συντελεστής P σε παγκόσμιο επίπεδο συνηθίζεται να θεωρείται ίσος με τη μονάδα (Ghosal et al, 2020). Η θεώρηση αυτή δεν απέχει πολύ από την εκτίμηση που έκανε η ESDAC, καθώς στον χάρτη ισοδιάστασης X ο οποίος προέκυψε από τη διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.5.5, η μέση τιμή είναι 0.993. Η υψηλή αυτή τιμή δηλώνει ότι δεν έχουν ληφθεί πρακτικές προστασίας έναντι της διάβρωσης, με εξαίρεση τη λεκάνη απορροής του ποταμού Μανικιάτη. Με βάση τις τιμές της βιβλιογραφίας, θεωρείται ότι οι κυριότερες υποστηρικτικές πρακτικές έναντι διάβρωσης που εντοπίζονται στις περιοχές μελέτης, είναι η καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς ( $P=0.6-0.9$ ).



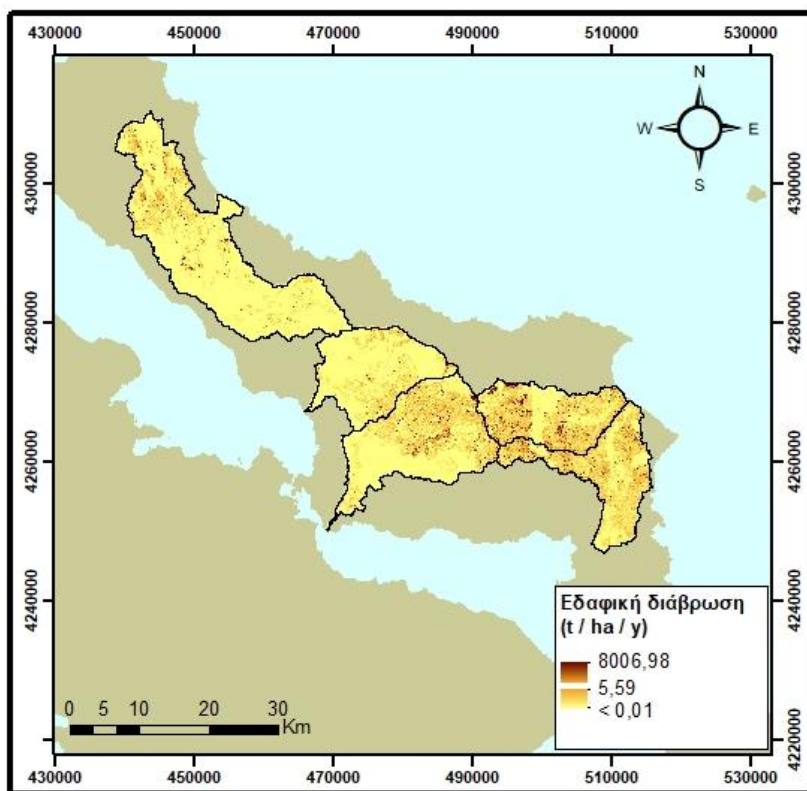
Σχήμα 5.21 : Συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών έναντι της διάβρωσης P, από την ESDAC (πηγή: [esdac.jrc.ec.europa.eu](http://esdac.jrc.ec.europa.eu))

### 5.1.2.6 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου RUSLE

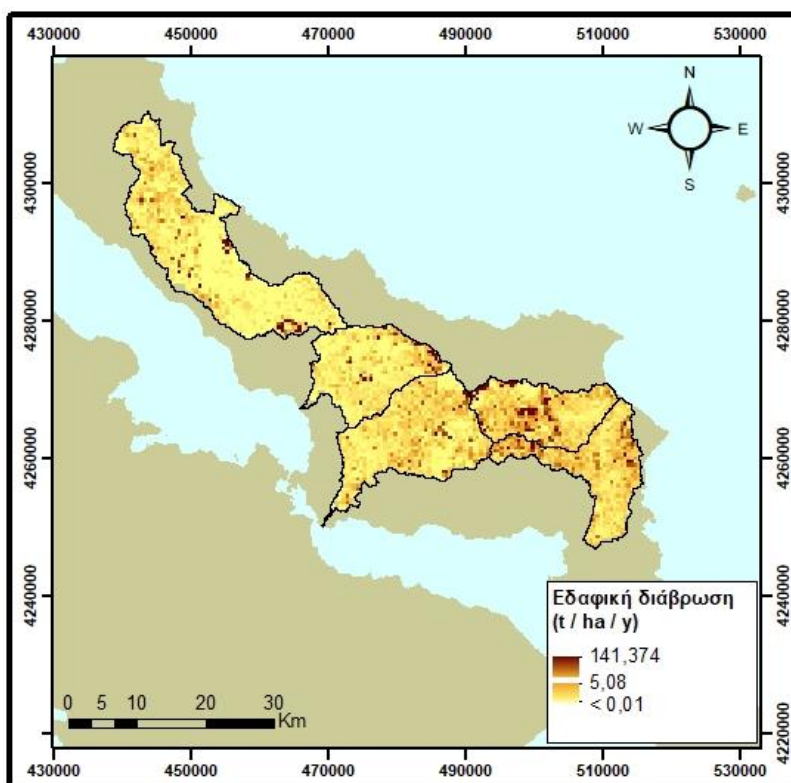
Αξιοποιώντας τους χάρτες που υπολογίζονται στα προηγούμενα κεφάλαια και με χρήση της εξίσωσης 3.8, προκύπτει η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση ( $t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$ ). Τα Σχήματα 5.22 και 5.23 περιέχουν την ετήσια εδαφική διάβρωση που προέκυψε με τη χρήση του συντελεστή LS που προτάθηκε από τους Wischmeier και Smith (1978) και τους Moore και Burch (1986) αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5.24 παρουσιάζεται η εδαφική διάβρωση που υπολογίστηκε σε Ευρωπαϊκό επίπεδο από την ESDAC.



Σχήμα 5.22 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE (συντελεστής LS κατά Wischmeier και Smith (1978) )



Σχήμα 5.23 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE (συντελεστής LS κατά Moore και Burch (1986) )



Σχήμα 5.24 : Εδαφική διάβρωση των εξεταζόμενων λεκανών απορροής με το μοντέλο RUSLE από την ESDAC (συντελεστής LS κατά Desmet και Govers, 1996)

Ο Πίνακας 5.5 περιλαμβάνει τη μέση ετήσια εδαφική διάβρωση, όπως προέκυψε μετά από την ανάλυση για κάθε μία από τις λεκάνες που εξετάστηκαν.

Πίνακας 5.5 : Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση των λεκανών απορροής που εξετάστηκαν, με το μοντέλο *RUSLE*

Λεκάνη απορροής	Μέθοδος υπολογισμού LS	Εδαφική Διάβρωση	
		( t · ha <sup>-1</sup> · y <sup>-1</sup> )	( t · y <sup>-1</sup> )
Κηρέα	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	5.40	208203
	LS κατά Moore & Burch (1986)	2.69	103716
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	3.32	127914
Λήλα	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	12.78	321658
	LS κατά Moore & Burch (1986)	6.14	154537
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	4.84	121737
Μεσσαπίου	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	6.54	119275
	LS κατά Moore & Burch (1986)	3.03	55260
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	4.45	81215
Κανάλη	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	15.68	261307
	LS κατά Moore & Burch (1986)	8.59	143152
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	6.85	114102
Μανικιάτη	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	25.40	397928
	LS κατά Moore & Burch (1986)	11.65	182514
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	8.51	133279

Οι δύο διαφορετικές προσεγγίσεις υπολογισμού του συντελεστή LS διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό μεταξύ τους, επηρεάζοντας άμεσα την υπολογισμένη εδαφική διάβρωση. Οι Hrabalíkova και Janeczek (2017) εξέτασαν τα αποτελέσματα που δίνουν οι διαφορετικές μέθοδοι υπολογισμού του συντελεστή μήκους και βαθμού κλίσεως LS, καταλήγοντας στο ότι η εξίσωση των Wischmeier και Smith (1978) δίνει πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Πίνακας 5.6 : Μέση ετήσια εδαφική διάβρωση των λεκανών απορροής που εξετάστηκαν και σύγκριση με τα αποτελέσματα της ESDAC

Λεκάνη απορροής	Μέθοδος υπολογισμού LS	Εδαφική Διάβρωση	
		( t · ha <sup>-1</sup> · y <sup>-1</sup> )	( t · y <sup>-1</sup> )
Κηρέα	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	5.40	208203
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	3.32	127914
Λήλα	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	12.78	321658
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	4.84	121737
Μεσσαπίου	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	6.54	119275
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	4.45	81215
Κανάλη	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	15.68	261307
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	6.85	114102
Μανικιάτη	LS κατά Wischmeier & Smith (1978)	25.40	397928
	LS κατά Desmer & Govers (1996) ~ ESDAC	8.51	133279

Παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική απόκλιση των αποτελεσμάτων που υπολογίστηκαν σε σχέση με αυτά της ESDAC. Η απόκλιση αυτή κρίνεται λογική, δεδομένου ότι η ισοδιάσταση των χαρτών της ESDAC (ανάλυση των R & K ~ 500 m × 500 m, C & P ~ 100 m × 100 m, LS ~ 25 m × 25 m) είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τους χάρτες που παρήχθησαν (5 m × 5 m). Από τους συντελεστές του μοντέλου, μεγαλύτερη απόκλιση εμφανίζει ο συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης LS, που είναι λογικό αν αναλογιστεί κανείς την ιδιαιτερότητα αυτού του συντελεστή και την άμεση σχέση του με την ανάλυση της μορφολογίας του εδάφους.

### 5.1.3 Σύγκριση των δύο μεθόδων – εκτίμηση στερεοαπορροής

Για την εκτίμηση της στερεοαπορροής στις εξόδους των εξεταζόμενων λεκανών απορροής, έγινε χρήση των δύο συντελεστών κατακράτησης που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.4.1

Πίνακας 5.7 : Συντελεστές στερεοαπορροής – κατακράτησης και τελική στερεοαπορροή στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής της Εύβοιας με χρήση του μοντέλου Gavrilovic

ΛΑΠ Μέθοδος	Κηρέα	Λήλα	Μεσσαπίου	Κανάλη	Μανικιάτη
<b>Gavrilovic</b>	0.644	0.544	0.577	0.542	0.730
<b>Στερεοαπορροή (t · y<sup>-1</sup>)</b>	1298832	1095945	712581	897724	1009677
<b>Zemljic</b>	0.044	0.039	0.046	0.049	0.057
<b>Στερεοαπορροή (t · y<sup>-1</sup>)</b>	88158	77982	56699	80591	78408

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3.4.1, ο συντελεστής κατακράτησης - στερεοαπορροής που προτείνεται από τον Gavrilovic, τείνει να υπερεκτιμά την τελική στερεοαπορροή. Γι' αυτό το λόγο επιλέγεται η τροποποίηση κατά Zemljic.

Πίνακας 5.8 : Συντελεστής στερεοαπορροής και τελική στερεοαπορροή στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής με χρήση του μοντέλου *RUSLE*

SDR \ ΛΑΠ	Κηρέα	Λήλα	Μεσσαπίου	Κανάλη	Μανικιάτη
<b>Vaponi</b>	0.225	0.237	0.247	0.250	0.252
<b>Στερεοαπορροή (t · y<sup>-1</sup>)</b>	46788	76243	29433	65213	100079
<b>USDA - SCS</b>	0.294	0.308	0.319	0.323	0.325
<b>Στερεοαπορροή (t · y<sup>-1</sup>)</b>	61242	99159	38096	84292	129238
<b>Renfro</b>	0.233	0.248	0.259	0.263	0.265
<b>Στερεοαπορροή (t · y<sup>-1</sup>)</b>	48572	79722	30945	68667	105489

Πίνακας 5.9 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα των μοντέλων εκτίμησης στερεοαπορροής *Gavrilovic* και *RUSLE*

Μέθοδος \ ΛΑΠ	Κηρέα	Λήλα	Μεσσαπίου	Κανάλη	Μανικιάτη
<b>Gavrilovic (t · y<sup>-1</sup>)</b>	88158	77982	56699	80591	78408
<b>RUSLE (t · y<sup>-1</sup>)</b>	46788	76242	29433	65213	100079

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων γίνεται φανερό ότι υπάρχει σημαντική απόκλιση στην εκτίμηση της τελικής εδαφικής διάβρωσης και κατ' επέκταση της στερεομεταφοράς στην έξοδο των εξεταζόμενων λεκανών απορροής. Υπενθυμίζεται ότι το μοντέλο *RUSLE* αναπτύχθηκε για καλλιεργήσιμες εκτάσεις της Αμερικής και δεν περιλαμβάνει τη χαραδρωτή και φαραγγωτή διάβρωση στην εκτίμησή του, ενώ το μοντέλο *Gavrilovic* αναπτύχθηκε σε ορεινές περιοχές των Βαλκανίων και περιλαμβάνει τους παραπάνω τύπους διάβρωσης. Επομένως, στις εξεταζόμενες ορεινές λεκάνες απορροής ήταν αναμενόμενο οι εκτιμήσεις του μοντέλου *Gavrilovic* να είναι σημαντικά μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές του μοντέλου *RUSLE*.

