



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση πλημμυρικής παροχής και
στερεοαπορροής υδρολογικής λεκάνης
Κορωνίδας Νάξου**

Πλωτάρχης (Μ) Ευάγγελος Κορρές Π.Ν.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2021

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς, Καθηγητής

Στη μνήμη της γιαγιάς μου Ελένης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα εργασία ένας κύκλος εκπαίδευσης, που ξεκίνησε το καλοκαίρι του 2009 με την προετοιμασία εισαγωγής στην Σχολή Τεχνικής Εκπαίδευσης Αξιωματικών Μηχανικού (Σ.Τ.Ε.Α.ΜΧ), συνεχίστηκε με την φοίτηση μου σε αυτήν και με την προετοιμασία, εισαγωγή, μέσω των κατατακτηρίων εξετάσεων, και φοίτηση στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, κλείνει μετά από εννέα έτη σπουδών, πλούσια σε γνώση, μάθηση, εμπειρίες. Η φοίτηση, παράλληλα με την εξάσκηση του λειτουργήματος του Μηχανικού Αξιωματικού του Πολεμικού Ναυτικού σε Πολεμικά Πλοία του Αρχηγείου Στόλου και του Γενικού Επιτελείου Ναυτικού ήταν γεμάτη προκλήσεις και δυσκολίες λόγω των αυξημένων εργασιακών απασχολήσεων και της χρονικής στενωπού.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή ΕΜΠ και Διευθυντή του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος Δρ. Ευάγγελο Μπαλτά που με δέχτηκε στην ομάδα του και συνέβαλε με όλα τα μέσα για την ολοκλήρωση της εργασίας. Ευχαριστώ τις Αναπληρώτριες Καθηγήτριες ΕΜΠ Δρ. Διονυσία Παναγούλια και Δρ. Βασιλική Τσουκαλά για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή αξιολόγησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ευχαριστώ την Υποψήφια Διδάκτορα Ελισσάβητ Φελώνη που με καθοδήγησε βήμα προς βήμα από το αρχικό στάδιο των υπολογισμών μέχρι την ολοκλήρωση της συγγραφής. Ευχαριστώ τον Δρ. Κώστα Λαγουβάρδο, διευθυντή ερευνών ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ, για την παροχή των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών του δικτύου meteo.gr Απόλλωνα, Κορώνου, Κυνιδάρου και Απειράνθου νήσου Νάξου, καθώς η χρήση τους αποτέλεσε κομβικό σημείο για την εξέλιξη και ολοκλήρωση της εργασίας. Ευχαριστώ το σύνολο των καθηγητών του ΕΜΠ και της ΣΤΕΑΜΧ για την κατανόηση και τον σεβασμό που επέδειξαν όλα αυτά τα χρόνια στο δύσκολο έργο της φοίτησης παράλληλα με το εργασιακό καθήκον.

Τέλος ευχαριστώ τους ανθρώπους που με πλαισίωσαν και με στηρίζουν στη ζωή μου: Τους γονείς μου Γιάννη και Κατερίνα, τον αδερφό μου Γιώργο, την Αργυρώ, τους συγγενείς, φίλους και τον Πνευματικό μου π. Τίτο που συνδράμουν και στηρίζουν κάθε μου βήμα.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2018
Ευάγγελος Κορρές

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	xii
ABSTRACT	xiv
Ευρετήριο πινάκων.....	xvi
Ευρετήριο σχημάτων.....	xviii
Ευρετήριο εικόνων.....	xx
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Σκοπός εργασίας.....	1
1.3 Διάρθρωση εργασίας.....	2
2 Υδρολογική ανάλυση	2
2.1 Βασικές θεωρητικές έννοιες.....	2
2.1.1 Υδρολογικός κύκλος.....	2
2.1.2 Υδατόρεμα - Λεκάνη απορροής.....	2
2.1.3 Υδρογραφικό δίκτυο.....	3
2.1.4 Απορροή.....	4
2.1.5 Βροχή.....	5
2.1.6 Παροχή μελέτης - περίοδος επαναφοράς	5
2.2 Μεθοδολογία-σχέσεις υδρολογικής ανάλυσης.....	6
2.2.1 Πλημμύρα-χαρακτηριστικά πλημμύρας.....	6
2.2.2 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής - Ορθολογική μέθοδος.....	7
2.2.3 Χρόνος συρροής.....	8
2.2.4 Ενεργός βροχή-μέθοδος Soil Conservation Service (SCS)	9
2.2.5 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής - μέθοδος ισόχρονων καμπύλων.....	13
2.2.6 Μοναδιαίο υδρογράφημα	13
2.2.7 Όμβριες καμπύλες	15
3 Διάβρωση - στερεοαπορροή	18

3.1	Εισαγωγή - ορισμοί	18
3.2	Είδη διάβρωσης.....	19
3.3	Ζώνες στερεομεταφοράς	20
3.4	Μηχανισμοί στερεομεταφοράς.....	21
3.5	Εμπειρικά μοντέλα εκτίμησης στερεομεταφοράς	22
3.5.1	Μέθοδος Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).....	22
3.5.1.1	Συντελεστής βροχής R-Αναλυτικός υπολογισμός.....	23
3.5.1.2	Συντελεστής βροχής R-Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού.....	24
3.5.1.3	Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους K	24
3.5.1.4	Συντελεστής μήκους-γωνίας κλίσης LS	25
3.5.1.5	Συντελεστής διαχείρισης-κάλυψης γης C.....	26
3.5.1.6	Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P	27
3.5.2	Μέθοδος Gavrilovic	28
3.5.3	Συντελεστής στερεοαπορροής (SDR)	30
3.5.3.1	Εξισώσεις υπολογισμού SDR.....	30
3.5.4	Συντελεστής συγκράτησης μεθόδου Gavrilovic.....	30
3.5.5	Εμπειρικές σχέσεις παροχής-στερεοπαροχής	31
4	Περιοχή μελέτης-Λεκάνη Κορωνίδας-Απόλλωνα νήσου Νάξου.....	32
4.1	Γεωγραφικά στοιχεία	32
4.2	Ιστορικά στοιχεία	37
4.3	Γενικά στοιχεία.....	39
4.4	Μορφομετρικά-υδρογραφικά στοιχεία.....	39
4.5	Γεωλογικά στοιχεία	45
4.6	Το ακτομηχανικό πρόβλημα της παραλίας του Απόλλωνα.....	47
4.6.1	Ιστορικό.....	47
4.6.2	Ανάγκη υπολογισμού της στερεοπαροχής της λεκάνης απορροής.....	49
5	Υπολογιστικά προγράμματα (Software) και δεδομένα (data)	56

5.1	Υπολογιστικά προγράμματα (Software)	56
5.1.1	Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (ΓΣΠ-GIS) – Esri ArcGIS	56
5.1.2	Λογισμικό HEC-GeoHMS.....	57
5.1.3	Λογισμικό Υδρογνώμον (Hydrognomon).....	58
5.1.4	Λογισμικό Castalia	59
5.1.5	Λογισμικό NetStorm	59
5.2	Δεδομένα.....	60
5.2.1	Δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	60
5.2.2	Δεδομένα βροχόπτωσης.....	61
5.2.3	Δεδομένα χρήσης γης CORINE 2012	63
5.2.4	Δεδομένα συντελεστών μεθόδου RUSLE – European Soil Data Center (ESDAC).....	65
6	Υπολογισμοί υδρολογικής ανάλυσης λεκάνης Κορωνίδας	68
6.1	Εκτίμηση παροχής αιχμής με ορθολογική μέθοδο.....	68
6.1.1	Υπολογισμός συντελεστή C1	68
6.1.2	Υπολογισμός συντελεστή C2	69
6.1.3	Υπολογισμός συντελεστή C3	70
6.1.4	Υπολογισμός συντελεστή C4	71
6.1.5	Υπολογισμός συντελεστή συνολικού συντελεστή απορροής C.....	72
6.1.6	Υπολογισμός χρόνου συρροής λεκάνης	72
6.1.7	Υπολογισμός ενεργού βροχής με την μέθοδο SCS	72
6.1.8	Κατασκευή ΜΥΓ	75
6.1.9	Στοχαστική προσομοίωση.....	85
6.1.10	Έλεγχος όμβριας καμπύλης νήσου Νάξου	88
6.1.11	Κατασκευή όμβριων καμπύλων για την περιοχή μελέτης	89
6.1.12	Σύγκριση μεθόδων υπολογισμού πλημμυρικής παροχής αιχμής (Ορθολογική-ΜΥΓ)	91

6.1.13	Εκτίμηση παροχής αιχμής με ΜΥΓ για επεισόδιο βροχόπτωσης από στοχαστική προσομοίωση	94
7	Υπολογισμοί εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής λεκάνης Κορωνίδας.....	96
7.1	Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης με εμπειρικές μεθόδους.....	96
7.1.1	Εφαρμογή μεθόδου RUSLE.....	96
7.1.1.1	Συντελεστής R.....	96
7.1.1.2	Συντελεστής K.....	97
7.1.1.3	Συντελεστής LS.....	99
7.1.1.4	Συντελεστής C.....	100
7.1.1.5	Συντελεστής P.....	102
7.1.2	Αποτελέσματα μεθόδου RUSLE	104
7.1.3	Σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων κατά την εφαρμογή της μεθόδου.....	106
7.2	Εφαρμογή μεθόδου Gavrilovic	106
7.2.1	Συντελεστής χ	106
7.2.2	Συντελεστής γ	109
7.2.3	Συντελεστής ϕ	111
7.2.4	Λοιπά δεδομένα	112
7.2.5	Αποτελέσματα μεθόδου Gavrilovic.....	112
7.3	Στερεοαπορροή.....	114
7.3.1	Εκτίμηση δείκτη SDR μεθόδου RUSLE.....	114
7.3.2	Εκτίμηση δείκτη στερεοαπορροής μεθόδου Gavrilovic	114
7.3.3	Εκτίμηση διάβρωσης-στερεοαπορροής με το μοντέλο WaTEM/SEDEM 115	
7.4	Συζήτηση για την εκτίμηση της διάβρωσης και της στερεοαπορροής της περιοχής μελέτης	115
8	Εκτίμηση στερεοπαροχής μέσω της πλημμυρικής παροχής – δημιουργία καμπύλων Q_S - Q	118

8.1	Μεθοδολογία-παραδοχές	118
8.2	Αποτελέσματα-Συζήτηση	120
9	Συμπεράσματα-προτάσεις.....	122
9.1	Γενικά συμπεράσματα	122
9.2	Ειδικά συμπεράσματα	122
9.3	Προτάσεις.....	123
	Βιβλιογραφία.....	125
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΕΝΤΟΛΕΣ ARCGIS.....	129

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής αιχμής και της στερεοαπορροής της λεκάνης απορροής Κορωνίδας νήσου Νάξου, νομού Κυκλάδων. Αφορμή για την ενασχόληση/μελέτη με την εν λόγω λεκάνη αποτέλεσε το ακτομηχανικό πρόβλημα της παραλίας του όρμου Απόλλωνα Νάξου, στην έξοδό της, και συγκεκριμένα η χειμαρρική του τροφοδότηση από αυτήν, η οποία συνδυαστικά με τον υφιστάμενο ημικατεστραμμένο και άνευ τεχνικής μελέτης κατασκευής κυματοθραύστη, συμβάλλει στην πρόσχωση και τη μείωση του βάθους του πυθμένα της περιοχής .

Η ύπαρξη χρονοσειρών βροχόπτωσης δεκαλέπτου από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς του δικτύου meteo.gr, εγγύς της περιοχής μελέτης (κοινότητας Κορώνου και οικισμού Απόλλωνα), παρέχει τη δυνατότητα εκτέλεσης λεπτομερούς υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης. Στην κατεύθυνση αυτή συμβάλλει η αξιοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής με χρήση λογισμικού GIS και η εφαρμογή σύγχρονων λογισμικών επεξεργασίας/ανάλυσης και στοχαστικής προσομοίωσης των χρονοσειρών βροχόπτωσης.

Η εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής αιχμής της λεκάνης απορροής υπολογίζεται με εφαρμογή δύο μεθόδων :

- Της ορθολογικής μεθόδου.
- Της δημιουργίας-εφαρμογής Μοναδιαίου Υδρογραφήματος (ΜΥΓ), με την μέθοδο ισόχρονων καμπυλών.

Επιπρόσθετα γίνεται έλεγχος/αξιολόγηση των υφιστάμενων όμβριων καμπυλών της νήσου Νάξου και ακολούθως επιχειρείται η κατασκευή αντίστοιχων για την περιοχή μελέτης, με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης των ανωτέρων μετεωρολογικών σταθμών και αξιοποιώντας τα στοχαστικά μοντέλα προσομοίωσης AR(1) και SMA. Για τον προσδιορισμό της ενεργού βροχόπτωσης εφαρμόζεται η μέθοδος SCS.

Η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης της περιοχής μελέτης γίνεται με εφαρμογή δύο εμπειρικών μεθόδων:

- Της μεθόδου Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).
- Της μεθόδου Gavrilovic.

Ελλείψει τοπικών εδαφικών μετρήσεων, ο υπολογισμός των παραμέτρων των εν λόγω μεθόδων βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης της υδρολογικής ανάλυσης, βάσεις

δεδομένων χρήσεων γης (Corine 2000) και στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής με χρήση κατάλληλου χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών (IGME) και παράλληλη αξιοποίηση της διεθνούς βιβλιογραφίας για την εφαρμογή των μεθόδων, και τη στάθμιση των παραμέτρων στη συγκεκριμένη περιοχή. Η αξιοποίηση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και των υπολογιστικών εργαλείων GIS συμβάλλει στην εκτέλεση των υπολογισμών.

Ειδικά για τη μέθοδο RUSLE, τα αποτελέσματα που προκύπτουν τόσο για τις επιμέρους παραμέτρους όσο και για την μέση ετήσια διάβρωση, συγκρίνονται με τα αντίστοιχα που εξάγονται από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Δεδομένων Εδάφους (European Soil Data Centre – ESDAC).

Η στερεοαπορροή της λεκάνης υπολογίζεται ως κλάσμα της εδαφικής διάβρωσης με εκτίμηση του δείκτη στερεοαπορροής (Sediment Delivery Ratio – SDR) και του συντελεστή κατακράτησης Gavrilovic.

Επιπρόσθετα γίνεται αξιοποίηση των πρόσφατων (Φεβρουάριος 2018) αποτελεσμάτων εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής σε πανευρωπαϊκό επίπεδο με εφαρμογή του μοντέλου WaTEM/SEDEM και σύγκριση τους με τα αποτελέσματα της εργασίας.

Τέλος επιχειρείται συγκερασμός της εκτίμησης πλημμύρας μέσω MYG και της εκτίμησης της στερεοαπορροής της λεκάνης και εκτέλεση μιας αλληλουχίας υπολογισμών, εντός πλαισίου συγκεκριμένων παραδοχών, προκειμένου να καταρτιστούν καμπύλες Στερεοπαροχής-Παροχής για την λεκάνη απορροής.

ABSTRACT

The objective of this Thesis is the estimation of the maximum flood, water soil erosion and sediment flow in Koronida's area watershed, which is located in Naxos island. The beach, located in the basin's outlet in the Apollon village, is characterized by a coastal engineering issue which is mainly caused by the rainfall-induced streamflow, in combination with the existing damaged breakwater, factors that affect the bay's depth which is reduced over the years.

The existence of ten-minute time series rainfall data of the nearby weather stations, which are provided by the NOANN network, allows the hydrologic investigation of the region. The analysis includes the use of a Digital Elevation Model for the region, necessary for the GIS-based estimation of the time-area diagram and the UH estimation. In the context of this Thesis, a variety of software tools were used.

Basin's maximum flood is calculated through the following methods:

- Rational method for estimating flood peaks.
- GIS-based Unit hydrograph (and use of the Principles of proportionality and superposition).

The IDF curves for Naxos island, which are provided in the framework of the Directive 2007/60/EC implementation, are evaluated and the IDF curves for the study area were estimated, in order to execute the basin's hydrological analysis. The area's IDF curve is based on the ten-minute time series rainfall data, as well as the AR (1) and SMA stochastic model application.

Soil erosion for the study area is estimated through the following methods:

- Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) method.
- Gavrilovic method.

Each factor of the above mentioned methods, is estimated through land use / land cover datasets (Corine 2012) and the geological formations map, provided by the Institute of Geology Mineral and Exploration (IGME). The factors weighting and calibration is based on extended literature review.

Particularly for the calculations in RUSLE method, the European Soil Data Centre's (ESDAC) dataset is used in order to compare each calculated factor and basin's mean annual erosion.

Basin's sediment flow is estimated through the Sediment Delivery Ratio-SDR calculation and the Gavrilovic retention factor. In addition, the recent ESDAC's WaTEM/SEDEM model results (2018 February) are used in order to perform an holistic evaluation of mean annual erosion and sediment flow calculations.

Finally, a flood flow-sediment flow curves building method is being implemented by combining the area's unit hydrograph and the calculated mean annual sediment flow through a chain of calculations, limited by specific admissions.

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1 Τιμές επιμέρους συντελεστών απορροής (Πηγή ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002) ...	8
Πίνακας 2 : Κατηγορίες εδαφικής υγρασίας (SCS) (Πηγή Λουκάς Α.,)	11
Πίνακας 3 Κατάταξη εδαφών (SCS) (Πηγή Λουκάς Α)	11
Πίνακας 4 Τιμές CN_{II} (Πηγή Λουκάς Α.).....	12
Πίνακας 5 Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού συντελεστή R με βάση την μέση ετήσια βροχόπτωση (Πηγή Βαχαβιώλος, 2014)	24
Πίνακας 6 Κατηγορίες εδαφικής δομής (Πηγή Panagos et. Al., 2015)	25
Πίνακας 7 Τιμές συντελεστή C_{crop} (Πηγή Panagos et. Al., 2015)	27
Πίνακας 8 Τιμές συντελεστή χ (Πηγή Ξανθάκης, 2011)	29
Πίνακας 9 Τιμές συντελεστή γ (Πηγή Ξανθάκης, 2011)	29
Πίνακας 10 Τιμές συντελεστή ϕ (Πηγή Ξανθάκης, 2011).....	29
Πίνακας 11 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης.....	39
Πίνακας 12 Δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών Κορώνου Απόλλωνα	63
Πίνακας 13 Κωδικοποίηση Corine (Πηγή http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/rsens/rs/)	65
Πίνακας 14 Συντελεστής C1-Υπολογισμός	68
Πίνακας 15 Συντελεστής C2-Υπολογισμός	70
Πίνακας 16- Συντελεστής C3-Υπολογισμός	71
Πίνακας 17 Συντελεστής C4-Υπολογισμός	72
Πίνακας 18 Χρόνος συρροής	72
Πίνακας 19 CN_{II} - SCS.....	73
Πίνακας 20-Τιμές παραμέτρου S-SCS.....	74
Πίνακας 21 Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας K100	78
Πίνακας 22 Κελιά που απορρέουν /15 min και ΜΥΓ 15 Λεκάνης Απορροής	83
Πίνακας 23 Επεισόδια βροχής από στοχαστική προσομοίωση	88
Πίνακας 24 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων σταθμών ΕΜΥ και meteo.gr	89
Πίνακας 25 Εξαιρετικά υδρολογικά γεγονότα-HYDROGNOMON	90
Πίνακας 26 Τιμή παραμέτρου α όμβριας καμπύλης	90
Πίνακας 27 Ορθολογική μέθοδος T=50 έτη	92
Πίνακας 28 Υετογράφημα (Giandotti, T=50 έτη).....	92
Πίνακας 29 Υετογράφημα (Kiprich, T=50 έτη)	92
Πίνακας 30 Υετογράφημα (Passini, T=50 έτη).....	92

Πίνακας 31 Σύγκριση ορθολογικής μεθόδου-ΜΥΓ (T=50 έτη)	93
Πίνακας 32 Υετογράφημα (Giandotti, T=100 έτη)	93
Πίνακας 33 Σύγκριση ορθολογικής μεθόδου-ΜΥΓ (Giandotti, T=100 έτη)	93
Πίνακας 34 Ενεργός βροχή για το επεισόδιο στοχαστικής προσομοίωσης	94
Πίνακας 35 Πλημμυρογράφημα επεισοδίου στοχαστικής προσομοίωσης	95
Πίνακας 36 Τιμές συντελεστή R.....	97
Πίνακας 37 Τιμές συντελεστή K.....	97
Πίνακας 38 Μέση τιμή συντελεστή R	97
Πίνακας 39 Τιμές συντελεστή C.....	100
Πίνακας 40 Μέση τιμή συντελεστή C	100
Πίνακας 41 Τιμές συντελεστή P	102
Πίνακας 42 Μέση τιμή συντελεστή P	102
Πίνακας 43 Μέση ετήσια διάβρωση.....	104
Πίνακας 44 Τιμές συντελεστή χ -Gavrilonic.....	107
Πίνακας 45 Τιμές συντελεστή γ -Gavrilonic.....	109
Πίνακας 46 Τιμές SDR/Μέσης ετήσιας στερεοαπορροής	114
Πίνακας 47 Τιμή δείκτη συγκράτησης Gavrilonic/Μέση ετήσια στερεοαπορροή	114
Πίνακας 48 Συγκεντρωτικές τιμές εδαφικής διάβρωσης/στερεοαπορροής	115

