



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ,
ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΕΣΕΩΝ
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ ΑΠΟ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ
ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ
ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ

Θεοφάνης Κ. Βαχαβιώλος

Αθήνα, Ιούλιος 2014

ΔΠΜΣ
«Επιστήμη & Τεχνολογία
Υδατικών Πόρων»

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Ν. Μαμάσης

Ευχαριστίες

Με την παρούσα εργασία ολοκληρώνεται ο πρώτος κύκλος ενήλικης ζωής, ο φοιτητικός. Δέκα και κάτι χρόνια καμωμένα με ιστορικές, ευτυχισμένες, κοπιαστικές και “καθημερινές” μέρες.

Ο “ναός της γνώσης” μπορεί να μη με έκανε τον επιστήμονα τον φαντασιακά πλασμένο, με φόρτωσε όμως με εφόδια για τις πράξεις του σήμερα και του αύριο.

Ευχαριστώ αδερφή, γονείς, γονείς γονέων, φίλη, φίλους και φίλες.

Ευχαριστώ το Νίκο Μαμάση για την ανάθεση της παρούσας αλλά και της προηγούμενης εργασίας. Αν και οι αναθέσεις είναι μικρές μπρος στην ευχαρίστηση των συζητήσεών μας στα χρόνια της φοιτητικής και της επαγγελματικής ζωής.

Ευχαριστώ και τον Αντώνη Κουκουβίνο για την εποικοδομητική συνεργασία που αναπτύξαμε σε γεωπληροφορικό και όχι μόνο περιβάλλον.

Δέκα και κάτι χρόνια, μ’ εκκίνηση τα ολυμπιακά όνειρα και κατάληξη τους μνημονιακούς (ολυμπιακούς) εφιάλτες. Κι αν η ερώτηση απαιτούσε μία μονάχα απάντηση, αυτή δε θα ‘ταν άλλη από *..Χαμένοι είναι οι αγώνες που δεν έγιναν ποτέ..!*

Φάνης Βαχαβιώλος

Ιούλης 2014

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	i
Ευρετήριο.....	vii
Περίληψη	xiii
Abstact	xiv
Extended Summary.....	xv
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο & σκοπός μελέτης – μέθοδοι & τεχνικές έρευνας.....	1
1.2 Διάρθρωση εργασίας	2
2. Επισκόπηση εννοιών και μεθόδων	3
2.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί.....	3
2.2 Αποθέσεις ταμιευτήρων.....	6
2.3 Εκτιμήσεις εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής	8
2.3.1 Εμπειρικά μοντέλα	9
2.3.2 Προσδιοριστικά μοντέλα	13
2.3.3 Μετρήσεις συνολικού όγκου και αποθέσεων φερτών υλικών σε ταμιευτήρες.....	14
3. Επιλογή μεθόδων και εργαλείων.....	17
3.1 Μέθοδος RUSLE.....	17
3.1.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχόπτωσης – R.....	20
<i>Αναλυτικός υπολογισμός συντελεστή R</i>	<i>20</i>
<i>Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού συντελεστή R.....</i>	<i>21</i>
3.1.2 Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους – K.....	27
3.1.3 Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης – LS	31
3.1.4 Συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης - C.....	34

3.1.5	Συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης - P	37
3.2	Μέθοδος Gavrilovic	37
3.3	Εκτίμηση στερεοαπορροής	40
3.3.1	Συσχέτιση διάβρωσης-στερεοαπορροής – Συντελεστής στερεοαπορροής	40
3.3.2	Σχέση εκτίμησης στερεοαπορροής στον ελληνικό χώρο	42
3.4	Εκτίμηση όγκου αποθέσεων & νεκρού όγκου ταμιευτήρα	43
3.5	Αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στην εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης	45
4.	Περιοχή μελέτης.....	47
4.1	Γενικά στοιχεία	47
4.2	Λεκάνη απορροής χειμάρρου Τσικνιά	48
4.3	Γεωμορφολογία.....	50
4.4	Γεωλογία.....	50
4.5	Φράγμα Τσικνιά.....	55
5.	Εφαρμογή Μεθόδων – Αποτελέσματα.....	57
5.1	Γενικά.....	57
5.2	Μέθοδος RUSLE.....	57
5.2.1	Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχόπτωσης – R	57
	<i>Αναλυτικός υπολογισμός R.....</i>	<i>57</i>
	<i>Σύγκριση αναλυτικών υπολογισμών με άλλες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του R.....</i>	<i>61</i>
	<i>Εξαγωγή εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R.....</i>	<i>68</i>
5.2.2	Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους – K.....	76
5.2.3	Συντελεστής Μήκους και Βαθμού Κλίσης – LS.....	77
5.2.4	Συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης – C.....	78
5.2.5	Συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης – P.....	79
5.2.6	Αποτελέσματα μεθόδου	79

5.3	Μέθοδος Gavrilovic	83
5.4	Υλοποίηση πληροφοριακού υποβάθρου – Εφαρμογή RUSLE σε περιβάλλον arcGIS.....	86
5.5	Εκτίμηση Στερεοαπορροής.....	100
5.6	Εκτίμηση νεκρού όγκου ταμειυτήρα.....	103
6.	Συμπεράσματα – Σχολιασμός	107
	Βιβλιογραφικές αναφορές	113
	Παράρτημα	123

Ευρετήριο

Γραφήματα

Γράφημα 5.1: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων	65
Γράφημα 5.2: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων εξαιρούμενης της σχέσης Renard and Freimund (1994)-R~MFI.....	65
Γράφημα 5.3: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~MFI.....	66
Γράφημα 5.4: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~P _{ET}	66
Γράφημα 5.5: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων εξαιρούμενης της σχέσης Renard and Freimund (1994)~MFI.....	67
Γράφημα 5.6: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~MFI	67
Γράφημα 5.7: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~P _{ET}	68
Γράφημα 5.8: Συσχέτιση αναλυτικά υπολογισμένου R με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier MFI	69
Γράφημα 5.9: Συσχέτιση αναλυτικά υπολογισμένου R με την ετήσια βροχόπτωση P _{ET}	70

Εικόνα 2.1: Μορφές στερεομεταφοράς ως προς την προέλευση και τον τρόπο μεταφοράς (Ζαρρής κ.α., 2001)	5
Εικόνα 2.2: Διεργασία της διάβρωσης (μπλε γραμμή), μορφές που λαμβάνει (κόκκινη γραμμή) χαρακτηριστικές καταστάσεις εξέλιξης (καφέ γραμμή) σε χώρο-χρονική κλίμακα (Karydas <i>et al.</i> , 2012)	6
Εικόνα 2.3: Αποθέσεις φερτών υλικών σε ταμιευτήρες (Ζαρρής κ.α.,2001).....	8
Εικόνα 2.4: Καμπύλη παροχής – στερεοπαροχής με χρήση τεθλασμένης παλινδρόμησης στη θέση Πόρος Ρηγανίου του π. Εύηνου (Ζαρρής, 2008)	10
Εικόνα 2.5: Χαρακτηριστική διαφοροποίηση μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου, δεδομένα στερεοϋδρομετρήσεων ποταμού Αλιάκμονα –θέση Μ.Ιλαρίωνα (Ζαρρής κ.α.,2001)	11
Εικόνα 3.1: Ισοτιμικός χάρτης R ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) (Φλαμπούρης, 2008)	26
Εικόνα 3.2: Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K	28
Εικόνα 3.3: Θέση ανωτέρω αντιπροσωπευτικών τιμών στο τρίγωνο εδαφικής δομής (Van der Knijff <i>et al.</i> , 2000a&b)	30
Εικόνα 4.1: Σχηματική στρωματογραφική στήλη των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Λέσβου (Λαμέρα, 2004)	53
Εικόνα 5.1: Έντυπο επεξεργασίας ταινιών βροχογράφου	58
Εικόνα 5.2: Σύγκριση τιμών μέσης ετήσιας στερεοαπορροής για τρεις Μεσογειακές χώρες	103

Πίνακας 3.1: Αντιπροσωπευτικές τιμές K για κάθε εδαφική κατηγορία (Van der Knijff <i>et al.</i> , 2000a&b)	29
Πίνακας 3.2: Τιμές συντελεστή x (Ξανθάκης, 2011)	39
Πίνακας 3.3: Τιμές συντελεστή y (Ξανθάκης, 2011)	39
Πίνακας 3.4: Τιμές συντελεστή φ (Ξανθάκης, 2011)	40
Πίνακας 3.5: Εύρη τιμών πυκνότητας (t/m^3) για αποθέσεις ταμιευτήρων	43
Πίνακας 3.6: Κατηγορίες λειτουργίας ταμιευτήρα	44
Πίνακας 3.7: Πυκνότητα (kg/m^3) ανάλογα με τον τύπο λειτουργίας ταμιευτήρα.....	44
Πίνακας 3.8: Παράγοντας K.....	45
Πίνακας 4.1: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$) – σταθμός αεροδρομίου Μυτιλήνης	47
Πίνακας 4.2: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) – σταθμός αεροδρομίου Μυτιλήνης	47
Πίνακας 5.1: Έτη αναλυτικών υπολογισμών και μέση ετήσια βροχόπτωση	59
Πίνακας 5.2: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές μηνιαίας και ετήσιας βροχόπτωσης	59
Πίνακας 5.3: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές ετήσιου R	60
Πίνακας 5.4: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές μηνιαίου και ετήσιου R	60
Πίνακας 5.5: Εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του R.....	62
Πίνακας 5.6: Ποσοστιαίο (%) και Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα τιμών R εμπειρικών σχέσεων σε σχέση με τις τιμές αναλυτικών υπολογισμών.....	63
Πίνακας 5.7: Εκτίμηση R από εμπειρικές συσχετίσεις στο σύνολο της χρονοσειράς μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης σταθμού αεροδρομίου Μυτιλήνης.....	71
Πίνακας 5.8: Εκτίμηση R από εμπειρικές συσχετίσεις της εργασίας - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης	72
Πίνακας 5.9: Παρεμβολή – για τα κοινά έτη μετρήσεων – τιμών R από εμπειρικές συσχετίσεις της εργασίας - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης	73

Πίνακας 5.10: Εκτίμηση R από εμπειρικές σχέσεις Renard and Freimund (1994) και Rogler and Schwertmann (1981) - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης	74
Πίνακας 5.11: Παρεμβολή – για τα κοινά έτη μετρήσεων – τιμών R από εμπειρικές σχέσεις Renard and Freimund (1994) και Rogler and Schwertmann (1981) - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης.....	75
Πίνακας 5.12: Τιμές –επιμέρους και μέση- διαβρωσιμότητας για τα πετρώματα της περιοχής μελέτης	77
Πίνακας 5.13: Τιμές συντελεστή C για τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης	78
Πίνακας 5.14: Τιμές συντελεστή P για τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης	79
Πίνακας 5.15: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για αναλυτικά υπολογισμένο συντελεστή διαβρωτικότητας R	81
Πίνακας 5.16: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για συντελεστή διαβρωτικότητας R υπολογισμένο από τη σχέση $R \sim P_{ET}$ της εργασίας.....	82
Πίνακας 5.17: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για συντελεστή διαβρωτικότητας R υπολογισμένο από τη σχέση Renard and Freimund (1994)	82
Πίνακας 5.18: Τιμές συντελεστή x	84
Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα μεθόδου Gavrilovic.....	84
Πίνακας 5.20: Τιμές παραγωγής φερτών υλικών με τη μέθοδο Gavrilovic σε λεκάνες απορροής ελληνικών φυσικών λιμνών.....	85
Πίνακας 5.21: Ποσότητες ετήσιας στερεοαπορροής t/ha από τιμές εδαφικής διάβρωσης RUSLE.....	100
Πίνακας 5.22: Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο	101
Πίνακας 5.23: Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο	102
Πίνακας 5.24: Ετήσια ποσότητα αποθέσεων και νεκρός όγκος ταμειυτήρα	104

Χάρτης 4.1: Λεκάνη απορροής χειμάρρου Τσικινιά έως και τη θέση κατασκευής του φράγματος	48
Χάρτης 4.2: Χρήσεις γης κατά Corine 2000	49
Χάρτης 4.3: Γεωλογικός χάρτης Λέσβου (Καρύμπαλης κ.α., 2004)	52
Χάρτης 4.4: Γεωλογικός χάρτης Λέσβου, (Καρύμπαλης κ.α., 2004)	54
Χάρτης 5.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους λεκάνης απορροής Τσικινιά (μέχρι και τη θέση κατασκευής του φράγματος).....	87
Χάρτης 5.2: Κλίσεις (%) εξεταζόμενης λεκάνης απορροής	88
Χάρτης 5.3: Γωνία ° κλίσης β	89
Χάρτης 5.4: Διευθύνσεις ροής.....	90
Χάρτης 5.5: Συγκέντρωση ροής	91
Χάρτης 5.6: Συντελεστής αναγλύψου LS.....	92
Χάρτης 5.7: Γεωλογικοί σχηματισμοί και συντελεστής διαβρωσιμότητας K.....	93
Χάρτης 5.8: Συντελεστής κάλυψης γης C	94
Χάρτης 5.9: Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P	95
Χάρτης 5.10: Ετήσια εδαφική απώλεια As (t/ha).....	96
Χάρτης 5.11: Καμπυλότητα περιοχών λεκάνης απορροής	97
Χάρτης 5.12: Συντελεστής αναγλύψου LS εξαιρουμένων των επιφανειών απόθεσης	98
Χάρτης 5.13: Ετήσια εδαφική απώλεια As (t/ha) με εξαίρεση των περιοχών απόθεσης	99

Περίληψη

Ελλείψει επιτόπιων μετρήσεων εδαφικής απώλειας ή στερεομεταφοράς, επιχειρείται η κατάρτιση ενός μεθοδολογικού πλαισίου -αποτελούμενου από εμπειρικές σχέσεις και μοντέλα- για την εκτίμηση των ετήσιων ποσοτήτων εδαφικής απώλειας, στερεοαπορροής και αποθέσεων φερτών υλικών. Σκοπό της εργασίας αποτελεί η εκτίμηση του όγκου αποθέσεων για τη διαστασιολόγηση του νεκρού όγκου φράγματος Τσικνιά, στον ομώνυμο χείμαρρο και τη λεκάνη απορροής που αναπτύσσεται στο κεντρικό τμήμα της Λέσβου.

Εφαρμόζονται τα μοντέλα RUSLE (Renard *et al.*, 1997) και Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) για την εκτίμηση της εδαφικής απώλειας, ο συντελεστής στερεοαπορροής (Vanoni, 1975) για τον προσδιορισμό της στερεοαπορροής και η μεθοδολογία των Lara and Pemberton (1963) για την εκτίμηση του συνολικού όγκου αποθέσεων στον ταμιευτήρα.

Δίνεται έμφαση στην ανάλυση της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, που θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας επηρεασμού της διάβρωσης. Εκτελούνται αναλυτικοί υπολογισμοί εκτίμησης του R (Renard and Freimeund, 1994) από επεξεργασία στοιχείων βροχογράφου για ένα σύνολο 12 ετών. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα που προκύπτουν από εμπειρικές σχέσεις και παράλληλα αξιοποιούνται στην κατάρτιση ενδεικτικών εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R.

Η εφαρμογή της RUSLE πραγματοποιείται και σε περιβάλλον λογισμικού γεωπληροφορικής (arcGIS), για τη θεώρηση της χωρικής διακύμανσης των μεγεθών στους υπολογισμούς καθώς και την αξιοποίηση της δυνατότητας προσδιορισμού των πιο ευάλωτων στη διάβρωση περιοχών μέσω της κατάρτισης χαρτών. Επίσης, βάσει των προσφερόμενων δυνατοτήτων των ΣΓΠ επιχειρείται η εξαίρεση των περιοχών απόθεσης από τους υπολογισμούς εκτίμησης της εδαφικής απώλειας, επιδιώκοντας το μετριασμό ενδεχόμενων υπερεκτιμήσεων.

Abstract

Due to the lack of specific site measurements of soil loss or sediment transport, the development of a theoretical frame- consisted of empirical relations and models- is attempted, so as to estimate the annual quantities of soil loss, sediment yield and deposition of sediments. The aim of this thesis is to estimate the amount of deposition for dimensioning the dead volume on Tsiknias dam, at the homonymous stream and the deriving basin which is located in the central area of Lesvos island.

The soil erosion models RUSLE (Renard *et al.*, 1997) and Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) are applied, for the estimation of the soil loss, in accord with the sediment delivery ratio (Vanoni, 1975) in order to determine the sediment yield. In addition, the Lara and Pemberton (1963) methodology is used for the total volume of depositions in the reservoir to be determined.

Emphasis is given on the analysis of the rainfall erosivity, which is considered the most significant influential factor of erosion. Analytical calculations are carried out (Renard and Freimeund, 1994), so as to estimate the erosivity from the processing of the precipitation sensor data in a 12 years period. The results are compared with the ones, deriving from experimental correlations, and are at the same time utilized in the creation of indicative relations of estimating R factor.

The RUSLE is therefore applied in an environment of GIS software, aiming at the inclusion of spatial variance in the calculations, along with the reclaim of the ability to define the most vulnerable in erosion areas, through the development of maps. Moreover, according to the offered possibilities by the GIS, there is an effort to exclude the possible deposition areas from the calculations of soil loss, in order to mitigate the existence of overestimations.

Extended Summary

Introduction

Soil erosion is regarded as one of the greatest hazards for the European territories and especially the Mediterranean region. That is the reason why, both the qualitative and quantitative determination of the relevant measurements, is essential, so as to effectively create the management strategies, mitigate and deal with the danger of erosion. The risk management of the erosion could be defined as a process consisted of estimation, prevention, alertness, reaction and reclamation.

The interest from the hydrologic point of view is found more on the procedures of transfer and deposition of the sediment materials. Estimating the sediment movement in watersheds is a complicated process, given its dependency on hydrologic and morphologic factors. The two issues closely related to the sediment transport are the sediment yield S_Y (in terms of mass, time and area) and the sediment discharge Q_S (in terms of mass and time). The research and knowledge on the sediment transport focuses, in the interest of hydrology, in both the hydrologic procedures and the hydraulic design of projects like flood control or storage works.

The subject and aim of the present thesis is the development of a methodological frame for the quantitative estimation of soil erosion -soil loss, sediment yield and deposition- which aims at dimensioning the dead volume of a reservoir. The estimation is done along with the absence of on the site measurements of erosion or sediment transport, via the use of empirical methods. Initially, soil erosion is estimated a portion of it, determined by the sediment delivery ratio (SDR), ends up as sediment yield, upon which rely the estimations of sediment deposits in the reservoir and the dimensioning of the dam's dead volume.

Choice of methods

The methods and tools chosen, determined by the demands of research and the technical-economical available potentials are: the RUSLE (Renard *et al.*, 1997) and Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) models, used for the estimation of soil loss, the sediment delivery ratio (Vanoni, 1975) for the estimation of sediment yield, and the methodology by Lara and Pemberton (1963), used for the determination of the sediments deposition in the reservoir. In addition, the RUSLE method is also applied in an arcGIS environment, in order to provide more suitable estimations of the spatially distributed soil loss and erosion.

Study Area

Lesvos is the largest of the islands on the North-East Aegean and one of the biggest Greek islands, with a size of 1637 km and a coastline of 371 km.

The average annual rates of temperature and rainfall are included in Tables 1 and 2.

Table 1: Mean monthly and annual temperature (°C) - Mytilene airport station

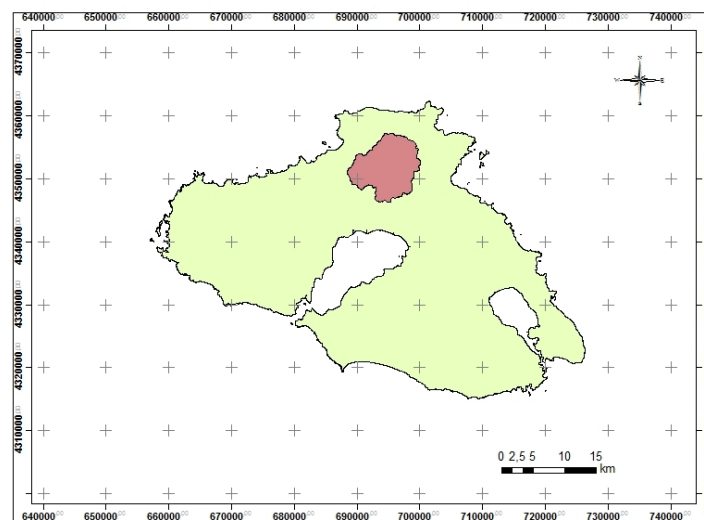
OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	Year
18.0	12.6	10.1	7.6	8.0	10.9	14.7	18.9	23.1	25.5	26.2	21.6	16.4

Table 2: Mean monthly and annual precipitation (mm) - Mytilene airport station

OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	Year
39.5	92.2	141.5	110.5	93.0	71.9	44.7	19.5	6.4	2.0	2.8	12.5	636.6

The geological structure of Lesvos island mainly consists of Alpine and pro-Alpine metamorphic formations, as well as Quaternary and Neogene-age clastic and volcanic formations. As far as it concerns the geological structure of the study area, it consists mainly of volcanic formations.

The watershed of Tsiknias stream occupies an area of 89.57 km, covers the largest part of north and central Lesvos- Map 1-, while simultaneously is considered as the largest basin in size in the whole area of Aegean.



Map 1: Watershed of Tsiknias stream up to the position of the dam construction

The Tsiknias dam is designed to be constructed in a natural narrow part of the stream, with an estimated height of 38 m and the capacity of the reservoir being between 12 and 12.5 hm.

Application of methods – results

RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) method

Rainfall erosivity factor – R factor

Analytical calculation

The calculation of R factor is estimated on the basis of the analytical calculation relations, suggested by Renard and Freimund (1994).

The facts which are taken into account are data collected from rain sensor, in a time distinctness of 5 minutes, taken from the meteorological station situated in the airport of Mytilene, in a time period from 1988 to 2008. For these nineteen years of available measurements, the analytical calculation was completed in 12 of them, in which a plenitude of recorded rainfall data is observed.

The rates of the R factor for the consequent 12 years are presented in the following Table 3, with values ranging from 535.36~2,774.04 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, with a mean value of R in 1,449.93 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, while the according monthly values can be seen.

Table 3: Years of analytical calculations- monthly and annual R factor values

Year	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ year ⁻¹)
1988-89	0.0	852.1	217.2	0.0	0.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,077.6
1991-92	197.3	79.5	112.5	0.0	17.1	61.5	12.4	96.5	0.0	0.0	0.0	0.0	576.7
1992-93	52.7	121.7	780.0	3.9	228.6	26.1	243.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,456.0
1994-95	74.1	1400.9	66.2	394.6	40.5	315.7	80.8	0.0	0.0	0.0	0.0	33.2	2,406.1
1995-96	0.0	61.2	225.4	0.0	318.5	22.4	138.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	816.2
1996-97	0.0	37.6	473.4	100.2	85.7	333.6	95.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,126.2
1997-98	285.8	97.7	1553.5	165.7	295.3	132.7	0.0	41.9	0.0	31.0	0.0	170.6	2,774.0
1999-00	53.9	221.6	376.0	0.0	420.3	204.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,275.9
2000-01	1254.4	68.8	27.8	177.8	265.1	0.0	180.2	37.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2,011.4
2003-04	46.6	0.0	0.0	412.0	20.6	82.3	116.3	19.3	981.4	0.0	0.0	0.0	1,678.4
2006-07	13.8	0.0	0.0	10.7	453.2	57.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	535.4
2007-08	694.5	302.1	494.2	64.8	40.0	0.0	65.2	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	1,665.3
Average	222.8	270.2	360.5	110.8	182.1	103.7	77.6	16.2	81.8	2.6	0.0	21.6	1,449.9

Comparison of the analytical calculations with other empirical estimation relations of the R

For the 12 years of analytical calculations, the rates of the R factor were taken through various recognized empirical relations: (Arnoldus, 1977), (Renard and Freimund, 1994) with the use of Modified Fournier Index (MFI), (Ferro *et al.*, 1999), (Renard and Freimund, 1994), (Rogler and Schwertmann, 1981), (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b) and (Torri *et al.*, 2006) via the use of the average annual rainfall P_{ANNUAL} . The calculations can be observed in the following Table 4.

Table 4: Empirical relations of estimating R factor

Year	P_{ANNUAL} (mm)	MFI (mm)	Arnoldus (1977)	Renard & Freimund (1994)	Ferro <i>et al.</i> (1999)	Van der Knijff <i>et al.</i> (2003)	Rogler & Schwertm ann (1981)	Torri <i>et al.</i> (2006)	Renard & Freimund (1994)
1988-89	495,4	165,3	561,0	12.122,7	-	644,0	885,0	581,8	1.054,0
1991-92	318,8	56,1	110,8	1.254,4	-	414,4	1.004,9	37,9	518,3
1992-93	526,9	92,8	236,1	3.640,2	-	685,0	532,8	678,9	1.163,9
1994-95	807,4	132,8	404,0	7.700,4	-	1.049,6	1.580,6	1.542,8	2.314,0
1995-96	508,6	89,8	224,6	3.394,8	-	661,2	1.115,9	622,5	1.099,5
1996-97	520,5	123,5	362,2	6.615,7	-	676,7	185,0	659,1	1.141,3
1997-98	915,6	184,2	660,2	15.167,6	-	1.190,3	2.365,0	1.876,0	2.913,0
1999-00	465,6	83,1	200,0	2.885,4	-	605,3	457,3	490,0	953,8
2000-01	504,8	86,1	211,0	3.110,6	-	656,2	2.076,4	610,8	1.086,3
2003-04	513,7	105,5	286,2	4.766,6	-	667,8	1.591,0	638,2	1.117,4
2006-07	237,2	44,0	76,9	80,1	-	308,4	891,0	-	322,0
2007-08	640,1	112,4	314,8	5.442,4	-	832,1	2.826,8	1.027,5	1.592,2
Average	537,9	106,3	304,0	5.515,1	875,5	699,2	1.292,7	796,9	1.273,0

The relative (%) and mean percentage error between the values resulted from the analytic computation and these from empirical relations are presented in Table 5.

Table 5: Relative (%) and mean percentage error between the values resulted from the analytic computation and these from empirical relations

Arnoldus (1977)	Renard& Freimund~MFI (1994)	Ferro et al (1999)	Van der Knijff (2003)	Rogler& Schwertmann (1981)	Torri et al (2006)	Renard& Freimund~P _{ET} (1994)
<i>RELATIVE(%) ERROR</i>						
47,94	-1024,95	-	40,24	17,87	46,01	2,20
80,78	-117,49	-	28,14	-74,24	93,43	10,13
83,79	-150,01	-	52,96	63,41	53,38	20,06
83,21	-220,04	-	56,38	34,31	35,88	3,83
72,48	-315,95	-	18,99	-36,73	23,73	-34,72
67,84	-487,42	-	39,92	83,57	41,47	-1,33
76,20	-446,77	-	57,09	14,74	32,37	-5,01
84,32	-126,15	-	52,56	64,16	61,59	25,24
89,51	-54,65	-	67,37	-3,24	69,63	45,99
82,95	-183,99	-	60,21	5,21	61,98	33,43
85,63	85,04	-	42,40	-66,42	139,87	39,85
81,10	-226,81	-	50,03	-69,74	38,30	4,39
<i>MEAN PERCENTAGE ERROR</i>						
77,98	-272,43	39,61	47,19	2,74	58,14	12,00

Derivation of empirical relations for the estimation of R factor

Taking into account the absence of sufficient elements, and thus the low reliability of the relevant results, an elicitation of empirical relations for the estimation of R factor is attempted, on the basis of the analytical calculations, related with Modified Fournier Index MFI or the mean annual precipitation. The given relations could be reclaimed in the estimation of the erosivity values, in close, in terms of distance and climate conditions, areas of interest. Following the elaboration of the data, the correlations are formed in the way shown below:

$$R = 17.34 \cdot MFI^{0.9376}$$

and

$$R = 3.41 \cdot P_{ET} - 382.4$$

The relations were applied on the data of the two stations, located inside the watershed of Agia Paraskevi and Stypsi, by which, following an interpolation of the results, and regarding the common years of existing data, the following rates of the R factor have come out, as shown in Table 6. These values can be used as an indication of the variance of the factor in the basin.

Table 6: Interpolation of R factor values –for the common years of existing data- resulted from present study’s empirical relations (stations Ag.Paraskevi and Stypsi)

Year	R_{MFI}	R_{PET}
1998-99	2,026.5	2,749.2
1999-00	1,284.3	1,621.0
2000-01	1,153.2	1,398.8
2001-02	2,707.4	3,626.9
2002-03	1,820.7	2,542.9
2003-04	2,964.6	2,523.9
2004-05	2,153.2	2,502.8
2005-06	2,462.5	2,691.5
2006-07	1,144.9	1,364.2
2007-08	1,532.5	1,841.8
2008-09	1,795.1	2,864.6
2009-10	2,749.9	3,495.1
Average	1,982.9	2,435.2

An adaptation of the previous type was done also for the two of the empirical relations of estimating the R factor, which appear to have the closest approach to the analytical results. The outcome of the mean erosivity values in the basin is depicted in Table 7.

Table 7: Interpolation of R factor values –for the common years of existing data- resulted from other empirical relations (stations Ag.Paraskevi and Stypsi)

Year	Renard & Freimund (1994)	Rogler & Schwertmann (1981)
1998-99	2,960.8	501.0
1999-00	1,408.5	1,194.4
2000-01	1,177.2	1,179.6
2001-02	4,908.9	3,997.5
2002-03	2,673.6	1,101.1
2003-04	2,564.1	1,680.5
2004-05	2,748.1	687.5
2005-06	2,934.5	1,574.0
2006-07	1,133.9	3,533.5
2007-08	1,649.5	1,605.8
2008-09	3,312.1	1,972.8
2009-10	4,688.9	3,534.2
Average	2,680.0	1,880.2

During the procedure of reckoning the soil loss through the use of RUSLE, the values of the analytical calculation are chosen as the R rates, due to the fact that they are regarded as the most representative for the expression of the energy and the resulted erosivity of the precipitation.

Remaining RUSLE factors

Soil Erodibility Factor- K factor

The determination of the factor was done on the basis of a soil map of Greece (Yasoglou, 2004) and relevant projects on a European level (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b, Panagos *et al.*, 2012&2014).

Slope Length and Steepness Factor – LS factor

It was determined through the Mitasova and Mitas (2001) relation which was executed on an arcGIS environment. Two distinct scenarios took place; a typical calculation of the factor (scenario I) and a calculation based on an attempt to except the deposition areas so as to mitigate possible overestimations (scenario II).

Cover Management Factor –C factor

It was estimated according to relevant Greek bibliography.

Support Practice Factor- P factor

Concerning the various categories of agricultural land, values lower of the unit were attributed, taking into consideration that there are several measures of erosion control applied.

Results of the RUSLE method

The application is briefly presented in the Table 8 that follows.

Table 8: RUSLE application; values of factors and annual soil loss (t/ha)

Year	R	K	LS		C	P	As	
	(MJ mm/ha h yr)	(t h/MJ mm)	I	II	-	-	(t/ha)	
1988-89	1,077.6	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	29.55	23.86
1991-92	576.8	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	15.81	12.77
1992-93	1,456.0	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	39.92	32.24
1994-95	2,406.1	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	65.97	53.27
1995-96	816.2	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	22.38	18.07
1996-97	1,126.2	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	30.88	24.94
1997-98	2,774.0	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	76.06	61.42
1999-00	1,275.9	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	34.98	28.25
2000-01	2,011.4	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	55.15	44.53
2003-04	1,678.4	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	46.02	37.16
2006-07	535.4	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	14.68	11.85
2007-08	1,665.3	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	45.66	36.87
Average	1,449.9	0.03	6.08	4.91	0.169	0.88	39.75	32.10

Gavrilovic method

The results of the method are resumed in Table 8.

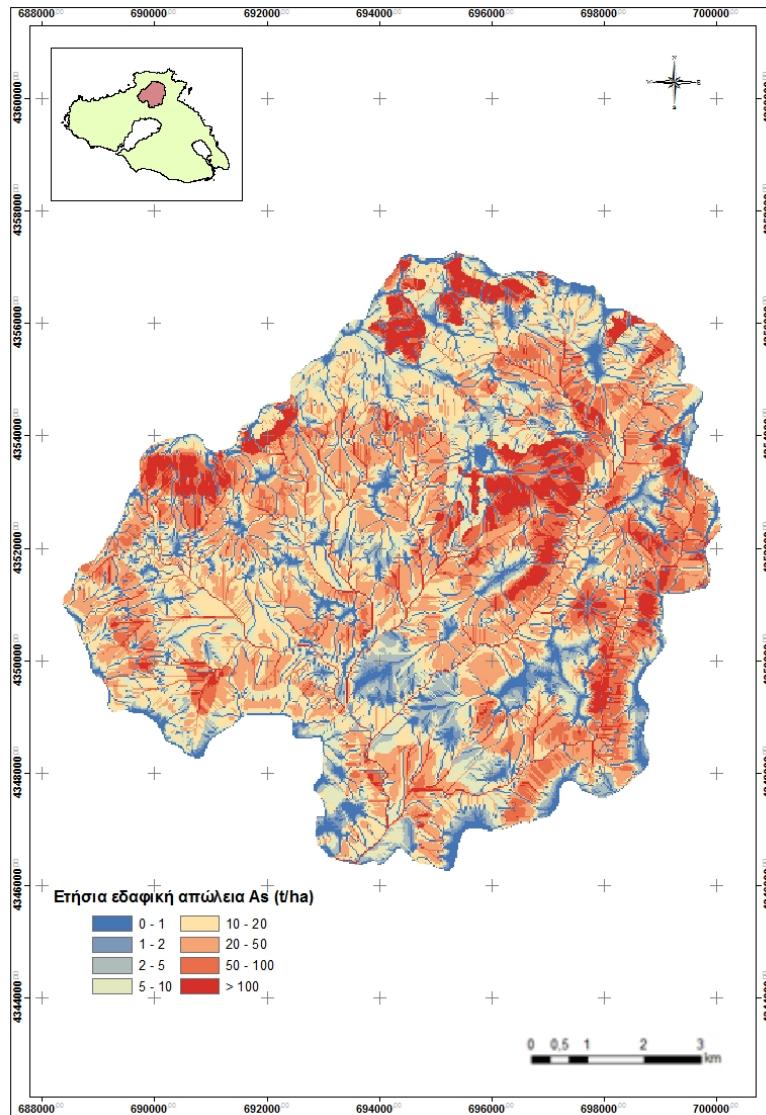
Table 8: Gavrilovic method application; values of factors and annual production (m³) of sediment materials

T	P (mm)	A(km ²)	z	W(m ³ /km ²)	W(m ³)
1.33	792.78	81.93	0.54	1,307	139,205

This amount of volume is transformed into units of mass, by assuming a mean density of 1,26 t/m³ for the sediment materials. Thus, annual production of sediment materials reach 175,280 t or 21.39 t/ha.

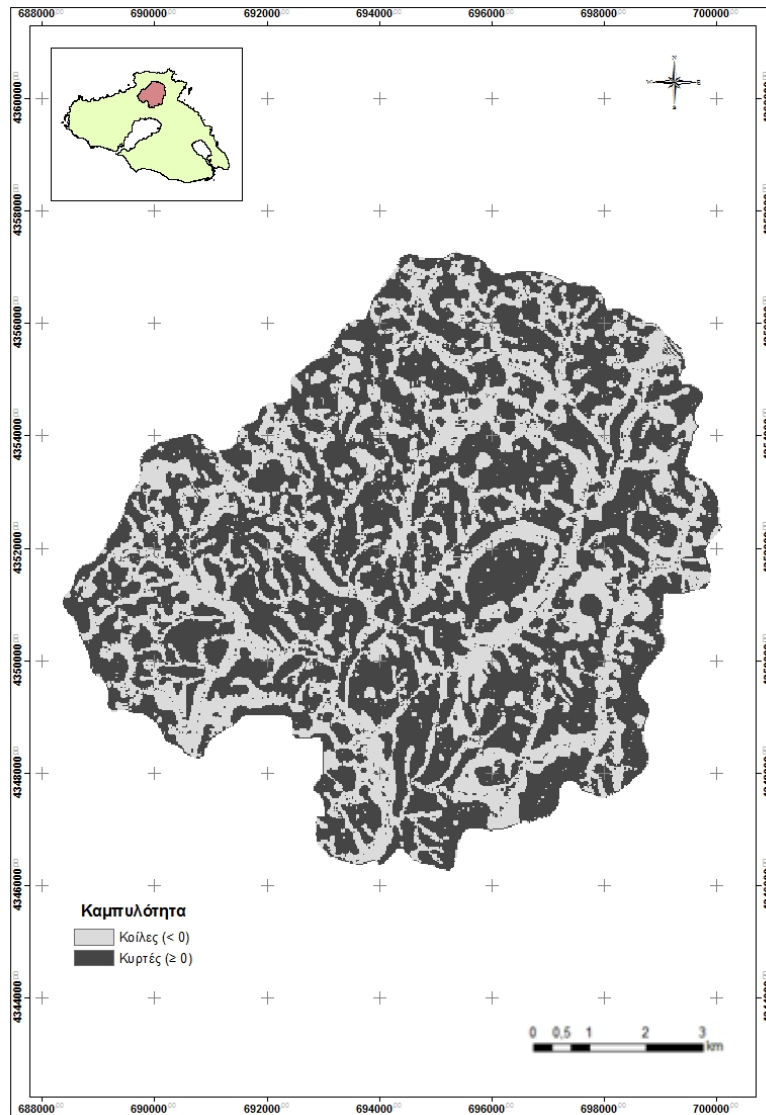
Applying RUSLE in an arcGIS environment

The RUSLE method was developed also with utilization of a GIS software which offers the possibility of including the spatial variance in the calculations. The result of estimation of the soil loss –Map 2- is presented below. The average annual soil loss depicted is at the 35.38 t/ha.



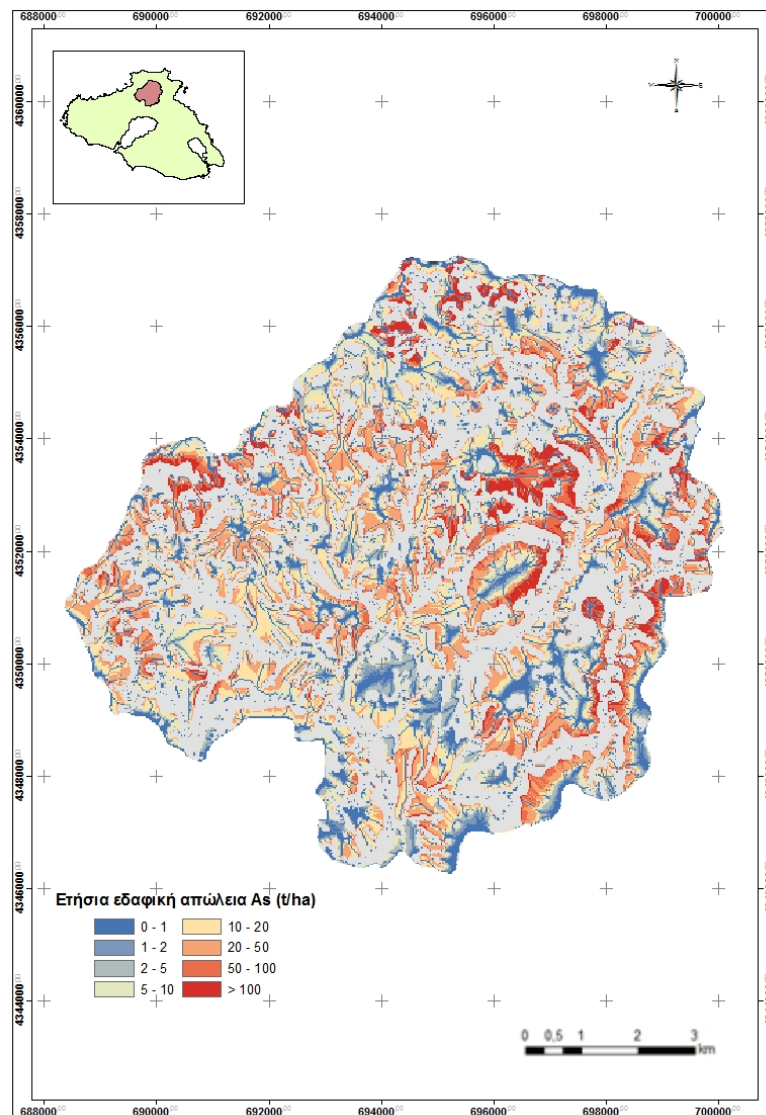
Map 2: Annual soil loss (t/ha)

At the same time, there is an effort to exclude the deposition areas from the calculations in order to mitigate possible overestimations. The ability to define the curvature is utilized in every cell of the grid and the watershed is divided into convex and concave areas, as shown in Map 3.



Map 3: Division between convex and concave areas

The concave areas are exempted from the calculations as they are considered possible deposition areas and the soil loss estimation -Map 4- takes the form shown below, with an average annual value of 27.93 t/ha.



Map 4: Annual soil loss (t/ha) with exception of the assumed as deposition areas

The process depicted so far, of excluding the possible deposition areas from the calculations, is a rather simple conceptual approach. It would not be appropriate to propose it as a possible solution in the problem of estimating soil loss figures, especially when the phenomenon has such a strong stochastic behavior in the particular “Mediterranean type” climatic conditions of the study area.

Estimation of the Sediment Yield

The sediment yield factor is computed as 0.27 (Vanoni, 1975). The annual quantities of sediment yield for the three basic estimations of soil loss appear to be 10.84 (RUSLE), 9.65 (RUSLE~gis) and 5.84 (Gavrilocic) t/ha respectively. The specific estimations are comparable with some relevant to the Greek territory (Zarris *et al.*, 2012).

Estimation of the Dead Volume of the reservoir

For the calculation of the dead volume, the methodology of Lara and Pemberton (1963) is used. The estimated annual quantities of depositions and their total sum for 50 years of operation of the dam are included in Table 9.

Table 9: Estimated figures of sediment yield, sediment deposits and dead volume for 50 years of operation

	Sy (t/ha)	Initial annual sediments in the reservoir			Annual sediments after 50 years of operation			Total Sediments – Dead Volume	
		My (t)	ρ (t/m ³)	Vy (m ³)	My (t)	ρ (t/m ³)	Vy (m ³)	Vy (m ³)	Vy (hm ³)
RUSLE	10.84	88,826	1.26	70,545	88,826	1.30	68,598	3,548,130	3.55
RUSLE~gis	9.65	79,055		62,784	79,055		61,052	3,152,577	3.15
Gavrilovic	5.83	47,804		37,965	47,804		36,918	1,909,509	1.91

Among the above alternative estimations, the one that stands out as the most comprehensive is the RUSLE application in an arcGIS environment. As a result, the quantity of the dead volume which is chosen as the final estimation figure is 3.15 hm³ for 50 years of the reservoir's operation. It is assumed that the methodology by which the previous estimation came shows overestimation in the quantities of the soil loss, because of the non-exclusion of the deposition surfaces from the calculations. In order to deal with possible overestimation, an impairment is suggested ranging from 10 to 15%. Therefore, the final estimated volume of depositions for 50 years of operating is 2,75 hm³, a value suggested to be also the dead volume in the dimensioning of the dam.

The present estimation of the deposition volume and the dead volume of the reservoir is compared and evaluated due to two cases of reservoirs in the Greek territory where the volume of deposition is defined with a hydrographic survey application (Zarris *et al.*, 2002, Xanthakis, 2011).

Fundamental Results

Analytical calculation of the Rainfall Erosivity Factor – R

- Conducting the calculations in a time distance of such a small time segment of 5 minutes, contributes in determining the closest rate of the rainfall energy and erosivity
- By examining the erosivity values for the various rain episodes and the presentation of the related monthly values, the great variance that characterizes the procedures is more than apparent, in cases of years when the erosivity in a month or in just one rainfall episode, may reach or even exceed the 50% of the respective annual erosivity. The previous fact confirms the general approach for the process of sediment transport, in which, particularly in “Mediterranean type” basins and conditions, there is a high possibility for a single flood event, caused by a heavy storm, to cause sediment yield of the average annual quantity level
- The time and space range of the data utilized in the calculations is not sufficient enough for the formulation of general determinations; only indications can be seen for the behavior of the R factor

Comparison of the analytical calculations to other empirical relations of estimating the R factor

- The majority of the results for the five out of the six empirical relations compared, show significant underestimation in contrast to the analytical calculations, a fact which reassures the notices by RUSLE authors (Renard and Freimund, 1994)
- The two relations indicating the best approach for the analytical values are Renard and Freimund (1994) (with the use of P_{ANNUAL}) and Rogler and Schwertmann (1981)
- The estimation relations of the $R \sim \text{MFI}$ like the one by Arnoldus (1977), don't manage to approach the R better, in comparison with the $R \sim P_{\text{ANNUAL}}$. Their greatest variances highlight the sensitivity they experience during the specific fluctuation of every rain regime they deal with
- As a further step of the previous point, the $R \sim P_{\text{ANNUAL}}$ relations should be preferred instead of the $R \sim \text{MFI}$. Although they are accepted as the most general way of relating rainfall with erosivity, it is this generality which is dealt as an advantage in facing a procedure as reflective and stochastic as rainfall

- Most of the areas in the Greek territory, mainly in the East of the mountain range of Pindos, are characterized by climatic conditions and rainfall regime (energy and intensity of rain), similar to these of the research area. Therefore, when it comes to estimating the R factor by empirical relations, the resulting values of R had better be multiplied with an increasing factor of 1.2, for the sake of safety and the impairment of possible underestimations

Application of Soil Erosion Models

- The application of RUSLE in an arcGIS environment has a positive impact, as because of the inclusion of the spatial variance of the parameters. Therefore more appropriate quantitative estimations of soil loss can be made
- The use of GIS software also enhances the abilities of estimating the erosion. On this ground it is conducted the attempt to exclude the possible depositional areas from the calculations, by using tools that identify the curvature at every grid cell. The methodology followed is assumed as conceptually correct but is thought to be too simplistic to describe the reflective form of the erosion procedures and additionally has not been dealt in the Greek or foreign bibliography
- The use of a sediment yield factor, for the estimation of the sediment yield, resulting from a correlation exclusively with the surface of the basin and not by morphologic or hydrographic elements, is demonstrated as a precarious simplification of the sediment transport processes. However, this kind of usage is often found in bibliography, as relations of such type provide direct and quick results, and quite reliable as well, considering the level of simplicity they offer

Further Comments

- The effectiveness of the methodological frame of methods and relations which is applied for the estimation of erosion and the determination of the dead volume of the reservoir is considered satisfactory. With small initial demand of data, the estimations are assumed fairly reliable
- Estimating soil erosion with the use of empirical methods, in spite of the accurate results it might bring out, remains shaky, as it is based on a series of insecure assumptions and simplifications

- The use of more complex models for simulating erosion is not regarded as improving significantly the estimations. It is rather difficult to respond to the demand for a big initial volume of data, resulting in the adoption of assumptions which decrease the reliability levels
- The uncertainty is increased when estimating erosion in areas in which there is complete lack of measurements on the field
- Calculating the soil erosion with the use of empirical methods may not be a substitute for the need of conducting measurements on the field for its determination
- The systematic hydrographic survey of reservoirs in combination with the expansion of the sediment discharge measurements and other field measurements are the milestones on which the upgrading of the existing knowledge for soil erosion and the enhancement of estimating the soil loss and sediment transport may be based on

Subject of further research

- The elaboration of more in time and space scale rain sensor data available in the Greek territory, for the development of conducting relations of estimation the erosivity factor in connection with the average annual height of rain or the modified Fournier index
- Evolution also in the space level of the process above, by determining the spatial variance of erosivity, through the use of the abilities offered by Geo-information technologies
- Improvement of the approach which attempts to exempt the possible areas of deposition from the calculations of the soil loss

References

- Arnoldus, H.M.J., 1977, Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Marocco, *FAO Soils Bulletin*, 34, pp 39-51.
- Ferro, V., P Porto and B Yu, 1999, A comparative study of rainfall erosivity estimation for Southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 44 (1), pp 3-24.
- Gavrilovic, S., 1988, The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in unstudied or Torrential Streams, in White, W.R. (Ed.), *International Conference on River Regime*, Wiley, New York (Chichester, UK), pp 411-422.
- Lara, J. M. and E.L. Pemberton, 1963, Initial Unit Weight of Deposited Sediments, *Procedures of Federal Interagency Sedimentation Conference*, USDA-ARS Misc. Publ. 970, pp. 818-845.
- Mitasova, H. and L. Mitas, 2001, Multiscale soil erosion simulations for land use management, in *Landscape Erosion and Evolution Modeling* (edited by R.S. Harmon and W.W. Doe III), Springer US, New York, 321-347, DOI: 10.1007/978-1-4615-0575-4_11.
- Panagos, P., C.G. Karydas, I.Z. Gitas and L. Montanarella, 2012, Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service, *International Journal of Digital Earth*, 5 (6), pp 461-487, DOI:10.1080/17538947.2011.587897.
- Panagos, P., K. Meusburger, C. Alewell and L. Montanarella, 2014, Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe, *Environmental Modelling & Software*, 30, pp 143-145, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.002>.
- Renard, K.G. and J.R. Freimund, 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, 157, 287-306.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder, 1997, Predicting Soil Erosion by Water – a Guide to Conservation Planning with the Revised universal soil loss equation (RUSLE), *Agricultural Handbook 703*, US Government Printing Office: Washington DC, USA.
- Rogler, H. and U. Schwertmann, 1981, Erosivität der Niederschläge und Isoerodentenkarte Bayerns. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 22, pp 99-112.

- Torri, D., L. Borselli, F. Guzzetti, M.C. Calzolari, P. Bazzoffi, F. Ungaro, D. Bartolini and M.P. Salvador Sanchis, 2006, Italy, in: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), *Soil Erosion in Europe*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom, pp 245-261.
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones, and L. Montanarella, 2000a, Soil erosion risk assessment in Europe, *JRC Scientific and Technical Report - EUR 19022 EN*, European Soil Bureau, European Commission, 58 pages.
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones, and L. Montanarella, 2000b, Soil erosion risk assessment in Italy, *JRC Scientific and Technical Report - EUR 19044 EN*, European Soil Bureau, European Commission, 38 pages.
- Vanoni, V.A., 1975, Sedimentation Engineering, in *Manuals and Reports on Engineering Practices*, ASCE, New York.
- Xanthakis, M., 2011, *Soil erosion study at mountainous basin of Marathon's lake, Attica Greece, using modern technological tools* (in greek), PhD thesis, Harokopio Panepistimio of Athens.
- Yasoglou, 2004, *Soil map of Greece*, National Committee against Desertification, Agricultural University of Athens.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Koutsoyiannis, 2002, Sediment yield estimation of a hydrological basin using measurements of reservoir deposits: A case study for the Kremasta reservoir, Western Greece, *Proceedings of the 5th International Conference of European Water Resources Association: "Water Resources Management in the Era of Transition"*, edited by G. Tsakiris, Athens, 338–345, European Water Resources Association.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Panagoulia, 2012, Sediment yield assessment in Greece, *International Conference Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers*, 14-16 November 2012, Istanbul, Turkey.

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο & σκοπός μελέτης – μέθοδοι & τεχνικές έρευνας

Η διάβρωση του εδάφους θεωρείται από τους μεγαλύτερους κινδύνους για τα ευρωπαϊκά εδάφη και ιδιαίτερα τις μεσογειακές περιοχές. Για την αποτελεσματική χάραξη των στρατηγικών διαχείρισης, μετριασμού και αντιμετώπισης του κινδύνου διάβρωσης, είναι απαραίτητος ο ποιοτικός αλλά και ποσοτικός προσδιορισμός των σχετικών μεγεθών. Η διαχείριση κινδύνου τόσο της διάβρωσης όσο και εν γένει συναποτελείται από την εκτίμηση, την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντίδραση και την αποκατάσταση (Ποτουρίδης κ.α., 2012).

Το ενδιαφέρον από υδρολογική σκοπιά εστιάζεται περισσότερο στις διαδικασίες μεταφοράς και απόθεσης των φερτών υλικών. Η εκτίμηση της κίνησης των φερτών υλικών σε υδρολογικές λεκάνες αποτελεί πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι εξαρτάται από υδρολογικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες. Τα μεγέθη που σχετίζονται με τη στερεομεταφορά είναι η στερεοαπορροή (μονάδες μάζας / χρόνου / επιφάνειας) και η στερεοπαροχή (μονάδες μάζας / χρόνου). Η έρευνα και γνώση σχετικά με τη στερεομεταφορά ενδιαφέρει την υδρολογία τόσο από την άποψη των υδρολογικών διεργασιών, όσο και από την άποψη του υδρολογικού σχεδιασμού υδραυλικών έργων – αντιπλημμυρικών ή ταμίευσης (φράγματα)-.

Αντικείμενο και σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατάρτιση ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την ποσοτική εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης –εδαφικής απώλειας, στερεοαπορροής και απόθεσης- που αποσκοπεί στη διαστασιολόγηση του νεκρού όγκου ταμιευτήρα. Η εκτίμηση διεξάγεται υπό το καθεστώς απουσίας επιτόπιων μετρήσεων διάβρωσης ή στερεομεταφοράς, χρήσει εμπειρικών μεθόδων. Γίνεται εφαρμογή των εμπειρικών μοντέλων RUSLE (Renard *et al.*, 1997) και Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) για την εκτίμηση της εδαφικής απώλειας· κλάσμα της, προσδιοριζόμενο από το συντελεστή στερεοαπορροής (Vanoni, 1975), απολήγει σε στερεοαπορροή, βάσει της οποίας εκτιμώνται οι αποθέσεις στη λεκάνη κατάκλυσης του μελλοντικού ταμιευτήρα και διαστασιολογείται ο νεκρός όγκος.

Ιδιαίτερα στην εφαρμογή της RUSLE, δίνεται έμφαση στην επίδραση της διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R, που θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας επηρεασμού της διάβρωσης. Εκτελούνται αναλυτικοί υπολογισμοί εκτίμησης του R από επεξεργασία στοιχείων βροχογράφου για

ένα σύνολο 12 ετών. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα που προκύπτουν από εμπειρικές σχέσεις και παράλληλα αξιοποιούνται στην κατάρτιση εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R.

Η εφαρμογή της RUSLE πραγματοποιείται και σε περιβάλλον λογισμικού γεωπληροφορικής (arcGIS), για τη συμπερίληψη της χωρικής διακύμανσης των μεγεθών στους υπολογισμούς και την αξιοποίηση της δυνατότητας προσδιορισμού των πιο ευάλωτων στη διάβρωση περιοχών μέσω της κατάρτισης χαρτών. Επίσης, βάσει των προσφερόμενων δυνατοτήτων των ΣΓΠ επιχειρείται η εξαίρεση των περιοχών απόθεσης από τους υπολογισμούς εκτίμησης της εδαφικής απώλειας, επιδιώκοντας το μετριασμό ενδεχόμενων υπερεκτιμήσεων.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που άπτονται της διεργασίας της διάβρωσης. Επίσης γίνεται ανασκόπηση των εναλλακτικών τρόπων εκτίμησης της εδαφικής απώλειας, της στερεοαπορροής και των αποθέσεων (ειδικά σε ταμιευτήρες).

Στο Κεφάλαιο 3 αναλύονται οι επιμέρους μέθοδοι που επιλέγονται και τα εργαλεία που αξιοποιούνται για τους σκοπούς της εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 περιέχονται στοιχεία που αφορούν την περιοχή μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εργασίας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6 συμπυκνώνονται και σχολιάζονται τα συμπεράσματα και προτείνονται θέματα περαιτέρω έρευνας.

2. Επισκόπηση εννοιών και μεθόδων

2.1 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Η εδαφική διάβρωση (Soil Erosion - S_E) αποτελεί τη φυσική διεργασία απόσπασης, μεταφοράς και απόθεσης εδαφικών ή/και βραχωδών υλικών, υπό την επίδραση του νερού [υδατική] και του ανέμου [αιολική]. Η πρώτη μορφή –εδαφική υδατική διάβρωση- απασχολεί τα επόμενα σκέλη της εργασίας αναφερόμενη, χάριν συντομίας, ως εδαφική διάβρωση. Είναι ο ιδιαίτερος τύπος διάβρωσης που απασχολεί την υδρολογία καθώς ως μηχανισμός γένεσης θεωρείται η βροχόπτωση και επιφανειακή απορροή.

Οι πέντε βασικοί παράγοντες που συνεπιδρούν στη φυσική διεργασία της διάβρωσης είναι το κλίμα και η υδρολογία, η γεωλογία/εδαφολογία, η γεωμορφολογία, η φυτοκάλυψη και ο ανθρώπινος παράγοντας.