## 5.2 Υδρολογική Ανάλυση

Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν, θεωρώντας τα αποτελέσματα του μοντέλου Gannilonic ως πιο αξιόπιστα, μιας και αναπτύχθηκαν για παρόμοιες συνθήκες με τις λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πρόβλημα στερεομεταφοράς ανά μονάδα επιφάνειας υπάρχει στις υδρολογικές λεκάνες των ποταμών Κανάλη, Μανικιάτη και Λήλα. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώθηκε και από την εφαρμογή του μοντέλου RUSLE. Επιλέχθηκε να γίνει υδρολογική ανάλυση και υδραυλική προσομοίωση στις λεκάνες απορροής των ποταμών Μανικιάτη και Λήλα.

Για τις αναλύσεις αυτές επιλέγεται κατάλληλο σημείο μέσα στην εξεταζόμενη λεκάνη (σημείο εξόδου υπολεκάνης) ορίζοντας έτσι την ανάντη υπολεκάνη. Η επιλογή κατάλληλου σημείου γίνεται ανάλογα με τον σκοπό της μελέτης:

- Σε περίπτωση μελέτης συγκεκριμένου τεχνικού έργου (πχ γέφυρα, φράγμα) η θέση ορίζεται από τη θέση κατασκευής του έργου
- Σε περίπτωση μελέτης πλημμυρικού πεδίου (που είναι το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας) η θέση αυτή επιλέγεται ελάχιστη ανάντη της ευάλωτης σε πλημμύρα περιοχής. Η γνώση των ευάλωτων περιοχών προκύπτει από το ιστορικό πλημμυρών και τα ΣΔΚΠ που έχουν καταρτιστεί από το ΥΠΕΝ. Στη συνέχεια, το πλημμυρογράφημα που υπολογίζεται στην έξοδο της υπολεκάνης (υδρολογικό μοντέλο) διοδεύεται κατάντη με υδραυλικές μεθόδους (υδραυλικό μοντέλο) και έτσι υπολογίζεται το βάθος και η έκταση της πλημμύρας.

Για τον ποταμό Λήλα, επιλέχθηκε η θέση όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.25. Η θέση αυτή βρίσκεται αρκετά κατάντη, επομένως περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος ολόκληρης της λεκάνης απορροής, και επιλέχθηκε με γνώμονα τις θανάσιμες πλημμύρες του Αυγούστου του 2020, όπου υπήρξε αστοχία και των τριών γεφυρών της ευρύτερης περιοχής.



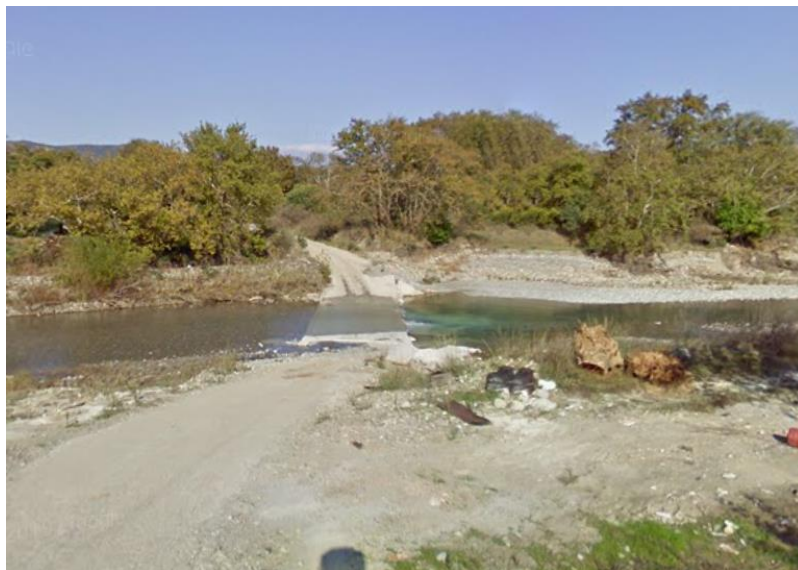
Σχήμα 5.25 : Ευρύτερη κατάντη περιοχή της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (πηγή: Google Earth)

Για την περίπτωση του ποταμού Μανικιάτη, η θέση επιλέχθηκε λίγο πριν τον οικισμό Μονόδρυο, σύμφωνα με το Σχήμα 5.26



Σχήμα 5.26 : Ευρύτερη κατάντη περιοχή της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (Πηγή: Google Earth)

Διαπιστώθηκε ότι η 'Γέφυρα 2' του Σχήματος 5.26, στην πραγματικότητα αποτελεί ένα αυτοσχέδιο πέρασμα (Σχήμα 5.27). Επομένως, η τροποποίηση στο ΨΜΕ ώστε να ληφθούν υπόψιν τα τοπικά σφάλματα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.1 γίνεται μόνο για την περίπτωση της Γέφυρας 1.



Σχήμα 5.27 : 'Γέφυρα 2' (Πηγή: Google Maps)



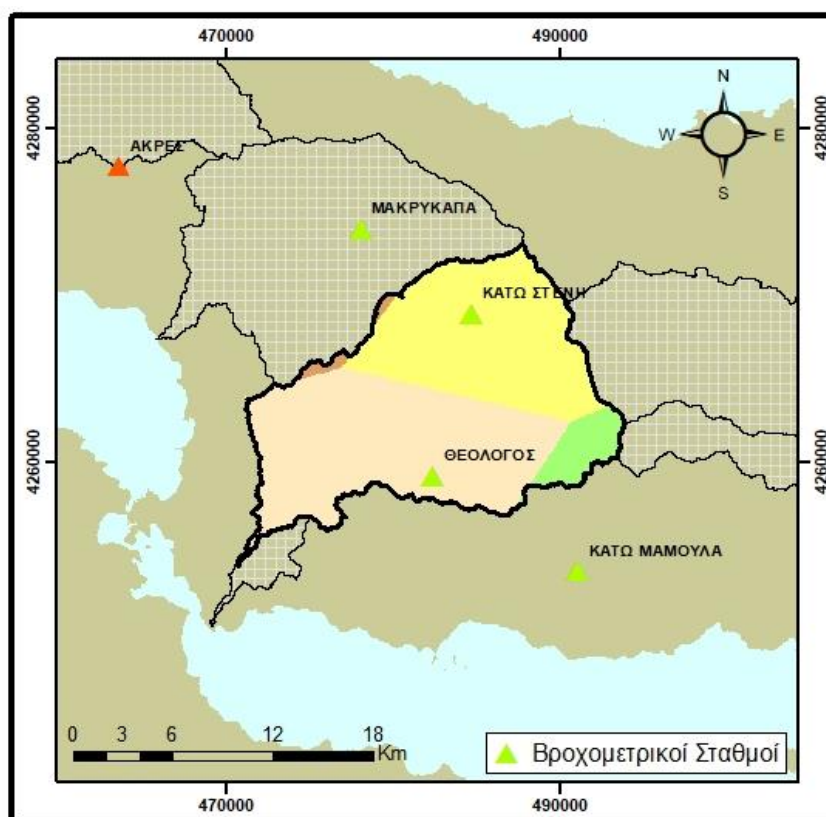
### 5.2.1 Υδρολογική ανάλυση υπολεκάνης ποταμού Λήλα

Όπως αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 2.3, η διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου που εξετάζεται πρέπει να λαμβάνεται ως πολλαπλάσιου του χρόνου συγκέντρωσης της ανάντη λεκάνης απορροής. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα αναφέρονται στον Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10 : Κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα

Μέγεθος	Μονάδες	Τιμή
Επιφάνεια λεκάνης απορροής A	km <sup>2</sup>	240.46
Μήκος κύριου υδατορέματος L	km <sup>2</sup>	33.14
Μέσο υψόμετρο λεκάνης H <sub>mean</sub>	m	364.07
Υψόμετρο εξόδου H <sub>min</sub>	m	13.19
Χρόνος συγκέντρωσης t <sub>c</sub>	h	7.46
Χρόνος υστέρησης t <sub>L</sub>	h	4.47

Οι βροχομετρικοί σταθμοί με κατάλληλα ορισμένες όμβριες καμπύλες, όπως αυτές αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4.5, που έχουν επιρροή στην υπολεκάνη του ποταμού Λήλα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.28 με πράσινο χρώμα, ενώ στον Πίνακα 5.11 αναφέρονται οι εκτάσεις Thiessen που τους αναλογούν.



Σχήμα 5.27 : Πολύγωνα Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα

Πίνακας 5.11 : Εκτάσεις Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα

Βροχομετρικός Σταθμός	Έκταση Thiessen	
	km <sup>2</sup>	%
<b>ΜΑΚΡΥΚΑΠΑ</b>	3.83	1.59%
<b>ΘΕΟΛΟΓΟΣ</b>	94.67	39.37%
<b>ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ</b>	128.19	53.31%
<b>ΚΑΤΩ ΜΑΜΟΥΛΑ</b>	13.77	5.73%
	240.46	100.00%

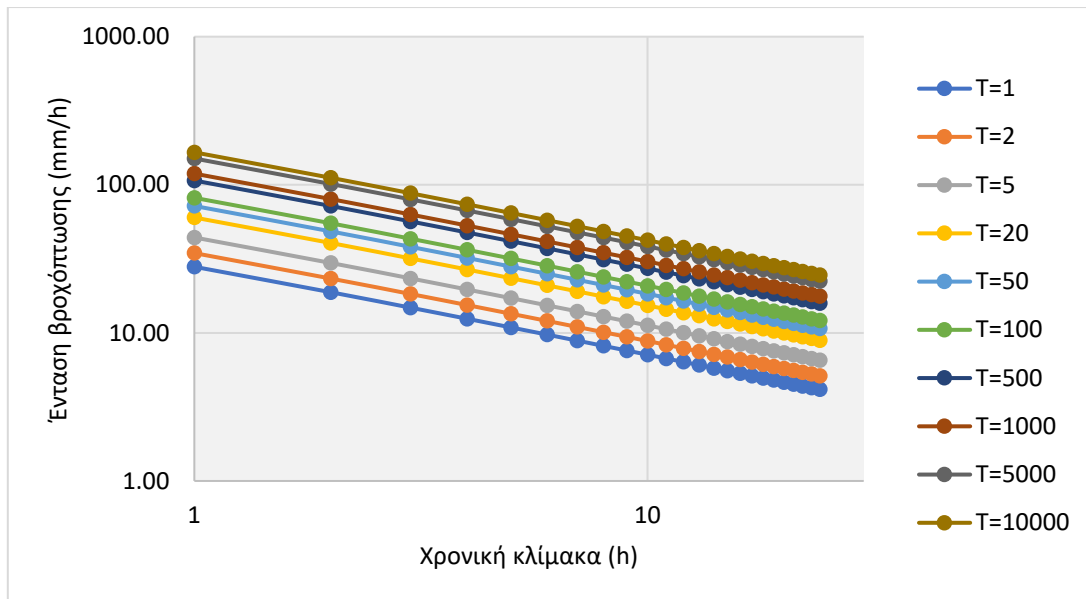
Οι σημειακές εντάσεις βροχόπτωσης του Πίνακα 5.12 ολοκληρώνονται επιφανειακά με τη χρήση των πολυγώνων Thiessen. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για περιόδους επαναφοράς από 1 έως 10000 έτη, με σκοπό την οπτικοποίηση της μορφής των όμβριων καμπυλών. Στο Σχήμα 5.29 παρουσιάζονται οι όμβριες του σταθμού <<Κάτω Στενή>> ο οποίος έχει και τη μεγαλύτερη επιρροή στην εξεταζόμενη υπολεκάνη απορροής.

Πίνακας 5.12 : Σημειακή βροχόπτωση ( $d=5$  h,  $T=100$  y) στους βροχομετρικούς σταθμούς με επιρροή στην υπολεκάνη του ποταμού Λήλα

Βροχομετρικός Σταθμός	i(d,T)	
	(mm h <sup>-1</sup> )	(mm)
<b>ΜΑΚΡΥΚΑΠΑ</b>	35.92	179.6
<b>ΘΕΟΛΟΓΟΣ</b>	19.64	98.20
<b>ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ</b>	31.79	158.95
<b>ΚΑΤΩ ΜΑΜΟΥΛΑ</b>	16.81	84.05

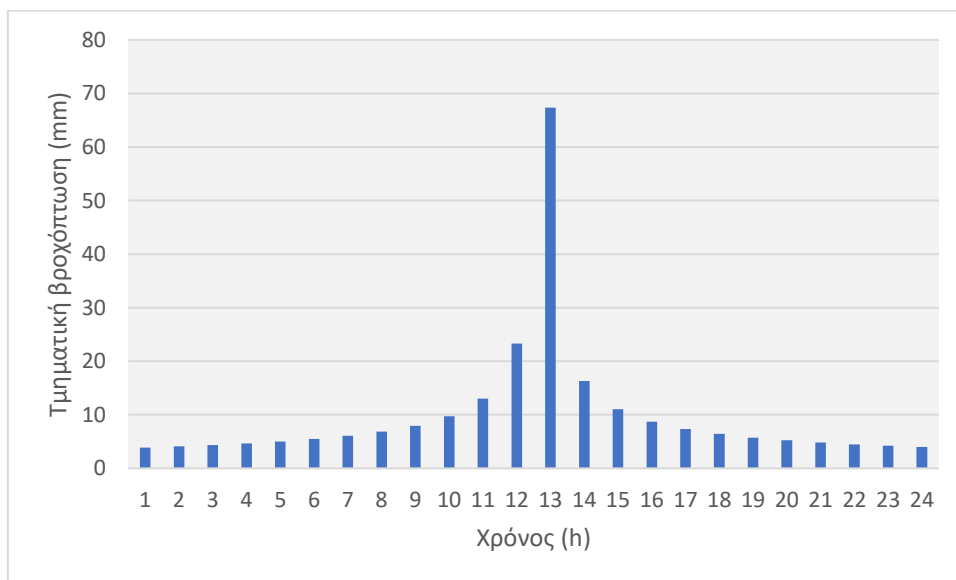
Πίνακας 5.13 : Επιφανειακά ολοκληρωμένη βροχόπτωση ( $T=100$  y) για την υπολεκάνη του ποταμού Λήλα