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 1 Υδρολογικός κύκλος Υδρολογικός κύκλος (Πηγή http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html)	2
Σχήμα 2 Υδροκρίτης λεκάνης απορροής Κορωνίδας (Πηγή Google Earth).....	3
Σχήμα 3 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία).....	4
Σχήμα 4 Πλημμυρογράφημα λεκάνης απορροής (Ίδια επεξεργασία)	7
Σχήμα 5 Μέθοδος SCS (Πηγή Κουτσογιάννης,Ξανθόπουλος 1999)	10
Σχήμα 6 Μέθοδος ισόχρονων καμπύλων (Πηγή Μαμάσης, 2007α)	13
Σχήμα 7 ΜΥΓ-Αρχή γραμμικότητας (Ίδια επεξεργασία).....	14
Σχήμα 8 ΜΥΓ-Αρχή επαλληλίας (Ίδια επεξεργασία)	14
Σχήμα 9 Σύνθετο ΜΥΓ (Πηγή Μ. Βαφειάδης, 2004).....	15
Σχήμα 10 Παράδειγμα όμβριας καμπύλης (Ίδια επεξεργασία)	16
Σχήμα 11 Μηχανισμός διάβρωσης (Ίδια επεξεργασία).....	18
Σχήμα 12 Πρανική διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)	20
Σχήμα 13 Ζώνες στερεομεταφοράς (Πηγή Παναγούλια 2010).....	21
Σχήμα 14 Νήσος Νάξος-Θέση περιοχής μελέτης (Πηγή Google Earth).....	32
Σχήμα 15 Περιοχή μελέτης (Πηγή Google Earth).....	33
Σχήμα 16 Περιοχή μελέτης (Πηγή Google Earth).....	35
Σχήμα 17 Τύποι λεκανών κατά Gavrilovic (Πηγή Στεφανίδης, 2009).....	40
Σχήμα 18 Μορφή υδρογραφικού δικτύου (Ίδια επεξεργασία)	40
Σχήμα 19 Υδατόρεμα "Τρανός Ριάκας" (Πηγή Google Earth).....	42
Σχήμα 20 Περιοχή μελέτης (4 υπολεκάνες) (Πηγή Google Earth)	43
Σχήμα 21 Γεωλογικό υπόβαθρο λεκάνης (IGME- Ίδια επεξεργασία).....	46
Σχήμα 22 Οριζοντιογραφία μελέτης νέου αλιευτικού καταφυγίου (Πηγή limaniarollona.blogspot.gr).....	49
Σχήμα 23 (Πηγή navionics.com -Ίδια επεξεργασία).....	50
Σχήμα 24 (Πηγή Google Earth Ίδια επεξεργασία).....	50
Σχήμα 25 Λογισμικό ESRI ArcGIS (Ίδια επεξεργασία)	57
Σχήμα 26 Λογισμικό Hydrognomon (Ίδια επεξεργασία).....	58
Σχήμα 27 Λογισμικό Castalia (Ίδια επεξεργασία)	59
Σχήμα 28 Λογισμικό NetSTORM (Ίδια επεξεργασία).....	60
Σχήμα 29 DEM περιοχής μελέτης (Ίδια επεξεργασία)	61
Σχήμα 30 Θέσεις μετεωρολογικών σταθμών (Ίδια επεξεργασία).....	62
Σχήμα 31 Χρήσεις γης λεκάνης (Corine) (Ίδια επεξεργασία)	64

Σχήμα 32 Κατάταξη εδάφους βάση της σύστασης (Ίδια επεξεργασία)	69
Σχήμα 33 Υπολογισμός συντελεστή C2-Corine2012 (Ίδια επεξεργασία).....	70
Σχήμα 34 Υπολογισμός συντελεστή C3-Corine2012 (Ίδια επεξεργασία).....	71
Σχήμα 35 Υπολογισμός CN _{II} -corine2012 (Ίδια επεξεργασία)	74
Σχήμα 36 Διεύθυνση ροής (Ίδια επεξεργασία).....	76
Σχήμα 37 Συγκέντρωση ροής (Ίδια επεξεργασία).....	77
Σχήμα 38 Ταχύτητα off channel (Ίδια επεξεργασία)	78
Σχήμα 39 Ταξινόμηση συντελεστή τραχύτητας K100 (Ίδια επεξεργασία)	79
Σχήμα 40 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία).....	80
Σχήμα 41 Ταχύτητα in channel (Ίδια επεξεργασία).....	81
Σχήμα 42 Ολική ταχύτητα ροής (Ίδια επεξεργασία).....	82
Σχήμα 43 ΜΥΓ 15 min (Ίδια επεξεργασία).....	83
Σχήμα 44 Τροποποιημένο ΜΥΓ (Ίδια επεξεργασία)	84
Σχήμα 45 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία).....	85
Σχήμα 46 Καθυστερών κλάδος υδρογραφικού δικτύου (Ίδια επεξεργασία).....	85
Σχήμα 47 Όμβρια καμπύλη περιοχής μελέτης (Ίδια επεξεργασία)	91
Σχήμα 48 Κατανομή συντελεστή K (Ίδια επεξεργασία).....	98
Σχήμα 49 Κατανομή συντελεστή LS (Ίδια επεξεργασία).....	99
Σχήμα 50 Κατανομή συντελεστή C (Ίδια επεξεργασία).....	101
Σχήμα 51 Κατανομή συντελεστή P (Ίδια επεξεργασία).....	103
Σχήμα 52 Μέση ετήσια διάβρωση – RUSLE (Ίδια επεξεργασία)	105
Σχήμα 53 Συντελεστής χ (Ίδια επεξεργασία)	108
Σχήμα 54 Συντελεστής (Ίδια επεξεργασία)	110
Σχήμα 55 Μέση ετήσια διάβρωση – Gavrilovic (Ίδια επεξεργασία).....	113
Σχήμα 56 Διάγραμμα ροής μεθόδου υπολογισμού συντελεστών συντελεστών a, b καμπύλης Q _s -Q	119
Σχήμα 57 Καμπύλη Στερεοπαροχής-παροχής (Ίδια επεξεργασία).....	120

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1 Επιφανειακή (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι).....	19
Εικόνα 2 Αυλακωτή διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι).....	20
Εικόνα 3 Χαραδρωτική διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)	20
Εικόνα 4 Άποψη της δυτικής πλευράς της λεκάνης (Πηγή naxos.net)	34
Εικόνα 5 Κοινότητα Κορωνίδας (Πηγή naxos.gr)	36
Εικόνα 6 Οικισμός Απόλλωνα (Πηγή naxos.gr)	36
Εικόνα 7 Θολωτός μυκηναϊκός τάφος Κορωνίδας (Πηγή blogs.sch.gr)	37
Εικόνα 8 Κούρος Απόλλωνα (Πηγή naxostours.gr)	38
Εικόνα 9 Γεωργικές καλλιέργειες – Κορωνίδα (Πηγή naxos-times.gr)	39
Εικόνα 10 Υδατόρεμα 1ης τάξης (Πηγή naxos-times.gr).....	41
Εικόνα 11 Νερόμυλος (Τρανός Ριάκας) (Πηγή koronida.blogspot.com)	42
Εικόνα 12 Έξοδος λεκάνης απορροής-Θέση Ασμυρόλιμνος (Πηγή Google Earth) ..	43
Εικόνα 13 (Πηγή koronida.blogspot.com)	44
Εικόνα 14 (Πηγή koronida.blogspot.com)	44
Εικόνα 15 (Πηγή koronida.blogspot.com)	45
Εικόνα 16 (Πηγή cycladesvoice.gr).....	47
Εικόνα 17 (Πηγή Google Earth).....	48
Εικόνα 18 Στερεοαπορροή λεκάνης (Πλημμυρικό επεισόδιο ισχυρής βροχόπτωσης- 2006) (Πηγή apollonasnaxou.blogspot.gr).....	51
Εικόνα 19 κμα προς τα αριστερά στερεοπαροχή-25/02/2015 (Πηγή apollonasnaxou.blogspot.gr).....	51
Εικόνα 20 Εξέλιξη ακτογραμμής δεκαετία 50-2016 (Πηγή Κορρές, 2016)	52
Εικόνα 21 Εξέλιξη ακτογραμμής δεκαετία 50-2016 (Πηγή Κορρές, 2016)	53
Εικόνα 22 Ακτογραμμή προ κατασκευής κυματοθραύστη (Πηγή ktimatologio.gr)	54
Εικόνα 23 Ακτογραμμή – 2018 (Πηγή ktimatologio.gr)	55
Εικόνα 24 Κατολισθήσεις εντός λεκάνης (Οδικό δίκτυο Κορωνίδας-Απόλλωνα) (Πηγή http://kykladiki.blogspot.gr)	111
Εικόνα 25 Κατολισθήσεις εντός λεκάνης (Οδικό δίκτυο Κορωνίδας-Απόλλωνα) (Πηγή naxiotypia.gr)	111

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η ενασχόληση του ανθρώπου με το νερό και την εν γένει εκμετάλλευση/αξιοποίηση του εντοπίζεται από τους προϊστορικούς χρόνους καθόσον αποτελεί ένα από τους βασικούς πυλώνες της ανθρώπινης ύπαρξης και επιβίωσης. Η εξέλιξη του ανθρώπινου γένους διαμέσου των αιώνων παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας καταδεικνύει και την ενασχόληση κορυφαίων μηχανικών / προσωπικοτήτων της αρχαιότητας με την αξιοποίηση των υδάτινων πόρων. Συστήματα μεταφοράς και αποθήκευσης, εκτροπές ποταμών, υδροκίνητες μηχανικές κατασκευές ακόμα και αντιπλημμυρικά έργα αποτέλεσαν μερικούς από τους τομείς στους οποίους ο άνθρωπος, όχι μόνο απέκτησε ειδική γνώση και εξειδίκευση αλλά συνέβαλε και στην εξέλιξη και διαμόρφωση της, βασιζόμενος στα ελάχιστα τεχνολογικά μέσα μέτρησης κι υπολογισμών εκείνης της περιόδου.

Οι συνέπειες των πλημμυρικών φαινομένων και της εδαφικής διάβρωσης διαφαίνονται έντονα στη λεκάνη απορροής της κοινότητας Κορωνίδας Νάξου και συγκεκριμένα στον όρμο του Απόλλωνα Νάξου, λόγω της διαρκούς μείωσης του βάθους του πυθμένα που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια. Το φαινόμενο αυτό, που αποτελεί τροχοπέδη για την κατασκευή αλιευτικού καταφυγίου και για την κατ' επέκταση οικονομική και τουριστική ανάπτυξη του τόπου, καλείται αυτή η εργασία να περιγράψει και να υπολογίσει.

1.2 Σκοπός εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της πλημμυρικής παροχής και η εκτίμηση της εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής της λεκάνης στην περιοχή Κορωνίδας – Απόλλωνα Νάξου ν. Κυκλάδων. Η συγκεκριμένη λεκάνη παρουσιάζει ενδιαφέρον για τους εξής λόγους :

- Ο θαλάσσιος όρμος του οικισμού του Απόλλωνα, στον οποίο απορρέει η λεκάνη, παρουσιάζει ιδιαίτερο ακτομηχανικό ενδιαφέρον.

- Ο οικισμός του Απόλλωνα βρίσκεται επί της απορροής της συγκεκριμένης λεκάνης, στην παράκτια ζώνη, και η διερεύνηση/εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στη συγκεκριμένη περιοχή κρίνεται απαραίτητη.

Η μελέτη της εν λόγω λεκάνης θα κινηθεί σε δύο (2) άξονες :

- Υδρολογική ανάλυση και εκτίμηση πλημμυρικής παροχής αιχμής στη λεκάνη κοινότητας Κορωνίδας.
- Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής της ανωτέρω λεκάνης.

Ακολούθως θα δοκιμαστεί ο συγκερασμός της πλημμυρικής παροχής με την στερεοπαροχή της λεκάνης αξιοποιώντας τα αποτελέσματα των ανωτέρω αναλύσεων και δημιουργία καμπύλων παροχής-στερεοπαροχής.

1.3 Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται στις ακόλουθες ενότητες :

- Υδρολογική ανάλυση - θεωρητικό υπόβαθρο:
Περιγραφή των θεωρητικών εννοιών της υδρολογικής ανάλυσης καθώς και των μεθοδολογιών/εξισώσεων που θα χρησιμοποιηθούν:
 - Ορθολογική μέθοδος
 - Υπολογισμός ελλείμματος βροχής με μέθοδο SCS
 - Κατάρτιση ΜΥΓ με μέθοδο ισόχρονων καμπυλών
 - Όμβριες καμπύλες
- Διάβρωση-στερεοαπορροή – θεωρητικό υπόβαθρο: Περιγραφή θεωρητικών εννοιών και αναφορά στις εμπειρικές μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν (RUSLE-GAVRILOVIC-Καμπύλες παροχής στερεοπαροχής).
- Περιοχή μελέτης – Λεκάνη Κορωνίδας/Απόλλωνα Νάξου :
 - Περιγραφή των γεωγραφικών-ιστορικών-γεωμορφολογικών στοιχείων.
 - Αναφορά στο ακτομηχανικό πρόβλημα της παραλίας του Απόλλωνα που αποτέλεσε την αφορμή για την συγγραφή της παρούσας εργασίας.
- Λογισμικά (software) και δεδομένα :
 - Περιγραφή των software που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς και των βασικών λειτουργιών τους.
 - Περιγραφή των δεδομένων που χρησιμοποιούνται και των πηγών προέλευσής τους.
- Εφαρμογή υδρολογικής ανάλυσης στην περιοχή μελέτης.

- Εφαρμογή ορθολογική μεθόδου (υπολογισμός ενιαίου συντελεστή απορροής περιοχής μελέτης) και εκτίμηση πλημμυρικής παροχής.
 - Υπολογισμός ενεργού βροχής με μέθοδο SCS-Κατάρτιση ΜΥΓ λεκάνης.
 - Εφαρμογή στοχαστικής προσομοίωσης.
 - Έλεγχος όμβριας καμπύλης που καταρτίστηκε σύμφωνα με την τεχνική προδιαγραφή του ΥΠΕΚΑ, για τη νήσο Νάξο. Κατασκευή όμβριων καμπυλών για την περιοχή μελέτης και έλεγχος αξιοπιστίας τους.
 - Σύγκριση των δύο μεθόδων με χρήση βροχομετρικών δεδομένων από παρακείμενους σταθμούς καταγραφής.
 - Προσομοίωση και προσδιορισμός μελλοντικών επεισοδίων μέγιστης βροχόπτωσης και των αντίστοιχων πλημμυρικών παροχών αιχμής.
- Υπολογισμός διάβρωσης και στερεοπαροχής περιοχής μελέτης :
 - Εφαρμογή εμπειρικών μεθόδων RUSLE-Gavrilovic. Σύγκριση αποτελεσμάτων με τα δεδομένα από την Ευρωπαϊκή υπηρεσία ESDAC
 - Εκτίμηση συντελεστών στερεοπαροχής με τις μεθόδους Vanoni-SCS-Renfro και Gavrilovic.
 - Παρουσίαση τιμών εδαφικής διάβρωσης/στερεοαπορροής από δεδομένα ESDAC με το μοντέλο WaTEM/SEDEM.
 - Κατασκευή καμπύλων παροχής-στερεοπαροχής για την περιοχή μελέτης , με βάση την εκτιμώμενη στερεοαπορροή που προκύπτει από τη μέθοδο RUSLE και την εφαρμογή του ΜΥΓ στο σύνολο των επεισοδίων ενεργού βροχόπτωσης για τα έτη 2014 και 2015.
 - Συμπεράσματα-Προτάσεις

2 Υδρολογική ανάλυση

2.1 Βασικές θεωρητικές έννοιες

2.1.1 Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος είναι το εργαλείο εκείνο το οποίο αναπαριστά / περιγράφει την πορεία του νερού από την θάλασσα (δια της εξάτμισης και της βροχόπτωσης) στην επιφάνεια της γης και την εκ νέου κατάληξή του στην θάλασσα (Βαφειάδης 2000). Η πορεία του νερού από την επιφάνεια της γης προς την θάλασσα (ή τη λίμνη) γίνεται πάντοτε βαρυτικά από το ψηλότερο προς το χαμηλότερο υψόμετρο, διαμέσου εδαφικών διαμορφώσεων, τα υδατορέματα.

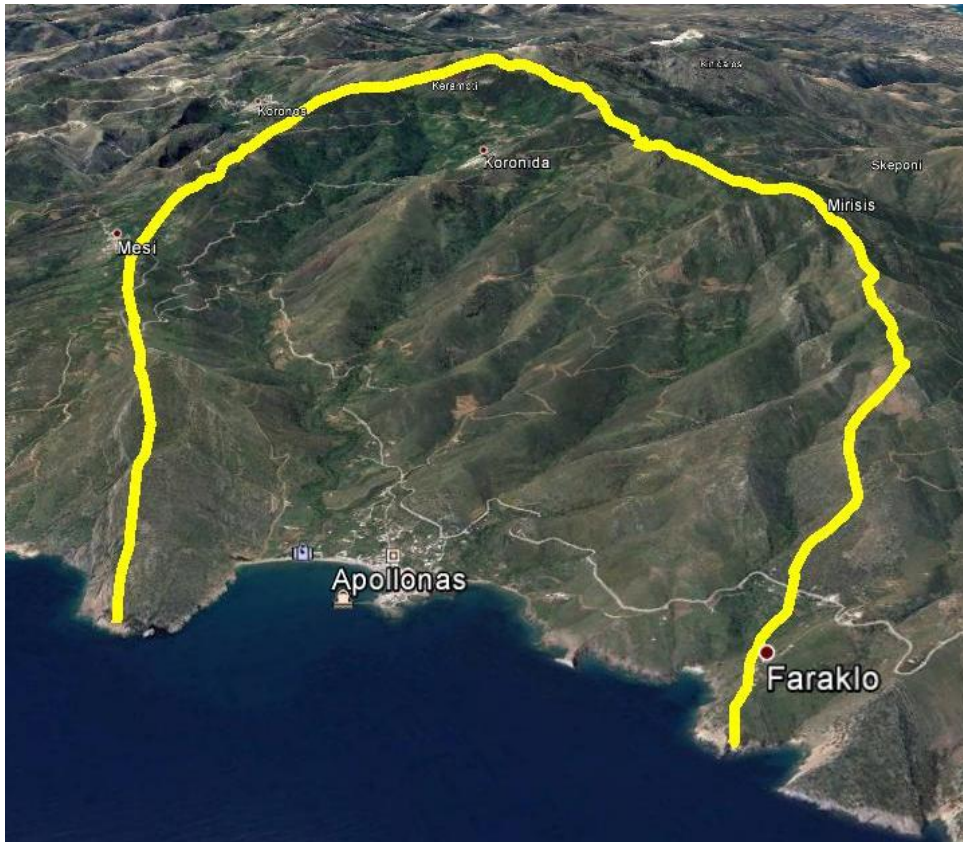


Σχήμα 1 Υδρολογικός κύκλος Υδρολογικός κύκλος (Πηγή <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html>)

2.1.2 Υδατόρεμα - Λεκάνη απορροής

Υδατορέματα είναι φυσικές ή διευθετημένες διαμορφώσεις της επιφάνειας του εδάφους και αποτελούν τους αποδέκτες των υδάτων της επιφανειακής απορροής (Κουδούνη 2006). Λεκάνη απορροής είναι μία τοπογραφική επιφάνεια στην οποία απορρέει ένα υδατόρεμα μαζί με τους παραποτάμους του (Κουδούνη 2006). Η λεκάνη απορροής αποτελεί μέρος του υδροκρίτη, ο οποίος σχηματίζεται από τη νοητή ένωση των υψηλότερων σημείων της τοπογραφικής επιφάνειας.

Το σύστημα υδατόρεμα – λεκάνη απορροής, αποτελεί ένα από τα τμήματα του υδρολογικού κύκλου που έχει ως αφετηρία τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχόπτωση / χιονόπτωση) (Βαφειάδης 2000).



Σχήμα 2 Υδροκρίτης λεκάνης απορροής Κορωνίδας (Πηγή Google Earth)

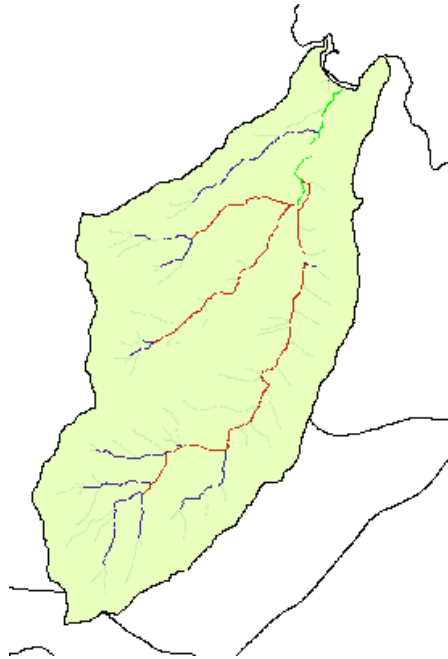
Η απορροή της λεκάνης επηρεάζεται από (Κουτσογιάννης, Ξανθόπουλος 1999):

- Τη γεωμετρία
- Τη μορφολογία (γεωμορφολογία, εδαφολογία, φυτοκάλυψη)
- Τη βροχόπτωση

2.1.3 Υδρογραφικό δίκτυο

Το σύνολο των υδατορεμάτων της λεκάνης απορροής αποτελούν το υδρογραφικό δίκτυο αυτής. Αποτελείται από το κύριο υδατόρεμα, το οποίο καταλήγει και στην έξοδο της λεκάνης (λίμνη ή θάλασσα) και από επιμέρους κλάδους μικρότερων υδατορεμάτων (Κουδούνη 2006). Η περιγραφή του υδρογραφικού δικτύου γίνεται με την υιοθέτηση συστημάτων ταξινόμησης/κατάταξης τα οποία βασίζονται στην περιγραφή του , μέσω ομαδοποίησης των επιμέρους κλάδων του, σύμφωνα με

συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τα συστήματα αυτά, οι ανώτεροι υψομετρικά κλάδοι ανήκουν στην 1η τάξη του δικτύου και αποτελούν τις θέσεις έναρξης του δικτύου. Ακολούθως η συνένωσή τους με ίδιας τάξης υδατορέματα οδηγεί σε κλάδους 2ης τάξης. Οι μέθοδοι κατάταξης που έχουν προταθεί είναι αυτές των Horton, Stahler και Shreve.



Σχήμα 3 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία)

2.1.4 Απορροή

Η μεταφορά του νερού από τα υδατορέματα 1ης τάξης διαμέσου του υδρογραφικού δικτύου στην έξοδο της λεκάνης απορροής, ονομάζεται απορροή. Η απορροή αποτελεί ροή με ελεύθερη επιφάνεια της οποίας η παροχή μεταβάλλεται. Είναι κατανοητό ότι κατά την κίνηση του νερού στη λεκάνη απορροής, θα υπάρχουν απώλειες που οφείλονται σε παράγοντες όπως η εξάτμιση, η κατακράτηση λόγω επιφανειακής χλωρίδας και η διήθηση, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η τελική απορροή της λεκάνης. Η απορροή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες (Κουτσογιάννης, Ξανθόπουλος 1999) :

- Άμεση απορροή (Μεταβαλλόμενη)
- Βασική απορροή (Σταθερή)

Είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός της άμεσης από την βασική απορροή ώστε το σύνολο των υδρολογικών υπολογισμών και εκτιμήσεων, να είναι κατά το δυνατόν ρεαλιστικό.