Οι βασικές μορφές ανάπτυξης εδαφικής διάβρωσης είναι (Κουράκλη, 2010):

- Επιφανειακή (Sheet Erosion): η βαθμιαία και με ομοιόμορφο τρόπο αποκόλληση εδαφικών υλικών υπό την επίδραση της επιφανειακής απορροής
- Αυλακωτή (Rill Erosion): η δημιουργία -υπό την επίδραση της επιφανειακής απορροής- μικρών, σχετικά αβαθών –βάθους μέχρι 1,0 m– αυλακιών στην επιφάνεια του εδάφους κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης, τα οποία είναι δυνατό να εξαλειφθούν με την πάροδο του χρόνου η με ανθρωπογενείς δραστηριότητες (καλλιέργεια, άροση)
- Χαραδρωτική (Gully Erosion): η δημιουργία μεγάλων, σχετικά βαθιών χαραδρών -βάθους >1,0 m- κατά τη βασική διεύθυνση υδατικής ροής. Το βάθος της κυμαίνεται συνήθως από 5~15 m, ενώ σπανιότερα φτάνει τα 30 m

Η εδαφική διάβρωση αρκετές φορές συγχέεται ή προσδιορίζεται με τον όρο εδαφική απώλεια (Soil Loss $S_L \sim A_s$). Η εδαφική απώλεια αποτελεί το πρώτο μέρος της διεργασίας της διάβρωσης, αυτό δηλαδή της αποκόλλησης των εδαφικών υλικών, που προηγείται της μετέπειτα μεταφοράς και απόθεσής τους. Εκφράζεται σε όρους μάζας εδαφικών υλικών στη μονάδα του χρόνου ανηγμένη στη μονάδα επιφάνειας της ανάντη λεκάνη απορροής (μάζα / χρόνος / επιφάνεια) Τα περισσότερα μοντέλα εδαφικής διάβρωσης εκτιμούν σε πρώτο επίπεδο ποσότητες εδαφικής απώλειας και μετέπειτα –ενδεχομένως- ποσότητες μεταφοράς ή απόθεσης φερτών υλικών.

Η μεταφορά των εδαφικών -πλέον φερτών- υλικών περιγράφεται με τον όρο στερεομεταφορά και συντελείται από τους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Έννοιες σχετικές με τη στερεομεταφορά είναι οι παρακάτω (Ζαρρής κ.α., 2001):

Η *στερεοαπορροή* (Sediment Yield - S_Y), είναι το φυσικό μέγεθος που μπορεί να εκφράσει και τις τρεις διαδικασίες της εδαφικής διάβρωσης (εδαφική απώλεια, μεταφορά και απόθεση). Εκφράζει τη συνολική μάζα των φερτών υλικών που παροχετεύονται από μια διατομή ενός υδατορεύματος στη μονάδα του χρόνου ανηγμένη στη μονάδα επιφάνειας της ανάντη λεκάνη απορροής (μάζα / χρόνος / επιφάνεια).

Η *στερεοπαροχή* (Sediment Discharge – Q_s), ακολούθως εκφράζει τη συνολική μάζα των φερτών υλικών που παροχετεύονται από μια διατομή ενός υδατορεύματος στη μονάδα του χρόνου χωρίς αναφορά στη λεκάνη απορροής (μάζα / χρόνος).

Ο *συντελεστής στερεοαπορροής* (Sediment Delivery Ratio – SDR) είναι ο λόγος της στερεοαπορροής προς την εδαφική απώλεια και εκφράζει το ποσοστό των φερτών υλικών που αποκολλήθηκαν από το έδαφος και τα οποία μεταφέρθηκαν μέσω της επιφανειακής απορροής μέχρι την υπόψη θέση του υδατορεύματος. Έμμεσα ο αριθμός αυτός εκτιμά και την απόθεση, λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό των φερτών υλικών τα οποία αποτέθηκαν είτε στην επιφάνεια της ανάντη λεκάνης απορροής, είτε στις βάσεις των κλιτύων, είτε στην κοίτη και στις όχθες του υδρογραφικού δικτύου πριν μεταφερθεί στην υπόψη διατομή. Ο SDR αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση μέσω ετήσιων ποσοτήτων στερεοαπορροής, ενώ δε συμβαίνει το ίδιο για την εκτίμηση της στερεοαπορροής σε περιπτώσεις μεμονωμένων πλημμυρικών επεισοδίων που η διαδικασία της στερεομεταφοράς παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα.

Τα φερτά υλικά μπορούν να διακριθούν βάσει των παρακάτω (Ζαρρής κ.α., 2001):

(a) Τρόπος μεταφοράς:

- (i) Φορτίο σε αιώρηση (suspended load): τα στερεά υλικά μεταφέρονται με την τύρβη χωρίς καμία επαφή με την κοίτη για μεγάλο χρονικό διάστημα
- (ii) Φορτίο σε σύρση (bed load): τα στερεά υλικά μεταφέρονται σχεδόν σε απόλυτη επαφή με την κοίτη

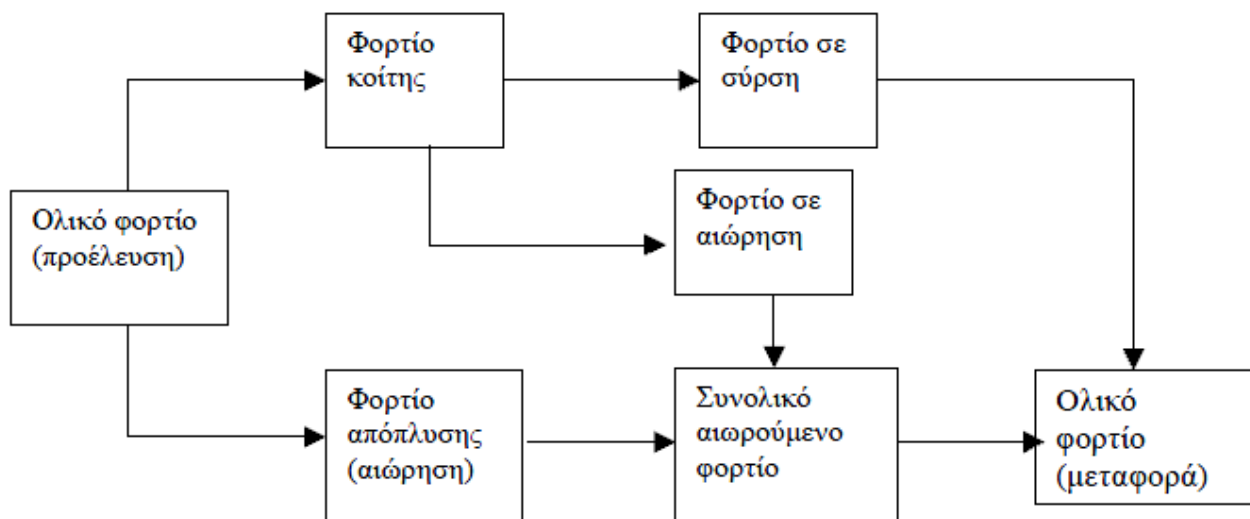
Η διάκριση αυτή δεν μπορεί να είναι απολύτως διακριτή καθώς φερτά υλικά του ίδιου μεγέθους και της ίδιας ορυκτολογικής σύστασης μπορεί να μεταφερθούν είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση ανάλογα με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της περιβάλλουσας ροής (π.χ. ταχύτητα ροής, τύρβη). Χονδροειδώς

μπορεί να θεωρηθεί ότι ως φερτά υλικά σε σύρση είναι εκείνα με μέγεθος άνω των 0,85 mm, διάκριση που βασίζεται στο κριτήριο που αναφέρει ότι η ταχύτητα καθίζησης γίνεται ίση με τη συρτική ταχύτητα (Vanoni, 1975).

(b) Προέλευση:

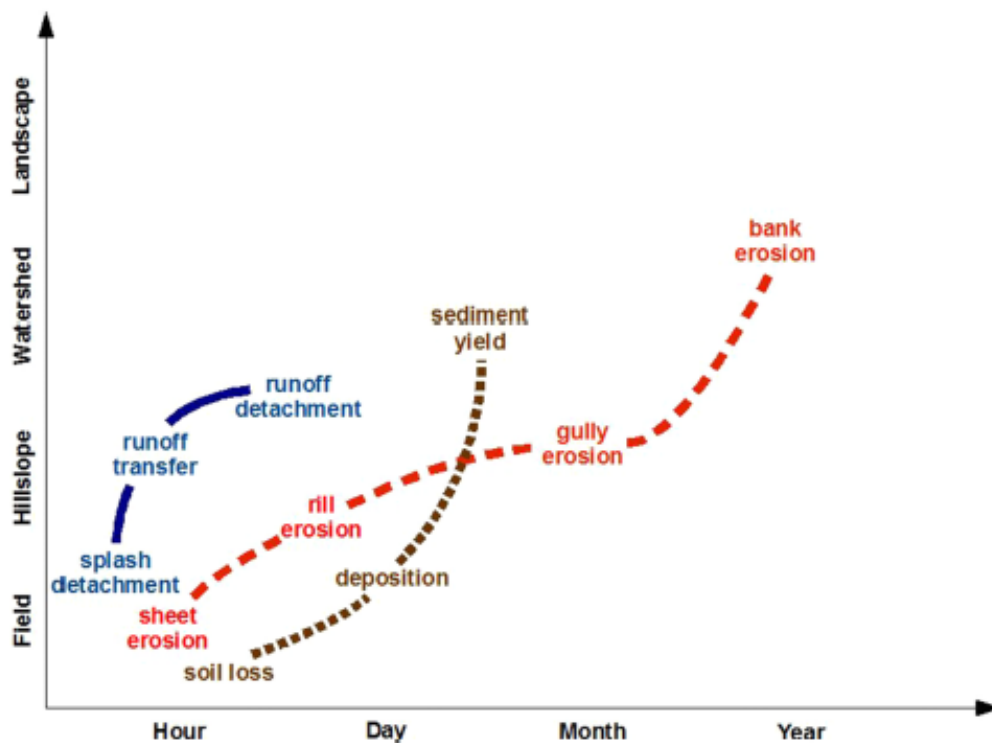
- (i) Φορτίο κοίτης (bed material load): μπορεί να είναι είτε σε αιώρηση είτε σε σύρση και αναφέρεται σε φερτά υλικά που βρίσκονται ήδη στις κοίτες του υδρογραφικού δικτύου αποτελώντας τη μοναδική πηγή φερτών υλικών σε ξηρές περιόδους
- (ii) Φορτίο απόπλυσης (wash load): παράγεται μόνο κατά τη διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων, προερχόμενο 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 στις Μεσογειακές χώρες αποτελεί το συντριπτικό ποσοστό της συνολικής στερεοαπορροής της λεκάνης και συνήθως μεταφέρεται κατά τη διάρκεια λίγων έντονων πλημμυρικών επεισοδίων το χρόνο

Η σχηματική παρουσίαση των μορφών στερεομεταφοράς ως προς τις παραπάνω διακρίσεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1: Μορφές στερεομεταφοράς ως προς την προέλευση και τον τρόπο μεταφοράς (Ζαρής κ.α., 2001)

Η χωρική και χρονική κλίμακα διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της διάβρωσης, στις μορφές που αυτή λαμβάνει αλλά και τις παραμέτρους που την επικαθορίζουν. Στην παρακάτω Εικόνα 2.2, συμπυκνώνονται τα σκέλη της διεργασίας της διάβρωσης (μπλε γραμμή), οι μορφές που λαμβάνει (κόκκινη γραμμή) και οι χαρακτηριστικές καταστάσεις εξέλιξης του φαινομένου (καφέ γραμμή) όπως εκτυλίσσονται ενδεικτικά σε χρονική και χωρική κλίμακα.



Εικόνα 2.2: Διεργασία της διάβρωσης (μπλε γραμμή), μορφές που λαμβάνει (κόκκινη γραμμή) χαρακτηριστικές καταστάσεις εξέλιξης (καφέ γραμμή) σε χώρο-χρονική κλίμακα (Karydas *et al.*, 2012)

2.2 Αποθέσεις ταμιευτήρων

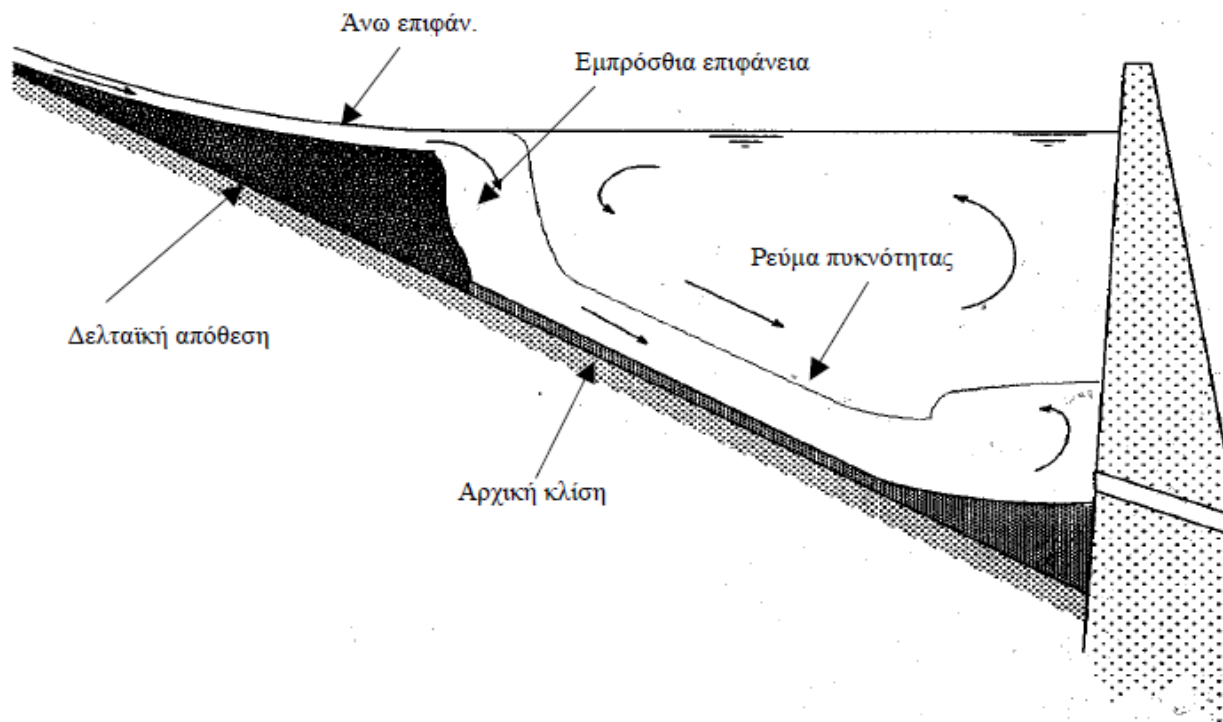
Οι τελικές αποθέσεις των φερτών υλικών μπορεί να πραγματοποιηθούν, ανάλογα με τις συνθήκες, είτε σε φυσικούς αποδέκτες -δέλτα ποταμών, θάλασσες ή λίμνες- είτε σε τεχνητούς αποδέκτες – ταμιευτήρες. Η τελευταία περίπτωση, αυτή των αποθέσεων σε ταμιευτήρες παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αλλά και εν γένει από υδρολογική και υδραυλική σκοπιά.

Το ζήτημα της όσο το δυνατόν εγκυρότερης εκτίμησης των αποθέσεων σε ένα ταμιευτήρα, συντελεί στην αποφυγή υπερ αλλά και υποεκτιμήσεων στη διαστασιολόγηση του νεκρού όγκου και του συνολικού σχεδιασμού του έργου. Η επιλογή του νεκρού όγκου και της αντίστοιχης στάθμης, επικαθορίζει τη στάθμη υδροληψίας, που με τη σειρά της προσδιορίζει το δυναμικό παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας σε φράγματα υδροηλεκτρικού σκοπού ή/και τα υδατικά αποθέματα σε φράγματα ύδρευσης/άρδευσης.

Συνήθως, οι εκτιμήσεις αποθέσεων και νεκρού όγκου παρουσιάζονται υπερεκτιμημένες με συνέπεια την ασύμφορη αύξηση των τεχνικοοικονομικών μεγεθών των έργων. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις σημαντικής υποεκτίμησης, με χαρακτηριστικό για τα ελληνικά δεδομένα το παράδειγμα του φράγματος Λούρου στον ομώνυμο ποταμό της Ηπείρου, όπου οι στερεοπαροχές είχαν υποεκτιμηθεί σημαντικά με συνέπεια ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα ($0,37 \text{ hm}^3$) να καλυφθεί από τις προσχώσεις μέσα σε λίγα χρόνια.

Ως προς την κατανομή των αποθέσεων, οι αρχικές εκτιμήσεις των ερευνητών κατά την πρώιμη εποχή του σχεδιασμού και κατασκευής των ταμιευτήρων ήταν ότι το σύνολο των φερτών υλικών μεταφέρονταν έως τη θέση του φράγματος και το σύνολο των αποθέσεων εμφανίζονταν εκεί. Έπειτα από τη διενέργεια υδρογραφικών αποτυπώσεων σε αρκετούς ταμιευτήρες (κυρίως στις ΗΠΑ και τη Ν. Αφρική) είναι πλέον κοινή η πεποίθηση ότι η αρχική αυτή εκτίμηση είναι λανθασμένη. Αυτό που έχει αποδειχθεί είναι ότι οι αποθέσεις εμφανίζονται σε όλη την επιφάνεια του ταμιευτήρα, δημιουργούνται αρχικά στις εκβολές των ποταμών, οδηγώντας βαθμιαία σε μείωση της αποθηκευτικότητας του ταμιευτήρα σε όλη του την έκταση. Το συμπέρασμα αυτό ουσιαστικά αλλάζει τη λογική σχεδιασμού ενός ταμιευτήρα καθώς πλέον είναι γνωστό ότι ο νεκρός όγκος δεν συγκεντρώνεται κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο αλλά σε ολόκληρο τον ταμιευτήρα (Ζαρρής κ.α., 2001). Η παραπάνω θεώρηση κατανομής των αποθέσεων παρουσιάζεται από την Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Αποθέσεις φερτών υλικών σε ταμιευτήρες (Ζαρρής κ.α.,2001)

Κοκκομετρικά, στη συνήθη διάταξη των φερτών υλικών εντός του ταμιευτήρα, τα λεπτόκοκκα υλικά μεταφέρονται με ρεύματα πυκνότητας σε περιοχές πλησίον της θέσης του φράγματος, ενώ τα χονδρόκοκκα παραμένουν πλησίον των εκβολών του υδρογραφικού δικτύου στον ταμιευτήρα, χωρίς φυσικά και αυτή η διαφοροποίηση να είναι απολύτως διακριτή.

2.3 Εκτιμήσεις εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής

Η εκτίμηση των ποσοτήτων στερεοαπορροής αποτελεί ένα ιδιαίτερα απαιτητικό και πολυσύνθετο πρόβλημα, καθώς πέρα από το στοχαστικό χαρακτήρα της διεργασίας της διάβρωσης, παρουσιάζονται αυξημένες δυσκολίες στον αξιόπιστο προσδιορισμό των συγκεντρώσεων φερτών υλικών σε αιώρηση και κυρίως σε σύρση.

Η μέτρηση της στερεοπαροχής είναι αρκετά τυποποιημένη όσον αφορά τα φορτία σε αιώρηση, περιλαμβάνοντας τη λήψη δειγμάτων από το ποτάμι και τον εργαστηριακό προσδιορισμό της περιεκτικότητας τους σε αιωρούμενα φερτά, ενώ τα τελευταία χρόνια διατίθενται και αισθητήρες για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Αντίθετα, η μέτρηση του φορτίου σε σύρση, όπου τα στερεά υλικά μεταφέρονται σχεδόν σε απόλυτη επαφή με την κοίτη, είναι αρκετά πιο δύσκολη. Στη διεθνή βιβλιογραφία και πρακτική υπάρχουν διάφορες κατασκευές για την αποκαλούμενη “παγίδευση” των συρόμενων φερτών και ζύγισης τους. Η διαδικασία είναι πέρα από ακριβή και χρονοβόρα δεδομένου

ότι ο ρυθμός στερεοπαροχής των συρόμενων εξαρτάται σημαντικά από την πραγματοποίηση ιδιαίτερα ισχυρών πλημμυρικών επεισοδίων και την προηγούμενη κατάσταση της λεκάνης.

Οι δύο βασικές κατηγορίες μεθόδων για την εκτίμηση της διάβρωσης και της στερεοαπορροής είναι οι εμπειρικές (επαγωγικές) συσχετίσεις (και τα αντίστοιχα μοντέλα) και τα προσδιοριστικά/εννοιολογικά μοντέλα, που και αυτά βέβαια -σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό- περιέχουν και μια βάση εμπειρικών συσχετίσεων που υποβοήθησε στην ανάπτυξή τους.

Παρακάτω, αναπτύσσονται ενότητες για τους δύο τύπους μοντέλων, μεταξύ των οποίων σημειώνεται πως δε μπορεί πάντα να τεθεί ένας σαφής διαχωρισμός. Παρουσιάζεται επίσης και μία μετρητικού τύπου λύση, η μέτρηση αποθέσεων σε ταμιευτήρες, που θεωρείται από τις πλέον ενδεδειγμένες επιλογές για την εκτίμηση ποσοτήτων διάβρωσης και στερεομεταφοράς. Παρά τα συγκριτικά της πλεονεκτήματα, δε χρήζει διευρυμένης εφαρμογής εξ αιτίας της χαμηλής ιεράρχησης που καταλαμβάνει η εκτίμηση της διάβρωσης στη διαχείριση φυσικών πόρων αλλά και των υψηλών τεχνικοοικονομικών απαιτήσεων.

2.3.1 Εμπειρικά μοντέλα

Με τον όρο εμπειρικά μοντέλα στερεοαπορροής μπορούν να χαρακτηριστούν οι άμεσες συσχετίσεις της στερεοαπορροής με άλλα φυσικά μεγέθη ή χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Οι εμπειρικές συσχετίσεις προκύπτουν από κατάλληλα δεδομένα μετρήσεων και τις περισσότερες φορές χαρακτηρίζονται από έντονη τοπικότητα και όχι σημαντική αξιοπιστία. Μπορούν όμως να χρησιμοποιούνται, σε περιπτώσεις αδυναμίας προσδιορισμού της στερεοαπορροής με ακριβέστερες και ακριβότερες τεχνικοοικονομικά λύσεις και με την προϋπόθεση εγγύτητας των συνθηκών (κλιματολογικών, υδρολογικών, γεωλογικών κτλ.) μεταξύ της περιοχής αναφοράς των σχέσεων και της υπό εξέταση περιοχής. Το σημαντικό πλεονέκτημα των εμπειρικών σχέσεων και μοντέλων είναι η εξαιρετική απλότητα και η ευκολία στη χρήση.

Βασικός τύπος εμπειρικού (επαγωγικού) μοντέλου στερεοαπορροής είναι οι καμπύλες παροχής - στερεοπαροχής (sediment discharge rating curves), που καταρτίζονται από ταυτόχρονες μετρήσεις της παροχής και της στερεοπαροχής σε μια συγκεκριμένη διατομή ενός υδατορεύματος.

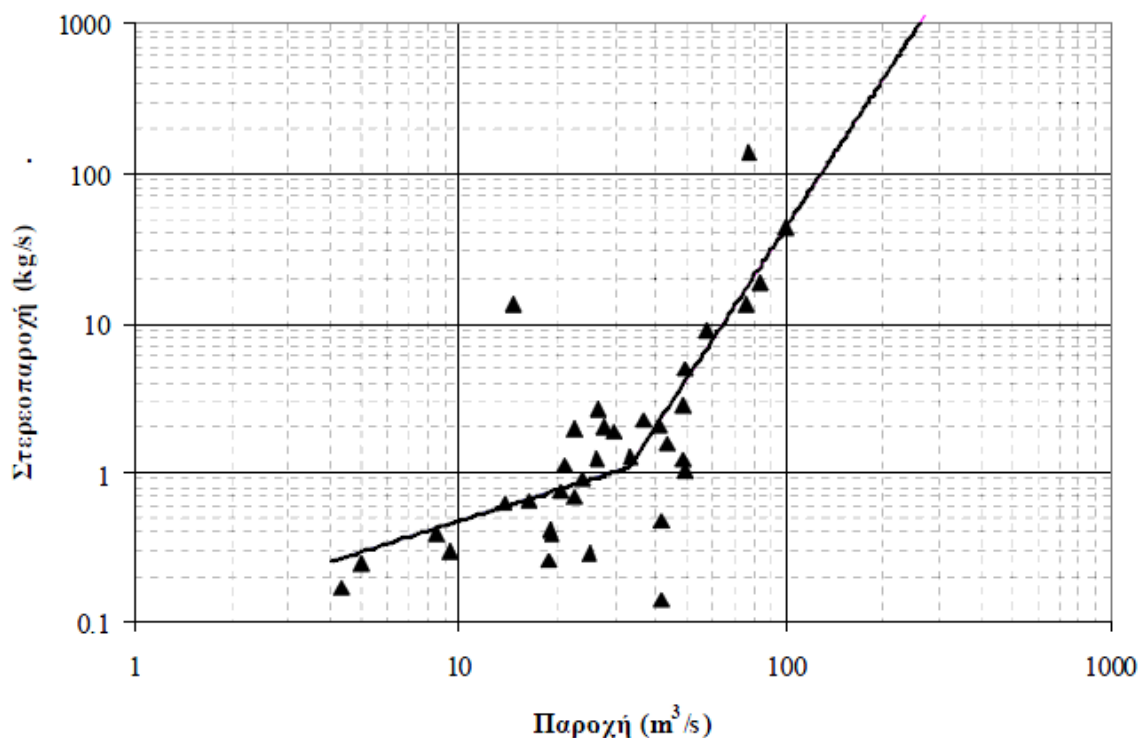
Η συσχέτιση των μεγεθών παροχής~στερεοπαροχής παρουσιάζει -λόγω της πολυπλοκότητας των διεργασιών- αυξημένη μεταβλητότητα οδηγώντας σε μειωμένη αξιοπιστία των εκτιμήσεων στερεοαπορροής. Η μεταβλητότητα είναι τέτοια που μπορεί να εμφανιστούν περιπτώσεις που σε μία τιμή παροχής αντιστοιχούν τιμές στερεοπαροχής δύο και τρεις τάξης μεγέθους διαφορετικές.

Η τυπική μορφή έκφρασης των καμπυλών παροχής – στερεοπαροχής είναι μια εξίσωσης δύναμης της παρακάτω μορφής:

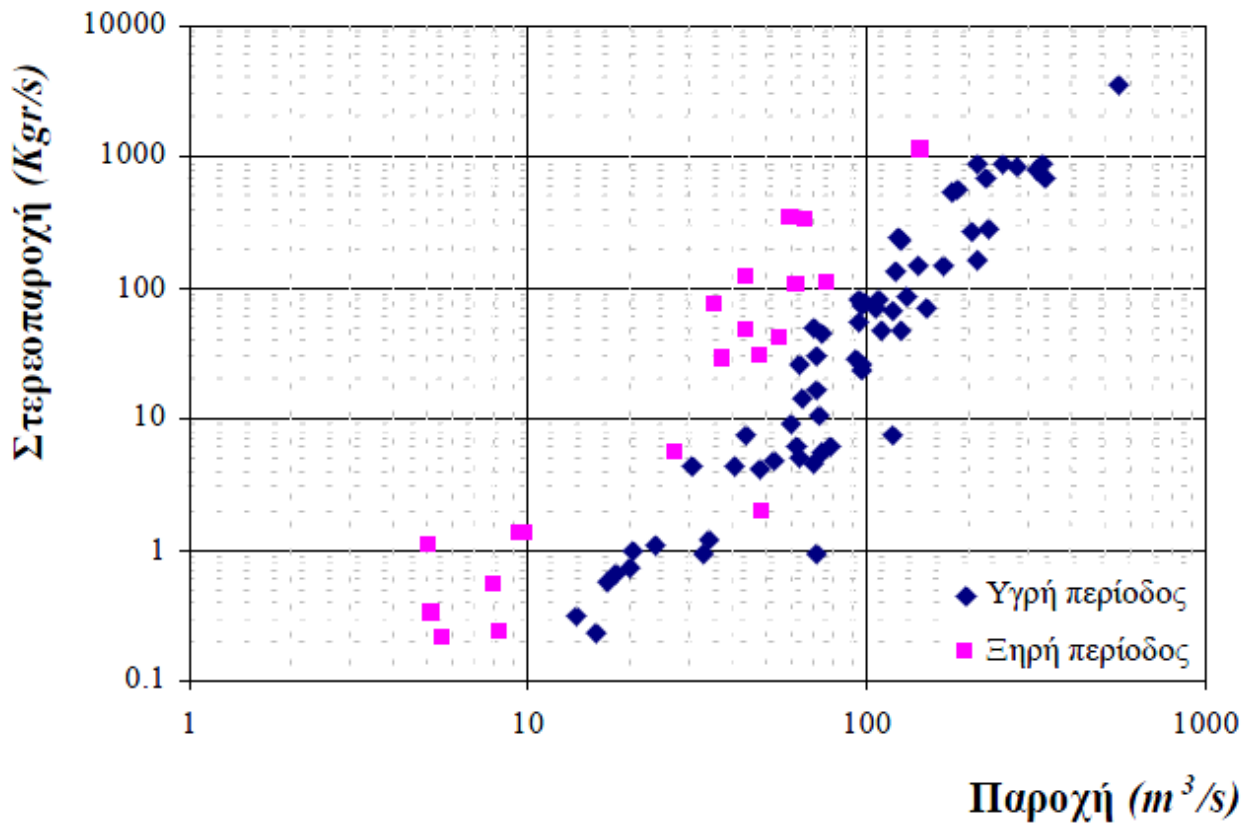
$$Q_s = a \cdot Q^b \quad [2.1]$$

Όπου a και b παράμετροι συσχέτισης.

Μια χαρακτηριστική καμπύλη παροχής – στερεοπαροχής παρουσιάζεται από την Εικόνα 2.4, όπου εμφανίζεται και η μέθοδος της τεθλασμένης παλινδρόμησης ως προσπάθεια βελτιωμένης προσέγγισης των φυσικών διαδικασιών της στερεομεταφοράς και εκτίμησης της στερεομεταφοράς (Koutsoyiannis, 2000, Zarris and Koutsoyiannis, 2005). Χαρακτηριστικό γνώρισμα που εξάγεται για τη στερεοαπορροή είναι η σαφής εποχική διακύμανση μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου -Εικόνα 2.5-, με τα μεγέθη στερεομεταφοράς να εμφανίζονται αυξημένα κατά τις ξηρές περιόδους με αιτία τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα φερτών υλικών και τον ενδεχομένως περισσότερο ραγδαίο χαρακτήρα των βροχοπτώσεων/καταιγίδων. Τα παραπάνω καταδεικνύουν την πολυεπίπεδη επίδραση που ασκούν μια σειρά από παράγοντες στη διεργασία της διάβρωσης, η οποία μεταβάλλεται σε χρονική και χωρική κλίμακα.



Εικόνα 2.4: Καμπύλη παροχής – στερεοπαροχής με χρήση τεθλασμένης παλινδρόμησης στη θέση Πόρος Ρηγανίου του π. Εύηνου (Ζαρρής, 2008)



Εικόνα 2.5: Χαρακτηριστική διαφοροποίηση μεταξύ ξηρής και υγρής περιόδου, δεδομένα στερεοϋδρομετρήσεων ποταμού Αλιάκμονα –θέση Μ.Ιλαρίωνα (Ζαρρής κ.α.,2001)

Μπορεί οι καμπύλες παροχής – στερεοπαροχής να εμφανίζουν μέτρια αξιοπιστία εκτίμησης στερεοαπορροής όμως δεν παύουν να αποτελούν σημαντικό εργαλείο εκτίμησης των διαδικασιών στερεομεταφοράς καθώς βασίζονται σε πρωτογενείς μετρήσεις και όχι απλά σε παραδοχές όπως άλλες περιπτώσεις μοντέλων. Ένα συστηματικό δίκτυο στερεοϋδρομετρήσεων στα κυριότερα υδατορεύματα της χώρας ή και στο σύνολο των ταμιευτήρων θα αποτελούσε την πρώτη ύλη για τη δημιουργία βάσεων δεδομένων στερεομεταφοράς και την εξαγωγή περιοχικών και προοπτικά πανεθνικής εμβέλειας σχέσεων εκτίμησης της στερεοαπορροής. Αντί αυτού του σεναρίου, επικρατεί πλήρης απουσία μετρήσεων στερεομεταφοράς, μετά και το σταμάτημα των όποιων συντελούνταν από τη ΔΕΗ μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 με σκοπό το σχεδιασμό των μεγάλων φραγμάτων αξιοποίησης του υδατικού δυναμικού της χώρας.

Παρόμοιας λογικής με τη συσχέτιση $Q-Q_s$, έχουν επιχειρηθεί συσχετίσεις για την εκτίμηση της στερεοαπορροής και με άλλους παράγοντες, υδρολογικούς (βροχόπτωση, απορροή) ή και γεωλογικούς – γεωμορφολογικούς. Μια τέτοια περίπτωση για τα ελληνικά δεδομένα είναι η σχέση

των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1987) που συσχετίζει τη στερεοαπορροή με τη γεωλογία και τη βροχόπτωση και αναλύεται περαιτέρω στην ενότητα 3.3.2.

Τη λογική αυτή ακολούθησαν και οι Dendy and Bolton (1976), συσχετίζοντας την ετήσια στερεοαπορροή με την αντίστοιχη απορροή και την επιφάνεια της λεκάνης απορροής με δεδομένα αποθέσεων φερτών υλικών από 800 λεκάνες κατανεμημένες σε όλη την επικράτεια των ΗΠΑ. Η έκταση των λεκανών απορροής κυμαίνεται από $2,9 \sim 7,1 \times 10^4 \text{ km}^2$, η μέση ετήσια απορροή από $2,1 \sim 33,0 \text{ cm}$ και η μέση ετήσια στερεοαπορροή από $56 \sim 695 \text{ t/km}^2$. Με συσχέτιση των παραπάνω μεγεθών προέκυψε η διπλή εξίσωση (Ζαρρής κ.α., 2001) [$r^2 \sim 0,75$]:

$$S_Y = 1965 \cdot Q^{0.46} (1.43 - 0.11 \log A) \quad Q \leq 5 \text{ cm} \quad [2.2]$$

$$S_Y = 1958 \cdot e^{-0.14Q} (1.43 - 0.11 \log A) \quad Q > 5 \text{ cm} \quad [2.3]$$

Και ακόμα μια συσχέτιση, αυτή τη φορά μόνο με την επιφάνεια απορροής [$r^2 \sim 0,68$]:

$$S_Y = 674 \cdot A^{-0.16} \quad [2.4]$$

Όπου

S_Y : μέση ετήσια στερεοαπορροή (t/km^2)

Q : μέση ετήσια απορροή (cm)

A : έκταση λεκάνης απορροής (km^2)

Τα μοντέλα εδαφικής διάβρωσης μπορούν μεταξύ των άλλων δυνατοτήτων που προσφέρουν, να αξιοποιηθούν και για την εκτίμηση των ποσοτήτων στερεοαπορροής. Λόγω της ενασχόλησής τους με την ευρεία διεργασία της διάβρωσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του εδάφους, και στην προώθηση της επιστημονικής κατανόησης των φυσικών διαδικασιών (Ποτουρίδης κ.α., 2012). Τα μοντέλα πρόβλεψης της διάβρωσης χρησιμοποιούνται για τις εργασίες της καταγραφής και της αξιολόγησης καθώς και για την παρακολούθηση των χρονικών μεταβολών στα ποσοστά διάβρωσης σε μεγάλες περιοχές. Ολοένα και περισσότερο τα μοντέλα χρησιμοποιούνται κάθε φορά που το κόστος ή ο χρόνος που χρειάζεται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων της διάβρωσης του εδάφους είναι απαγορευτικός.

Το πιο διαδεδομένο από τα μοντέλα εδαφικής διάβρωσης είναι η USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier and Smith, 1965). Το μοντέλο, που εκτιμά εδαφική απώλεια, αναπτύχθηκε αξιοποιώντας μεγάλη βάση δεδομένων διάβρωσης στις ΗΠΑ, βασιζόμενο και σε εμπειρικές συσχετίσεις για την εκτίμηση των διαφόρων παραγόντων. Με την πάροδο των δεκαετιών και τις αναθεωρήσεις ή

τροποποιήσεις που επιχειρήθηκαν –MUSLE και RUSLE-, η μέθοδος απέκτησε περισσότερα χαρακτηριστικά προσδιοριστικού μοντέλου. Σημαντικό πλεονέκτημα του μοντέλου είναι η ευκολία στη χρήση και η μεγάλη εφαρμογή που απολαμβάνει παγκοσμίως, ενώ στα μειονεκτήματα περιλαμβάνεται η αδυναμία εκτίμησης ποσοτήτων απόθεσης και στερεοαπορροής.

Βασισμένο σε δεδομένα από λεκάνες απορροής των Βαλκανίων, το μοντέλο Gavrilovic (Gavrilovic, 1988) είναι ένα παραμετρικό εμπειρικό μοντέλο και χρησιμοποιείται για την ετήσια πρόβλεψη των ποσοστών εδαφολογικής διάβρωσης και της παραγωγής ιζημάτων σε μεγάλη κλίμακα. Η μέθοδος αναπτύχθηκε για την προστασία από τη διάβρωση, κυρίως στη δασική διαχείριση και τον έλεγχο των ρευμάτων.

2.3.2 Προσδιοριστικά μοντέλα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα πιο διαδεδομένα προσδιοριστικά μοντέλα εδαφικής διάβρωσης.

Το μοντέλο CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) (Foster *et al.*, 1981) είναι ένα κατ' αρχήν μοντέλο μεταφοράς ρύπων αλλά και πρόβλεψης της βροχόπτωσης, της διάβρωσης και της χημικής μεταφοράς από τα γεωγραφικά συστήματα διαχείρισης. Έχει εφαρμογή σε περιοχές μεγέθους αγροτεμαχίου. Το CREAMS μπορεί να λειτουργήσει σε μεμονωμένες πλημμύρες αλλά και να προβλέψει μακράς διάρκειας μέσους όρους (2-50 έτη). Το μοντέλο εκτιμά την απορροή, τη διήθηση, τη διάβρωση, τα διαλυμένα και προσροφημένα θρεπτικά στοιχεία των φυτών και τις ποσότητες φυτοφαρμάκων. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για μια μεμονωμένη χρήση γης, με σχετικά ομογενή εδάφη, σε περιοχές με χωρικά ομοιόμορφη βροχόπτωση και για μεμονωμένες πρακτικές διαχείρισης, όπως η συντηρητική καλλιέργεια ή για επίπεδα υψώματα γης (Ποτουρίδης *κ.α.*, 2012). Απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων γεγονός που αποθαρρύνει την επιλογή του ιδιαίτερα σε μεγάλη χωρική κλίμακα –επιπέδου λεκάνης απορροής.

Το μοντέλο WEPP (Water Erosion Prediction Project) (Lane and Nearing 1989) αναπτύχθηκε από την USDA-ARS ως αντικαταστάτης των εμπειριστωμένων τεχνολογιών πρόβλεψης της διάβρωσης. Το μοντέλο προσομοιώνει πολλές από τις φυσικές διεργασίες που είναι σημαντικές στη διάβρωση του εδάφους, συμπεριλαμβανομένης της διήθησης, της απορροής, της βροχόπτωσης και της απόσπασης της ροής, της μεταφοράς ιζημάτων, της απόθεσης, της ανάπτυξης των φυτών και της αποσύνθεσης των υπολειμμάτων. Το μοντέλο WEPP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κοινές εφαρμογές σε πλαγιές λόφων και για μικρές λεκάνες. Η νέα έκδοση βασίζεται στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών

(Ποτουρίδης κ.α., 2012). Απαιτεί μεγάλο όγκο δεδομένων –καθώς λειτουργεί σε συνεχή χρόνο-γεγονός που αποθαρρύνει την επιλογή του ενώ ταυτόχρονα υπολογίζει τη στερεοαπορροή σε μικρές κλιτύες (μήκους έως 100 m) και επομένως η σχηματοποίηση μιας σύνθετης λεκάνης απορροής γίνεται μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία. Άλλο μειονέκτημα του μοντέλου αποτελεί το γεγονός ότι η διόδευση της πλημμυρικής απορροής γίνεται με την απλή κινηματική μέθοδο και την ισοδύναμη παραδοχή της ομοιόμορφης ροής, η οποία δεν ισχύει κυρίως σε λεκάνες απορροής με μεσογειακά χαρακτηριστικά. Σε αυτές τις λεκάνες οι πλημμυρικές απορροές ιδιαίτερα μεγάλης έντασης αποκλίνουν σημαντικά από την παραδοχή της κινηματικής μεθόδου διόδευσης της απορροής (Ζαρρής κ.α., 2001).

Το EUROSEM (European Soil Erosion Model) (Morgan *et al.*, 1998) αποτελεί κατανεμημένο μοντέλο σε βάση πλημμυρικού γεγονότος. Βασίζεται στην υδρολογική πλατφόρμα του μοντέλου KINEROS της USDA (Woolhiser *et al.*, 1990) που επιλύει αριθμητικά την εξίσωση διατήρησης μάζας στο μοναδιαίο όγκο με την υπόθεση του κινηματικού πλημμυρικού κύματος (kinematic wave assumption method). Το συνδυασμένο μοντέλο προσομοιώνει την εδαφική διάβρωση από την επίδραση της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής σε μικρές λεκάνες απορροής και χρονικό βήμα 1 min. Όντας χωρικά κατανεμημένο μοντέλο, η εξεταζόμενη λεκάνη απορροής χωρίζεται σε μικρότερα ομοιογενή ως προς την τοπογραφία, την εδαφική σύσταση ή τη φυτοκάλυψη τμήματα. Το μοντέλο επομένως υπολογίζει την απορροή και το φορτίο των φερτών υλικών που παράγονται σε ένα τμήμα και μετά γίνεται η υδρολογική διόδυσή τους κατάντη (Ζαρρής κ.α., 2001). Θεωρείται αρκετά απαιτητικό μοντέλο αναφορικά με τα πρωτογενή του δεδομένα, που δε δίνει πάντα ικανοποιητικά αποτελέσματα (Κουράκλη, 2010).

Επισημαίνεται πως η χρήση προσδιοριστικών ή εννοιολογικών προσεγγίσεων για την εκτίμηση των μεγεθών διάβρωσης είναι πολύ επισφαλής, εφόσον δεν ελέγχεται από μετρήσεις. Η εκτίμηση των συντελεστών εμπειρικών μεθόδων μιας περιοχής ή η ρύθμιση των παραμέτρων ενός κατανεμημένου εννοιολογικού μοντέλου απαιτεί τη χρήση έστω και σποραδικών μετρήσεων για την απόκτηση ενός ορισμένου επιπέδου αξιοπιστίας.

2.3.3 Μετρήσεις συνολικού όγκου και αποθέσεων φερτών υλικών σε ταμειυτήρες

Η εκτίμηση του συνολικού όγκου των αποθέσεων φερτών υλικών σε ταμειυτήρες προκύπτει από την υδρογραφική αποτύπωση του πυθμένα και τη σύγκρισή του με τα αρχικά επίπεδα του αναγλύφου πριν την πλήρωση του ταμειυτήρα ή με την προηγούμενη υδρογραφική αποτύπωση. Η πυκνότητα των αποθέσεων των φερτών υλικών χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του συνολικού όγκου που

προκύπτει από την υδρογραφική αποτύπωση σε ισοδύναμη μάζα. Η πυκνότητα των αποθέσεων – όπως αναφέρεται και στο υποκεφάλαιο 3.4- κυμαίνεται σε ένα μεγάλο εύρος τιμών και εξαρτάται από τη σύσταση των φερτών υλικών, την ηλικία των αποθέσεων και κυρίως τον τρόπο λειτουργίας του ταμιευτήρα (Ζαρρής κ.α., 2001). Οι μετρήσεις πυκνότητας μπορούν να γίνουν με τη λήψη δειγμάτων των αποθέσεων (πυρηνοληψία) από τις χονδρόκοκκες αποθέσεις που απαντώνται στις εκβολές του υδρογραφικού συστήματος αλλά και από τις λεπτόκοκκες αποθέσεις, στο εσωτερικό τμήμα της τεχνητής λίμνης.

Η γνώση του όγκου των αποθέσεων χαρακτηρίζεται πολλαπλά χρήσιμη, καθώς πέρα από τις άμεσες θετικές επιπτώσεις που έχει στην διαχείριση των αποθέσεων, αποτελεί σημαντική παράμετρο αξιολόγησης των εκτιμήσεων στερεοαπορροής και διαστασιολόγησης του νεκρού όγκου, ενώ παράλληλα αξιοποιείται ως οδηγός για την επαλήθευση των εκτιμήσεων εδαφικής διάβρωσης.

Οι κυριότερες προϋποθέσεις για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου στην εκτίμηση της στερεοαπορροής είναι οι εξής (Ζαρρής κ.α., 2001):

- (a) Ο ταμιευτήρας πρέπει να έχει μεγάλη ικανότητα κατακράτησης που να προσεγγίζει το 100% (δηλαδή το ποσοστό των φερτών που αποτίθενται στον ταμιευτήρα και παραμένουν σε αυτό σε σχέση με τη συνολική εισρέουσα μάζα φερτών στον ταμιευτήρα). Αυτό σημαίνει ότι η έκταση του ταμιευτήρα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να μην διαφεύγουν φερτά υλικά είτε από την υδροληψία, είτε από τον υπερχειλιστή του φράγματος, τα οποία δεν μπορούν να μετρηθούν
- (b) Πρέπει να είναι διαθέσιμες τεχνικές για τη χρονολόγηση των δειγμάτων των φερτών υλικών (πυρήνες) που λαμβάνονται από τα στρώματα των αποθέσεων
- (c) Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι δυνατή η συσχέτιση των δειγμάτων που λαμβάνονται σε διάφορες θέσεις σε όλη την έκταση του ταμιευτήρα ώστε να μπορεί να γίνει εκτίμηση των σύγχρονων στρωμάτων των αποθέσεων
- (d) Πρέπει να είναι δυνατός ο διαχωρισμός των αυτόχθονων αποθέσεων του ταμιευτήρα, δηλαδή των αποθέσεων που προέρχονται από τη διάβρωση των οχθών ή της βιολογικής παραγωγής για παράδειγμα, και των αλλόχθονων αποθέσεων που προέρχονται από τη διάβρωση της ανάντη λεκάνης απορροής.

Η συστηματική υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρων σε συνδυασμό με την εξάπλωση του δικτύου στερεοϋδρομετρήσεων αποτελούν τους δύο πυλώνες πάνω στους οποίους μπορούν να βασιστούν η αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης για την εδαφική διάβρωση και η βελτίωση των εκτιμήσεων εδαφικής απώλειας και στερεομεταφοράς.

3. Επιλογή μεθόδων και εργαλείων

Οι μέθοδοι και τα εργαλεία που επιλέχθηκαν, σύμφωνα με τις ανάγκες της έρευνας και τις τεχνικοοικονομικά διαθέσιμες δυνατότητες είναι: για την εκτίμηση εδαφικής απώλειας οι μέθοδοι RUSLE και Gavrilovic, για τη στερεοαπορροή σχέσεις συσχέτισης με την έκταση της λεκάνης απορροής και για την εκτίμηση των αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα η μεθοδολογία των Lara and Pemberton (1963). Επιπλέον, η μέθοδος RUSLE εφαρμόζεται και σε περιβάλλον arcGIS για την εξαγωγή ορθότερων εκτιμήσεων της χωρικά κατανεμημένης εδαφικής απώλειας και διάβρωσης.

3.1 Μέθοδος RUSLE

Η μέθοδος RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation (Renard *et al.*, 1997) αποτελεί την αναθεωρημένη έκδοση της USLE - Universal Soil Loss Equation (Wischmeier and Smith, 1978). Μαζί με τη MUSLE – Modified Universal Soil Loss Equation, που αποτελεί διάβρωσης σε επίπεδο πλημμυρικού επεισοδίου και για την εκτίμηση της εδαφικής απώλειας χρησιμοποιούνται όροι απορροής και όχι βροχής (όπως στις άλλες δύο), αποτελούν την “οικογένεια” των USLE μοντέλων.

Η RUSLE είναι εμπειρικό μοντέλο εκτίμησης της εδαφικής απώλειας που προκαλείται από επιφανειακή (sheet) και αυλακωτή (rill) διάβρωση. Ανήκει στην κατηγορία των μοντέλων εδαφικής διάβρωσης αποτελώντας το πιο διαδεδομένο του είδους παγκοσμίως. Η μέθοδος και οι αναθεωρήσεις της έχουν προκύψει ως επιστέγασμα δεκαετιών ερευνητικής ανάπτυξης από ερευνητές, πανεπιστήμια αλλά και αρμόδιες για τη γεωργία και τη διαχείριση εδαφικών και υδατικών πόρων υπηρεσιών στις ΗΠΑ.

Η USLE ως ολοκληρωμένο τεχνολογικό εργαλείο για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά το 1965 (Wischmeier and Smith, 1965) στο εγχειρίδιο 282 του υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ, ενώ η αναθεώρησή της (Wischmeier and Smith, 1978) περιγράφεται στο εγχειρίδιο 537. Η RUSLE ως πλήρως μηχανογραφημένη έκδοση δημοσιεύτηκε αρχικά το 1991 (Renard *et al.*, 1991) και περιέχεται στο εγχειρίδιο 703 (Renard *et al.*, 1997). Η τελευταία έκδοση της, γνωστή ως RUSLE2 (USDA-ARS-NRCS, 2002), αποτελεί ένα εργαλείο λογισμικού, ελεύθερα προσβάσιμο από το διαδίκτυο με τις κατάλληλες υποστηρικτικές βάσεις δεδομένων για την επικράτεια των ΗΠΑ.

Η μέθοδος βασίζεται στην παρακάτω πολλαπλασιαστική σχέση:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad [3.1]$$

Όπου:

A: χωρικά και χρονικά (συνήθως ετήσια) μέση εδαφική απώλεια ($t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$)

R: συντελεστής διαβρωτικότητας βροχόπτωσης ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Rainfall Erosivity factor)

K: συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους ($t \text{ h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) (Soil Erodibility factor)

L: συντελεστής μήκους κλίσης (-) (Slope Length factor)

S: συντελεστής βαθμού κλίσης (-) (Slope Steepness factor)

C: συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης (-) (Cover Management factor)

P: συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης (-) (Support Practice factor)

Αναφορικά με τις μονάδες της παραπάνω σχέσης, η μέση εδαφική απώλεια λαμβάνει τις μονάδες που επιλέγονται για το συντελεστή διαβρωσιμότητας *K* και για το χρονικό διάστημα που επιλέγεται για το συντελεστή διαβρωτικότητας *R*.

Η USLE αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης πολυετούς χρονικής κλίμακας σε συγκεκριμένες εδαφικές κλίσεις και για συγκεκριμένες χρήσεις γης και διαχειριστικές πρακτικές (καλλιέργειες, βοσκότοποι). Σύμφωνα με το θεμελιωτή της (Wischmeier, 1976), η μέθοδος δημιουργήθηκε για να καθοδηγεί την επιλογή διαχειριστικών πρακτικών σε καθορισμένες εκτάσεις, για την εκτίμηση της ενδεχόμενης μείωσης της εδαφικής απώλειας σε περίπτωση υιοθέτησης μιας διαχειριστικής πρακτικής, τον καθορισμό της αποδεκτής έντασης καλλιεργειών για εναλλακτικά διαχειριστικά μέτρα και τέλος τον προσδιορισμό των μέγιστων αποδεκτών μηκών κλίσεως πλαγιάς για δοσμένο τύπο καλλιέργειας και διαχειριστικής πρακτικής. Ταυτόχρονα, η USLE δε συνίσταται για χρήση σε περιοχές όπου οι συντελεστές της εξίσωσης δε μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν, σε λεκάνες απορροής με σύνθετες (φυσικές και ανθρωπογενείς) χρήσεις γης (με προσαρμογές όπως η επιλογή μέσων τιμών για μεγέθη όπως τα μήκη κλίσης πλαγιάς) και για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης από επιμέρους επεισόδια βροχόπτωσης.

Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω παράθεση, αρχικά η USLE αναπτύχθηκε αποκλειστικά και μόνο για εκτίμηση της εδαφικής απώλειας σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Με την πάροδο όμως των δεκαετιών, αφενός με την αναθεώρηση και βελτίωση της μεθόδου μέσω της RUSLE που περιλαμβάνει αναθεωρημένους τύπους για τη διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης, τιμές και για άλλες, πλέον της

καλλιεργήσιμης, χρήσεις γης (Renard and Freimund, 1994), και βελτιωμένες σχέσεις για συνθετότερες και πιο απότομες εδαφικές κλίσεις (Van Remortel *et al.*, 2001), και αφετέρου με την εφαρμογή από μια σειρά ερευνητές του μοντέλου σε επίπεδο λεκάνης απορροής και όχι αγρού σε μεγάλη ποικιλία κλιμάτων και περιοχών ανά την υφήλιο, η αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα της μεθόδου μπορεί πλέον να θεωρηθεί άκρως ικανοποιητική για χρήση της σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Βασική βέβαια προϋπόθεση της σωστής χρήσης, είναι, όπως σε κάθε εφαρμογή μοντέλου, η σωστή κρίση του μελετητή και η εξοικείωση με τη φυσική διαδικασία και τη μέθοδο που αυτή μελετάται, με τις κατάλληλες προσαρμογές και επιλογές παραμέτρων.

Στα πλεονεκτήματα της USLE σε σχέση με άλλα μοντέλα διάβρωσης περιλαμβάνονται η ευκολία στη χρήση και η ταχύτητα στην εφαρμογή, τόσο λόγω της βασικής και απλής δομής που ακολουθεί και συνάμα της μεγάλης δυνατότητας βιβλιογραφικών αναφορών.

Από την άλλη, το αδύναμο σημείο του μοντέλου είναι η αδυναμία σύνδεσης της εδαφικής διάβρωσης/απώλειας με τη στερεοαπορροή. Η λειτουργία της USLE συνίσταται στην εξαγωγή αποτελεσμάτων εδαφικής διάβρωσης, με τους υπολογισμούς να περιορίζονται στην εκτίμηση εδαφικής απώλειας (στις περιοχές που ενυπάρχει η δυνατότητα παραγωγής φερτών υλικών), μην περιλαμβάνοντας την επίδραση και τον καθορισμό των περιοχών απόθεσης, και τον προσδιορισμό του κλάσματος της διάβρωσης που μετατρέπεται σε στερεοαπορροή στη φυσική αλυσίδα διάβρωση-μεταφορά-εναπόθεση-απορροή.

Συμπυκνώνοντας τα συν και τα πλην, η USLE πλεονεκτεί στην ευκολία χρήσης και εφαρμογής και μειονεκτεί όντας αποκλειστικά μοντέλο διάβρωσης και όχι διάβρωσης και στερεοαπορροής.

Το πρόβλημα μεγενθύνεται όταν η USLE/RUSLE χρησιμοποιείται ως εργαλείο υδρολογικής και όχι εδαφολογικής ή γεωργικής διαχείρισης. Στις περιπτώσεις αυτές, η μέθοδος εφαρμόζεται σε επίπεδο λεκάνης απορροής, όπου το ενδιαφέρον δεν περιορίζεται στην εκτίμηση της παραγωγής εδαφικής διάβρωσης συγκεκριμένων περιοχών και χρήσεων γης, αλλά επεκτείνεται στον προσδιορισμό της ποσότητας φερτών υλικών που τελικά θα μεταφερθεί μέσω του υδρογραφικού δικτύου εκτός της λεκάνης αναφοράς, δηλαδή της στερεοαπορροής.

Για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος και της συσχέτισης της εδαφικής διάβρωσης με τη στερεοαπορροή, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής – συνήθως αναφέρεται ως συντελεστής στερεοαπορροής *SDR* (Sediment Delivery Ratio), που πολλαπλασιάζεται με την εκτιμημένη ποσότητα εδαφικής διάβρωσης για να προκύψει η ποσότητα φερτών υλικών που απορρέει. Η έρευνα γύρω από το συντελεστή στερεοαπορροής ξεκινά ήδη από τη δεκαετία του 1960 και οι πιο συνήθεις συσχετίσεις

για τον προσδιορισμό του είναι είτε με την έκταση της λεκάνης απορροής είτε με γεωμορφολογικά/φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης ή/και του υδρογραφικού δικτύου. Εκτενέστερη αναφορά στο SDR γίνεται στο υποκεφάλαιο 3.3.

3.1.1 Συντελεστής διαβρωτικότητας βροχόπτωσης – R

Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης θεωρείται πως έχει τη σημαντικότερη επίδραση στο ενδεχόμενο ανάπτυξης εδαφικής διάβρωσης (Renard and Freimund, 1994). Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R (Rainfall Erosivity factor) ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), στηρίζεται στην ανάλυση των εγχειριδίων των USLE και RUSLE, όπως αυτή περιγράφεται από τους Wischmeier and Smith (1978) και Renard *et al.* (1997).