<b>d</b> (h)	<b>i</b> (mm·h <sup>-1</sup> )	<b>d</b> (h)	<b>i</b> (mm·h <sup>-1</sup> )
1	67.34	13	14.60
2	45.33	14	13.95
3	35.66	15	13.37
4	30.00	16	12.85
5	26.21	17	12.38
6	23.46	18	11.95
7	21.35	19	11.55
8	19.68	20	11.19
9	18.31	21	10.86
10	17.16	22	10.55
11	16.18	23	10.27
12	15.34	24	10.00

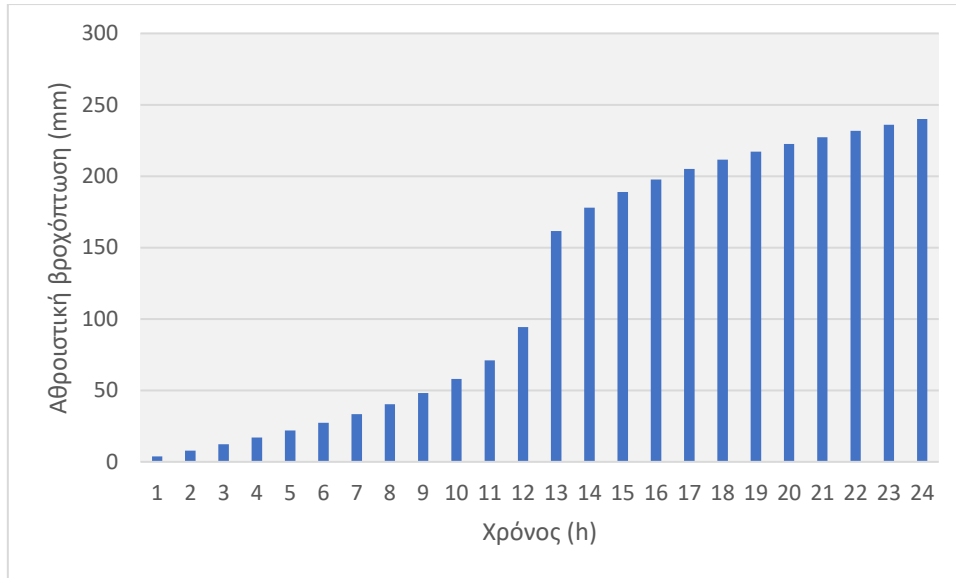


Σχήμα 5.28 : Όμβριες καμπύλες βροχομετρικού σταθμού Κάτω Στενή

Στη συνέχεια εφαρμόζεται η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ όπως αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.4. Για βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς 100 ετών προέκυψαν τα υετογραφήματα των Σχημάτων 5.30 και 5.31.



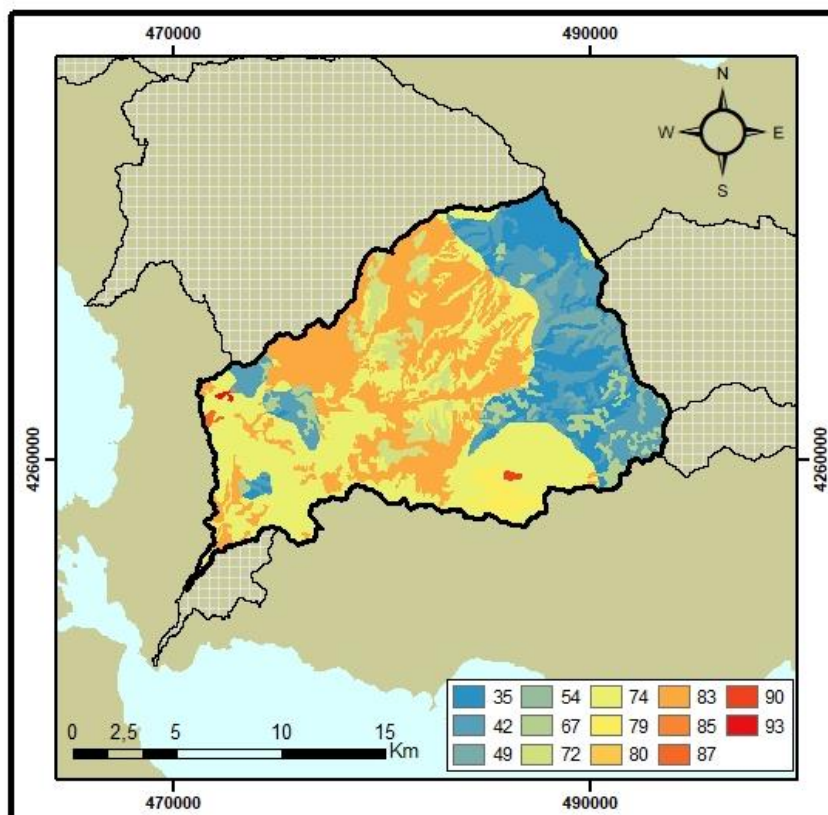
Σχήμα 5.29 : Τμηματικό υετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (T=100 χρόνια)



Σχήμα 5.30 : Αθροιστικό νετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα (T=100 χρόνια)

Από τη διαδικασία υπολογισμού που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.4 προκύπτουν οι τιμές του αριθμού καμπύλης απορροής CN για ξηρές, κανονικές και υγρές συνθήκες εδάφους.

Προηγούμενη Κατάσταση Εδάφους	Ξηρή	Μέση	Υγρή
CN	46,37	67,31	82,56



Σχήμα 5.31 : Αριθμός καμπύλης απορροής CN της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για μέσες συνθήκες εδάφους

Για την παραγωγή πλημμυρικών υδρογραφημάτων μέσω του λογισμικού HEC-HMS, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.2 είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της μέσης μηνιαίας βασικής παροχής ποταμού και της αδιαπερατότητας της περιοχής μελέτης.

Η αδιαπερατότητα της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε αντλώντας δεδομένα από το Corneicus. Για την υπολεκάνη του ποταμού Λήλα η αδιαπερατότητα λαμβάνει την τιμή 0.24%. Για τη μέση μηνιαία βασική ροή του ποταμού, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν οι σχετικές μετρήσεις, έγινε η θεώρηση ότι λαμβάνει τιμές από 0.2 έως 4 m<sup>3</sup>/s, με τις χαμηλότερες τιμές για τους μήνες Ιούνιο έως Αύγουστο όπου το ρέμα ξεραίνεται.

### 5.2.2 Υδρολογική ανάλυση υπολεκάνης ποταμού Μανικιάτη

Η διάρκεια του πλημμυρικού επεισοδίου που εξετάζεται λαμβάνεται ως πολλαπλάσιο του χρόνου συγκέντρωσης, σύμφωνα με την εξίσωση υπολογισμού που πρότεινε ο Giandotti (1934). Ο Πίνακας 5.13 περιέχει τα κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη.

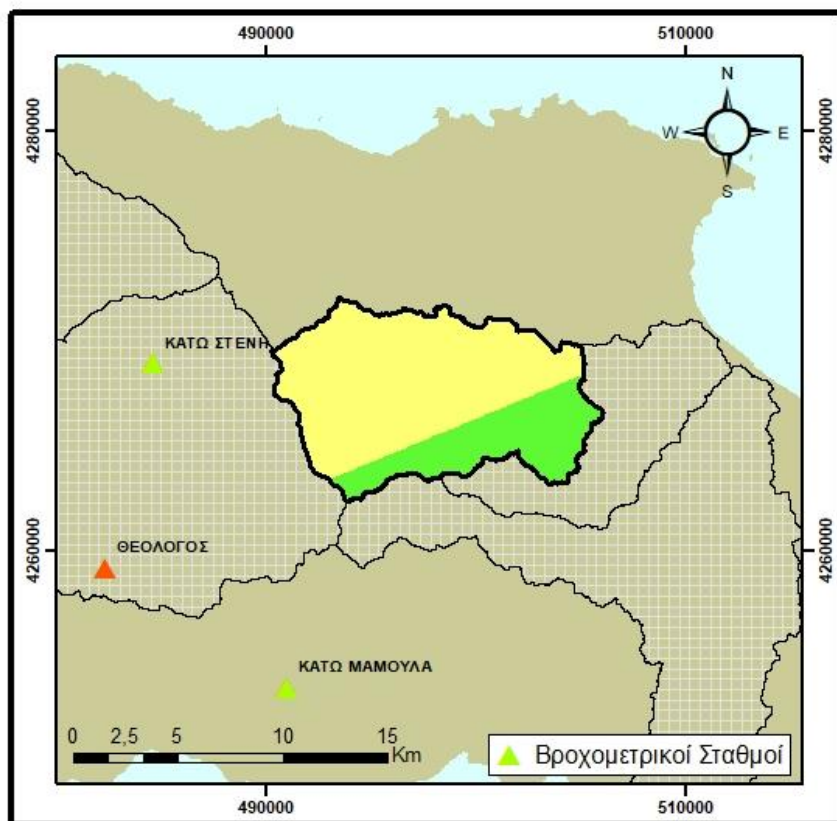
Πίνακας 5.14 : Κυριότερα χαρακτηριστικά της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη

Μέγεθος	Μονάδες	Τιμή
Επιφάνεια λεκάνης απορροής A	km <sup>2</sup>	103.39
Μήκος κύριου υδατορέματος L	km <sup>2</sup>	15.72
Μέσο υψόμετρο λεκάνης H <sub>mean</sub>	m	691.80
Υψόμετρο εξόδου H <sub>min</sub>	m	27.27
Χρόνος συγκέντρωσης t <sub>c</sub>	h	3.12
Χρόνος υστέρησης t <sub>i</sub>	h	1.87

Η επιφανειακή βροχόπτωση υπολογίζεται σύμφωνα με τα πολύγωνα Thiessen της περιοχής μελέτης. Ο ψηφιακός χάρτης 5.33 περιλαμβάνει τις εκτάσεις Thiessen της περιοχής, ενώ στον Πίνακα 5.15 αναφέρονται τα ποσοστά επιρροής των πολυγώνων αυτών. Παρατηρείται ότι και στην περίπτωση της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη, ο σταθμός <<Κάτω Στενή>> έχει τη μεγαλύτερη επιρροή. Οι όμβριες καμπύλες του σταθμού αυτού περιέχονται στο Σχήμα 5.29, ενώ στον Πίνακα 5.16 αναφέρεται η επιφανειακή βροχόπτωση της περιοχής.

Πίνακας 5.15 : Εκτάσεις Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη

Βροχομετρικός Σταθμός	Έκταση Thiessen	
	km <sup>2</sup>	%
ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ	75.00	72.54%
ΚΑΤΩ ΜΑΜΟΥΛΑ	28.39	27.46%
	103.39	100%



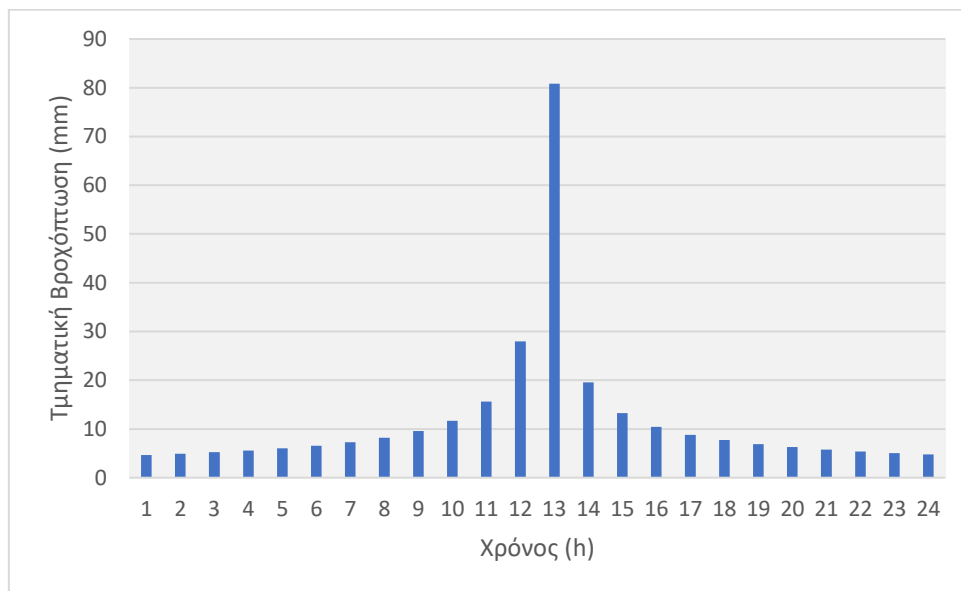
Σχήμα 5.32 : Πολύγωνα Thiessen της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη

Πίνακας 5.16 : Επιφανειακά ολοκληρωμένη βροχόπτωση ( $T=100$  y) για την υπολεκάνη του ποταμού Μανικιάτη