Η ποσοτικοποίηση και ο υπολογισμός της απορροής και ειδικά των ακραίων τιμών της γίνεται μέσω του υπολογισμού της παροχής. Η αριθμητική εκτίμηση της πλημμυρικής παροχής μιας λεκάνης απορροής οδηγεί σε αντίστοιχη εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου (Βαφειάδης 2000).

2.1.5 Βροχή

Η βροχόπτωση αποτελεί τον κατεξοχήν τρόπο τροφοδότησης της λεκάνης απορροής διαμέσου του υδρογραφικού δικτύου. Αποτελεί το αίτιο της απορροής και ευθύνεται για τις ακραίες πλημμύρες/καταστροφές κατοικημένων περιοχών ως συνέπεια των ακραίων καιρικών φαινομένων (Βαφειάδης 2000). Η ένταση και η διάρκεια της βροχόπτωσης είναι οι παράμετροι που καθορίζουν την πλημμυρική παροχή μιας λεκάνης απορροής. Για το λόγο αυτό η πρόβλεψη των εν λόγω παραμέτρων, καθίσταται σημαντική. Τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης είναι :

- Ένταση βροχόπτωσης i (ύψος βροχής/μονάδα χρόνου)
- Διάρκεια βροχόπτωσης t (μονάδα χρόνου)
- Κατανομή βροχόπτωσης (κατανομή της έντασης στο χρόνο)

Η βροχή που μετατρέπεται σε άμεση απορροή, ονομάζεται ενεργός βροχή. Το σύνολο των υπολογισμών της υδρολογικής ανάλυσης βασίζονται στην ενεργό βροχή. Η απώλεια της βροχής που οφείλεται στην κατακράτηση λόγω της φυτοκάλυψης, στην εξατμισοδιαπνοή και στην διήθηση, ονομάζεται έλλειμμα βροχής.

2.1.6 Παροχή μελέτης - περίοδος επαναφοράς

Οι οικονομοτεχνικές ανάγκες σχεδιασμού έργου (φράγμα, υπερχειλιστής φράγματος, αντιπλημμυρικό/αποστραγγιστικό έργο) σε συγκεκριμένες πλημμυρικές παροχές οδήγησαν στην έννοια της μέγιστης παροχής σχεδιασμού ή παροχής μελέτης, που εκφράζει την ικανότητα του έργου να αντιμετωπίσει τις εν λόγω παροχές. Σ' αυτή την παροχή (και κατ' επέκταση στην βροχόπτωση που την προκαλεί) αντιστοιχεί η περίοδος επαναφοράς, δηλαδή ο χρόνος (σε έτη) στον οποίο η τιμή της παροχής

έχει πιθανότητα να είναι ίση ή μεγαλύτερη από την παροχή μελέτης. Η περίοδος επαναφοράς εξαρτάται από το είδος και την σημασία του έργου.

2.2 Μεθοδολογία-σχέσεις υδρολογικής ανάλυσης

2.2.1 Πλημμύρα-χαρακτηριστικά πλημμύρας

Η πλημμύρα είναι το φαινόμενο κατά το οποίο κάποια περιοχή κατακλύζεται από νερό για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Αποτελεί το τελευταίο στάδιο του υδρολογικού κύκλου, που έχει ως κύρια αιτία τις κατακρημνίσεις (βροχόπτωση, χιονόπτωση) και χαρακτηρίζεται από την ανεπάρκεια της περιοχής να διοχετεύσει με φυσικό ή τεχνητό τρόπο τον παραγόμενο όγκο νερού (Βαφειάδης 2000).

Τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας είναι :

- Παροχή αιχμής
- Στάθμη υδατορέματος
- Πλημμυρικός όγκος
- Χρονική διάρκεια

Από τα ανωτέρω είναι σαφές ότι τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας συνδέονται άμεσα με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Ο πλημμυρικός όγκος προκύπτει από την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης και την έκταση της λεκάνης απορροής μέσω της σχέσης :

$$V = i_{EV} * A * t \quad (2.1)$$

i_{EV} : Ενεργός βροχή

A : Έκταση λεκάνης απορροής

t : Χρονική διάρκεια βροχής

Το πλημμυρογράφημα αποτελεί ουσιαστικά τη γραφική παράσταση της παροχής του νερού συναρτήσει του χρόνου στην έξοδο της λεκάνης απορροής. Το εμβαδό που περικλείεται από αυτό το γράφημα αποτελεί τον πλημμυρικό όγκο νερού.



Σχήμα 4 Πλημμυρογράφημα λεκάνης απορροής (Ίδια επεξεργασία)

2.2.2 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής - Ορθολογική μέθοδος

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η μέγιστη παροχή στη λεκάνη εμφανίζεται όταν στην έξοδο της έχει καταφτάσει νερό από όλα τα σημεία της. Για τη χρήση της μεθόδου λαμβάνει υπόψη ότι η βροχή παρουσιάζει ομοιόμορφη ένταση και κατανομή στη λεκάνη. Ο χρόνος βροχόπτωσης πρέπει να είναι ίσος με τον χρόνο συγκέντρωσης στη λεκάνη. Εκφράζεται αναλυτικά από τη σχέση :

$$Q = 0.278 * C * i * A \quad (2.2)$$

Q [m³/sec] : Αιχμή της απορροής

C : Συντελεστής απορροής

i [mm/hr]: Ένταση της βροχόπτωσης

A [Km²] : η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης

Ο συντελεστής απορροής εκτιμάται με βάση την ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002 ως το άθροισμα τεσσάρων συντελεστών C1+C2+C3+C4, οι οποίοι εκφράζουν :

C1 : Ανάγλυφο επιφάνειας λεκάνης

C2 : Διηθητικότητα εδάφους

C3 : Έκταση και πυκνότητα φυτοκάλυψης

C4 : Κλίση πρανών και αποθηκευτικότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας

Πίνακας 1 Τιμές επιμέρους συντελεστών απορροής (Πηγή ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002)

C ₁	0.28 – 0.35 Επικλινές ανάγλυφο, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0.20 – 0.28 Λοφώδες ανάγλυφο, με μέσες κλίσεις 10-30 %	0.14 – 0.20 Κυματώδες ανάγλυφο, με μέσες κλίσεις 5-10%	0.08 – 0.14 Σχετικά επίπεδο ανάγλυφο, με μέσες κλίσεις 0-5%
C ₂	0.12 – 0.16 Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0.08 – 0.12 Βραδεία διηθητικότητα, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0.06 – 0.08 Κανονική διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσσίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ίλνες και ιλυώδη εδάφη	0.04 – 0.06 Υψηλή διηθητικότητα, βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
C ₃	0.12 – 0.16 Βλάστηση που δεν επηρεάζει την απορροή, γυμνό έδαφος ή πολύ αραιά κάλυψη	0.08 – 0.12 Πτωχή ως μέτρια βλάστηση, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, <20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0.06 – 0.08 Μέτρια ως καλή βλάστηση, ~50% επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, <50% της επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0.04 – 0.06 Καλή έως άριστη βλάστηση, ~90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
C ₄	0.10 – 0.12 Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, μικροί διάδρομοι αποστράγγισης, καθόλου τέλματα	0.08 – 0.10 Χαμηλή αποθηκευτικότητα, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0.06 – 0.08 Κανονική αποθηκευτικότητα, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0.04 – 0.06 Υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

Γενικά ο συντελεστής απορροής σε μία λεκάνη εκφράζει τον λόγο των εκροών προς τις εισροές της λεκάνης εκφρασμένες σε ισοδύναμο ύψος βροχής, όγκο νερού ή παροχή: προς

$$C = \frac{\text{Εκροές}}{\text{Εισροές}} \quad (2.3)$$

2.2.3 Χρόνος συρροής

Ο χρόνος συγκέντρωσης (συρροής) της λεκάνης είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μετακίνηση μίας σταγόνας βροχής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην έξοδό της (Ευστρατιάδης 2011). Ο χρόνος συρροής εξαρτάται από:

- Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (Εικόνα , έκταση)
- Το μήκος και την πυκνότητα και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου,
- Την κλίση του εδάφους
- Παράγοντες που σχετίζονται με την τραχύτητα του εδάφους όπως η φυτοκάλυψη

Για την εκτίμηση του χρόνου συρροής έχουν αναπτυχθεί εξισώσεις που σχετίζονται με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης :

- **Giandotti** : $t_c = \frac{(4\sqrt{A} + 1.5L)}{0.8\sqrt{\Delta H}}$ (2.4)

t_c [h]: Χρόνος συρροής

A [Km²] : Έκταση λεκάνης

L [Km] : Μήκος κύριου υδατορέματος

ΔH [m]: Διαφορά μέσου υψομέτρου λεκάνης από το υψόμετρο στην έξοδο

- **Kiprich** : $t_c = 0.1947L^{0.77}S^{-0.385}$ (2.5)

t_c [min]: Χρόνος συρροής

L [Km] : Μέγιστο μήκος διαδρομής νερού στη λεκάνη

S : Κλίση ανάμεσα στο ψηλότερο σημείο της λεκάνης και την έξοδο

- **Passini** : $t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{AL}}{J}$ (2.6)

t_c [h]: Χρόνος συρροής

L [Km] : Μέγιστο μήκος διαδρομής νερού στη λεκάνη

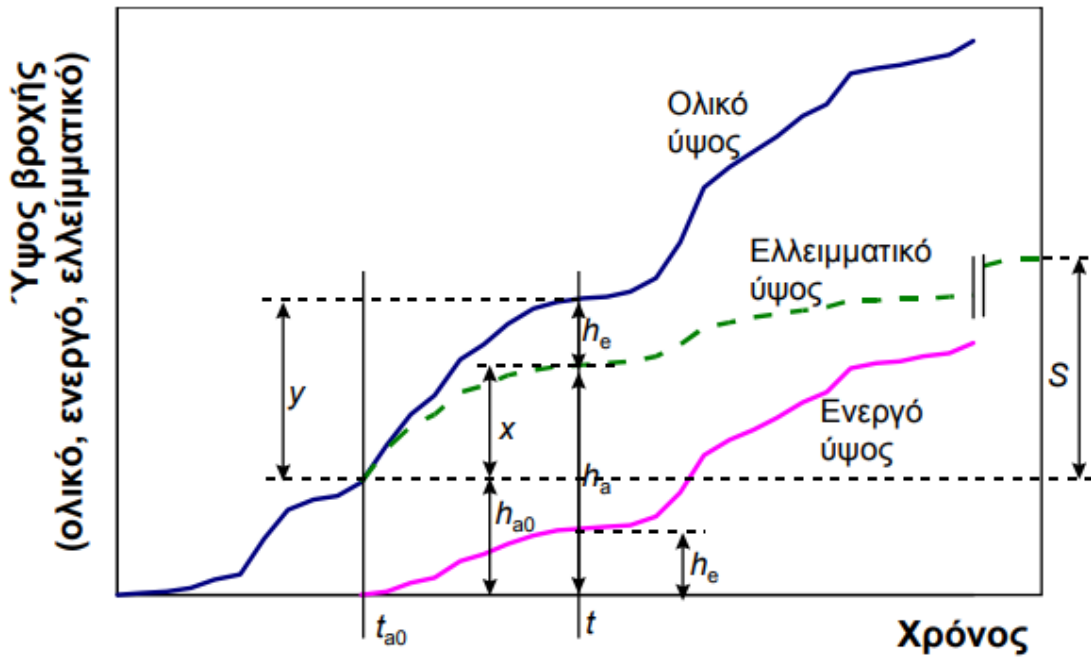
J : Μέση κλίση λεκάνης απορροής

2.2.4 Ενεργός βροχή-μέθοδος Soil Conservation Service (SCS)

Με την μέθοδο αυτή γίνεται εκτίμηση του ύψους (ενεργού) βροχής από την αρχική βροχόπτωση λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραδοχές (Κουτσογιάννης, Ξανθάκης 1999) :

- Μέχρι ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα t_0 από την έναρξη της βροχόπτωσης, το σύνολο της ενεργού βροχής θεωρείται μηδενικό. Με βάση αυτή τη θεώρηση το συνολικό ύψος της βροχής h_0 μέχρι εκείνο το χρονικό σημείο μετατρέπεται σε έλλειμμα.
Εάν h είναι το συνολικό ύψος της βροχής που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του επεισοδίου, τότε το μέγιστο ύψος ενεργού βροχής από το χρόνο t_0 και έπειτα, θα είναι $h - h_0$.
- Το ύψος βροχής h_0 μετά το χρόνο t_0 φθάνει μέχρι μια μέγιστη τιμή S (μέγιστη τιμή κατακράτησης).

$$\frac{h_e}{y} = \frac{x}{S} \quad \text{ή} \quad \frac{h_e}{h - h_{a0}} = \frac{h_a - h_{a0}}{S}$$



Σχήμα 5 Μέθοδος SCS (Πηγή Κουτσογιάννης, Ξανθόπουλος 1999)

Η μέθοδος θεωρεί ότι το 20% της συνολικής βροχόπτωσης κατακρατείται στην αρχή του επεισοδίου. Με βάση αυτή την απλούστευση ο υπολογισμός της ενεργού βροχής γίνεται σύμφωνα με τις σχέσεις :

$$\begin{cases} h_{εν} = 0 & h \leq 0.2S \\ h_{εν} = \frac{(h-0.2S)^2}{h+0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (2.7)$$

Η παράμετρος S εκτιμάται εμπειρικά σύμφωνα με την εξίσωση :

$$S [mm] = 254 \left[\left(\frac{100}{CN} \right) - 1 \right] \quad (2.8)$$

Η παράμετρος CN ονομάζεται παράμετρος καμπύλης απορροής (Curve Number) με τιμές από 1 έως 100. Εξαρτάται δε από την εδαφική υγρασία, το έδαφος και τις χρήσεις γης.

Η εδαφική υγρασία προσδιορίζεται από την βροχόπτωση των προηγούμενων πέντε ημερών από το επεισόδιο βροχής σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα 2 :

Πίνακας 2 : Κατηγορίες εδαφικής υγρασίας (SCS) (Πηγή Λουκάς Α.,)

Κατάταξη εδαφικής υγρασίας, SCS		
Κατηγορία	Συνολικό ύψος βροχής 5	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
I	<13	<35
II	13 - 28	35 - 53
III	>28	>53

Η κατάταξη των εδαφών γίνεται με βάση την διηθητικότητα και την σύσταση τους στις ακόλουθες τέσσερις ομάδες σύμφωνα με τον πίνακα 3.

Πίνακας 3 Κατάταξη εδαφών (SCS) (Πηγή Λουκάς Α)

Κατάταξη εδαφών, SCS	
ΟΜΑΔΑ	Περιγραφή
A	Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικιώδη εδάφη.
B	Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέση έως ελαφριάς σύστασης εδάφη
C	Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέση έως βαριάς σύστασης εδάφη
D	Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.

Για εδαφική υγρασία κατηγορίας II, η τιμή CN_{II} προσδιορίζεται από την μέθοδο με χρήση τυποποιημένου πίνακα, για κάθε κατηγορία εδάφους και διάφορες χρήσεις γης σύμφωνα με τον πίνακα 4.

Πίνακας 4 Τιμές CN_{II} (Πηγή Λουκάς Α.)

Χρήση	Κατάσταση Φυτοκάλυψης	Υδρολογικές Συνθήκες	Υδρολογική κατηγορία εδάφους			
			A	B	C	D
Χέρσος	Γραμμική	–	77	86	91	94
	Γραμμική	Δυσμενής	72	81	88	91
	Γραμμική	Καλή	67	78	85	89
	Κατά ισοϋφείς	Δυσμενής	70	79	84	88
	Κατά ισοϋφείς	Καλή	65	75	82	86
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	66	74	80	82
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Καλή	62	71	78	81
	Γραμμική	Δυσμενής	65	76	84	88
Σιτηρά	Γραμμική	Καλή	63	75	83	87
	Κατά ισοϋφείς	Δυσμενής	63	74	82	75
	Κατά ισοϋφείς	Καλή	61	73	81	84
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	61	72	79	82
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Καλή	59	70	78	81
	Γραμμική	Δυσμενής	66	77	85	89
	Γραμμική	Καλή	58	72	81	85
	Κατά ισοϋφείς	Δυσμενής	64	75	83	85
Πυκνή φύτευση χορτολειαδικές εκτάσεις	Κατά ισοϋφείς	Καλή	55	69	78	83
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	63	73	80	83
	Κατά ισοϋφείς και αναβαθμίδωση	Καλή	51	67	76	80
	Δυσμενής	68	79	86	89	
	Μέτρια	49	69	79	84	
	Καλή	39	61	74	80	
	Κατά ισοϋφείς	Δυσμενής	47	67	81	88
	Κατά ισοϋφείς	Μέτρια	25	59	75	83
Κατά ισοϋφείς	Καλή	6	35	70	79	
Λειβάδια	Καλή	30	58	71	78	
	Δυσμενής	45	66	77	83	
	Μέτρια	36	60	73	79	
	Καλή	25	55	70	77	
Δάση	–	59	74	82	86	
	–	72	82	87	89	
	–	74	84	90	92	
Φάρμες Δρόμοι	–	59	74	82	86	
	–	72	82	87	89	
	–	74	84	90	92	

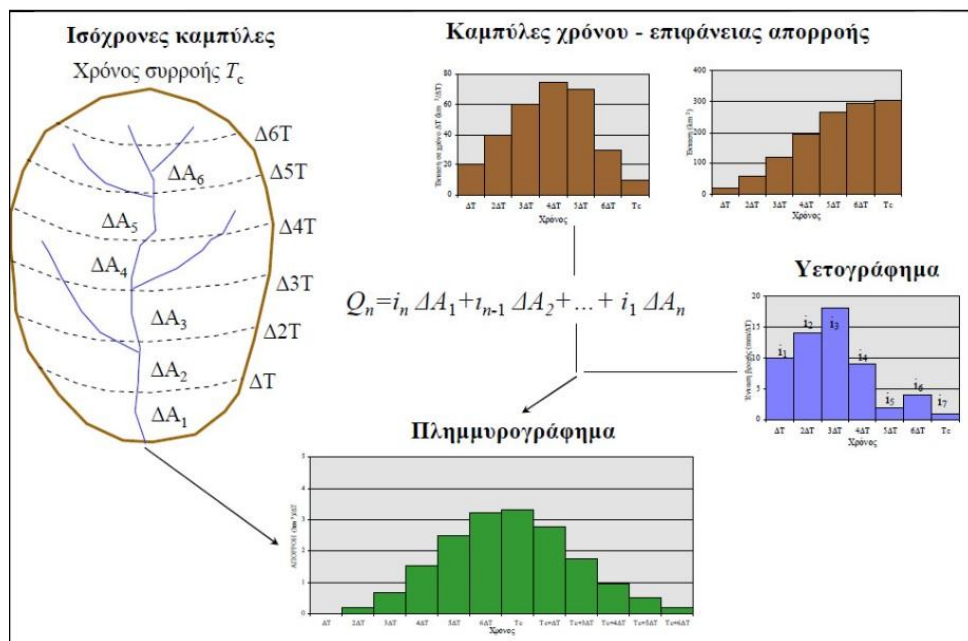
Ο υπολογισμός CN για εδαφική υγρασία κατηγορίας I και III , γίνεται με τη χρήση των ακόλουθων αναλυτικών εξισώσεων :

$$CN_I = \frac{0.42CN_{II}}{1 - 0.0058CN_{II}} \quad (2.9)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3CN_{II}}{1 + 0.05813} \quad (2.10)$$

2.2.5 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής - μέθοδος ισόχρονων καμπύλων

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, η λεκάνη χωρίζεται σε καμπύλες ίσου χρόνου (ισόχρονες) οι οποίες έχουν την ιδιότητα ότι το νερό που ξεκινάει από όλα τα σημεία τους φτάνει στην έξοδο της λεκάνης στον ίδιο χρόνο. Η επιφάνεια ζώνης της λεκάνης που σχηματίζεται μεταξύ δύο ισόχρονων καμπυλών ΔΕ, αντιστοιχεί σε χρόνο Δt. Η χρήση της μεθόδου γίνεται σε μικρές/μεσαίας τάξης μεγέθους λεκάνες απορροής.

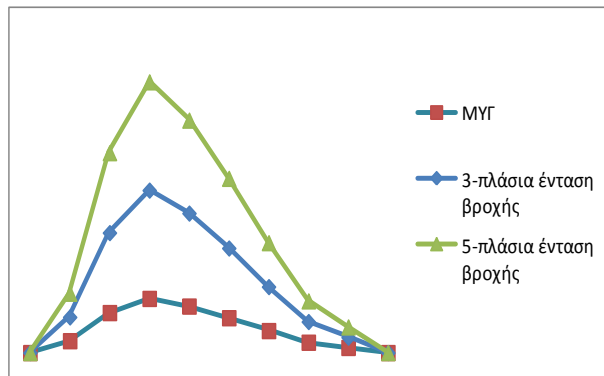


Σχήμα 6 Μέθοδος ισόχρονων καμπύλων (Πηγή Μαμάσης, 2007α)

2.2.6 Μοναδιαίο υδρογράφημα

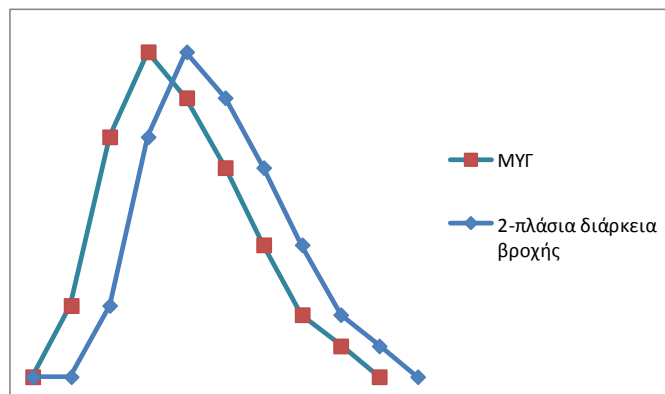
Κάθε λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ), το οποίο είναι η γραφική παράσταση της πλημμυρικής παροχής συναρτήσει του χρόνου για σταθερή μοναδιαία ένταση βροχής σε σταθερή μοναδιαία διάρκεια. Συνήθως ως μοναδιαία ένταση βροχής επιλέγεται η τιμή 10 mm/h και ως μοναδιαία χρονική διάρκεια η 1h (Μιμίκου, Μπαλτάς 2012). Επειδή οι βροχοπτώσεις χαρακτηρίζονται από μεταβλητή ένταση και μεταβλητή διάρκεια, το υδρογράφημα λεκάνης απορροής υπολογίζεται από το ΜΥΓ, χρησιμοποιώντας της αρχές της γραμμικότητας και της επαλληλίας.