Για τον υπολογισμό όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων και αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων είναι επιθυμητή η ύπαρξη πολυετών (> 20 ετών) αναλυτικών δεδομένων βροχογράφου. Ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής αποτελεί ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο και ευμετάβλητο μέγεθος, σε ετήσια, εποχική και μηνιαία βάση, ακόμα και στο επίπεδο των επιμέρους επεισοδίων βροχής.

Ο συντελεστής διαβρωτικότητας R, εν προκειμένω ο μέσος ετήσιος, προκύπτει ως το άθροισμα των συντελεστών διαβρωτικότητας των επιμέρους επεισοδίων βροχής κατά τη διάρκεια του έτους. Οι τιμές διαβρωτικότητας προκύπτουν από τον υπολογισμό του δείκτη διαβρωτικότητας $E_{I_{30}}$ για κάθε επεισόδιο, όπου ο όρος E (MJ ha^{-1}) αντιπροσωπεύει την ενέργεια του επεισοδίου βροχής και I_{30} (mm h^{-1}) είναι η μέγιστη ένταση μισάωρου.

Αναλυτικός υπολογισμός συντελεστή R

Για τον αναλυτικό υπολογισμό του R επιλέχθηκε η σειρά των σχέσεων όπως αυτές περιγράφονται από τους Renard and Freimund (1994), όπου:

Ο μέσος ετήσιος συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχής R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$) προκύπτει:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^m (E)_k (I_{30})_k \right]_j \quad [3.2]$$

Όπου:

n: έτη μετρήσεων

j: δείκτης αριθμού ετών μετρήσεων

m: επεισόδια βροχής

k : δείκτης αριθμού επεισοδίων βροχής

E : συνολική κινητική ενέργεια βροχής (MJ ha^{-1})

I_{30} : μέγιστη ένταση μισάωρου (mm h^{-1})

Για τον υπολογισμό της συνολικής κινητικής ενέργειας και κατ' επέκταση του δείκτη διαβρωτικότητας EI_{30} κάθε επεισοδίου βροχής χρησιμοποιείται η σχέση:

$$E = \sum_{r=1}^m e_r \Delta V_r \quad [3.3]$$

Όπου:

m : επιμέρους διάστημα επεισοδίου βροχής με σταθερή βροχόπτωση

r : δείκτης επιμέρους διαστήματος

e_r : ειδική κινητική ενέργεια επιμέρους διαστήματος επεισοδίου βροχής ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$)

ΔV_r : ύψος βροχής επιμέρους διαστήματος (mm)

Η ειδική κινητική ενέργεια της βροχής κάθε επιμέρους διαστήματος σταθερής έντασης προκύπτει από τη σχέση:

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r)] \quad [3.4]$$

Όπου:

i_r : ένταση βροχής επιμέρους διαστήματος (mm h^{-1})

Εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού συντελεστή R

Η σχέση [3.4] χρησιμοποιείται για τον αναλυτικό υπολογισμό του R στη RUSLE (Renard *et al.*, 1997) αντικαθιστώντας αντίστοιχες που είχαν προταθεί τόσο από την USLE (Wischmeier and Smith, 1978) όσο και από την αναθεώρησή της από τους Brown and Foster (1987). Αποτελεί βελτιωμένη εκδοχή των αντίστοιχων παλαιότερων καθώς βασίζεται σε περισσότερα δεδομένα και εμφανίζει καλύτερη ανταπόκριση σε χαμηλές εντάσεις βροχής.

Όσα περιγράφονται παραπάνω αποτελούν τη διαδρομή σχέσεων για τον αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή των σχέσεων [3.2]-[3.4] είναι η ύπαρξη επαρκών και αξιόπιστων δεδομένων βροχής, που σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι διαθέσιμα. Για την αντιμετώπιση αυτών των δυσκολιών έχουν αναπτυχθεί μια σειρά

εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση του R, συσχετίζοντας τον είτε με τη μέση ετήσια βροχόπτωση είτε με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται σε όλες τις μέχρι σήμερα προσπάθειες για έμμεσο προσδιορισμό του R στην περίπτωση απουσίας αναλυτικών δεδομένων συμπυκνώνεται στα παρακάτω τέσσερα βήματα (Renard and Freimund, 1994):

- (a) Υπολογίζονται τιμές R σύμφωνα με τις παραπάνω αναλυτικές σχέσεις για σταθμούς με διαθέσιμα βροχογραφικά δεδομένα πλησίον ή στον ευρύτερο χώρο της περιοχής μελέτης.
- (b) Κατασκευάζεται μια σχέση συσχέτισης του R με συνήθως διαθέσιμες τιμές βροχόπτωσης, όπως η μέσης μηνιαία ή ετήσια βροχόπτωση ή και ο τροποποιημένος δείκτης Fournier.
- (c) Από την εξαγόμενη σχέση μπορούν να εκτιμηθούν τιμές R για τους σταθμούς της υπό μελέτη περιοχής.
- (d) Η σχέση μπορεί να αποτυπωθεί και γραφικά με το σχεδιασμό ισοτιμικών καμπυλών ίσου R. Έτσι είναι δυνατό για κάθε σημείο εντός της περιοχής μελέτης να προσδιοριστεί το R με γραμμική παρεμβολή.

Η συσχέτιση του συντελεστή διαβρωτικότητας με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier συνήθως καταλήγει σε πιο ορθές εκτιμήσεις από ότι αντίστοιχες σχέσεις με τιμές μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, καθώς με τη χρήση του MFI λαμβάνεται υπόψη η εποχική διακύμανση της βροχής και η εν γένει αυξητική επίδραση που έχει στο συντελεστή διαβρωτικότητας.

Θεμελιωτής της συσχέτισης μεταξύ R και τροποποιημένου δείκτη Fournier θεωρείται ο Arnoldus (1977), ο οποίος στο πλαίσιο ερευνών του στο Μαρόκο και με χρήση τιμών R από 14 σταθμούς της Δυτικής Αφρικής αλλά και 164 των ΗΠΑ, συμπέρανε φτωχή συσχέτιση ($r^2 \sim 0.55$) μεταξύ του R και του δείκτη Fournier (1960) – p^2 / P όπου p η μέση βροχόπτωση του μήνα με τη μέγιστη βροχόπτωση και P η μέση ετήσια βροχόπτωση. Τροποποιώντας όμως το δείκτη Fournier, πλέον η συσχέτιση R-MFI (Modified Fournier Index) αυξήθηκε σημαντικά ($r^2 \sim 0.83$) (Renard and Freimund, 1994). Παρατηρήθηκε επίσης μια γραμμική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή διαβρωτικότητας και του MFI. Ο τροποποιημένος δείκτης Fournier προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{P} \quad [3.5]$$

Όπου:

p_i : μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm)

P: μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)

Η σχέση εκτίμησης του *R* που εξήγαγε ο Arnoldus (1977) στην έρευνα για την παραγωγή ισοδιαβρωτικού χάρτη του Μαρόκο είναι:

$$R = 0.264 \cdot MFI^{1.50} \quad [3.6]$$

Όπου το *R* εκτιμάται σε MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Βασιζόμενοι στην ίδια λογική, οι Renard and Freimund (1994) έπειτα από επεξεργασία δεδομένων από 132 σταθμούς των ΗΠΑ κατέληξαν στις παρακάτω σχέσεις μεταξύ *R* και *MFI* – $r^2 \sim 0,81$ και 0,75 αντίστοιχα:

$$R = 0.07397 \cdot MFI^{1.847} \quad MFI \leq 55 \text{ mm} \quad [3.7]$$

$$R = 95,77 - 6,081 \cdot MFI + 0,477 \cdot MFI^2 \quad MFI > 55 \text{ mm} \quad [3.8]$$

Όπου το *R* εκτιμάται σε MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Οι σχέσεις [3.7] και [3.8] προέκυψαν από μεγάλο εύρος και ποικιλία βροχομετρικών δεδομένων με τιμές μέσης ετήσιας βροχόπτωσης από 67~1.640 mm, τιμές *MFI* από 7~150 mm, διαβρωτικότητας *R* από 85~11.000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Πιο πρόσφατη έρευνα των Ferro *et al.* (1999) σχετικά με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier, αναγνωρίζει μεν την καλή συσχέτιση μεταξύ *MFI* – *R* και το γεγονός πως ο *MFI* λαμβάνει υπόψη την εποχική διακύμανση, αναδεικνύει όμως επίσης, με χρήση δεδομένων μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και *MFI* από διάφορες περιοχές της Ευρώπης, πως ο τροποποιημένος δείκτης Fournier ενδέχεται να εμφανίζει γραμμική συσχέτιση με τη μέση ετήσια βροχόπτωση.

Η γραμμική συσχέτιση γίνεται πιο ισχυρή όσο πιο ομοιογενές παρουσιάζεται το ετήσιο καθεστώς βροχοπτώσεων, όσο δηλαδή η ετήσια βροχόπτωση ισοκατανέμεται στις αντίστοιχες μηνιαίες τιμές. Περιοχές που παρουσιάζουν σχετικά ισοκατανεμημένο καθεστώς βροχοπτώσεων εντοπίζονται σε τροπικές κλιματικές συνθήκες αλλά και, στο επίπεδο της Ευρωπαϊκής ηπείρου, περιοχές της κεντρικής “ηπειρωτικής” Ευρώπης.

Αντίθετα, σε περιοχές όπως οι Μεσογειακές, με ως επί το πλείστον ανομοιογενές καθεστώς βροχοπτώσεων, δεν υπάρχει κίνδυνος γραμμικής συσχέτισης μεταξύ *MFI* και μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, καθώς η εποχική διακύμανση είναι σαφής. Το πρόβλημα που μπορεί να ανακύψει σε αυτή την περίπτωση είναι ορισμένες ακραίες εποχικές τιμές του δείκτη Fournier να αυξήσουν υπερβολικά τις ετήσιες τιμές, οδηγώντας έτσι σε υπερεκτιμήσεις τιμών ετήσιας διαβρωτικότητας.

Στην προσπάθεια αντιμετώπισης του παραπάνω διττού προβλήματος, οι Ferro *et al.* (1991) εισήγαγαν την έννοια του υπερετήσιου τροποποιημένου συντελεστή Fournier - F_F , του μέσου δηλαδή MFI για ένα σύνολο N ετών. Μέσω του F_F είναι δυνατό να αντιμετωπιστούν τόσο προβλήματα γραμμικής συσχέτισης MFI και μέσης ετήσιας βροχόπτωσης, όσο και περιπτώσεις εξομάλυνσης ακραίων εποχικών διακυμάνσεων. Ο υπερετήσιος τροποποιημένος δείκτης Fournier F_F προκύπτει:

$$F_F = \sum_{j=1}^N \frac{F_{a,j}}{N} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{12} \frac{p_{i,j}^2}{P_j} \quad [3.9]$$

Όπου:

$F_{a,j}$: ετήσιος τροποποιημένος δείκτης Fournier

N : αριθμός ετών

$p_{i,j}$: μηνιαία βροχόπτωση i μήνα, j έτους

P_j : ετήσια βροχόπτωση j έτους

Ο F_F χρησιμοποιείται, όπως και ο MFI σε σχέσεις για την εκτίμηση του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχής αλλά μόνο σε υπερετήσια βάση και όχι σε ετήσια ή/και εποχική. Μπορεί έτσι να χρησιμεύσει σε μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις του συντελεστή διαβρωτικότητας, αλλά και να τεθεί σε σύγκριση με υπερετήσιες μέσες τιμές R που προκύπτουν από άλλες σχέσεις εκτίμησης εποχικών/ετήσιων τιμών διαβρωτικότητας. Μια τέτοια σχέση για την εκτίμηση του R στη Σικελία και τη νότια Ιταλία είναι η παρακάτω (Ferro *et al.*, 1999) – $r \sim 0.63$:

$$R = 0.5249 \cdot F_F^{1.59} \quad [3.10]$$

Όπου το R εκτιμάται σε $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Στο πεδίο των εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R από τη μέση ετήσια βροχόπτωση, οι Renard and Freimund (1994), με το ίδιο εύρος δεδομένων όπως των σχέσεων [3.7]-[3.8] εξήγαγαν τις παρακάτω σχέσεις – $r^2 \sim 0,81$ και $0,73$ αντίστοιχα :

$$R = 0.04830 \cdot P^{1.610} \quad P \leq 850 \text{ mm} \quad [3.11]$$

$$R = 587.8 - 1.219 \cdot P + 0.004105 \cdot P^2 \quad P > 850 \text{ mm} \quad [3.12]$$

Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, στην περιοχή της Βαυαρίας εξήχθη η σχέση (Rogler and Schwertmann, 1981):

$$R = 10 \cdot (-1.48 + 1.48 \cdot N_s) \quad [3.13]$$

Όπου το R σε $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ και N_s το αθροιστικό ύψος βροχόπτωσης (mm) κατά τους μήνες Μάιο~Οκτώβριο.

Για την περιοχή της Τοσκάνης προέκυψε η παρακάτω σχέση (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b):

$$R = a \cdot P_j \quad [3.14]$$

Όπου το R σε

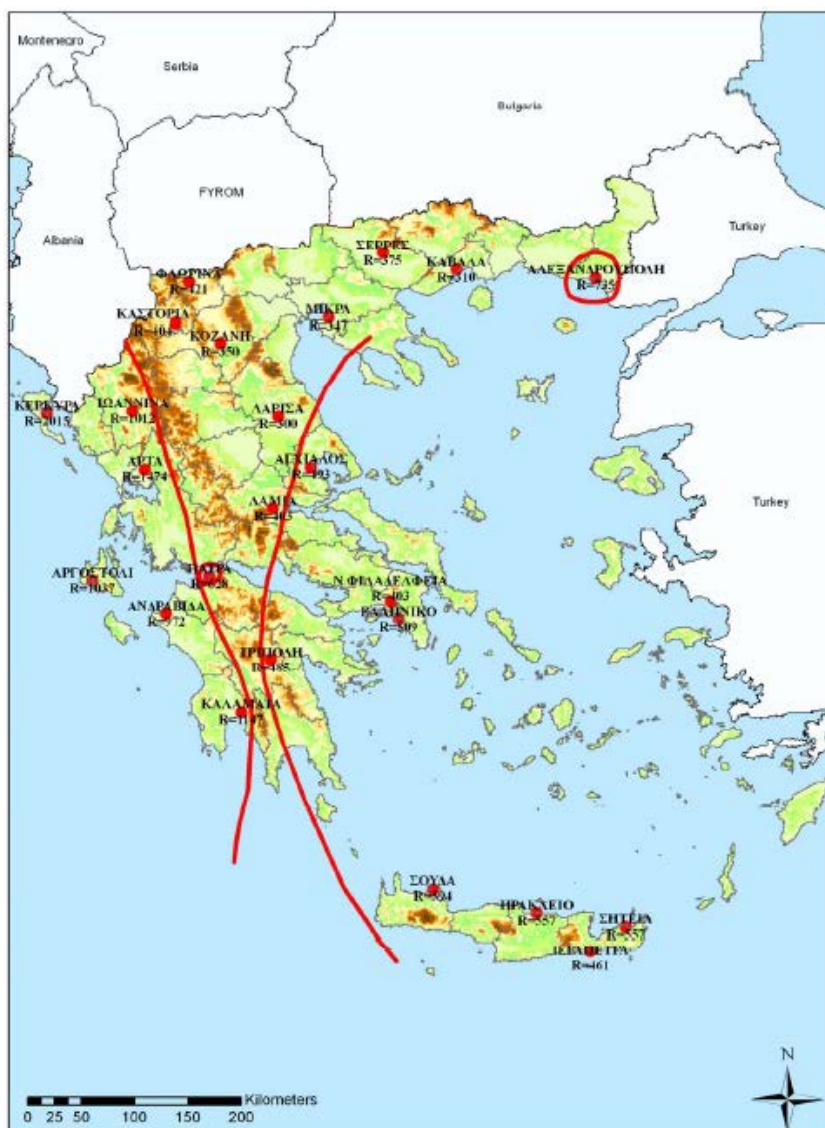
P_j : μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)

a : συντελεστής με εύρος τιμών 1,1~1,5 και συνήθη τιμή το 1,3

Η σχέση [3.14] προέκυψε από δεδομένα 25 σταθμών με εύρος μέσης ετήσιας βροχόπτωσης 600~1200 mm.

Όπως προκύπτει από την καταγωγή τους, οι σχέσεις [3.13] και [3.14] μπορούν να εφαρμόζονται σε περιοχές της βόρειας και της νότιας Ευρώπης αντίστοιχα, καθώς μεταξύ των δύο αυτών μεγάλων ζωνών υπάρχει ένας σαφής διαχωρισμός σε κλιματικά χαρακτηριστικά και καθεστώς βροχοπτώσεων.

Στον ελληνικό χώρο, ο Φλαμπούρης (2008) ακολουθώντας λογική παρόμοια με αυτή της σχέσης [3.14], επεξεργάστηκε συσχετίσεις μεταξύ της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης και του συντελεστή διαβρωτικότητας R για διάφορους σταθμούς ανά την Ελλάδα. Από την επεξεργασία προέκυψε ιστομικός χάρτης R –Εικόνα 3.1 και εμπειρικές σχέσεις $R \sim P$ κατά την [3.14] για διάφορες περιοχές της χώρας.



Εικόνα 3.1: Ισοτιμικός χάρτης R ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$) (Φλαμπούρης, 2008)

Μια ακόμα σχέση για την περιοχή της Ιταλίας είναι η παρακάτω (Torri *et al.*, 2006):

$$R = 3.08 \cdot P - 944 \quad [3.15]$$

Όπου το R σε $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ και P η μέση ετήσια βροχόπτωση (mm).

Προσπαθώντας να συμπεριλάβει με πιο ολοκληρωμένο τρόπο το ανομοιογενές καθεστώς βροχοπτώσεων της Μεσογειακής λεκάνης στην εκτίμηση του R, με τις ισχυρές και σύντομες καταιγίδες να χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαβρωτικότητα και κατ' επέκταση σημαντική διάβρωση, ο Diodato (2004), με δεδομένα σταθμών από την κεντρική και νότια Ιταλία, πρότεινε την παρακάτω σχέση:

$$R = 12.142 \cdot (a \cdot b \cdot c)^{0.6446} \quad [3.16]$$

Όπου το R σε $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$ και:

a: μέση ετήσια βροχόπτωση (cm)

b: ετήσια μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση (cm)

c: ετήσια μέγιστη ωριαία βροχόπτωση (cm)

Η εφαρμογή οποιασδήποτε από τις παραπάνω εμπειρικές σχέσεις θα πρέπει πάντα να γίνεται με κάθε επιφύλαξη και προσοχή, από τη στιγμή που η διαφορετικότητα των καθεστώτων βροχής από περιοχή σε περιοχή και κατ' επέκταση οι ειδικές συνθήκες που οδηγούν στην παραγωγή διάβρωσης και φερτών υλικών δεν επιτρέπει την εύκολη ομαδοποίηση περιοχών με όμοια χαρακτηριστικά διάβρωσης.

Η επιλογή της καταλληλότερης -από τις διαθέσιμες στη βιβλιογραφία- σχέσης για την εκτίμηση του *R*, εξαρτάται από τρεις κυρίως παράγοντες:

- την εγγύτητα της περιοχής μελέτης με την περιοχή εξαγωγής της εμπειρικής σχέσης
- την ενότητα κλιματικών χαρακτηριστικών και καθεστώτος βροχοπτώσεων
- τα διαθέσιμα βροχομετρικά δεδομένα

3.1.2 Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους – *K*

Σύμφωνα με τα εγχειρίδια των USLE και RUSLE, ο συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους *K* (Soil Erodibility factor) ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$) προσδιορίζεται μέσω νομογραφημάτων όπως αυτό της Εικόνας 3.2, ή, στην περίπτωση εδαφών με περιεκτικότητα σε άργιλο <70%, μέσω της παρακάτω σχέσης (Wischmeier and Smith, 1978). Οι τιμές που προκύπτουν για το *K* τόσο από το νομογράφημα όσο και από τη σχέση [3.17] είναι σε Αμερικανικές μονάδες και για μετατροπή σε μονάδες του SI διαιρούνται με τον όρο 7,59.

$$K = \frac{[2.1 \cdot 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)]}{100} \quad [3.17]$$

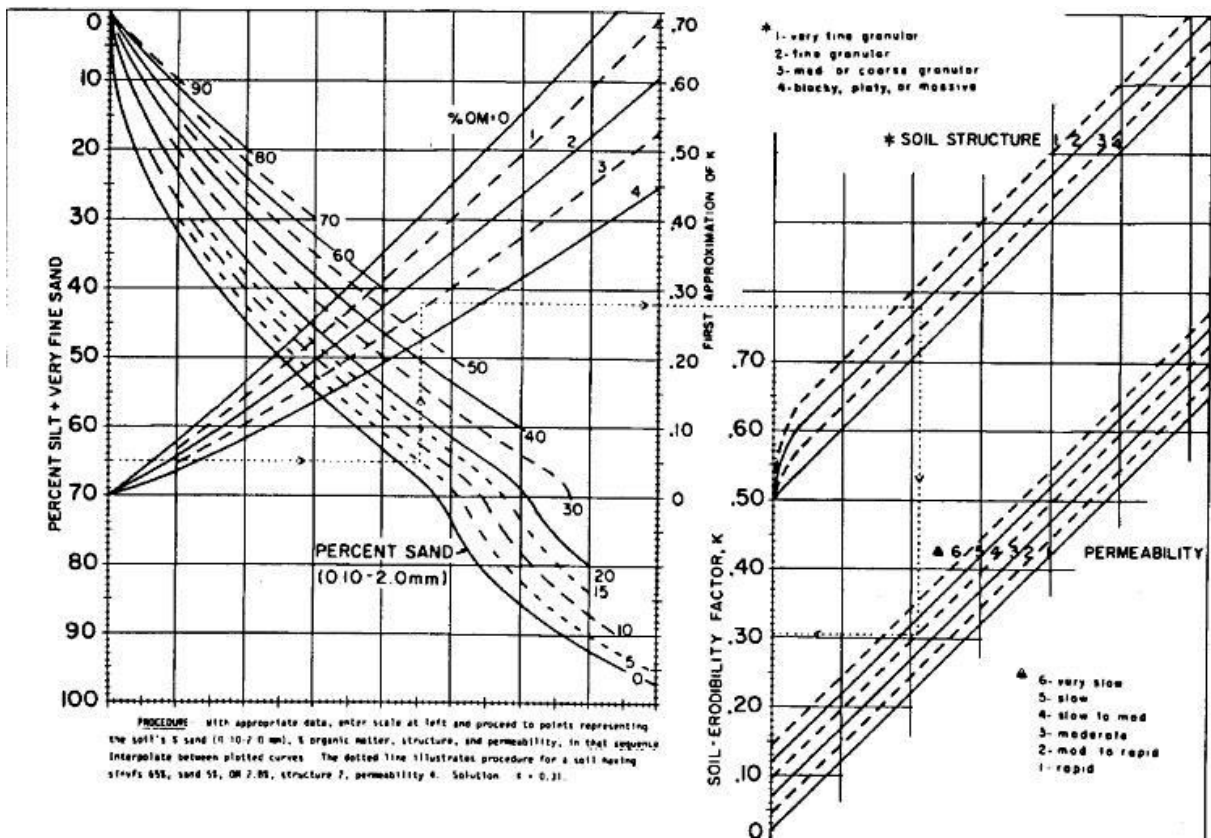
Όπου:

OM: οργανική ουσία (%)

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

s: εδαφική δομή

p: διαπερατότητα εδάφους



Εικόνα 3.2: Νομογράφημα υπολογισμού του συντελεστή εδαφικής διαβρωσιμότητας K

Μεταγενέστερη έρευνα σε παγκόσμιο επίπεδο και όχι μόνο στις ΗΠΑ, κατέληξε στην παρακάτω σχέση (Römkens *et al.*, 1986), η οποία μπορεί να καλύψει αρτιότερο τρόπο την ποικιλία εδαφικών και γεωλογικών εμφανίσεων της Ευρωπαϊκής αλλά και των άλλων ηπείρων (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b):

$$K = 0.0034 + 0.0405 \cdot \exp \left[-0.5 \left(\frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right)^2 \right] \quad [3.18]$$

Όπου D_g είναι η μέση διάσταση των σωματιδίων του επιφανεικού εδαφικού στρώματος και προσδιορίζεται μέσω της σχέσης:

$$D_g = \exp \left(\sum f_i \cdot \ln \left(\frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right) \right) \quad [3.19]$$

Όπου για κάθε κατηγορία σωματιδίων (άργιλο, ιλύ, άμμο):

d_i : μέγιστη διάσταση σωματιδίου(mm)

d_{i-1} : ελάχιστη διάσταση σωματιδίου (mm)

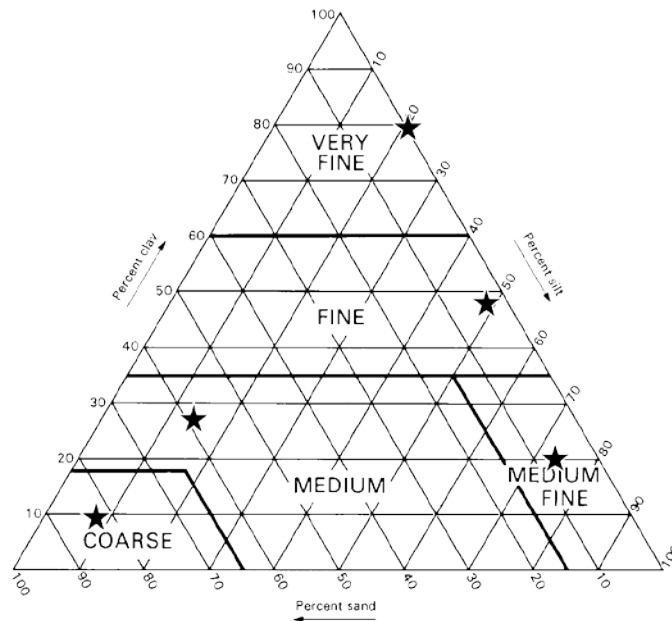
f_i : κλάσμα μάζας κατηγορίας σωματιδίων επί της συνολικής εδαφικής μάζας

Η πιο δόκιμη διαδικασία για τον καθορισμό του K σε οποιαδήποτε περιοχή μελέτης, είναι η συλλογή εδαφικών δειγμάτων από κάθε γεωλογική/εδαφική δομή που εμφανίζεται στην περιοχή, ο προσδιορισμός, μέσω εργαστηριακών αναλύσεων των εδαφικών χαρακτηριστικών που απαιτούνται από τις παραπάνω σχέσεις, και ακόλουθα ο προσδιορισμός των τιμών του K.

Βέβαια, σε περιπτώσεις αδυναμίας συλλογής και επεξεργασίας εδαφικών δειγμάτων, μπορεί να γίνει επιλογή τιμών εδαφικής διαβρωσιμότητας βιβλιογραφικά, με άντληση τιμών K για τους ζητούμενους εδαφικούς και γεωλογικούς σχηματισμούς από ερευνητικές εργασίες από την Ελλάδα και το εξωτερικό. Η πρακτική αυτή μπορεί αν μην είναι η πλέον ορθή, ακολουθείται όμως ήδη από τις πρώτες δεκαετίες εφαρμογής της USLE, καθώς στο εγχειρίδιο της μεθόδου (Wischmeier and Smith, 1978) επισυνάπτονται τιμές K για μια σειρά εδαφών. Ανάλογες τιμές περιέχονται για τον Ευρωπαϊκό χώρο από τους Van der Knijff *et al.* (2000a&b) από τις εργασίες των οποίων έχουν αντληθεί και οι παρακάτω Πίνακας 3.1 και Εικόνα 3.3, που παρουσιάζουν την κατάταξη και τις αντίστοιχες τιμές K για τις διάφορες κατηγορίες εδαφών. Μικρές τιμές K παρατηρούνται σε εδάφη με μεγάλο λεπτόκοκκο αλλά και αντίθετα χονδρόκοκκο κλάσμα, ενώ για ενδιάμεση σύσταση οι τιμές παρουσιάζονται πιο αυξημένες.

Πίνακας 3.1: Αντιπροσωπευτικές τιμές K για κάθε εδαφική κατηγορία (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b)

TEXT	Dominant surface textural class. <i>(Present in: STU)</i>	% 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



Εικόνα 3.3: Θέση ανωτέρω αντιπροσωπευτικών τιμών στο τρίγωνο εδαφικής δομής (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b)

Ιδιαίτερα για τον Ευρωπαϊκό χώρο, με αφετηρία τις δύο παραπάνω εργασίες (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b), έχει διεξαχθεί μια προσπάθεια παραγωγής ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων με τις τιμές εδαφικής διαβρωσιμότητας ανά την Ευρώπη, υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission) και πιο συγκεκριμένα του Ευρωπαϊκού Γραφείου Εδαφών (European Soil Bureau).

Η προσπάθεια αυτή έχει καταλήξει στη δημοσίευση δύο αξιόλογων ερευνητικών εργασιών – Panagos *et al.* (2012&2014), όπου με τη βοήθεια της βάσης δεδομένων LUCAS - Land Use/Cover Area frame Survey, δημιουργείται μια βάση δεδομένων με τιμές εδαφικής διαβρωσιμότητας Κ σε πανευρωπαϊκό επίπεδο. Η βάση δεδομένων LUCAS (2009) αποτελεί μια ολοκληρωμένη 'δεξαμενή' χαρακτηριστικών εδαφικών δειγμάτων που καλύπτουν όλη την Ευρώπη (20.000 δείγματα απ' άκρη σ' άκρη των 25 χωρών μελών της Ε.Ε.).

Ιδιαίτερα στην πιο πρόσφατα δημοσιευμένη εργασία των Panagos *et al.* (2014), πέρα από την ακόμα μεγαλύτερη συγκέντρωση αποτελεσμάτων Κ ανά την Ευρώπη, έχει δημιουργηθεί χάρτης που απεικονίζει τις διάφορες τιμές του Κ για όλες τα κράτη-μέλη της Ε.Ε. στην αξιοσημείωτη ανάλυση της 500x500m διάστασης κελιού κανάβου και, για πρώτη φορά εισάγεται στην ανάλυση για το προσδιορισμό του Κ και η επίδραση των βραχιδών εξαπλώσεων – συμπαγών ή μη. Οι βραχώδεις εξαπλώσεις που στις περισσότερες, αν όχι σε όλες των περιπτώσεων δε λαμβάνονταν υπ' όψη στους υπολογισμούς του Κ, με συνέπεια τη συστηματική υπερεκτίμησή του. Ιδιαίτερα δε στις περιοχές της

λεκάνης της Μεσογείου, και κατά συνέπεια και στην Ελλάδα καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις, με αποτέλεσμα η παρουσία αυτής της σημαντικής εξάπλωσης να δρα ανασταλτικά στην παραγωγή εδαφικής διάβρωσης και ακολούθως να απομειώνονται οι συντελεστές εδαφικής διαβρωσιμότητας έως και 40% σε ορισμένες περιπτώσεις περιοχών του ελληνικού χώρου.

3.1.3 Συντελεστής μήκους και βαθμού κλίσης – LS

Ο συντελεστής μήκους και βαθμού (υπερβολικότητας) κλίσης LS (Slope Length & Steepness factor) προσδιορίζει την επίδραση της γεωμορφολογίας και του αναγλύφου στην παραγωγή εδαφικής απώλειας, γι' αυτό και συχνά χρησιμοποιούνται και οι όροι συντελεστής αναγλύφου αλλά και τοπογραφικός συντελεστής για την περιγραφή του. Η εδαφική απώλεια εμφανίζει μεγαλύτερη ευαισθησία σε μεταβολές του βαθμού κλίσης παρά του μήκους κλίσης (McCool *et al.*, 1987).

Σύμφωνα με την USLE (Wischmeier and Smith, 1978), ο συντελεστής LS ορίζεται ως:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^n (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad [3.20]$$

Όπου:

L: συντελεστής μήκους κλίσης

S: συντελεστής βαθμού κλίσης

λ: μήκος κλίσης (m)

S: κλίση (%)

n: 0,2 για $S < 1\%$, 0,3 για $1\% \leq S \leq 3,5\%$, 0,4 για $3,5\% \leq S \leq 5\%$ και 0,5 για $S > 5\%$

Στην παραπάνω σχέση, ο πρώτος όρος αντιστοιχεί στην επίδραση του μήκους κλίσης, όπου η διάσταση 22,13 συνδέεται με τη διάσταση της πειραματικής πλαγιάς των εμπειρικών εξισώσεων USLE και RUSLE, και ο δεύτερος στην επίδραση της κλίσης.

Η σχέση (3.20) απαντάται στη βιβλιογραφία (Sigalos *et al.*, 2010) με χρήση της γωνίας κλίσης (°) αντί της κλίσης (%) ως:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^n (65.4 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.0654) \quad [3.21]$$

Όπου:

λ: μήκος κλίσης (m)

β : γωνία κλίσης (°)

n : 0,2 για $S < 1\%$, 0,3 για $1\% \leq S \leq 3,5\%$, 0,4 για $3,5\% \leq S \leq 5\%$ και 0,5 για $S > 5\%$

Η γωνία κλίσης β προκύπτει ως (Sigalos *et al.*, 2010):

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{S}{100} \right) \quad [3.22]$$

Όπου S η κλίση (%).

Η RUSLE χρησιμοποιεί την ίδια σχέση για το συντελεστή μήκους κλίσης L , όχι όμως και για τον υπολογισμό του S , όπου επιλέγεται η σχέση McCool *et al.* (1987), και έτσι προκύπτει:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^n (10.8 \sin \beta + 0.03) \quad S < 9\% \quad [3.23]$$

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^n (16.8 \sin \beta - 0.50) \quad S \geq 9\% \quad [3.24]$$

Μια σειρά από ερευνητές (Moore and Burch, 1986, Mitasova *et al.*, 1996), εκμεταλλευόμενοι τη δυνατότητα της χωρικής κατανομής φυσικών διαδικασιών όπως η διάβρωση μέσω της χρήσης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, πρότειναν την αντικατάσταση του μήκους κλίσης με τη συνεισφέρουσα στη διάβρωση ανάντη περιοχή/επιφάνεια.

Το σύνολο αυτών των πιο σύγχρονων σχέσεων θεωρείται πως βελτιώνει την εκτίμηση του συντελεστή αναγλύφου (Panagos *et al.*, 2012), καθώς με την παραπάνω αντικατάσταση και τον ολοκληρωμένο υπολογισμό των συγκλινουσών και αποκλινουσών πλαγιών – μέσω της καμπυλότητας και της κυρτότητας αντίστοιχα, προκύπτουν ρεαλιστικότερες εκτιμήσεις, ειδικά στις περιπτώσεις σύνθετων μορφολογικά επιφανειών όπως οι λεκάνες απορροής εν γένει, και του Τσικνιά εν προκειμένω.

Η σχέση που προτάθηκε από τους Moore and Burch (1986) είναι:

$$LS = \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad [3.25]$$

Όπου:

A_s : ανάντη επιφάνεια που συνεισφέρει στη διάβρωση (m^2)

β : γωνία κλίσης (°)

m, n : συντελεστές που σύμφωνα με τους Panagos *et al.* (2012) λαμβάνουν τιμές 0,4 και 1,3 αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τους Moore and Wilson (1992), η σχέση εφαρμόζεται για πλαγίες με μήκη κλίσης $\lambda < 100$ m και γωνίες κλίσης $\beta < 14^\circ$ (Di Stefano *et al.*, 2000).

Η σχέση [3.25] χρησιμοποιήθηκε σε μια σειρά από εργασίες (Van der Knijff *et al.*, 2000a&b), ελαφρώς τροποποιημένη, σύμφωνα με την αναθεώρηση των Moore *et al.*, (1993) ως:

$$LS = 1.4 \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad [3.26]$$

Οι Mitasova and Mitas (2001a), εξέλιξαν περαιτέρω την έρευνα για την εξαγωγή μιας αντιπροσωπευτικότερης σχέσης για το συντελεστή αναγλύφου καταλήγοντας στη σχέση:

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.09} \right)^n \quad [3.27]$$

Όπου:

A_s : ανάντη επιφάνεια που συνεισφέρει στη διάβρωση (m^2)

β : γωνία κλίσης ($^\circ$)

m, n : συντελεστές που κυμαίνονται από $0,4 \leq m \leq 0,6$ και $1,0 \leq n \leq 1,3$, ανάλογα με τον τύπο διάβρωσης – επιφανειακή ή αυλακωτή. Σύμφωνα δε με τους Mitasova *et al.* (2001b), μικρές τιμές των δεικτών βρίσκουν εφαρμογή σε λεκάνες απορροής με σημαντική κάλυψη από φυσικές εκτάσεις και με την επιφανειακή να είναι ο επικρατέστερος τύπος διάβρωσης.

Επισημαίνεται πως οι παραπάνω σχέσεις τυπικά χρήζουν εφαρμογής σε περιοχές που συντελείται αποκλειστικά διάβρωση (κατά βάση επιφανειακή). Έτσι, στις συνήθεις περιπτώσεις εφαρμογής των σχέσεων σε σύνθετες επιφάνειες όπως οι λεκάνες απορροής ρεμάτων και ποταμών που συναποτελούνται από επιφάνειες διάβρωσης αλλά και απόθεσης φερτών υλικών, είναι αδύνατο να αποκλειστούν οι δεύτερες από τους υπολογισμούς, με σοβαρό ενδεχόμενο υπερεκτιμήσεων του συντελεστή αναγλύφου. Βέβαια, στα πλαίσια εξέλιξης της έρευνας γύρω από το συντελεστή αναγλύφου, οι τελευταίες από τις σχέσεις που περιγράφονται παραπάνω, θεωρείται πως μειώνουν σημαντικά τις υπερεκτιμήσεις των αρχικά διατυπωμένων. Σε κάθε περίπτωση, επειδή είναι αρκετά σύνθετες, όπως θα περιγραφεί και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, να υποεκτιμάται ο συντελεστής διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης, μπορεί να θεωρηθεί πως οι ενδεχόμενες υπερεκτιμήσεις του συντελεστή αναγλύφου δρουν σε μια κατεύθυνση τελικής εξισορρόπησης των εκτιμώμενων μεγεθών διάβρωσης.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, έγινε προσπάθεια αντιμετώπισης των ενδεχόμενων υπερεκτιμήσεων του συντελεστή αναγλύφου με χρήση των δυνατοτήτων των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Αξιοποιώντας εργαλεία των ΣΓΠ, εξάγονται κατάλληλα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου που προσδιορίζουν και εξαιρούν τις εν δυνάμει επιφάνειες απόθεσης. Εν συνεχεία, αποκλείοντας από τους υπολογισμούς τις παραπάνω επιφάνειες, προκύπτουν ρεαλιστικότερες εκτιμήσεις του συντελεστή αναγλύφου και των μεγεθών διάβρωσης.

Στο επίπεδο της τελικής εκτίμησης των μεγεθών διάβρωσης, στερεοαπορροής και αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα, δεν επιλέγεται η εναλλακτική λύση που περιλαμβάνει την εξαίρεση των περιοχών απόθεσης, αλλά η τυπική, του υπολογισμού του συντελεστή αναγλύφου για το σύνολο της λεκάνης. Η επιλογή αυτή προκρίνεται για δύο λόγους: πρώτον, η συλλογιστική που ακολουθείται για την εξαγωγή των επιφανειών απόθεσης θεωρείται ακόμη σε πρωτόλειο στάδιο και χρήζει περαιτέρω έρευνας και εξέλιξης και, δεύτερον υπέρ της ασφάλειας, προτιμώνται οι ενδεχόμενα υπερεκτιμημένες τιμές των τυπικών υπολογισμών, θεωρώντας τες ως ελαφρά και όχι σημαντικά υψηλότερες.

3.1.4 Συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης - C

Ο συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης (Cover Management factor) (-) ή, χάριν συντομίας, συντελεστής φυτοκάλυψης, υποδηλώνει την επίδραση των καλλιεργειών και των σχετικών διαχειριστικών πρακτικών στο ρυθμό παραγωγής εδαφικής διάβρωσης. Οι τιμές του C στη RUSLE – σε αντίθεση με την USLE που επιλέγονται από μικρή γκάμα τιμών C μέσω πινακοποιημένων δεδομένων - προκύπτουν μέσω της πολλαπλασιαστικής σχέσης:

$$C \sim SLR = PLU \cdot CC \cdot SC \cdot SR \cdot SM \quad [3.28]$$

Όπου:

C~SLR: συντελεστής φυτοκάλυψης (Soil Loss Ratio)

PLU: συντελεστής πρότερης χρήσης γης (Prior Land Use) – εύρος 0~1

CC: συντελεστής φυτοκάλυψης (Canopy Cover) – εύρος 0~1

SC: συντελεστής επιφανειακής κάλυψης (Surface Cover) – εύρος 0~1

SR: συντελεστής εδαφικής τραχύτητας (Surface Roughness) – εύρος 0~1

SM: συντελεστής εδαφικής υγρασίας (Soil Moisture) – εύρος 0~1

Οι παραπάνω συντελεστές προκύπτουν κατά σειρά από τις σχέσεις (Renard *et al.*, 1997):

$$PLU = C_f \cdot C_b \cdot \exp[(-c_{ur} \cdot B_{ur}) + (c_{us} \cdot B_{us}/C_f^{c_{uf}})] \quad [3.29]$$

Όπου:

C_f : συνοχή επιφανειακού εδαφικού στρώματος

C_b : σχετική αποτελεσματικότητα (συνδρομή) των φυτικών υπολειμμάτων της επιφανειακής εδαφικής στρώσης στην εδαφική συνοχή

c_{ur}, c_{us} : συντελεστές διόρθωσης σχετικοί με την επίδραση των φυτικών υπολειμμάτων

B_{ur} : ποσότητα νεκρών και ζωντανών ριζών στην επιφανειακή εδαφική στρώση ($\text{lb acre}^{-1} \text{in}^{-1}$)

B_{us} : ποσότητα φυτικών υπολειμμάτων στην επιφανειακή εδαφική στρώση ($\text{lb acre}^{-1} \text{in}^{-1}$)

c_{uf} : επίδραση της εδαφικής συνοχής στην αποτελεσματικότητα των φυτικών υπολειμμάτων

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης CC υποδηλώνει την αποτελεσματικότητα της φυτοκάλυψης στην απομείωση της ενέργειας των σταγόνων της βροχόπτωσης και προκύπτει:

$$CC = 1 - F_c \cdot \exp(-0.1 \cdot H) \quad [3.30]$$

Όπου:

F_c : κλάσμα της φυτοκάλυψης επί της συνολικής έκτασης

H : ύψος πτώσης (ft) των σταγόνων της βροχόπτωσης μετά την πρόσκρουση τους στη φυτοκάλυψη

Ο συντελεστής επιφανειακής κάλυψης SC θεωρείται ο πιο σημαντικός μεταξύ των συντελεστών που επιδρούν στη διαμόρφωση των τιμών του συντελεστή φυτοκάλυψης C , μειώνοντας τη μεταφορική ικανότητα του νερού, προκαλώντας αποθέσεις σε περιοχές λιμναζόντων νερών και απομειώνοντας την εδαφική επιφάνεια που παραμένει εκτεθειμένη στη διαβρωτική επίδραση της βροχόπτωσης (Renard *et al.*, 1997). Η επιφανειακή κάλυψη μπορεί να περιλαμβάνει, πέρα από τις αρόσιμες επιφάνειες, οργανικά και φυτικά υπολείμματα, βολβούς και ριζικά συστήματα, πέτρες και κροκάλες. Η σχέση για τον υπολογισμό του SC είναι:

$$SC = \exp \left[-b \cdot S_p \cdot \left(\frac{0.24}{R_u} \right)^{0.08} \right] \quad [3.31]$$

Όπου:

b : εμπειρικός συντελεστής που υποδηλώνει την αποτελεσματικότητα της εδαφοκάλυψης στη μείωση της εδαφικής διάβρωσης

S_p : ποσοστό (%) επιφανειακής κάλυψης επί της συνολικής επιφάνειας

R_u : επιφανειακή τραχύτητα (in) αδιατάρακτου εδάφους

Το ποσοστό επιφανειακής κάλυψης S_p και δη του φυτικού υπολείμματος προκύπτει:

$$S_p = [1 - \exp(-a \cdot B_s)] \cdot 100 \quad [3.32]$$

Όπου:

a : λόγος επιφάνειας προς μάζας υπολείμματος ($\text{acre} \cdot \text{lb}^{-1}$) με τυπικές τιμές να περιέχονται σε πίνακες της RUSLE (Renard *et al.*, 1997)

B_s : βάρος (ξηρό) του υπολείμματος που βρίσκεται στην εδαφική επιφάνεια ($\text{lb} \cdot \text{acre}^{-1}$)

Η επιφανειακή τραχύτητα R_u (in) αδιατάρακτου εδάφους αμέσως πριν την άροση προκύπτει από τη σχέση:

$$R_u = 0.24 + [D_r \cdot (R_i - 0.24)] \quad [3.33]$$

Όπου:

R_i : Αρχική εδαφική τραχύτητα (in)

D_r : συντελεστής εξομάλυνσης της εδαφικής τραχύτητας, προκαλούμενης από την επίδραση ενδεχόμενης βροχόπτωσης.

Ο D_r προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$D_r = \exp[1/2 (-0.14 \cdot P_t) + 1/2 (-0.012 \cdot EI_t)] \quad [3.34]$$

Όπου:

P_t : συνολικό ύψος (in) βροχής στο διάστημα που μεσολάβησε από την πιο πρόσφατη διατάραξη του εδάφους

EI_t : η ποσότητα ενέργειας της βροχόπτωσης για το αντίστοιχο διάστημα

Ο συντελεστής εδαφικής τραχύτητας SC προκύπτει από τη σχέση:

$$SC = \exp [-0.66 \cdot (R_u - 0.24)] \quad [3.35]$$

Τέλος, ο συντελεστής εδαφικής υγρασίας προκύπτει από πινακοποιημένα δεδομένα και εν γένει κατά τις υγρές περιόδους οι τιμές του πλησιάζουν το 1, ενώ αντίθετα κατά τις ξηρές πλησιάζουν το 0.

Ένας εναλλακτικός τρόπος προσδιορισμού του συντελεστή φυτοκάλυψης είναι η χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης, με ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων και χρήση δεικτών βλάστησης (Vegetation

Indexes/VI's) και ιδιαίτερα του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index/ NDVI) (Κουράκλη, 2010, Wang *et al.*, 2003).

3.1.5 Συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης - P

Ο συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης ή και συντελεστής υποστηρικτικών πρακτικών κατά της διάβρωσης (Support Practice factor) (-), λαμβάνει τιμές από 0~1, και αντικατοπτρίζει την επίδραση που μπορούν να έχουν διάφορες καλλιεργητικές τεχνικές στην απομείωση της εδαφικής διάβρωσης. Τέτοιες τεχνικές αποτελούν η καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς, με λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών και με χρήση αναβαθμίδων.

Οι τιμές του συντελεστή P, εφόσον ακολουθούνται τεχνικές όπως οι παραπάνω μπορούν να μειώσουν σημαντικά την παραγωγή εδαφικής διάβρωσης, ενώ σύμφωνα με τους Παναγιώλια και Δήμου (2002), για καλλιέργεια παράλληλα με τις ισοϋψείς κυμαίνονται μεταξύ 0,6~0,9, με λωρίδες εναλλασσόμενων καλλιεργειών και περιοδική εναλλαγή τους μεταξύ 0,3~0,45, και με χρήση αναβαθμίδων και σειράς μικρών αναχωμάτων κάθετων στην κλίση του εδάφους μεταξύ 0,12~0,18.

3.2 Μέθοδος Gavrilovic

Η μέθοδος Gavrilovic και η αντίστοιχη εμπειρική εξίσωση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του μέσου ετήσιου όγκου φερτών υλικών σε μια καθορισμένη έκταση (λεκάνη απορροής). Αναπτύχθηκε αρχικά με εφαρμογή σε υπολεκάνη του Αξιού ποταμού (περιοχή όρους Vodno Skorje, Π.Γ.Δ.Μ.) και έκτοτε έχει τύχει εφαρμογής κυρίως σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες της Βαλκανικής χερσονήσου αλλά και των Ιταλικών και Ελβετικών Άλπεων, στα πλαίσια της δασικής διαχείρισης και στην προσπάθεια προστασίας από τη διάβρωση (Κουράκλη, 2010, Ποτουρίδης κ.α., 2012).

Σύμφωνα με τη μέθοδο, η μέση ετήσια παραγωγή φερτών υλικών προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις (Gavrilovic, 1988, Κουράκλη, 2010):

$$W = w \cdot A$$
$$w = \pi \cdot T \cdot P \cdot \sqrt{Z^3} \quad [3.36]$$

Όπου:

W : μέσος ετήσιος όγκος παραγωγής φερτών υλικών (m^3). Για την αναγωγή του σε φαινόμενο όγκο πολλαπλασιάζεται με 1,28 - 1,32 (το πορώδες των φυσικών αποθέσεων καταλαμβάνει τα 0,28 - 0,32 του φαινόμενου όγκου)

w : μέση ετήσια (ειδική) διάβρωση της λεκάνης (m^3/km^2)

π : 3,14159...

A : έκταση εξεταζόμενης περιοχής (km^2)

P : μέσο ετήσιο ύψος βροχής (mm) στο μέσο υψόμετρο της υπό εξέταση περιοχής

T : συντελεστής θερμοκρασίας που προκύπτει από τη σχέση:

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1} \quad [3.37]$$

Όπου:

t_0 : μέση ετήσια θερμοκρασία ($^{\circ}C$) στο μέσο υψόμετρο της υπό εξέταση περιοχής

z : συντελεστής διάβρωσης που προκύπτει από τη σχέση:

$$z = x \cdot y \cdot (\varphi + \sqrt{J}) \quad [3.38]$$

Όπου:

x : συντελεστής που εκφράζει την επίδραση της φυτοκάλυψης αλλά και των ενδεχόμενων έργων υδρονομίας στην παραγωγή εδαφικής διάβρωσης. Λαμβάνει τιμές από 0,05~1,00 όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.2.

y : συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας – λαμβάνει τιμές από 0,2~2,0 όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.3.

φ : συντελεστής που εκφράζει το είδος και το βαθμό διάβρωσης- λαμβάνει τιμές από 0,1~1,0 όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.4.

J : μέση κλίση της υπό εξέταση περιοχής, που με αναλυτικούς υπολογισμούς προκύπτει από μια σχέση της μορφής (Μαμάσης, 2012):

$$i_s = \frac{1}{S_A} \int i dS \approx \frac{1}{S_A} \sum_r i_r \Delta S_r \quad [3.39]$$

Όπου η συνολική έκταση S_A της λεκάνης απορροής υποδιαιρείται σε τμήματα ΔS_r , καθένα από τα οποία έχει περίπου σταθερή κλίση i_r .

Η μέση κλίση μπορεί να υπολογιστεί και από τον παρακάτω προσεγγιστικό τύπο που εφαρμόζεται για κάθε υπολεκάνη της υπό εξέταση περιοχής (Ξανθάκης, 2011):

$$i = \frac{h_{max} - h_{min}}{\sqrt{A}} \quad [3.40]$$

Επιπρόσθετα, για τον προσδιορισμό της κλίσης αλλά και μιας σειράς άλλων φυσιογραφικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών μιας λεκάνης απορροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν εργαλεία που προσφέρονται από τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών.

Πίνακας 3.2: Τιμές συντελεστή x (Ξανθάκης, 2011)

A/A	Κατάσταση της λεκάνης και είδος φυτοκάλυψης	x
I. ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ		
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
II. ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ		
1	Διευθετημένες κοίτες με φράγματα	0,70
2	Αγροί καλλιεργημένοι συχνά κατά τις ισοϋψείς	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 ισοϋψείς	0,32
7	Υποβαθμισμένα εδάφη μετά από αναχλόαση, βελτιωμένα λιβάδια	0,30
8	Εδάφη με αγωγούς ανάσχεσης και συγκράτησης του νερού	0,27
9	Επιφάνειες λεκανών με αναδασώσεις συνοδευόμενες και από βαθμίδωση του εδάφους	0,10
III ΜΟΡΦΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ		
1	Μικτές δασοσυστάδες και πυκνοί θαμνώνες ή δασοσυστάδες αραιές με υπόροφο	0,50-0,20
2	Δασοσυστάδες κωνοφόρων με υπόροφο ασθενή ή θαμνώνες όχι σύμπυκνοι	0,20-0,60
3	Δασοσυστάδες και θαμνώνες υποβαθμισμένοι, λιβάδια	0,40-0,60
4	Λιβάδια και εδάφη καλλιεργούμενα, υποβαθμισμένα	0,60-0,80
5	Επιφάνεια χωρίς φυτοκάλυψη	0,80-1,00

Πίνακας 3.3: Τιμές συντελεστή y (Ξανθάκης, 2011)

A/A	Είδος πετρώματος και υπεδάφους	y
1	Σκληρά πετρώματα, ανθεκτικά στη διάβρωση	0,2-0,6
2	Πετρώματα μετρίως ανθεκτικά στη διάβρωση	0,6-1,0
3	Εύθρυπτα πετρώματα	1,0-1,3
4	Αποθέσεις, μορένες, άργιλοι, ψαμμόλιθοι και άλλα ανθεκτικά πετρώματα	1,3-1,8
5	Πολύ ευαίσθητα στη διάβρωση πετρώματα και εδάφη	1,8-2,0

Πίνακας 3.4: Τιμές συντελεστή ϕ (Ξανθάκης, 2011)

A/A	Είδος και Βαθμός Διάβρωσης	ϕ
1	Ασθενής διάβρωση στις λεκάνες απορροής	0,1-0,2
2	Διάβρωση επιφανειακή στα 25-50% της λεκάνης απορροής	0,3-0,5
3	Επιφανειακή διάβρωση, ολισθήσεις και αποθέσεις, καρστική διάβρωση	0,6-0,7
4	Τα 50-80% της λεκάνης υποβαθμισμένα από χαραδρώσεις και ολισθήσεις	0,8-0,9
5	Λεκάνες πλήρως υποβαθμισμένες από έντονες διαβρώσεις	0,9-1,0

3.3 Εκτίμηση στερεοαπορροής

3.3.1 Συσχέτιση διάβρωσης-στερεοαπορροής – Συντελεστής στερεοαπορροής

Το θέμα της μετάβασης από την παραγόμενη διάβρωση/εδαφική απώλεια στη στερεοαπορροή, αποτελεί ένα πεδίο αλληπάληλων ερευνητικών προσπαθειών από τη δεκαετία του 1960 μέχρι και σήμερα.

Η διάβρωση σχετίζεται με τη στερεοαπορροή με μια σχέση της παρακάτω μορφής:

$$SDR = \frac{S_Y}{A_S} \quad [3.41]$$

Όπου:

SDR : (Sediment Delivery Ratio) συντελεστής στερεοαπορροής (0~1)

S_Y : στερεοαπορροή (t/ha)

A_S : διάβρωση – εδαφική απώλεια (t/ha)

Ο συντελεστής στερεοαπορροής αποτελεί το κλάσμα της διάβρωσης που καταλήγει σε στερεοαπορροή μέσω του υδρογραφικού δικτύου. Από φυσική σκοπιά, η στερεοαπορροή σε επίπεδο λεκάνης απορροής αποτελεί τη διαφορά μεταξύ της παραγόμενης εδαφικής απώλειας και των ποσοτήτων που απολήγουν σε περιοχές εναπόθεσης.

Η όσο το δυνατόν πιο ακριβής γνώση της παραγόμενης στερεοαπορροής, συμβάλλει τα μέγιστα στην αποτελεσματικότερη διαστασιολόγηση φραγμάτων και αντιπλημμυρικών έργων, στη βελτιστοποίηση του κύκλου ζωής των ταμιευτήρων και στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό.

Η διαδικασία της μετάβασης από τη διάβρωση στη στερεοαπορροή επικαθορίζεται από μια σειρά παράγοντες, όπως η έκταση, τα μορφολογικά, εδαφολογικά, κλιματολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά, οι χρήσεις γης, το υδρογραφικό δίκτυο, το καθεστώς απορροής και στερεοαπορροής.

Για την εκτίμηση του SDR χρησιμοποιούνται εμπειρικές εξισώσεις που συσχετίζουν το συντελεστή είτε με την έκταση, είτε με χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου.

Από τους δύο τύπους σχέσεων, πιο διαδεδομένες είναι οι πρώτες, καθώς η μεταβολή του συντελεστή στερεοαπορροής σε σχέση με την έκταση της λεκάνης απορροής παρουσιάζει σημαντική στατιστική συσχέτιση, εν αντιθέσει με τις δεύτερες, που εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά και ανομοιογένεια.

Επίσης, οι σχέσεις συσχέτισης SDR-έκτασης χαρακτηρίζονται από απόλυτη ευκολία στην εφαρμογή, καθώς η έκταση είναι το πιο κοινό χαρακτηριστικό της λεκάνης απορροής.