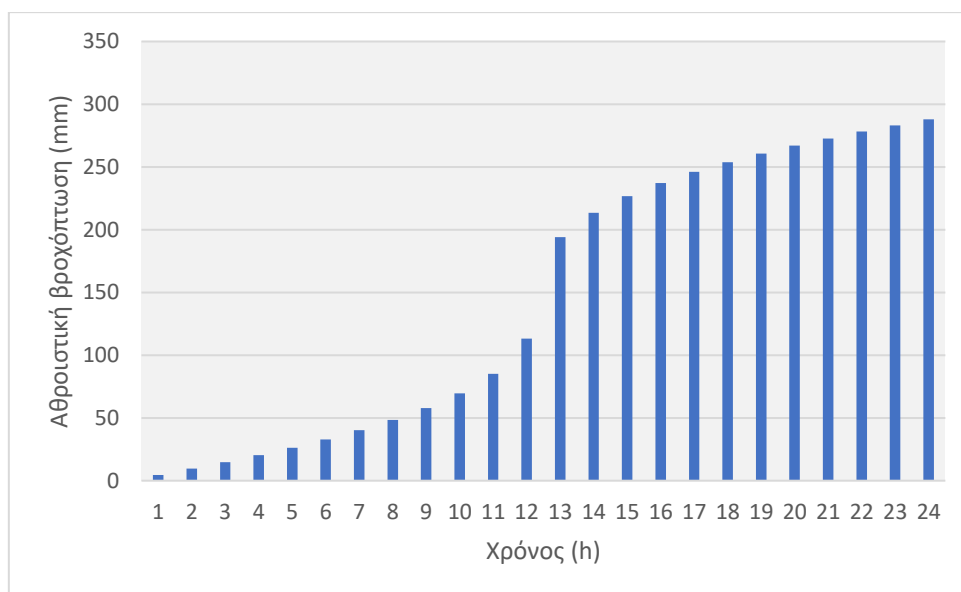
<b>d (h)</b>	<b>i (mm · h<sup>-1</sup>)</b>
1	80.80
2	54.39
3	42.79
4	36.00
5	31.45
6	28.15
7	25.62
8	23.61
9	21.97
10	20.59
11	19.42
12	18.41

<b>d (h)</b>	<b>i (mm · h<sup>-1</sup>)</b>
13	17.52
14	16.74
15	16.04
16	15.42
17	14.85
18	14.33
19	13.86
20	13.43
21	13.03
22	12.66
23	12.32
24	12.00

Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ, όπως αυτή περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2.3. Για περίοδο επαναφοράς 100 ετών, το τμηματικό και αθροιστικό νετόγραμμα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.34 και 5.35 αντίστοιχα, είναι:



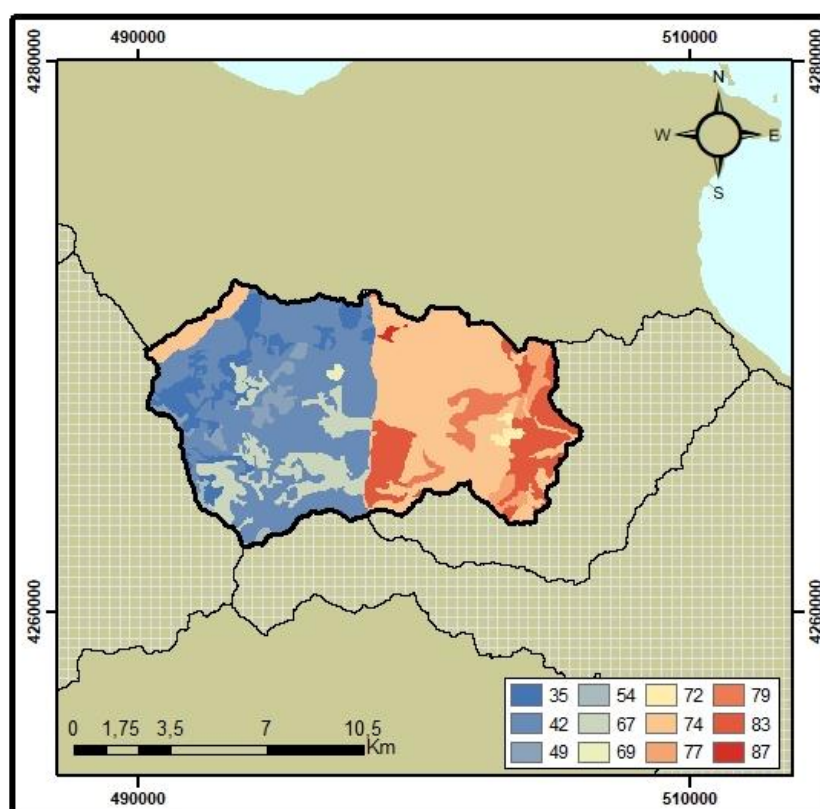
Σχήμα 5.33 : Τμηματικό νετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (T=100 χρόνια)



Σχήμα 5.34 : Αθροιστικό νετόγραμμα βροχόπτωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη (T=100 χρόνια)

Από την Εξίσωση 2.12 υπολογίζεται ο αριθμός καμπύλης απορροής για μέσες υγρασιακές συνθήκες, ενώ με χρήση των Εξισώσεων 2.13 και 2.14 προκύπτουν οι τιμές για ξηρές και υγρές συνθήκες αντίστοιχα.

Προηγούμενη Κατάσταση Εδάφους	Ξηρή	Μέση	Υγρή
CN	38,69	60,04	77,56



Σχήμα 5.35 : Αριθμός καμπύλης απορροής CN της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για μέσες συνθήκες εδάφους

Όπως και στην περίπτωση του ποταμού Λήλα, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός της μέσης μηνιαίας βασικής παροχής ποταμού και της αδιαπερατότητας της περιοχής μελέτης, προκειμένου να καταρτιστούν τα πλημμυρογραφήματα μέσω του λογισμικού HEC-HMS.

Η αδιαπερατότητα της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε αντλώντας δεδομένα από το Corepnicus. Για την υπολεκάνη του ποταμού Μανικιάτη η αδιαπερατότητα λαμβάνει την τιμή 0.09%. Για τη μέση μηνιαία βασική ροή του ποταμού, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν οι σχετικές μετρήσεις, έγινε η θεώρηση ότι κυμαίνεται στο εύρος 0.1 - 3 m<sup>3</sup>/s, με τις χαμηλότερες τιμές για τους μήνες Ιούνιο έως Αύγουστο, όπου η απορροή μειώνεται σημαντικά.

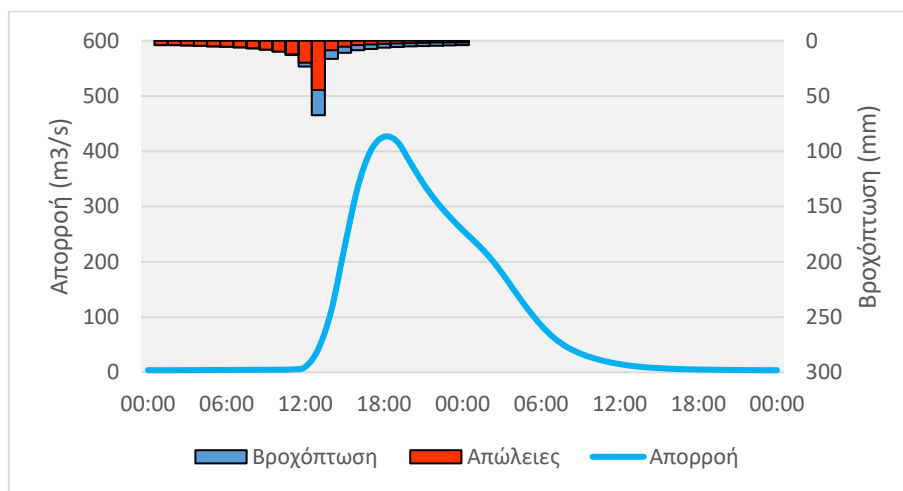


### 5.3 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής

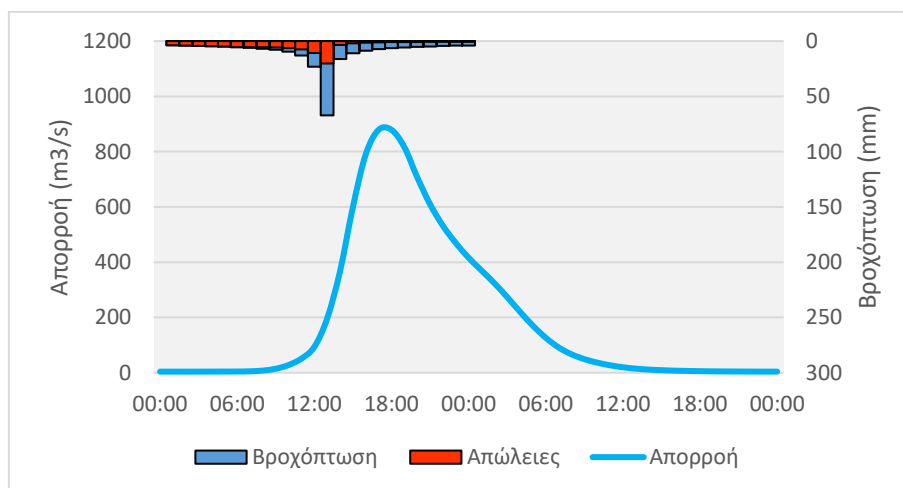
Χρησιμοποιώντας το λογισμικό HEC-HMS, τα υετογραφήματα σχεδιασμού μεταφράζονται σε πλημμυρογραφήματα στις εξόδους των υπολεκάνων που εξετάζονται.

#### 5.3.1 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα

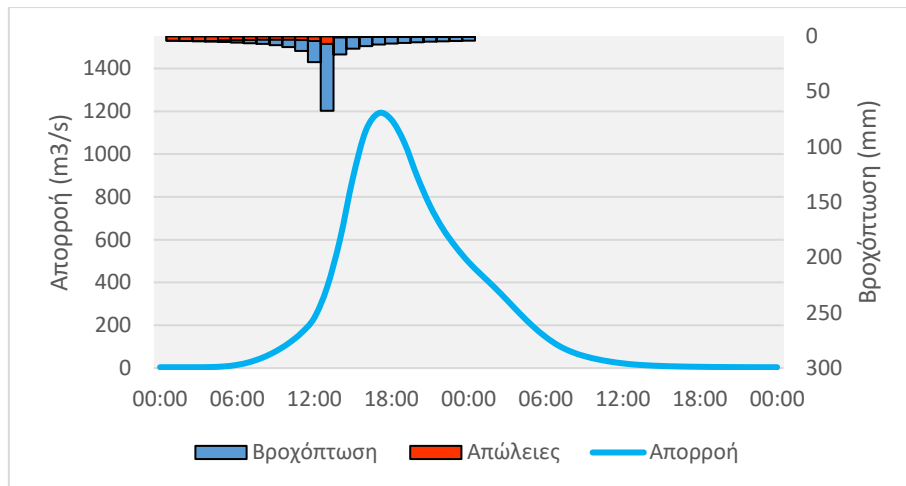
Για την υδρολογική υπολεκάνη του ποταμού Λήλα, προέκυψαν τα παρακάτω πλημμυρογραφήματα για ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες εδάφους (Σχήμα 5.37, Σχήμα 3.38 και Σχήμα 5.39 αντίστοιχα).



Σχήμα 5.36 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για ξηρές συνθήκες εδάφους



Σχήμα 5.37 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα για μέσες συνθήκες εδάφους

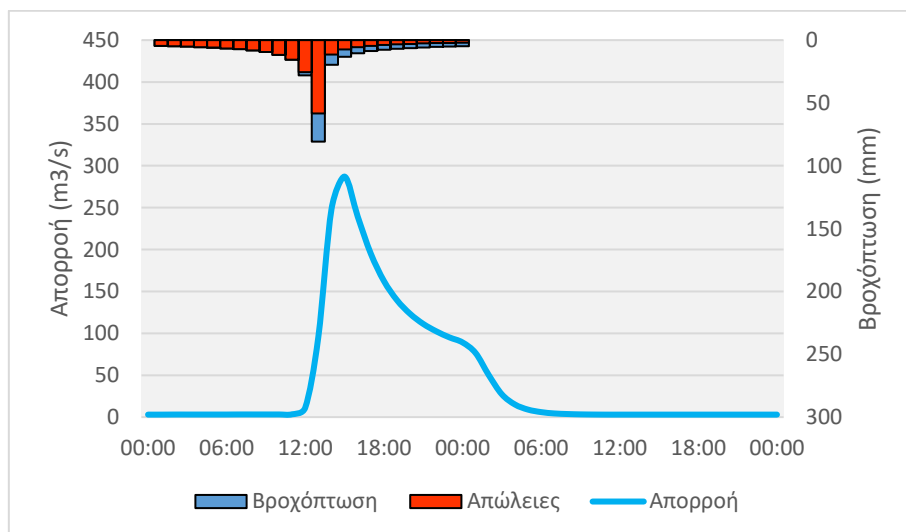


Σχήμα 5.38 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Αήλα για υγρές συνθήκες εδάφους

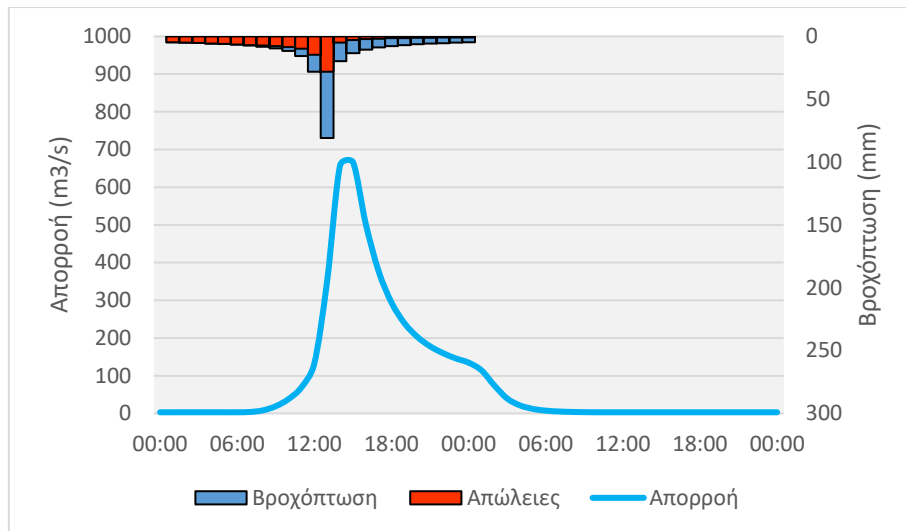
Παρατηρείται ότι η προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους επιδρά άμεσα στο μέγεθος των πλημμυρικών παροχών. Είναι φυσικό επόμενο μιας και όσο πιο κορεσμένο είναι το έδαφος, τόσο μικρότερες είναι οι απώλειες βροχόπτωσης, άρα η ενεργή βροχόπτωση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Η μεγαλύτερη ενεργή βροχόπτωση οδηγεί και σε μεγαλύτερη πλημμυρική παροχή.