- Σύμφωνα με την αρχή της γραμμικότητας, βροχή πολλαπλάσιας έντασης αλλά ίδιας χρονικής διάρκειας με την μοναδιαία θα δώσει αντίστοιχη πολλαπλάσια παροχή.



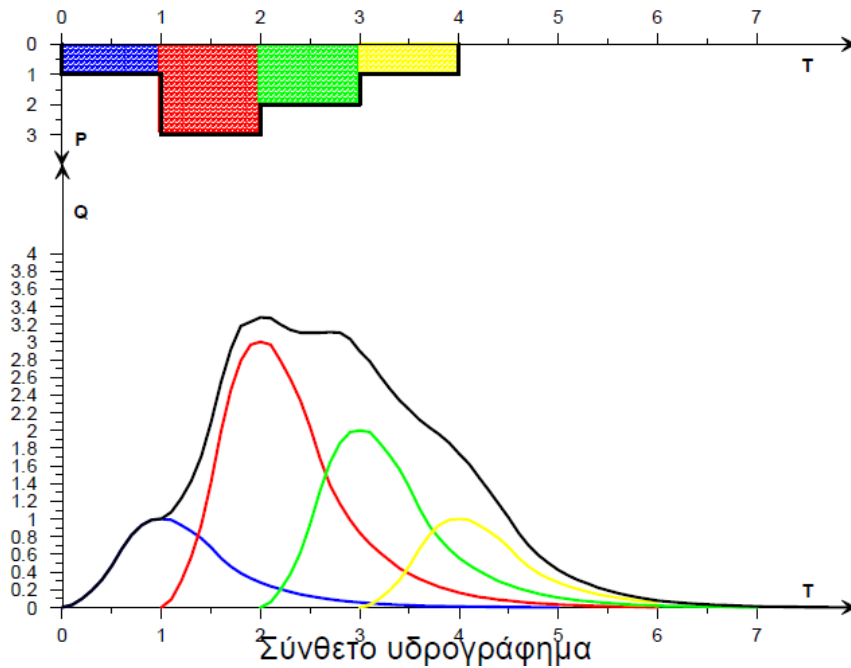
Σχήμα 7 ΜΥΓ-Αρχή γραμμικότητας (Ίδια επεξεργασία)

- Η αρχή της επαλληλίας ορίζει ότι κάθε χρονική διάρκεια (μεγαλύτερη της μοναδιαίας) χωρίζεται σε ίσα, με τη μοναδιαία διάρκεια, χρονικά διαστήματα. Σε κάθε ένα από αυτά τα χρονικά διαστήματα, θεωρείται ότι λαμβάνεται χώρα ξεχωριστή βροχόπτωση που παράγει ξεχωριστό υδρογράφημα. Το συνολικό υδρογράφημα προκύπτει από τη άθροιση (επαλληλία) των επιμέρους υδρογραφημάτων.



Σχήμα 8 ΜΥΓ-Αρχή επαλληλίας (Ίδια επεξεργασία)

Το υδρογράφημα λεκάνης απορροής για βροχόπτωση μεταβλητής έντασης και μεγαλύτερης διάρκειας από την μοναδιαία, προκύπτει από το ΜΥΓ με εφαρμογή των ανωτέρω δύο μεθόδων.



Σχήμα 9 Σύνθετο ΜΥΓ (Πηγή Μ. Βαφειάδης, 2004)

2.2.7 Όμβριες καμπύλες

Η εναλλαγή των εποχών σε συνδυασμό με την περιοδικότητα του φαινομένου της βροχόπτωσης, οδήγησε στην εισαγωγή στατιστικών μοντέλων που σκοπό έχουν να δώσουν στοιχεία έντασης βροχής σε μελλοντικό χρόνο με αρκετά μεγάλη ακρίβεια (Κουτσογιάννης, Ξανθόπουλος, 1999) . Ο προσδιορισμός της έντασης της βροχής για συγκεκριμένη διάρκεια βροχόπτωσης και συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς γίνεται με τις όμβριες καμπύλες. Οι καμπύλες αυτές είναι αποτέλεσμα στατιστικής ανάλυσης και προέρχεται από ιστορικά δεδομένα (χρονοσειρές) καταγραφής βροχής για κάθε περιοχή ξεχωριστά.

Η αναλυτική εξίσωση που περιγράφει τις όμβριες καμπύλες σύμφωνα με την τεχνική προδιαγραφή του ΥΠ.Ε.ΚΑ.¹ είναι:

$$i(b,t) = \frac{\lambda'(T^k - \psi')}{\left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^n} \quad (2.11)$$

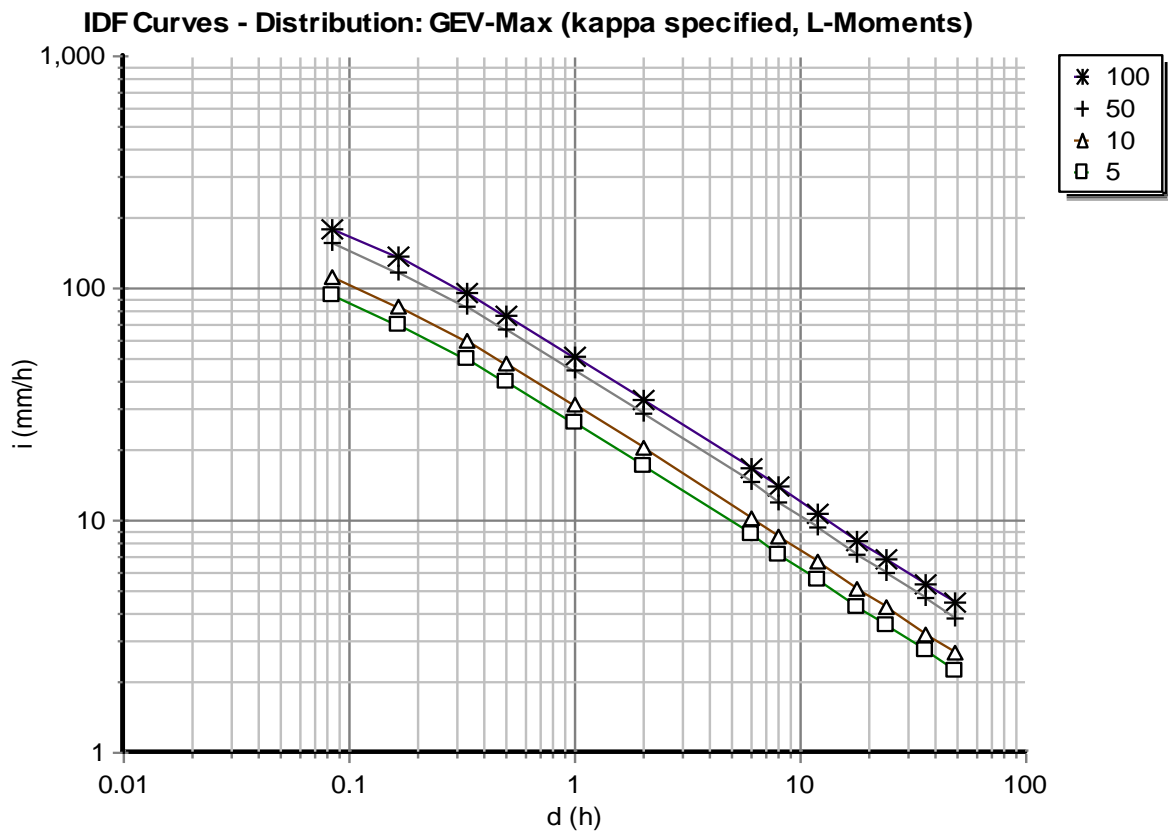
i : Μέγιστη ένταση βροχής

d : Διάρκεια βροχής

¹ Εφαρμογή οδηγίας 2007/60/ΕΚ-Κατάρτιση όμβριων καμπύλων σε επίπεδο χώρας, Παράρτημα III

T : Περίοδος επαναφοράς

λ' , ψ' , κ , θ , n : Παράμετροι



Σχήμα 10 Παράδειγμα όμβριας καμπύλης (Ίδια επεξεργασία)

3 Διάβρωση - στερεοαπορροή

3.1 Εισαγωγή - ορισμοί

Η διαρκής εξέλιξη του υδρολογικού κύκλου και συγκεκριμένα το κομμάτι εκείνο που αφορά την μεταφορά νερού στην γήινη επιφάνεια, προκαλεί αναπόφευκτα την αποκοπή εδαφικού υλικού από αυτήν και την μεταφορά του μέχρι την έξοδο της λεκάνης απορροής (λίμνη ή θάλασσα). Η άφιξη του νερού της στην επιφάνεια της γης έχει κρουστική και διαλυτική ενέργεια, ενώ η κίνησή του προς τα κατόντη έχει παρασυρτική ενέργεια (Στεφανίδης 2009). Η δράση αυτή του νερού στο έδαφος ονομάζεται διάβρωση (Ευθυμίου 2016).



Σχήμα 11 Μηχανισμός διάβρωσης (Ίδια επεξεργασία)

Οι μεταβολές του εδάφους, λόγω αυτής της φυσικής διεργασίας ενίοτε γίνονται άμεσα αντιληπτές με συνέπειες για την κοινωνικοοικονομική ζωή των περιοχών που πλήττονται από αυτές.

Προκειμένου να εξεταστεί το φαινόμενο της αποκόλλησης και μεταφοράς εδαφικού υλικού παράλληλα με την μεταφορά νερού, στη λεκάνη απορροής, εισάγονται αρχικά κάποιες βασικές έννοιες που περιγράφουν αναλυτικά το φαινόμενο (Παναγούλια 2005), (Ευθυμίου 2016):

- **Ολική διάβρωση** : Είναι η ποσότητα του εδαφικού υλικού που αποσπάται λόγω της συνδυασμένης δράσης της βροχής και της απορροής ανά μονάδα λεκάνης απορροής και ανά μονάδα χρόνου [tn/ha/year]
- **Καθαρή διάβρωση** : Είναι η ποσότητα του εδαφικού υλικού που αποσπάται και δεν εναποτίθεται στην μονάδα επιφανείας

- **Στερεοπαροχή Q_s** : Είναι η μάζα των φερτών υλών που μετριέται από μία διατομή υδατορέματος στη μονάδα του χρόνου [kg/sec].
- **Στερεοαπορροή** : Είναι η μάζα των φερτών υλικών που μετριέται στη διατομή του υδατορέματος ανά μονάδα λεκάνης απορροής και ανά μονάδα χρόνου [tn/km²/year].
- **Συντελεστής στερεοαπορροής (Sediment Delivery Ratio (SDR))**: Είναι ο λόγος της στερεοαπορροής προς την ολική διάβρωση και εκφράζει την ποσότητα των φερτών υλικών που διέρχονται από διατομή υδατορέματος σε σχέση με τη συνολική ποσότητα των φερτών της διάβρωσης.

3.2 Είδη διάβρωσης

Η διάβρωση λόγω της δράσης του νερού κατηγοριοποιείται ως ακολούθως (Στεφανίδης 2009):

- **Επιφανειακή διάβρωση**: Είναι η βαθμιαία και ομοιόμορφη απόσπασση και παράσυρση λεπτών στρωμάτων γήινης επιφάνειας από την απορροή του νερού.
- **Αυλακωτή διάβρωση**: Είναι η δημιουργία αβαθών αυλακιών κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης από το νερό που απορρέει.
- **Πρανική (υποσκαπτική) διάβρωση**: Προκαλείται από την προσβολή των πρανών στον πόδα τους από το νερό που απορρέει. Εξαρτάται από το είδος του πετρώματος του πρανού, της κλίσης και των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης. Τα πρανή που υφίστανται τέτοιου είδους διάβρωση καταρρέουν και μεταφέρονται από απορρέοντα νερά.
- **Χαραδρωτική διάβρωση**: Προκαλεί μόνιμη κατάτμηση του εδάφους με τη δημιουργία βαθιών χαντακιών (>1 m) στη διεύθυνση της ροής.



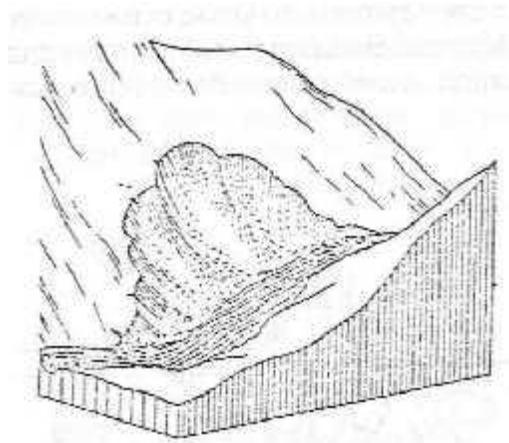
Εικόνα 1 Επιφανειακή (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)



Εικόνα 2 Αυλακωτή διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)



Εικόνα 3 Χαραδρωτική διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)



Σχήμα 12 Πρανική διάβρωση (Πηγή Μαρής ΔΟΥ Ι)

3.3 Ζώνες στερεομεταφοράς

Η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από τρεις ζώνες στερεομεταφοράς :

Ζώνη 1: Ζώνη διάβρωσης. Εντοπίζεται από υψηλότερα υψόμετρα της λεκάνης
Ζώνη 2: Ζώνη μεταφοράς. Εντοπίζεται στα μεσαία υψόμετρα της λεκάνης
Ζώνη 3: Ζώνη απόθεσης. Εντοπίζεται μεταξύ στα χαμηλά υψόμετρα της λεκάνης.



Σχήμα 13 Ζώνες στερεομεταφοράς (Πηγή Παναγούλια 2010)

3.4 Μηχανισμοί στερεομεταφοράς

Η μεταφορά του εδαφικού υλικού, έπεται της διάβρωσης και οφείλεται στην επιφανειακή απορροή. Περιγράφεται από την θεωρία της συρπτικής δύναμης και την θεωρία φερτών σε ισορροπία (Μιμίκου 2006).

Η κατάταξη του μεταφερόμενου εδαφικού υλικού γίνεται στις παρακάτω κατηγορίες (Μιμίκου 2006) :

1. Βάσει της προέλευσής του :
 - Φορτίο απόπλυσης : Λεπτόκοκκα στερεά σε αιώρηση
 - Φορτίο κοίτης: Τα περιβαλλόμενα από το νερό κινούμενα στερεά
2. Βάσει του τρόπου μεταφοράς :
 - Φορτίο αιώρησης: Τα περιβαλλόμενα από το νερό κινούμενα στερεά
 - Φορτίο πυθμένα: Χονδρόκοκκα στερεά που μεταφέρονται συρόμενα ή κυλιόμενα στον πυθμένα του ποταμού.

Η κατηγοριοποίηση του φερτού υλικού γίνεται με βάση την φυσική μορφή των κόκκων, την ταχύτητα καθίζησης και την κοκκομετρική διαβάθμιση.

Η εκτίμηση της στερεομεταφοράς γίνεται με χρήση μοντέλων που διακρίνονται σε εμπειρικά, φυσικά και στοχαστικά. Για τις ανάγκες της εργασίας θα γίνει χρήση εμπειρικών μοντέλων.

3.5 Εμπειρικά μοντέλα εκτίμησης στερεομεταφοράς

Τα εμπειρικά μοντέλα είναι στατιστικά και βασίζονται σε διεξαγωγή μετρήσεων. Περιγράφονται από αναλυτικές εξισώσεις και αναφέρεται και ο βαθμός συσχέτισής τους σε σχέση με τα αποτελέσματα που εξάγουν. Η χρήση τους γίνεται σε περιοχές/λεκάνες μελέτης, όπου δεν υφίστανται μετρήσεις, με κοινά χαρακτηριστικά με τις περιοχές που χρησιμοποίησαν τα μοντέλα για την κατασκευή των εξισώσεων. Το μειονέκτημα των εμπειρικών μοντέλων έγκειται στην ετερογένεια των περιοχών που καλούνται να εφαρμοστούν (π.χ. βροχόπτωση, γεωμορφολογία, γεωμετρικά χαρακτηριστικά).

Ορισμένα από τα μοντέλα αυτά είναι η μέθοδος RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) και η μέθοδος Gavrilovic.

3.5.1 Μέθοδος Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

Η μέθοδος RUSLE (Wischmeir and Smith 1978), υπολογίζει την μέση απώλεια εδάφους επιφανειακής και αυλακωτής διάβρωσης που έπονται πλημμυρικού επεισοδίου. Βασίζεται στις τιμές-δείκτες συγκεκριμένων παραγόντων που σχετίζεται με την λεκάνη απορροής. Οι παράγοντες αυτοί είναι η ενέργεια της βροχόπτωσης, η διαβρωσιμότητα του εδάφους, η μορφολογία του εδάφους, η φυτοκάλυψη και η ανθρωπογενής επέμβαση στο έδαφος. Η γενικευμένη εξίσωση που περιγράφει το μοντέλο είναι (Μιμίκου 2006) :

$$A=F(R,K,LS,C,P) \quad (3.1)$$

- A [tn/ha/year] : Διάβρωση εδάφους.
- R [MJ*mm/ha*hr]: Συντελεστής βροχής. Εκφράζει την διαβρωτική ενέργεια της βροχής
- K [tn*hr/MJ*mm]: Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους. Εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.
- LS : Συντελεστής μήκους-κλίσης. Εκφράζει την σχέση διάβρωσης και κλίσης του εδάφους. Αύξηση της κλίσης προκαλεί αύξηση της διάβρωσης.

- C : Συντελεστής διαχείρισης-κάλυψης γης. Εκφράζει την ενδεχόμενη ύπαρξη φυτοκάλυψης, λόγω της ικανότητας της να απορροφάει την ενέργεια της βροχής.
- P : Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P . Εκφράζει την απομείωση της διάβρωσης από τις εφαρμοζόμενες καλλιέργειες.

3.5.1.1 Συντελεστής βροχής R-Αναλυτικός υπολογισμός

Ο συντελεστής R (Panagos et al, 2015) εξαρτάται από το ενεργειακό περιεχόμενο της βροχής E και την μέγιστη ένταση βροχής διάρκειας 30 λεπτών I_{30} . Για το λόγο αυτό η τιμή παρουσιάζει διακυμάνσεις που σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής μελέτης. οπότε και μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή και τις συνθήκες της περιοχής. Η ύπαρξη αναλυτικών δεδομένων βροχής είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του συντελεστή, καθώς μεταβάλλεται από χρονικό διάστημα επιπέδου επεισοδίου βροχής μέχρι έτους.

- Ο ετήσιος συντελεστής R, προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους συντελεστών που εκφράζουν τα αντίστοιχα επεισόδια βροχόπτωσης και υπολογίζεται αναλυτικά σύμφωνα με την εξίσωση των Brown and Foster (1987) (Panagos et al., 2015) :

$$R = \sum_{k=1}^m (E)_K (I_{30})_k \quad (3.2)$$

E [MJ/ha] : Κινητική ενέργεια επεισοδίου βροχής

I_{30} [mm/hr]: Μέγιστη ένταση βροχής ημιώρου επεισοδίου βροχής

m: Αριθμός επεισοδίων βροχής

- Η κινητική ενέργεια επεισοδίου βροχής υπολογίζεται από την σχέση

$$\sum_{r=1}^m (e_r) (\Delta V_r) \quad (3.3)$$

r : Αριθμός διαστήματος επεισοδίου βροχής

m: Αριθμός επεισοδίου βροχής

e_r [MJ/mmha]: Ειδική κινητική ενέργεια επεισοδίου βροχής

ΔV_r : Ύψος βροχής επιμέρους διαστήματος επεισοδίου βροχής

- Η ειδική κινητική ενέργεια e_r υπολογίζεται από τη σχέση :

$$e_r = 0.29[1 - 0.72e^{-0.05i_r}] \quad (3.4)$$

i_r [mm/hr]: Ένταση βροχής επιμέρους διαστήματος επεισοδίου βροχής

3.5.1.2 Συντελεστής βροχής R-Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού

Η έλλειψη επαρκών δεδομένων βροχόπτωσης οδήγησε την εξαγωγή εμπειρικών σχέσεων για τον υπολογισμό του συντελεστή R, με βάση την μέση ετήσια βροχόπτωση (Βαχαβιώλος, 2014). Τρεις από τις μεθόδους αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5 Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού συντελεστή R με βάση την μέση ετήσια βροχόπτωση (Πηγή Βαχαβιώλος, 2014)

Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού συντελεστή R		
Μέθοδος	R [MJmm/hahr]	Μέση ετήσια βροχόπτωση
Renard and Freimund (1994)	$0.04830P^{1.610}$	$P \leq 850$ mm
	$587.8 - 1.219p + 0.004105P^2$	$P > 850$ mm
Van der Knijff et al., (2000a&b)	aP (Ελλάδα a=1.3)	P [mm]
Torri et al. (2006)	$3.08P - 944$	P [mm]

3.5.1.3 Συντελεστής διαβρωσιμότητας εδάφους K

Ο συντελεστής K περιγράφεται από την αναλυτική σχέση (Panagos et al., 2014) που προτάθηκε από τους Wischmeir and Smith (1978):

$$K = [(2.1 \times 10^{-4} M^{1.14} (12 - OM) + 3.25(s-2) + 2.5(p-3)) / 100] * 0.1317 \quad (3.5)$$

OM [%] : Το ποσοστό οργανικής ουσίας που περιέχεται στο έδαφος

M : Δομή επιφανειακής στρώσης $M = (m_{\text{silt}} + m_{\text{vfs}}) * (100 - m_c)$

m_{silt} [%] : Ποσοστό ιλύος (0,002-0,05 mm)

m_{vfs} [%] : Ποσοστό άμμου (0,05-0,1 mm)

m_c [%] : Ποσοστό αργίλου (<0,002 mm)

p : Διαπερατότητα εδάφους (p=1 πολύ μεγάλη, ..., p=6 πολύ μικρή)

s : Εδαφική δομή, δίνεται από τον πίνακα 5

Πίνακας 6 Κατηγορίες εδαφικής δομής (Πηγή Panagos et. Al., 2015)

Εδαφική δομή s	Εδαφική βάση δεδομένων (EE)
1: Πολύ καλή κοκκομετρία 1-2 mm	G(ood)
2: Καλή κοκκομετρία 2-5 mm	N(ormal)
3: Μέτρια ή μεγάλη κοκκομετρία 5-10 mm	P(oor)
4: Χονδρόκοκκο >10 mm	H(umic) or peaty top soil

Η έλλειψη εδαφικών δεδομένων, προκειμένου να υπολογιστεί ο συντελεστής K, οδηγεί σε αναζήτηση τιμών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχους εδαφικούς η γεωλογικούς σχηματισμούς στο πλαίσιο ερευνητικών εργασιών.