Είναι γεγονός πως χρησιμοποιώντας σχέσεις αυτού του τύπου, παραβλέπεται η επίδραση άλλων παραγόντων που συμβάλλουν στον καθορισμό των ποσοτήτων στερεοαπορροής, όμως σειρά εφαρμογών (Becvar, 2005, Zarris *et al.*, 2011) συνηγορούν υπέρ της αξιόπιστης εκτίμησης της στερεοαπορροής μέσω σχέσεων SDR-έκτασης.

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

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

$$\log SDR = 1.7935 - 0.14191 \cdot \log A \quad [3.42]$$

Όπου A η έκταση σε km².

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

$$SDR = 0.51 \cdot A^{-0.11} \quad [3.43]$$

Όπου A η έκταση σε mi².

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

$$SDR = 0.42 \cdot A^{-0.125} \quad [3.44]$$

Όπου A η έκταση σε mi².

3.3.2 Σχέση εκτίμησης στερεοαπορροής στον ελληνικό χώρο

Έπειτα από επεξεργασία διαθέσιμων στοιχείων από στερεοϋδρομετρήσεις σε 7 θέσεις ποταμών στη ΒΔ Ελλάδα και την κατασκευή καμπυλών παροχής-στερεοπαροχής, οι Κουτσογιάννης και Τάρλα (1987) παράγαγαν μια απλή εμπειρική σχέση για την εκτίμηση ποσοτήτων μέσης ετήσιας στερεοαπορροής από στοιχεία υδρολογίας και γεωλογίας της λεκάνης απορροής. Η σχέση στην τελική της εκδοχή έχει την παρακάτω μορφή:

$$G = 15 \cdot \gamma \cdot e^{3P} \quad [3.45]$$

Όπου:

G : μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση (t/km^2)

P : μέσο ετήσιο ύψος βροχής (m)

γ : γεωλογικός συντελεστής που προκύπτει από τη σχέση:

$$\gamma = \kappa_1 \cdot p_1 + \kappa_2 \cdot p_2 + \kappa_3 \cdot p_3 \quad [3.46]$$

Όπου:

$\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$: κατηγορίες κατάταξης εμφανιζόμενων πετρωμάτων από άποψη διαβρωσιμότητας. Η κατηγοριοποίηση γίνεται για τα παρακάτω πετρώματα:

Ομάδα υψηλής διαβρωσιμότητας <i>αλλούβια, φλύσχης</i>	$K_1=1$
Ομάδα μέτριας διαβρωσιμότητας <i>μάργες, ψαμμίτες, σχιστόλιθοι</i>	$K_2=0,5$
Ομάδα χαμηλής διαβρωσιμότητας <i>ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορφωμένα, εκρηξιγενή</i>	$K_3=0,1$

p_1, p_2, p_3 : ποσοστό εμφάνισης στη λεκάνη απορροής

Η εμπειρική σχέση των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1987) προέρχεται από περιοχές με συγκεκριμένα γεωλογικά χαρακτηριστικά και ιδιαίτερα αυξημένα υδρολογικά μεγέθη (μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις άνω των 1.000 mm) σε σχέση με άλλες περιοχές του Ελληνικού χώρου. Μπορεί να χρησιμοποιείται ευρέως σε περιοχές –κυρίως της ΒΔ Ελλάδας με παραπλήσια υδρολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά, αλλά και ως μία προκαταρκτική σχέση εκτίμησης ποσοτήτων στερεοαπορροής σε άλλες περιοχές με σημαντικά διαφορετικές συνθήκες. Στη δεύτερη περίπτωση οι όποιες εκτιμήσεις το πιθανότερο είναι να υποεκτιμούν τις ποσότητες στερεοαπορροής.

3.4 Εκτίμηση όγκου αποθέσεων & νεκρού όγκου ταμιευτήρα

Μια ευρέως διαδεδομένη διαδικασία εκτίμησης του όγκου των αποθέσεων ενός ταμιευτήρα, με προϋπόθεση τη γνώση των ποσοτήτων στερεοαπορροής που καταλήγουν σε αυτόν, είναι η μεθοδολογία των Lara and Pemberton (1963).

Η πυκνότητα των σωματιδίων των φερτών υλικών (dry bulk density) κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των τιμών 1,0 και 1,6 t/m³. Με επεξεργασία 1.120 δειγμάτων αποθέσεων ταμιευτήρων, οι Lara and Pemberton (1963) κατέληξαν σε ένα εύρος πυκνοτήτων των αποθέσεων εν ξηρώ που κυμαίνεται από 1,8~3,0 t/m³. Στον παρακάτω Πίνακα 3.5, παρουσιάζονται τυπικά εύρη τιμών πυκνότητας για αποθέσεις ταμιευτήρων σύμφωνα με την U.S. Natural Resources Conservation Service (Morris and Fan, 1998).

Πίνακας 3.5: Εύρη τιμών πυκνότητας (t/m³) για αποθέσεις ταμιευτήρων

Διάσταση Κόκκου	Μονίμως βυθισμένο	Συχνά αναδυόμενο
	Πυκνότητα (t/m ³)	
Άργιλος	0,64~0,96	0,96~1,28
Ιλύς	0,88~1,20	1,20~1,36
Μίγμα αργίλου-ιλύος	0,64~1,04	1,04~1,36
Μίγμα άμμου-ιλύος	1,20~1,52	1,52~1,76
Άμμος	1,36~1,60	1,36~1,60
Χαλίκι	1,36~2,00	1,36~2,00
Άμμος-χαλίκι φτωχής διαβάθμισης	1,52~2,08	1,52~2,08

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις αποθέσεις ενός ταμιευτήρα είναι (USDI, 2006):

- Ο τρόπος λειτουργίας του ταμιευτήρα
- Η σύσταση και κοκκομετρία των αποτιθέμενων φερτών υλικών
- Ο ρυθμός συμπίεσης των αποτιθέμενων υλικών
- Τα έτη λειτουργίας του ταμιευτήρα

Σημαντικότερος από τους παραπάνω παράγοντες είναι ο τρόπος λειτουργίας του ταμιευτήρα, καθώς συχνές και αξιοσημείωτες διακυμάνσεις στάθμης επηρεάζουν σημαντικά τις διαδικασίες μεταφοράς, εναπόθεσης και συμπύκνωσης των φερτών υλικών και ιδιαίτερα το αργιλικό κλάσμα των αυτών. Οι συχνές επαφές των αργιλικών ιδιαίτερα αποθέσεων με την ατμόσφαιρα συμβάλλουν στο φαινόμενο της στερεοποίησης και στην ταχύτερη αύξηση του όγκου των αποθέσεων συγκριτικά με την κατάσταση της μόνιμης κάλυψής τους από τη στάθμη του ταμιευτήρα. Έτσι, με την ταχύτερη πλήρωση του νεκρού όγκου δυσκολεύει η εξεύρεση των τεχνικό-οικονομικά βέλτιστων επιλογών σχεδιασμού και διαχείρισης των έργων ταμίευσης επιφανειακών υδάτων, καθώς από τη μία αναζητείται μια

δυσκολότερη και ακριβότερη τεχνική λύση για να καλυφθούν οι ανάγκες και ο σκοπός του έργου και από την άλλη, αυτές οι λύσεις ενδέχεται να καθιστούν το έργο τεχνικά ή οικονομικά ασύμφορο ή και τέλος μη πραγματοποιήσιμο λόγω περιοριστικών γεωμορφολογικών και άλλων φυσικών παραγόντων.

Οι τέσσερις κατηγορίες-τύποι λειτουργίας ενός ταμιευτήρα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.6.

Πίνακας 3.6: Κατηγορίες λειτουργίας ταμιευτήρα

1	Αποθέσεις πάντα ή σχεδόν πάντα βυθισμένες κάτω από την στάθμη του ταμιευτήρα
2	Μέτριες έως σημαντικές πτώσεις της στάθμης
3	Ταμιευτήρες κανονικά άδαιοι
4	Ταμιευτήρες με φερτές ύλες κοίτης (φορτίο πυθμένα μόνο)

Επιλέγοντας τον τύπο ταμιευτήρα, εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της αρχικής πυκνότητας των αποθέσεων ανάλογα με τη σύσταση των φερτών υλικών:

$$W = W_0 = W_C \cdot p_C + W_M \cdot p_M + W_S \cdot p_S \quad [3.47]$$

Όπου:

$W \sim W_0$: αρχική πυκνότητα αποθέσεων (kg/m^3)

p_C, p_M, p_S : ποσοστό αργίλου, ιλύος και άμμου στο εισερχόμενο υλικό

W_C, W_M, W_S : πυκνότητα αργίλου, ιλύος και άμμου στο εισερχόμενο υλικό, που ανάλογα με τον τύπο λειτουργίας ταμιευτήρα προκύπτει από τον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Πυκνότητα (kg/m^3) ανάλογα με τον τύπο λειτουργίας ταμιευτήρα

Λειτουργία	W_C	W_M	W_S
1	416	1.200	1.500
2	561	1.400	1.500
3	641	1.500	1.500
4	961	1.700	1.500

Η εναπόθεση των φερτών υλικών στον ταμιευτήρα παρουσιάζει διαφοροποιήσεις χρόνο με το χρόνο, καθώς μεταβάλλονται οι παράγοντες που επιδρούν στη διαδικασία. Η σχέση του Miller (1953) αποτελεί μια προσέγγιση για την εκτίμηση της μέσης πυκνότητας των αποθέσεων για Τ έτη λειτουργίας ενός ταμιευτήρα:

$$W_T = W_0 + 0.4343 \cdot K \cdot \frac{T}{T-1} \cdot (\ln T) - 1 \quad [3.48]$$

Όπου:

W_T : μέση πυκνότητα αποθέσεων (kg/m^3) έπειτα από T έτη λειτουργίας

W_0 : αρχική πυκνότητα αποθέσεων (kg/m^3) όπως προκύπτει από τη σχέση (.)

K : παράγοντας, εξαρτώμενος από τον τύπο λειτουργίας του ταμιευτήρα και την κοκκομετρία των αποθέσεων, προκύπτει από τον Πίνακα 3.8.

Πίνακας 3.8: Παράγοντας K

Λειτουργία	K (kg/m^3)		
	Άργιλος	Ιλύς	Άμμος
1	256	91	0
2	135	29	0
3	0	0	0
4	0	0	0

Ο συνολικός παράγοντας K των αποθέσεων προκύπτει από τη σχέση:

$$K = K_C \cdot p_C + K_M \cdot p_M + K_S \cdot p_S \quad [3.49]$$

Όπου τα K_C , K_M και K_S λαμβάνονται από τον Πίνακα . και p_C, p_M, p_S είναι τα ποσοστά αργίλου, ιλύος και άμμου αντίστοιχα.

Με χρήση της μέσης πυκνότητας αποθέσεων έπειτα από T έτη λειτουργίας, μπορεί να μετατραπεί η εισερχόμενη ποσότητα μάζας φερτών υλικών σε ποσότητα όγκου αποθέσεων, και κατ' αυτόν τον τρόπο να εκτιμηθεί ο νεκρός όγκος του ταμιευτήρα αλλά και η ποσότητα αποθέσεων ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια ζωής του έργου.

3.5 Αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στην εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης

Η εδαφική διάβρωση, όπως και μια σειρά άλλων παρεμφερών φυσικών διαδικασιών, χαρακτηρίζεται από χωρική ετερογένεια, ιδιότητα που διέπει το σύνολο των παραγόντων που επιδρούν στο φαινόμενο, όπως η βροχόπτωση (χωροχρονικά ετερογενής), η γεωλογία, η γεωμορφολογία, οι χρήσεις γης και οι όποιες διαχειριστικές πρακτικές. Το σύνολο των παραπάνω παραγόντων φέρει χωρική πληροφορία, που αλληλεπιδρά συνδυαστικά, αποτρεπτικά ή μη, στην παραγωγή φερτών υλικών και διάβρωσης.

Η εφαρμογή των περισσότερων από τα εμπειρικά μοντέλα εκτίμησης της διάβρωσης αποκλειστικά στο τυπικό υπολογιστικό πλαίσιο, μπορεί να καλύψει με σχετική άνεση τη χρονική διάσταση του φαινομένου, όμως στο επίπεδο της συμπερίληψης της χωρικής συνιστώσας των διαδικασιών εμφανίζεται μια σαφής αδυναμία. Η λύση δίνεται με χρήση των δυνατοτήτων της Γεωπληροφορικής και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) που μπορούν να ολοκληρώσουν και στο χωρικό επίπεδο την προσπάθεια μοντελοποίησης της εδαφικής διάβρωσης.

Η εφαρμογή των μεθόδων εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης σε περιβάλλον ΣΓΠ αποτελεί πλέον κοινό τόπο, θεωρούμενη ως η πλέον ολοκληρωμένη λύση για την όσο το δυνατόν πληρέστερη εκτίμηση και μοντελοποίηση του φαινομένου (Mitasova *et al.*, 1996, Mitasova and Mitas, 1999, Moore *et al.*, 1993, Wang *et al.*, 2003). Οι δυνατότητες των ΣΓΠ αξιοποιούνται για:

- τον υπολογισμό επιμέρους συντελεστών –πχ του συντελεστή αναγλύφου LS
- τη χωρική παρεμβολή/ολοκλήρωση σημειακών δεδομένων –πχ της βροχόπτωσης
- την ανάπτυξη της χωρικής διάστασης των παραγόντων που συνεπιδρούν στη διάβρωση και την εξέλιξη των μοντέλων εκτίμησης της
- την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και την ευκολία παραγωγής χαρτών
- την αναγνώριση των πιο ευάλωτων περιοχών στη διάβρωση και τη δυνατότητα λήψης στοχευμένων μέτρων αντιμετώπισης και
- τη μοντελοποίηση των μεθόδων εκτίμησης με ταυτόχρονη ανάπτυξη βάσεων δεδομένων για ευκολότερο και ταχύτερο μελλοντικό χειρισμό

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται, παράλληλα με τους τυπικούς υπολογισμούς και εφαρμογή της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS. Μέσω του προγράμματος γίνεται ούτως ή άλλως ο υπολογισμός του συντελεστή αναγλύφου LS, ενώ εισάγοντας τους υπόλοιπους παράγοντες της εξίσωσης της μεθόδου σε επίπεδα με αναπτυγμένες τις χωρικές τους ιδιότητες, προκύπτει η εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης με χρήση του arcGIS.

Επίσης, αξιοποιώντας τις δυνατότητες των ΣΓΠ, γίνεται προσπάθεια προσδιορισμού και εξαίρεσης από τους υπολογισμούς των περιοχών απόθεσης, για την εξαγωγή αντιπροσωπευτικότερων εκτιμήσεων.

Η ανάπτυξη των κατάλληλων και αναγκαίων μοντέλων χωρικών δεδομένων (διανυσματικών [vector] και κανονικοποιημένων [raster]), ο χειρισμός τους και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης με τη χαρτογραφική απόδοσή τους παρουσιάζονται στο αντίστοιχο υποκεφάλαιο του Κεφαλαίου 5.

4. Περιοχή μελέτης

4.1 Γενικά στοιχεία

Η Λέσβος αποτελεί το μεγαλύτερο από τα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου και ένα από τα μεγαλύτερα στο σύνολο των ελληνικών νησιών, καταλαμβάνοντας έκταση 1.637 km² και ακτογραμμή αναπτύγματος 371 km. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Μυτιλήνη και ο συνολικός πληθυσμός ανέρχεται σε 85.330 κατοίκους (2011).

Κλιματολογικά, σύμφωνα με την κλιματική κατάταξη κατά Thornthwaite, στο νησί επικρατούν δύο κλιματικοί τύποι (Αλεξούλη–Λειβαδίτη κ.α., 2002α&β):

- Στην ανατολική Λέσβο επικρατεί ο κλιματικός τύπος C1 S B'3 b'4' κλίμα ξηρό, με απόκλιση προς το ημίυγρο, με τιμές δείκτη υγρασίας 0~20 και σχετικά μεγάλο χειμερινό πλεόνασμα νερού (I_h 33,3).
- Στη δυτική Λέσβο επικρατεί ο κλιματικός τύπος D d B'3 b'4' κλίμα ημίξηρο, με μικρό πλεόνασμα νερού κατά το χειμώνα και ετήσια δυνητική εξατμοδιαπνοή 855~995 mm.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία διαμορφώνεται στους 16,4 °C, όπως καταγράφεται από το μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου στη Μυτιλήνη (υψόμετρο 2,6 m), το σταθμό του νησιού με τα πιο πλήρη και πολυετή δεδομένα – μετρήσεις περιόδου 1957-58~2009-10, με μηνιαία διακύμανση που περιγράφεται από τον παρακάτω Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια θερμοκρασία (°C) – σταθμός αεροδρομίου Μυτιλήνης

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
18,0	12,6	10,1	7,6	8,0	10,9	14,7	18,9	23,1	25,5	26,2	21,6	16,4

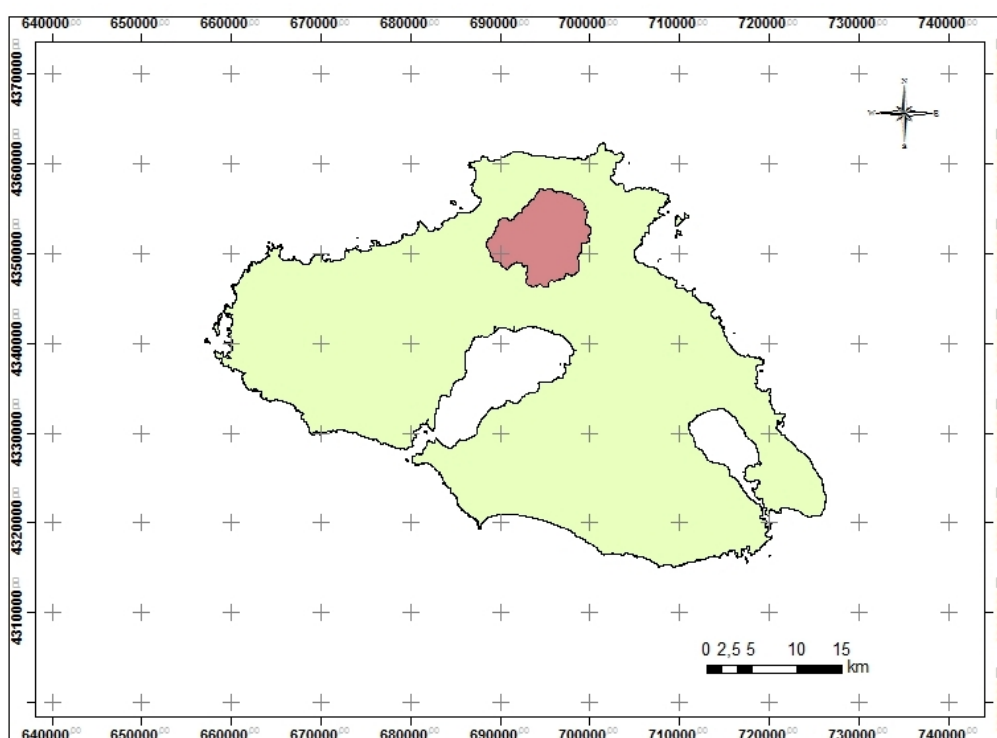
Η μέση ετήσια βροχόπτωση φτάνει τα 636,6 mm, όπως καταγράφεται από το μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου στη Μυτιλήνη, με μηνιαία διακύμανση που περιγράφεται από τον παρακάτω Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια βροχόπτωση (mm) – σταθμός αεροδρομίου Μυτιλήνης

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
39,5	92,2	141,5	110,5	93,0	71,9	44,7	19,5	6,4	2,0	2,8	12,5	636,6

4.2 Λεκάνη απορροής χειμάρρου Τσικνιά

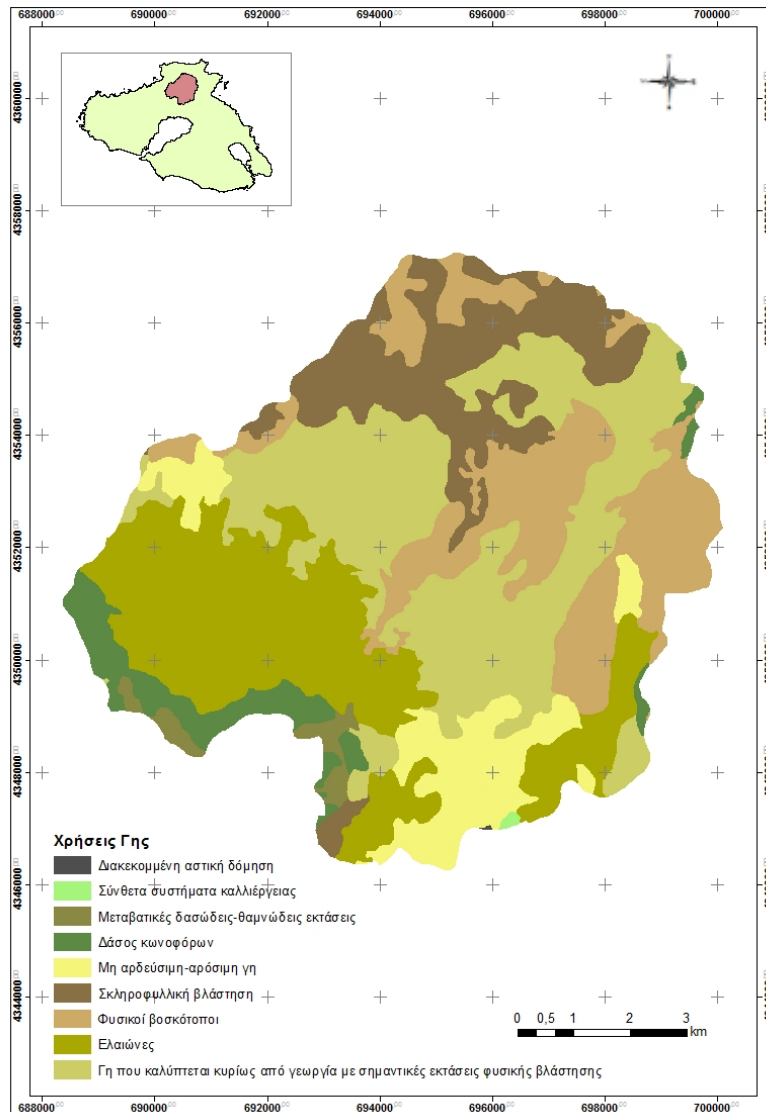
Ο χειμάρρος Τσικνιάς και η λεκάνη απορροής που τον περιβάλλει καταλαμβάνει έκταση 89,57 km², καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της βόρειας και κεντρικής Λέσβου -Χάρτης 4.1-, ενώ παράλληλα αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση λεκάνη απορροής στο σύνολο του Αιγαίου χώρου. Οριοθετείται βόρεια από το όρος Λεπέτυμνος (968 m), δυτικά από τους ορεινούς όγκους Φουρτούνα (558 m) και Πετσοφά (343 m) και ανατολικά από τη Μαυριά (440 m) και τις Τρουλιές (352 m). Η κεντρική κοίτη του ρέματος έχει γενική διεύθυνση ροής από τα βορειοανατολικά προς τα νοτιοδυτικά ενώ περίπου 3 km πριν τις εκβολές του στον κόλπο της Καλλονής διευθύνεται από βορρά προς νότο (Καρύμπαλης κ.α., 2004).



Χάρτης 4.1: Λεκάνη απορροής χειμάρρου Τσικνιά έως και τη θέση κατασκευής του φράγματος

Πληθυσμιακά η περιοχή δε χαρακτηρίζεται από μεγάλη πυκνότητα, καθώς οι περισσότεροι οικισμοί είναι μικροί, όπως η Νάπη, η Πελόπη, η Κάπη και η Στύψη με πληθυσμό από 96 έως 1024 κατοίκους. Βέβαια, πολύ κοντά στη λεκάνη του χειμάρρου βρίσκονται και δύο από τις κωμοπόλεις του νησιού, η Αγία Παρασκευή (2.346 κάτοικοι - 2001) και η Καλλονή (2.197 κάτοικοι - 2001).

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες εντοπίζονται κατά κύριο λόγο στον πρωτογενή τομέα, τη γεωργία, κυρίως με την καλλιέργεια ελαιοκάρπου, και την κτηνοτροφία. Οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά σύμφωνα με το Corine 2000 περιγράφονται από τον παρακάτω Χάρτη 4.2.



Χάρτης 4.2: Χρήσεις γης κατά Corine 2000

Από έρευνα (Καρύμπαλης κ.α., 2004) για τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου του χειμάρρου Τσικνιά προέκυψαν τα παρακάτω στοιχεία:

- Το υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από σύνθετη μορφή. Το δυτικό τμήμα ανήκει στον δενδριτικό – και συνηθέστερο τύπο, ενώ το ανατολικό προσεγγίζει αρκετά τον ακτινωτό.
- Επικρατεί λεπτή υδρογραφική υφή καθώς παρατηρούνται υψηλές τιμές πυκνότητας και συχνότητας. Σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στη λεπτή υφή είναι η λιθολογία της περιοχής που μπορεί να θεωρηθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος της αδιαπέρατη.
- Οι κλίσεις κυμαίνονται από 5,4~57,1% και σε γενικές γραμμές μπορούν να θεωρηθούν μέτριες με την επισήμανση συγκέντρωσης μεγαλύτερων κλίσεων και κατά συνέπεια εντονότερου αναγλύφου στις Β-ΒΔ περιοχές της λεκάνης απορροής στις παρυφές του όρους Λεπέτυμνος.
- Η κυκλικότητα χαρακτηρίζεται μέτρια.

- Η επικράτηση έντονου αναγλύφου στις Β-ΒΔ περιοχές ευνοεί τις συνθήκες για παραγωγή φερτών υλικών και διάβρωση.

Τα παραπάνω γεωμορφολογικά στοιχεία συμφωνούν και με τα αντίστοιχα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία όπως παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 5.

4.3 Γεωμορφολογία

Το μεγαλύτερο υψόμετρο παρατηρείται στο όρος Λεπέτυμνος φτάνοντας τα 937 m (κορυφή προφήτη Ηλία). Το ανάγλυφο της Λέσβου χαρακτηρίζεται ημιορεινό με μέσο υψόμετρο στα 280 m. Μεταξύ των υψομέτρων 0~200 m περιλαμβάνεται έκταση 915 km² – 56% επί της συνολικής, μεταξύ 200~600 m περιλαμβάνονται 726 km² – 41% επί της συνολικής και στα υπόλοιπα 52 km² – 3% επί της συνολικής έκτασης, επικρατούν υψόμετρα μεγαλύτερα των 600 m (Αλεξούλη–Λειβαδίτη κ.α., 2002α&β).

Οι κλίσεις μπορούν να χαρακτηριστούν μέτριες, αφού στο 30% του νησιού επικρατούν κλίσεις 0~30%, στο 65% κλίσεις 30~65% και στο υπόλοιπο 5% μεγαλύτερες κλίσεις.

4.4 Γεωλογία

Η Λέσβος δομείται κυρίως από αλπικούς και προαλπικούς μεταμορφωμένους σχηματισμούς καθώς και από κλαστικά μεταλλικά και ηφαιστειακά πετρώματα Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας (Λαμέρα, 2004, Βαμβουκάκης, 2009).

Τα παλαιότερα πετρώματα (υπόβαθρο) του νησιού εμφανίζονται κυρίως στο ΝΑ τμήμα, που συναποτελείται από την περιοχή της Μυτιλήνης, της χερσονήσου της Αμαλής, τον κόλπο της Γέρας, τον ορεινό όγκο του Ολύμπου, το Πλωμάρι και τα νότια παράλια της Λέσβου. Στο υπόλοιπο νησί απαντώνται μικρές μόνο εμφανίσεις των προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων, αφού στο μεγαλύτερο τμήμα τους καλύπτονται από μεταλλικούς σχηματισμούς, με κυριότερους τα ηφαιστειακά πετρώματα Νεογενούς ηλικίας (Θωμάϊδου, 2009).

Στη γεωλογική δομή της Λέσβου συμμετέχουν από την κατώτερη προς την ανώτερη οι ακόλουθες ενότητες (Λαμέρα, 2004):

(α) *Αυτόχθονη σειρά αλπικών και προαλπικών σχηματισμών:*

Μετακλαστικά πετρώματα (σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μεταψαμμίτες) με φακούς και ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων και δολομιτών, ηλικίας Κάτω Λιθανθρακοφόρου έως Τριαδικής περιόδου. Η αυτόχθονη σειρά, περιλαμβάνει, από κάτω προς τα πάνω:

- (i) *Νεο-παλαιοζωϊκούς σχηματισμούς* (σχιστόλιθοι εξαλλοιωμένοι κατά τόπους, μεταψαμμίτες και χαλαζίτες).
- (ii) *Τριαδικούς σχηματισμούς* – κυρίως σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες με ενστρώσεις λατυποπαγών και κρυσταλλικών ανθρακικών ιζημάτων μεγάλου πάχους στους ανώτερους ορίζοντες του σχηματισμού.

(b) *Αλλόχθονη σειρά αλπικών σχηματισμών:*

Επωθημένη πάνω στους αυτόχθονες σχηματισμούς, αποτελείται από τις εξής τεκτονικές ενότητες:

(i) *Κατώτερο κάλυμμα ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών:*

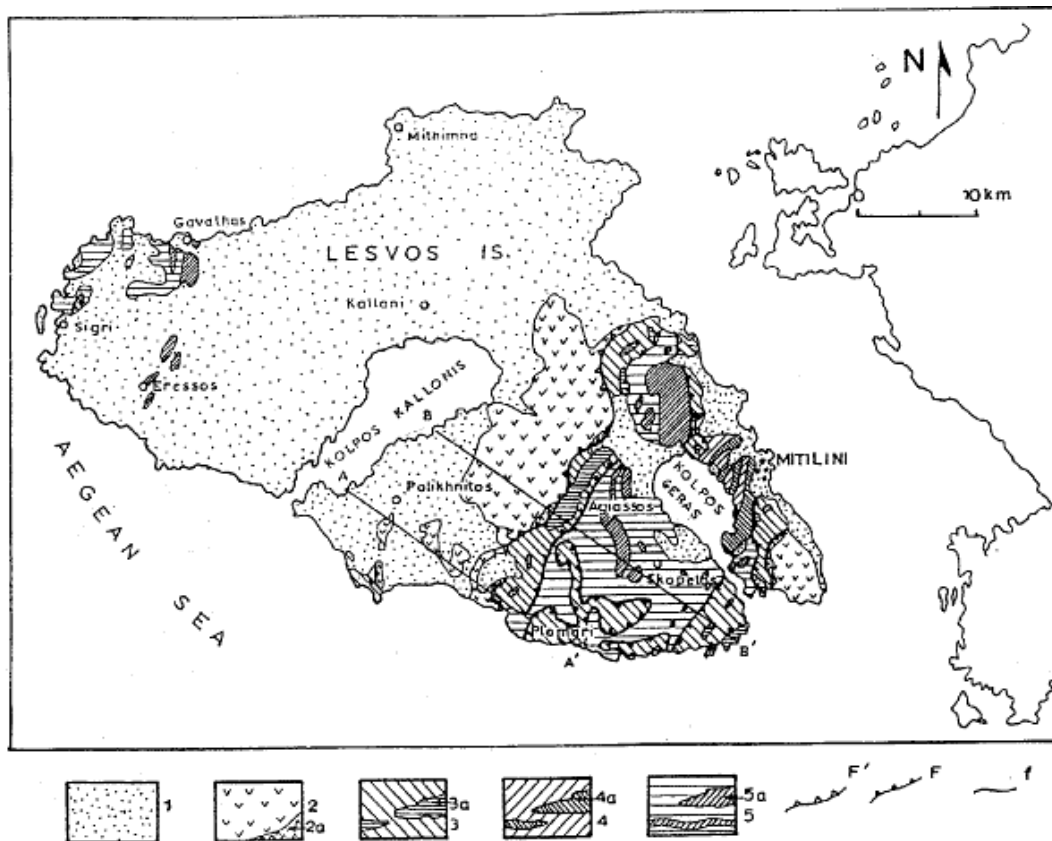
Μεταμορφωμένα βασικά μαγματικά πετρώματα – μεταβασίτες – κυρίως πρασινίτες και μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα – κυρίως κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δευτερευόντως σχιστόλιθοι και κροκαλοπαγή – ηλικία: κατώτερη μέση Τριαδική.

(ii) *Ανώτερη ενότητα οφιολίθων:*

Επωθημένη πάνω στα πετρώματα της ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς, αποτελείται από δύο ομάδες:

- (1) Ανώτερη ομάδα - υπερβασικά οφιολιθικά πετρώματα ποικίλου βαθμού σερπεντινίωσης, που κατά τόπους διασχίζονται από φλέβες πυροξενιτών και γάββρων, και
- (2) Κατώτερη ομάδα - μεταμορφωμένα βασικά οφιολιθικά πετρώματα (αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι)

Οι παραπάνω δύο πρώτες γεωλογικές ενότητες είναι αυτές που απεικονίζονται στον Χάρτη 4.3:



Χάρτης 4.3: Γεωλογικός χάρτης Λέσβου (Καρύμπαλης κ.α., 2004)

1: Τεταρτογενείς-Νεογενείς σχηματισμοί, 2: Περιδοτίτες και σερπεντινίτες, 2α: Αμφιβολίτες-Αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, 3: Τριαδικοί μεταβασίτες και μετακλαστικοί σχηματισμοί, 3α: Εγκλείσματα κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων, 4: Τριαδικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες, 4α: Εγκλείσματα κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων, 5: Νεοπαλαιοζωικοί σχιστόλιθοι και μεταψαμμίτες, 5α: Εγκλείσματα κρυσταλλικών ανθρακικών πετρωμάτων.

3) Ενότητα μετα-αλπικών σχηματισμών:

Αποτελείται κυρίως από ηφαιστίτες και νεογενείς σχηματισμούς λιμναίας φάσης, καθώς και τριτογενείς αποθέσεις, που εκτείνονται σε μεγάλες περιοχές του νησιού, καλύπτοντας συνολικά το 53,5% (875.949 km²) της έκτασης της Λέσβου (Αλεξούλη-Λειβαδίτη κ.α., 2002β).

Τα Μειοκαινικά ηφαιστειακά πετρώματα της Λέσβου αποτελούνται από μια κεντρική αλυσίδα ανδεσιτικών κυρίως στρωματοηφαιστείων, με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ, που συνορεύει πλευρικά προς ανατολή και δύση με εκτεταμένα όξινα πυροκλαστικά πετρώματα μεγάλου πάχους. Τα παλαιότερα πετρώματα που προήλθαν από αυτά τα κέντρα είναι βασάλτες και ανδεσίτες, ισχυρά καολιτιωμένοι κατά τόπους. Τα πετρώματα αυτά διαδέχονται δακίτες και τοπικά ρυόλιθοι (Λαμέρα, 2004).

Ο μέσο-Μειοκαινικός μαγματισμός που διαμόρφωσε τα παραπάνω πετρώματα στη Λέσβο, ήταν σωσσοιτικού χαρακτήρα, του οποίου προηγήθηκε, αλλά και ακολούθησε ασβεσταλκαλική ηφαιστειότητα (Βαμβουκάκης, 2009).

Καθώς η στρωματογραφία της ανώτερης ενότητας μεταλλικών σχηματισμών είναι ως επί το πλείστον ηφαιστειογενής, και ταυτόχρονα τα ηφαιστειακά πετρώματα καλύπτουν σχεδόν εξ ολοκλήρου την λεκάνη απορροής του Τσικνιά, η ηφαιστειακή στρωματογραφία θα αναλυθεί επιμέρους.

Η λιθοστρωματογραφική διάρθρωση των ηφαιστειακών πετρωμάτων της νήσου, από τα παλαιότερα προς τα νεότερα είναι (Λαμέρα, 2004): Ενότητα Κατώτερων Λαβών, Ενότητα Ερεσσού, Ενότητα Σκουτάρου, Ενότητα Όξινων Ηφαιστιτών, Ενότητα Σκαλοχωρίου, Ενότητα Συκαμινιάς και Ενότητα Μυτιλήνης, όπως περιγράφονται και στην παρακάτω Εικόνα 4.1.

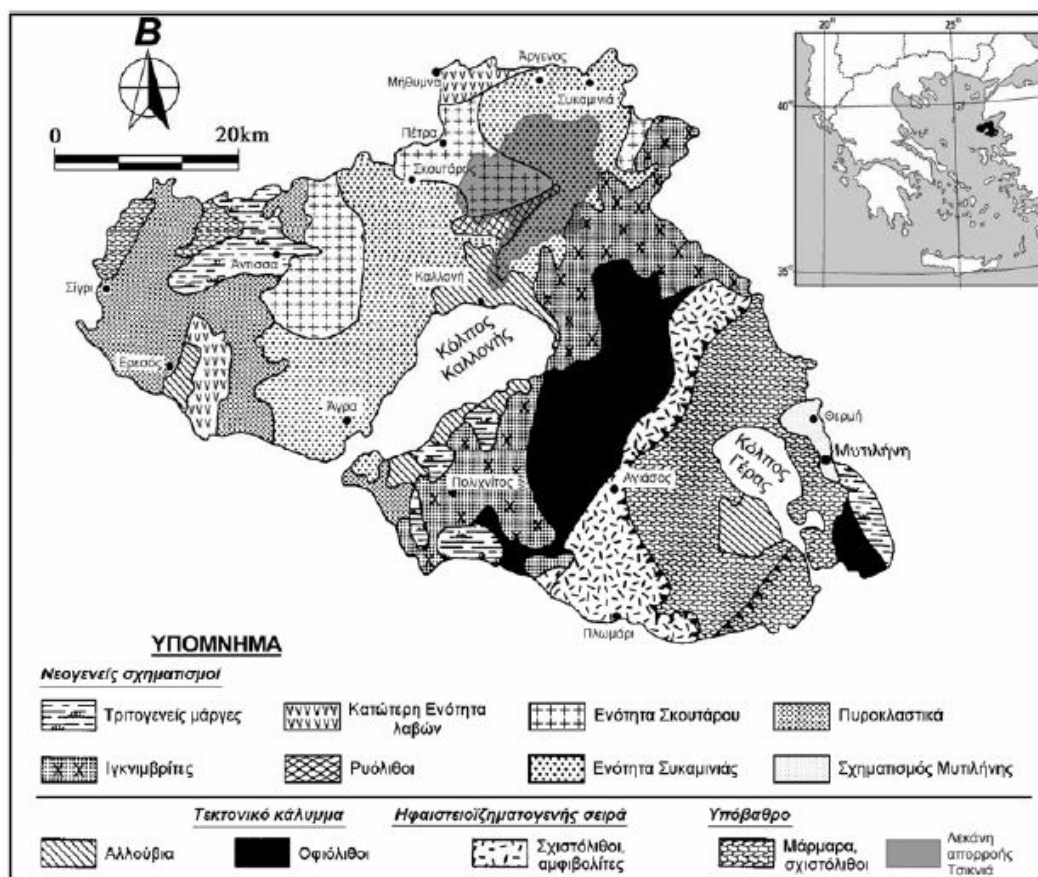
Ενότητα Μυτιλήνης	
Ενότητα Συκαμινιάς	
Ενότητα Σκαλοχωρίου	
Ενότητα Όξινων Ηφαιστιτών	Ιγκνιμβρίτης Πολυχνίτου
	Ρυόλιθοι Κάπης
	Πυροκλαστικά Σιγρίου
Ενότητα Σκουτάρου	
Ενότητα Ερεσσού	
Ενότητα Κατωτέρων Λαβών	

Εικόνα 4.1: Σχηματική στρωματογραφική στήλη των ηφαιστειακών πετρωμάτων της Λέσβου (Λαμέρα, 2004)

Από τις παραπάνω ενότητες, αυτές που συναντώνται στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά είναι (Καρύμπαλης κ.α., 2004) (Λαμέρα, 2004):

- Η ενότητα κατώτερων λαβών, στο νότιο τμήμα της λεκάνης κοντά στην Αγία Παρασκευή, αποτελείται από ανδσειτικές, λατιτανδσειτικές δακτιτικές και βασαλτικές λάβες, κατά βάση εξαλλοιωμένες, στις οποίες παρεμβάλλονται τόφφοι και πυροκλαστικά λατυτοπαγή.
- Η ενότητα όξινων ηφαιστιτών, που αντιπροσωπεύεται από τις υελώδεις λάβες βόρεια της Καλλονής, τα ιγκνιμβριτικά καλύμματα που καλύπτουν μικρό τμήμα στο νοτιοανατολικό τμήμα της λεκάνης καθώς και τους τόφφους με τις πυροκλαστικές αποθέσεις.
- Η ενότητα Σκουτάρου, αποτελούμενη κυρίως από βασαλτικές, ανδσειτικές και λατιτανδσειτικές λάβες.
- Η ανώτερη ενότητα λαβών ή ενότητα Συκαμινιάς, που εντοπίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και συνίσταται κυρίως από δακίτες, λατίτες και λατιτικούς ανδσειτές.

Η εξάπλωση των πετρωμάτων στη λεκάνη απορροής φαίνεται και στον παρακάτω Χάρτη 4.4, όπου γραμμοσκιασμένη παρουσιάζεται και η λεκάνη απορροής του Τσικνιά.



Χάρτης 4.4: Γεωλογικός χάρτης Λέσβου, (Καρύμπαλης κ.α., 2004)

Αξιοσημείωτο είναι πως τα ηφαιστειακά πετρώματα που εμφανίζονται στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά, εμφανίζουν κατά θέσεις έντονη υδροθερμική εξαλλοίωση, με αποτέλεσμα το σχηματισμό

εκτεταμένων ζωνών καολινιτίωσης, όπως αυτές της Στύψης, της Πελόπης, της Καλλονής κ.α. (Καρύμπαλης κ.α., 2004). Αποτέλεσμα επίσης αυτής της υδροθερμικής δραστηριότητας, που έλαβε χώρα μετά την εκδήλωση της ηφαιστειότητας είναι η ανάπτυξη μεταλλοφόρων εμφανίσεων, που φιλοξενούνται μέσα σε χαλαζιακές φλέβες, με πιο χαρακτηριστική τη μεταλλοφορία σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, μολυβδαινίτη αλλά και χρυσού και αργύρου στη Στύψη (Βαμβουκάκης, 2009).

4.5 Φράγμα Τσικνιά

Το φράγμα Τσικνιά προβλέπεται να κατασκευαστεί σε φυσική στένωση της κοίτης του χειμάρρου, με εκτιμώμενο ύψος τα 38 m, ταμιευτήρα χωρητικότητας 12~12,5 hm³. Παράλληλα, καθώς το έργο αναμένεται να καλύψει υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες, προβλέπεται εγκατάσταση επεξεργασίας νερού (ΕΕΝ) πλησίον του φράγματος, κατασκευή τεσσάρων δεξαμενών χωρητικότητας 300, 500, 3.000 και 3.500 m³, και αγωγών προσαγωγής του επεξεργασμένου νερού προς τη Μυτιλήνη (41,7 km), την Αγία Παρασκευή (8,5 km) και την Καλλονή (3,7 km).

5. Εφαρμογή Μεθόδων – Αποτελέσματα

5.1 Γενικά

Οι δύο μέθοδοι που επιλέχθηκαν για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης είναι η RUSLE και Gavrilovic. Η έκταση που εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι αριθμεί 81,93 km² και αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής του Τσικνιά, από τις παρυφές του υδροκρίτη μέχρι και το σημείο κατασκευής του ομώνυμου φράγματος.

Για την εκτίμηση της στερεοαπορροής χρησιμοποιήθηκε η σχέση του Vanoni (1975), ως η αντιπροσωπευτικότερη των σχέσεων $SDR \sim A$. Δοκιμάστηκε, για λόγους πληρότητας και μια εκτίμηση στερεοαπορροής με χρήση της σχέσης των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1987).

Για την εκτίμηση του όγκου των αποθέσεων και του νεκρού όγκου των αποθέσεων ακολουθήθηκε η μεθοδολογία των Lara and Pemberton (1963) και η σχέση του Miller (1953).

5.2 Μέθοδος RUSLE

5.2.1 Συντελεστής Διαβρωτικότητας Βροχόπτωσης – R

Αναλυτικός υπολογισμός R

Βασικός προσανατολισμός της εφαρμογής της RUSLE στην παρούσα εργασία αποτελεί η εστίαση στην επίδραση του παράγοντα της βροχόπτωσης στα αποτελέσματα της μεθόδου και στην παραγωγή εδαφικής απώλειας. Στο πλαίσιο αυτό διεξάγεται ο αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R.

Τα δεδομένα που αξιοποιούνται για το σκοπό είναι μετρήσεις βροχογράφου σε χρονική διακριτότητα 5λέπτου από το σταθμό του αεροδρομίου της Μυτιλήνης για την χρονική περίοδο 1988-89 έως 2007-2008. Για τα 19 έτη διαθέσιμων μετρήσεων ο αναλυτικός υπολογισμός ολοκληρώθηκε σε 12 εξ αυτών, που παρουσιάζουν πληρότητα στοιχείων καταγραφής των επεισοδίων βροχόπτωσης. Ένα χαρακτηριστικό δείγμα έντυπου επεξεργασίας ταινιών βροχογράφου που αξιοποιήθηκε για τους αναλυτικούς υπολογισμούς παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.1.

Η ανάλυση των υπολογισμών σε χρονική διακριτότητα τόσο μικρής διάρκειας (5λέπτου), συνδράμει αποφασιστικά στον κατά το δυνατόν πληρέστερο προσδιορισμό της ενέργειας της βροχόπτωσης και συνεπώς και του συντελεστή διαβρωτικότητας R.

Πίνακας 5.1: Έτη αναλυτικών υπολογισμών και μέση ετήσια βροχόπτωση

Έτος	P_{ET} (mm)
1988-89	495,4
1991-92	318,8
1992-93	526,9
1994-95	807,4
1995-96	508,6
1996-97	520,5
1997-98	915,6
1999-00	465,6
2000-01	504,8
2003-04	513,7
2006-07	237,2
2007-08	640,1
Μέση	537,9

Πίνακας 5.2: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές μηνιαίας και ετήσιας βροχόπτωσης

Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	P_{ET} (mm)
1988-89	0,1	230,8	160,6	0,0	0,0	40,2	3,0	7,4	21,6	0,0	6,5	25,2	495,4
1991-92	42,5	56,3	81,0	0,0	23,8	69,1	19,7	24,6	1,8	0,0	0,0	0,0	318,8
1992-93	18,5	62,5	140,5	44,4	125,7	62,5	54,3	16,9	0,6	0,0	0,0	1,0	526,9
1994-95	87,5	138,2	95,5	187,6	46,6	175,0	56,7	0,1	0,6	5,1	5,1	9,4	807,4
1995-96	8,6	59,7	69,6	27,9	163,7	49,6	61,7	4,9	0,1	0,0	5,5	57,3	508,6
1996-97	9,4	56,7	216,8	42,9	63,1	63,5	64,0	1,5	0,6	0,4	1,6	0,0	520,5
1997-98	74,8	84,7	347,7	105,0	105,0	96,9	15,5	50,3	0,0	8,3	0,0	27,4	915,6
1999-00	30,8	77,1	123,6	33,3	98,2	68,4	33,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	465,6
2000-01	117,6	52,0	32,2	77,3	101,3	4,8	95,9	21,1	0,2	0,0	2,4	0,0	504,8
2003-04	49,9	4,6	73,4	194,3	49,4	24,0	59,5	17,3	41,3	0,0	0,0	0,0	513,7
2006-07	30,5	8,3	11,4	28,9	73,0	50,1	4,3	23,5	7,2	0,0	0,0	0,0	237,2
2007-08	153,0	121,2	155,2	51,5	15,7	35,7	68,8	2,0	1,2	0,0	7,1	28,7	640,1
Μέση	51,9	79,3	125,6	66,1	72,1	61,7	44,7	14,2	6,3	1,2	2,4	12,4	537,9

Για τον αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας R χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις [3.2], [3.3] και [3.4] (Renard and Freimund, 1994), με χρονική διακριτότητα 5λέπτου, όση και του βροχογράφου. Οι τιμές ετήσιου συντελεστή διαβρωτικότητας R για τα 12 έτη παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5.3, με εύρος τιμών από 535,36~2.774,04 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, μέση τιμή R στα **1.449,93** MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, ενώ στον Πίνακα 5.4 περιλαμβάνονται και οι μηνιαίες τιμές

διαβρωτικότητας. Το σύνολο υπολογισμών για ένα από τα έτη –λόγω μεγάλου όγκου δεδομένων- παρουσιάζεται στο Παράρτημα.

Πίνακας 5.3: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές ετήσιου R

Έτος	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ year ⁻¹)
1988-89	1.077,62
1991-92	576,75
1992-93	1.456,03
1994-95	2.406,07
1995-96	816,15
1996-97	1.126,22
1997-98	2.774,04
1999-00	1.275,87
2000-01	2.011,36
2003-04	1.678,41
2006-07	535,36
2007-08	1.665,33
Μέση	1.449,93

Πίνακας 5.4: Έτη αναλυτικών υπολογισμών – τιμές μηνιαίου και ετήσιου R

Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ year ⁻¹)
1988-89	0,0	852,1	217,2	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.077,6
1991-92	197,3	79,5	112,5	0,0	17,1	61,5	12,4	96,5	0,0	0,0	0,0	0,0	576,7
1992-93	52,7	121,7	780,0	3,9	228,6	26,1	243,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.456,0
1994-95	74,1	1400,9	66,2	394,6	40,5	315,7	80,8	0,0	0,0	0,0	0,0	33,2	2.406,1
1995-96	0,0	61,2	225,4	0,0	318,5	22,4	138,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,7	816,2
1996-97	0,0	37,6	473,4	100,2	85,7	333,6	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.126,2
1997-98	285,8	97,7	1553,5	165,7	295,3	132,7	0,0	41,9	0,0	31,0	0,0	170,6	2.774,0
1999-00	53,9	221,6	376,0	0,0	420,3	204,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1.275,9
2000-01	1254,4	68,8	27,8	177,8	265,1	0,0	180,2	37,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2.011,4
2003-04	46,6	0,0	0,0	412,0	20,6	82,3	116,3	19,3	981,4	0,0	0,0	0,0	1.678,4
2006-07	13,8	0,0	0,0	10,7	453,2	57,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	535,4
2007-08	694,5	302,1	494,2	64,8	40,0	0,0	65,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	1.665,3
Μέση	222,8	270,2	360,5	110,8	182,1	103,7	77,6	16,2	81,8	2,6	0,0	21,6	1.449,9

Από την παρουσίαση των μηνιαίων τιμών του R γίνεται εμφανής η μεγάλη διακύμανση που χαρακτηρίζει τον διαβρωτικότητα της βροχόπτωσης, με περιπτώσεις ετών όπου η διαβρωτικότητα ενός μήνα ή και ενός μόνο επεισοδίου βροχόπτωσης μπορεί να αγγίζει ή και να υπερβαίνει το 50% της αντίστοιχης ετήσιας.

Το γεγονός της εξαιρετικής διακύμανσης που διέπει τη διαβρωτικότητα, επιβεβαιώνει τη γενική θεώρηση για τη διαδικασία της στερεομεταφοράς, όπου, ιδιαίτερα σε “μεσογειακού τύπου” λεκάνες απορροής ενυπάρχει το ενδεχόμενο ένα και μόνο ισχυρό πλημμυρικό επεισόδιο να προκαλέσει στερεοαπορροή που αγγίζει τις αντίστοιχες μέσες ετήσιες ποσότητες. Το σχήμα αυτό μεταφέρεται και στο επίπεδο της βροχόπτωσης και του παράγοντα διαβρωτικότητας, όπου αναλόγως παρατηρούνται περιπτώσεις όπου μια και μόνο ισχυρή καταιγίδα μπορεί να διαθέτει ποσότητα ενέργειας και διαβρωτικότητας που να ξεπερνά το 50% (ή και παραπάνω) της συνολικής ετήσιας ενέργειας και διαβρωτικότητας βροχόπτωσης.

Οι τιμές εκτίμησης με αναλυτικό υπολογισμό του R στην παρούσα εργασία, εντάσσονται στα εύρη τιμών που παρουσιάζονται στη βιβλιογραφία για άλλες περιοχές της Μεσογειακής λεκάνης: Για τη λεκάνη απορροής του Έβρου στο ΒΑ τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου οι τιμές του R κυμαίνονται από 1.200~4.500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ στις ορεινές περιοχές και από 40~800 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ στις πεδινές (Angulo-Martínez et al., 2009)· στην Πορτογαλία από 697~3.742 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (de Santos Loureiro and de Azevedo Coutinho, 2001)· στην Ιταλία από 471~3.214 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (Diodato, 2004)· στην κεντρική Ισπανία από 339~818 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (Boellstorff and Benito, 2005)· στη Σικελία από 419~1.124 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (Onori et al., 2006).

Σύγκριση αναλυτικών υπολογισμών με άλλες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του R

Για τις παραπάνω τιμές συντελεστή διαβρωτικότητας που προέκυψαν από τις σχέσεις αναλυτικού υπολογισμού, αναζητήθηκαν συγκρίσεις με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από τη χρήση εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R είτε από τον τροποποιημένο δείκτη Fournier είτε από τη μέση ετήσια βροχόπτωση.

Υπολογίστηκαν, τόσο για τα 12 έτη των αναλυτικών υπολογισμών, όσο και για το σύνολο των ετών διαθέσιμων μηνιαίων μετρήσεων βροχόπτωσης (έτη 1957~2010) τιμές συντελεστή διαβρωτικότητας μέσω των σχέσεων [3.6] (Arnoldus, 1977), [3.7]-[3.8] (Renard and Freimund, 1994) με χρήση του MFI, [3.10] (Ferro et al., 1999) με χρήση του υπερετήσιου F_F, [3,11]-[3,12] (Renard and Freimund, 1994), [3.13] (Rogler and Schwertmann, 1981), [3.14] (Van der Knijff et al., 2000a&b) και [3.15] - (Torri et al.,

2006) με χρήση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης P_{ET} . Στον παρακάτω Πίνακα 5.5 περιέχονται οι τιμές του συντελεστή R με χρήση των εμπειρικών σχέσεων για τα έτη εκτέλεσης αναλυτικών υπολογισμών.