### 5.3.2 Υδρολογική απόκριση της ανάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη

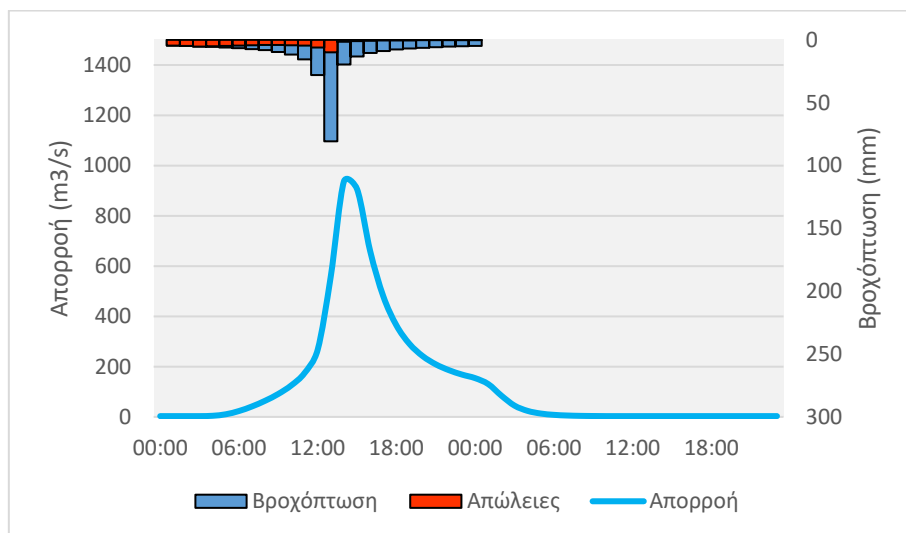
Για την υδρολογική απόκριση της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη, τα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν για ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες εδάφους φαίνονται στα Σχήματα 5.40, 5.41 και 5.42 αντίστοιχα.



Σχήμα 5.39 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για ξηρές συνθήκες εδάφους



Σχήμα 5.40 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για μέσες συνθήκες εδάφους



Σχήμα 5.41 : Πλημμυρογράφημα στην έξοδο της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη για υγρές συνθήκες εδάφους

Όπως ήταν αναμενόμενο η πλημμυρική παροχή αυξάνεται σημαντικά όσο ο κορεσμός του εδάφους αυξάνεται.

#### 5.4 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής

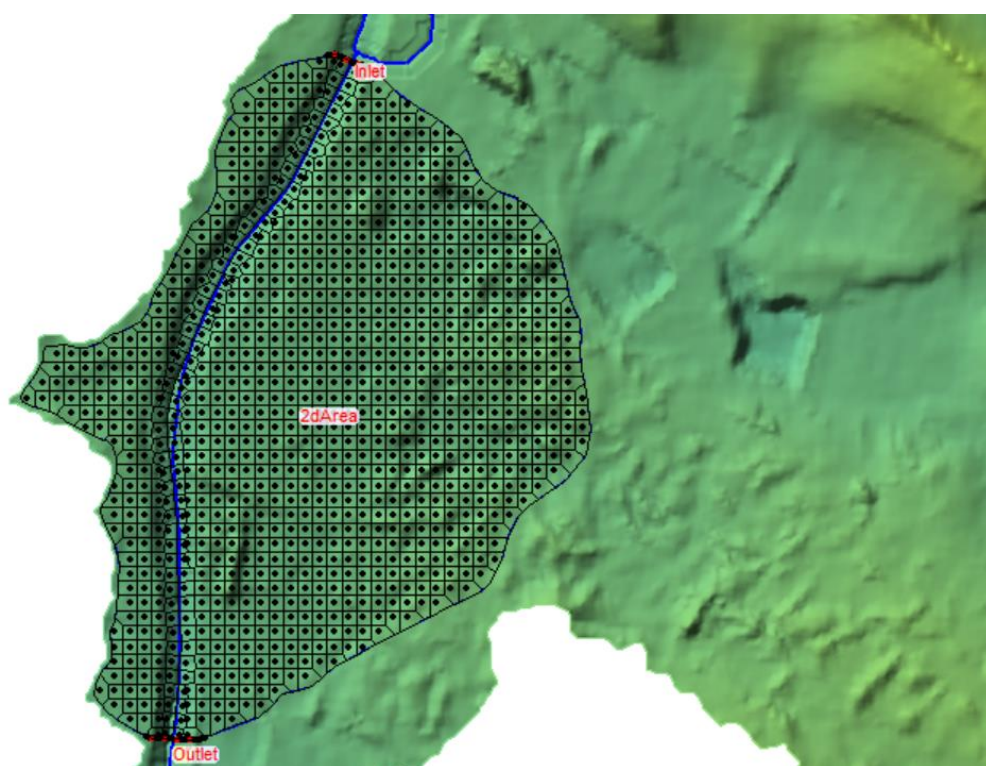
Για τη διερεύνηση της υδρολογικής απόκρισης των κατάντη περιοχών των δύο υπολεκάνων που εξετάζονται, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 3.3, ακολουθώντας τις οδηγίες του ΥΠΕΝ, γίνεται χρήση του λογισμικού HEC-RAS.

Για το συντελεστή τραχύτητας Manning  $n$  χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που έχουν προταθεί από το ΥΠΕΝ οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα με την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Στις ξηρές συνθήκες ο αριθμός Manning λαμβάνεται κατά

50% μειωμένος (σχετικά με τις μέσες συνθήκες), ενώ στις υγρές συνθήκες κατά 50% αυξημένος (σχετικά με τις μέσες συνθήκες).

#### 5.4.1 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα

Η περιοχή προσομοίωσης που επιλέχθηκε σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο Κεφάλαιο 5.2 περιλαμβάνει δύο οικισμούς, την Αμάρυνθο και τα Βασιλικά Ευβοίας, το κέντρο των οποίων απέχει από τον ποταμό Λήλα 0.45 και 0.85 km αντίστοιχα. Οι οικισμοί αυτοί εντοπίζονται ανατολικά από τον ποταμό, ενώ στο δυτικό του μέρος βρίσκονται γεωργικές εκτάσεις. Η γέφυρα Βασιλικού έχει ύψος περίπου 9 m.

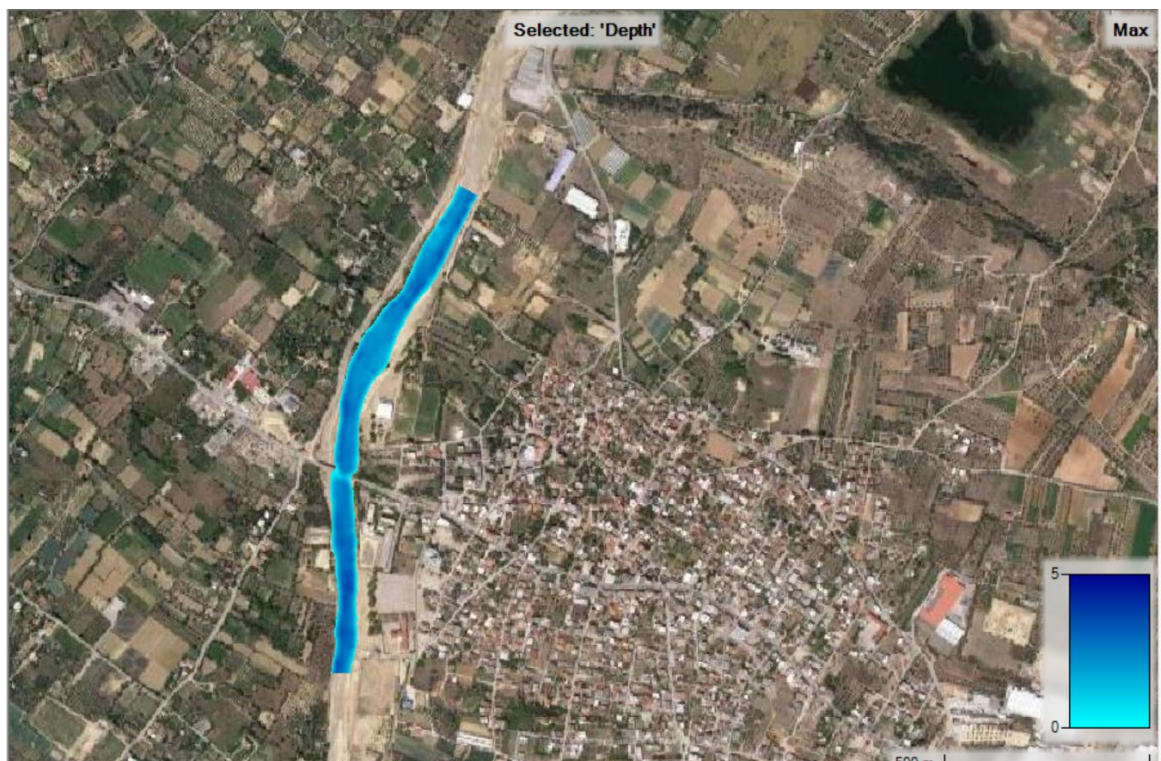


Σχήμα 5.42 : Περιοχή προσομοίωσης της υπολεκάνης του ποταμού Λήλα, στο παράθυρο γεωμετρίας του προγράμματος HEC-RAS

Ακολουθώντας όσα αναλύονται στο Κεφάλαιο 3.3, τα βάθη ροής που προκύπτουν στη γέφυρα Βασιλικού, και οι χρονικές στιγμές που εμφανίζονται, αναφέρονται στον Πίνακα 5.16. Στα Σχήματα 5.44, 5.45 και 5.46 παρουσιάζεται η εξάπλωση της πλημμυρικής ροής για ξηρές, μέσες και υγρές συνθήκες εδάφους αντίστοιχα.

Πίνακας 5.17 : Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστου βάθους πλημμύρας στη γέφυρα Βασιλικού

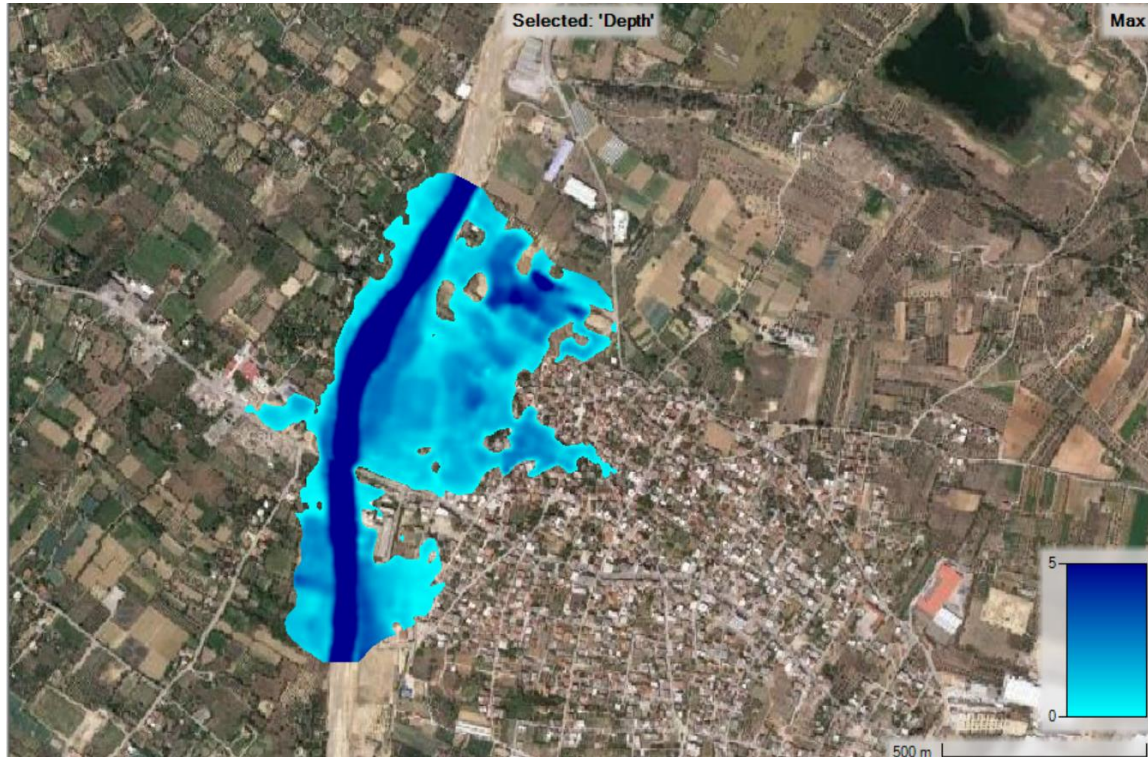
Συνθήκες Εδάφους	Χρονική Στιγμή ( h:m )	Βάθος Ροής ( m )
Ξηρές	19:10	2.4
Κανονικές	19:00	5.1
Υγρές	19:00	7.1