3.5.1.4 Συντελεστής μήκους-γωνίας κλίσης LS

Ο συντελεστής LS σχετίζεται με την επίδραση της γεωμορφολογίας και του ανάγλυφου στην εδαφική διάβρωση και αποτελείται από δύο διαφορετικούς συντελεστές :

- Συντελεστής μήκους κλίσης L
- Συντελεστής γωνίας κλίσης S

3.5.1.4.1 Συντελεστής L-Υπολογισμός

Ο υπολογισμός του συντελεστή L (Panagos et. al. 2015) γίνεται με βάση τον αλγόριθμο Desmet and Govers (1996). Λαμβάνοντας υπόψη ότι λόγω της ανομοιομορφίας του ανάγλυφου, η κλίση είναι διαρκώς μεταβαλλόμενη, ο αλγόριθμος υποδιαιρεί την επιφάνεια σε τμήματα δύο διαστάσεων (κελιά) των οποίων η κλίση θεωρείται σταθερή. Ο συντελεστής L υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση :

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} * \chi_{i,j}^m * 22.13^m} \quad (3.6)$$

$A_{i,j-in}$ [m²] : Το τμήμα της επιφάνειας του κελιού

D [m] : Η διάσταση του κελιού

$\chi_{i,j} = \sin a_{i,j} + \cos a_{i,j}$ Η διεύθυνση του κελιού

m : Λόγος εντός ρέματος διάβρωση/εκτός ρέματος διάβρωση $m = \frac{\beta}{\beta+1}$ (3.7)

$$\beta = \frac{\frac{\sin \theta}{0,0896}}{0,56 + 3(\sin \theta)^{0,8}} \quad (3.8)$$

θ : Γωνία κλίσης

Ο αλγόριθμος είναι κατάλληλος για εφαρμογές GIS.

3.5.1.4.2 Συντελεστής S-Υπολογισμός

Αρχικά ο McCool (Panagos et al., 2015) ανακάλυψε ότι η διάβρωση συμβαίνει γρηγορότερα σε εδάφη με κλίση μεγαλύτερη από 9%. Ο υπολογισμός του συντελεστή S γίνεται σύμφωνα με την εξίσωση (McCool et al., 1987):

$$S = \begin{cases} 10.8\sin\theta + 0.3 & \text{κλίση} < 0.09 \\ 16.8\sin\theta - 0.5 & \text{κλίση} \geq 0.09 \end{cases} \quad (3.9)$$

θ : Γωνία κλίσης

3.5.1.5 Συντελεστής διαχείρισης-κάλυψης γης C

Ο συντελεστής διαχείρισης-κάλυψης γης (φυτοκάλυψης) διακρίνεται σε δύο κατηγορίες (Panagos et al., 2015). Η πρώτη αφορά τις αρόσιμες περιοχές (C_{arable}) και Η δεύτερη τις μη αρόσιμες περιοχές ($C_{NonArable}$).

- Για τις αρόσιμες περιοχές ισχύει η σχέση $C_{arable} = C_{crop} \times C_{management}$ (3.10)
 - C_{crop} : Ο σχετιζόμενος με το είδος καλλιέργειας συντελεστής. Αναφέρεται σε 17 είδη καλλιέργειας (πίνακας 7) και σταθμίζεται από τα δεδομένα NUTS2 (Nomenclature of Territorial Units for Statistics). Το σύστημα NUTS2 τροφοδοτείται από τα διοικητικά όργανα των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ιεράρχηση και κατηγοριοποίηση των περιοχών σύμφωνα με το μέγεθος του πληθυσμού. Το NUTS2 αντιπροσωπεύει περιοχές 0.8-3 εκατομμύρια κατοίκους για τα οποία έχουν υιοθετηθεί πολιτικές κατηγοριοποιήσεις των περιοχών τους και διαθέτουν δεδομένα αγροτικών δραστηριοτήτων. Ο συντελεστής σταθμίζεται με βάση την σχέση $C_{crop} = \sum_{n=1}^{17} C_{cropn} * \%NUTS2_{cropn}$ (3.11)

Πίνακας 7 Τιμές συντελεστή C_{cropn} (Πηγή Panagos et. Al., 2015)

Τίμες συντελεστή C_{cropn} στην ΕΕ			
n	Είδος καλλιέργειας	% Αρόσιμης γης (ΕΕ)	Συντελεστής C_{cropn}
1	Κοινό σιτάρι και όλυρα	28.5	0.2
2	Σκληρό σιτάρι	3.2	0.2
3	Σίκαλη	3	0.2
4	Κριθάρι	14.8	0.21
5	Σπόροι καλαμποκιού	12.9	0.38
6	Ρύζι	0.6	0.15
7	Όσπρια	1.9	0.32
8	Πατάτα	2.4	0.34
9	Ζαχαρότευτλα	3.1	0.34
10	Ελιές	5.8	0.28
11	Γογγυλοκράμβη	8.1	0.3
12	Ηλιόσπορος	4.8	0.32
13	Λιναρόσπορος	0.1	0.25
14	Σόγια	0.5	0.28
15	Σπόρος βαμβακιού	0.4	0.5
16	Καπνός	0.1	0.49
17	Αγρανάπαυση	9.8	0.5

➤ $C_{management}$: Ο συντελεστής ποσοτικοποιεί την επίδραση της διαχείρισης γης (καλλιέργειες, καλύψεις, εγκαταστάσεις) και υπολογίζεται από τρεις επί μέρους συντελεστές : $C_{management} = C_{crop} * C_{residues} * C_{cover}$ (3.12), που σχετίζονται με τις τεχνικές καλλιέργειας (tillage), τα υπολείμματα καλλιεργειών (residues) και την κάλυψη των καλλιεργειών (cover)

- Για τις μη αρόσιμες περιοχές ισχύει ο συντελεστής

$$C_{NonArable} = MIN(C_{Landuse}) + Range(C_{Landuse}) * (1 - F_{COVER}) \quad (3.13)$$

Οι συντελεστές $C_{Landuse}$ και F_{COVER} προκύπτουν από την βάση δεδομένων χρήσης γης CORINE2012 και το σύστημα Copernicus της ΕΕ.

Γενικά ο συντελεστής C είναι υπολογισμένος για το σύνολο των περιοχών της ΕΕ και έχει καταχωρηθεί σε βάσεις δεδομένων της ΕΕ για άμεση πρόσβαση και χρήση.

3.5.1.6 Συντελεστής ελέγχου διάβρωσης P

Ο συντελεστής P λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και εκφράζει την επίδραση των διάφορων πρακτικών/μεθόδων τεχνικών καλλιέργειας στην απομείωση της

διαβρωτικής δράσης του νερού. Τέτοιες πρακτικές είναι οι καλλιέργειες με αναβαθμούς. Ο συντελεστής συνδέεται με τα τοπικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης περιοχής.

3.5.2 Μέθοδος Gavrilovic

Σύμφωνα με την μέθοδο η μέση ετήσια διάβρωση προκύπτει από την εξίσωση (Gavrilovic, 1988):

$$W=w*A \quad (3.14)$$

$$w=\pi*T*P*\sqrt{z^3} \quad (3.15)$$

- W [m³]: Μέσος ετήσιος όγκος φερτών υλικών
- A [Km²]: Έκταση λεκάνης
- w [m³/Km²]: Μέση ετήσια ειδική διάβρωση λεκάνης
- P [mm]: Μέση ετήσια βροχόπτωση στο μέσο υψόμετρο της περιοχής
- T: Συντελεστής θερμοκρασίας που προκύπτει από την σχέση :

$$T=\sqrt{\frac{t_0}{10} + 0.1} \quad (3.16)$$

- t₀ [°C]: Μέση ετήσια θερμοκρασία της περιοχής
- Z: Συντελεστής διάβρωσης που προκύπτει από την σχέση : $z=x*y*(\varphi+\sqrt{J})$ (3.17)
 - x: Συντελεστής φυτοκάλυψης. Λαμβάνει τιμές 0.05-1 σύμφωνα με τον πίνακα 8.
 - y: Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας. Λαμβάνει τιμές 0.2-2 σύμφωνα με τον πίνακα 9.
 - φ: Συντελεστής που εκφράζει το είδος και τον βαθμό διάβρωσης. Λαμβάνει τιμές 0.1-1 σύμφωνα με τον πίνακα 10.
 - J: Η μέση κλίση της περιοχής
- Πίνακες συντελεστών μεθόδου (Ξανθάκης, 2011)

Πίνακας 8 Τιμές συντελεστή χ (Πηγή Ξανθάκης, 2011)

A/A	Κατάσταση λεκάνης και είδος φυτοκάλυψης	χ
I. ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ		
1	Εδαφος πλήρως υποβαθμισμένο, μη καλλιεργήσιμο	1
2	Αγροί καλλιεργούμενοι με κλιτείς	0,9
3	Αμπελώνες χωρίς βλάστηση στο έδαφος	0,7
4	Υποβαθμισμένες δασοσυστάδες και θαμνώδες με υποβαθμισμένο έδαφος	0,6
5	Λιβάδια, αγροί με τριφύλλι και άλλες παρόμοιες καλλιέργειες	0,4
6	Εκτεταμένες δασοσυστάδες και θαμνώδες σε καλή κατάσταση	0,05
II. ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΥΔΡΟΝΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ		
1	Διευθετημένες κοίτες με φράγματα	0,7
2	Αγροί καλλιεργημένοι συχνά κατά τις ισοψείς	0,63
3	Αγροί καλά καλλιεργούμενοι	0,54
4	Αγροί καλά καλλιεργούμενοι κατάλωριδες οριζόντιες	0,45
5	Αγροί βαθμιδωμένοι	0,36
6	Αμπελώνες κατά ισοψείς	0,32
7	Υποβαθμισμένα εδάφη μετά από αναχλόαση, βελτιωμένα λιβάδια	0,3
8	Εδάφη με αγωγούς ανάσχεσης και συγκράτησης νερού	0,27
9	Επιφάνειες λεκανών με αναδασώσεις συνοδευόμενες και από βαθμιδωση του εδάφους	0,1
III. ΜΟΡΦΗ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗΣ		
1	Μικτές δασοσυστάδες και πυκνοί θαμνώδες ή δασοσυστάδες αραιές με υπόροφο	0.50-0.20
2	Δασοσυστάδες κωνοφόρων με υπόροφο ασθενή ή θαμνώδες όχι σύμπυκνοι	0.20-0.60
3	Δασοσυστάδες και θαμνώδες 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 9 Τιμές συντελεστή γ (Πηγή Ξανθάκης, 2011)

A/A	Είδος πετρώματος και υπεδάφους	γ
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 10 Τιμές συντελεστή φ (Πηγή Ξανθάκης, 2011)

A/A	Είδος και βαθμός διάβρωσης	φ
1	Ασθενής διάβρωση στις λεκάνες απορροής	0.1-0.2
2	Διάβρωση επιφανειακή στο 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

3.5.3 Συντελεστής στερεοαπορροής (SDR)

Η στερεοαπορροή όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.1 αποτελεί ένα μέρος της συνολικής εδαφικής διάβρωσης. Υπολογίζεται δε με τον συντελεστή SDR (Sediment Delivery Ratio) μέσω της σχέσης :

$$SDR = \frac{S_y}{A_s} \quad (3.18)$$

S_y [tn/ha]: Στερεοαπορροή

A_s [tn/ha]: Απώλεια εδαφικού υλικού λόγω διάβρωσης

3.5.3.1 Εξισώσεις υπολογισμού SDR

Οι εξισώσεις υπολογισμού του SDR είναι εμπειρικές και σχετίζονται με την επιφάνεια της λεκάνης απορροής (Βαχαβιώλος (2014)) :

- Renfro (1975): $\log(SDR) = 1.1935 - 0.14191 \cdot \log(A)$ με $R^2 \sim 0.92$, A [Km²] (3.19)
- SCS (1971): $SDR = 0.51 \cdot A^{-0.11}$, A [Km²] (3.20)
- Vanoni (1975): $SDR = 0.42 \cdot A^{-0.125}$, A [Km²] (3.21)

3.5.4 Συντελεστής συγκράτησης μεθόδου Gavrilovic

Η μέθοδος Gavrilovic εκτιμάει την πραγματική ποσότητα ιζήματος που μεταφέρεται μέσω του υδρογραφικού δικτύου με την σχέση (Stefanidis P., Kalinderis A., 2008) :

$$G = DR \cdot W \quad (3.22)$$

- W [m³/yr/Km²] : Μέση ετήσια στερεοπαροχή
- G [m³/yr/Km²] : Μέση ετήσια στερεοαπορροή
- DR : Συντελεστής συγκράτησης

$$DR = \frac{\sqrt{O \cdot D}}{0.25 \cdot (L + 10)} \quad (3.23)$$

- O [Km] : Περίμετρος της λεκάνης
- D [Km] : Μέσο υψόμετρο της λεκάνης
- L [Km] : Μήκος κύριου υδατορέματος

3.5.5 Εμπειρικές σχέσεις παροχής-στερεοπαροχής

Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν από μετρήσεις παροχής και στερεοπαροχής ταυτόχρονα. Από τις μετρήσεις αυτές βγαίνουν γραφικές ή αναλυτικές σχέσεις σε ετήσια βάση για μια συγκεκριμένη διατομή :

$$Q_s = aQ^b \quad (3.24)$$

Q_s : Στερεοπαροχή [kg/sec]

Q : Απορροή [m^3/sec]

a : Παράμετρος που εκφράζει την διαβρωσιμότητα της λεκάνης απορροής

b : Παράμετρος που εκφράζει την διαβρωτική ικανότητα του υδατορέματος (1,5~2,5)

Οι περιορισμοί που προκύπτουν από τις σχέσεις αυτές είναι :

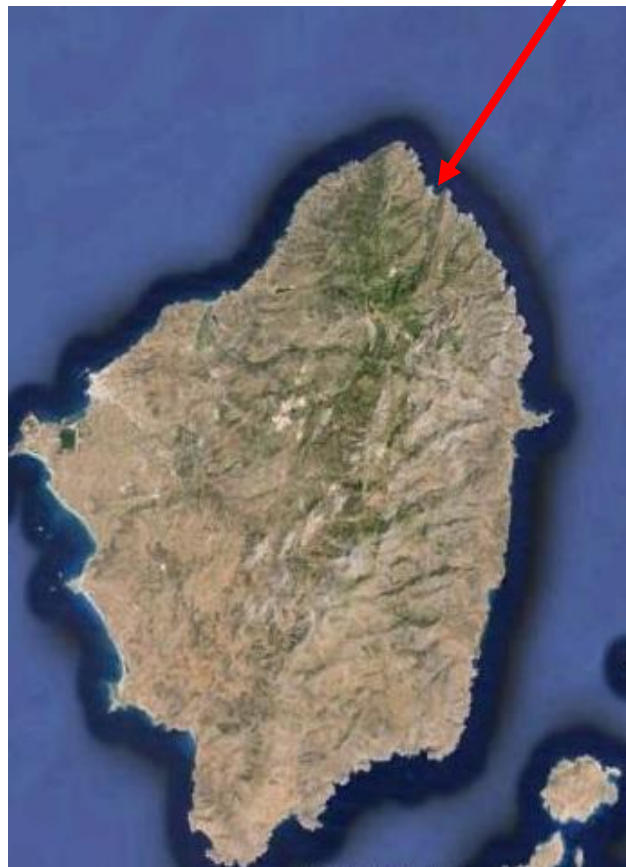
- Η απορροή έχει διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους (εναλλαγή υγρής/ξηρής περιόδου). Οι παράμετροι των σχέσεων επιβάλλουν περιορισμούς σε αυτή την μεταβλητότητα
- Η συσχέτιση παροχής-στερεοπαροχής παρουσιάζει διασπορά λόγω παραγόντων που δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τους υπολογισμούς και είναι υδραυλικής/υδρολογικής φύσεως (π.χ. πλάτος/βάθος κοίτης, μεταβλητότητα απορροής). Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης και την αξιοπιστία της εμπειρικής σχέσης από διατομή σε διατομή (Διαφορά παροχής-στερεοπαροχής έως και τρεις τάξεις μεγέθους (Παναγούλια,2010).
- Ο προσδιορισμός των παραμέτρων γίνεται με χρήση της μέσης ετήσια βροχόπτωσης, που δεν περιλαμβάνει τις έντονες βροχοπτώσεις και τα αντίστοιχα πλημμυρικά φαινόμενα κατά τα οποία πραγματοποιείται έντονη στερεομεταφορά.
- Το μέγεθος της λεκάνης απορροής επιδρά στην στερεοπαροχή με μικρότερες αποκλίσεις στις μεγάλες λεκάνες

4 Περιοχή μελέτης-Λεκάνη Κορωνίδας-Απόλλωνα νήσου Νάξου

4.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης (Λέβογιάννης, 1996) βρίσκεται στην ΒΑ πλευρά της νήσου Νάξου και αποτελεί σημαντικό τμήμα του υδροκρίτη της περιοχής. Ορίζεται από τις κορυφογραμμές του όρου Κόρωνος (997 m υψόμετρο) με τις ακόλουθες ονομασίες :

- Μαλλιασμένα χωράφια
- Μαυρομάρι
- Μαύρο βουνί
- Ανέφαμα
- Αη Γληόρης
- Καλόγερος



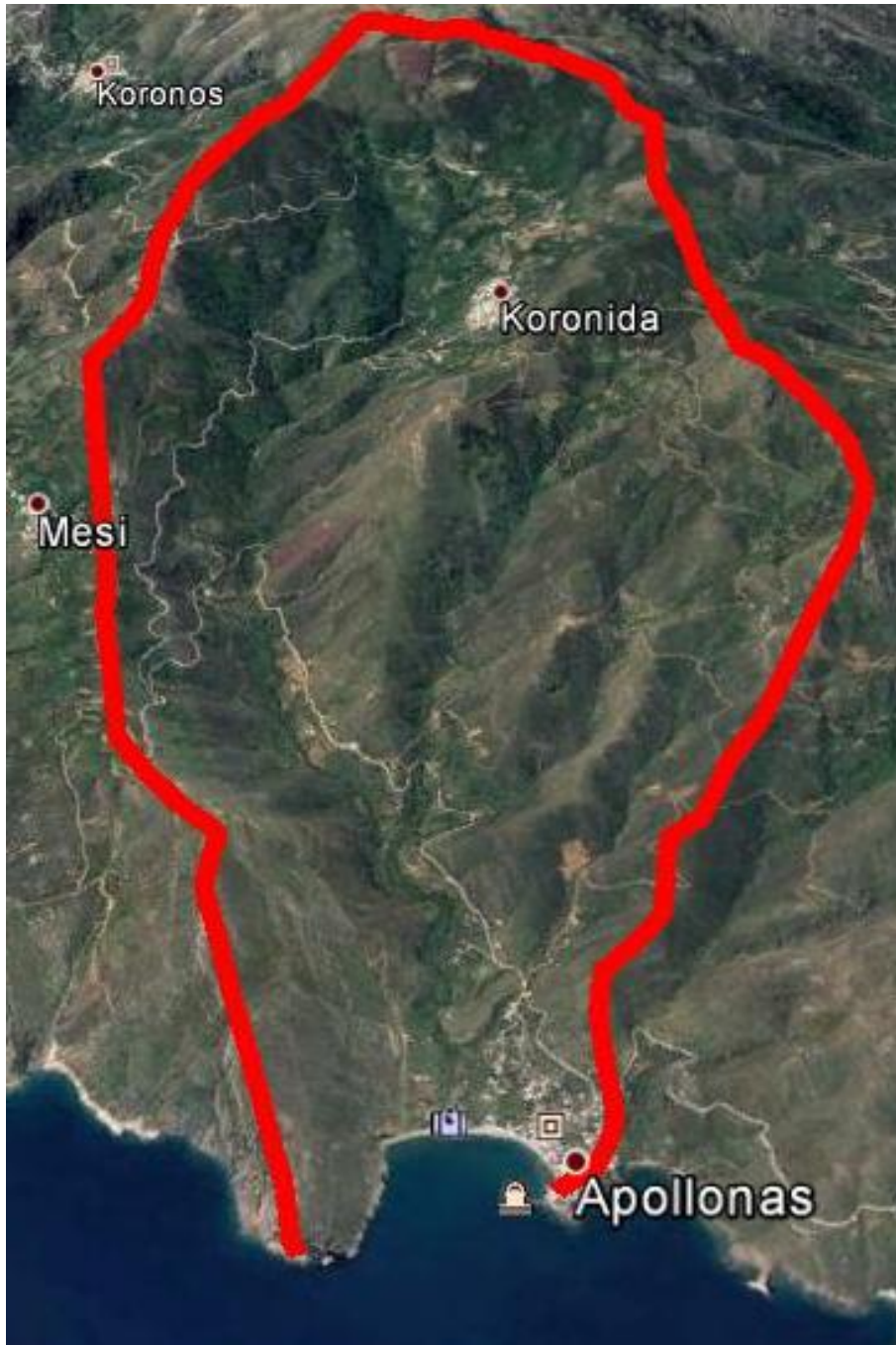
Σχήμα 14 Νήσος Νάξος-Θέση περιοχής μελέτης (Πηγή Google Earth)



Σχήμα 15 Περιοχή μελέτης (Πηγή Google Earth)



Εικόνα 4 Άποψη της δυτικής πλευράς της λεκάνης (Πηγή naxos.net)



Σχήμα 16 Περιοχή μελέτης (Πηγή Google Earth)

Η περιοχή περιλαμβάνει δύο οικισμούς. Την κοινότητα Κορωνίδας σε υψόμετρο ~650 m, στην πλαγιά της βουνοκορφής Μαλλιασμένα Χωράφια, με ανατολικό προσανατολισμό και τον παραθαλάσσιο οικισμό του Απόλλωνα .