Πίνακας 5.5: Εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του R

Έτος	P_{ET} (mm)	MFI (mm)	Arnoldus (1977)	Renard & Freimund (1994)	Ferro et al (1999)	Van der Knijff et al.(2003)	Rogler & Schwertm ann (1981)	Torri et al (2006)	Renard & Freimund (1994)
1988-89	495,4	165,3	561,0	12.122,7	-	644,0	885,0	581,8	1.054,0
1991-92	318,8	56,1	110,8	1.254,4	-	414,4	1.004,9	37,9	518,3
1992-93	526,9	92,8	236,1	3.640,2	-	685,0	532,8	678,9	1.163,9
1994-95	807,4	132,8	404,0	7.700,4	-	1.049,6	1.580,6	1.542,8	2.314,0
1995-96	508,6	89,8	224,6	3.394,8	-	661,2	1.115,9	622,5	1.099,5
1996-97	520,5	123,5	362,2	6.615,7	-	676,7	185,0	659,1	1.141,3
1997-98	915,6	184,2	660,2	15.167,6	-	1.190,3	2.365,0	1.876,0	2.913,0
1999-00	465,6	83,1	200,0	2.885,4	-	605,3	457,3	490,0	953,8
2000-01	504,8	86,1	211,0	3.110,6	-	656,2	2.076,4	610,8	1.086,3
2003-04	513,7	105,5	286,2	4.766,6	-	667,8	1.591,0	638,2	1.117,4
2006-07	237,2	44,0	76,9	80,1	-	308,4	891,0	-	322,0
2007-08	640,1	112,4	314,8	5.442,4	-	832,1	2.826,8	1.027,5	1.592,2
Μέση	537,9	106,3	304,0	5.515,1	875,5	699,2	1.292,7	796,9	1.273,0

Μέση (1957~2010)	636,6	124,9	383,5	7.570,4	1.131,92	827,5	1.209,7	1.061,9	1.649,6
-----------------------------	--------------	--------------	--------------	----------------	-----------------	--------------	----------------	----------------	----------------

Το Ποσοστιαίο (%) καθώς και το Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα των τιμών που προκύπτουν από τις εμπειρικές σχέσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες των αναλυτικών υπολογισμών παρουσιάζεται από τον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6: Ποσοστιαίο (%) και Μέσο Ποσοστιαίο Σφάλμα τιμών R εμπειρικών σχέσεων σε σχέση με τις τιμές αναλυτικών υπολογισμών

Arnoldus (1977)	Renard & Freimund~MFI (1994)	Ferro et al (1999)	Van der Knijff (2003)	Rogler & Schwertmann (1981)	Torri et al (2006)	Renard & Freimund~P _{ET} (1994)
<i>ΣΧΕΤΙΚΟ(%) ΣΦΑΛΜΑ</i>						
47,94	-1024,95	-	40,24	17,87	46,01	2,20
80,78	-117,49	-	28,14	-74,24	93,43	10,13
83,79	-150,01	-	52,96	63,41	53,38	20,06
83,21	-220,04	-	56,38	34,31	35,88	3,83
72,48	-315,95	-	18,99	-36,73	23,73	-34,72
67,84	-487,42	-	39,92	83,57	41,47	-1,33
76,20	-446,77	-	57,09	14,74	32,37	-5,01
84,32	-126,15	-	52,56	64,16	61,59	25,24
89,51	-54,65	-	67,37	-3,24	69,63	45,99
82,95	-183,99	-	60,21	5,21	61,98	33,43
85,63	85,04	-	42,40	-66,42	139,87	39,85
81,10	-226,81	-	50,03	-69,74	38,30	4,39
<i>ΜΕΣΟ ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΟ ΣΦΑΛΜΑ</i>						
77,98	-272,43	39,61	47,19	2,74	58,14	12,00

Το συμπέρασμα που προκύπτουν από την παρουσίαση των μεγεθών διαβρωτικότητας R και των αντίστοιχων σφαλμάτων συνοψίζονται παρακάτω:

- Στο μεγαλύτερο μέρος των αποτελεσμάτων και για τις πέντε από τις έξι εμπειρικές σχέσεις παρουσιάζεται σημαντική υποεκτίμηση σε σχέση με τους αναλυτικούς υπολογισμούς, γεγονός που επιβεβαιώνει και τις επισημάνσεις της RUSLE (Renard and Freimund, 1994)
- Η σχέση των Renard and Freimund (1994) με χρήση του MFI είναι η μόνη που παρουσιάζει σημαντική υπερεκτίμηση και ταυτόχρονα με διαφορά τη μεγαλύτερη απόκλιση από τα αποτελέσματα των αναλυτικών υπολογισμών
- Οι δύο σχέσεις με την καλύτερη προσέγγιση στις αναλυτικές τιμές είναι αυτή των Renard and Freimund (1994) με χρήση του P_{ET} και ακόμα περισσότερο η σχέση των Rogler and Schwertmann (1981)
- Η σχέση των Rogler and Schwertmann (1981), παρουσιάζει μεν καλή προσέγγιση με τις αναλυτικά υπολογισμένες τιμές, όμως λόγω της δομής της –εκτίμηση του R με χρήση αποκλειστικά των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης Μαΐου-Οκτωβρίου- ενδεχόμενα να οδηγεί σε υποεκτιμήσεις της διαβρωτικότητας σε περιπτώσεις υψηλότερων μηνιαίων τιμών R κατά τους χειμερινούς μήνες. Έτσι, λόγω και της σοβαρής απόστασης –από άποψη υδρολογικών

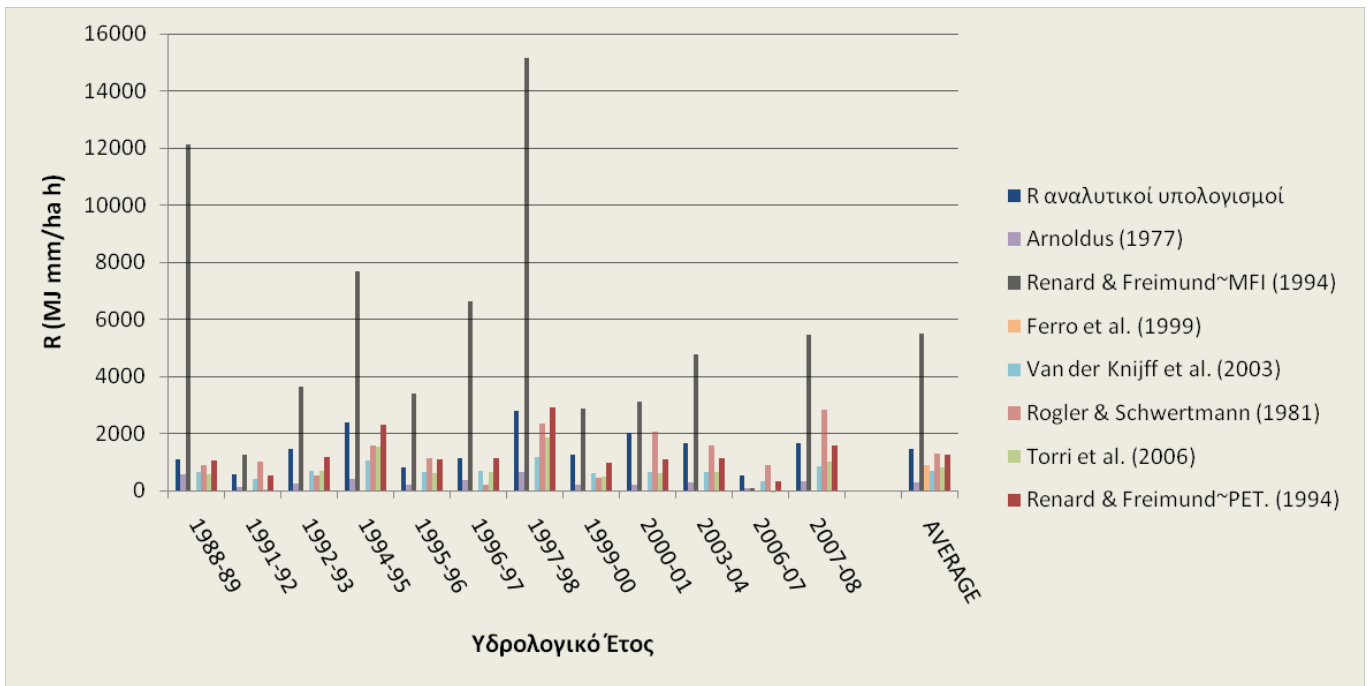
συνθηκών- που χωρίζει τις περιοχές που προέκυψε η σχέση (Βαυαρία) από τις Ελληνικές, προτείνεται η σχέση να εφαρμόζεται με κάθε επιφύλαξη. Στα πλαίσια της εργασίας, λόγω της ήδη αναφερθείσας καλής προσέγγισής της με το αναλυτικά υπολογισμένο R, η σχέση χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, πάντα στο έδαφος των επισημάνσεων που διατυπώθηκαν

- Οι σχέσεις εκτίμησης του τύπου $R \sim MFI$ όπως αυτή του Arnoldus (1977) δεν καταφέρνουν – όπως αναμενόταν- να προσεγγίσουν καλύτερα το R σε σχέση με αυτές του τύπου $R \sim P_{ET}$. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις που εμφανίζουν υποδεικνύουν την ευαισθησία τους στις ιδιαίτερες μηνιαίες μεταβολές κάθε καθεστώτος βροχόπτωσης. Έτσι, το εν δυνάμει προτέρημα της πιο λεπτομερούς και αντιπροσωπευτικής καταγραφής της διαβρωτικότητας με χρήση του τροποποιημένου δείκτη Fournier που εισάγει την επιρροή των μηνιαίων μεταβολών του καθεστώτος βροχής, μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μειονέκτημα όταν οι σχέσεις αυτού του τύπου εφαρμόζονται σε περιοχές με διαφορετικά καθεστώτα βροχόπτωσης από τα αντίστοιχα που έχουν προκύψει. Οι σχέσεις αυτού του τύπου στις περιπτώσεις που επιλέγονται, θα πρέπει να εφαρμόζονται με τη μέγιστη επιφυλακτικότητα

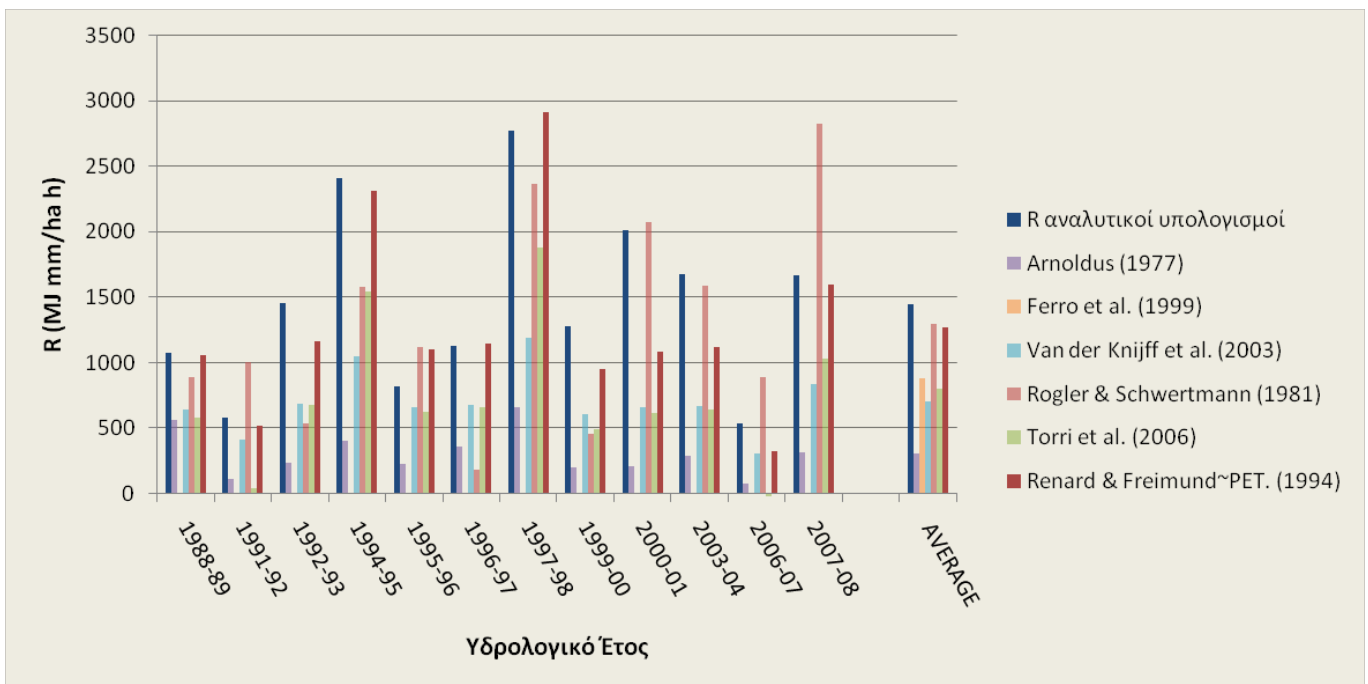
Στην προκειμένη περίπτωση, με εξέταση και των αναλυτικών –ανά επεισόδιο βροχόπτωσης- υπολογισμών του R, διαπιστώνονται περιπτώσεις γεγονότων βροχής με ιδιαίτερα υψηλά μεγέθη τόσο ενέργειας, όσο και έντασης βροχόπτωσης, επομένως το καθεστώς βροχοπτώσεων στην περιοχή μπορεί να χαρακτηριστεί ως άκρως ανομοιογενές και με υψηλές διακυμάνσεις ποσοτήτων ενέργειας και εντάσεων βροχής. Έτσι, με φαινομενικά χαμηλές ετήσιες και μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης προκύπτουν υψηλές τιμές συντελεστή διαβρωτικότητας

- Σε συνέχεια των παραπάνω, οι σχέσεις $R \sim P_{ET}$ πρέπει να προτιμώνται έναντι των $R \sim MFI$. Μπορεί μιν να αποτελούν (τον) πιο γενικό τρόπο συσχέτισης της διαβρωτικότητας με τη βροχόπτωση, όμως αυτή η γενικότητα μάλλον αποτελεί προτέρημα στο χειρισμό ενός μεγέθους τόσο στοχαστικού όπως η βροχόπτωση
- Στην πλειονότητα των περιοχών του Ελλαδικού χώρου –κατά βάση Ανατολικά της οροσειράς της Πίνδου-, τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά και το καθεστώς βροχοπτώσεων (ενέργεια-ένταση βροχής) προσομοιάζουν με αυτά της περιοχής μελέτης. Έτσι, στην περίπτωση εκτίμησης του R από εμπειρικές σχέσεις, προτείνεται οι προκύπτουσες τιμές R να πολλαπλασιάζονται με έναν αυξητικό συντελεστή της τάξης του 1,2~1,3 υπέρ της ασφαλείας, για απομείωση των ενδεχόμενων υποεκτιμήσεων

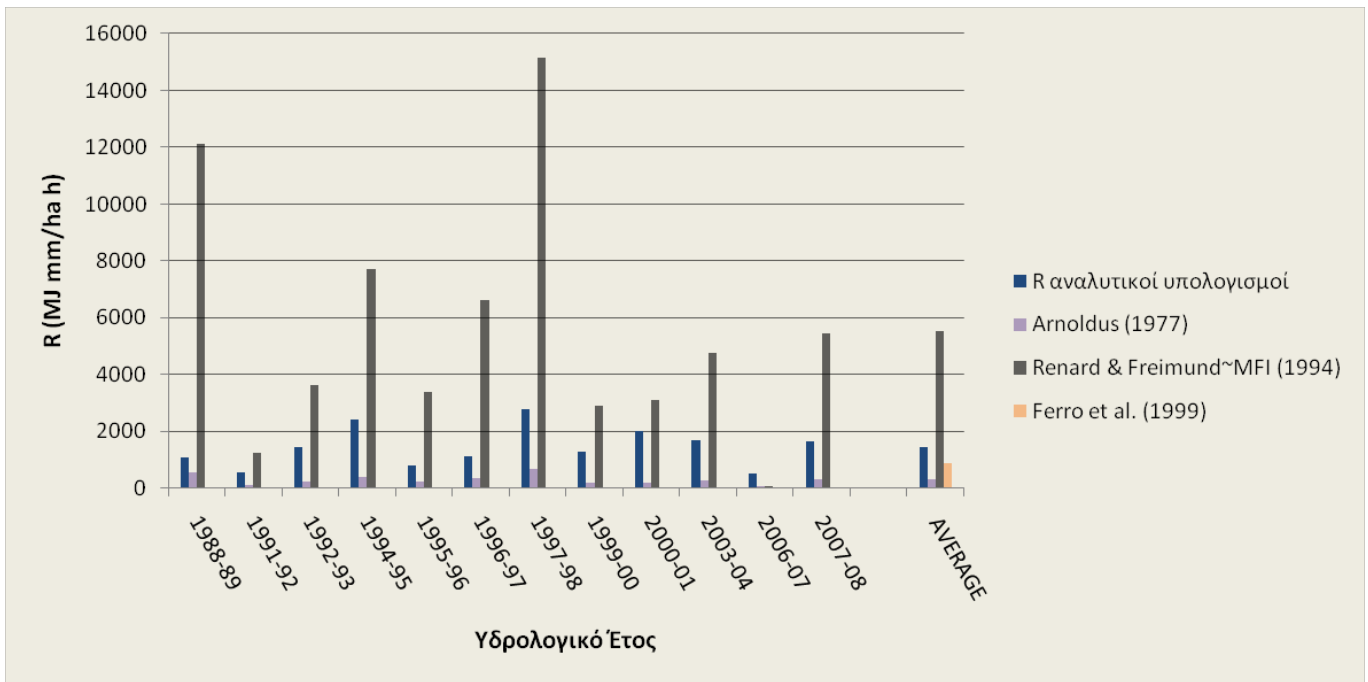
Η σύγκριση που προέκυψε παριστάνεται στα παρακάτω Γραφήματα 5.1~5.7.



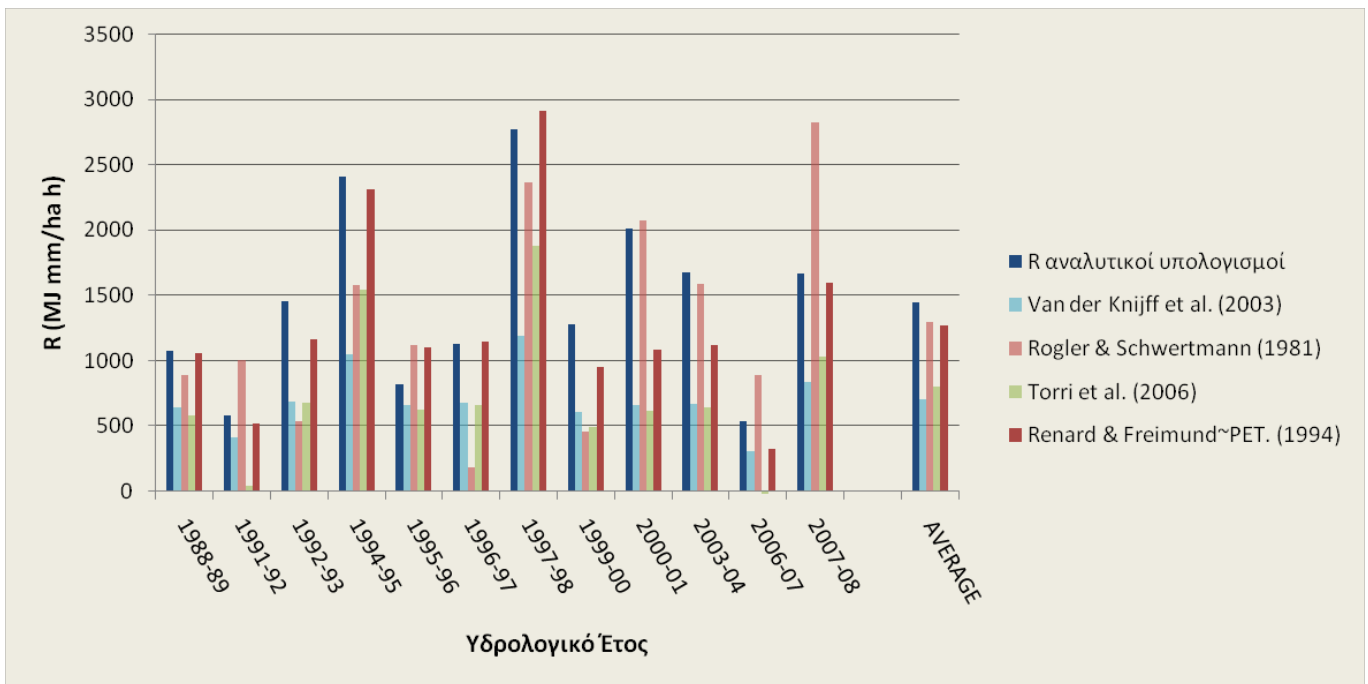
Γράφημα 5.1: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων



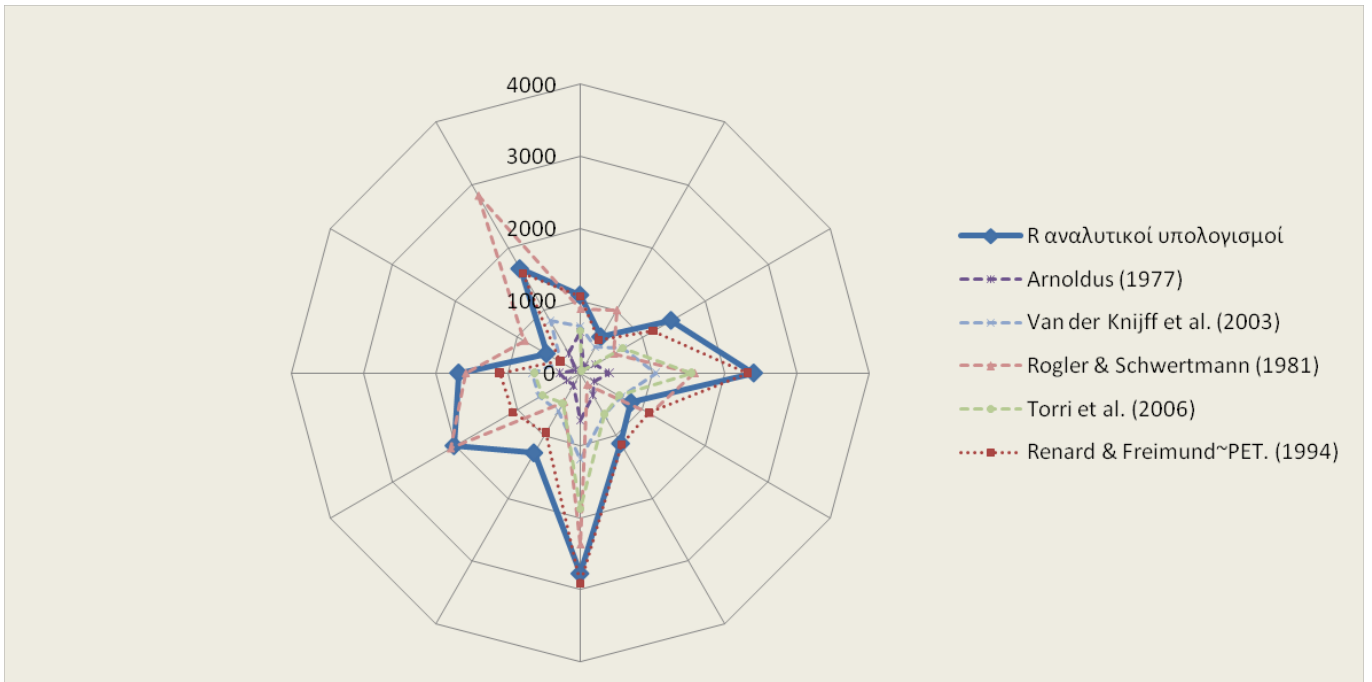
Γράφημα 5.2: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων εξαιρούμενης της σχέσης Renard and Freimund (1994)-R~MFI



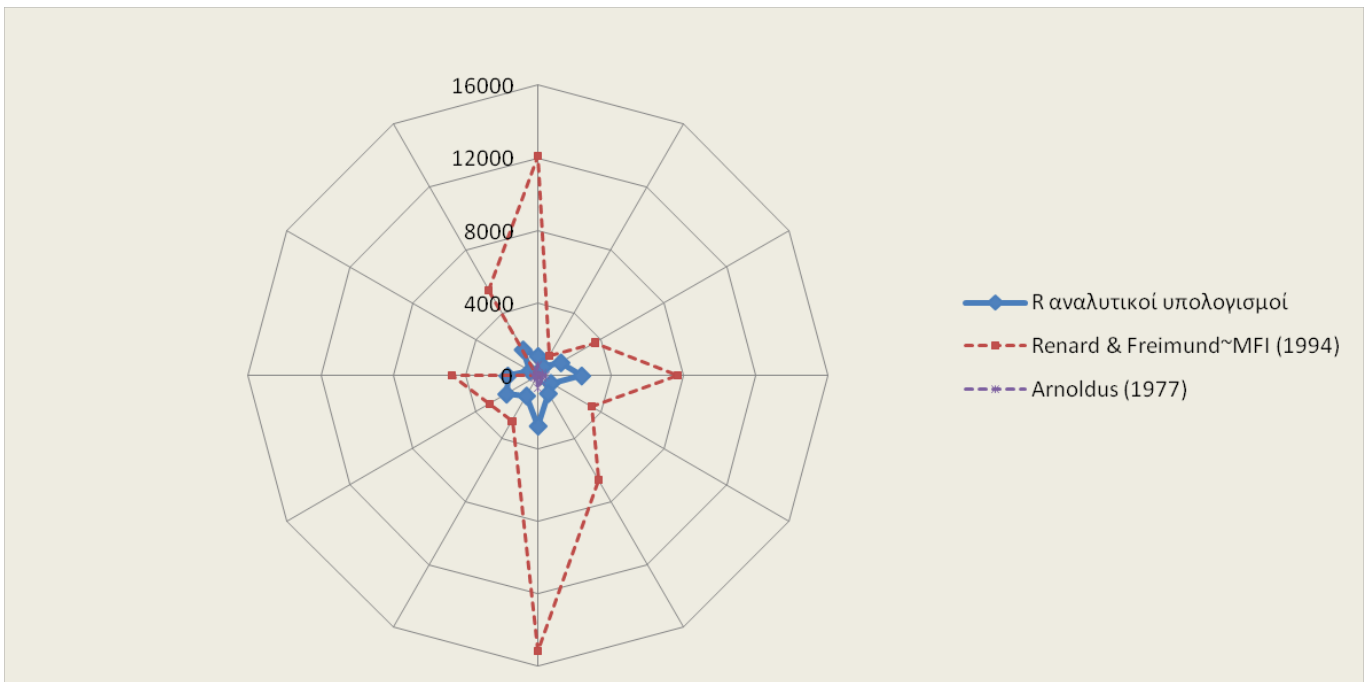
Γράφημα 5.3: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~MFI



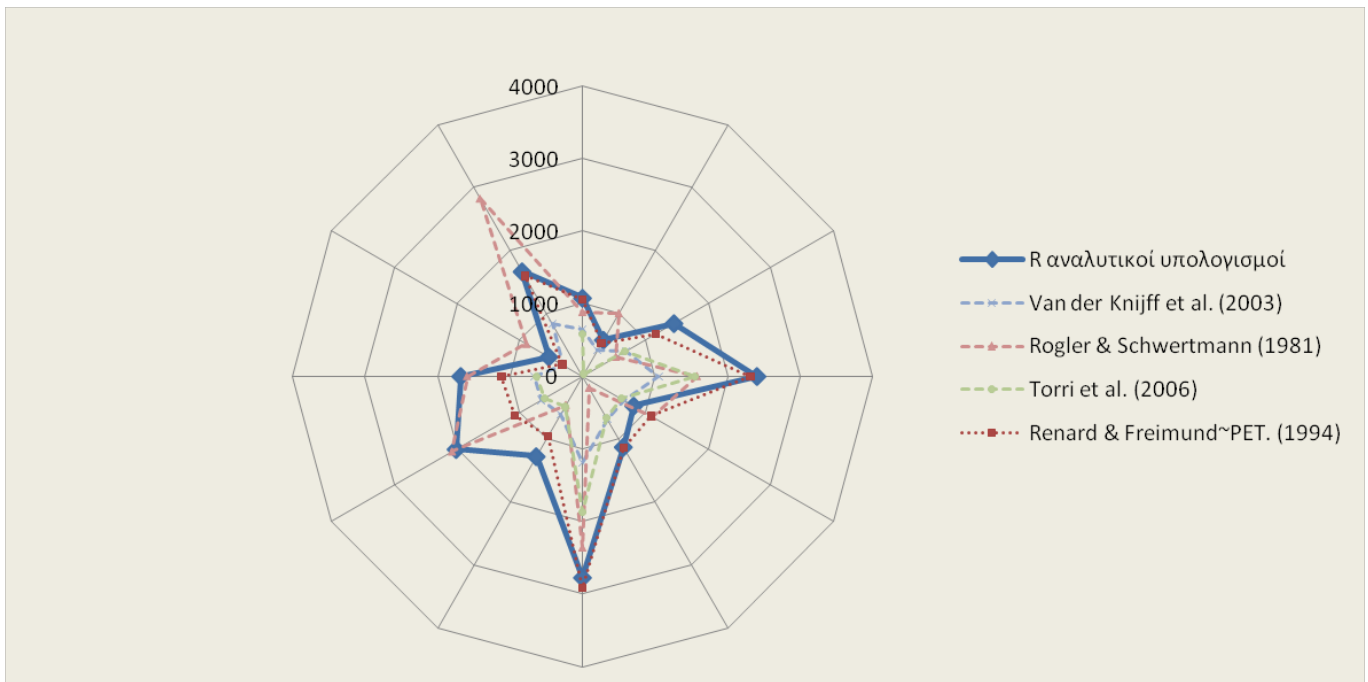
Γράφημα 5.4: Σύγκριση συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~PET.



Γράφημα 5.5: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με το σύνολο των εμπειρικών σχέσεων εξαιρούμενης της σχέσης Renard and Freimund (1994)~MFI



Γράφημα 5.6: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις R~MFI



Γράφημα 5.7: Αραχνοειδές διάγραμμα σύγκρισης συντελεστή R αναλυτικών υπολογισμών με τις εμπειρικές σχέσεις $R \sim P_{ET}$.

Εξαγωγή εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R

Με τον υπολογισμό και την ύπαρξη τιμών συντελεστή διαβρωτικότητας από αναλυτικό υπολογισμό, υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής συσχετίσεων του R είτε με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier MFI είτε με την ετήσια βροχόπτωση P_{ET} . Οι εξαγόμενες σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί άλλων αντίστοιχων -που παρουσιάστηκαν παραπάνω- για την εκτίμηση της διαβρωτικότητας σε περιοχές πλησίον της περιοχής διεξαγωγής των αναλυτικών υπολογισμών και για βροχομετρικά δεδομένα σταθμών των περιοχών ενδιαφέροντος.

Επισημαίνεται εξ αρχής πως για την εξασφάλιση ενός επιπέδου αξιοπιστίας στην εξαγωγή εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R από δεδομένα αναλυτικών υπολογισμών του δείκτη, συνίσταται η ύπαρξη αναλυτικών δεδομένων χρονικής εμβέλειας >20ετών και από όσες το δυνατόν περισσότερες τοποθεσίες.

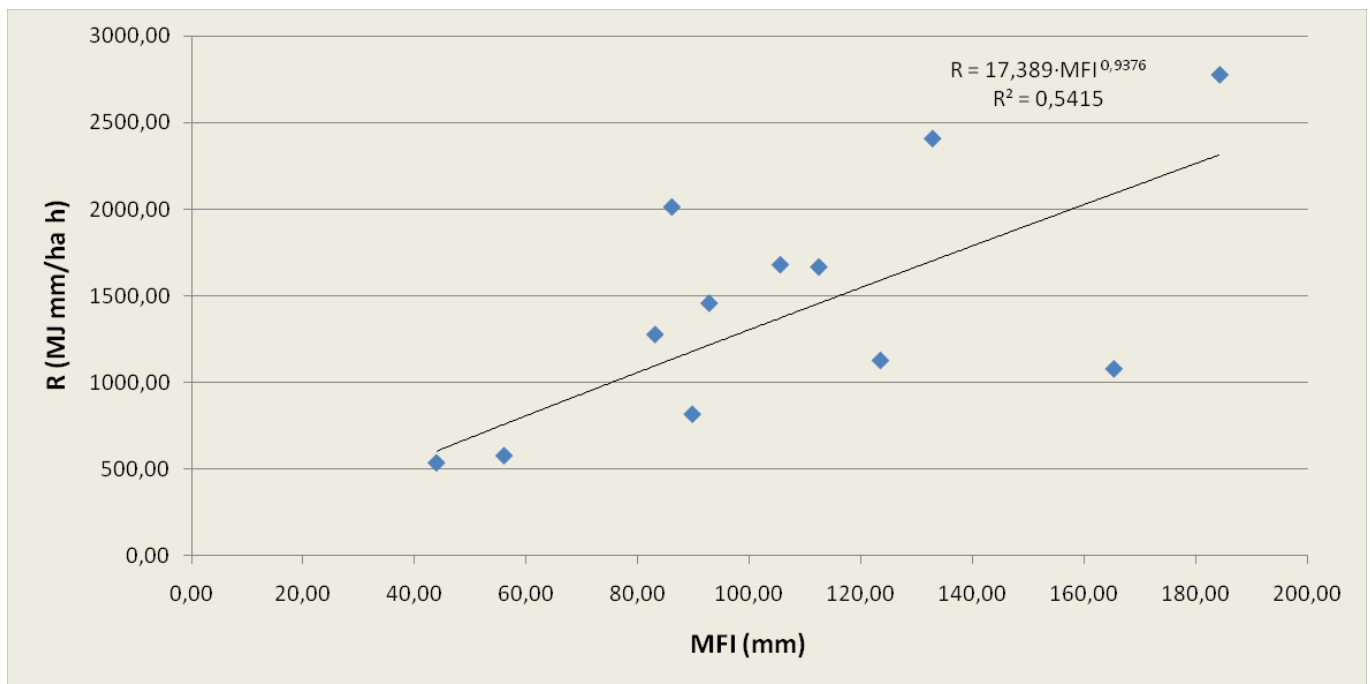
Έτσι η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω, με την εξαγωγή και χρήση εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R, είναι ενδεικτική της μεθοδολογίας που μπορεί να ακολουθείται στις περιπτώσεις χρονικά και χωρικά επαρκών δεδομένων βροχογράφου με τον καταρχήν αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας, το μετέπειτα σχηματισμό εμπειρικών σχέσεων και τελικά την εφαρμογή τους για την εκτίμηση του R σε κοντινές ή με κοινά κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχές.

Στο σύνολο του ελληνικού χώρου το έλλειμμα αναλυτικών δεδομένων βροχογράφου είναι σύνηθες, με συνέπεια την αδυναμία διεξαγωγής αναλυτικών υπολογισμών της διαβρωτικότητας και τη μετέπειτα κατάστρωση εμπειρικών συσχετίσεων.

Παρά το ότι το χρονικό και χωρικό εύρος των αναλυτικών υπολογισμών της εργασίας δεν κρίνεται επαρκές -12 έτη αναλυτικών υπολογισμών από ένα σταθμό-, επιχειρείται η εξαγωγή εμπειρικών συσχετίσεων εκτίμησης του R, για την αξιοποίησή τους στην εκτίμηση μεγεθών διαβρωτικότητας σε κοντινές -από άποψη απόστασης και κλιματικών συνθηκών- περιοχές ενδιαφέροντος.

Συσχετίζοντας τον αναλυτικά υπολογισμένο ετήσιο συντελεστή διαβρωτικότητας με τον τροποποιημένο ετήσιο δείκτη Fournier MFI των αντίστοιχων ετών προκύπτει η παρακάτω σχέση, με τα ζεύγη τιμών να απεικονίζονται και στο Γράφημα 5.8.

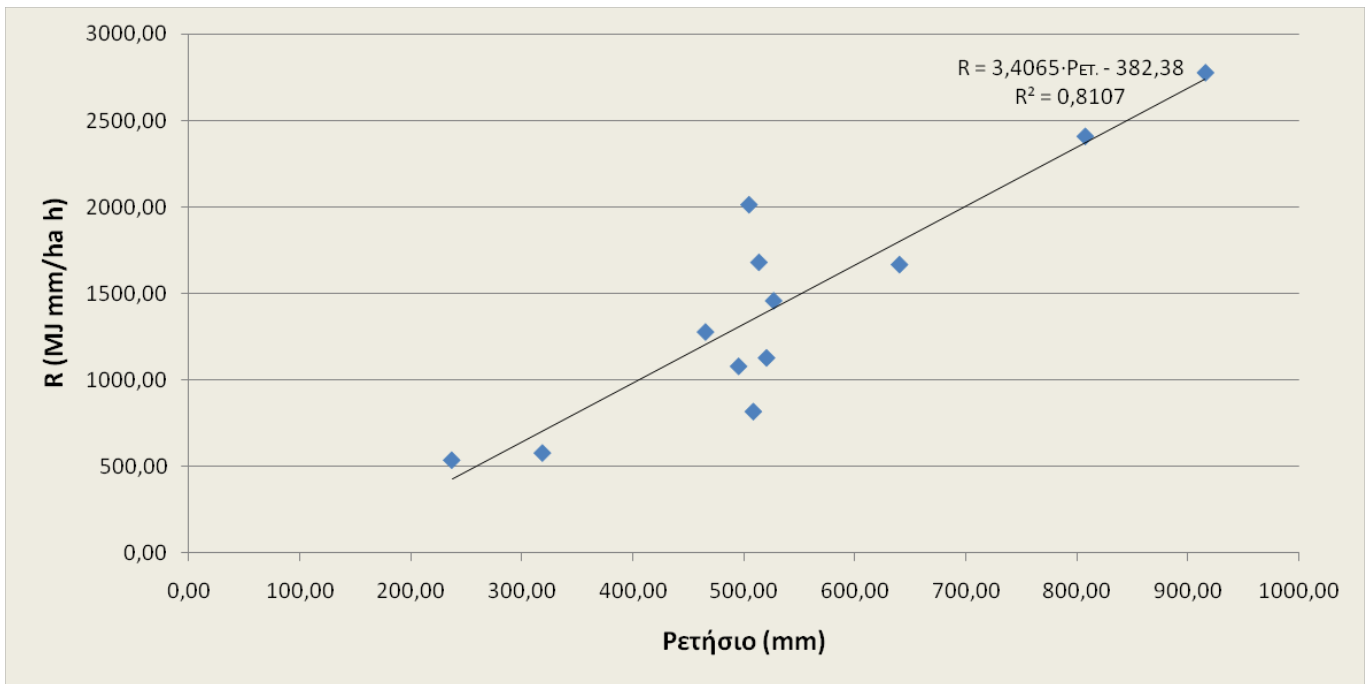
$$R = 17.34 \cdot MFI^{0.9376} \quad [5.1]$$



Γράφημα 5.8: Συσχέτιση αναλυτικά υπολογισμένου R με τον τροποποιημένο δείκτη Fournier MFI

Επίσης, συσχετίζοντας τον αναλυτικά υπολογισμένο ετήσιο συντελεστή διαβρωτικότητας με την ετήσια βροχόπτωση P_{ET} , προκύπτει η παρακάτω σχέση, με τα ζεύγη τιμών να απεικονίζονται και στο Γράφημα 5.9.

$$R = 3.41 \cdot P_{ET} - 382.4 \quad [5.2]$$



Γράφημα 5.9: Συσχέτιση αναλυτικά υπολογισμένου R με την ετήσια βροχόπτωση P_{ET} .

Μέσω των παραπάνω σχέσεων είναι δυνατό να επιχειρηθεί μια επέκταση της εκτίμησης του R για το σύνολο της χρονοσειράς (1957~2010) δεδομένων μηνιαίας τιμής βροχόπτωσης στο σταθμό του αεροδρομίου της Μυτιλήνης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7, με τον ετήσιο συντελεστή διαβρωτικότητας να εκτιμάται συναρτήσει του MFI –σχέση [5.1] και του P_{ET} -σχέση [5.2]. Τα εύρη τιμών είναι 602,8~2.702,6 και 426,5~3.051,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ και τη μέση τιμή του να διαμορφώνεται στα **1.600,9** και **1.788,3** MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹.

Πίνακας 5.7: Εκτίμηση R από εμπειρικές συσχετίσεις στο σύνολο της χρονοσειράς μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης σταθμού αεροδρομίου Μυτιλήνης

Έτος	MFI	$R \sim_{MFI}$	P_{ET}	$R \sim P_{ET}$	Έτος	MFI	$R \sim_{MFI}$	P_{ET}	$R \sim P_{ET}$
1957-58	88,7	1.165,1	504,3	1.337,3	1984-85	93,8	1.228,0	463,1	1.196,8
1958-59	87,1	1.145,3	499,1	1.319,5	1985-86	111,8	1.447,2	545,4	1.477,4
1959-60	133,8	1.712,9	691,4	1.975,3	1986-87	111,6	1.444,0	607,8	1.690,2
1960-61	217,6	2.702,6	892,2	2.660,0	1987-88	95,9	1.253,6	561,4	1.532,0
1961-62	95,6	1.249,7	621,0	1.735,2	1988-89	165,3	2.088,2	495,4	1.306,9
1962-63	208,3	2.594,1	866,8	2.573,4	1989-90	57,3	772,9	285,8	592,2
1963-64	105,2	1.367,1	626,1	1.752,6	1990-91	133,6	1.710,6	566,7	1.550,0
1964-65	172,7	2.175,8	769,9	2.243,0	1991-92	56,1	757,4	318,8	704,7
1965-66	145,8	1.856,2	755,8	2.194,9	1992-93	92,8	1.215,2	526,9	1.414,3
1966-67	193,6	2.422,4	766,4	2.231,0	1993-94	101,0	1.315,6	524,7	1.406,8
1967-68	183,0	2.296,9	719,9	2.072,5	1994-95	132,8	1.700,6	807,4	2.370,8
1968-69	101,9	1.326,8	607,5	1.689,2	1995-96	89,8	1.178,0	508,6	1.351,9
1969-70	190,1	2.381,1	757,6	2.201,0	1996-97	123,5	1.588,2	520,5	1.392,5
1970-71	114,3	1.477,5	753,4	2.186,7	1997-98	184,2	2.312,0	915,6	2.739,8
1971-72	105,8	1.373,8	609,2	1.695,0	1998-99	154,3	1.957,5	828,7	2.443,5
1972-73	131,0	1.678,8	656,5	1.856,3	1999-00	83,1	1.095,7	465,6	1.205,3
1973-74	71,5	951,6	391,4	952,3	2000-01	86,1	1.133,0	504,8	1.339,0
1974-75	163,2	2.062,9	1.007,0	3.051,5	2001-02	179,7	2.258,6	767,9	2.236,1
1975-76	101,6	1.323,0	674,0	1.915,9	2002-03	148,2	1.884,7	949,0	2.853,7
1976-77	137,1	1.752,6	712,0	2.045,5	2003-04	105,5	1.370,9	513,7	1.369,3
1977-78	121,0	1.559,1	811,7	2.385,5	2004-05	102,2	1.330,5	497,2	1.313,1
1978-79	125,9	1.617,9	557,1	1.517,3	2005-06	67,0	895,8	432,8	1.093,4
1979-80	127,9	1.641,2	759,4	2.207,2	2006-07	44,0	602,8	237,2	426,5
1980-81	160,0	2.025,6	635,6	1.785,0	2007-08	112,4	1.454,8	640,1	1.800,3
1981-82	191,8	2.400,7	889,9	2.652,2	2008-09	119,2	1.536,2	648,8	1.830,0
1982-83	79,1	1.045,7	398,1	975,1	2009-10	155,2	1.968,4	721,9	2.079,3
1983-84	161,4	2.042,3	948,4	2.851,6	Μέση	124,9	1.600,9	636,6	1.788,3

Οι εμπειρικές συσχετίσεις [5.1] και [5.2] μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί άλλων εμπειρικών σχέσεων που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 3.1.1 για την εκτίμηση του R σε γειτονικούς σταθμούς που δε διαθέτουν αναλυτικά στοιχεία βροχογράφου αλλά μόνο χρονοσειρές μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης. Εν προκειμένω η εκτίμηση γίνεται για τους σταθμούς της Αγίας Παρασκευής (υψόμετρο 95 m) και της Στύψης (υψόμετρο 610 m), που τοποθετούνται εντός της λεκάνης απορροής του Τσικνιά στο πεδινό και ορεινό αντίστοιχα τμήμα της. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια εικόνα για τη διακύμανση του R στην άμεση περιοχή κατασκευής του φράγματος του Τσικνιά, διατηρώντας ως πρωτογενή πληροφορία τον αναλυτικό υπολογισμό του R.

Όπως παρατηρείται στον παρακάτω Πίνακα 5.8, ο σταθμός της Αγ. Παρασκευής (χρονοσειρά διαθέσιμων δεδομένων 1986~2010) παρουσιάζει καθεστώς βροχοπτώσεων παρεμφερές με του αεροδρομίου της Μυτιλήνης, ενώ αυτός της Στύψης (χρονοσειρά διαθέσιμων δεδομένων 1998~2010), λόγω και του καθαρά ορεινού του χαρακτήρα εμφανίζει αισθητά υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης. Αυτές οι συνθήκες προβάλλονται και σε αντίστοιχη μεταβολή του εκτιμημένου συντελεστή διαβρωτικότητας των δύο περιοχών.

Πίνακας 5.8: Εκτίμηση R από εμπειρικές συσχετίσεις της εργασίας - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης

Σταθμός Αγ. Παρασκευής					Σταθμός Στύψης				
Έτος	MFI	R_{MFI}	P_{ET}	$R_{P_{ET}}$	Έτος	MFI	R_{MFI}	P_{ET}	$R_{P_{ET}}$
1986-87	95,8	1.252,4	584,5	1.610,7	1998-99	171,8	2.165,0	998,7	3.023,2
1987-88	104,7	1.360,8	594,5	1.644,8	1999-00	100,0	1.303,3	692,0	1.977,3
1988-89	193,4	2.419,5	485,0	1.271,5	2000-01	104,7	1.360,7	641,5	1.805,1
1989-90	60,4	811,8	293,5	618,4	2001-02	226,1	2.801,6	1.315,0	4.101,8
1990-91	128,1	1.643,6	627,5	1.757,4	2002-03	174,4	2.196,4	987,7	2.985,7
1991-92	72,0	957,6	358,5	840,1	2003-04	256,1	3.149,0	907,1	2.710,8
1992-93	96,9	1.265,4	580,5	1.597,1	2004-05	205,2	2.558,0	1.067,7	3.258,5
1993-94	127,4	1.636,1	737,5	2.132,5	2005-06	233,9	2.892,1	1.038,9	3.160,2
1994-95	165,5	2.090,8	1059,5	3.230,5	2006-07	96,1	1.255,4	614,4	1.712,7
1995-96	108,9	1.412,0	578,0	1.588,6	2007-08	141,3	1.802,4	718,5	2.067,7
1996-97	115,6	1.493,0	608,0	1.690,9	2008-09	163,4	2.065,7	1.132,4	3.479,1
1997-98	179,3	2.253,9	1.079,5	3.298,7	2009-10	272,1	3.333,2	1.346,2	4.208,1
1999-00	96,9	1.265,3	483,0	1.264,6	Μέση	178,8	2.240,2	955,0	2.874,2
2000-01	71,0	945,7	403,2	992,5					
2001-02	209,9	2.613,1	1.036,5	3.152,1					
2002-03	111,6	1.445,0	728,0	2.100,1					
2003-04	224,3	2.780,2	797,5	2.337,1					
2004-05	136,8	1.748,3	624,5	1.747,1					
2005-06	160,6	2.032,9	764,0	2.222,8					
2006-07	78,2	1.034,5	410,0	1.015,7					
2007-08	96,7	1.262,7	586,0	1.615,9					
2008-09	118,2	1.524,5	772,0	2.250,1					
2009-10	171,9	2.166,6	928,0	2.782,1					
Μέση	128,0	1.637,6	664,9	1.884,9					

Με απλή παρεμβολή - για τα έτη κοινών μετρήσεων - μεταξύ των μέσων τιμών ετήσιας διαβρωτικότητας για τους δύο σταθμούς προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.9, με εύρη τιμών 1.144,9~2.964,6 και 1.364,2~3.626,9 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ και μέσες τιμές **1.982,9** (~MFI) και **2.435,2** (~P_{ET}) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹.

Πίνακας 5.9: Παρεμβολή – για τα κοινά έτη μετρήσεων – τιμών R από εμπειρικές συσχετίσεις της εργασίας - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης

Έτος	$R \sim_{MFI}$	$R \sim_{PET}$
1998-99	2.026,5	2.749,2
1999-00	1.284,3	1.621,0
2000-01	1.153,2	1.398,8
2001-02	2.707,4	3.626,9
2002-03	1.820,7	2.542,9
2003-04	2.964,6	2.523,9
2004-05	2.153,2	2.502,8
2005-06	2.462,5	2.691,5
2006-07	1.144,9	1.364,2
2007-08	1.532,5	1.841,8
2008-09	1.795,1	2.864,6
2009-10	2.749,9	3.495,1
Μέση	1.982,9	2.435,2

Με γνώμονα τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις συγκρίσεις του αναλυτικά υπολογισμένου R με τα αποτελέσματα άλλων εμπειρικών σχέσεων, είναι χρήσιμο να εκτιμηθούν οι ετήσιες τιμές διαβρωτικότητας στους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Στύψης με χρήση των σχέσεων Renard and Freimund (1994) με χρήση του P_{ET} και Rogler and Schwertmann (1981). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10: Εκτίμηση R από εμπειρικές σχέσεις Renard and Freimund (1994) και Rogler and Schwertmann (1981) - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης

<i>Σταθμός Αγ. Παρασκευής</i>			
Έτος	P_{ET}	Renard & Freimund (1994)	Rogler & Schwertmann (1981)
1986-87	584,5	1.375,5	1.036,0
1987-88	594,5	1.413,6	643,8
1988-89	485,0	1.018,6	680,8
1989-90	293,5	453,7	1.258,0
1990-91	627,5	1.542,1	1.502,2
1991-92	358,5	626,1	895,4
1992-93	580,5	1.360,4	717,8
1993-94	737,5	2.000,1	1.102,6
1994-95	1.059,5	3.904,3	3.633,4
1995-96	578,0	1.351,0	1.672,4
1996-97	608,0	1.465,7	199,8
1997-98	1.079,5	4.055,5	4.107,0
1998-99	838,0	2.456,8	740,0
1999-00	483,0	1.011,8	111,0
2000-01	403,2	756,5	965,0
2001-02	1036,5	3.734,4	3.034,0
2002-03	728,0	1.958,7	1.435,6
2003-04	797,5	2.268,5	2.175,6
2004-05	624,5	1.530,2	362,6
2005-06	764,0	2.117,0	1.657,6
2006-07	410,0	777,2	3.048,8
2007-08	586,0	1.381,2	2.323,6
2008-09	772,0	2.152,8	1.006,4
2009-10	928,0	2.991,7	1.983,2
Μέση	664,9	1.821,0	1.512,2

<i>Σταθμός Στύψης</i>			
Έτος	P_{ET}	Renard & Freimund (1994)	Rogler & Schwertmann (1981)
1998-99	998,7	3.464,7	262,0
1999-00	692,0	1.805,2	2.277,7
2000-01	641,5	1.597,8	1.394,2
2001-02	1.315,0	6.083,3	4.961,0
2002-03	987,7	3.388,4	766,6
2003-04	907,1	2.859,8	1.185,5
2004-05	1.067,7	3.965,9	1.012,3
2005-06	1.038,9	3.752,0	1.490,4
2006-07	614,4	1.490,6	4.018,2
2007-08	718,5	1.917,8	888,0
2008-09	1.132,4	4.471,4	2.939,3
2009-10	1.346,2	6.386,1	5.085,3
Μέση	955,0	3.431,9	2.190,0

Με απλή παρεμβολή - για τα έτη κοινών μετρήσεων - μεταξύ των μέσων τιμών ετήσιας διαβρωτικότητας για τους δύο σταθμούς προκύπτουν τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.11, με εύρη τιμών 1.133,9~4.908,9 και 501,0~3.997,5 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ και μέσες τιμές **2.680,0** (Renard and Freimund, 1994) και **1.880,2** (Rogler and Schwertmann, 1981) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹.

Πίνακας 5.11: Παρεμβολή – για τα κοινά έτη μετρήσεων – τιμών R από εμπειρικές σχέσεις Renard and Freimund (1994) και Rogler and Schwertmann (1981) - σταθμοί Αγ. Παρασκευής και Στύψης

Έτος	Renard& Freimund (1994)	Rogler& Schwertmann (1981)
1998-99	2.960,8	501,0
1999-00	1.408,5	1.194,4
2000-01	1.177,2	1.179,6
2001-02	4.908,9	3.997,5
2002-03	2.673,6	1.101,1
2003-04	2.564,1	1.680,5
2004-05	2.748,1	687,5
2005-06	2.934,5	1.574,0
2006-07	1.133,9	3.533,5
2007-08	1.649,5	1.605,8
2008-09	3.312,1	1.972,8
2009-10	4.688,9	3.534,2
Μέση	2.680,0	1.880,2

Οι τελευταίες δύο διαδικασίες εκτίμησης του R σε σταθμούς εντός της λεκάνης, για την εξαγωγή ενός αντιπροσωπευτικού μεγέθους διαβρωτικότητας, αποτελούν τη βάση της διαδικασίας που μπορεί να ακολουθηθεί για τη χωρική ολοκλήρωση του μεγέθους της διαβρωτικότητας στο σύνολο της υπό εξέταση λεκάνης απορροής, με βασική προϋπόθεση την ύπαρξη πολυετών δεδομένων από επαρκή αριθμό σταθμών εντός της λεκάνης και όχι μόνο από έναν ή δύο.

Μέθοδοι επιφανειακής παρεμβολής/ολοκλήρωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαβρωτικότητα της βροχής είναι είτε κλασσικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη βροχόπτωση, όπως η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen, είτε πιο σύγχρονες μέθοδοι όπως η Kriging και οι παραλλαγές της, που προσφέρονται ως εργαλεία και σε περιβάλλον ΣΓΠ (Wang *et al.*, 2001, Angulo-Martinez *et al.*, 2009).

Με υπόβαθρο τους μέχρι τώρα υπολογισμούς για το συντελεστή διαβρωτικότητας R, τα εναλλακτικά σενάρια τιμών που θα χρησιμοποιηθούν για το R στην εφαρμογή της RUSLE είναι τα παρακάτω πέντε:

- A.** Οι τιμές ετήσιου R όπως προέκυψαν από τους αναλυτικούς υπολογισμούς τους συντελεστή με δεδομένα από το σταθμό του αεροδρομίου της Μυτιλήνης
- B.1.** Οι τιμές ετήσιου R έπειτα από παρεμβολή για τους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Στύψης από την εμπειρική συσχέτιση $R \sim MFI$ της εργασίας

- B.2.** Οι τιμές ετήσιου R έπειτα από παρεμβολή για τους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Στύψης από την εμπειρική συσχέτιση $R \sim P_{ET}$ της εργασίας
- Γ.1.** Οι τιμές ετήσιου R έπειτα από παρεμβολή για τους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Στύψης από τη σχέση των Renard and Freimund (1994)
- Γ.2.** Οι τιμές ετήσιου R έπειτα από παρεμβολή για τους σταθμούς Αγ. Παρασκευής και Στύψης από τη σχέση των Rogler and Schwertmann (1981)

5.2.2 Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους – K

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαβρωσιμότητας K, δεν κατέστη δυνατή (τεχνικοοικονομικά) η συγκέντρωση και ανάλυση εδαφικών δειγμάτων από την περιοχή μελέτης και η χρήση του νομογραφήματος ή της σχέσης [3.17] που περιέχεται στη RUSLE.

Για τον προσδιορισμό των τιμών διαβρωσιμότητας στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά, όπου κατά ένα μεγάλο μέρος επικρατούν οι εξαπλώσεις ηφαιστειακών πετρωμάτων χρησιμοποιούνται ως αναφορές τα παρακάτω:

- Οι εργασίες των Van der Knijff *et al.* (2000a&b) και τα στοιχεία που προκύπτουν από αυτές και παρουσιάζονται από τον Πίνακα 3.1 και την Εικόνα 3.3
- Οι εργασίες των Panagos *et al.* (2012&2014) και τα συμπεράσματα που προκύπτουν για τις τιμές του K πανευρωπαϊκά αλλά και στην περιοχή ενδιαφέροντος
- Τον εδαφολογικό χάρτη της Ελλάδας (Γιάσογλου, 2004) που περιλαμβάνεται στο Παράρτημα

Οι εδαφικές εξαπλώσεις που επικρατούν στην περιοχή της λεκάνης απορροής του Τσικνιά, σύμφωνα με τον εδαφολογικό χάρτη της Ελλάδας ανήκουν στην κατηγορία 32a, με κύρια τυπολογική μονάδα τα Eutric Cambisol (CMeu) και συνυπάρχουσες μονάδες τα Eutric Regosol, Chromic Luvisol, Haplic Andosol και Eutric Leptosol. Ως μητρικό πέτρωμα των εδαφικών εξαπλώσεων αναγνωρίζονται, όπως έχει περιγραφεί και το κεφάλαιο των γεωλογικών χαρακτηριστικών τα όξινα, κυρίως ηφαιστειογενή πετρώματα.

Με βάση τις παραπάνω εδαφικές και πετρογραφικές επιφανειακές εξαπλώσεις, τα εδάφη της περιοχής μπορούν εν γένει να καταταγούν στα μέσης σύστασης εδάφη στις κατηγορίες των αμμωδών ή και των αμμο-ιλυωδών εδαφών.

Σύμφωνα δε και με τα αποτελέσματα των εργασιών των Van der Knijff *et al.* (2000a&b) και Panagos *et al.* (2012&2014), οι τιμές του συντελεστή διαβρωσιμότητας των εδαφών και πετρωμάτων της περιοχής αναμένεται να κυμαίνονται στο εύρος τιμών $0,02 \sim 0,032 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$.

Έτσι, με αξιοποίηση των παραπάνω προκύπτει ο Πίνακας 5.12, που περιλαμβάνει τις επιμέρους τιμές του K για τα διάφορα πετρώματα της περιοχής μελέτης και τη μέση τιμή για το σύνολο της λεκάνης απορροής, λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό εξάπλωσης του κάθε πετρώματος.

Πίνακας 5.12: Τιμές –επιμέρους και μέση- διαβρωσιμότητας για τα πετρώματα της περιοχής μελέτης

Γεωλογικός Σχηματισμός	Ai (Km ²)	Ki (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	ρi (Ai/A)	Ki*ρi
Περλίτης	0,02	0,02	0,0002	0,000005
Φλέβες	0,13	0,02	0,0016	0,00003
Πυριτιωμένη λάβα, κοίτη χαλαζία	0,52	0,02	0,0063	0,00013
Ιγκνιμβρίτες	1,58	0,02	0,0193	0,00039
Αλλουβιακές αποθέσεις	2,46	0,10	0,0300	0,00300
Πυροκλαστική στρώση, ορίζων τέφρας	4,62	0,028	0,0564	0,00158
Υαλώδης λάβα	8,32	0,028	0,1016	0,00284
Κατώτερη ενότητα λαβών, ανώτερη στρώση	24,66	0,026	0,3011	0,00783
Ανώτερη ενότητα λαβών, ανώτερο στρώμα	39,62	0,03	0,4836	0,01451
Σύνολο	81,93	-	1,000	-
			K	0,03

5.2.3 Συντελεστής Μήκους και Βαθμού Κλίσης – LS

Έπειτα από διαδοχικές δοκιμές και συγκρίσεις σε περιβάλλον ΣΓΠ με άλλες σχέσεις για τον υπολογισμό του συντελεστή LS, αυτή που προκρίθηκε είναι των Mitasova and Mitas (2001a) [3.27], που θεωρείται ως η πιο αντιπροσωπευτική για την εκτίμηση του τοπογραφικού παράγοντα.