Σχήμα 5.43 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  γ) υπό ξηρές συνθήκες εδάφους



Σχήμα 5.44 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  γ) υπό μέσες συνθήκες εδάφους

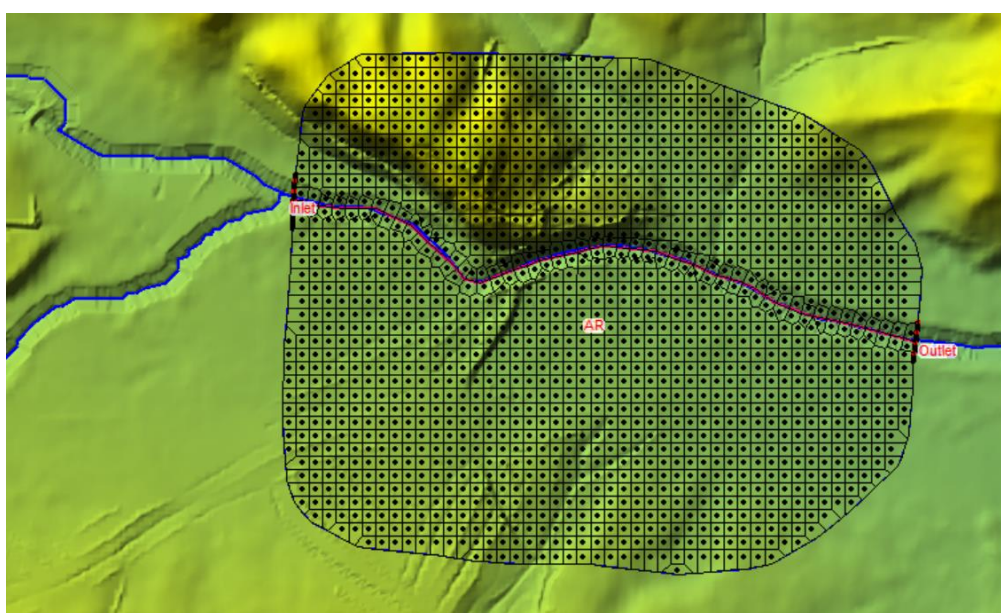


Σχήμα 5.45 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  γ) υπό υγρές συνθήκες εδάφους

Όπως ήταν αναμενόμενο παρατηρείται η αύξηση του βάθους ροής με την αύξηση του βαθμού κορεσμού του εδάφους. Για μέσες συνθήκες εδάφους η υπερχειλίση του ποταμού καταλαμβάνει κάποιες γεωργικές εκτάσεις που βρίσκονται κοντά στη κοίτη του, ενώ για υγρές συνθήκες εδάφους το πλημμυρικό πεδίο περιλαμβάνει και κάποιες κατοικημένες εκτάσεις. Αυτό δυστυχώς έχει επιβεβαιωθεί και από τα ιστορικά συμβάντα της περιοχής, όπως οι πρόσφατες πλημμύρες του Αυγούστου του 2020.

#### 5.4.2 Υδρολογική απόκριση της κατάντη περιοχής της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη

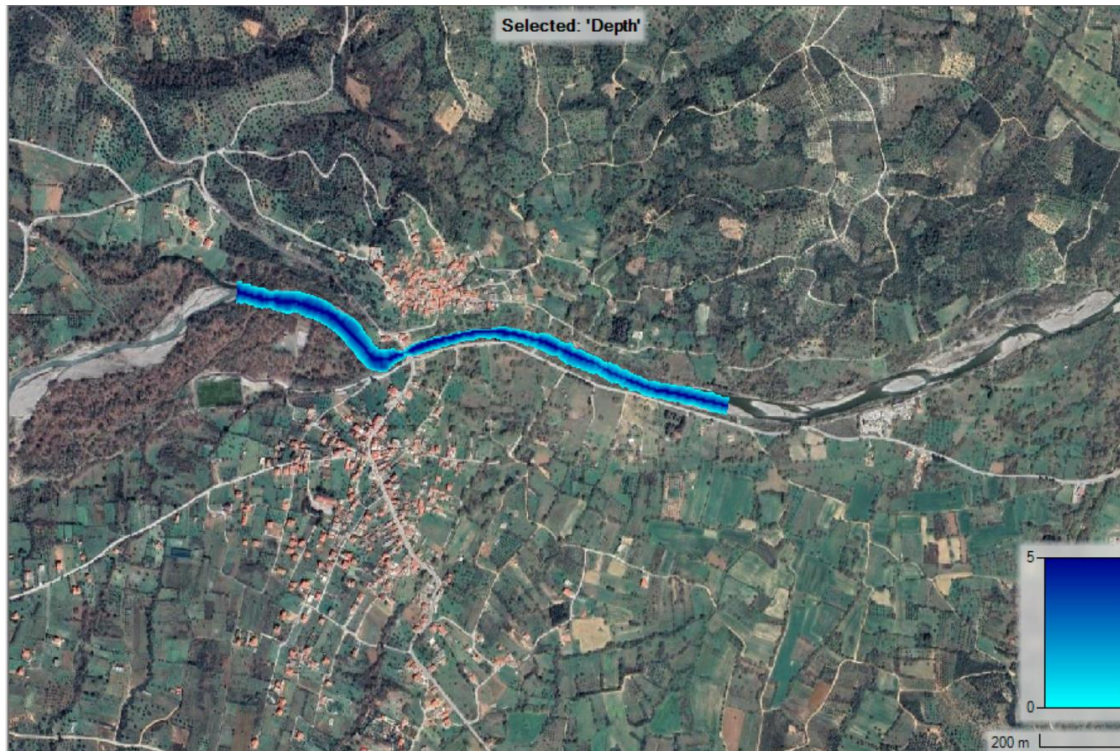
Η περιοχή προσομοίωσης που για την υπολεκάνη του ποταμού περιλαμβάνει το χωριό Μονόδρυο το οποίο διασχίζει ο ποταμός χωρίζοντάς το σε Άνω Μονόδρυο και Κάτω Μονόδρυο. Η πετρινή τοξωτή γέφυρα του Μονοδρύου που βρίσκεται επί του ποταμού Μανικιάτη έχει ύψος περίπου 10 m, ενώ αποτελεί ένα αρχιτεκτονικό στολίδι της περιοχής. Τα βάθη ροής που προέκυψαν από την υδρολογική ανάλυση για τις τρεις συνθήκες εδάφους καθώς και οι κατακλυζόμενες περιοχές, παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα 5.48, 5.49 και 5.50.



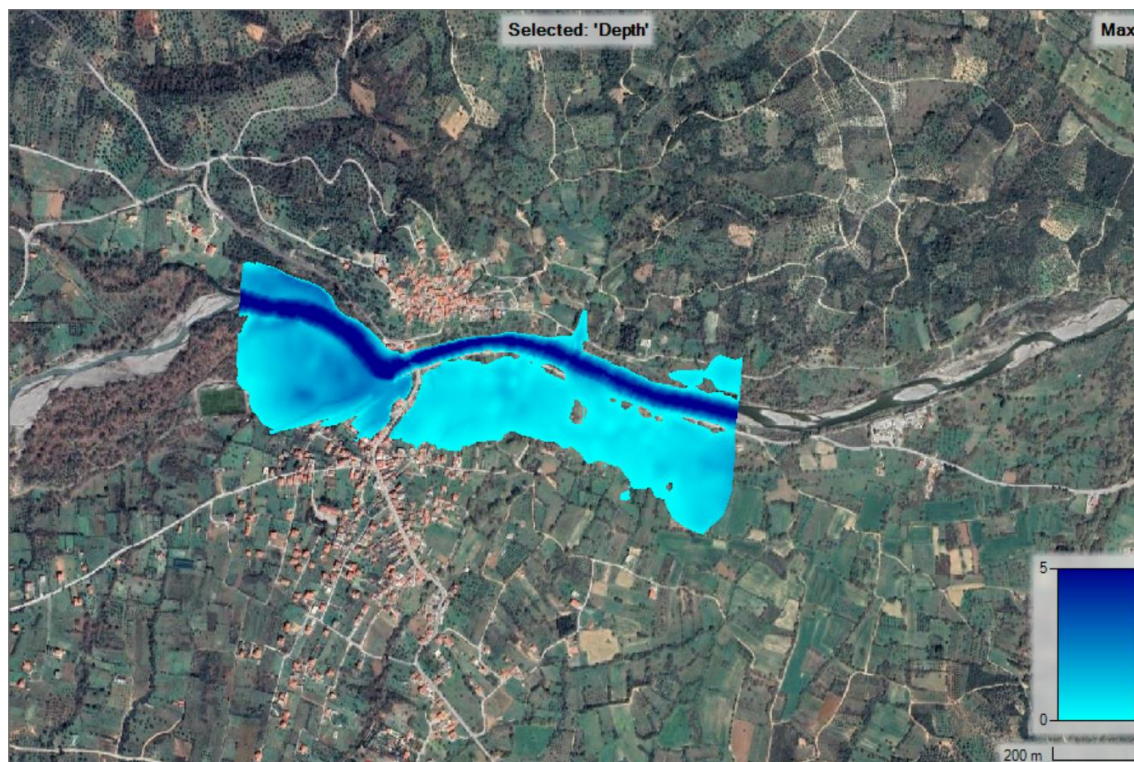
Σχήμα 5.46 : Περιοχή προσομοίωσης της υπολεκάνης του ποταμού Μανικιάτη, στο παράθυρο γεωμετρίας του προγράμματος HEC-RAS

Πίνακας 5.18 : Χρονική στιγμή εμφάνισης μέγιστου βάθους πλημμύρας στη γέφυρα Μονοδρύου

Συνθήκες Εδάφους	Χρονική Στιγμή [ h:m ]	Βάθος Ροής [ m ]
Ξηρές	16:00	2.5
Κανονικές	16:00	5.1
Υγρές	15:50	6.5



Σχήμα 5.47 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  γ) υπό ξηρές συνθήκες εδάφους



Σχήμα 5.48 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  γ) υπό κανονικές συνθήκες εδάφους





Σχήμα 5.49 : Εξάπλωση της ροής για πλημμυρικό επεισόδιο ( $T = 100$  y) υπό υγρές συνθήκες εδάφους

Όπως είναι αναμενόμενο, το βάθος ροής αυξάνεται σημαντικά όσο αυξάνεται ο βαθμός κορεσμού του εδάφους. Παρατηρείται ότι ο βασικός αστικός ιστός της περιοχής είναι προστατευμένος, για όλες τις συνθήκες εδάφους, ενώ η πλημμύρα εξαπλώνεται κυρίως σε γεωργικές εκτάσεις. Εξαιρεση αποτελούν κάποια σπίτια στο κάτω Μονόδρυο τα οποία βρίσκονται κοντά στον αστικό ιστό της περιοχής και κατακλύζονται από το πλημμυρικό πεδίο τόσο για μέσες όσο και για ξηρές συνθήκες εδάφους.

## 6. Συζήτηση

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μία προσπάθεια για την ολοκληρωμένη μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε λεκάνες απορροής της Εύβοιας. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν διακρίνονται σε γενικά και ειδικά με τα δεύτερα να επικεντρώνονται στη σύγκριση των μοντέλων εκτίμησης και την ανάλυση των διεργασιών τους.

### 6.1 Γενικά Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την έρευνα προκύπτουν τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

- Η κρίση της ομάδας μελέτης είναι άμεσα εξαρτώμενη με τα αποτελέσματα των μοντέλων εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης. Αυτό έχει διαπιστωθεί και στην βιβλιογραφία, όπου εκτιμήσεις για κοινές περιοχές μελέτης, με το ίδιο μοντέλο εκτίμησης, κατέληξαν σε σημαντικά διαφορετικά αποτελέσματα.
- Βασικό πρόβλημα της εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης είναι η απουσία πραγματικών μετρήσεων για την επικύρωση των εκτιμήσεων των μοντέλων εφαρμογής. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε η υπόθεση ότι το μοντέλο Gavrilovic δίνει ακριβέστερα αποτελέσματα σε σχέση με το μοντέλο RUSLE.
- Το ποσοστό κορεσμού του εδάφους διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στις πλημμυρικές αιχμές, επηρεάζοντας πέρα από το βάθος ροής νερού και την ταχύτητα με την οποία φτάνει η πλημμυρική αιχμή.