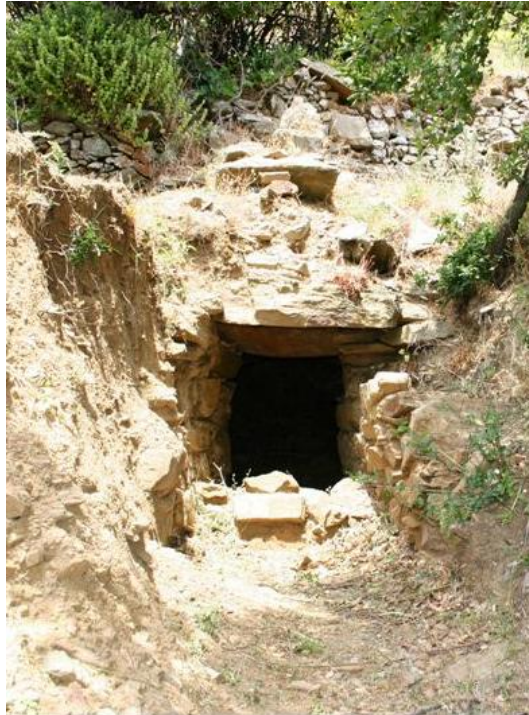
Εικόνα 5 Κοινότητα Κορωνίδας (Πηγή naxos.gr)



Εικόνα 6 Οικισμός Απόλλωνα (Πηγή naxos.gr)

4.2 Ιστορικά στοιχεία

Η περιοχή έχει κατοικηθεί από την μυκηναϊκή εποχή, που επιβεβαιώνεται από τον θολωτό μυκηναϊκό τάφο που ανακαλύφθηκε στην κοινότητα Κορωνίδας το 1908 από τον αρχαιολόγο Στέφανο Κλων. Χρονολογείται στην I και II Υστεροελλαδική περίοδο, δηλαδή στον 15^ο αιώνα π.Χ .



Εικόνα 7 Θολωτός μυκηναϊκός τάφος Κορωνίδας (Πηγή blogs.sch.gr)

Ο οικισμός του Απόλλωνα έπαιξε σημαντικό ρόλο στην Αρχαιότητα, καθώς η ύπαρξη λατομείου μαρμάρου τροφοδότησε το νησί της Δήλου με το απαραίτητο αυτό πέτρωμα για την κατασκευή των γνωστών αγαλμάτων στου νησιού. Η δραστηριότητα του αρχαίου λατομείου επιβεβαιώνεται και από την παρουσία ημιτελούς αγάλματος του Διονύσου, του 6ου αιώνα π.Χ., που είναι γνωστός ως κούρος του Απόλλωνα.



Εικόνα 8 Κούρος Απόλλωνα (Πηγή naxostours.gr)

Από την περίοδο της κυριαρχίας της Ανατολικής Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, μέχρι την ενετοκρατία και τους νεότερους χρόνους, η περιοχή βασίστηκε στην ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Ο όρμος του Απόλλωνα αποτέλεσε σημαντικό σταθμό δια θαλάσσης εμπορίου για το σύνολο της βόρειας πλευράς του νησιού.

Στη σημερινή εποχή η κτηνοτροφία και η γεωργία αποτελούν τους βασικούς παράγοντες οικονομικής ζωής της περιοχής σε συνδυασμό με την τουριστική ανάπτυξη της περιοχής του Απόλλωνα που αποτελεί την μοναδική οργανωμένη στην ΒΑ πλευρά του νησιού.



Εικόνα 9 Γεωργικές καλλιέργειες – Κορωνίδα (Πηγή naxos-times.gr)

4.3 Γενικά στοιχεία

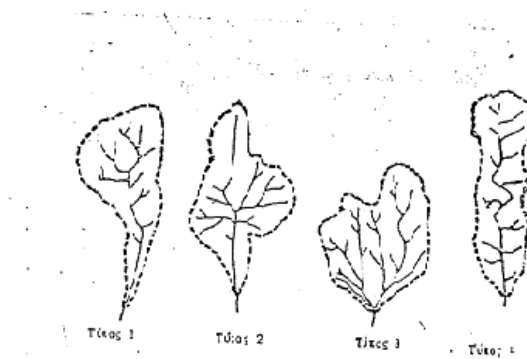
4.4 Μορφομετρικά-υδρογραφικά στοιχεία

Τα μορφομετρικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης παρουσιάζονται συγκεντρωντικά στον Πίνακα 11. Τα υψομετρικά και τα λοιπά τοπογραφικά στοιχεία της λεκάνης παρήχθησαν με κατάλληλο λογισμικό GIS (Esri Arc Map)

Πίνακας 11 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης

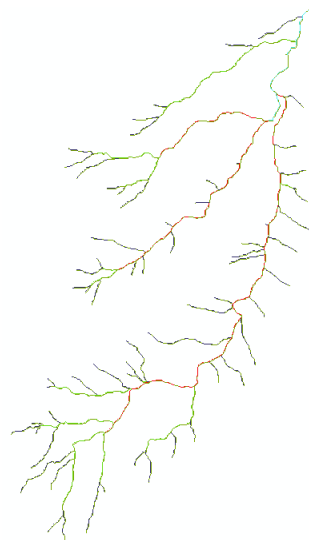
A/A	Μορφομετρικά χαρακτηριστικά	Μονάδα μέτρησης	Τιμή
1	Εμβαδό λεκάνης απορροής	Km ²	12.7
2	Περίμετρος	Km	18.26
3	Βαθμός στρογγυλομορφίας	Km	0.70
4	Ελάχιστο υψόμετρο	m	0
5	Μέγιστο υψόμετρο	m	997
6	Μέγιστο ανάγλυφο	m	997
7	Μέση κλίση λεκάνης	%	48

Η λεκάνη είναι μορφής τύπου I κατά ταξινόμηση Gavrilovic και κατατάσσεται στην κατηγορία «Μικρή» (10-30 Km²) και κατ' επέκταση τα υδατορέματα της χαρακτηρίζονται ως «Μικρά χειμναρικά ρέματα».



Σχήμα 17 Τύποι λεκανών κατά Gavrilovic (Πηγή Στεφανίδης, 2009)

Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου είναι δενδρική και ταξινομείται κατά Strahler (1952), μέχρι 4ης τάξης.



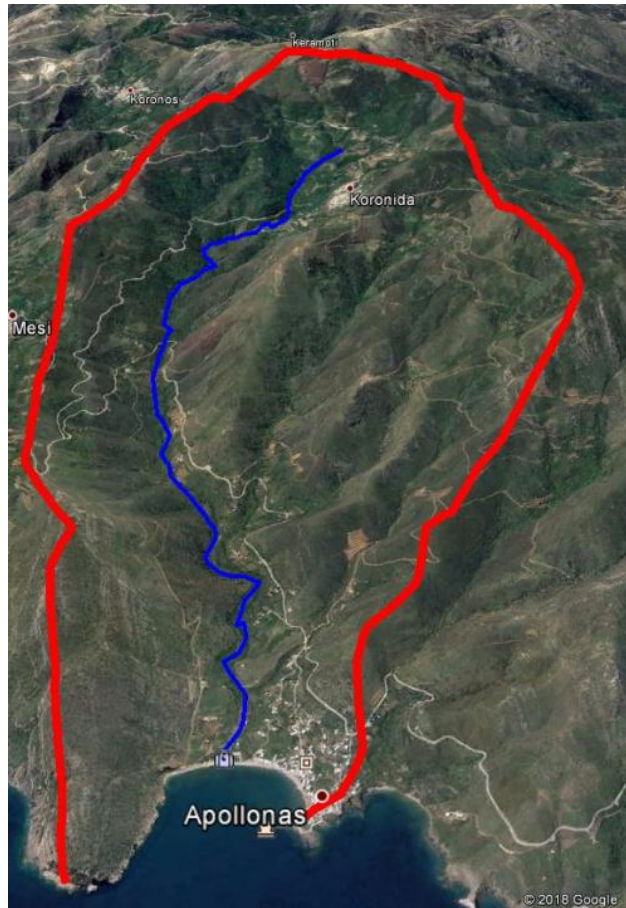
Σχήμα 18 Μορφή υδρογραφικού δικτύου (Ίδια επεξεργασία)

Η περιοχή αποτελείται από τέσσερις λεκάνες εκ των οποίων η μεγαλύτερη ορίζεται από την ψηλότερη κορυφή του όρους Κόρωνος και τις πλαγιές των βουνοκορφών «Μαυρομάρι» και «Μαλλιασμένα χωράφια». Ένα από τα υδατορέματα του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, έχει την ονομασία «Τρανός Ριάκας». Στην αρχή και κατά μήκος του κύριου υδατορέματος η περιοχή είναι εξαιρετικά εύφορη γεγονός που φαίνεται από την πλούσια και ποικίλη βλάστηση, με ύπαρξη νερού σε όλη τη διάρκεια του έτους. Η ύπαρξη πλήθους νερόμυλων κατά μήκος του υδατορέματος, στην περιοχή της Κορωνίδας καταδεικνύει ότι η απορροή της λεκάνης

και η αποθηκευτικότητα του νερού της λεκάνης, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, είναι διόλου σημαντική.



Εικόνα 10 Υδατόρεμα 1ης τάξης (Πηγή naxos-times.gr)



Σχήμα 19 Υδατόρεμα "Τρανός Ριάκας" (Πηγή Google Earth)



Εικόνα 11 Νερόμυλος (Τρανός Ριάκας) (Πηγή koronida.blogspot.com)



Σχήμα 20 Περιοχή μελέτης (4 υπολεκάνες) (Πηγή Google Earth)

Το ανάγλυφο της περιοχής είναι έντονο και αποτελείται από πολλά υδατορέματα τα οποία συγκλίνουν στο κύριο υδατόρεμα που απορρέει στην έξοδο της λεκάνης στον Απόλλωνα στην θέση Ασμυρόλιμος.

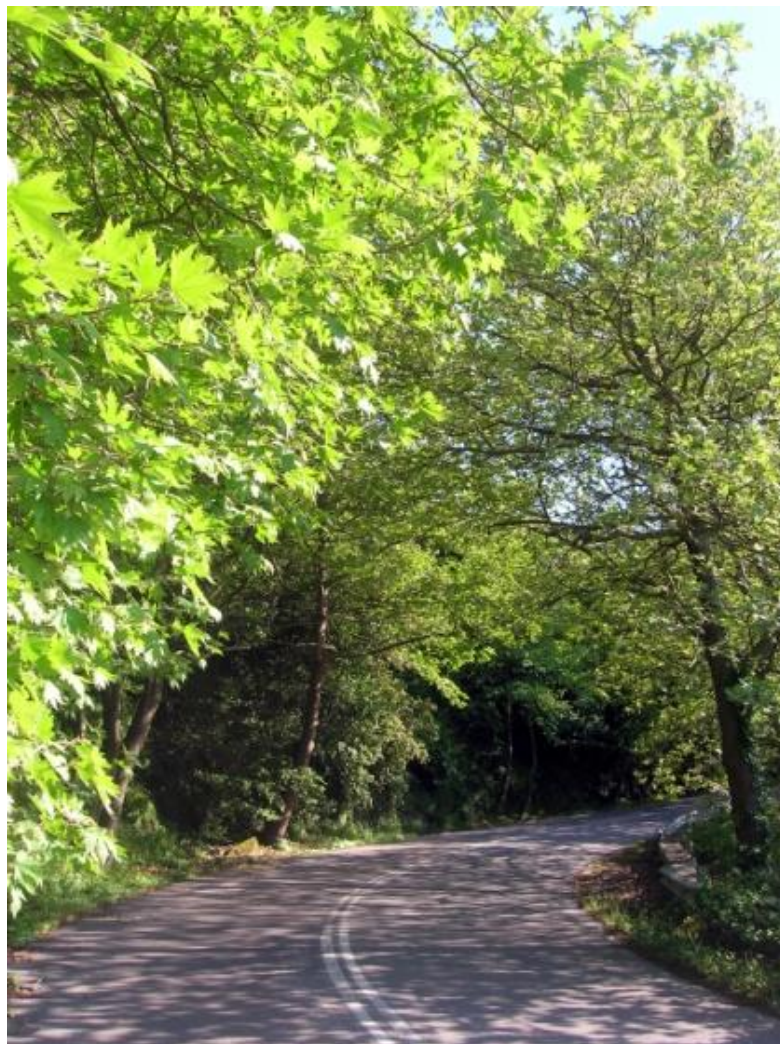


Εικόνα 12 Έξοδος λεκάνης απορροής-Θέση Ασμυρόλιμος (Πηγή Google Earth)

Η βλάστηση παρουσιάζει διακυμάνσεις, με τα χαμηλότερα και εγγύτερα στα υδατορέματα τμήματα της λεκάνης, να παρουσιάζουν μεγάλη φυτοκάλυψη (Εικόνες 13 ,14) και τα τμήματα μεγαλύτερου υψομέτρου να εμφανίζουν θαμνώδη βλάστηση και ανάπτυξη καλλιεργειών σε αναβαθμούς (Εικόνα 15).



Εικόνα 13 (Πηγή koronida.blogspot.com)



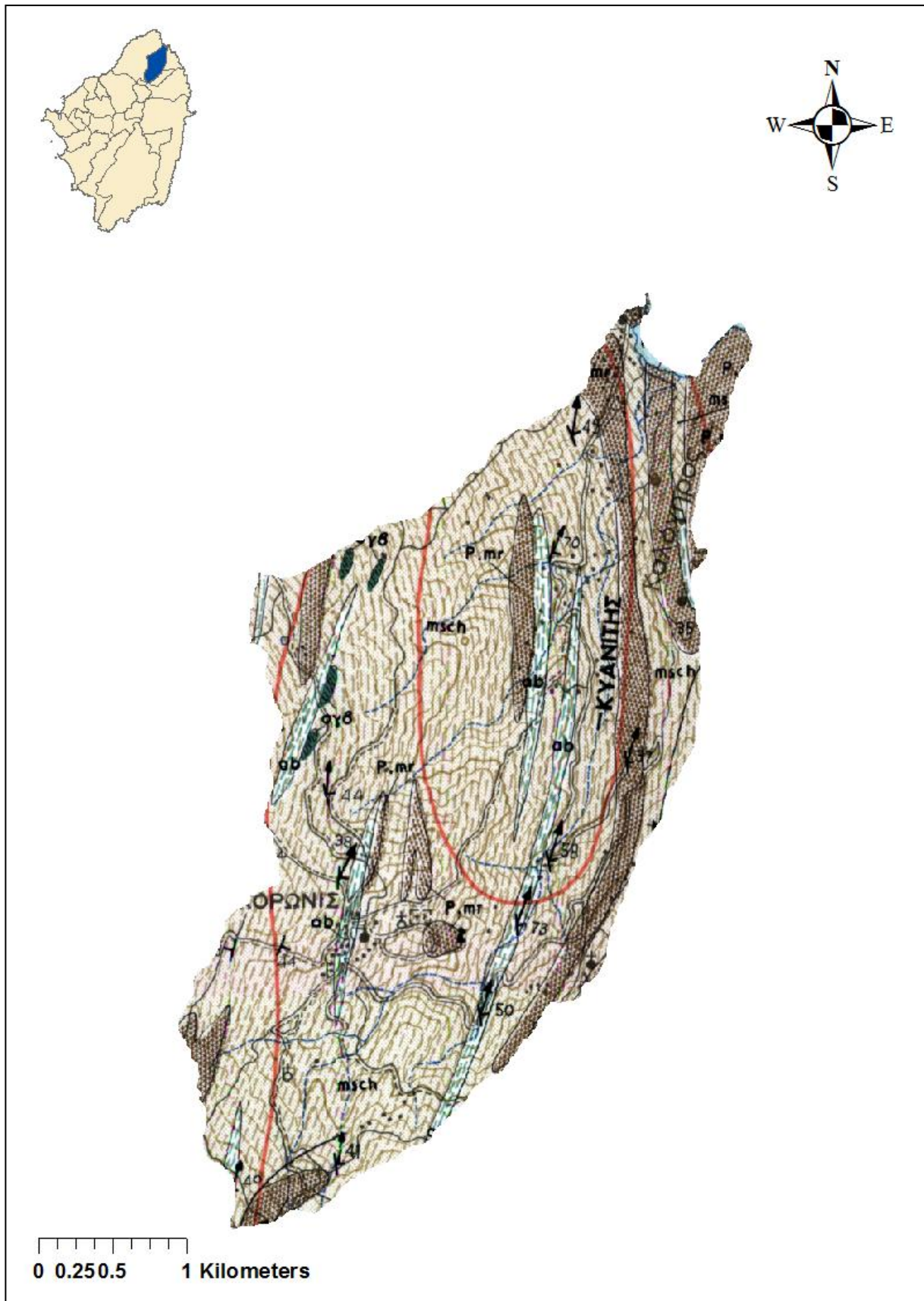
Εικόνα 14 (Πηγή koronida.blogspot.com)



Εικόνα 15 (Πηγή koronida.blogspot.com)

4.5 Γεωλογικά στοιχεία

Από γεωλογική άποψη, σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Σχήμα 21), στην περιοχή επικρατούν οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι (msch) και οι γνεύσιοι (αβ) και ακολούθως τα μάρμαρα (P mr). Υπάρχουν σε μικρότερο ποσοστό αμφιβολίτες (αβ) και μεταμορφωμένα υπερβασικά και γαββρικά πετρώματα (αγβ). Το σύνολο των πετρωμάτων ανήκει στην κατηγορία των μεταμορφωμένων.



Σχήμα 21 Γεωλογικό υπόβαθρο λεκάνης (ΙΓΜΕ- ίδια επεξεργασία)

4.6 Το ακτομηχανικό πρόβλημα της παραλίας του Απόλλωνα

4.6.1 Ιστορικό

Αφορμή για τη σύνταξη της παρούσας εργασίας αποτέλεσε το ακτομηχανικό πρόβλημα του όρμου του Απόλλωνα. Η ακτή του Απόλλωνα είναι μήκους περίπου 640 μέτρα και αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα αποτελείται από άμμο, ενώ το υπόλοιπο από κροκάλες. Το 1970, (limaniaarollona.blogspot.gr) κατασκευάστηκε κυματοθραύστης με φυσικούς ογκόλιθους αρχικού μήκους 100 m, χωρίς να υπάρχει ακόμα και σήμερα εμπειριστατωμένη γραπτή μελέτη. Σε διάστημα τριών μόλις τριών ετών παρατηρήθηκε μείωση του βάθους στην προβλήτα πρόσδεσης αλιευτικών σκαφών, με αποτέλεσμα να προκληθούν μεγάλες αντιδράσεις για το έργο. Με την πάροδο του χρόνου το ακρομύλιο του κυματοθραύστη κατέρρευσε (Εικόνες 16, 17), με αποτέλεσμα να παραμείνουν 64 m του κυματοθραύστη. Κατόπιν έντονων αντιδράσεων της τοπικής κοινωνίας, γίνεται επίσημη καταγγελία προς το αρχηγείο του Πολεμικού Ναυτικού (Π.Ν.) την 20 Ιανουαρίου 1976.



Εικόνα 16 (Πηγή cycladesvoice.gr)



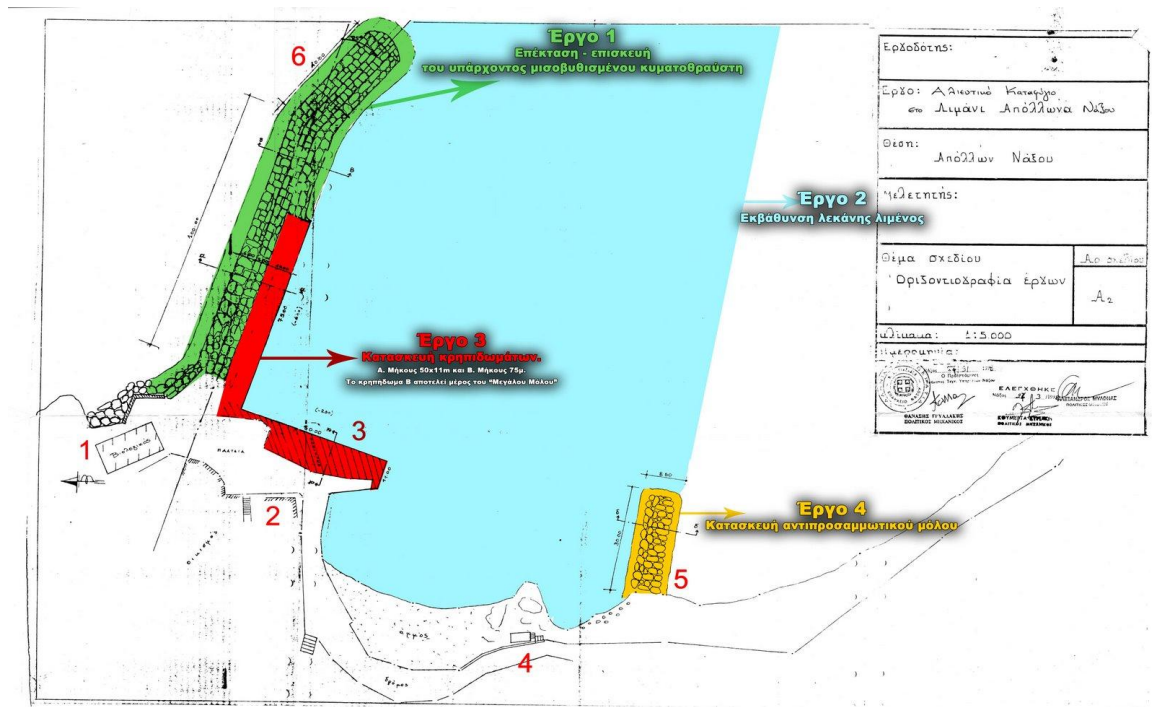
Εικόνα 17 (Πηγή Google Earth)

Το Π.Ν. γνωμοδότησε επίσημα² την 20 Απριλίου 1976 ότι ο κυματοθραύστης κατασκευάστηκε παρανόμως χωρίς μελέτη και χωρίς να ληφθούν υπόψη οι τοπικές συνθήκες με αποτέλεσμα την διαρκώς μεταβαλλόμενη μείωση του βάθους ως συνέπεια του αποκλεισμού του όρμου και των φερτών του εκβάλλοντος υδατορέματος της λεκάνης απορροής.