Τα σενάρια εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης με τη βοήθεια των ΣΓΠ και ως εκ τούτου και του συντελεστή LS είναι τα εξής:

- I. Εκτίμηση τοπογραφικού συντελεστή και εδαφικής διάβρωσης βάσει της τυπικής μεθοδολογίας, για το σύνολο της λεκάνης απορροής
- II. Εκτίμηση τοπογραφικού συντελεστή και εδαφικής διάβρωσης μόνο για τις περιοχές που μπορούν να “προσφέρουν” σε παραγωγή φερτών υλικών, εξαιρουμένων δηλαδή των περιοχών εναπόθεσης της λεκάνης απορροής

Οι χάρτες των σεναρίων I και II του συντελεστή μήκους και βαθμού κλίσης περιέχονται συγκεντρωτικά μαζί με τους χάρτες των άλλων συντελεστών της μεθόδου στο υποκεφάλαιο εφαρμογής της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS.

Ο τοπογραφικός συντελεστής LS για τα δύο σενάρια λαμβάνει τη μέση τιμή των **6,08** για το I και **4,91** για II.

5.2.4 Συντελεστής διαχείρισης - κάλυψης γης – C

Οι τιμές του συντελεστή C για τις χρήσεις γης που ενυπάρχουν στην περιοχή μελέτης προέκυψε έπειτα από βιβλιογραφική αναζήτηση στοιχείων (Ξανθάκης, 2010&2011, Κούβαρη, 2013, Ζαρρής κ.α., 2001). Βάσει των διαφοροποιήσεων που μπορεί να εμφανίζονται στη βιβλιογραφία σε τιμές του C για την ίδια χρήση γης, παρέχεται κάθε φορά η ελάχιστη, η μέγιστη και η μέση τιμή του συντελεστή κάλυψης γης, με το μέσο εύρος τιμών να κυμαίνεται από 0,001~0,3. Οι επιλεγμένες τιμές του περιέχονται στον Πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13: Τιμές συντελεστή C για τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης

Κάλυψη/Χρήση γης	A _i (km ²)	C _i	C _{imin}	C _{imax}	ρ _i (A _i /A)	C _i *ρ _i	C _{imin} *ρ _i	C _{imax} *ρ _i
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση (112)	0,01	0,001	0,001	0,001	0,0001	1,3E-07	1,3E-07	1,3E-07
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (242)	0,08	0,26	0,18	0,34	0,0009	0,0002	0,0002	0,0003
Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις (324)	1,21	0,02	0,02	0,02	0,0147	0,0003	0,0003	0,0003
Δάσος κωνοφόρων (312)	4,11	0,05	0,001	0,09	0,0502	0,0023	0,0001	0,0045
Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη (211)	6,94	0,3	0,3	0,3	0,0848	0,0254	0,0254	0,0254
Σκληροφυλλική βλάστηση (323)	11,09	0,025	0,02	0,03	0,1353	0,0034	0,0027	0,0041
Φυσικοί βοσκότοποι (321)	15,45	0,3	0,3	0,3	0,1886	0,0566	0,0566	0,0566
Ελαιώνες (223)	19,24	0,19	0,1	0,28	0,2348	0,0446	0,0235	0,0657
Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία μαζί με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (241)	23,80	0,125	0,1	0,15	0,2905	0,0363	0,0291	0,0436
Σύνολο	81,93	-	-	-	1,0000	-	-	-
					C	0,169	0,138	0,201

Στους τελικούς υπολογισμούς της RUSLE για την εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν οι μέσες τιμές του συντελεστή C, ως οι πλέον αντιπροσωπευτικές.

5.2.5 Συντελεστής ελέγχου της διάβρωσης – P

Ο συντελεστής μέτρων ή και τεχνικών ελέγχου κατά της διάβρωσης, όπως προκύπτει από τις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές, λαμβάνει απευθείας την τιμή 1, χωρίς περαιτέρω έρευνα ή θεώρηση για την επίδραση της ενδεχόμενης ύπαρξης και λειτουργίας διατάξεων ή τεχνικών αναστολής του φαινομένου.

Στην προκειμένη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός πως ένα ποσοστό της λεκάνης της τάξης του 61,1% καταλαμβάνεται από διάφορες κατηγορίες αγροτικής γης, με κυριότερες τους ελαιώνες (223) και την κυρίως γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (241), δεν επιλέγεται επί της αρχής η τιμή 1 ενιαία για όλες τις χρήσεις γης, αλλά μικρότερες τιμές για τις παραπάνω χρήσεις, θεωρώντας πως, έστω και μερικά/έμμεσα εφαρμόζονται τεχνικές ελέγχου της διάβρωσης κυρίως με τις διατάξεις των αναβαθμών (Κουλούρη, 2004). Συγκεντρωτικά οι τιμές του συντελεστή P για τις διάφορες χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Τσικνιά παρουσιάζονται από τον Πίνακα 5.14.

Πίνακας 5.14: Τιμές συντελεστή P για τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης

Κάλυψη/Χρήση γης	A _i (km ²)	P _i	ρ _i (A _i /A)	P _i *ρ _i
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση (112)	0,01	1,00	0,0001	0,0001
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (242)	0,08	0,75	0,0009	0,0007
Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις (324)	1,21	1,00	0,0147	0,0147
Δάσος κωνοφόρων (312)	4,11	1,00	0,0502	0,0502
Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη (211)	6,94	0,80	0,0848	0,0678
Σκληροφυλλική βλάστηση (323)	11,09	1,00	0,1353	0,1353
Φυσικοί βοσκότοποι (321)	15,45	1,00	0,1886	0,1886
Ελαιώνες (223)	19,24	0,75	0,2348	0,1761
Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία μαζί με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (241)	23,80	0,85	0,2905	0,2469
Σύνολο	81,93	-	1,0000	-
			P	0,88

5.2.6 Αποτελέσματα μεθόδου

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα εφαρμογής της RUSLE, σύμφωνα με τους μέχρι τώρα περιγραφόμενους υπολογισμούς, με εφαρμογή της πολλαπλασιαστικής εξίσωσης της μεθόδου σε περιβάλλον Excel.

Εκτιμήθηκε η εδαφική διάβρωση για πέντε διαφορετικά σενάρια τιμών συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχής –παρουσιάζονται στην ενότητα 5.2.1-, με βασικό το σενάριο που περιλαμβάνει τις αναλυτικά υπολογισμένες τιμές του ετήσιου R.

Για το συντελεστή διαβρωσιμότητας K χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των συντελεστών K_i για κάθε πέτρωμα της λεκάνης –σύμφωνα και με την εκάστοτε επιφάνεια εξάπλωσης-, σταθερή για το σύνολο των 12 ετών υπολογισμών.

Για το συντελεστή μήκους και βαθμού κλίσης LS χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των σεναρίων I και II, όπως αυτά περιγράφονται στην ενότητα 5.2.3, σταθερές για το σύνολο των 12 ετών υπολογισμών.

Για το συντελεστή διαχείρισης - κάλυψης γης C χρησιμοποιήθηκαν η μέση, η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή των συντελεστών C_i για κάθε χρήση γης στη λεκάνη –σύμφωνα και με την εκάστοτε επιφάνεια κατάληψης-, σταθερή για το σύνολο των 12 ετών υπολογισμών.

Τέλος, για το συντελεστή ελέγχου της διάβρωσης P χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή των συντελεστών P_i για κάθε χρήση γης στη λεκάνη –σύμφωνα και με την εκάστοτε επιφάνεια κατάληψης-, σταθερή για το σύνολο των 12 ετών υπολογισμών.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα -Πίνακας 5.15- που προκύπτουν από τον αναλυτικά υπολογισμένο δείκτη R, για τα σενάρια I και II (εξαιρέση περιοχών απόθεσης) του συντελεστή LS, και για τη μέση τιμή του συντελεστή C. Οι τιμές της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης εκτιμώνται στους **39,75** (I) και **32,10** (II) t/ha αντίστοιχα [εύρη 14,68~76,06 και 11,85~61,42 t/ha].

Πίνακας 5.15: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για αναλυτικά υπολογισμένο συντελεστή διαβρωτικότητας R

	R	K	LS		C	P	As	
	(MJ mm/ha h yr)	(t h/ MJ mm)	-		-	-	(t/ha)	
Έτος			I	II			I	II
1988-89	1.077,6	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	29,55	23,86
1991-92	576,8	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	15,81	12,77
1992-93	1.456,0	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	39,92	32,24
1994-95	2.406,1	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	65,97	53,27
1995-96	816,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	22,38	18,07
1996-97	1.126,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	30,88	24,94
1997-98	2.774,0	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	76,06	61,42
1999-00	1.275,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	34,98	28,25
2000-01	2.011,4	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	55,15	44,53
2003-04	1.678,4	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	46,02	37,16
2006-07	535,4	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	14,68	11,85
2007-08	1.665,3	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	45,66	36,87
Μέση	1.449,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	39,75	32,10

Από τα υπόλοιπα δύο ζεύγη σεναρίων τιμών για το συντελεστή R, παρουσιάζονται οι περιπτώσεις που οδηγούν στη δυσμενέστερη κάθε φορά παραγωγή φερτών υλικών και διάβρωσης. Αυτό συντελείται με χρήση των τιμών R από τη σχέση $R \sim P_{ET}$ για το ζευγάρι συσχετίσεων της εργασίας -Πίνακας 5.16- και με χρήση των τιμών R από τη σχέση Renard and Freimund (1994) για το ζευγάρι εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του συντελεστή διαβρωτικότητας -Πίνακας 5.17-. Στην πρώτη περίπτωση οι τιμές της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης εκτιμώνται στους **66,77** (I) και **53,92** (II) t/ha [εύρη 37,40~99,44 και 30,20~80,30 t/ha], ενώ στη δεύτερη στους **73,48** (I) και **59,34** (II) t/ha [εύρη 31,09~134,59 και 25,11~108,69 t/ha].

Πίνακας 5.16: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για συντελεστή διαβρωτικότητας R υπολογισμένο από τη σχέση $R \sim P_{ET}$ της εργασίας

	R	K	LS		C	P	As	
	(MJ mm/ha h y)	(t h/ MJ mm)	-		-	-	(t/ha)	
Έτος			I	II			I	II
1988-89	2.749,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	75,37	60,87
1991-92	1.621,0	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	44,44	35,89
1992-93	1.398,8	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	38,35	30,97
1994-95	3.626,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	99,44	80,30
1995-96	2.542,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	69,72	56,30
1996-97	2.523,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	69,20	55,88
1997-98	2.502,8	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	68,62	55,41
1999-00	2.691,5	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	73,79	59,59
2000-01	1.364,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	37,40	30,20
2003-04	1.841,8	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	50,50	40,78
2006-07	2.864,6	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	78,54	63,43
2007-08	3.495,1	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	95,83	77,39
Μέση	2.435,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	66,77	53,92

Πίνακας 5.17: Εδαφική διάβρωση (t/ha) για συντελεστή διαβρωτικότητας R υπολογισμένο από τη σχέση Renard and Freimund (1994)

	R	K	LS		C	P	As	
	(MJ mm/ha h y)	(t h/ MJ mm)	-		-	-	(t/ha)	
Έτος			I	II			I	II
1988-89	2.960,8	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	81,18	65,55
1991-92	1.408,5	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	38,62	31,19
1992-93	1.177,2	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	32,28	26,06
1994-95	4.908,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	134,59	108,69
1995-96	2.673,6	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	73,30	59,20
1996-97	2.564,1	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	70,30	56,77
1997-98	2.748,1	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	75,34	60,85
1999-00	2.934,5	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	80,46	64,97
2000-01	1.133,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	31,09	25,11
2003-04	1.649,5	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	45,22	36,52
2006-07	3.312,1	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	90,81	73,33
2007-08	4.688,9	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	128,56	103,82
Μέση	2.680,0	0,03	6,08	4,91	0,169	0,88	73,48	59,34

Τέλος, για τα δύο εναπομείναντα σενάρια τιμών R που δεν αναφέρονται αναλυτικά όπως τα παραπάνω, η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση εκτιμάται στους:

- **54,37** (I) και **43,90** (II) t/ha αντίστοιχα με χρήση των τιμών R από τη σχέση $R \sim MFI$
- **51,55** (I) και **41,63** (II) t/ha αντίστοιχα με χρήση των τιμών R από τη σχέση Rogler and Schwertmann (1981)

Από όλες τις παραπάνω εκτιμήσεις των ποσοτήτων ετήσιας εδαφικής διάβρωσης, οι προτιμώμενες στα πλαίσια της εργασίας είναι οι τιμές του σεναρίου A –αναλυτικά υπολογισμένο R- για I –LS στο σύνολο της λεκάνης απορροής-.

5.3 Μέθοδος Gavrilovic

Η μέθοδος Gavrilovic εφαρμόζεται με χρήση μετεωρολογικών δεδομένων από τους σταθμούς της Στύψης και της Αγ. Παρασκευής. Δεν κρίθηκε σκόπιμο οι υπολογισμοί να συνοδευτούν από εφαρμογή της μεθόδου σε περιβάλλον arcGIS, καθώς ιδιαίτερα για την υπό εξέταση περιοχή μελέτης δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη χωρική διακύμανση των συντελεστών της εξίσωσης (εξαιρέση ο συντελεστής x). Για τους συντελεστές της εξίσωσης ισχύουν τα παρακάτω:

- Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος του Τσικινιά προκύπτει με τη βοήθεια του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και του arcGIS ίσο με **285,5 m**
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος του Τσικινιά προκύπτει, από δεδομένα των σταθμών της Στύψης και της Αγ. Παρασκευής, ίση με **16,5 °C**
- Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ανηγμένο στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος του Τσικινιά προκύπτει, από δεδομένα των σταθμών της Στύψης και της Αγ. Παρασκευής, ίσο με **792,8 mm**

Για το συντελεστή διάβρωσης z ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η μέση κλίση της λεκάνης απορροής ανάντη της θέσης κατασκευής του φράγματος του Τσικινιά προκύπτει με τη βοήθεια του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και του arcGIS ίση με **0,169**
- Ο συντελεστής της εδαφικής διαβρωσιμότητας y ορίζεται σε μία ενιαία τιμή **~0,85** για το σύνολο της λεκάνης και των πετρωμάτων που την απαρτίζουν καθώς θεωρείται πως όλα ανήκουν στην κατηγορία των *‘μετρίως ανθεκτικών στη διάβρωση’*

- Για συντελεστής φ που εκφράζει το είδος και το βαθμό διάβρωσης θεωρείται η τιμή $\sim 0,5$, με τη λεκάνη να υπάγεται στην κατηγορία όπου συντελείται “διάβρωση επιφανειακή στο 25~50% της λεκάνης”
- Για τις τιμές του συντελεστή x που εκφράζει την επίδραση της φυτοκάλυψης ή/και των ενδεχόμενων έργων υδρονομίας, επιλέχτηκαν οι παρακάτω τιμές -Πίνακας 5.18- για κάθε χρήση γης στην περιοχή, έπειτα και από βιβλιογραφική αξιολόγηση (Ξανθάκης,2011, Κουράκλη, 2010, Παπαρρίζος κ.α., 2012)

Πίνακας 5.18: Τιμές συντελεστή x

Κάλυψη/Χρήση γης	A_i (km^2)	x_i	$\rho_i (A_i/A)$	$x_i * \rho_i$
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση (112)	0,01	0,05	0,0001	0,00001
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (242)	0,08	0,70	0,0009	0,00065
Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις (324)	1,21	0,60	0,0147	0,00884
Δάσος κωνοφόρων (312)	4,11	0,60	0,0502	0,03010
Μη αρδεύσιμη-αρόσιμη γη (211)	6,94	1,00	0,0848	0,08476
Σκληροφυλλική βλάστηση (323)	11,09	0,40	0,1353	0,05413
Φυσικοί βοσκότοποι (321)	15,45	0,60	0,1886	0,11316
Ελαιώνες (223)	19,24	0,60	0,2348	0,14088
Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία μαζί με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης (241)	23,80	0,90	0,2905	0,26147
Σύνολο	81,93	-	1,0000	-
			x	0,69

Οι τιμές των συντελεστών της μεθόδου Gavrilovic παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.19. Η εκτίμηση ετήσιας παραγωγής φερτών υλικών στην προκειμένη περίπτωση ανέρχεται στα **139.205** m^3 .

Πίνακας 5.19: Αποτελέσματα μεθόδου Gavrilovic

T	P (mm)	A(km^2)	z	W(m^3/km^2)	W(m^3)
1,33	792,78	81,93	0,54	1.307	139.205

Θεωρώντας όπως περιγράφεται και παρακάτω μια πυκνότητα φερτών υλικών για τη λεκάνη απορροής της τάξης των $1,26 \text{ t/m}^3$ ο ετήσιος όγκος φερτών υλικών σε όρους μάζας ανέρχεται σε **175.280 t** ή ανηγμένο στη λεκάνη **21,39 t/ha**.

Εφαρμογή της μεθόδου Gavrilovic στον ταμιευτήρα του Πολυφύτου με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ, κατέληξε σε εκτίμηση μέσης ετήσιας ειδικής w (m^3/km^2) και μέσης ετήσιας W παραγωγής φερτών υλικών W (m^3), που περιέχεται στον παρακάτω Πίνακα 5.20 (Κουράκλη, 2010). Παράλληλα παρουσιάζονται και αντίστοιχα αποτελέσματα (με χρήση της Gavrilovic) για τις φυσικές λίμνες της χώρας (Μάρης, 2000). Σε αντίστοιχη εφαρμογή της μεθόδου (Ξανθάκης, 2011) στην τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα –με λεκάνη απορροής $117,8 \text{ km}^2$ -, η ετήσια παραγωγή φερτών υλικών εκτιμήθηκε στα 77.287 m^3 .

Πίνακας 5.20: Τιμές παραγωγής φερτών υλικών με τη μέθοδο Gavrilovic σε λεκάνες απορροής ελληνικών φυσικών λιμνών

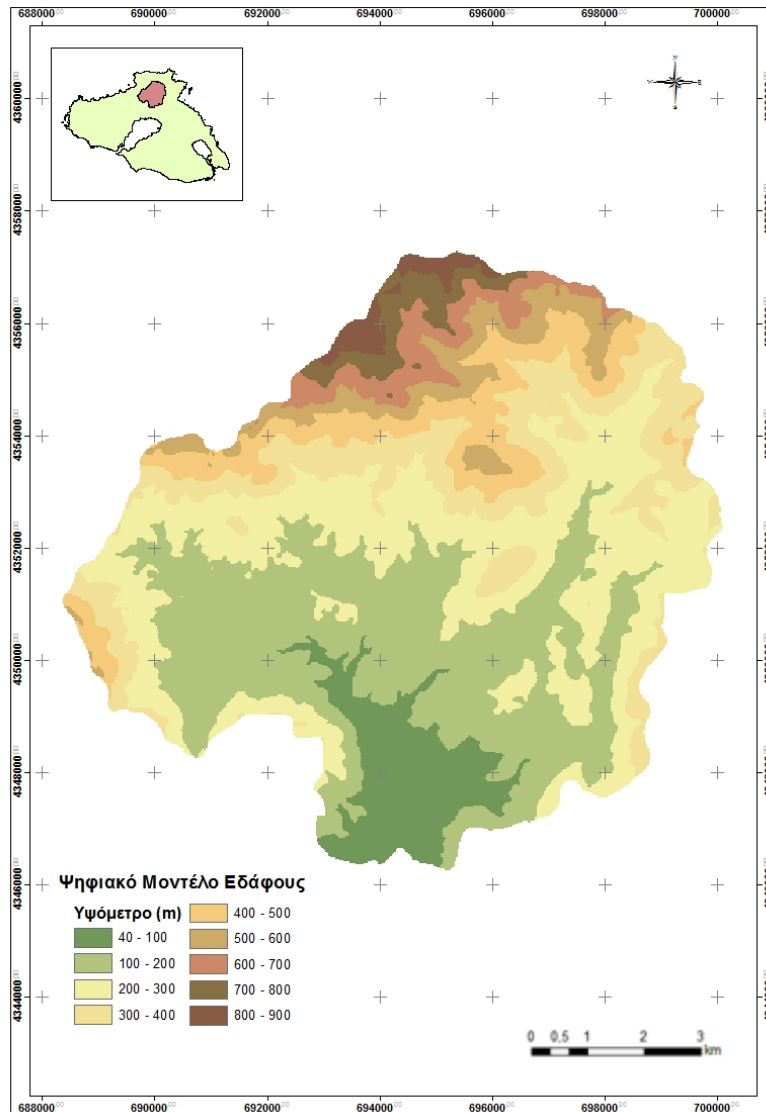
	A (km^2)	w (m^3/km^2)	W (m^3)
Βιστωνίδα	975,0	708,8	691.045
Μεγάλη Βόλβη	838,1	494,6	414.468
<i>Πολυφύτου (τεχνητή)</i>	<i>657,3</i>	<i>990,8</i>	<i>594.169</i>
Κορώνεια	537,5	923,1	496.099
Βεγορίτιδα	417,4	943,7	393.933
Τριχωνίδα	168,6	1.930,8	325.538
Λυσιμαχεία	150,2	2.365,3	355.344
Παμβώτιδα	138,6	973,9	135.020
Καστοριάς	138,6	681,5	94.446
Δοϊράνη	138,0	740,5	102.180
Μεγάλη Πρέσπα	94,6	814,8	77.111
Ζάζαρη	67,7	734,0	49.686
Μικρή Πρέσπα	66,9	885,8	59.244
Βουλκαρία	56,7	1.625,7	92.242
Χειμαδίτιδα	29,3	845,0	24.768
Πετρών	27,9	322,2	8.998
Αμβρακία	20,1	1.406,9	28.279
Οζερός	19,6	1.301,4	25.480
Μέση	252,3	1.038,3	220.447

5.4 Υλοποίηση πληροφοριακού υποβάθρου – Εφαρμογή RUSLE σε περιβάλλον arcGIS

Για τις ανάγκες υλοποίησης της μεθόδου συγκεντρώθηκαν και εισήχθησαν σε περιβάλλον ArcCatalog όλα τα αναγκαία επίπεδα πληροφορίας και χωρικών δεδομένων, όπως οι χρήσεις γης, η γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής, ή και άλλες δευτερεύουσες πληροφορίες όπως τα διοικητικά όρια ή τα τοπωνύμια.

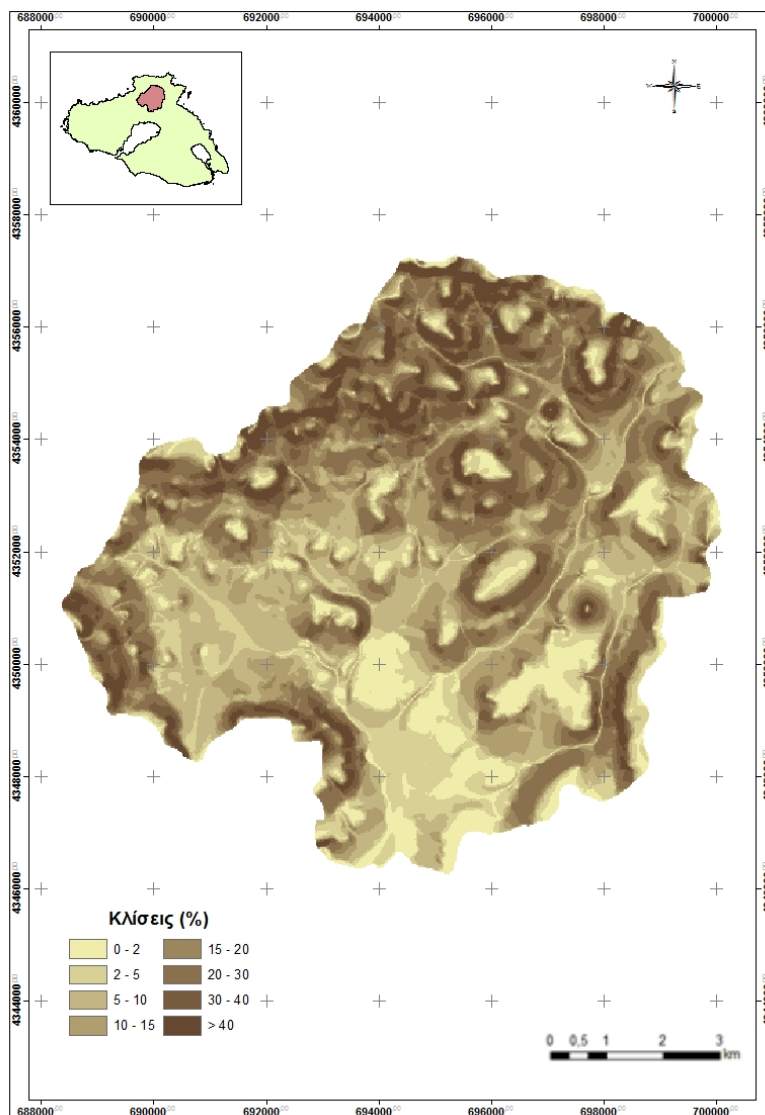
Τα ψηφιακά μοντέλα χωρικών δεδομένων που δημιουργήθηκαν για την εφαρμογή της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS περιγράφονται παρακάτω:

Καταρχήν, ως πυρήνας των υπολογισμών χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) της περιοχής μελέτης όπως αντλήθηκε από τα γεωγραφικά δεδομένα του Υδροσκοπίου (<http://hydroscope.gr/>). Το μοντέλο είναι μορφής raster, διάστασης κελιού κανάβου –όπως και στα επόμενα- 25x25m .Το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης αριθμεί 81,93km² και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής του Τσικνιά, από τις παρυφές του υδροκρίτη έως και το φυσικό στένωμα κατασκευής του ομώνυμου φράγματος. Από το αρχικό ΨΜΕ της περιοχής μελέτης, με χρήση του εργαλείου fill δημιουργήθηκε το ΨΜΕ με πλήρωση των βυθισμάτων, που παρουσιάζεται στον παρακάτω Χάρτη 5.1 και αποτελεί τη βάση των μετέπειτα μοντέλων.



Χάρτης 5.1: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους λεκάνης απορροής Τσικνιά (μέχρι και τη θέση κατασκευής του φράγματος)

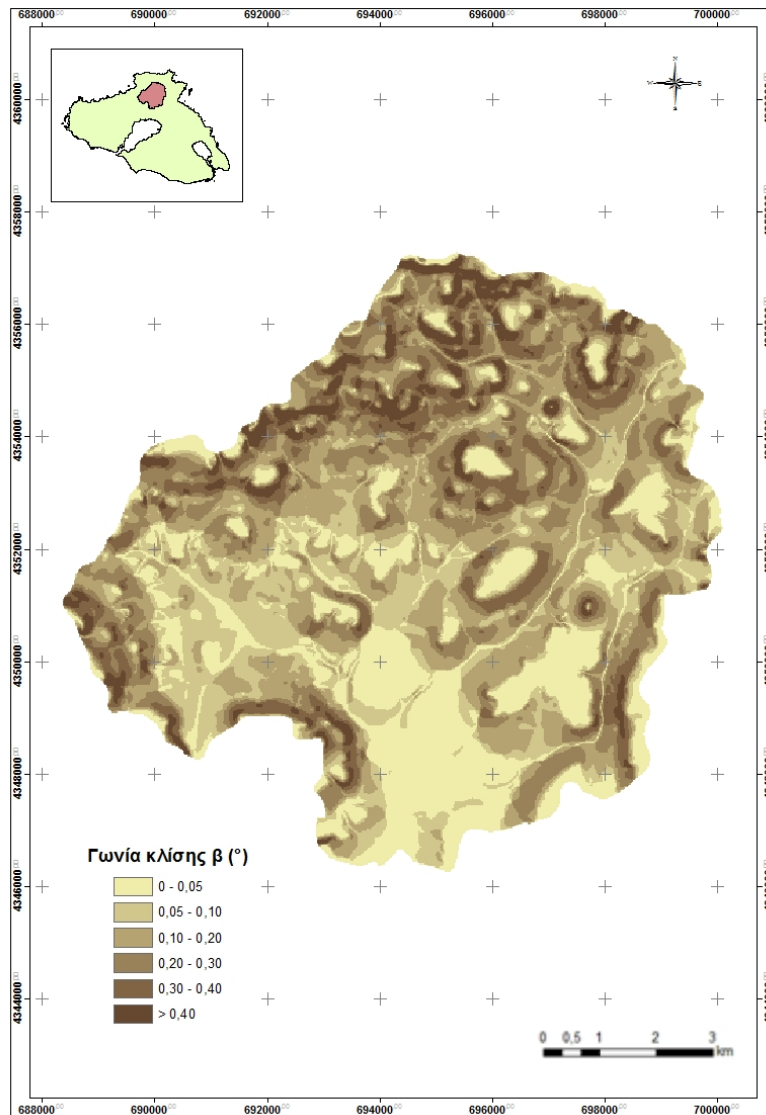
Οι κλίσεις (%) για την εξεταζόμενη λεκάνη παρουσιάζονται από το Χάρτη 5.2:



Χάρτης 5.2: Κλίσεις (%) εξεταζόμενης λεκάνης απορροής

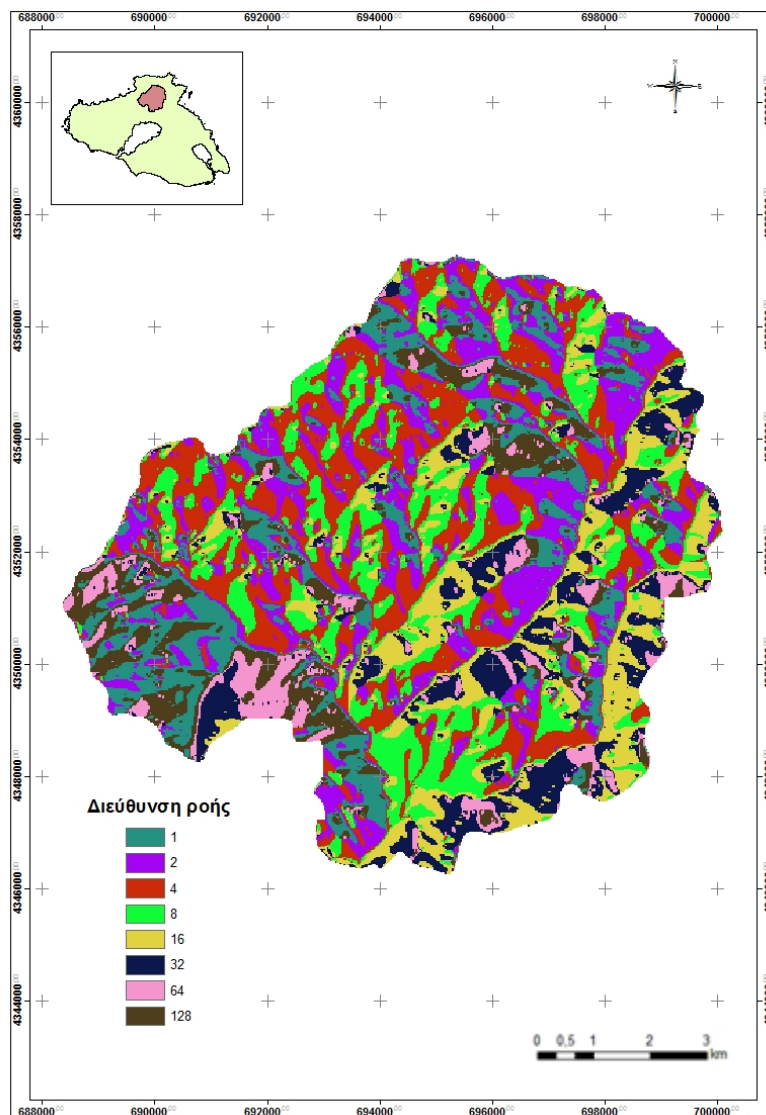
Παρατηρώντας το χάρτη κλίσεων παρατηρείται εντονότερο ανάγλυφο στις βόρειες και βορειοδυτικές περιοχές της λεκάνης γεγονός που προέρχεται και από την αναθόλωση εξ αιτίας της ηφαιστειακής δραστηριότητας του Λεπέτυμνου. Στην περιοχή αυτές αναμένονται και τα περισσότερα προβλήματα διάβρωσης λόγω του αναγλύφου και των έντονα διαταραγμένων γεωλογικών σχηματισμών.

Με χρήση του εργαλείου Raster Calculator υπολογίζεται η γωνία κλίσης (°) -Χάρτης 5.3- που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του συντελεστή αναγλύφου LS.

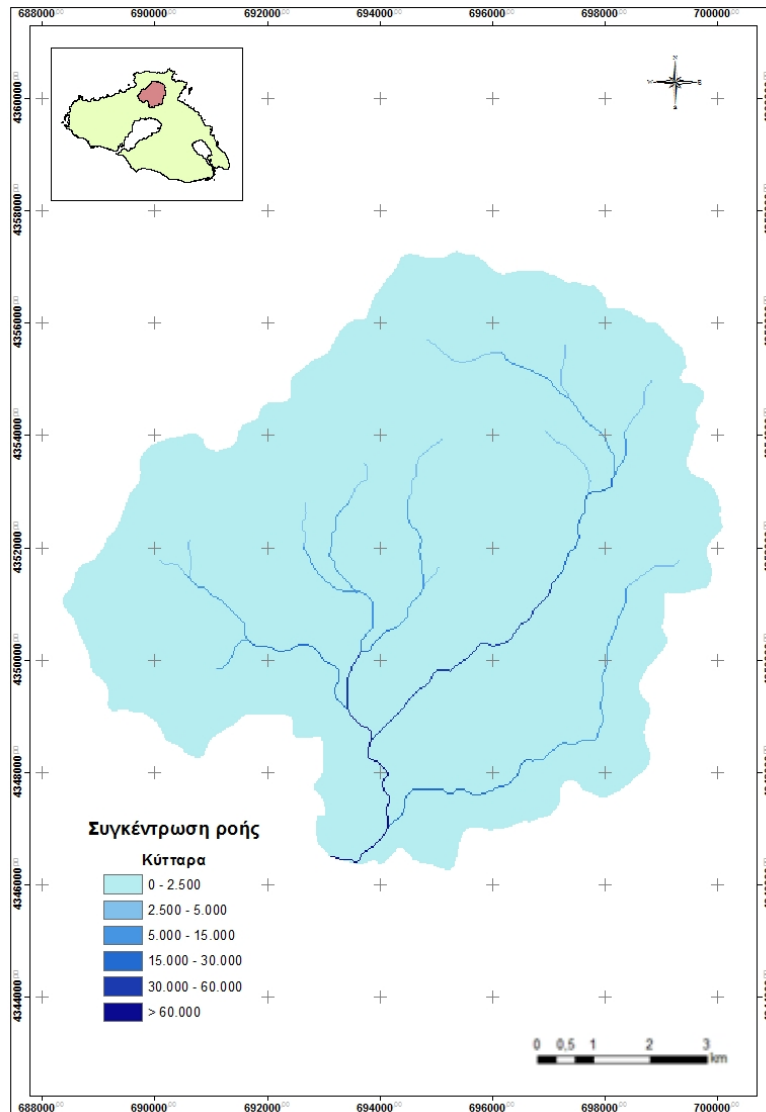


Χάρτης 5.3: Γωνία ° κλίσης β

Οι κάρτες διεύθυνσης και συγκέντρωσης ροής παρουσιάζονται στους Χάρτες 5.4 και 5.5.

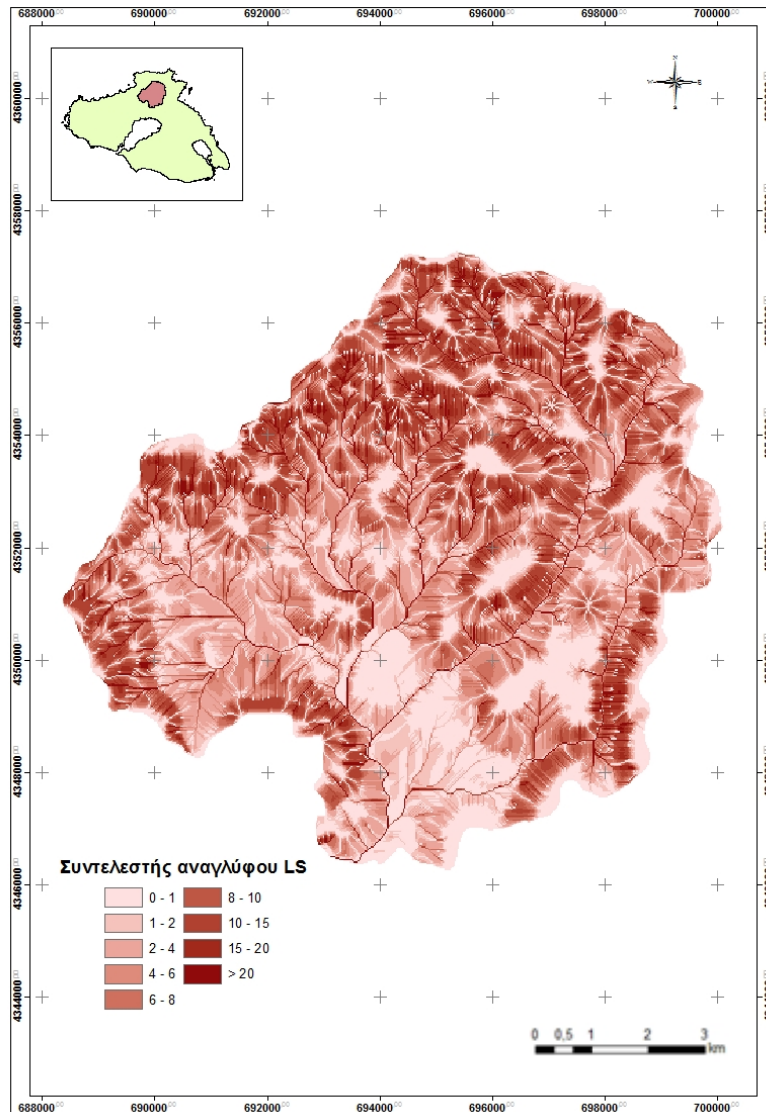


Χάρτης 5.4: Διευθύνσεις ροής



Χάρτης 5.5: Συγκέντρωση ροής

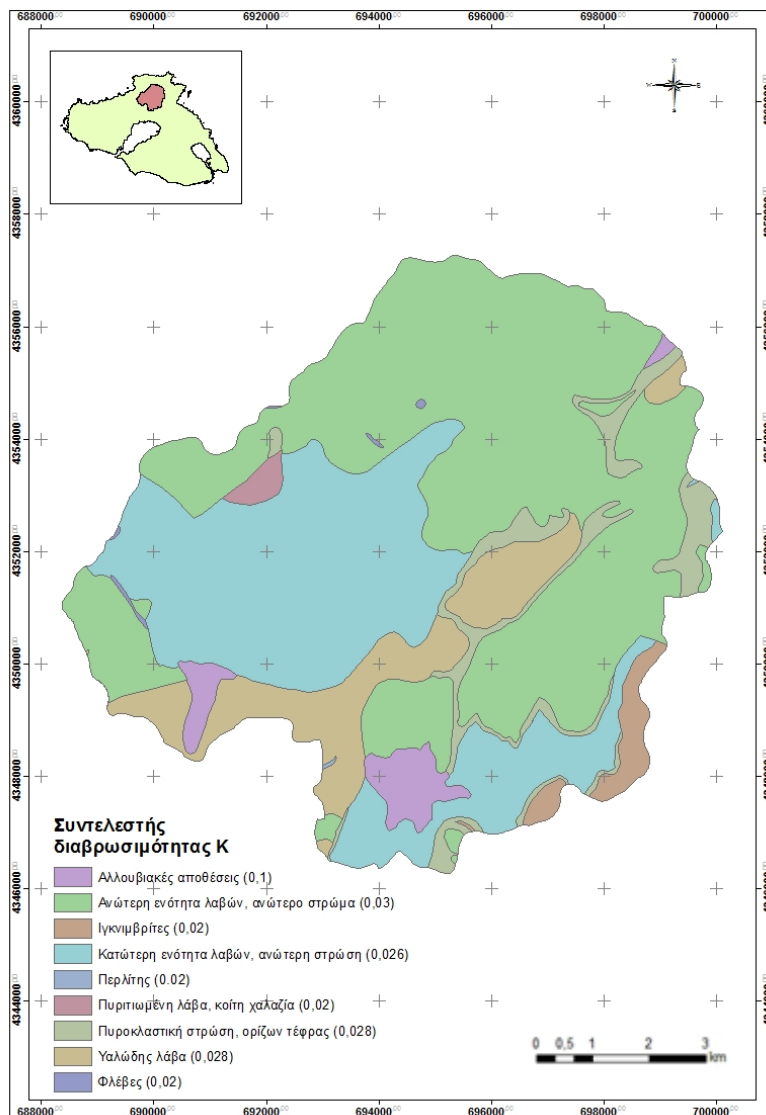
Για την εξαγωγή του συντελεστή LS σε περιβάλλον arcGIS εφαρμόζεται η σχέση [3.27] των Mitasona and Mitas (2001a). Επιλέγονται μικρές τιμές από τα εύρη των συντελεστών m και n θεωρώντας πως επικρατεί η επιφανειακή έναντι της αυλακωτής διάβρωσης. Ως ανάντη επιφάνεια που συνεισφέρει στη διάβρωση χρησιμοποιείται ο κλίμακός συγκέντρωσης ροής. Τα αποτελέσματα της σχέσης (με χρήση Raster Calculator) παρουσιάζονται στο Χάρτη 5.6, με τη μέση τιμή να προκύπτει ίση με 6,08.



Χάρτης 5.6: Συντελεστής αναγλύφου LS

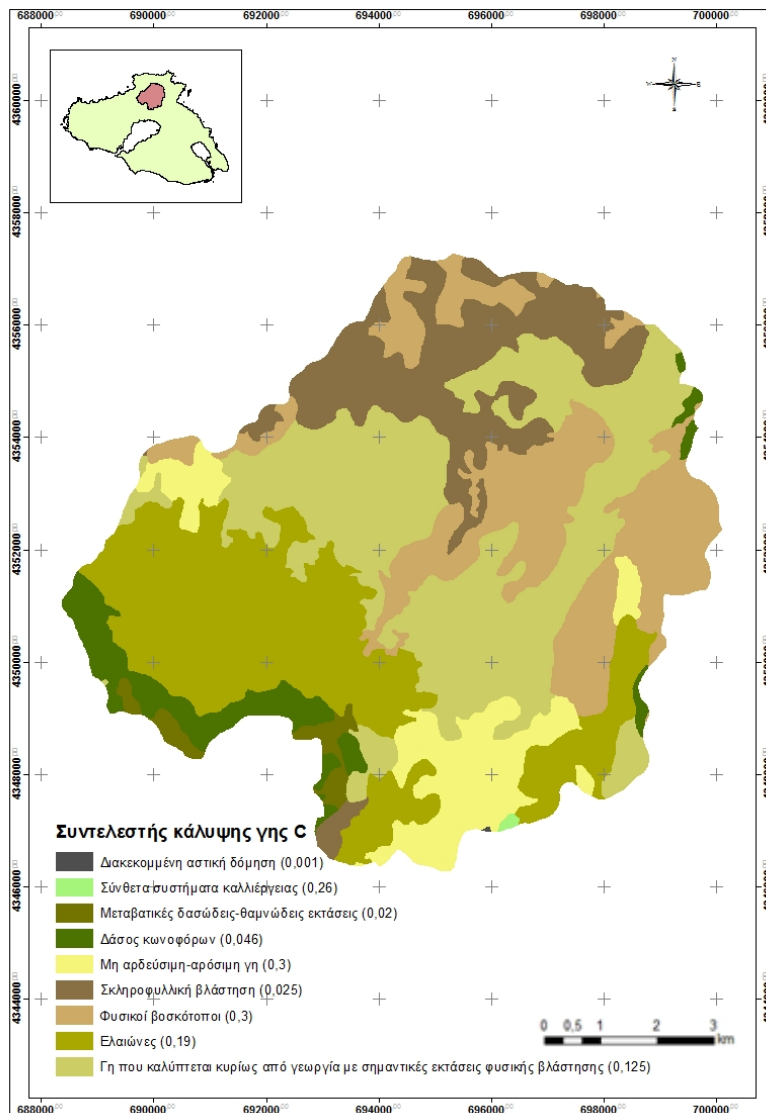
Για το συντελεστή διαβρωτικότητας της βροχόπτωσης R δεν επιλέχθηκε κάποια διαδικασία χωρικής ολοκλήρωσης των σημειακών τιμών του, λόγω έλλειψης επαρκώς χωρικά κατανομημένων στοιχείων. Θεωρήθηκε ως ενιαία τιμή τα **1.449,9** MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ που αποτελεί τη μέση ετήσια τιμή που προκύπτει από τους αναλυτικούς υπολογισμούς.

Η επιφανειακή εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής καθώς και οι αντίστοιχες τιμές διαβρωσιμότητας παρουσιάζονται στο Χάρτη 5.7.

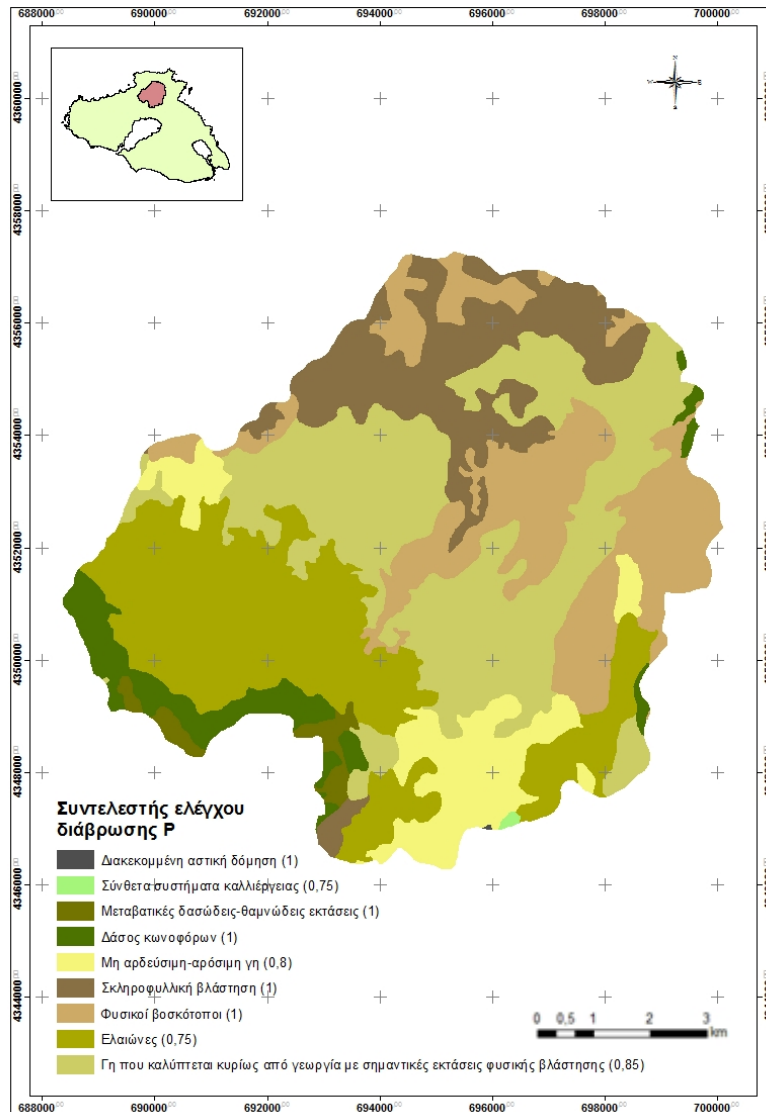


Χάρτης 5.7: Γεωλογικοί σχηματισμοί και συντελεστής διαβρωσιμότητας K

Οι χρήσεις γης έχουν παρουσιαστεί και στο Κεφάλαιο που αναφέρεται στην περιοχή μελέτης, ενώ εδώ -Χάρτης 5.8- παρουσιάζονται εκ νέου με την παράθεση και των αντίστοιχων τιμών του συντελεστή C. Παράλληλα, μαζί με τις χρήσεις γης παρουσιάζονται και οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή ελέγχου της διάβρωσης P -Χάρτης 5.9-.

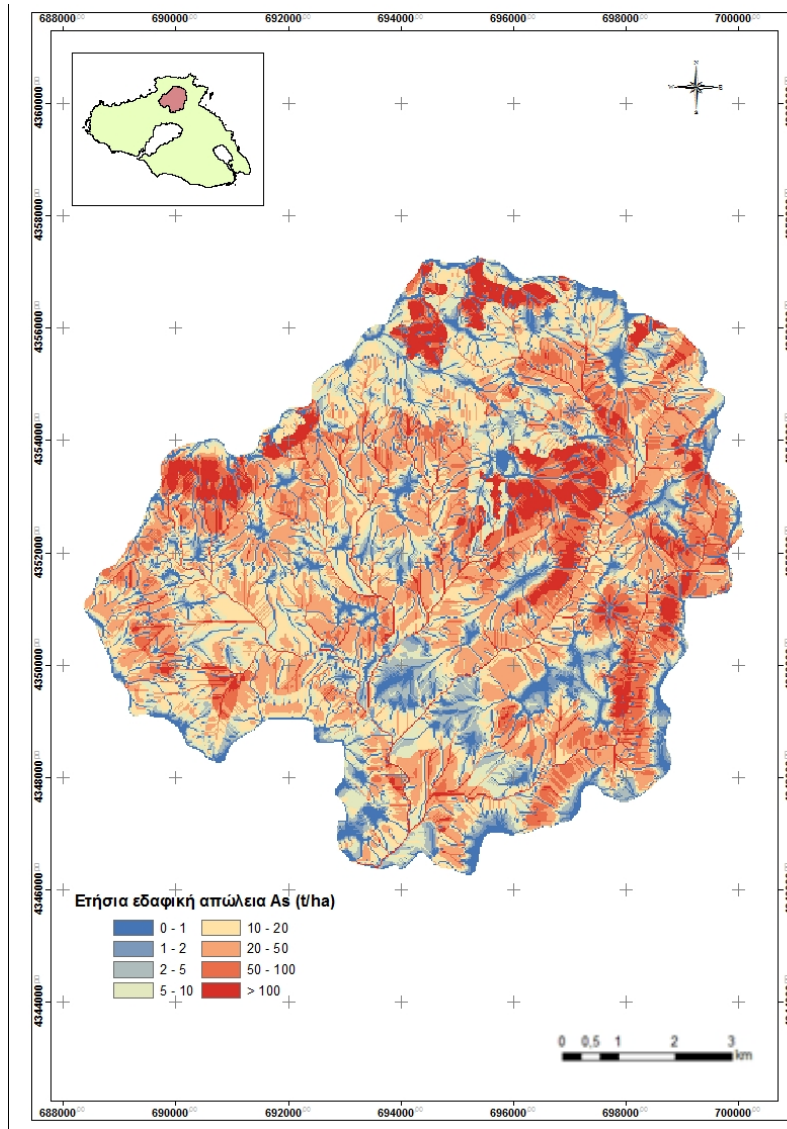


Χάρτης 5.8: Συντελεστής κάλυψης γης C



Χάρτης 5.9: Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P

Εφαρμόζοντας τη σχέση της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS, όπου τον κάθε συντελεστή αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο ψηφιακό μοντέλο χωρικών δεδομένων σε μορφή raster, προκύπτει ο Χάρτης 5.10, που παρουσιάζει τη χωρική διακύμανση της ετήσιας εδαφικής απώλειας (t/ha) με τη μέση τιμή να προκύπτει ίση με **35,38 t/ha**.



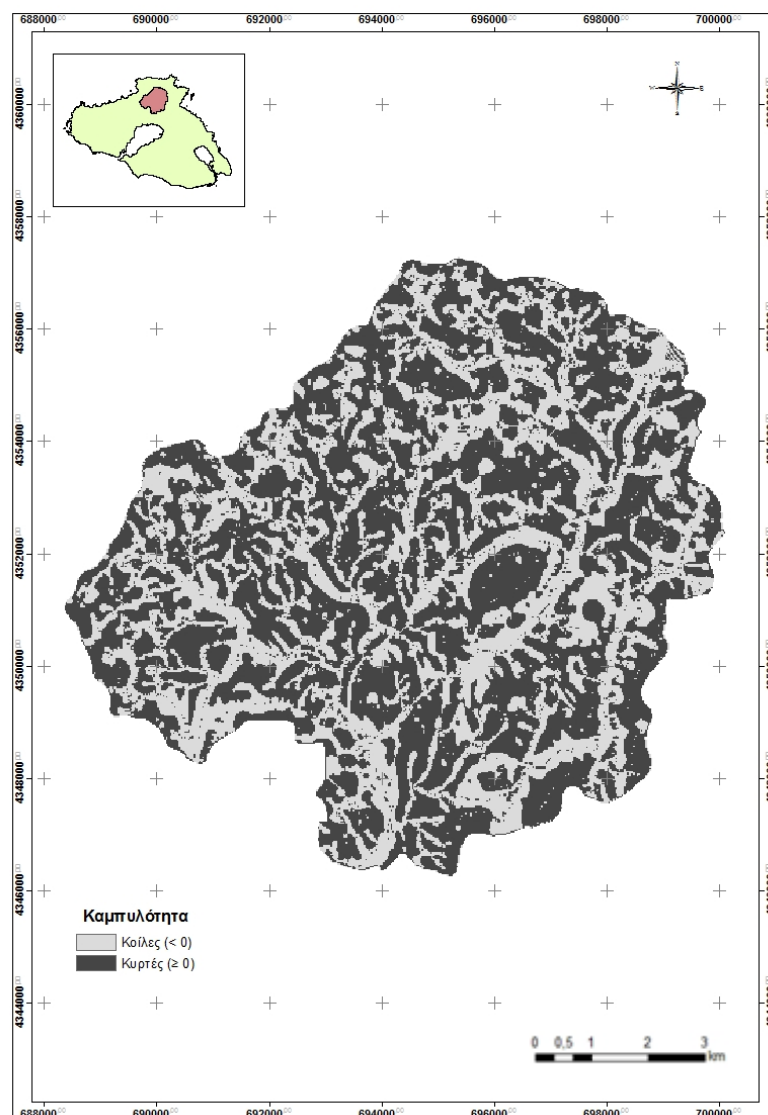
Χάρτης 5.10: Ετήσια εδαφική απώλεια As (t/ha)

Η εξαγωγή σε μορφή χάρτη της εδαφικής απώλειας μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμη στον προσδιορισμό των ευάλωτων στη διάβρωση περιοχών. Έτσι, για την εξεταζόμενη λεκάνη του Τσικνιά ως ιδιαίτερα ευάλωτες στη διάβρωση διακρίνονται περιοχές πλησίον του υδροκρίτη -Δυτικά (πλησίον της Στύψης) και Ανατολικά (πλησίον της Νάπης)- αλλά και σε ορισμένα κεντρικά σημεία της λεκάνης.