### 6.2 Ειδικά Συμπεράσματα

Τα ειδικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων και την υδραυλική και υδρολογική ανάλυση στις εξεταζόμενες λεκάνες απορροής, είναι:

- Η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση σε αιώρηση στις λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν, σύμφωνα με τα μοντέλα Gavrilovic και RUSLE είναι 2017768 t/y και 208203 t/y στη λεκάνη του Κηρέα, 2016201 t/y και 321658 t/y στη λεκάνη του Λήλα, 1234692 t/y και 119275 t/y στη λεκάνη του Μεσσαπίου, 1657165 t/y και 261307 t/y στη λεκάνη του Κανάλη και 1383756 t/y και 397928 t/y στη λεκάνη του Μανικιάτη. Αυτό σημαίνει ότι το κλάσμα των εκτιμήσεων κυμαίνεται από 1/4 έως 1/10.
- Η μέση ετήσια στερεοαπορροή που υπολογίστηκε στην έξοδο των λεκανών σύμφωνα με τα μοντέλα Gavrilovic και RUSLE είναι 88158 t/y και 46788 t/y για τη λεκάνη του Κηρέα, 77982 t/y και 76243 t/y για τη λεκάνη του Λήλα, 56699 t/y και 29433 t/y για τη λεκάνη του Μεσσαπίου, 80591 t/y και 65213 t/y για τη λεκάνη του Κανάλη, και 784048 t/y και 100079 t/y για τη λεκάνη του Μανικιάτη. Θεωρώντας το μοντέλο Gavrilovic ως το πιο ρεαλιστικό, δεδομένου ότι αναπτύχθηκε σε παρόμοιες συνθήκες με τις περιοχής μελέτης, το μοντέλο RUSLE οδηγεί σε υποεκτίμηση της στερεοαπορροής κατά 47%, 2%, 48% και 19% για τις λεκάνες των ποταμών Κηρέα, Λήλα, Μεσσαπίου και Κανάλη αντίστοιχα. Στη λεκάνη του

ποταμού Μανικιάτη το μοντέλο RUSLE υπερεκτιμά τη στερεοαπορροή κατά 28%.

- Η υπερεκτίμηση της στερεοαπορροής του μοντέλου RUSLE στην περίπτωση της λεκάνης του ποταμού Μανικιάτη προσδίδεται στον ορεινό όγκο της Δίρφεως ο οποίος καλύπτει πάνω από το 30% της λεκάνης του ποταμού Λήλα. Τα μεγάλα υψόμετρα έχουν ως αποτέλεσμα τα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης και κατ' επέκταση τον υψηλό δείκτη R, ενώ οι μεγάλες κλίσεις που εντοπίζονται στην περιοχή αυξάνουν πολύ τον συντελεστή LS.
- Η ενεργή βροχόπτωση που προκαλεί την πλημμύρα των ποταμών για μέσες συνθήκες εδάφους αντιστοιχεί στο 70% και 65% της συνολικής βροχόπτωσης στην περίπτωση των ποταμών Λήλα και Μανικιάτη αντίστοιχα. Για ξηρές συνθήκες το κλάσμα αντιστοιχεί στο 34% (μείωση κατά 51%) και 28% (μείωση κατά 57%) της συνολικής βροχόπτωσης, ενώ σε υγρές συνθήκες εδάφους το κλάσμα αντιστοιχεί στο 90% (αύξηση κατά 29%) και 88% (αύξηση κατά 35%) της συνολικής βροχόπτωσης για τις υπολεκάνες των ποταμών Λήλα και Μανικιάτη αντίστοιχα.
- Το πλημμυρογράφημα για κανονικές συνθήκες εδάφους παρουσιάζει αιχμή στα 878.9 m<sup>3</sup>/s για τον ποταμό Λήλα και 666.9 m<sup>3</sup>/s για τον ποταμό Μανικιάτη. Στην περίπτωση του ποταμού Λήλα, στις ξηρές συνθήκες εδάφους η μείωση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 51% οδηγεί σε αιχμή πλημμυρογραφήματος 426.1 m<sup>3</sup>/s (μείωση κατά 52%), ενώ στις υγρές συνθήκες, με αύξηση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 29%, η αιχμή ανέρχεται στα 1191.2 m<sup>3</sup>/s (αύξηση κατά 36%). Στην υπολεκάνη του ποταμού Μανικιάτη, για ξηρές συνθήκες εδάφους η μείωση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 57% οδηγεί σε αιχμή 287.1 m<sup>3</sup>/s (μείωση κατά 57%), ενώ στις υγρές συνθήκες εδάφους η αύξηση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 35% δίνει στην αιχμή την τιμή 936.7 m<sup>3</sup>/s (αύξηση κατά 41%).
- Στις μέσες συνθήκες εδάφους το βάθος ροής στις γέφυρες Βασιλικού και Μονοδρύου που εξετάστηκαν, ανέρχεται στα 5.1 m και για τις δύο γέφυρες.. Η μείωση της ενεργής βροχόπτωσης στις ξηρές συνθήκες εδάφους κατά 51% οδηγεί σε βάθος ροής 2.4 m στη θέση της γέφυρας Βασιλικού, ενώ η αύξηση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 29% οδηγεί σε βάθος ροής 7.1 m. Στην περίπτωση της γέφυρας Μονοδρύου για ξηρές συνθήκες εδάφους η μείωση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 57% μεταφράζεται σε βάθος ροής 2.5 m (μείωση κατά 51%), ενώ στις υγρές συνθήκες εδάφους η αύξηση της ενεργής βροχόπτωσης κατά 35% μεταφράζεται σε βάθος 6.5 m (αύξηση κατά 27%).

## 6.2 Μελλοντική έρευνα

Το ζήτημα της στερεομεταφοράς, πόσο μάλλον στην περίπτωση του ελλαδικού χώρου που διαθέτει ιδιαίτερη και περίπλοκη γεωμορφολογική δομή, έχει πολλά περιθώρια μελέτης και έρευνας, πράγμα που είναι ήδη γνωστό στην επιστημονική κοινότητα.

Ακολουθούν προτάσεις μελλοντικής έρευνας σχετικής με το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία:

- Χρήση αναλυτικών σχέσεων για τον υπολογισμό των συντελεστών R και K του μοντέλου RUSLE, και σύγκριση με τις εμπειρικές προσεγγίσεις.
- Χρήση συντελεστών βάρους για την καλύτερη ρύθμιση των μοντέλων εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης.
- Επανάληψη εκτέλεσης της υδρολογικής ανάλυσης θεωρώντας διαφορετικές τιμές χρόνου συγκέντρωσης για κάθε υγρασιακή κατάσταση εδάφους.
- Χρήση εξελιγμένων λογισμικών για τη ρύθμιση του μοντέλου RUSLE, όπως οι επεκτάσεις LS-tool και GISus-M του λογισμικού ArcMap, και χρήση του μοντέλου RUSLE2.

## Διεθνής βιβλιογραφία

Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., & Rasmussen, J. (1986). An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen, "SHE", 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of hydrology*, 87(1-2), 45-59.

- Bagnold, R. A. (1966). An approach to the sediment transport problem from general physics. US government printing office.
- Beasley, D. B., Huggins, L. F., & Monke, A. (1980). ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23(4), 938-0944.
- Blinkov I., & Kostadinov S. (2010). Applicability of various Erosion Risk Assessment Methods for Engineering Purposes. Ohrid, North Macedonia: BALWOIS 2010 Conference.
- Boyce, R. C. (1975). Sediment routing with sediment delivery ratios. Present and Prospective Technology for Prediction Sediment, Sediment Yields and Sources, 61-65.
- Brown L. C., & Foster G. R. (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30(2).
- Chow V.T., Maidment D.R., & Mays L.W. (1988). *Applied Hydrology*. Νέα Υόρκη: Mc Graw-Hill.
- Cover, C. L. (2018). Copernicus Land Monitoring Service – User Manual
- Croke, J., Nethery, M., 2006. Modelling runoff and soil erosion in logged forests: Scope and application of some existing models. *Catena* 67, 35– 49.
- Dendy, F. E., & GC, Bolton (1976). Sediment yield-runoff drainage area relationships in the United States.
- Desmet, P., & Govers, G. (1996). A GIS-procedure for the automated calculation of the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427–433.
- Dissmeyer, G. E. (1980). A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land (Vol. 11). USDA-Forest Service, Southeastern Area.
- Doan, J. (2000). Geospatial hydrologic modeling extension HEC-GeoHMS-user's manual-version 1.0. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, Davis, California, USA.
- El-Swaify, S., & Dangler, E. (1976). Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In G. Foster (Ed.), *Soil Erosion Prediction and Control* (pp. 105–114). Ankeny: Soil and Water Conservation Society
- Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995). USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation. Nserl Rep, 10, 1-123.
- Fournier, F. (1960). Climat et érosion: la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques (No. 551.302). Presses universitaires de France,.
- Gavrilović, Z., 1988, The use of empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential

- streams, White, W. R. (ed.), International Conference on River Regime, Chichester, 411–422.
- Ghosal, K., Das Bhattacharya, S. A Review of RUSLE Model. *J Indian Soc Remote Sens* 48, 689–707
- Gaudasasmita, K. (1987). Contribution to geo-information system operation for prediction of erosion. ITC, Netherlands: s.n.
- Gavrilović S. (1962). Proracim srednje goclisnje kolicine nanosa prema potencijalu erozije (Serbian). Beograd, Serbia: Jaroslav Černi Institute.
- Gavrilović S. (1970). Savremeni nacini proracunavanja bujicnih nanosa i izrada karata erozije (Serbian). Beograd, Serbia: Jaroslav Černi Institute.
- Gavrilović S. (1972). Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji (Serbian). Izgradnja.
- Gavrilović S. (1976). Bujični tokovi i erozija (Serbian). Beograd, Serbia.
- Gavrilovic Z., Stefanovic M., Cotric M., & Milojevic J. (2004). Erosion Potential Method: An important support for integrated water resource management. Beograd, Serbia: Jaroslav Černi Institute
- Ghosal, K., & Bhattacharya, S. D. (2020). A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689-707.
- Giandotti, M. (1934). Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua, Ministero dei LL. PP., Servizio Idrografico Italiano. *Memorie e Studi Idrografici*, 8.
- Globevnik L., Danko H., Petkovšek G., & Rubinić J. (2003). Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques. *International Association of Hydrological Sciences*, 279.
- Horton, R.E. (1945): Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70
- Hrabalíková M., & Janeček M. (2017). Comparison of different approaches to LS factor calculations based on a measured soil loss under simulated rainfall. *Soil and Water Research*, 12(2).
- Hrissanthou V. (1988). Simulation model for the computation of sediment yield due to upland and channel erosion from a large basin. *Sediment Budgets*.
- ICONA, (1988). *Agresividad de la lluvia en España*. Madrid, España, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacio´n (p. 39).
- Katsikatsos, G., Migiros, G., Triantaphyllis, M., & Mettos, A. (1986). Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly—SW. Macedonia, Euboea—Attica—Northern Cyclades islands and Lesvos). *Geōlogikai kai geōfusikai meletai*, 191-212.
- Kinnell, P. I. A. (1981). Rainfall intensity-kinetic energy relationships for soil loss prediction. *Soil Science Society of America Journal*, 45(1), 153-155.

- Knisel, W. G. (1980). CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems (No. 26). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Kojchevksa T. (2014). EPM for Soil Loss Estimation in Different Geomorphologic Conditions and Data Conversion by Using GIS. Mediterranean Agronomic Institute of Chania.
- Koutsoyiannis, D. (1994). A stochastic disaggregation method for design storm and flood synthesis. *Journal of Hydrology*, 156(1-4), 193-225.
- Koutsoyiannis, D. (2004β). Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall: II. Empirical investigation of long rainfall records/Statistiques de valeurs extrêmes et estimation de précipitations extrêmes: II. Recherche empirique sur de longues séries de précipitations. *Hydrological Sciences Journal*, 49(4).
- Koutsoyiannis, D. (2006). An entropic-stochastic representation of rainfall intermittency: The origin of clustering and persistence. *Water Resources Research*, 42(1).
- Leopold, L. B., & Maddock, T. (1953). The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications (Vol. 252). US Government Printing Office.
- McCool D. K., Brown L. C., Foster G. R., Mutchler C. K., & Meyer L. D. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 30(5).
- McGregor, K. C., & Mutchler, C. K. (1976). Status of the R factor in northern Mississippi. *Soil erosion: Prediction and control*, 135-142.
- Milanesi, L., Pilotti, M., Clerici, A., & GavriloviC Z. (2015). Application of an improved version of the erosion potential method in Alpine areas. *Ital. J. Eng. Geol. Environ*, 1, 17-30
- Mockus, V. (1957). Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service.
- Moore, I., & Burch, F. (1986). Physical basic of the length–slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1294–1298.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., Smith, R. E., Govers, G., Poesen, J. W. A., Auerswald, K., ... & Styczen, M. E. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group*, 23(6), 527-544.
- Newhall, F. (1972). Calculation of soil moisture regimes from the climatic record, Revision 4. USDA Soil conservation service, Washington DC, USA.

- Ouyang, D., & Bartholic, J. (1997, May). Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed. In Proceedings of the 22nd National Association of Environmental Professionals Conference (pp. 659-671).
- Panagos P., Ballabio C., Borrelli P., Meusburger K., Klik A., Rousseva S., . . . Aalto J. (2015a). Rainfall erosivity in Europe. *Science of Total Environment*, 511.
- Panagos P., Borrelli P., & Meusburger K. (2015c). A new European slope length and steepness factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water. *Geosciences*, 5.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger C., Alewell C., Lugato E., & Montanarella L. (2015b). Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use Policy*, 48C.
- Panagos P., Borrelli P., Meusburger K., Van Der Zander E. H., Poesen J., & Alewell C. (2015d). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environment Science & Policy*, 51.
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., . . . Alewell C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*, 54.
- Panagos P., Meusburger K., Ballabio C., Borrelli P., & Alewell C. (2014b). Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Science of Total Environment*.
- Panagos P., Meusburger K., Van Liedekerke M., Alewell C., Hiederer R., & Montanarella L. (2014a). Assessing soil erosion in Europe based on data collected through a European Network. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(1).
- Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., & Montanarella L. (2012). European soil data centre: response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29(2).
- Papanikolaou D. (1988) Triassic in Hellenides. *Atti del 74o Congresso della soc. Ged. It.*, A, 529-530
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1996). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agriculture handbook*, 703, 25-28.
- Renard K. G., & Freimund J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157
- Renfro, G. W. (1972) Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield. In *Sediment yield workshop: present and prospective technology for predicting sediment yield and sources*, Proceedings USDA Sedim. Labor., USA (pp. 33-45).