Το 1998 αποφασίστηκε η κατασκευή Αλιευτικού καταφυγίου. Η μελέτη που συντάχθηκε το 1999 περιέγραφε την επέκταση του ήδη παράνομου ημικατεστραμμένου κυματοθραύστη στα 140 m, χωρίς να γίνει εμπειριστατωμένη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων με εκ νέου αντίδραση της τοπικής κοινωνίας. Την 31 Μαρτίου 1999 στάλθηκε ο φάκελος του έργου στην Υδρογραφική Υπηρεσία (ΥΥ) του Π.Ν. για γνωμοδότηση. Η ΥΥ διαπίστωσε εννέα ελλείψεις στον φάκελο μία εκ των οποίων ήταν και η εξασφάλιση της μη πρόσχωσης του όρμου από το κύριο υδατόρεμα της λεκάνης απορροής³.

² ΑΔ Φ.188/127/76/Σ.1107//20 Απριλίου 1976//ΑΡΧΗΓΕΙΟΝ ΝΑΥΤΙΚΟΥ/2ον ΕΠΙΤΕΛ. ΓΡΑΦΕΙΟΝ/4β

³ ΑΔ Φ.542/81/99/Σ.682//04-05-99/ΥΥ



Σχήμα 22 Οριζοντιογραφία μελέτης νέου αλιευτικού καταφυγίου (Πηγή limaniapollona.blogspot.gr)

4.6.2 Ανάγκη υπολογισμού της στερεοπαροχής της λεκάνης απορροής

Στα πλαίσια του μαθήματος της Ακτομηχανικής 8ου εξαμήνου (Κορρές, 2016) διαπιστώθηκαν τα κάτωθι :

- Υπολογίστηκε δυνητική στερεοπαροχή κμα προς τα αριστερά $102167 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Ο υπολογισμός έγινε με χρήση SMB μοντέλου και μέθοδο CERC.
- Από σύγκριση φωτογραφικού υλικού προ του 1970 με αντίστοιχο σημερινό, επιβεβαιώνεται η διαρκής πρόσχωση του όρμου

Από τα ανωτέρω κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμός της στερεοπαροχής της λεκάνης απορροής Κορωνίδας-Απόλλωνα, προκειμένου να ληφθούν υπόψη σε μελλοντική ακτομηχανική μελέτη και σε μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αντίστοιχου έργου.



Σχήμα 23 (Πηγή navionics.com-Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 24 (Πηγή Google Earth Ίδια επεξεργασία)



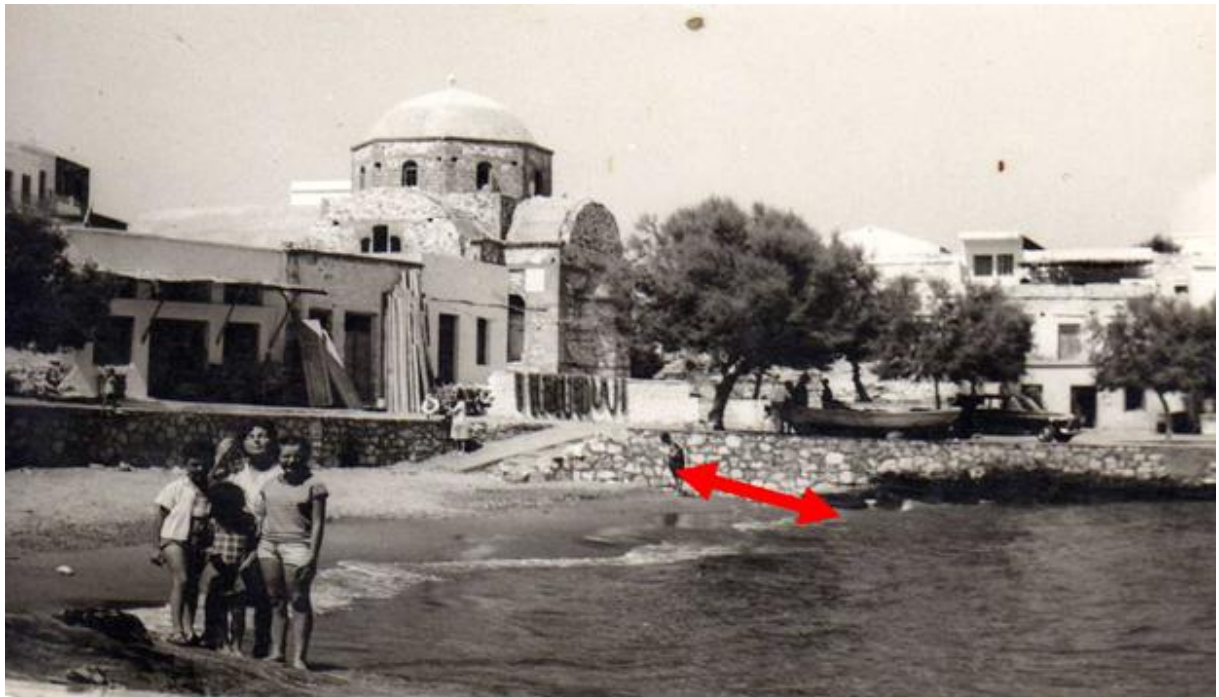
Εικόνα 18 Στερεοαπορροή λεκάνης (Πλημμυρικό επεισόδιο ισχυρής βροχόπτωσης-2006) (Πηγή apollonasnaxou.blogspot.gr)



Εικόνα 19 κμα προς τα αριστερά στερεοπαροχή-25/02/2015 (Πηγή apollonasnaxou.blogspot.gr)



Εικόνα 20 Εξέλιξη ακτογραμμής δεκαετία 50-2016 (Πηγή Κορρές, 2016)



Εικόνα 21 Εξέλιξη ακτογραμμής δεκαετία 50-2016 (Πηγή Κορρές, 2016)



Εικόνα 22 Ακτογραμμή προ κατασκευής κυματοθραύστη (Πηγή ktimatologio.gr)



Εικόνα 23 Ακτογραμμή – 2018 (Πηγή ktimatologio.gr)

5 Υπολογιστικά προγράμματα (Software) και δεδομένα (data)

5.1 Υπολογιστικά προγράμματα (Software)

Για τις ανάγκες της εργασίας υιοθετήθηκε η χρήση συγκεκριμένων υπολογιστικών λογισμικών Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (Η/Υ) (software), προκειμένου να καταστεί δυνατή η επεξεργασία του μεγάλου όγκου δεδομένων και η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των διεξαχθέντων αναλύσεων.

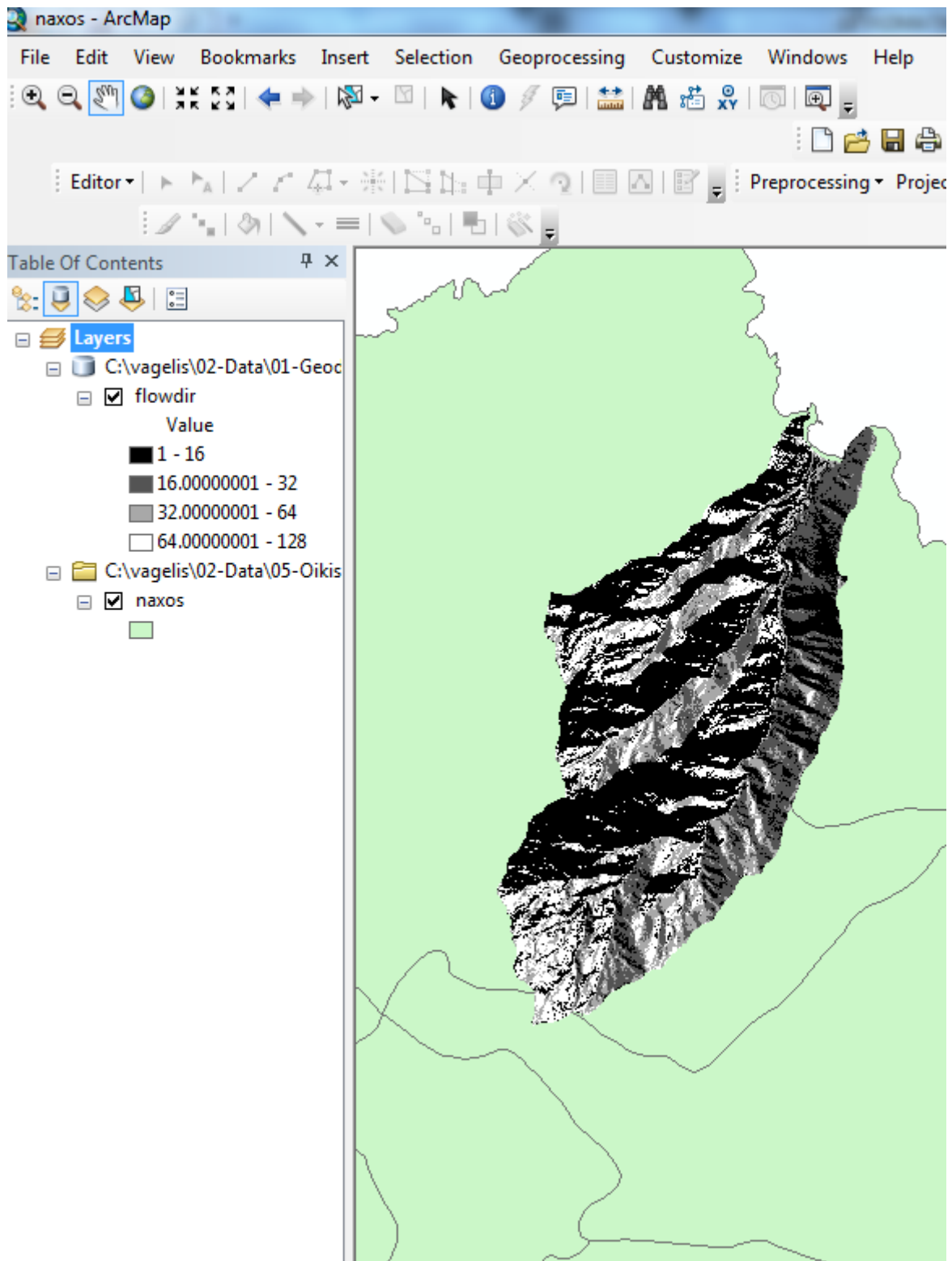
5.1.1 Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (ΓΣΠ-GIS) – Esri ArcGIS

Τα ΓΣΠ αποτελούν τα εργαλεία εκείνα που εξασφαλίζουν τη διαχείριση του γήινου ανάγλυφου από τον χρήστη.

Η υδρολογική ανάλυση αποτελεί ένα υποσύνολο των δυνατοτήτων των ΓΣΠ. Η εφαρμογή της προϋποθέτει την ύπαρξη συγκεκριμένων δεδομένων για την εκάστοτε περιοχή μελέτης, που σχετίζεται με το έδαφος και με τα υπό εξέταση υδρολογικά χαρακτηριστικά. Η δυνατότητα γραφικής απεικόνισης που παρέχουν, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα προσομοίωσης μέσω αλλαγής των δεδομένων εισόδου, έχει καταστήσει τα ΓΣΠ, ως τα κορυφαία εργαλεία υδρολογικής ανάλυσης.

Για την υδρολογική ανάλυση της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα GIS ESRI ARC MAP (Σχήμα 25). Ως δεδομένα εισόδου χρησιμοποιεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model-DEM) για την περιοχή ενδιαφέροντος και με κατάλληλα εργαλεία που διαθέτει το πρόγραμμα, απεικονίζεται η λεκάνη απορροής, περιλαμβάνοντας σε ψηφιακή πληροφορία των σύνολο των υψομετρικών στοιχείων της. Το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα γεωαναφοράς σε οποιοδήποτε σύστημα προβολής επιθυμεί ο χρήστης.

Κάθε αρχείο DEM αποτελείται από κελιά (cells), συγκεκριμένης διάστασης (π.χ. 5Χ5 m) και αντιπροσωπεύουν το αντίστοιχο τμήμα της ίδιας περιοχής στην οποία αναφέρονται. Σε κάθε κελί αντιστοιχεί μία τιμή που στην περίπτωση του DEM, είναι το υψόμετρο του τμήματος της περιοχής στην οποία αναφέρεται το κελί.



Σχήμα 25 Λογισμικό ESRI ArcGIS (Ίδια επεξεργασία)

5.1.2 Λογισμικό HEC-GeoHMS

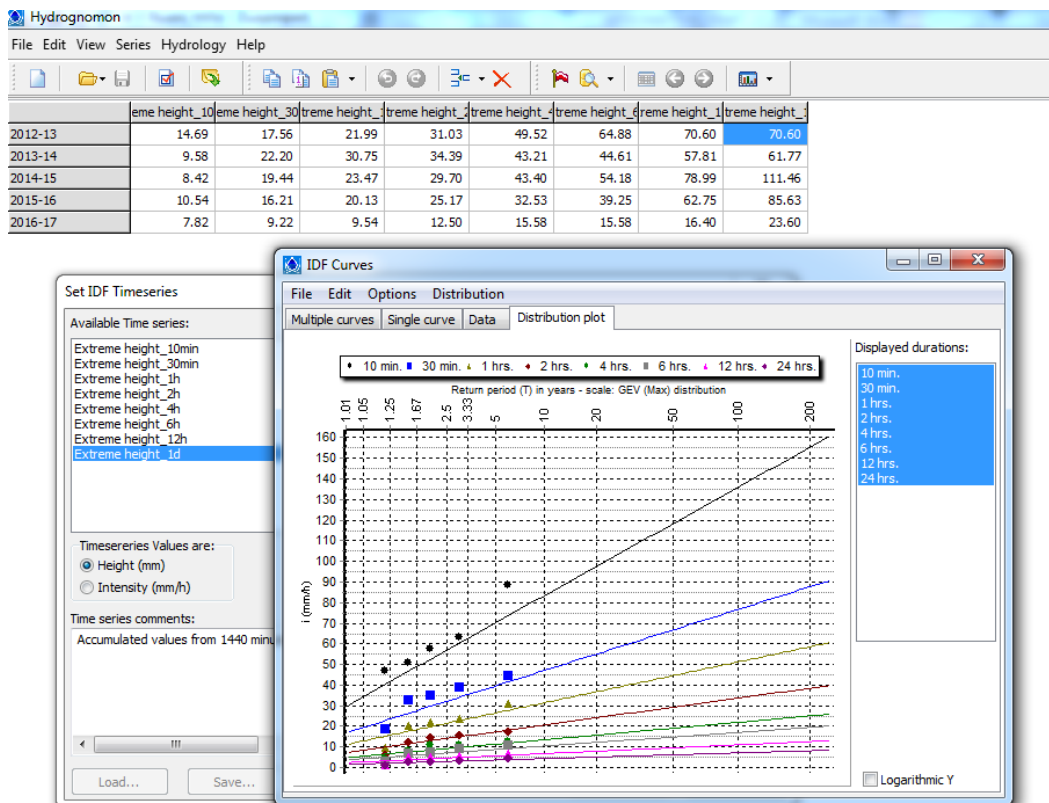
Το λογισμικό HEC-GeoHMS (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>) είναι ελεύθερης χρήσης και αποτελεί προϊόν του σώματος Μηχανικού του Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (US Army Corp of Engineers) και χρησιμοποιείται ως

επιπρόσθετο εργαλείο (add-in) στο Esri ArcGis, για την υδρολογική επεξεργασία ψηφιακού μοντέλου εδάφους.

5.1.3 Λογισμικό Υδρογνώμον (Hydrognomon)

Το λογισμικό Υδρογνώμον (<http://hydrognomon.org/>), αποτελεί προϊόν του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της σχολής Πολιτικών Μηχανιών του ΕΜΠ και είναι ελεύθερης χρήσης (Σχήμα 26). Είναι ένα σύγχρονο εργαλείο επεξεργασίας χρονοσειρών υδρολογικών μεταβλητών. Περιλαμβάνει πλήθος εργαλείων στατικής επεξεργασίας χρονοσειρών και υδρολογικής ανάλυσης. Τα εργαλεία του λογισμικού που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία είναι τα εξής :

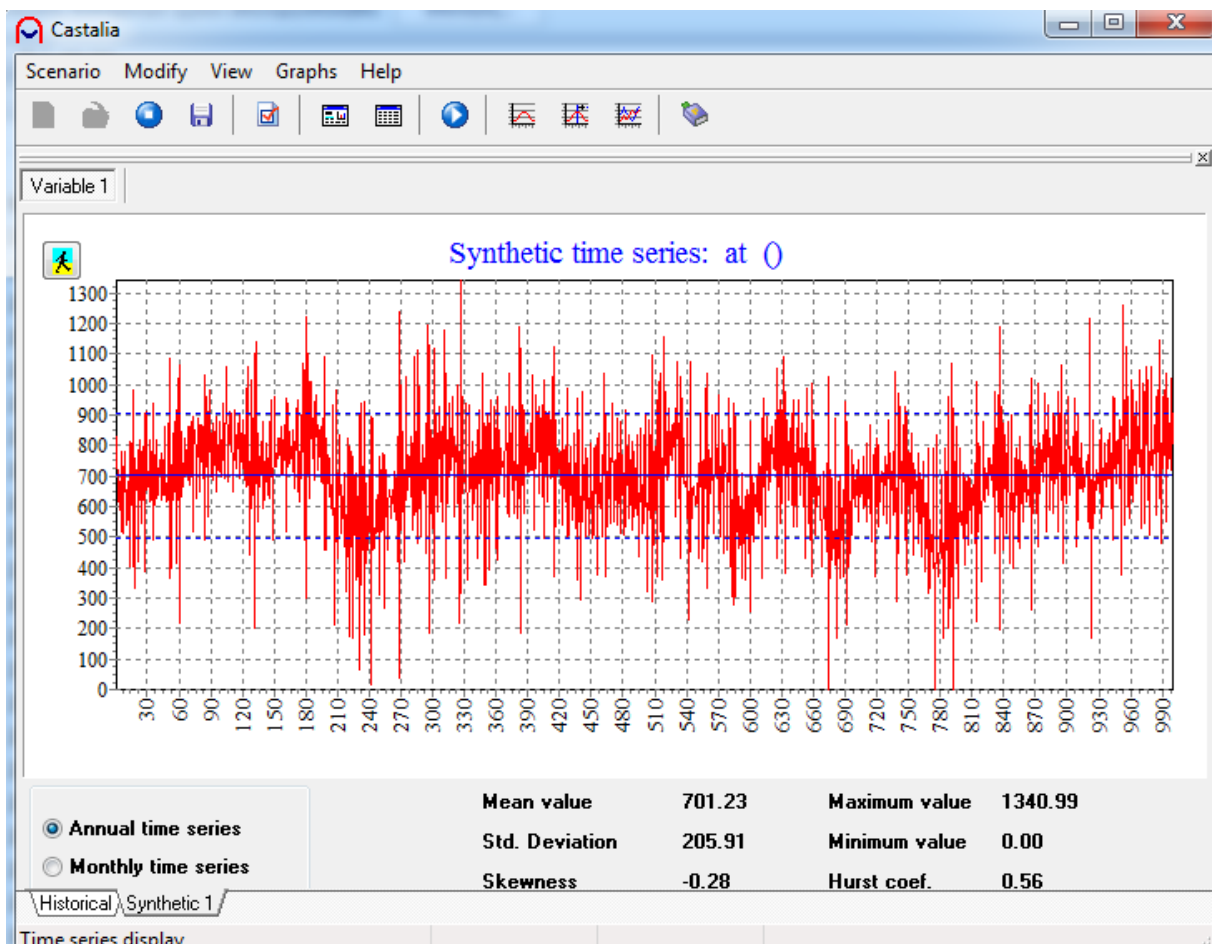
- Χωρική κατανομή χρονοσειρών βροχόπτωσης δύο βροχομετρικών σταθμών και παραγωγή ενιαίας χρονοσειράς βροχής για το σύνολο της λεκάνης (Εργαλείο Spatial integration-surface rainfall)
- Συνάθροιση και χρονικός επιμερισμός (Aggregation-disaggregation) χρονοσειρών
- Ανάλυση εξαιρετικών υδρολογικών γεγονότων (Extreme evaluation)
- Παραγωγή όμβριων καμπυλών (Ombros – IDF Curves)



Σχήμα 26 Λογισμικό Hydrognomon (Ίδια επεξεργασία)

5.1.4 Λογισμικό Castalia

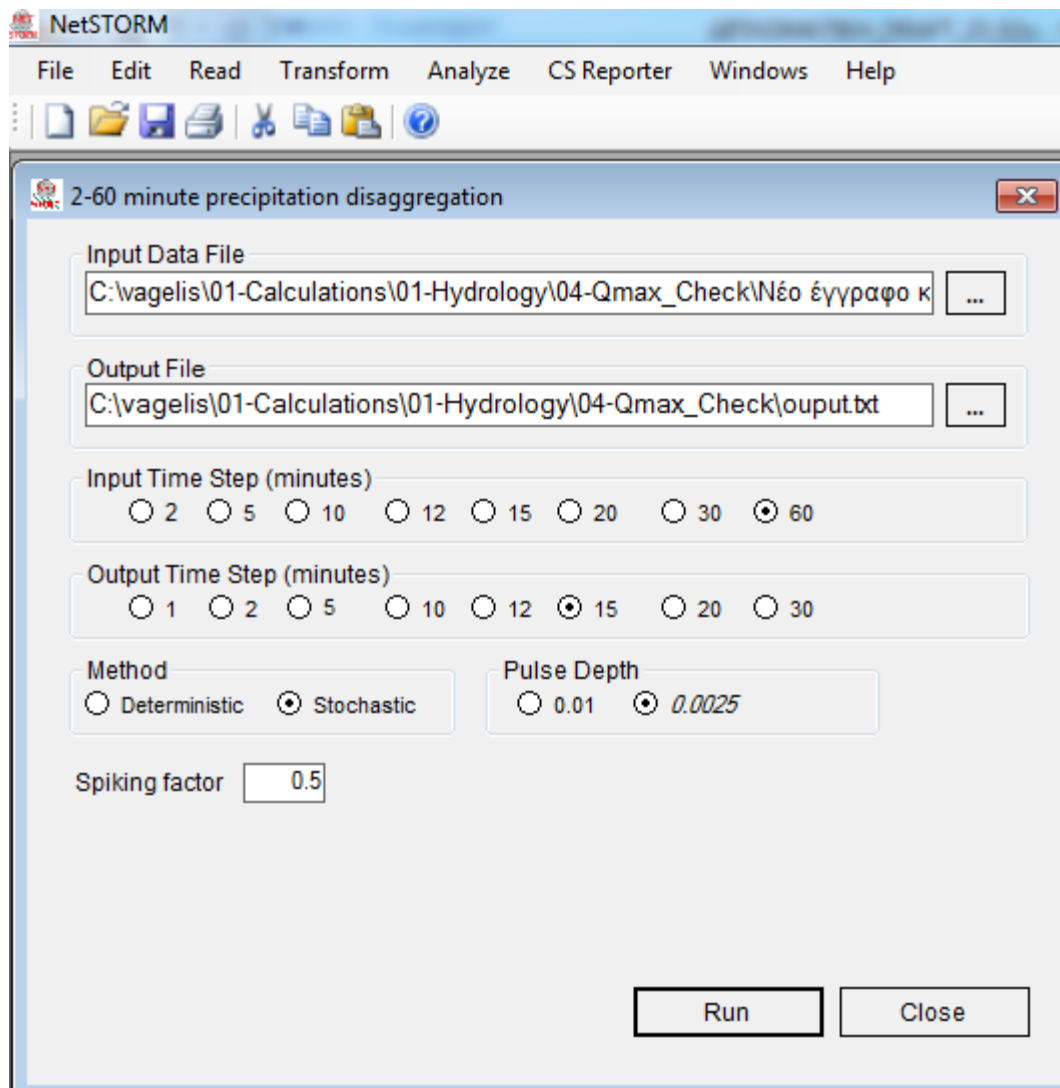
Το λογισμικό Υδρογνώμον (<https://www.itia.ntua.gr/en/softinfo/2/>), αποτελεί προϊόν του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της σχολής Πολιτικών Μηχανιών του ΕΜΠ και είναι ελεύθερης χρήσης (Σχήμα 27). Χρησιμοποιείται για την παραγωγή συνθετικών μηνιαίων και ετήσιων χρονοσειρών με χρήση στοχαστικών μοντέλων (AR(1),SMA κλπ).