Η μέχρι τώρα παράθεση χαρτών περιγράφει την πορεία που ακολουθείται για μία τυπική εφαρμογή της μεθόδου RUSLE σε περιβάλλον ΣΓΠ. Καθώς η μέθοδος –στις περιπτώσεις εφαρμογής σε λεκάνες απορροής- δεν εξαιρεί τις επιφάνειες απόθεσης από τους υπολογισμούς εδαφικής απώλειας, μπορεί να θεωρηθεί πως οι τιμές εδαφικής απώλειας προκύπτουν υπερεκτιμημένες. Για την αποφυγή υπερεκτιμήσεων μεγεθών διάβρωσης αλλά και υπερδιαστασιολογήσεων ενδεχόμενων αντιδιαβρωτικών, αντιπλημμυρικών ή και έργων ταμίευσης, προτείνεται οι εκτιμήσεις εδαφικής απώλειας που προκύπτουν με χρήση της RUSLE να απομειώνονται πολλαπλασιαζόμενες με

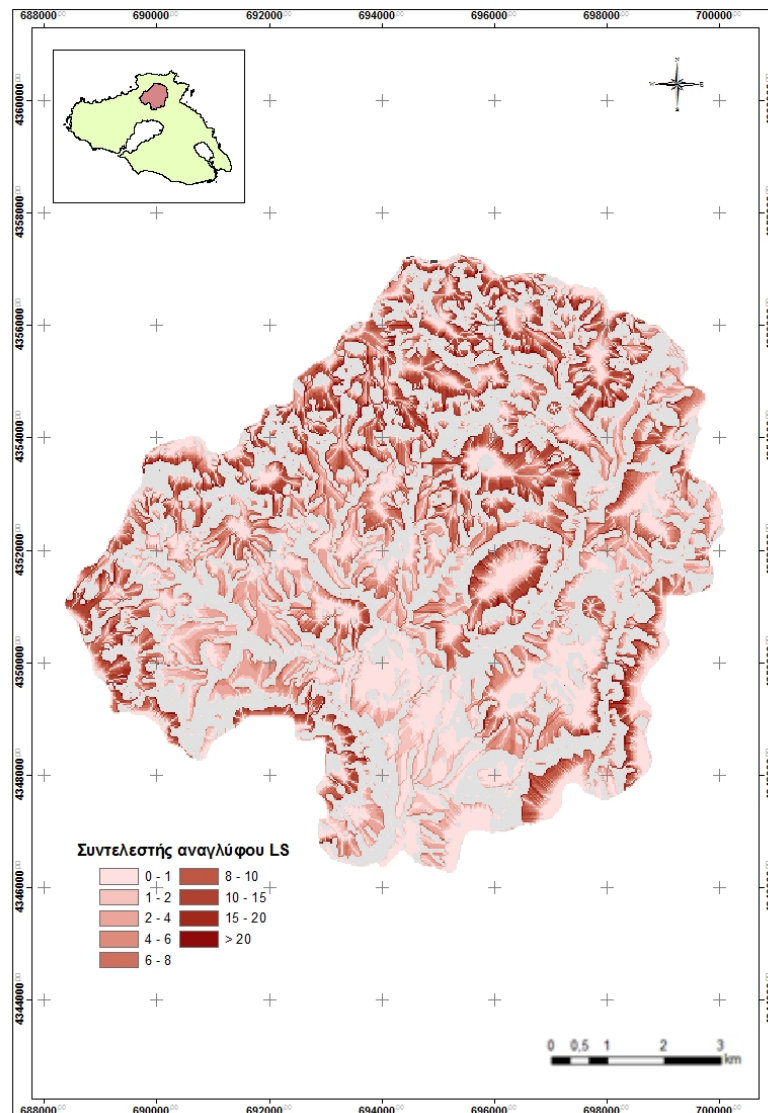
συντελεστή της τάξης του 0,75~0,80. Φυσικά προϋπόθεση αποτελεί η αποφυγή (συχνών) υποεκτιμήσεων της εδαφικής απώλειας που προκύπτουν πρωτίστως λόγω υποεκτίμησης της διαβρωτικότητας της βροχής (R).

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και σε αναζήτηση ορθότερων εκτιμήσεων εδαφικής απώλειας, γίνεται μια δοκιμή προσδιορισμού και εξαίρεσης από τους υπολογισμούς των περιοχών απόθεσης. Για το σκοπό αυτό αξιοποιούνται δυνατότητες των ΣΓΠ. Με χρήση του εργαλείου (Curvature) -Χάρτης 5.11- που προσδιορίζει την καμπυλότητα κάθε σημείου (κυττάρου) προκύπτει ο αντίστοιχος χάρτης όπου οι περιοχές κατηγοριοποιούνται σε αρνητικής καμπυλότητας (κοίλες), μηδενικής και θετικής καμπυλότητας (κυρτές).



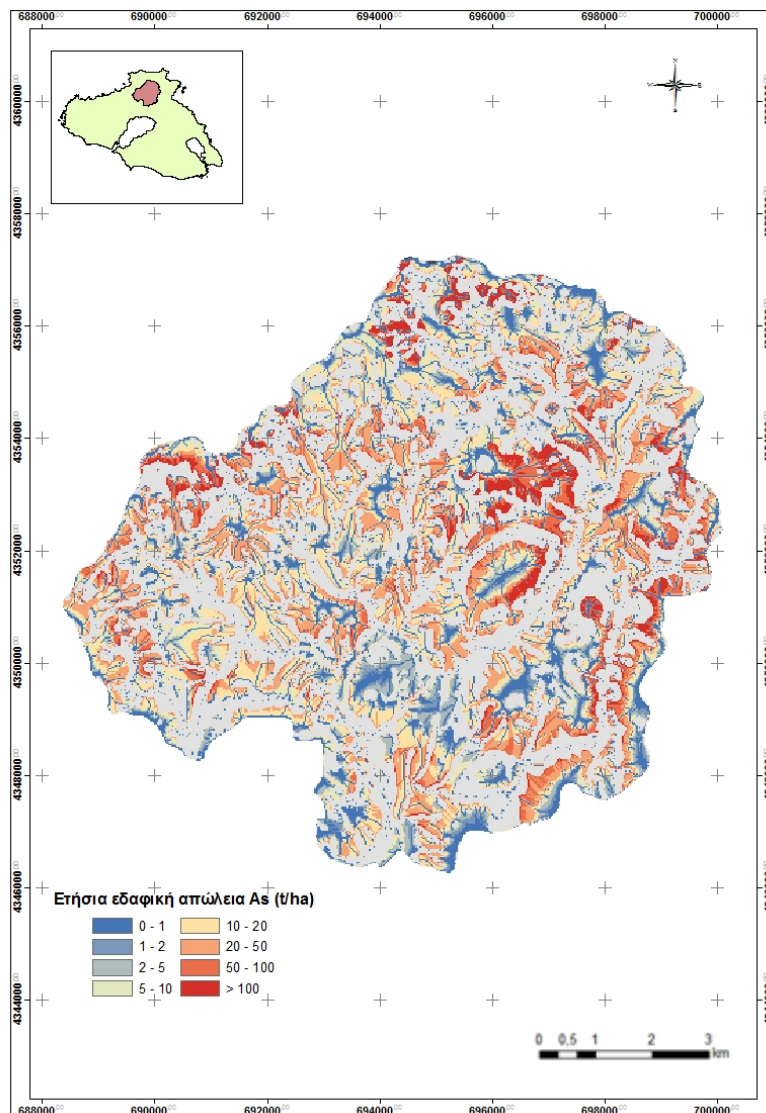
Χάρτης 5.11: Καμπυλότητα περιοχών λεκάνης απορροής

Οι κοίλες περιοχές θεωρείται πως αποτελούν περιοχές απόθεσης εδαφικών υλικών και ως εκ τούτου δε μετέχουν στην παραγωγή εδαφικής απώλειας. Έτσι εξαιρούνται από τους υπολογισμούς για το συντελεστή αναγλύφου LS και συνακόλουθα της εδαφικής απώλειας As. Ο συντελεστής αναγλύφου υπολογιζόμενος μόνο για τις περιοχές διάβρωσης παρουσιάζεται στο Χάρτη 5.12 με τη μέση τιμή να προκύπτει ίση με 4,91.



Χάρτης 5.12: Συντελεστής αναγλύφου LS εξαιρουμένων των επιφανειών απόθεσης

Εφαρμόζοντας τη σχέση της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS, αυτή τη φορά με τον τροποποιημένο κানাβο του συντελεστή αναγλύφου και με τα ίδια μοντέλα χωρικών δεδομένων για τους υπόλοιπους συντελεστές, προκύπτει ο Χάρτης 5.13, που παρουσιάζει τη χωρική διακύμανση της ετήσιας εδαφικής απώλειας (t/ha) με τη μέση τιμή να προκύπτει ίση με **27,93** t/ha.



Χάρτης 5.13: Ετήσια εδαφική απώλεια As (t/ha) με εξαίρεση των περιοχών απόθεσης

Παρατηρώντας αυτή τη φορά το χάρτη για τον προσδιορισμό περιοχών ευάλωτων στη διάβρωση, παρατηρούνται ορισμένες σημαντικές μειώσεις επιφανειών που εμφάνιζαν στην αρχική κατάσταση υψηλό κίνδυνο διάβρωσης, αλλά και περιπτώσεις οι πρότερες επιφάνειες διατηρούνται σχεδόν άθικτες. Συνολικά μπορεί να λεχθεί πως αφαιρώντας τις επιφάνειες απόθεσης από τους υπολογισμούς μειώνονται -πολύ λογικά- οι εκτάσεις των περισσότερο ευάλωτων στη διάβρωση περιοχών.

Επισημαίνεται πως η υπόθεση της εξαίρεσης από τους υπολογισμούς των περιοχών θετικής καμπυλότητας, θεωρώντας τις ως περιοχές απόθεσης, αποτελεί μια εννοιολογική προσέγγιση αρκετά απλουστευτική, που προσπαθεί να βελτιώσει τις εκτιμήσεις εδαφικής απώλειας και διάβρωσης. Η προσέγγιση αυτή δεν έχει βρεθεί διατυπωμένη στην ελληνόγλωσση ή ξενόγλωσση βιβλιογραφία και σίγουρα δε μπορεί να περιγράψει με ρεαλισμό τις ακριβείς μορφές που λαμβάνουν οι διεργασίες της

διάβρωσης στη μονάδα του χώρου και του χρόνου. Έτσι, ενώ γενικά είναι σωστό να θεωρούνται οι κοίλες περιοχές ως απόθεσης και οι κυρτές ως διάβρωσης ενδέχεται σε πολλές περιπτώσεις να επικρατούν “μικτές συνθήκες” –απόθεσης και διάβρωσης- εξαρτώμενες από την αλληλεπίδραση των διαδικασιών της διάβρωσης –εδαφικής απώλειας, στερεομεταφοράς, απόθεσης-. Περιπτώσεις “μικτών συνθηκών” είναι πολύ πιθανό να απαντώνται σε περιοχές μετάβασης από αρνητική σε θετική καμπυλότητα και αντίστροφα. Επίσης, καθώς στη λεκάνη απορροής επικρατούν μεσογειακού τύπου συνθήκες, οι διαδικασίες διάβρωσης διέπονται από ακόμα μεγαλύτερη πολυπλοκότητα, καθώς είναι δυνατό ένα και μόνο ισχυρό πλημμυρικό επεισόδιο να προκαλέσει στερεοαπορροή που αγγίζει τις αντίστοιχες μέσες ετήσιες ποσότητες. Έτσι, σε “μεσογειακού τύπου” λεκάνες απορροής όπως και αυτή του Τσικνιά, οι διαδικασίες της διάβρωσης χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα ευαίσθητες, με ισχυρά στοχαστικό μέρος.

5.5 Εκτίμηση Στερεοαπορροής

Ο συντελεστής στερεοαπορροής με χρήση της σχέσης του Vanoni (1975) -[3.44]- προκύπτει **0,27**. Η εκτιμώμενη στερεοαπορροή συναρτήσεται της εδαφικής διάβρωσης με χρήση της RUSLE για τα πέντε σενάρια τιμών συντελεστή R και τα δύο συντελεστή LS παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.21.

Πίνακας 5.21: Ποσότητες ετήσιας στερεοαπορροής t/ha από τιμές εδαφικής διάβρωσης RUSLE

Σενάρια	As (t/ha)		Sy (t/ha)	
	I	II	I	II
A	39,75	32,10	10,84	8,76
B1	54,37	43,90	14,83	11,97
B2	66,77	53,92	18,21	14,71
Γ1	73,48	59,34	20,04	16,18
Γ2	51,55	41,63	14,06	11,35

Από τις παραπάνω εκτιμώμενες ποσότητες, η προτιμώμενες στα πλαίσια της εργασίας είναι όπως και πριν οι τιμές του σεναρίου A –αναλυτικά υπολογισμένο R- για I –LS στο σύνολο της λεκάνης απορροής- και II –LS εξαιρουμένων των επιφανειών απόθεσης-. Οι ετήσιες τιμές στερεοαπορροής εν προκειμένω ανέρχονται στους **10,84** και **8,76** t/ha αντίστοιχα (**1.084** και **876** t/km²).

Αξιοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές από την εφαρμογή της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS, οι ετήσιες τιμές στερεοαπορροής ανέρχονται στους **9,65** (I) και **7,62** (II) t/ha αντίστοιχα (**965** και **762** t/km²). Οι εκτιμήσεις των μεγεθών μέσω της εφαρμογής σε περιβάλλον ΣΓΠ θεωρούνται αρτιότερες των

υπολοίπων, καθώς εν αντιθέσει με τους τυπικούς υπολογισμούς, αξιοποιούν τη χωρική πληροφορία των παραγόντων που επιδρούν στα εξεταζόμενα μεγέθη.

Η εκτιμώμενη ετήσια στερεοαπορροή συναρτῆσει της εδαφικής διάβρωσης που προκύπτει με χρήση της Gavrilovic ανέρχεται στους **5,84 t/ha (584 t/km²)**.

Οι Zarris *et al.* (2012) συγκεντρώνοντας δεδομένα από μια σειρά εργασιών (Zarris *et al.*, 2002, 2006, 2007 και 2011) παρουσίασαν δεδομένα στερεοπαροχών και στερεοαπορροών για συνολικά 14 θέσεις ποταμών, της ΒΔ αλλά και της Βόρειας Ελλάδας -Πίνακας 5.22-. Σημείο εκκίνησης των παραπάνω εργασιών αποτέλεσε η υδρογραφική αποτύπωση του ταμιευτήρα των Κρεμαστών για την εκτίμηση του όγκου των αποθέσεων φερτών υλικών. Στις παραπάνω θέσεις αξιοποιήθηκαν δεδομένα στερεοϋδρομετρήσεων -από μετρητές εγκατεστημένους από τη ΔΕΗ- για την κατασκευή καμπυλών παροχής-στερεοπαροχής Οι καμπύλες δεν κατασκευάστηκαν ως ενιαίες αλλά –για τη μείωση των υποεκτιμήσεων- με εφαρμογή τεθλασμένης παλινδρόμησης (Koutsoyiannis, 2000, Zarris and Koutsoyiannis, 2005), που αποδίδει ικανοποιητικότερα τη μεγάλη διαφορά στη στερεομεταφορά μεταξύ της βασικής (φορτίο κοίτης) και της πλημμυρικής απορροής (φορτίο κοίτης και φορτίο απόπλυσης) (Ζαρρής, 2008).

Πίνακας 5.22: Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο

Ποταμός	Θέση	A(km ²)	Qs(kg/s)	Sy(t/km ²)
Αχελώος	Αυλάκι	1.355	73,3	1.705,5
Αχελώος	τ.Κρεμαστών	1.733	66,0	1.184,6
Αγραφιώτης	τ.Κρεμαστών	320	20,9	2.034,8
Ταυρωπός	τ.Κρεμαστών	1.239	19,5	489,4
Εύηνος	Πόρος Ρηγανίου	914	42,5	1.447,3
Άραχθος	γ.Τσίμοβου	640	21,3	1.049,5
Άραχθος	γ.Γκόγκου	203	10,3	1.592,1
Άραχθος	γ.Πλάκας	970	38,4	1.249
Καλαμάς	γ.Σουλόπουλο	660	5,9	279,6
Καλαμάς	Κιοτέκι	1.481	25,4	532,6
Αώος	γ.Κόνιτσας	706	48,9	2.150,7
Αλιάκμονας	γ.Γρεβενών	847	2,2	81,3
Αλιάκμονας	Σιάτιστα	2.724	20,2	233,3
Αλιάκμονας	μ.Ιλαρίωνα	5.005	65,8	414,6
Νέστος	Τέμενος	4.954	31,9	203,4

Παρόμοιας λογικής εκτιμήσεις για ορισμένες από τις παραπάνω θέσεις ποταμών διενεργήθηκαν και από τους Κουτσογιάννη και Τάρλα (1987) καταλήγοντας στις τιμές του παρακάτω Πίνακα **5.23**.

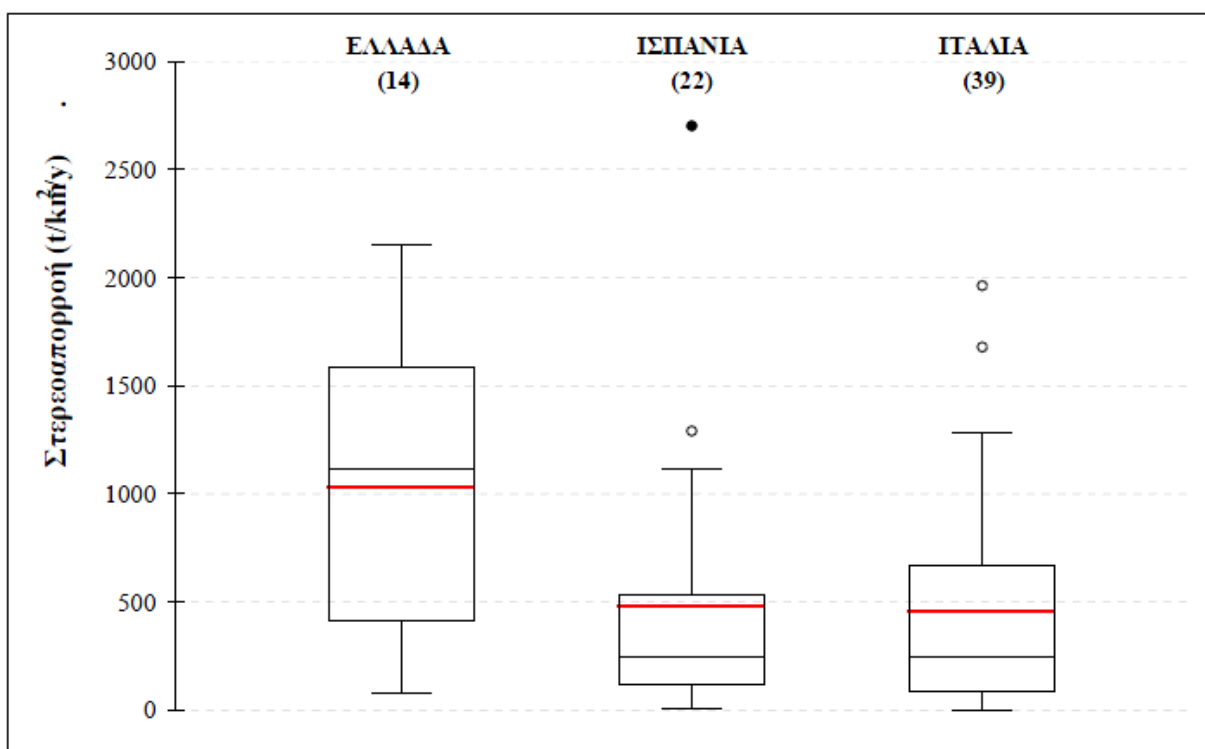
Πίνακας 5.23: Εκτιμήσεις στερεοαπορροής στον Ελληνικό χώρο

Ποταμός	Θέση	A(km ²)	Περίοδος μετρήσεων	Sy(t/km ²)
Άραχθος	γ.Τσίμοβου	640	1965-78	891
Άραχθος	γ.Γκόγκου	203	1966-72	1.176
Άραχθος	γ.Πλάκας	970	1965-76	1.570
Άραχθος	Άρτα	1.855	1965-76	1.546
Καλαμάς	γ.Σουλόπουλο	660	1969-78	203
Καλαμάς	Κιοτέκι	1.481	1966-78	386
Αλιάκμονας	Σιάτιστα	2.724	1965-79	84

Οι παραπάνω εκτιμήσεις στερεοαπορροής έχουν προέλθει από αρκετά έως πολύ διαφορετικές περιοχές σε σχέση με τη λεκάνη απορροής του Τσικνιά, από άποψη υδρολογικών παραμέτρων αλλά και γεωλογικού υποβάθρου. Παρά ταύτα θα πρέπει να αξιοποιούνται για την περαιτέρω αξιολόγηση των εκτιμήσεων στερεοαπορροής, καθώς αποτελούν σημείο αναφοράς στον Ελληνικό χώρο, όντας από τις ελάχιστες υπολογισμένες από δεδομένα ταυτόχρονων μετρήσεων παροχής-στερεοπαροχής. Η σημαντικότητά τους αυξάνεται περισσότερο, από τη στιγμή που στην Ελλάδα έχουν σταματήσει προ πολλού –για πάνω από δύο δεκαετίες- καθιστώντας ανέφικτη την όποια νέα προσπάθεια εκτίμησης ποσοτήτων στερεοαπορροής κατ’ αυτόν τον τρόπο.

Μαζί με τις μέχρι τώρα εκτιμήσεις της στερεοαπορροής της λεκάνης, κρίνεται σκόπιμο να γίνει και ια χονδροειδής εκτίμηση χρησιμοποιώντας τη σχέση των Κουτσογιάννη και Τάρλα (1987). Για την εφαρμογή της σχέσης, που στα συν της συγκαταλέγεται η απαίτηση ελάχιστων δεδομένων, επιλέγεται ένας μέσος γεωλογικός συντελεστής ίσος με 0,55 για το σύνολο της λεκάνης και μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης ίσο με 792,78 mm. Η σχέση εκτιμά τη μέση ετήσια στερεοαπορροή στα 0,89 t/ha ή 89 t/km², μία τάξη μεγέθους μικρότερη από τις μέχρι τώρα εκτιμήσεις και άλλες αναφορές. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αδυναμία λειτουργίας της σχέσης σε ύψη μέσης ετήσιας βροχόπτωσης τόσο χαμηλά σε σχέση με τα αντίστοιχα των περιοχών που έλκει την καταγωγή της.

Σε συνέχεια της σύγκρισης και αξιολόγησης εκτιμήσεων στερεοαπορροής παρουσιάζεται σε μορφή θηκογραμμάτων -Εικόνα 5.2- η σύγκριση των παραπάνω εκτιμήσεων με αντίστοιχες από δύο χώρες της Μεσογειακής λεκάνης –Ισπανία και Ιταλία- (Ζαρρής, 2008).



Εικόνα 5.2: Σύγκριση τιμών μέσης ετήσιας στερεοαπορροής για τρεις Μεσογειακές χώρες

5.6 Εκτίμηση νεκρού όγκου ταμιευτήρα

Για την εκτίμηση νεκρού όγκου του μελλοντικού ταμιευτήρα Τσικνιά, εφαρμόζονται οι σχέσεις όπως περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 3.4.

Οι ποσότητες ετήσιας στερεοαπορροής που καταλήγουν μέσω του υδρογραφικού δικτύου στην επιφάνεια του ταμιευτήρα του φράγματος Τσικνιά εκτιμώνται σε **88.826** (I) και **71.733** (II) t με χρήση της RUSLE και **47.804** t με χρήση της Gavrilovic αντίστοιχα.

Με χρήση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής της RUSLE στο arcGIS, οι ποσότητες ετήσιας στερεοαπορροής ανέρχονται σε **79.055** (I) και **62.430** (II) t.

Οι εδαφικές εξαπλώσεις στην περιοχή μελέτης και κατά συνέπεια και οι παραγόμενες αποθέσεις στον ταμιευτήρα θεωρούνται ως μέσης σύστασης εδάφη, κατά βάση αμμο-ιλυώδη, όπως αναλύεται και στην ενότητα 5.2.2. Μία μέση σύσταση που επιλέγεται για τη διεξαγωγή των υπολογισμών είναι 55% άμμος, 25% ιλύς και 15% άργιλος.

Για τον τύπο λειτουργίας του ταμιευτήρα επιλέγεται η δεύτερη κατηγορία με “μέτριες έως σημαντικές πτώσεις της στάθμης”.

Έπειτα από τις παραπάνω επιλογές, με εφαρμογή της σχέσης [3.47] προκύπτει η αρχική πυκνότητα των αποθέσεων ίση με **1.259,15 kg/ m³** ή **1,26 t/m³**.

Με εφαρμογή της σχέσης [3.48], η μέση πυκνότητα των αποθέσεων για 50 έτη λειτουργίας του ταμιευτήρα προκύπτει ίση με **1.294,88 kg/ m³** ή **1,30 t/m³**.

Βάσει των παραπάνω αρχικών και τελικών τιμών πυκνοτήτων για τις αποθέσεις, θεωρώντας σταθερή την ετήσια εισροή φερτών υλικών στη λεκάνη κατάκλισης, υπολογίζεται ο αθροιστικός όγκος αποθέσεων για 50 έτη λειτουργίας, ίσος με **3.548.130 m³ – 3,55 hm³** (I) και **2.865.349 m³ – 2,87 hm³** (II) για τις δύο υποπεριπτώσεις διάβρωσης που εκτιμάται μέσω της RUSLE και **1.909.509 m³ – 1,91 hm³** για την αντίστοιχη μέσω της Gavrilovic.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την εφαρμογή της RUSLE στο arcGIS ανέρχονται σε **3.152.577 m³ – 3,15 hm³** (I) και **2.488.758 m³ – 2,49 hm³** (II) αντίστοιχα.

Οι παραπάνω τιμές εκτίμησης της ποσότητας των αποθέσεων μπορούν να αξιοποιηθούν για τον καθορισμό και διαστασιολόγηση του νεκρού όγκου του ταμιευτήρα. Συνοπτικά τα μεγέθη που αναφέρονται στην παρούσα ενότητα περιέχονται στον Πίνακα 5.24.

Πίνακας 5.24: Ετήσια ποσότητα αποθέσεων και νεκρός όγκος ταμιευτήρα

	Sy (t/ha)	Αρχικά Φερτά (κατ' έτος) στον ταμιευτήρα			Φερτά (κατ' έτος) σε T=50 έτη			Σύνολο Φερτών - Νεκρός όγκος	
		My (t)	ρ (t/m ³)	Vy (m ³)	My (t)	ρ (t/m ³)	Vy (m ³)	Vy (m ³)	Vy (hm ³)
RUSLE (I)	10,84	88.826	1,259	70.545	88.826	1,295	68.598	3.548.130	3,55
RUSLE~gis (I)	9,65	79.055	1,259	62.784	79.055	1,295	61.052	3.152.577	3,15
RUSLE (II)	8,76	71.733	1,259	56.969	71.733	1,295	55.397	2.865.349	2,87
RUSLE~gis (II)	7,62	62.430	1,259	49.581	62.430	1,295	48.213	2.488.758	2,49
Gavrilovic	5,83	47.804	1,259	37.965	47.804	1,295	36.918	1.909.509	1,91

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενες ενότητες, η εναλλακτική λύση που προκρίνεται ως πιο πλήρης και αντιπροσωπευτική είναι η εφαρμογή της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS, επομένως η ποσότητα του νεκρού όγκου που επιλέγεται ως βάση για την τελική εκτίμηση είναι τα **3,15 hm³** για 50 έτη λειτουργίας του ταμιευτήρα. Η μεθοδολογία μέσω της οποίας προέκυψε η παραπάνω εκτίμηση θεωρείται πως εμφανίζει υπερεκτίμηση στις ποσότητες εδαφικής απώλειας, λόγω της μη εξαίρεσης των επιφανειών απόθεσης από τους υπολογισμούς. Προς αντιμετώπιση των ενδεχόμενων υπερεκτιμήσεων προτείνεται μια απομείωση της τάξης του 10-15%. Έτσι, ο τελικά εκτιμώμενος όγκος

αποθέσεων για 50 έτη λειτουργίας, που προτείνεται να αποτελέσει και το νεκρό όγκο στη διαστασιολόγηση του φράγματος, είναι τα **2,75** hm³.

Δύο εκτιμήσεις του όγκου των αποθέσεων ταμιευτήρων στον ελληνικό χώρο, που αξίζουν αναφοράς για αξιολόγηση και σύγκριση με τις εκτιμήσεις της παρούσας εργασίας, είναι αυτές του ταμιευτήρα Κρεμαστών (Ζαρρής κ.α., 2002) και Μαραθώνα (Ξανθάκης, 2011). Στις δύο αυτές περιπτώσεις οι αποθέσεις εκτιμώνται μέσω υδρογραφικής αποτύπωσης του ταμιευτήρα, που αποτελεί την πιο αξιόπιστη επιλογή μέτρησης των αποθέσεων και μετέπειτα εκτίμησης ποσοτήτων στερεοαπορροής (με προϋπόθεση βέβαια την ύπαρξη ταμιευτήρα για τη διεξαγωγή της αποτύπωσης). Τέτοιες προσπάθειες συνεισφέρουν στην αναγκαιότητα ύπαρξης μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων αποθέσεων σε ταμιευτήρες, που να αξιοποιείται με κατάλληλο τρόπο για συγκρίσεις και αξιολογήσεις νέων εκτιμήσεων στερεοαπορροής και αποθέσεων σε θέσεις μελλοντικών έργων ταμίευσης ή αντιπλημμυρικής/αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Η υδρογραφική αποτύπωση στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών (Ζαρρής κ.α., 2002) εκτίμησε την ποσότητα των αποθέσεων στον ταμιευτήρα των Κρεμαστών σε 66,6 hm³, για 34 έτη λειτουργίας του φράγματος, με μέση ετήσια απόθεση φερτών υλικών 2.081.250 m³, μέση ετήσια στερεοαπορροή στους 1.005,6 t/km², για το σύνολο των τριών ποταμών που καταλήγουν στην τεχνητή λίμνη –Αχελώο, Αγραφιώτη και Μέγδοβα-, και συνολική επιφάνεια των ανάντη λεκανών απορροής 3.292 km².

Η υδρογραφική αποτύπωση στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα (Ξανθάκης, 2011) εκτίμησε την ποσότητα των αποθέσεων στον ταμιευτήρα του Μαραθώνα σε 4,68 hm³, για 80 έτη λειτουργίας του φράγματος, με μέση ετήσια απόθεση φερτών υλικών 58.460 m³, μέση ετήσια στερεοαπορροή στους 508,2 t/km², με επιφάνεια της ανάντη λεκάνης απορροής στα 117,8 km².

Συγκεφαλαιώνοντας τα αντίστοιχα μεγέθη όπως προέκυψαν από τη μεθοδολογία της παρούσας εργασίας, για το μελλοντικό φράγμα Τσικνιά, η ποσότητα των αποθέσεων στον ταμιευτήρα εκτιμάται σε 2,75 hm³, για 50 έτη λειτουργίας του φράγματος, με μέση ετήσια απόθεση φερτών υλικών 61.815 m³, μέση ετήσια στερεοαπορροή στους 965,0 t/km², με επιφάνεια της ανάντη λεκάνης απορροής στα 81,9 km².

6. Συμπεράσματα – Σχολιασμός

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία, καθώς και ο σχολιασμός τους κατανέμονται στις παρακάτω επιμέρους ενότητες:

Αναλυτικός υπολογισμός του συντελεστή διαβρωτικότητας R:

- Η διενέργεια των υπολογισμών σε χρονική διακριτότητα τόσο μικρής διάρκειας (5λέπτου), συμβάλλει στον κατά το δυνατόν πληρέστερο προσδιορισμό της ενέργειας της βροχόπτωσης και του συντελεστή διαβρωτικότητας R
- Η τόσο κοντινή (από άποψη χρονικής διακριτότητας) απόσταση που εξετάζονται τα επεισόδια βροχής, επιτρέπει τη μεγάλη εποπτεία της διαμόρφωσης και διακύμανσης των μεγεθών ενέργειας και διαβρωτικότητας
- Από την εξέταση των τιμών διαβρωτικότητας για τα επιμέρους επεισόδια και την παρουσίαση των αντίστοιχων μηνιαίων τιμών, γίνεται εμφανής η μεγάλη διακύμανση που χαρακτηρίζει τα μεγέθη, με περιπτώσεις ετών όπου η διαβρωτικότητα ενός μήνα ή και ενός μόνο επεισοδίου βροχόπτωσης μπορεί να αγγίζει ή και να υπερβαίνει το 50% της αντίστοιχης ετήσιας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη γενική θεώρηση για τη διαδικασία της στερεομεταφοράς, όπου, ιδιαίτερα σε “μεσογειακού τύπου” λεκάνες απορροής ενυπάρχει το ενδεχόμενο ένα και μόνο ισχυρό πλημμυρικό επεισόδιο –προκαλούμενο από μια αντίστοιχα ισχυρή καταιγίδα- να προκαλέσει στερεοαπορροή που αγγίζει τις αντίστοιχες μέσες ετήσιες ποσότητες
- Η χρονική και χωρική εμβέλεια των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν στους υπολογισμούς δεν κρίνεται επαρκής για τη διατύπωση γενικών διαπιστώσεων παρά μόνο ενδείξεων για τη συμπεριφορά του συντελεστή διαβρωτικότητας

Σύγκριση αναλυτικών υπολογισμών με άλλες εμπειρικές σχέσεις εκτίμησης του R:

- Στο μεγαλύτερο μέρος των αποτελεσμάτων και για τις πέντε από τις έξι εμπειρικές σχέσεις παρουσιάζεται σημαντική υποεκτίμηση σε σχέση με τους αναλυτικούς υπολογισμούς, γεγονός που επιβεβαιώνει και τις επιστημονικές της RUSLE (Renard and Freimund, 1994)
- Η σχέση των Renard and Freimund (1994) με χρήση του MFI είναι η μόνη που παρουσιάζει σημαντική υπερεκτίμηση και ταυτόχρονα με διαφορά τη μεγαλύτερη απόκλιση από τα αποτελέσματα των αναλυτικών υπολογισμών

- Η σχέση των Van der Knijff *et al.* (2003), βάσει της οποίας έχουν επιχειρηθεί και για τον ελληνικό χώρο αντίστοιχες προσεγγίσεις (Φλαμπούρης, 2008), παρουσιάζει επίσης σημαντική υποεκτίμηση
- Οι δύο σχέσεις με την καλύτερη προσέγγιση στις αναλυτικές τιμές είναι αυτή των Renard and Freimund (1994) (με χρήση του P_{ET}) και των Rogler and Schwertmann (1981)
- Η σχέση των Rogler and Schwertmann (1981), παρουσιάζει μεν καλή προσέγγιση με τις αναλυτικά υπολογισμένες τιμές, όμως λόγω της δομής της –εκτίμηση του R με χρήση αποκλειστικά των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης Μαΐου-Οκτωβρίου- ενδεχόμενα να οδηγεί σε υποεκτιμήσεις της διαβρωτικότητας σε περιπτώσεις υψηλότερων μηνιαίων τιμών R κατά τους χειμερινούς μήνες. Έτσι, λόγω και της σοβαρής απόστασης –από άποψη υδρολογικών συνθηκών- που χωρίζει τις περιοχές που προέκυψε η σχέση (Βαυαρία) από τις Ελληνικές, προτείνεται η σχέση να εφαρμόζεται με επιφύλαξη
- Οι σχέσεις εκτίμησης του τύπου $R \sim MFI$ όπως αυτή του Arnoldus (1977) δεν καταφέρνουν – όπως αναμενόταν- να προσεγγίσουν καλύτερα το R σε σχέση με αυτές του τύπου $R \sim P_{ET}$. Οι μεγαλύτερες αποκλίσεις που εμφανίζουν αναδεικνύουν την ευαισθησία τους στην ιδιαίτερη διακύμανση κάθε καθεστώτος βροχόπτωσης. Έτσι, το εν δυνάμει προτέρημα της πιο λεπτομερούς και αντιπροσωπευτικής καταγραφής της διαβρωτικότητας με χρήση του τροποποιημένου δείκτη Fournier (που εισάγει την επιρροή των μηνιαίων μεταβολών του καθεστώτος βροχής), μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε μειονέκτημα όταν οι σχέσεις αυτού του τύπου εφαρμόζονται σε περιοχές με διαφοροποιημένα καθεστώτα βροχόπτωσης από τα αντίστοιχα που έχουν προκύψει. Επομένως, οι σχέσεις αυτού του τύπου εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία και στις περιπτώσεις που επιλέγονται θα πρέπει να εφαρμόζονται με τη μέγιστη επιφυλακτικότητα
- Σε συνέχεια των παραπάνω, οι σχέσεις $R \sim P_{ET}$ πρέπει να προτιμώνται έναντι των $R \sim MFI$. Μπορεί μεν να αποτελούν (τον) πιο γενικό τρόπο συσχέτισης της διαβρωτικότητας με τη βροχόπτωση, όμως αυτή η γενικότητα μάλλον αποτελεί προτέρημα στο χειρισμό ενός μεγέθους τόσο στοχαστικού όπως η βροχόπτωση
- Στην πλειονότητα των περιοχών του Ελλαδικού χώρου –κατά βάση Ανατολικά της οροσειράς της Πίνδου-, τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά και το καθεστώς βροχοπτώσεων (ενέργεια-ένταση βροχής) προσομοιάζουν με αυτά της περιοχής μελέτης. Έτσι, στην περίπτωση εκτίμησης του R από εμπειρικές σχέσεις, προτείνεται οι προκύπτουσες τιμές R να

πολλαπλασιάζονται με έναν αυξητικό συντελεστή της τάξης του 1,2 υπέρ της ασφαλείας, για απομείωση των ενδεχόμενων υποεκτιμήσεων

- Το μέγεθος του συντελεστή διαβρωτικότητας R έχει την πιο δραστική επιρροή στη διαμόρφωση του μεγέθους εδαφικής απώλειας, επομένως θα πρέπει να δίνεται η δέουσα βαρύτητα στις διαδικασίες προσδιορισμού του
- Η διαδικασία εξαγωγής από τα αποτελέσματα των αναλυτικών υπολογισμών εμπειρικών σχέσεων εκτίμησης του R , είναι ενδεικτική της μεθοδολογίας που μπορεί να ακολουθείται στις περιπτώσεις χρονικά και χωρικά επαρκών δεδομένων βροχογράφου με τον καταρχήν αναλυτικό υπολογισμό του συντελεστή διαβρωτικότητας, το μετέπειτα σχηματισμό εμπειρικών σχέσεων και τελικά την εφαρμογή τους για την εκτίμηση του R σε κοντινές ή με κοινά κλιματικά χαρακτηριστικά περιοχές. Για την παρούσα εφαρμογή τα χωροχρονικά δεδομένα θεωρούνται ανεπαρκή με αποτέλεσμα τη χαμηλή αξιοπιστία των σχέσεων

Εφαρμογή μοντέλων εδαφικής διάβρωσης:

- Τα αποτελέσματα των μοντέλων εδαφικής διάβρωσης κρίνονται ικανοποιητικά, σύμφωνα και με αντίστοιχα στην ελληνόγλωσση ή ξενόγλωσση βιβλιογραφία
- Η εφαρμογή της RUSLE σε περιβάλλον arcGIS επιτελεί θετικό ρόλο, καθώς με τη συμπερίληψη της χωρικής μεταβολής των παραμέτρων, αποκτώνται ορθότερες ποσοτικές εκτιμήσεις διάβρωσης. Ταυτόχρονα αναδεικνύεται και η δυνατότητα ποιοτικής εκτίμησης των πιο ευάλωτων στη διάβρωση περιοχών, γεγονός που βελτιώνει σημαντικά τα εργαλεία της διαχείρισης του κινδύνου διάβρωσης
- Η χρήση προγραμμάτων όπως το arcGIS βελτιώνει σημαντικά και τις δυνατότητες εκτίμησης της διάβρωσης. Στο έδαφος αυτό γίνεται προσπάθεια εξαίρεσης από τους υπολογισμούς εδαφικής απώλειας των περιοχών απόθεσης (για μετρίασμό ενδεχόμενων υπερεκτιμήσεων), με χρήση εργαλείων που προσδιορίζουν την καμπυλότητα των εκάστοτε σημείων (κυττάρων) της λεκάνης απορροής. Η μεθοδολογία που ακολουθείται έχει ορθή εννοιολογική βάση, όμως κρίνεται ως ιδιαίτερα απλουστευτική για την περιγράψει το στοχαστικό χαρακτήρα που διέπει τις διεργασίες διάβρωσης και παράλληλα δεν έχει απαντηθεί αντίστοιχη στην ελληνόγλωσση ή ξενόγλωσση βιβλιογραφία
- Η χρήση, για την εκτίμηση της στερεοαπορροής, συντελεστή στερεοαπορροής προερχόμενου από συσχέτιση αποκλειστικά με την επιφάνεια της λεκάνης απορροής και όχι και από μορφολογικά ή υδρογραφικά στοιχεία, αποτελεί επισφαλή απλούστευση των διαδικασιών

στερεομεταφοράς. Βέβαια, παρόμοια χρήση ακολουθείται συχνά στη βιβλιογραφία, καθώς σχέσεις αυτού του τύπου προσφέρουν άμεσα και γρήγορα αποτελέσματα, με αρκετά καλό επίπεδο αξιοπιστίας

Εκτίμηση νεκρού όγκου ταμιευτήρα:

- Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας των Lara and Pemberton (1963) για την εκτίμηση του όγκου των αποθέσεων κρίνονται ικανοποιητικά, σύμφωνα και με αντίστοιχα στην ελληνόγλωσση ή ξενόγλωσση βιβλιογραφία. Ιδιαίτερη βαρύτητα στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων έχει η σύγκριση των εκτιμήσεων της παρούσας εργασίας με εκτιμήσεις αποθέσεων ταμιευτήρων βασιζόμενων σε υδρογραφική αποτύπωση στον Ελληνικό χώρο (Ζαρρής κ.α., 2002, Ξανθάκης, 2011)
- Η αποτελεσματικότητα του πλαισίου μεθόδων και σχέσεων που εφαρμόζεται για την εκτίμηση της διάβρωσης και τον καθορισμό του νεκρού όγκου ταμιευτήρα κρίνεται ικανοποιητική. Με μικρή αρχική απαίτηση δεδομένων προκύπτουν σχετικά αξιόπιστες εκτιμήσεις

Στοιχεία γενικού σχολιασμού:

- Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης με χρήση εμπειρικών μεθόδων, όσο καλά αποτελέσματα και αν θεωρείται ότι εξάγει, παραμένει επισφαλής, καθώς βασίζεται σε μια σειρά αβέβαιων παραδοχών και απλουστεύσεων
- Η χρήση συνθετότερων μοντέλων προσομοίωσης της διάβρωσης δε θεωρείται πως βελτιώνει σημαντικά τις εκτιμήσεις. Η απαίτηση μεγάλου αρχικού όγκου δεδομένων δύσκολα καλύπτεται, με αποτέλεσμα την υιοθέτηση παραδοχών που μειώνουν τα επίπεδα αξιοπιστίας
- Η αβεβαιότητα αυξάνεται στην περίπτωση εκτίμησης διάβρωσης σε περιοχές με πλήρη απουσία μετρήσεων πεδίου (εδαφικής απώλειας ή στερεομεταφοράς)
- Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης με χρήση εμπειρικών μεθόδων δεν αντικαθιστά την ανάγκη διεξαγωγής μετρήσεων πεδίου για τον προσδιορισμό της
- Η συστηματική υδρογραφική αποτύπωση ταμιευτήρων σε συνδυασμό με την εξάπλωση του δικτύου στερεοϋδρομετρήσεων και άλλων μετρήσεων πεδίου αποτελούν τους δύο πυλώνες πάνω στους οποίους μπορούν να βασιστούν η αναβάθμιση της υπάρχουσας γνώσης για την εδαφική διάβρωση και η βελτίωση των εκτιμήσεων εδαφικής απώλειας και στερεομεταφοράς.

Αντικείμενο περαιτέρω έρευνας:

- Επεξεργασία περισσότερων –χωρικά και χρονικά- δεδομένων βροχογράφου διαθέσιμων στον ελληνικό χώρο, για την κατάρτιση επαγωγικών σχέσεων εκτίμησης του συντελεστή διαβρωτικότητας συναρτήσει του μέσου ετήσιου ύψους βροχής ή του τροποποιημένου συντελεστή Fournier
- Εξέλιξη και σε χωρικό επίπεδο της παραπάνω διαδικασίας, με προσδιορισμό της χωρικής διακύμανσης της διαβρωτικότητας και την εξαγωγή ισοτιμικών χαρτών, χρήση των δυνατοτήτων της γεωπληροφορικής
- Βελτίωση της προσέγγισης που επιχειρεί την εξαίρεση των ενδεχόμενων περιοχών απόθεσης από τους υπολογισμούς εδαφικής απώλειας

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ελληνόγλωσση

- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Ε. Λυκούδη και Μ. Αντωνίου, 2002α, Καταγραφή και ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων στη Βόρεια και Δυτική Λέσβο, 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002.
- Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α., Λειβαδίτης Γ. και Ε. Λυκούδη, 2002β, Εκτίμηση της τρωτότητας στη διάβρωση των γεωλογικών σχηματισμών και της παραγωγής φερτών υλών στη Λέσβο, 6^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 3-6 Οκτωβρίου 2002.
- Βαμβουκάκης, Κ., 2009, *Επιθερμική Μεταλλοφορία Au-Ag στη Νήσο Λέσβο*, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ 418.
- Γιάσογλου, Ν., 2004, *Χάρτης Εδαφικών Ενώσεων της Ελλάδας*, Εθνική Επιτροπή κατά της Ερημοποίησης, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Ζαρρής, Δ., 2008, Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών στον ταμιευτήρα Κρεμαστών και εκτιμήσεις στερεοαπορροής στη ΒΔ Ελλάδα, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων με Διεθνή Συμμετοχή, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας & Διεθνής Επιτροπή Μεγάλων Φραγμάτων, Λάρισα, 13 – 15 Οκτωβρίου.
- Ζαρρής, Δ., Ε. Λυκούδη και Δ. Κουτσογιάννης, 2001, Τελική Έκθεση, Διερεύνηση των αποθέσεων φερτών υλικών σε υδροηλεκτρικούς ταμιευτήρες, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 243 σελίδες, Αθήνα.
- Ζαρρής, Δ., Ε. Λυκούδη και Δ. Κουτσογιάννης, 2002, Η εξέλιξη των αποθέσεων φερτών υλικών σε ταμιευτήρες ως δυναμικό φαινόμενο - Εφαρμογή στον ταμιευτήρα Κρεμαστών, Πρακτικά 6ου Πανελλήνιου Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη, 2, 363–370, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία.
- Θωμαΐδου, Ε., 2009, *Η Γεωλογική δομή της Νήσου Λέσβου*, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ 200.

- Καρύμπαλης, Ε., Ε. Κοντής και Ν. Ζούρος, 2004, Ποσοτικές γεωμορφολογικές παρατηρήσεις στη λεκάνη απορροής του χείμαρρου Τσικνιά (Κεντρική Λέσβος), 7^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη 14-17 Οκτωβρίου 2004.
- Κούβαρη, Γ.-Γ., 2013, Προσδιορισμός εδαφικών παραμέτρων για τον εντοπισμό περιοχών υψηλής διαβρωτικής επικινδυνότητας στην περιφέρεια Πελοποννήσου και μέτρα προστασίας, Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΔΠΜΣ “Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών”, ΕΚΠΑ και ΤΕΙ Σερρών.
- Κουλούρη, Μ., 2004, Εδαφική υδατική διάβρωση και αλλαγή χρήσης γης στη Μεσόγειο: Εγκατάλειψη παραδοσιακής εκτατικής καλλιέργειας, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, σσ 218.
- Κουράκλη, Π., 2010, Εκτίμηση του κινδύνου πρόσχωσης των ταμιευτήρων νερού με τη χρήση των G.I.S. και της Τηλεπισκόπησης (Εφαρμογή: τεχνητή λίμνη Πολυφύτου Ν. Κοζάνης), Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ 197.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Κ. Τάρλα, 1987, Εκτιμήσεις Στερεοαπορροής στην Ελλάδα, *Τεχνικά Χρονικά*, 7 (3).
- Λαμέρα, Σ., 2004, Ο Ιγκνιμβρίτης του Πολυχίτου της Νήσου Λέσβου, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, σσ 272.
- Μαμάσης, Ν., 2012, Γεωμορφολογία και απορροή – Εφαρμογές με τη χρήση ΣΓΠ, σημειώσεις για το μάθημα *Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά έργα*, ΔΠΜΣ *Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, ΕΜΠ.
- Μαρής, Φ., 2000, Το χειμαρρικό περιβάλλον των φυσικών λιμνών της Ελλάδας, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ξανθάκης, Μ, Κ. Παυλόπουλος, Γ. Αποστολόπουλος, Β. Καψιμάλης, Α. Γκορέγια, Π. Στεφανίδης και Χ. Μαρουκιάν, 2010, Εφαρμογή μεθοδολογίας εκτίμησης φερτών υλών σε τεχνητούς ταμιευτήρες – μελέτη περίπτωσης λίμνης Μαραθώνα, Πρακτικά του 9ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Αθήνα 4-6 Νοεμβρίου 2010, σσ 133-140.
- Ξανθάκης, Μ., 2011, Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία, Διδακτορική Διατριβή, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, σσ 288.
- Παναγούλια, Δ. και Γ. Δήμου, 2002, *Μηχανική των Φερτών Υλικών*, Έκδοση 3η, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σσ 462.

Παπαρρίζος, Σ., Θ. Αναστασίου και Σ. Ποτουρίδης, 2012, Εκτίμηση μέσης ετήσιας εδαφικής απώλειας με χρήση τριών εμπειρικών μεθόδων και τη βοήθεια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Η περίπτωση των χειμάρρων Τσάι, Βαθύ, Λυκόρεμα της περιοχής Αλεξανδρούπολης, δημοσίευση έπειτα από κρίση στην *Περιοδική Έκδοση του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων (Δ.Π.Θ.)*, 4^{ος} Τόμος: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ISSN: 1791-7824, ISBN: 978-960-9698-05-4, σσ 229-249.

Ποτουρίδης, Σ., Κ. Ξανθοπούλου, Σ. Παπαρρίζος και Φ. Μάρης, 2012, Μοντέλα διάβρωσης στις Μεσογειακές χώρες, δημοσίευση έπειτα από κρίση στην *Περιοδική Έκδοση του Τμήματος Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων (Δ.Π.Θ.)*, 4^{ος} Τόμος: Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ISSN: 1791-7824, ISBN: 978-960-9698-05-4, σσ 251-265.

Φλαμπούρης, Κ., 2008, *Μελέτη της επίδρασης του παράγοντα βροχόπτωσης R στο νόμο RUSLE*, Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σσ 181.

- Angulo-Martínez, M., M. Lopez-Vicente, S.M. Vicente-Serrano and S. Begueria, 2009, Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain), *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, pp 1907-1920, DOI:10.5194/hess-13-1907-2009.
- Arnoldus, H.M.J., 1977, Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, *FAO Soils Bulletin*, 34, pp 39-51.
- Becvar, M., 2005, *Estimating typical sediment concentration probability density functions for European rivers*, M.Sc. Thesis, Cranfield University at Silsoe, pp 132.
- Boellstorff, D. and G. Benito, 2005, Impacts of set-aside policy on the risk of soil erosion in central Spain, *Agr. Ecosyst. Environ.*, 107, pp 231–243.
- Brown, L.C. and G.R. Foster, 1987, Storm erosivity using idealized intensity distributions, *Trans. ASAE*, 30, pp 379-386.
- Dendy, F.E. and G.C. Bolton, 1976, Sediment yield-runoff drainage area relationships in the United States, *J. Soil and Water Cons.*, 36, pp 264-266.
- Di Stefano, C., V. Ferro and P. Porto, 2000, Length Slope Factors for applying the Revised Universal Soil Loss Equation at Basin Scale in Southern Italy, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75 (4), pp 349-364.
- Diodato, N., 2004, Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 8, pp 103–107.
- Ferro, V., P Porto and B Yu, 1999, A comparative study of rainfall erosivity estimation for Southern Italy and southeastern Australia. *Hydrological Sciences Journal*, 44 (1), pp 3-24.
- Ferro, V., G. Giordano and M. Iovino, 1991, Isoerosivity and erosion risk map for Sicily, *Hydrological Sciences Journal*, 36 (6), pp 549-564.
- Foster, G.R., L.J Lane, J.D. Nowlin, J.M. Laflen and R.A. Young, 1981, Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas, *Transaction of the American Society of Agricultural Engineering (ASAE)*, 24(5), pp 1253-1262.

- Gavrilovic, S., 1988, The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in unstudied or Torrential Streams, in White, W.R. (Ed.), *International Conference on River Regime*, Wiley, New York (Chichester, UK), pp 411-422.
- Karydas, C.G., P. Panagos and I.Z. Gitas, 2012, A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics, *International Journal of Digital Earth*, pp 1-22, DOI:10.1080/17538947.2012.671380.
- Koutsoyiannis, D., 2000, Broken line smoothing: a simple method for interpolating and smoothing data series, *Environmental Modelling & Software*, 15, pp 139-149.
- Lane, L.J. and M.A. Nearing (Ed.), 1989, *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile Model Documentation*, NSERL Report No. 2, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory: West Lafayette.
- Lara, J. M. and E.L. Pemberton, 1963, Initial Unit Weight of Deposited Sediments, *Procedures of Federal Interagency Sedimentation Conference*, USDA-ARS Misc. Publ. 970, pp 818-845.
- McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, C.K. Mutchler and L.D. Meyer, 1987, Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation, *Transactions of the ASAE*, 30 (5), pp 1387-1396.
- Miller, C.R., 1953, *Determination of the Unit Weight of Sediment for Use in Sediment Volume Computations* U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Mitasova, H. and L. Mitas, 2001a, Multiscale soil erosion simulations for land use management, in *Landscape Erosion and Evolution Modeling* (edited by R.S. Harmon and W.W. Doe III), Springer US, New York, 321-347, DOI:10.1007/978-1-4615-0575-4_11.
- Mitasova, H., and L. Mitas, 1999, *Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS*, GMSLab, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL, USA.
- <http://www4.ncsu.edu/~hmitaso/gmslab/denix/usle.html>
- Mitasova, H., J. Hofierka, M. Zlocha and L.R. Iverson, 1996, Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS, *International Journal of Geographical Information Science*, 10(5), pp 629-641.
- Mitasova, H., W.M. Brown, M. Hohmann, and S. Warren, 2001b, *Using Soil Erosion Modeling for Improved Conservation Planning: A GIS-based Tutorial*, GMSLab, University of Illinois, Urbana-Champaign, IL and USA CERL.

<http://www4.ncsu.edu/~hmitaso/gmslab/reports/CerlErosionTutorial/denix/default.htm>.

- Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri and M.E. Styczen, 1998, The European Soil erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments, *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, pp 527-544.
- Morris, G.L. and J. Fan, 1998 *Reservoir Sedimentation Handbook*, McGraw-Hill Book Co., New York, pp 805.
- Moore, I. D., A. K. Turner, J. P. Wilson, S. K. Jensen and L. E. Band, 1993, GIS and land surface-subsurface process modeling, in *Geographic Information Systems and Environmental Modeling* (edited by M. F Goodchild, L. T. Steyaert, and B. O. Parks), Oxford University Press, New York, pp 196-230.
- Moore, I.D. and G.J. Burch, 1986, Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation, *Soil Science Society America Journal*, 50, pp 1294-1298.
- Moore, I.D. and J.P. Wilson, 1992, Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 4 (5), pp 423-428.
- Onori, F., P. De Bonis, and S. Grauso, 2006, Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy), *Environ. Geol.*, 50(8), pp 1129–1140, doi:10.1007/S00254-006-0286-1.
- Panagos, P., C.G. Karydas, I.Z. Gitas and L. Montanarella, 2012, Monthly soil erosion monitoring based on remotely sensed biophysical parameters: a case study in Strymonas river basin towards a functional pan-European service, *International Journal of Digital Earth*, 5 (6), pp 461-487, DOI:10.1080/17538947.2011.587897.
- Panagos, P., K. Meusburger, C. Alewell and L. Montanarella, 2014, Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe, *Environmental Modelling & Software*, 30, pp 143-145, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.002>
- Renard, K.G, G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, D.C. Yoder *et al.*, 1997, *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, US Department of Agriculture (USDA), Washington, DC, USA, Agricultural handbook 703, pp 404.

- Renard, K.G. and J.R. Freimund, 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, 157, pp 287-306.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and J.P. Porter, 1991, RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1), pp 30-33.
- Renfro, G.W., 1975, Use of Erosion Equations and Sediment Delivery Ratios for Predicting Sediment Yield, in *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources*, U.S. Department of Agriculture (USDA).
- Rogler, H. and U. Schwertmann, 1981, Erosivität der Niederschläge und Isoerodentenkarte Bayerns. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung*, 22, pp 99-112.
- Römkens, M.J.M, S.N. Prasad, J.W.A. Poesen, 1986, Soil erodibility and properties, *Trans. 13th congress of the International Society of Soil Sciences, Hamburg, Germany*, pp 492-504.
- de Santos Loureiro, N. and M. de Azevedo Coutinho, 2001, A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal, *Journal of Hydrology*, 250 (1-4), pp 12–18, doi:10.1016/S0022-1694(01)00387-0.
- Sigalos, G., V. Loukaidi, S. Dasaklis and A. Alexouli-Livaditi, 2010, Assessment of the quantity of the material transported downstream of Sperchios river, central Greece, *Proceedings of 12th International Congress of the Geological Society of Greece "Planet Earth: geological processes and sustainable development"*, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43 (3), pp 737-745, Patras, May 19-22, 2010.
- Torri, D., L. Borselli, F. Guzzetti, M.C. Calzolari, P. Bazzoffi, F. Ungaro, D. Bartolini and M.P. Salvador Sanchis, 2006, *Soil Erosion in Europe*, in: Boardman, J., Poesen, J. (Eds.), John Wiley & Sons Ltd., Chichester, United Kingdom, pp 245-261.
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Resources Conservation Service (USDA-ARS-NRCS), 2002, Revised Universal Soil Loss Equation, Version 2 (RUSLE2) - Official NRCS RUSLE2 Program - Official NRCS Database RUSLE2, Internet site: http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/RUSLE2_Index.htm .
- U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA-SCS), 1971, *National Engineering Handbook*, Section 3: Sedimentation, Chapter 6: Sediment sources, yields, and delivery ratios, pp 18.