- Roberts, S., & Jackson, J. (1991). Active normal faulting in central Greece: an overview. Geological Society, London, Special Publications, 56(1), 125-142.
- Ronald L. Shreve (1967) Infinite Topologically Random Channel Networks | The Journal of Geology: Vol 75, No 2
- Rosewell, C. (1993). Soilloss—A program to assist in the selection of the management practices to reduce erosion (2nd ed.). s.l.: Soil Conservation Service of New South Wales.
- Shreve, R. L. (1967). Infinite topologically random channel networks. The Journal of Geology, 75(2), 178-186.
- Singh V. P. (1983). Analytical solutions of kinematic equations for erosion on a plane II. Rainfall of finite duration. Advances in Water Resources, 6(2).
- Sorrentino, G. (2001). Indagine regionale sulla stima dell'aggressività della pioggia nello studio dell'erosione idrica (p. 222). Cosenza: Thesis, Università degli Studi della Calabria, Facoltà di Ingegneria.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological society of America bulletin, 63(11), 1117-1142.
- Thiessen, A. H. (1911). Precipitation averages for large areas. Monthly weather review, 39(7), 1082-1089.
- United States. Soil Conservation Service. Engineering Division. (1986). Urban hydrology for small watersheds (No. 55). Engineering Division, Soil Conservation Service, US Department of Agriculture.
- USACE (2021), HEC-RAS River Analysis System, User's Hydraulic Reference Manual, Version 6.0,
- Van der Knijff J. M., Jones R. J. A., & Montanarella L. (2000). Soil erosion risk assessment in Europe. JRC Scientific and Technical Report.
- Vanoni, V. A. (1975). River dynamics. In Advances in applied mechanics (Vol. 15, pp. 1-87). Elsevier.
- Vanoni, V. A. (1975). Sedimentation engineering. ASCE-Manuals and reports on engineering practice, No. 54, ASCE. New York.
- Wicks J. M., & Bathurst J. C. (1996). SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system. Journal of Hydrology 154.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1957). Factors affecting sheet and rill erosion. Transactions. American Geophysical Union, 38(6), 889–896.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

- Woolhiser, D. A., Smith, R. E., & Goodrich, D. C. (1990). KINEROS: a kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual.
- Zarris, D., Vlastara, M., & Panagoulia, D. (2011). Sediment delivery assessment for a transboundary Mediterranean catchment: The example of Nestos River catchment. *Water Resources Management*, 25(14), 3785-3803.
- Zemljic M. (1971) – Calcul du debit solide – Evaluation de la vegetation comme un des facteurs antiérosif, International Symposium Interpraevent, Villaco

## Ελληνική βιβλιογραφία

- Βαλκάνου, Κ., Καρύμπαλης, Ε., Παπαναστασίου, Ν., Χαλκιάς, Χ., & Γάκη-Παπαναστασίου, Κ. (2015). Η επίδραση της τεκτονικής στα ποτάμια συστήματα της βόρειας Εύβοιας, Στερεά Ελλάδα= Tectonic influence on the drainage systems of the north Evia island, central Greece. *Πανελλήνια και Διεθνή Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 1408-1422.
- Βαχαβιώλος Θ. Κ. (2014). Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης, στερεοαπορροής και αποθέσεων ταμιευτήρα από εμπειρικές μεθόδους με έμφαση στην επίδραση της βροχόπτωσης, Μεταπτυχιακή Διατριβή. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Δερμιτζάκης Μ. Δ., & Λέκκας Σ. Π. (2010). Διερευνώντας τη Γη. Εισαγωγή στη Γενική Γεωλογία, Β' Έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Γ. Γκέλμπεσης
- Ελευθεριάδου, Ε. & Θεοδωρόπουλος, Κ. «Η ξυλώδης χλωρίδα της νήσου Ευβοίας. Δυνατότητες αξιοποίησης και προστασίας της». Εργαστήριο Δασικής Βοτανικής – Γεωβοτανικής, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Ευθυμίου Ν. Γ. (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. Αθήνα: Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Ζαρρής Δ., Λυκούδη Ε., & Κουτσογιάννης Δ. (2001). Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κεμερίδης, Θ. (2017). Μεθοδολογία βέλτιστης χωροθέτησης υδρομετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών-εφαρμογή στη ΠΕ Ευβοίας.
- Κορόζης Σ., (2011). Γεωλογικές και σεισμοτεκτονικές συνθήκες στην περιοχή Χαλκίδας και η επίδραση τους στα τεχνικά έργα. Διπλωματική εργασία. ΕΜΠ, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών-Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.

- Κουτσογιάννης Δ. (1997). Στατιστική Υδρολογία, Έκδοση 4. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης Δ. (2011). Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης, 4η Έκδοση. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κουτσογιάννης Δ., & Ξανθόπουλος Θ. (1999). Τεχνική Υδρολογία. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
- Κουτσογιάννης Δ., & Ταρλά Κ. (1987). Εκτιμήσεις Στερεοαπορροής στην Ελλάδα. Τεχνικά Χρονικά, Α-7(3).
- Κωτούλας Δ. (2001). Ορεινή Υδρονομική Τόμος Ι: Τα ρέοντα ύδατα. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Λαμπροπούλου Α., (2011). Υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών πηγών της περιοχής της Οκτωνιάς, Κ.Εύβοιας. Πτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Μιμίκου Μ. Α., & Μπαλτάς Ε. Α. (2012). Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση. Αθήνα: Παπασωτηρίου Εκδόσεις.
- Μουντράκης, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. Θεσσαλονίκη.
- Μουντράκης Μ. Δημοσθένης (2010), 'Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας', Θεσσαλονίκη
- Μπαρού Α., (2012). Υδρογεωλογική μελέτη του ποταμού Μανικιάτη, Κ. Εύβοια. Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- Παλόγου Σοφία: "Οι συνέπειες της οικιστικής ανάπτυξης στο φυσικό περιβάλλον. Η περίπτωση του ποταμού Λήλαντα" (2009), Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Παναγούλια Δ., & Δήμου Γ. (2002). Μηχανική των Φερτών Υλικών, 3η έκδοση. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Ραΐσης, Φ. (2020). Υδρολογική-υδραυλική προσομοίωση και διερεύνηση της στερεομεταφοράς στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού.
- Τρίγκας, Π., «Χλωριδική Ποικιλότητα και Φυτογεωγραφία της Νήσου Εύβοιας», Τομέας Βιολογίας Φυτών, Τμήμα Βιολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Κώδικας Πρακτικών για την πρόληψη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ γεωργίας και κλιματικής αλλαγής
- Τσακίρης, Γ., 1995. Τεχνική Υδρολογία. Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα.
- Φλαμπούρης, Κ. (2008). Μελέτη της επίδρασης του παράγοντα βροχόπτωσης R στο νόμο RUSLE. Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ

## Διαδικτυακοί Ιστότοποι

<https://weather-club.gr/> (Προσπέλαση – Φεβρουάριος 2021)

<https://land.copernicus.eu/> (Προσπέλαση – Νοέμβριος 2020)

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/https://scholar.google.com/> (Προσπέλαση – Νοέμβριος 2020)

<https://www.researchgate.net/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<https://scholar.google.com/> (Προσπέλαση – Φεβρουάριος 2021)

<https://floods.ypeka.gr/> (Προσπέλαση – Φεβρουάριος 2021)

<http://geodata.gov.gr/> (Προσπέλαση – Φεβρουάριος 2021)

<https://www.orykta.gr/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<https://nemertes.library.upatras.gr/jsui/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<http://www.itia.ntua.gr/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<http://www.geo.auth.gr/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<https://www.igme.gr/> (Προσπέλαση – Νοέμβριος 2020)

<https://www.didaktorika.gr/> (Προσπέλαση – Δεκέμβριος 2020)

<https://www.naturagraeca.com/> (Προσπέλαση – Απρίλιος 2021)

<https://repository.kallipos.gr/> (Προσπέλαση – Δεκέμβριος 2020)

<https://dspace.lib.ntua.gr/> (Προσπέλαση – Μάρτιος 2021)

<https://www.mirc.ntua.gr/> (Προσπέλαση – Μάιος 2021)

<http://www.hnms.gr/> (Προσπέλαση – Φεβρουάριος 2021)

## Παράρτημα Α: Χρήσεις γης

Κωδικός Κάλυψης	Περιγραφή χρήσης γης	Gavrilovic's X	RUSLE C	Manning's n		
				II	I	III
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.05	0.001	0.1	0.05	0.15
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.05	0.01	0.04	0.02	0.06
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0.05	0.36	0.1	0.05	0.15
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	0.9	0.3	0.083	0.042	0.125
221	Αμπελώνες	0.55	0.35	0.04	0.02	0.06
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	0.45	0.2	0.1	0.05	0.15
223	Ελαιώνες	0.45	0.2	0.1	0.05	0.15
231	Λιβάδια	0.6	0.1	0.06	0.03	0.09
241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	0.7	0.35	0.083	0.042	0.125
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.7	0.18	0.083	0.042	0.125
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.8	0.15	0.045	0.023	0.068
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.3	0.003	0.1	0.05	0.15
312	Δάσος κωνοφόρων	0.4	0.002	0.1	0.05	0.15
313	Μικτό δάσος	0.2	0.003	0.1	0.05	0.15
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.6	0.05	0.065	0.033	0.098
322	Θάμνοι και χερσότοποι	0.17	0.2	0.065	0.033	0.098
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.5	0.05	0.085	0.043	0.128
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	0.5	0.03	0.085	0.043	0.128
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.95	0.06	0.055	0.028	0.083
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0.95	0.0001	0.05	0.025	0.075
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.65	0.3	0.04	0.02	0.06
523	Θάλασσες και ωκεανοί	0.05	0.0001	0.03	0.015	0.045

## Παράρτημα Β: Γεωλογικοί Σχηματισμοί

ID	ΚΩΔΙΚΟΣ ΓΓΜΕ	ΖΩΝΗ	Περιγραφή	Gavrilovic's Y	RUSLE's K
1	al	Μετατεκτονικά Τεκτονικά και βραδυτεκτονι	Σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων, πεδιάδων και παράκτιες αποθέσεις	1.7	0.0035
15	mp	Μετατεκτονικά Τεκτονικά και βραδυτεκτονι	Λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, μάργες, κοκκινοχώματα, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	1.8	0.0035
57	φ	ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΣΣΑΣ (μεταμορφωμένη σειρά)	Φλύσχης μεταμορφωμένος σε φυλλίτη.	0.9	0.025
58	MT	ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΣΣΑΣ (μεταμορφωμένη σειρά)	Μάρμαρα και δολομίτες.	0.4	0.0006
73	c2	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιοσπαρουδίτες)	0.5	0.0006
74	c2	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Ασβεστόλιθοι κρυσταλλικοί και μάρμαρα της ίδιας ηλικίας.	0.5	0.0006
78	j3	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Ασβεστόλιθοι (κυρίως σπαρουδίτες)	0.45	0.0006
79	sh	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση: κερατόλιθοι, ψαμμίτες, πηλίτες με φακούς λευκών ασβεστολίθων και εγκλωβισμένα οφιολιθοι	0.5	0.025
80	sh	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Οι ίδιοι σχηματισμοί μεταμορφωμένοι.	0.5	0.025
81	tj	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Ασβεστόλιθοι (κυρίως βιοσπαρουδίτες) και δολομίτες, τοπικά της φάσεως "Hallstatt" (Επίδαυρος).	0.6	0.0006
84	t1-2	ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	Δολομίτες.	0.4	0.0007

<b>95</b>	tj	ΖΩΝΗ ΑΞΙΟΥ ΚΑΙ ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ	Σχιστόλιθοι, ψαμμίτες, μάρμαρα ή χαλαζίτες, φυλλίτες, διαβάσες, ασβεστόλιθοι (σειρά Σβούλας).	0.6	0.0006
<b>105</b>	Pz3	ΠΡΟΑΛΠΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ	Πρασινοσχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες με κροκαλοπαγή και ενστρώσεις ασβεστολίθων ή δολομιτών.	1.2	0.025
<b>106</b>	h	ΠΡΟΑΛΠΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ	Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, γραουβάκες.	1.1	0.025
<b>123</b>	cp	ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΜΑΖΕΣ ΡΟΔΟΠΗΣ, ΣΕ	Σιπολίτες, ενίοτε με σχιστόλιθους (Εύβοια).	1.1	0.025
<b>131</b>	π	ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΠΛΟΥΤΩΝΙΑ ΒΑΣΙΚΑ ΚΑΙ	Περιλδοτίτες, δουνίτες, πυροξενίτες	0.9	0.0006
<b>138</b>	ρ2	ΗΦΑΙΣΤΙΑΚΑ ΟΞΙΝΑ ΕΩΣ ΟΥΔΕΤΕΡΑ	Ρυόλιθοι, ρυοδακίτες, δακίτες, ανδεσίτες, τραχειανδεσίτες.	0.9	0.025
<b>142</b>	τ2	ΗΦΑΙΣΤΙΑΚΑ ΟΞΙΝΑ ΕΩΣ ΟΥΔΕΤΕΡΑ	Πυροκλαστικά: τόφοι, γνιμβρίτες	0.9	0.025