- U.S. Department. of the Interior(USDI), Bureau of Reclamation, Denver (CO) Office, Technical Service Center, Sedimentation and River Hydraulics Group, 2006, *Erosion and Sedimentation Manual*, in Reclamation, Managing water in the West, pp 601.
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones, and L. Montanarella, 2000a, Soil erosion risk assessment in Europe, *JRC Scientific and Technical Report - EUR 19022 EN*, European Soil Bureau, European Commission, 58 pages.
- Van der Knijff, J.M., R.J.A. Jones, and L. Montanarella, 2000b, Soil erosion risk assessment in Italy, *JRC Scientific and Technical Report - EUR 19044 EN*, European Soil Bureau, European Commission, 38 pages.
- Van Remortel, R., M. Hamilton and R. Hickey, 2001, Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. *Cartography*, 30 (1), pp 27-35.
- Vanoni, V.A., 1975, Sedimentation Engineering, in *Manuals and Reports on Engineering Practices*, ASCE, New York.
- Wang, G, G. Gertner, S. Fang and A.B. Anderson, 2003, Mapping Multiple Variables for Predicting Soil Loss by Geostatistical Methods with TM Images and a Slope Map, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, pp 889-898.
- Wang, G, G. Gertner, V. Singh, S. Shinkareva, P. Parysow and A. B. Anderson, 2001, Spatial and temporal prediction and uncertainty analysis of rainfall erosivity for the Revised Universal Soil Loss Equation, *U.S. Army Corps of Engineers – Engineer Research and Development Center*.
- Wischmeier, W.H., 1976, Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation, *Journal of Soil and Water Conservation*, 31, pp 5-9.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1965, Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation, *Agriculture Handbook 282*, U.S. Department of Agriculture (USDA), Washington DC, USA.
- Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1978, Predicting rainfall erosion losses – a guide for conservation planning, *Agriculture Handbook 537*, U.S. Department of Agriculture (USDA), Washington DC, USA.
- Woolhiser, D.A., R.E. Smith and D.C. Goodrich, 1990, *KINEROS, A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual*, USDA-Agricultural Research Service, ARS-77, pp 130.

- Zarris, D., and D. Koutsoyiannis, 2005, Evaluating sediment yield estimations from large-scale hydrologic systems with the rating curve concept, *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 52 (1), pp 157-159.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Koutsoyiannis, 2002, Sediment yield estimation of a hydrological basin using measurements of reservoir deposits: A case study for the Kremasta reservoir, Western Greece, *Proceedings of the 5th International Conference of European Water Resources Association: "Water Resources Management in the Era of Transition"*, edited by G. Tsakiris, Athens, pp 338–345, European Water Resources Association.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Panagoulia, 2006, Assessing the impacts of sediment yield on the sustainability of major hydraulic systems, *Proceedings, Protection and Restoration of the Environment VIII*, Chania, Greece, pp 319–320.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Panagoulia, 2007, Sediment yield estimates in North-Western Greece and analyses with hydrologic and geomorphologic factors, *Proceedings of 11th International Congress*, Geological Society of Greece.
- Zarris, D., E. Lykoudi and D. Panagoulia, 2012, Sediment yield assessment in Greece, *International Conference Sediment Transport Modeling in Hydrological Watersheds and Rivers*, 14-16 November 2012, Istanbul, Turkey
- Zarris, D., M. Vlastara and D. Panagoulia, 2011, Sediment Delivery Assessment for a Transboundary Mediterranean Catchment: The Example of Nestos River Catchment, *Water Resources Management*, 25 (14), pp 3785-3803, DOI:10.1007/s11269-011-9889-8.

Παράρτημα

Αναλυτικοί υπολογισμοί συντελεστή διαβρωτικότητας

Έτος 1988-89

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
1	1988-89	14/11/1988	15:00	0						16,8		196,58	1077,62
	P _{ET}		15:05	0,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
	[495,4]		15:10	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			15:15	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			15:20	0,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009				
			15:25	0,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			15:30	0,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			15:35	0,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,2			
			15:40	1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,8			
			15:45	1,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,4			
			15:50	1,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			15:55	1,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			16:00	1,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			16:05	1,7		0	0,00	0,000	0,000	2,0			
			16:10	1,7		0	0,00	0,000	0,000	1,4			
			16:15	1,8	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,0			
			16:20	2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,0			
			16:25	3	5	1	12,00	0,175	0,175	2,8			
			16:30	3,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,0			
			16:35	3,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			16:40	3,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			16:45	3,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,2			
			16:50	4,2	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,4			
			16:55	4,2		0	0,00	0,000	0,000	2,4			
			17:00	4,2		0	0,00	0,000	0,000	2,0			
			17:05	4,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	2,0			
			17:10	4,3		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			17:15	4,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,0			
			17:20	4,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			17:25	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			17:30	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			17:35	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			17:40	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			17:45	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:50	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			17:55	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:00	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:05	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:10	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:15	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:20	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:25	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:30	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:35	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:40	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:45	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			18:50	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			18:55	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			19:00	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			19:05	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			19:10	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			19:15	4,5		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			19:20	4,6	120	0,1	0,05	0,082	0,008	0,2			
			19:25	5,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	1,2			
			19:30	5,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			19:35	5,8	5	0,5	6,00	0,135	0,068	2,6			
			19:40	6,7	5	0,9	10,80	0,168	0,151	4,4			
			19:45	7,6	5	0,9	10,80	0,168	0,151	6,2			
			19:50	8,2	5	0,6	7,20	0,144	0,087	7,2			
			19:55	8,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	7,2			
			20:00	9,4	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,2			
			20:05	10,1	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,6			
			20:10	10,1		0	0,00	0,000	0,000	6,8			
			20:15	10,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	5,2			
			20:20	10,2		0	0,00	0,000	0,000	4,0			
			20:25	10,3	10	0,1	0,60	0,087	0,009	3,2			
			20:30	11,2	5	0,9	10,80	0,168	0,151	3,6			
			20:35	11,6	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,0			
			20:40	12,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	4,0			
			20:45	12,4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,4			
			20:50	12,8	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,2			
			20:55	13,7	5	0,9	10,80	0,168	0,151	6,8			
			21:00	15,5	5	1,8	21,60	0,219	0,394	8,6			
			21:05	16,9	5	1,4	16,80	0,200	0,280	10,6			
			21:10	17,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	10,0			
			21:15	17,9	5	0,8	9,60	0,161	0,129	11,0			
			21:20	19,3	5	1,4	16,80	0,200	0,280	13,0			
			21:25	20,3	5	1	12,00	0,175	0,175	13,2			
			21:30	21,8	5	1,5	18,00	0,205	0,308	12,6			
			21:35	24,3	5	2,5	30,00	0,243	0,609	14,8			
			21:40	25,5	5	1,2	14,40	0,188	0,226	16,8			
			21:45	25,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	15,6			
			21:50	26,8	5	1,1	13,20	0,182	0,200	15,0			
			21:55	28,1	5	1,3	15,60	0,194	0,253	15,6			
			22:00	29,5	5	1,4	16,80	0,200	0,280	15,4			
			22:05	31,5	5	2	24,00	0,227	0,454	14,4			
			22:10	32,2	5	0,7	8,40	0,153	0,107	13,4			
			22:15	33,4	5	1,2	14,40	0,188	0,226	15,4			
			22:20	33,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	14,2			
			22:25	35,7	5	1,8	21,60	0,219	0,394	15,2			
			22:30	36,3	5	0,6	7,20	0,144	0,087	13,6			
			22:35	37,5	5	1,2	14,40	0,188	0,226	12,0			
			22:40	38,3	5	0,8	9,60	0,161	0,129	12,2			
			22:45	39,1	5	0,8	9,60	0,161	0,129	11,4			
			22:50	39,5	5	0,4	4,80	0,126	0,050	11,2			
			22:55	39,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	8,2			
			23:00	40,3	5	0,5	6,00	0,135	0,068	8,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			23:05	41	5	0,7	8,40	0,153	0,107	7,0			
			23:10	41,4	5	0,4	4,80	0,126	0,050	6,2			
			23:15	41,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	5,2			
			23:20	41,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,6			
			23:25	42,2	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,8			
			23:30	43	5	0,8	9,60	0,161	0,129	5,4			
			23:35	44,3	5	1,3	15,60	0,194	0,253	6,6			
			23:40	45,3	5	1	12,00	0,175	0,175	7,8			
			23:45	46,5	5	1,2	14,40	0,188	0,226	9,6			
			23:50	47,3	5	0,8	9,60	0,161	0,129	11,0			
			23:55	48,6	5	1,3	15,60	0,194	0,253	12,8			
			0:00	49,2	5	0,6	7,20	0,144	0,087	12,4			
			0:05	49,9	5	0,7	8,40	0,153	0,107	11,2			
			0:10	50,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	9,6			
			0:15	50,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	7,4			
			0:20	50,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	6,8			
			0:25	52,2	5	1,5	18,00	0,205	0,308	7,2			
			0:30	53,3	5	1,1	13,20	0,182	0,200	8,2			
			0:35	55	5	1,7	20,40	0,215	0,365	10,2			
			0:40	56,3	5	1,3	15,60	0,194	0,253	12,4			
			0:45	57,9	5	1,6	19,20	0,210	0,336	15,4			
			0:50	58,4	5	0,5	6,00	0,135	0,068	15,4			
		(Βροχόμετρο)	0:55	59,4	5	1	12,00	0,175	0,175	14,4			
		60,80	1:00	60,8	5	1,4	16,80	0,200	0,280	15,0			
			1:05	1,5	5	1,5	18,00	0,205	0,308	14,6			
			1:10	2,9	5	1,4	16,80	0,200	0,280	14,8			
			1:15	4,3	5	1,4	16,80	0,200	0,280	14,4			
			1:20	4,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	14,2			
			1:25	4,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	12,6			
			1:30	5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	10,0			
		(Βροχόμετρο)	1:35	5		0	0,00	0,000	0,000	7,0			
		8,40	1:40	5		0	0,00	0,000	0,000	4,2			
		(σπάσιμο καταιγίδας)	1:45	5,1	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,6			
		Σύνολο			645	65,9		13,753	11,701				
2		24-25/11/1988	13:05	0						36,6		596,49	
			13:10	0,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			13:15	0,6	5	0,4	4,80	0,126	0,050				
			13:20	1	5	0,4	4,80	0,126	0,050				
			13:25	1,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			13:30	1,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			13:35	1,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,8			
			13:40	2,5	5	0,6	7,20	0,144	0,087	4,6			
			13:45	3,3	5	0,8	9,60	0,161	0,129	5,4			
			13:50	3,9	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,8			
			13:55	5,4	5	1,5	18,00	0,205	0,308	8,4			
			14:00	6,2	5	0,8	9,60	0,161	0,129	9,6			
			14:05	8,3	5	2,1	25,20	0,231	0,485	12,8			
			14:10	12,5	5	4,2	50,40	0,273	1,147	20,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			14:15	17	5	4,5	54,00	0,276	1,242	27,4			
			14:20	21,2	5	4,2	50,40	0,273	1,147	34,6			
			14:25	23,1	5	1,9	22,80	0,223	0,424	35,4			
			14:30	24,5	5	1,4	16,80	0,200	0,280	36,6			
			14:35	25	5	0,5	6,00	0,135	0,068	33,4			
			14:40	25,5	5	0,5	6,00	0,135	0,068	26,0			
			14:45	26,5	5	1	12,00	0,175	0,175	19,0			
			14:50	27,3	5	0,8	9,60	0,161	0,129	12,2			
			14:55	28,2	5	0,9	10,80	0,168	0,151	10,2			
			15:00	28,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	8,0			
			15:05	28,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	7,2			
			15:10	28,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,6			
			15:15	29,3	5	0,5	6,00	0,135	0,068	5,6			
			15:20	29,8	5	0,5	6,00	0,135	0,068	5,0			
			15:25	30	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			15:30	30,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			15:35	30,8	5	0,7	8,40	0,153	0,107	4,4			
			15:40	31,4	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,2			
			15:45	31,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	5,2			
			15:50	32,5	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,4			
			15:55	33,1	5	0,6	7,20	0,144	0,087	6,2			
			16:00	33,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	6,2			
			16:05	33,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	5,4			
			16:10	33,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,8			
			16:15	34,5	5	0,7	8,40	0,153	0,107	5,2			
			16:20	34,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,6			
			16:25	35,3	5	0,5	6,00	0,135	0,068	4,4			
			16:30	35,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,0			
			16:35	36	5	0,3	3,60	0,116	0,035	5,0			
			16:40	36,4	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,2			
			16:45	36,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,0			
			16:50	36,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,6			
			16:55	36,6		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			17:00	36,8	10	0,2	1,20	0,093	0,019	2,2			
			17:05	36,8		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			17:10	36,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,0			
			17:15	36,9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			17:20	36,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			17:25	36,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			17:30	37,1	20	0,2	0,60	0,087	0,017	0,6			
			17:35	37,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			17:40	37,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			17:45	37,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			17:50	37,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,0			
			17:55	37,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			18:00	37,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			18:05	38,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,8			
			18:10	38,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,0			
			18:15	38,3		0	0,00	0,000	0,000	2,0			
			18:20	38,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	2,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			18:25	38,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			18:30	38,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			18:35	39,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	2,0			
			18:40	39,4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,2			
			18:45	39,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			18:50	39,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			18:55	39,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,8			
			19:00	40	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,8			
			19:05	40,4	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,6			
			19:10	40,8	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,8			
			19:15	40,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			19:20	41,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			19:25	41,5	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,2			
			19:30	41,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			19:35	41,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			19:40	41,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			19:45	41,9		0	0,00	0,000	0,000	2,0			
			19:50	41,9		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			19:55	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			20:00	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			20:05	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:10	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			20:15	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			20:20	41,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			20:25	42	45	0,1	0,13	0,083	0,008	0,2			
			20:30	42		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:35	42,1	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			20:40	42,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			20:45	42,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	1,6			
			20:50	42,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			20:55	43	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,0			
			21:00	43,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			21:05	43,1		0	0,00	0,000	0,000	2,0			
			21:10	43,1		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			21:15	43,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,0			
			21:20	43,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			21:25	43,2		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			21:30	43,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			21:35	43,3	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,4			
			21:40	43,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			21:45	43,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			21:50	43,4	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			21:55	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			22:00	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			22:05	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			22:10	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			22:15	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			22:20	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:25	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:30	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			22:35	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:40	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:45	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:50	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			22:55	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			23:00	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			23:05	43,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			23:10	43,5	80	0,1	0,08	0,082	0,008	0,2			
			23:15	43,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	0,8			
			23:20	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			23:25	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			23:30	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			23:35	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			23:40	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			23:45	43,8		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			23:50	43,9	35	0,1	0,17	0,083	0,008	0,2			
			23:55	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			0:00	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			0:05	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			0:10	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			0:15	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			0:20	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:25	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:30	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:35	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:40	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:45	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			0:50	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
		(Βροχόμετρο)	0:55	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
		43,90	1:00	43,9		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:05	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:10	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:15	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:20	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:25	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:30	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:35	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:40	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:45	0		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			1:50	0,2	120	0,2	0,10	0,082	0,016	0,4			
			1:55	0,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,0			
			2:00	0,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	1,8			
			2:05	1,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			2:10	1,6	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,2			
			2:15	2,5	5	0,9	10,80	0,168	0,151	5,0			
			2:20	2,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,4			
			2:25	3,7	5	0,8	9,60	0,161	0,129	6,4			
			2:30	4,5	5	0,8	9,60	0,161	0,129	7,2			
			2:35	4,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	7,2			
			2:40	4,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	6,4			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			2:45	4,8		0	0,00	0,000	0,000	4,6			
			2:50	4,8		0	0,00	0,000	0,000	3,8			
			2:55	5,3	15	0,5	2,00	0,101	0,051	3,2			
			3:00	6	5	0,7	8,40	0,153	0,107	3,0			
			3:05	6,9	5	0,9	10,80	0,168	0,151	4,4			
			3:10	7,5	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,4			
			3:15	8,5	5	1	12,00	0,175	0,175	7,4			
			3:20	9,2	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,8			
			3:25	9,9	5	0,7	8,40	0,153	0,107	9,2			
			3:30	10,4	5	0,5	6,00	0,135	0,068	8,8			
			3:35	11,1	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,4			
			3:40	11,9	5	0,8	9,60	0,161	0,129	8,8			
			3:45	12,6	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,2			
			3:50	12,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	7,2			
			3:55	13,4	5	0,6	7,20	0,144	0,087	7,0			
			4:00	14,1	5	0,7	8,40	0,153	0,107	7,4			
			4:05	21,3	5	7,2	86,40	0,287	2,068	20,4			
			4:10	21,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	19,2			
			4:15	21,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	18,6			
			4:20	21,9		0	0,00	0,000	0,000	18,2			
			4:25	22	10	0,1	0,60	0,087	0,009	17,2			
			4:30	22		0	0,00	0,000	0,000	15,8			
			4:35	22		0	0,00	0,000	0,000	1,4			
			4:40	22		0	0,00	0,000	0,000	1,0			
			4:45	22		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			4:50	22		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			4:55	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:00	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:05	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:10	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:15	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:20	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:25	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:30	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:35	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:40	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:45	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:50	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			5:55	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:00	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:05	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:10	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:15	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:20	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:25	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:30	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:35	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:40	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:45	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			6:50	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			6:55	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			7:00	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			7:05	22		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			7:10	22,1	165	0,1	0,04	0,082	0,008	0,2			
			7:15	22,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,6			
			7:20	22,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,0			
			7:25	22,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			7:30	22,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			7:35	23,3	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,6			
			7:40	23,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			7:45	23,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,4			
			7:50	23,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			7:55	23,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			8:00	23,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,0			
			8:05	23,9		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			8:10	23,9		0	0,00	0,000	0,000	1,0			
			8:15	23,9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			8:20	23,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			8:25	24	25	0,1	0,24	0,084	0,008	0,4			
			8:30	24		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			8:35	24		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			8:40	24,4	15	0,4	1,60	0,097	0,039	1,0			
			8:45	24,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,6			
			8:50	25,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,4			
			8:55	25,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	3,4			
			9:00	26,3	5	0,6	7,20	0,144	0,087	4,6			
			9:05	28,6	5	2,3	27,60	0,237	0,546	9,2			
			9:10	29,8	5	1,2	14,40	0,188	0,226	10,8			
			9:15	32	5	2,2	26,40	0,234	0,515	14,6			
			9:20	35,2	5	3,2	38,40	0,259	0,830	20,2			
			9:25	35,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	19,4			
			9:30	36,2	5	0,8	9,60	0,161	0,129	19,8			
			9:35	37	5	0,8	9,60	0,161	0,129	16,8			
			9:40	37,9	5	0,9	10,80	0,168	0,151	16,2			
			9:45	38,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	12,2			
			9:50	38,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	6,0			
			9:55	40,5	5	2,3	27,60	0,237	0,546	10,2			
			10:00	40,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	9,0			
			10:05	40,7		0	0,00	0,000	0,000	7,4			
			10:10	40,7		0	0,00	0,000	0,000	5,6			
			10:15	40,7		0	0,00	0,000	0,000	5,2			
			10:20	40,7		0	0,00	0,000	0,000	5,0			
			10:25	40,8	25	0,1	0,24	0,084	0,008	0,6			
			10:30	40,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,4			
			10:35	41	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			10:40	41,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			10:45	41,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,0			
			10:50	41,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			10:55	41,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			11:00	41,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			11:05	41,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			11:10	41,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			11:15	42	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			11:20	42,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			11:25	42,1		0	0,00	0,000	0,000	1,4			
			11:30	42,3	10	0,2	1,20	0,093	0,019	1,6			
			11:35	42,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			11:40	42,4		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			11:45	42,4		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			11:50	42,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			11:55	42,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			12:00	42,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			12:05	42,4		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			12:10	42,7	35	0,3	0,51	0,087	0,026	0,6			
			12:15	42,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			12:20	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:25	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:30	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:35	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:40	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			12:45	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			12:50	42,8		0	0,00	0,000	0,000	0,0			
			12:55	42,9	40	0,1	0,15	0,083	0,008	0,2			
			13:00	42,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			13:05	42,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			13:10	42,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			13:15	42,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			13:20	43,1	25	0,2	0,48	0,086	0,017	0,6			
		(Βροχόμετρο)	13:25	43,1		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
		47,20	13:30	43,1		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
		(σπάσιμο καταιγίδας)	13:35	43,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
		Σύνολο			1470	87,1		20,201	16,297				
3		26/11/1988	16:10	0,2						12,8		58,99	
			16:15	0,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			16:20	0,3		0	0,00	0,000	0,000				
			16:25	0,3		0	0,00	0,000	0,000				
			16:30	0,4	15	0,1	0,40	0,085	0,009				
			16:35	0,4		0	0,00	0,000	0,000				
			16:40	0,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			16:45	0,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			16:50	0,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			16:55	0,5	25	0,1	0,24	0,084	0,008	0,4			
			17:00	2,1	5	1,6	19,20	0,210	0,336	3,4			
			17:05	2,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	4,6			
			17:10	2,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,8			
			17:15	2,8		0	0,00	0,000	0,000	4,8			
			17:20	2,8		0	0,00	0,000	0,000	4,8			
			17:25	2,9	15	0,1	0,40	0,085	0,009	4,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			17:30	3,7	5	0,8	9,60	0,161	0,129	3,2			
			17:35	4,8	5	1,1	13,20	0,182	0,200	4,2			
			17:40	5,6	5	0,8	9,60	0,161	0,129	5,6			
			17:45	5,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6			
			17:50	6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,4			
			17:55	6,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	6,8			
			18:00	6,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035	5,8			
			18:05	7,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	4,6			
			18:10	7,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	4,2			
			18:15	7,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,2			
			18:20	8,2	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,4			
			18:25	8,2		0	0,00	0,000	0,000	3,8			
			18:30	8,2		0	0,00	0,000	0,000	3,2			
			18:35	8,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	2,4			
			18:40	8,3		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			18:45	8,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			18:50	8,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:55	8,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:00	8,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:05	8,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			19:10	8,5	35	0,2	0,34	0,085	0,017	0,4			
			19:15	8,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1			
			19:20	9,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,6			
			19:25	9,6	5	0,5	6,00	0,135	0,068	2,6			
			19:30	10	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,4			
			19:35	10,4	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,2			
			19:40	10,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,2			
			19:45	10,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,2			
			19:50	11,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4			
			19:55	11,4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,6			
			20:00	11,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,8			
			20:05	12,6	5	0,7	8,40	0,153	0,107	4,4			
			20:10	13	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,8			
			20:15	13,6	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,4			
			20:20	14,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	6			
			20:25	14,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	6,6			
			20:30	15,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050	6,4			
			20:35	15,6	5	0,5	6,00	0,135	0,068	6			
			20:40	16	5	0,4	4,80	0,126	0,050	6			
			20:45	16,7	5	0,7	8,40	0,153	0,107	6,2			
			20:50	16,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,4			
			20:55	17,5	5	0,7	8,40	0,153	0,107	5,6			
			21:00	18,4	5	0,9	10,80	0,168	0,151	6,6			
			21:05	19,6	5	1,2	14,40	0,188	0,226	8			
			21:10	20,7	5	1,1	13,20	0,182	0,200	9,4			
			21:15	21,7	5	1	12,00	0,175	0,175	10			
			21:20	22,5	5	0,8	9,60	0,161	0,129	11,4			
			21:25	23,9	5	1,4	16,80	0,200	0,280	12,8			
			21:30	24,7	5	0,8	9,60	0,161	0,129	12,6			
			21:35	25,2	5	0,5	6,00	0,135	0,068	11,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			21:40	25,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	10			
			21:45	26,4	5	0,7	8,40	0,153	0,107	9,4			
			21:50	26,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	8,8			
			21:55	27,7	5	0,8	9,60	0,161	0,129	7,6			
			22:00	28,2	5	0,5	6,00	0,135	0,068	7			
			22:05	28,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	6,6			
			22:10	28,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	6,2			
			22:15	29,4	5	0,6	7,20	0,144	0,087	6			
			22:20	29,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	6			
			22:25	30,3	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,2			
			22:30	30,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,8			
			22:35	30,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,4			
			22:40	30,7		0	0,00	0,000	0,000	3,8			
			22:45	30,7		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			22:50	30,8	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,8			
		(Βροχόμετρο)	22:55	30,8		0	0,00	0,000	0,000	1			
		30,70	23:00	30,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
		Σύνολο			410	30,7		8,201	4,609				
4		3/12/1988	8:00	0						14,8		54,22	
			8:05	0,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035				
			8:10	0,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035				
			8:15	1,7	5	1,1	13,20	0,182	0,200				
			8:20	2,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050				
			8:25	3,2	5	1,1	13,20	0,182	0,200				
			8:30	4,4	5	1,2	14,40	0,188	0,226	8,8			
			8:35	6,6	5	2,2	26,40	0,234	0,515	12,6			
			8:40	8	5	1,4	16,80	0,200	0,280	14,8			
			8:45	8,8	5	0,8	9,60	0,161	0,129	14,2			
			8:50	9,2	5	0,4	4,80	0,126	0,050	14,2			
			8:55	9,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	13			
			9:00	11	5	1,3	15,60	0,194	0,253	13,2			
			9:05	11,5	5	0,5	6,00	0,135	0,068	9,8			
			9:10	11,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	7,2			
			9:15	11,6		0	0,00	0,000	0,000	5,6			
			9:20	12,1	10	0,5	3,00	0,110	0,055	5,8			
			9:25	15,2	5	3,1	37,20	0,257	0,798	11			
			9:30	15,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	8,6			
			9:35	15,3		0	0,00	0,000	0,000	7,6			
			9:40	15,3		0	0,00	0,000	0,000	7,4			
			9:45	15,3		0	0,00	0,000	0,000	7,4			
			9:50	15,3		0	0,00	0,000	0,000	6,4			
			9:55	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			10:00	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:05	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:10	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:15	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:20	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:25	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)			R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			10:30	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:35	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:40	15,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:45	15,5	75	0,2	0,16	0,083	0,017	0,4			
			10:50	16,5	5	1	12,00	0,175	0,175	2,4			
			10:55	18	5	1,5	18,00	0,205	0,308	5,4			
			11:00	19	5	1	12,00	0,175	0,175	7,4			
			11:05	19		0	0,00	0,000	0,000	7,4			
			11:10	19		0	0,00	0,000	0,000	7,4			
		(Βροχόμετρο)	11:15	19		0	0,00	0,000	0,000	7			
		19,10	11:20	19,1	20	0,1	0,30	0,084	0,008	5,2			
		Σύνολο			200	19,1		3,373	3,664				
5		8/12/1988	6:20	0							8,2	13,59	
			6:25	0,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			6:30	0,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			6:35	0,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			6:40	0,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			6:45	0,5		0	0,00	0,000	0,000				
			6:50	0,7	10	0,2	1,20	0,093	0,019	1,4			
			6:55	0,7		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			7:00	0,8	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,2			
			7:05	0,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			7:10	1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			7:15	1,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			7:20	1,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,6			
			7:25	1,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			7:30	1,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,2			
			7:35	2,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			7:40	2,1		0	0,00	0,000	0,000	2,2			
			7:45	2,1		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			7:50	2,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,4			
			7:55	2,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,8			
			8:00	2,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			8:05	2,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			8:10	3,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2			
			8:15	3,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	3,2			
			8:20	4,4	5	0,7	8,40	0,153	0,107	4,4			
			8:25	5,2	5	0,8	9,60	0,161	0,129	5,4			
			8:30	6	5	0,8	9,60	0,161	0,129	6,8			
			8:35	6,5	5	0,5	6,00	0,135	0,068	7,6			
			8:40	7,2	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,2			
			8:45	7,6	5	0,4	4,80	0,126	0,050	7,8			
			8:50	7,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,8			
			8:55	7,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,4			
			9:00	8,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,2			
			9:05	8,1		0	0,00	0,000	0,000	3,2			
			9:10	8,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	2			
			9:15	8,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			9:20	8,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			9:25	8,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			9:30	8,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			9:35	8,9		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			9:40	8,9		0	0,00	0,000	0,000	1,4			
			9:45	8,9		0	0,00	0,000	0,000	1			
			9:50	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			9:55	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			10:00	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:05	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:10	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:15	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:20	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:25	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:30	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:35	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:40	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:45	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:50	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:55	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:00	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:05	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:10	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:15	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:20	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:25	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:30	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:35	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:40	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:45	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:50	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			11:55	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:00	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:05	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:10	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:15	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:20	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:25	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:30	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:35	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:40	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:45	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:50	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:55	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			13:00	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			13:05	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			13:10	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			13:15	8,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			13:20	9,2	230	0,3	0,08	0,082	0,025	0,6			
			13:25	9,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			13:30	9,3	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			13:35	9,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			13:40	9,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			13:45	9,4	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1			
			13:50	9,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			13:55	9,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			14:00	9,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			14:05	10,6	20	1,2	3,60	0,116	0,139	2,6			
			14:10	10,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,2			
			14:15	10,9		0	0,00	0,000	0,000	3			
			14:20	11,2	10	0,3	1,80	0,099	0,030	3,6			
			14:25	11,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	4,6			
			14:30	12,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,4			
			14:35	12,9	5	0,8	9,60	0,161	0,129	4,6			
			14:40	13,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,4			
			14:45	13,1		0	0,00	0,000	0,000	4,4			
		(Βροχόμετρο)	14:50	13,1		0	0,00	0,000	0,000	3,8			
		19,10	14:55	13,1		0	0,00	0,000	0,000	2,8			
		(σπάσιμο καταιγίδας)	15:00	13,2	20	0,1	0,30	0,084	0,008	2,2			
		Σύνολο			520	13,2		4,827	1,657				
6		9-10-11/12/1988	21:50	2,3						9,0		49,38	
		(σπάσιμο καταιγίδας)	21:55	2,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			22:00	2,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			22:05	2,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			22:10	2,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			22:15	2,8		0	0,00	0,000	0,000				
			22:20	2,8		0	0,00	0,000	0,000	1			
			22:25	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			22:30	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			22:35	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			22:40	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:45	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:50	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:55	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:00	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:05	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:10	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:15	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:20	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:25	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:30	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:35	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:40	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:45	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:50	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			23:55	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			0:00	2,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			0:05	3	115	0,2	0,10	0,082	0,016	0,4			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			0:10	3,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			0:15	3,1		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			0:20	3,1		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			0:25	3,1		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			0:30	3,1		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			0:35	3,2	25	0,1	0,24	0,084	0,008	0,4			
			0:40	3,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,4			
			0:45	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			0:50	3,5	10	0,2	1,20	0,093	0,019	0,8			
		(Βροχόμετρο)	0:55	3,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
		3,90	1:00	3,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			1:05	0,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			1:10	0,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			1:15	0,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,4			
			1:20	0,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			1:25	0,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			1:30	1,2	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,4			
			1:35	1,6	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,8			
			1:40	1,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,2			
			1:45	2,2	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,2			
			1:50	2,9	5	0,7	8,40	0,153	0,107	4,2			
			1:55	4,7	5	1,8	21,60	0,219	0,394	7,6			
			2:00	5,4	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,4			
			2:05	5,9	5	0,5	6,00	0,135	0,068	8,6			
			2:10	6,3	5	0,4	4,80	0,126	0,050	8,8			
			2:15	6,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	9			
			2:20	7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	8,2			
			2:25	7,7	5	0,7	8,40	0,153	0,107	6			
			2:30	8,2	5	0,5	6,00	0,135	0,068	5,6			
			2:35	9,1	5	0,9	10,80	0,168	0,151	6,4			
			2:40	9,8	5	0,7	8,40	0,153	0,107	7			
			2:45	10,5	5	0,7	8,40	0,153	0,107	7,6			
			2:50	11,2	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,4			
			2:55	11,9	5	0,7	8,40	0,153	0,107	8,4			
			3:00	12,5	5	0,6	7,20	0,144	0,087	8,6			
			3:05	12,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	7,4			
			3:10	13	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,4			
			3:15	13,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,2			
			3:20	13,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,2			
			3:25	13,9	5	0,6	7,20	0,144	0,087	4			
			3:30	14,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			3:35	14,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3			
			3:40	14,3		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			3:45	14,3		0	0,00	0,000	0,000	2,4			
			3:50	14,3		0	0,00	0,000	0,000	2			
			3:55	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			4:00	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			4:05	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:10	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:15	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			4:20	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:25	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:30	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:35	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:40	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:45	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:50	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:55	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:00	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:05	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:10	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:15	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:20	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:25	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:30	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:35	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:40	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:45	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:50	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:55	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:00	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:05	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:10	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:15	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:20	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:25	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:30	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:35	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:40	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:45	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:50	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:55	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:00	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:05	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:10	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:15	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:20	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:25	14,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:30	14,4	235	0,1	0,03	0,081	0,008	0,2			
			7:35	14,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			7:40	14,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			7:45	14,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			7:50	14,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			7:55	14,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			8:00	14,8		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			8:05	14,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			8:10	15	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			8:15	15,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			8:20	15,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			8:25	15,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			8:30	15,4		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			8:35	15,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,2			
			8:40	15,5		0	0,00	0,000	0,000	1			
			8:45	15,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			8:50	15,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			8:55	16	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			9:00	16,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			9:05	16,1		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			9:10	16,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,4			
			9:15	16,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			9:20	16,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			9:25	16,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			9:30	16,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			9:35	17,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			9:40	17,1		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			9:45	17,1		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			9:50	17,1		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			9:55	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			10:00	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			10:05	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:10	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:15	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:20	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:25	17,1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:30	17,2	55	0,1	0,11	0,082	0,008	0,2			
			10:35	17,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,4			
			10:40	17,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			10:45	17,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,4			
			10:50	18,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2			
			10:55	18,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			11:00	18,2		0	0,00	0,000	0,000	2			
			11:05	18,2		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			11:10	18,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1,6			
			11:15	18,3		0	0,00	0,000	0,000	1			
			11:20	18,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			11:25	18,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			11:30	18,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			11:35	18,5		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			11:40	18,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			11:45	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			11:50	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			11:55	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			12:00	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			12:05	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			12:10	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:15	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			12:20	18,8	40	0,2	0,30	0,084	0,017	0,4			
			12:25	18,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			12:30	18,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			12:35	18,9	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			12:40	19,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1			
			12:45	19,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:50	19,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:55	19,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			13:00	19,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			13:05	19,3	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,8			
			13:10	19,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			13:15	19,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			13:20	19,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,4			
			13:25	20,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			13:30	20,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			13:35	20,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			13:40	20,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			13:45	20,7		0	0,00	0,000	0,000	2,2			
			13:50	20,7		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			13:55	20,7		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			14:00	20,8	20	0,1	0,30	0,084	0,008	1			
			14:05	20,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			14:10	20,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			14:15	21,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			14:20	21,1		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			14:25	21,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			14:30	21,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			14:35	21,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			14:40	21,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			14:45	21,4	20	0,2	0,60	0,087	0,017	0,6			
			14:50	21,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1			
			14:55	21,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,4			
			15:00	22	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			15:05	22,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			15:10	22,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			15:15	22,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			15:20	22,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2			
			15:25	23	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,2			
			15:30	23,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			15:35	23,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			15:40	23,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			15:45	23,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			15:50	23,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			15:55	24,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			16:00	24,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			16:05	24,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			16:10	24,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			16:15	24,6		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			16:20	24,7	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,6			
			16:25	24,7		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			16:30	24,8	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			16:35	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			16:40	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			16:45	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			16:50	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			16:55	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:00	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:05	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:10	24,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:15	24,9	45	0,1	0,13	0,083	0,008	0,2			
			17:20	24,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:25	25	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			17:30	25,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1			
			17:35	25,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	1,8			
			17:40	26,1	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,6			
			17:45	26,4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3			
			17:50	26,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			17:55	26,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			18:00	26,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,8			
			18:05	26,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			18:10	26,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			18:15	27,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			18:20	27,6	5	0,5	6,00	0,135	0,068	2,2			
			18:25	27,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			18:30	28,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			18:35	28,1		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			18:40	28,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	2,6			
			18:45	28,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			18:50	28,8	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,4			
			18:55	29,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,4			
			19:00	29,5	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,8			
			19:05	29,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,6			
			19:10	30,2	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4			
			19:15	30,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4			
			19:20	30,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			19:25	30,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,2			
			19:30	30,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			19:35	31	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			19:40	31,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			19:45	31,1		0	0,00	0,000	0,000	1,4			
			19:50	31,1		0	0,00	0,000	0,000	1			
			19:55	31,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1			
			20:00	31,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			20:05	31,2		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			20:10	31,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			20:15	31,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			20:20	31,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,2			
			20:25	32	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,6			
			20:30	32,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			20:35	32,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			20:40	32,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3			
			20:45	33	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			20:50	33,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3			
			20:55	33,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			21:00	33,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			21:05	33,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			21:10	34,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			21:15	34,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			21:20	34,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,8			
			21:25	35	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,2			
			21:30	35,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			21:35	35,7	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,8			
			21:40	36,4	5	0,7	8,40	0,153	0,107	4,6			
			21:45	37	5	0,6	7,20	0,144	0,087	5,4			
			21:50	37,4	5	0,4	4,80	0,126	0,050	5,6			
			21:55	37,4		0	0,00	0,000	0,000	4,8			
			22:00	37,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	4,6			
			22:05	37,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3,8			
			22:10	37,6		0	0,00	0,000	0,000	2,4			
			22:15	37,7	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,4			
			22:20	37,7		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			22:25	37,9	10	0,2	1,20	0,093	0,019	1			
			22:30	38,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			22:35	38,1		0	0,00	0,000	0,000	1			
			22:40	38,1		0	0,00	0,000	0,000	1			
			22:45	38,2	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1			
			22:50	38,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			22:55	38,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			23:00	38,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			23:05	38,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			23:10	38,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			23:15	38,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			23:20	38,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			23:25	39,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,6			
			23:30	39,5	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,2			
			23:35	39,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,8			
			23:40	40,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3			
			23:45	40,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3			
			23:50	40,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			23:55	40,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,2			
			0:00	40,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			0:05	41	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			0:10	41		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			0:15	41,1	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,8			
			0:20	41,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			0:25	41,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			0:30	41,8	5	0,5	6,00	0,135	0,068	1,8			
			0:35	42,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,2			
			0:40	42,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			0:45	42,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			0:50	42,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
		(Βροχόμετρο)	0:55	42,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
		42,60	1:00	42,6		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			1:05	0,3	10	0,3	1,80	0,099	0,030	1,6			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			1:10	0,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			1:15	0,4		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			1:20	0,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,2			
			1:25	0,5		0	0,00	0,000	0,000	1			
			1:30	0,5		0	0,00	0,000	0,000	1			
			1:35	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			1:40	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			1:45	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			1:50	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			1:55	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:00	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:05	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:10	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:15	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:20	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:25	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:30	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:35	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:40	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			2:45	0,6	85	0,1	0,07	0,082	0,008	0,2			
			2:50	0,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,6			
			2:55	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			3:00	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			3:05	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			3:10	0,9	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,8			
			3:15	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			3:20	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:25	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:30	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:35	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:40	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			3:45	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			3:50	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			3:55	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:00	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:05	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:10	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:15	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:20	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:25	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:30	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:35	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:40	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:45	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:50	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			4:55	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:00	0,9		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:05	1	115	0,1	0,05	0,082	0,008	0,2			
			5:10	1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:15	1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			5:20	1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:25	1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:30	1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:35	1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:40	1		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:45	1		0	0,00	0,000	0,000	0			
		(Βροχόμετρο)	5:50	1,1	45	0,1	0,13	0,083	0,008	0,2			
		2,40	5:55	1,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
		(σπάσιμο καταιγίδας)	6:00	1,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
		Σύνολο			1930	45,4		20,812	5,486				
7		17-18/12/1988	5:00	0							17,2	100,03	
			5:05	0,5	5	0,5	6,00	0,135	0,068				
			5:10	0,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021				
			5:15	0,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			5:20	0,8		0	0,00	0,000	0,000				
			5:25	0,8		0	0,00	0,000	0,000				
			5:30	0,8		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			5:35	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			5:40	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:45	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:50	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:55	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:00	0,8		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:05	1	50	0,2	0,24	0,084	0,017	0,4			
			6:10	1,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			6:15	1,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,4			
			6:20	2	5	0,5	6,00	0,135	0,068	2,4			
			6:25	2,5	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,4			
			6:30	3	5	0,5	6,00	0,135	0,068	4,4			
			6:35	3,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,6			
			6:40	3,3		0	0,00	0,000	0,000	4,2			
			6:45	3,3		0	0,00	0,000	0,000	3,6			
			6:50	3,3		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			6:55	3,3		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			7:00	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			7:05	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:10	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:15	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:20	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:25	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:30	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:35	3,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:40	3,4	65	0,1	0,09	0,082	0,008	0,2			
			7:45	3,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			7:50	3,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			7:55	3,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			8:00	3,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			8:05	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			8:10	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			8:15	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			8:20	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			8:25	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			8:30	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:35	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:40	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:45	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:50	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:55	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:00	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:05	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:10	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:15	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:20	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:25	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:30	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:35	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:40	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:45	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:50	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:55	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:00	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0			
			10:05	3,8	125	0,2	0,10	0,082	0,016	0,4			
			10:10	3,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			10:15	4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			10:20	4,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			10:25	4,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			10:30	4,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			10:35	4,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	1,8			
			10:40	4,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			10:45	5,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,2			
			10:50	5,4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			10:55	5,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			11:00	5,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			11:05	5,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,4			
			11:10	6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,4			
			11:15	6,6	5	0,6	7,20	0,144	0,087	3			
			11:20	7,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,4			
			11:25	7,5	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,8			
			11:30	7,9	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,2			
			11:35	8,3	5	0,4	4,80	0,126	0,050	4,8			
			11:40	8,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	5			
			11:45	8,8	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,4			
			11:50	9,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4			
			11:55	9,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			12:00	9,8	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,8			
			12:05	10,1	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,6			
			12:10	15	5	4,9	58,80	0,279	1,367	13			
			12:15	15,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	12,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			12:20	17,7	5	2,5	30,00	0,243	0,609	17,2			
			12:25	17,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	17,2			
			12:30	18	5	0,1	1,20	0,093	0,009	16,4			
			12:35	18,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	16,2			
			12:40	18,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,8			
			12:45	18,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	6,8			
			12:50	18,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			12:55	19,2	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,6			
			13:00	19,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,8			
			13:05	19,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3			
			13:10	21	5	1,3	15,60	0,194	0,253	5,2			
			13:15	21,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	5,2			
			13:20	22	5	0,8	9,60	0,161	0,129	6,4			
			13:25	22,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	6,2			
			13:30	22,3		0	0,00	0,000	0,000	5,8			
			13:35	22,3		0	0,00	0,000	0,000	5,2			
			13:40	24,6	15	2,3	9,20	0,158	0,364	7,2			
			13:45	24,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	7			
			13:50	24,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,6			
			13:55	24,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,2			
			14:00	25	5	0,1	1,20	0,093	0,009	5,4			
			14:05	25		0	0,00	0,000	0,000	5,4			
			14:10	25		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			14:15	25		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			14:20	25		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			14:25	25		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			14:30	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			14:35	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			14:40	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			14:45	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			14:50	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			14:55	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:00	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:05	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:10	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:15	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:20	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:25	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:30	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:35	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:40	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:45	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:50	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			15:55	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:00	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:05	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:10	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:15	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:20	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:25	25		0	0,00	0,000	0,000	0			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			16:30	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:35	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:40	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:45	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:50	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			16:55	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:00	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:05	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:10	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:15	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:20	25		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:25	25,1	205	0,1	0,03	0,082	0,008	0,2			
			17:30	25,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:35	25,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:40	25,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:45	25,2	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,4			
			17:50	25,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			17:55	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			18:00	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			18:05	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			18:10	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			18:15	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			18:20	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:25	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:30	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:35	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:40	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:45	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:50	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:55	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			19:00	25,4		0	0,00	0,000	0,000	0			
			19:05	25,6	75	0,2	0,16	0,083	0,017	0,4			
			19:10	26,1	5	0,5	6,00	0,135	0,068	1,4			
			19:15	27,2	5	1,1	13,20	0,182	0,200	3,6			
			19:20	27,5	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,2			
			19:25	27,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,4			
			19:30	27,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,6			
			19:35	27,7		0	0,00	0,000	0,000	4,2			
			19:40	27,8	10	0,1	0,60	0,087	0,009	3,4			
			19:45	27,8		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			19:50	27,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			19:55	27,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			20:00	27,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			20:05	27,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			20:10	27,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:15	27,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:20	28	30	0,1	0,20	0,083	0,008	0,2			
			20:25	28		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:30	28		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:35	28		0	0,00	0,000	0,000	0,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			20:40	28		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:45	28		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:50	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			20:55	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:00	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:05	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:10	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:15	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:20	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:25	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:30	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:35	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:40	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:45	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:50	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			21:55	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:00	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:05	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:10	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:15	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:20	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:25	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:30	28		0	0,00	0,000	0,000	0			
			22:35	28,1	135	0,1	0,04	0,082	0,008	0,2			
			22:40	28,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			22:45	28,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
			22:50	28,2		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			22:55	28,3	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			23:00	28,3		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			23:05	28,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			23:10	28,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			23:15	28,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			23:20	28,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			23:25	28,4	30	0,1	0,20	0,083	0,008	0,2			
			23:30	28,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,6			
			23:35	28,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1			
			23:40	29	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			23:45	29,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			23:50	29,1		0	0,00	0,000	0,000	1,6			
			23:55	29,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,6			
			0:00	29,2		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			0:05	29,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			0:10	29,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			0:15	29,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			0:20	29,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			0:25	29,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			0:30	29,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			0:35	29,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			0:40	29,8		0	0,00	0,000	0,000	1			
			0:45	29,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			0:50	29,9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
		(Βροχόμετρο)	0:55	29,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
		30,40	1:00	30	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			1:05	0		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			1:10	0,1	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			1:15	0,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			1:20	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			1:25	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			1:30	0,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			1:35	0,3		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			1:40	0,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			1:45	0,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			1:50	0,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			1:55	0,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			2:00	0,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			2:05	0,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			2:10	1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			2:15	1,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			2:20	1,1		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			2:25	1,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,2			
			2:30	1,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			2:35	1,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			2:40	1,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			2:45	1,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			2:50	2,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			2:55	2,1		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			3:00	2,3	10	0,2	1,20	0,093	0,019	2			
			3:05	2,6	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,2			
			3:10	2,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			3:15	3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,2			
			3:20	3,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2			
			3:25	3,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			3:30	3,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2			
			3:35	3,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			3:40	3,4		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			3:45	3,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			3:50	3,5		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			3:55	3,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			4:00	3,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			4:05	3,7	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			4:10	3,7		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			4:15	4,1	10	0,4	2,40	0,105	0,042	1,2			
			4:20	4,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			4:25	4,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			4:30	4,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			4:35	4,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			4:40	4,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			4:45	4,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			4:50	4,7		0	0,00	0,000	0,000	1			
			4:55	4,7		0	0,00	0,000	0,000	0,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			5:00	4,8	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,8			
			5:05	4,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			5:10	4,8		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			5:15	4,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			5:20	5	20	0,2	0,60	0,087	0,017	0,6			
			5:25	5		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			5:30	5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			5:35	5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			5:40	5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			5:45	5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			5:50	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			5:55	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:00	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:05	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:10	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:15	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:20	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:25	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:30	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:35	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:40	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:45	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:50	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			6:55	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:00	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:05	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:10	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:15	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:20	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:25	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:30	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:35	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:40	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:45	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:50	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			7:55	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:00	5		0	0,00	0,000	0,000	0			
			8:05	5,1	165	0,1	0,04	0,082	0,008	0,2			
			8:10	5,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,6			
			8:15	5,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			8:20	5,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			8:25	5,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			8:30	5,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			8:35	6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			8:40	6,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			8:45	6,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			8:50	6,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			8:55	6,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			9:00	6,4		0	0,00	0,000	0,000	1			
			9:05	6,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			9:10	6,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			9:15	6,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			9:20	7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			9:25	7		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			9:30	7		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			9:35	7		0	0,00	0,000	0,000	1			
			9:40	7		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			9:45	7		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			9:50	7		0	0,00	0,000	0,000	0			
			9:55	7,1	35	0,1	0,17	0,083	0,008	0,2			
			10:00	7,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,4			
			10:05	7,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			10:10	7,4		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			10:15	7,6	10	0,2	1,20	0,093	0,019	1,2			
			10:20	7,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			10:25	8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			10:30	8,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			10:35	8,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			10:40	8,3		0	0,00	0,000	0,000	1,8			
			10:45	8,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,6			
			10:50	8,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			10:55	8,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			11:00	8,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			11:05	8,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:10	8,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			11:15	9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			11:20	9		0	0,00	0,000	0,000	1			
			11:25	9		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			11:30	9,1	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,8			
			11:35	9,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1			
			11:40	9,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			11:45	9,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			11:50	9,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:55	9,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:00	9,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:05	9,7		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:10	9,7		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			12:15	9,8	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,8			
		(Βροχόμετρο)	12:20	9,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
		10,00	12:25	10	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
		Σύνολο			1885	40,0		16,761	5,815				
8		6/3/1989	2:30	0						4,2		8,34	
			2:35	0,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009				
			2:40	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			2:45	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			2:50	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			2:55	0,1		0	0,00	0,000	0,000				
			3:00	0,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			3:05	0,2	30	0,1	0,20	0,083	0,008	0,2			
			3:10	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:15	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:20	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:25	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:30	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:35	0,2		0	0,00	0,000	0,000	0			
			3:40	0,3	35	0,1	0,17	0,083	0,008	0,2			
			3:45	0,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:50	0,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			3:55	0,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			4:00	0,4	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,4			
			4:05	0,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			4:10	0,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			4:15	0,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			4:20	0,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			4:25	0,7	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			4:30	0,7		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			4:35	0,9	10	0,2	1,20	0,093	0,019	0,8			
			4:40	1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			4:45	1,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			4:50	1,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			4:55	1,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			5:00	1,3		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			5:05	1,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			5:10	1,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,2			
			5:15	1,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			5:20	1,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			5:25	2,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			5:30	2,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			5:35	2,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			5:40	2,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			5:45	3	5	0,4	4,80	0,126	0,050	2,6			
			5:50	3,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,8			
			5:55	3,7	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,2			
			6:00	4	5	0,3	3,60	0,116	0,035	3,6			
			6:05	4,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			6:10	4,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,6			
			6:15	4,6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			6:20	4,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3			
			6:25	5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,6			
			6:30	5,3	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,6			
			6:35	5,8	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,2			
			6:40	6	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			6:45	6,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,2			
			6:50	6,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	3			
			6:55	6,3		0	0,00	0,000	0,000	2,6			
			7:00	6,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	2,2			
			7:05	6,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			7:10	6,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			7:15	6,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			7:20	6,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			7:25	6,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			7:30	7,1	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			7:35	7,7	5	0,6	7,20	0,144	0,087	2,4			
			7:40	8,2	5	0,5	6,00	0,135	0,068	3,2			
			7:45	8,6	5	0,4	4,80	0,126	0,050	3,8			
			7:50	8,9	5	0,3	3,60	0,116	0,035	4,2			
			7:55	9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	4,2			
			8:00	9,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	4,2			
			8:05	9,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	3,4			
			8:10	9,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,6			
			8:15	9,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2			
			8:20	9,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			8:25	9,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			8:30	10	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			8:35	10		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			8:40	10,1	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1,2			
			8:45	10,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			8:50	10,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			8:55	10,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			9:00	10,4		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			9:05	10,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			9:10	10,5		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			9:15	10,5		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			9:20	10,6	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			9:25	10,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			9:30	10,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			9:35	10,7	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			9:40	10,7		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			9:45	10,8	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			9:50	10,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			9:55	10,9		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			10:00	11	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			10:05	11,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			10:10	11,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			10:15	11,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			10:20	11,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			10:25	11,4		0	0,00	0,000	0,000	1			
			10:30	11,5	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			10:35	11,5		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			10:40	11,6	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			
			10:45	11,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			10:50	11,7	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			10:55	11,7		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			11:00	11,8	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			11:05	11,8		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			11:10	11,9	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,6			
			11:15	12	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			11:20	12,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1 - 0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			11:25	12,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:30	12,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:35	12,3		0	0,00	0,000	0,000	1			
			11:40	12,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			11:45	12,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:50	12,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			11:55	12,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			12:00	12,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			12:05	12,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:10	13	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:15	13,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			12:20	13,3	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			12:25	13,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			12:30	13,4		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			12:35	13,4		0	0,00	0,000	0,000	1			
			12:40	13,5	15	0,1	0,40	0,085	0,009	1			
			12:45	13,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			12:50	13,6		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			12:55	13,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			13:00	13,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			13:05	13,7	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,6			
			13:10	13,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			13:15	14	5	0,2	2,40	0,105	0,021	0,8			
			13:20	14		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			13:25	14,2	10	0,2	1,20	0,093	0,019	1,2			
			13:30	14,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			13:35	14,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			13:40	14,5	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			13:45	14,7	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,4			
			13:50	14,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			13:55	15	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			14:00	15,2	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,8			
			14:05	15,4	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2			
			14:10	15,7	5	0,3	3,60	0,116	0,035	2,4			
			14:15	15,9	5	0,2	2,40	0,105	0,021	2,4			
			14:20	16	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,4			
			14:25	16,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2,2			
			14:30	16,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	2			
			14:35	16,3	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,8			
			14:40	16,5	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			14:45	16,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			14:50	16,8	5	0,2	2,40	0,105	0,021	1,6			
			14:55	16,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			15:00	17	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			15:05	17,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,6			
			15:10	17,2	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,4			
			15:15	17,2		0	0,00	0,000	0,000	1,2			
			15:20	17,3	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			15:25	17,3		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			15:30	17,4	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,8			

A/α	Year	Date	Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ωρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)]$	$E = \sum e_r \Delta V_r$	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
			t_r (h)	V_r (mm)	ΔT_r (min)	ΔV_r (mm)	i_r (mm/h)	e_r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i_{30} (mm/h)	I_{30} (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			15:35	17,4		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			15:40	17,4		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			15:45	17,5	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			15:50	17,6	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
			15:55	17,7	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			16:00	17,8	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,8			
			16:05	17,9	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1			
			16:10	18	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			16:15	18,1	5	0,1	1,20	0,093	0,009	1,2			
			16:20	18,1		0	0,00	0,000	0,000	1			
			16:25	18,2	10	0,1	0,60	0,087	0,009	1			
			16:30	18,2		0	0,00	0,000	0,000	0,8			
			16:35	18,2		0	0,00	0,000	0,000	0,6			
			16:40	18,3	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,6			
			16:45	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			16:50	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			16:55	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:00	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:05	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:10	18,3		0	0,00	0,000	0,000	0			
			17:15	18,4	35	0,1	0,17	0,083	0,008	0,2			
			17:20	18,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:25	18,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:30	18,4		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:35	18,5	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,4			
			17:40	18,5		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			17:45	18,5		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			17:50	18,6	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			17:55	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			18:00	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			18:05	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:10	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:15	18,6		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:20	18,7	30	0,1	0,20	0,083	0,008	0,2			
			18:25	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:30	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:35	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:40	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:45	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			18:50	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0			
			18:55	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0			
			19:00	18,7		0	0,00	0,000	0,000	0			
			19:05	18,8	45	0,1	0,13	0,083	0,008	0,2			
			19:10	18,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:15	18,8		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:20	18,9	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			19:25	18,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			19:30	18,9		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			19:35	18,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:40	18,9		0	0,00	0,000	0,000	0,2			

			Βροχογράφος		Επεισόδιο Βροχής			Ενέργεια		Ένταση		Συντελεστής διαβρωτικότητας	
			Ώρα	ύψος	διάρκεια	ύψος	ένταση	$e_r = 0,29 [1-0,72 \exp(-0,05 i_r)] \quad E = \sum e_r \Delta V_r$				$R = E I_{30}$	$R_{year} = \sum R$
A/α	Year	Date	t _r (h)	V _r (mm)	ΔT _r (min)	ΔV _r (mm)	i _r (mm/h)	e _r (MJ/ha mm)	E (MJ/ha)	i ₃₀ (mm/h)	I ₃₀ (mm/h)	R (MJ mm/ha h)	R (MJ mm/ha h y)
			19:45	19	25	0,1	0,24	0,084	0,008	0,4			
			19:50	19		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			19:55	19		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:00	19,1	15	0,1	0,40	0,085	0,009	0,4			
			20:05	19,1		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			20:10	19,1		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
			20:15	19,1		0	0,00	0,000	0,000	0,2			
			20:20	19,2	20	0,1	0,30	0,084	0,008	0,4			
			20:25	19,2		0	0,00	0,000	0,000	0,4			
		(Βροχόμετρο)	20:30	19,3	10	0,1	0,60	0,087	0,009	0,4			
		19,40	20:35	19,4	5	0,1	1,20	0,093	0,009	0,6			
		Σύνολο			1085	19,4		12,964	1,986				