Σχήμα 27 Λογισμικό Castalia (Ίδια επεξεργασία)

5.1.5 Λογισμικό NetStorm

Το λογισμικό NetStorm (<http://www.dynsystem.com/netstorm/>) είναι ελεύθερης χρήσης της κατασκευαστικής εταιρίας CDM. Βασίζεται στους αλγόριθμους του λογισμικού HEC-HMS (US Army Corps of engineer) και χρησιμοποιείται παγκοσμίως για επεξεργασία χρονοσειρών υδρολογικών μεταβλητών και υδρολογική ανάλυση (Σχήμα 28). Περιλαμβάνει αντίστοιχα εργαλεία με τον Υδρογνώμονα. Για τις ανάγκες της εργασίας έγινε χρήση του εργαλείου του χρονικού επιμερισμού χρονοσειρών (Disaggregation), καθώςον έχει το πλεονέκτημα να παρουσιάζει ως δεδομένα εξόδου μόνο τα επεισόδια βροχής αποκλείοντας τις μηδενικές τιμές.



Σχήμα 28 Λογισμικό NetSTORM (Ίδια επεξεργασία)

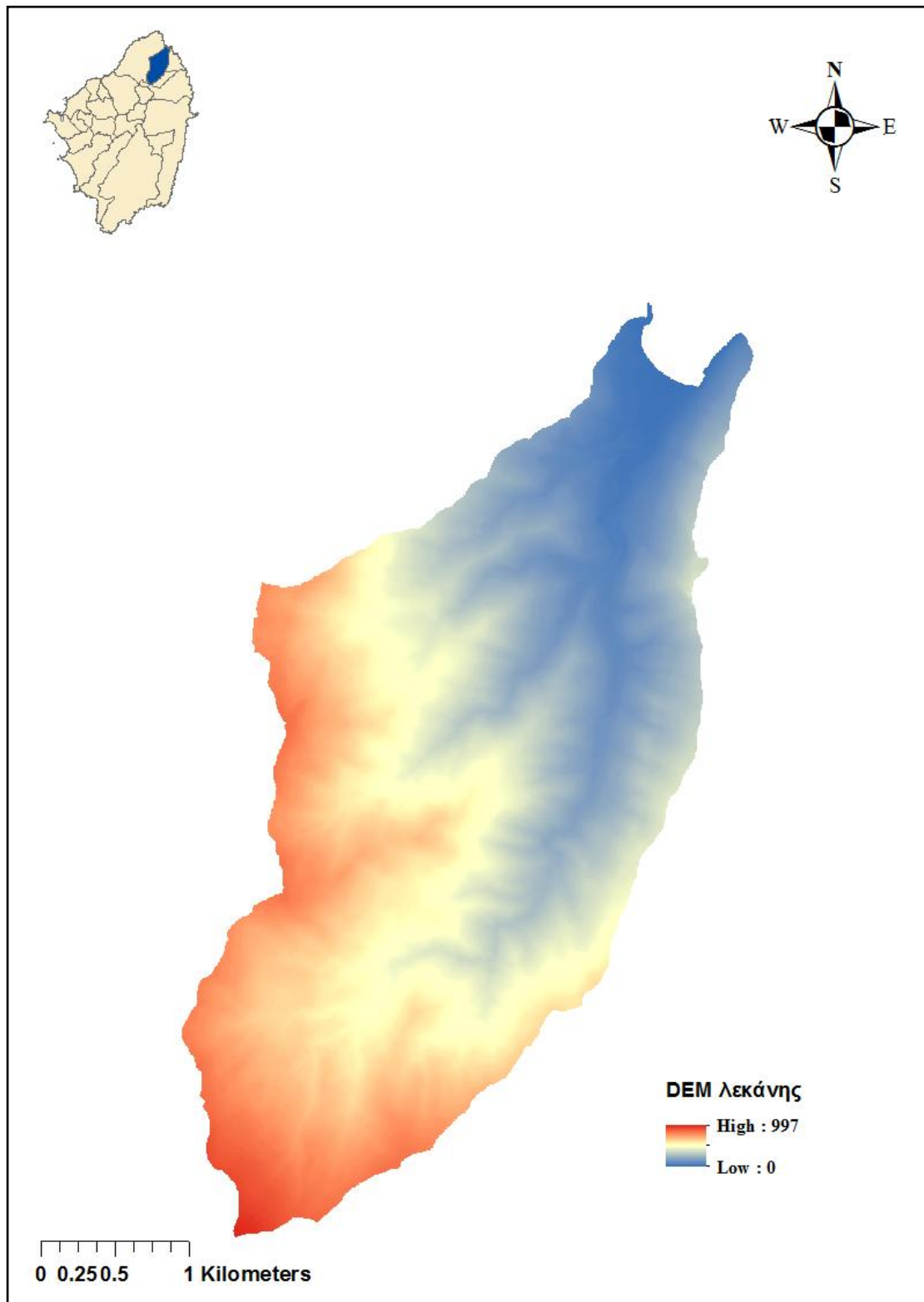
5.2 Δεδομένα

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκε μεγάλος όγκος δεδομένων που τόσο για την υδρολογική ανάλυση όσο και για τη διάβρωση-στερεοαπορροή. Το είδος των δεδομένων και οι υπηρεσίες/οργανισμοί από τους οποίους ελήφθησαν αναφέρονται στη συνέχεια.

5.2.1 Δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Τα δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους ελήφθησαν από το Εργαστήριο Υδρολογίας του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Αποτελούνται από ένα σύνολο αρχείων που καλύπτουν το νησιωτικό σύμπλεγμα του νομού Κυκλάδων και σε πολύ καλή ανάλυση κελιού 5Χ5m. Από τα αρχεία αυτά έγινε η επιλογή εκείνων που καλύπτουν την λεκάνη απορροής της Κορωνίδας και ακολούθως έγινε η σύνθεσή τους σε ενιαίο αρχείο DEM (Digital

Elevation Model) μέσω του ArcGIS (Σχήμα 29). Αυτό το DEM θα χρησιμοποιηθεί στο σύνολο των υπολογισμών μέσω του ArcGIS.

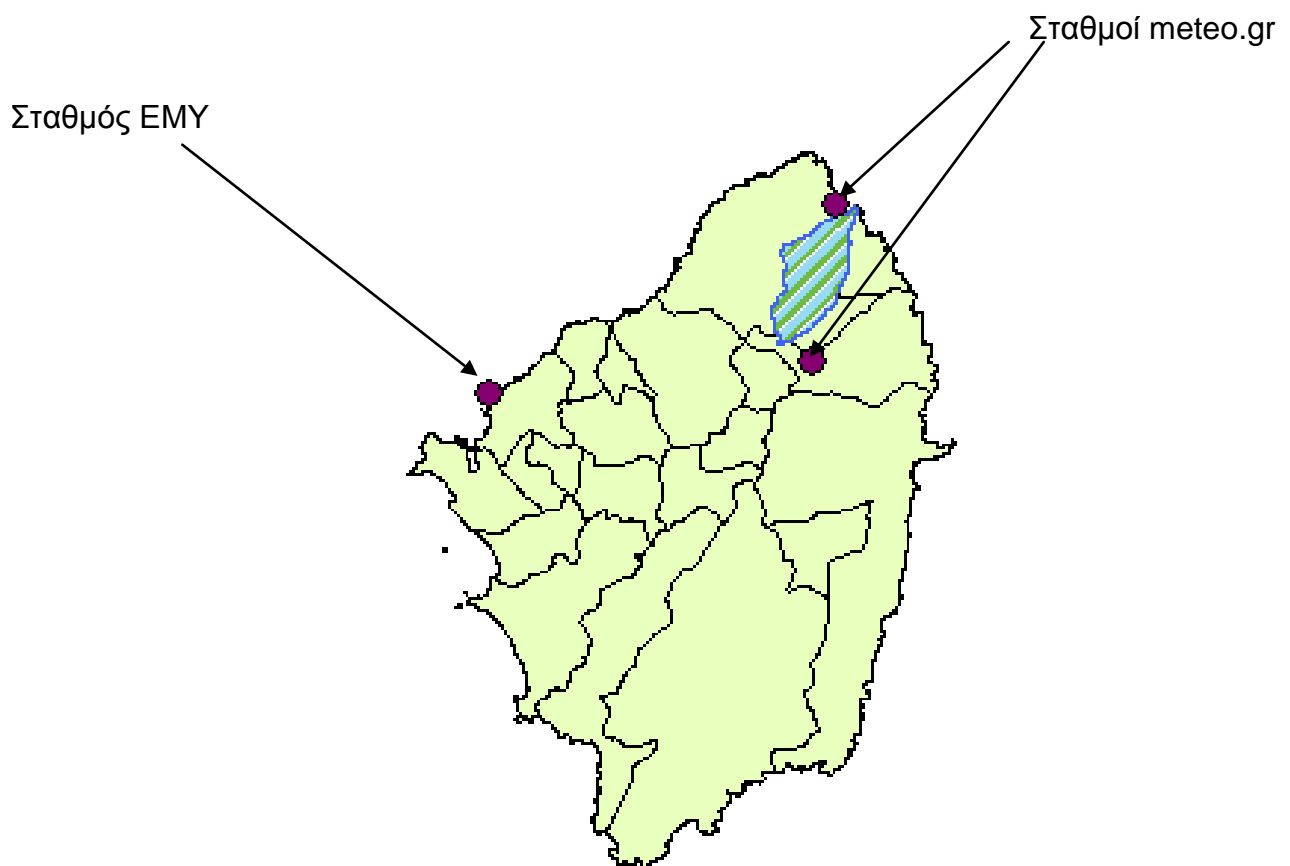


Σχήμα 29 DEM περιοχής μελέτης (Ίδια επεξεργασία)

5.2.2 Δεδομένα βροχόπτωσης

Τα δεδομένα βροχόπτωσης ελήφθησαν σε μορφή χρονοσειρών από δύο υπηρεσίες :

- Υπερετήσια (1955-2017) χρονοσειρά ημερήσιων υψών βροχής, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας από τον Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (<http://www.emy.gr/emyl/el/>). Τα δεδομένα αυτά αφορούν την πόλη της Νάξου στο δυτικό τμήμα του νησιού, όπου τα κλιματικά και γεωμορφολογικά δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλες διαφοροποιήσεις σε σχέση με την περιοχή μελέτης.
- Χρονοσειρά δεκάλεπτων υψών βροχής από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Κορώνου και Απόλλωνα του δικτύου NOANN-meteo.gr (Lagouvardos et al.,2017) διάρκειας από το 2012 που εγκαταστάθηκαν οι σταθμοί μέχρι και το 2016. Ο σταθμός της Κορώνου βρίσκεται εκτός της λεκάνης απορροής αλλά είναι σε πολύ μικρή απόσταση από αυτήν και σε υψόμετρο που είναι πάνω από το μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Βάση των τοπικών χαρακτηριστικών της περιοχής και της εμπειρίας από αυτή, τα επεισόδια βροχόπτωσης συμβαίνουν ταυτόχρονα στις κοινότητες Κορωνίδας και Κορώνου.



Σχήμα 30 Θέσεις μετεωρολογικών σταθμών (Ίδια επεξεργασία)

Για την αρτιότερη αξιοποίηση των δεδομένων έγινε χωρική κατανομή της βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής, με βάση τις χρονοσειρές δεκαλέπτου της

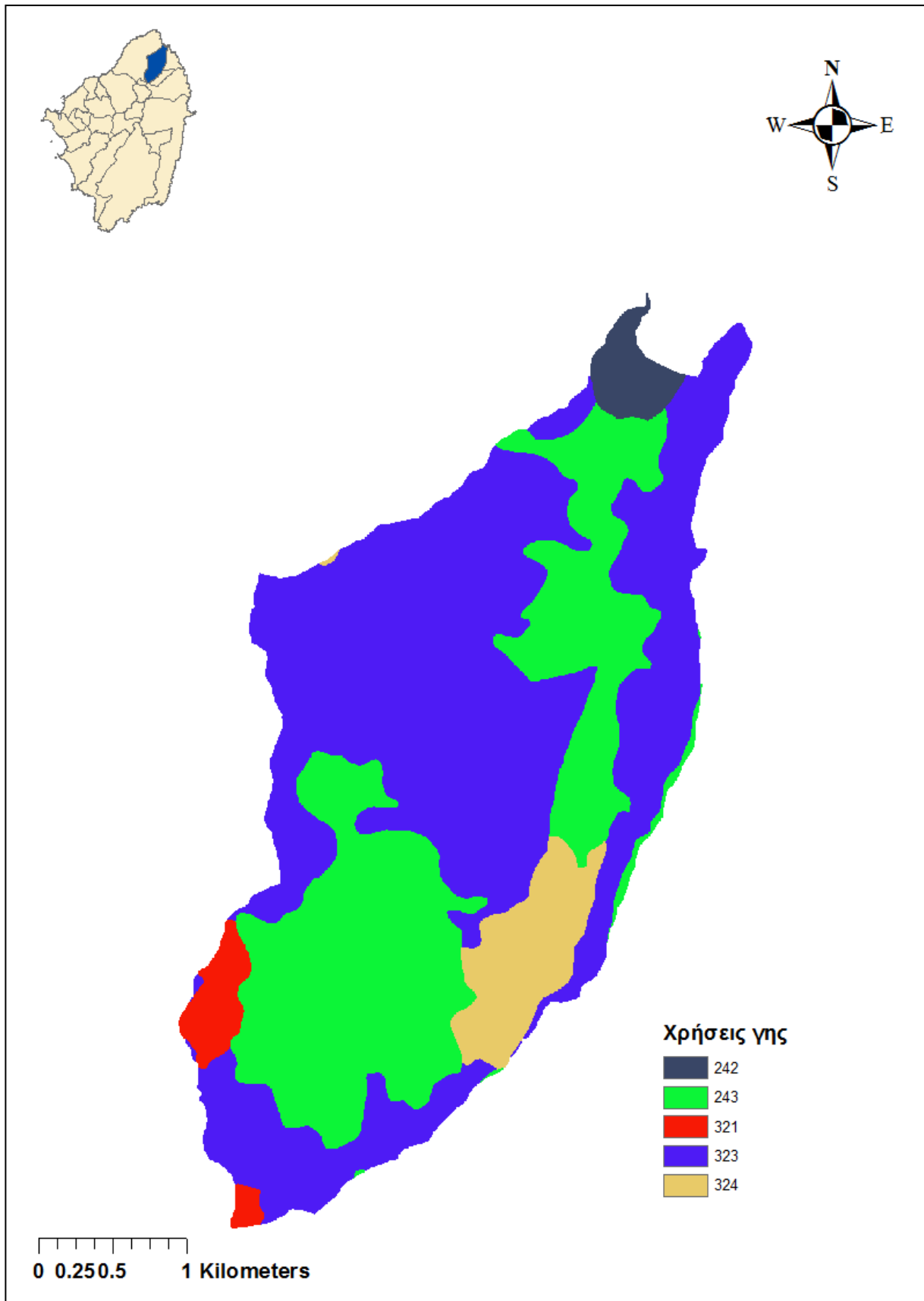
Κορώνου και Απόλλωνα κα τη δημιουργία καινούργιας χρονοσειράς δεκάλεπτης βροχόπτωσης με τη χρήση του εργαλείου “ Spatial rainfall integration” του λογισμικού Hydrognomon.

Πίνακας 12 Δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών Κορώνου Απόλλωνα

Δεδομένα κατανομής βροχόπτωσης-Hydrognomon		
Data name	ΚΟΡΩΝΟΣ	ΑΠΟΛΛΩΝΑΣ
x	37.118695	37.181140
y	25.535510	25.554960
Z	540	35
Mean value [mm]	0.02	0.01
Timeseries step [min]	10	10
Weight	0.8	0.2
Mean basin altitude [m]	437.1	

5.2.3 Δεδομένα χρήσης γης CORINE 2012

Τα δεδομένα χρήσης γης CORINE2012 (<http://geodata.gov.gr/dataset?tags=land-cover>) προέκυψαν (Παπουτσάκης, 2016) από δορυφορική καταγραφή του συνόλου της επιφάνειας της Ελλάδας και μετέπειτα φωτοεπεξεργασία και χαρακτηρισμός κάθε περιοχής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της. Τα δεδομένα αυτά είναι σε μορφή αρχείου shapefile για χρήση από λογισμικά GIS και περιλαμβάνουν, πέρα των βασικών τοπογραφικών πληροφοριών, περίμετρο/έκταση/ονομασία, έναν τριψήφιο κωδικό ο οποίος χαρακτηρίζει τη χρήση και την κάλυψη της εν λόγω περιοχής (Πίνακας 13).



Σχήμα 31 Χρήσεις γης λεκάνης (Corine) (Ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 13 Κωδικοποίηση Corine (Πηγή <http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/rsens/rs/>)

Πρώτο επίπεδο	Δεύτερο επίπεδο	Τρίτο επίπεδο
1.Τεχνητες επιφάνειες	1.1 Αστικός ιστός	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 Βιομηχανικές-εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών	1.2.1 Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές μη γεωργικές ζώνες πρασίνου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίνου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσιμη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Ετερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-δασικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώδους ή/και πτώδους βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, Αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και σένας χιόνι
4. Υγρότοποι	4.1 Υγρότοποι ενδοχώρας	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 Παραθαλάσσιοι υγρότοποι	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. Υδάτινες επιφάνειες	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Υδατορρέυματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 Θαλάσσια ύδατα	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

5.2.4 Δεδομένα συντελεστών μεθόδου RUSLE – European Soil Data Center (ESDAC)

Τα δεδομένα αυτά (<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/datasets>) παρέχονται ελεύθερα κατόπιν υποβολής φόρμας στον ESDAC. Είναι σε μορφή αρχείου Raster, συγκεκριμένης ανάλυσης κελιού, κατάλληλο για επεξεργασία από λογισμικό GIS και περιλαμβάνουν σε πανευρωπαϊκό επίπεδο την πληροφορία για τις τιμές κάθε ενός από τους συντελεστές της μεθόδου RUSLE:

- Συντελεστής βροχής R (ανάλυση 500m)
- Συντελεστής διάβρωσης K (ανάλυση 500m)

- Συντελεστής χρήσεων γης C (ανάλυση 100 m)
- Συντελεστής κλίσης LS σε επίπεδο χώρας (ανάλυση 25m)
- Συντελεστής αντιδιαβρωτικών πρακτικών γης P (ανάλυση 1000m)
- Εδαφική διάβρωση από νερό (ανάλυση 100m)
- Δεδομένα ποιότητας εδάφους (Topsoil data) (εξαγωγή συντελεστή K) (ανάλυση 500m)
- Δεδομένα πραγματικής διάβρωσης και στερεομεταφοράς (Net erosion and sediment transport) (ανάλυση 100m)

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν αφενός για να υπάρχει μια τάξη μεγέθους αναφοράς των υπολογισμών σε σχέση με την ευρωπαϊκή πρακτική και αφετέρου για να διαφανούν αποκλίσεις μεταξύ της εφαρμογής της μεθόδου (μακροσκοπικά σε επίπεδο Ευρώπης) σε σχέση με τους υπολογισμούς που έγιναν σε επίπεδο λεκάνης απορροής.

6 Υπολογισμοί υδρολογικής ανάλυσης λεκάνης Κορωνίδας

6.1 Εκτίμηση παροχής αιχμής με ορθολογική μέθοδο

Για την εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου είναι απαραίτητο να καθοριστούν :

- Ο συντελεστής απορροής της λεκάνης απορροής και ως εκ τούτου οι επί μέρους συντελεστές C1, C2, C3, C4.
- Ο χρόνος συρροής της λεκάνης απορροής, καθόσον η μέθοδος εφαρμόζεται για διάρκεια βροχόπτωσης ίσης με τον χρόνο συρροής

6.1.1 Υπολογισμός συντελεστή C1

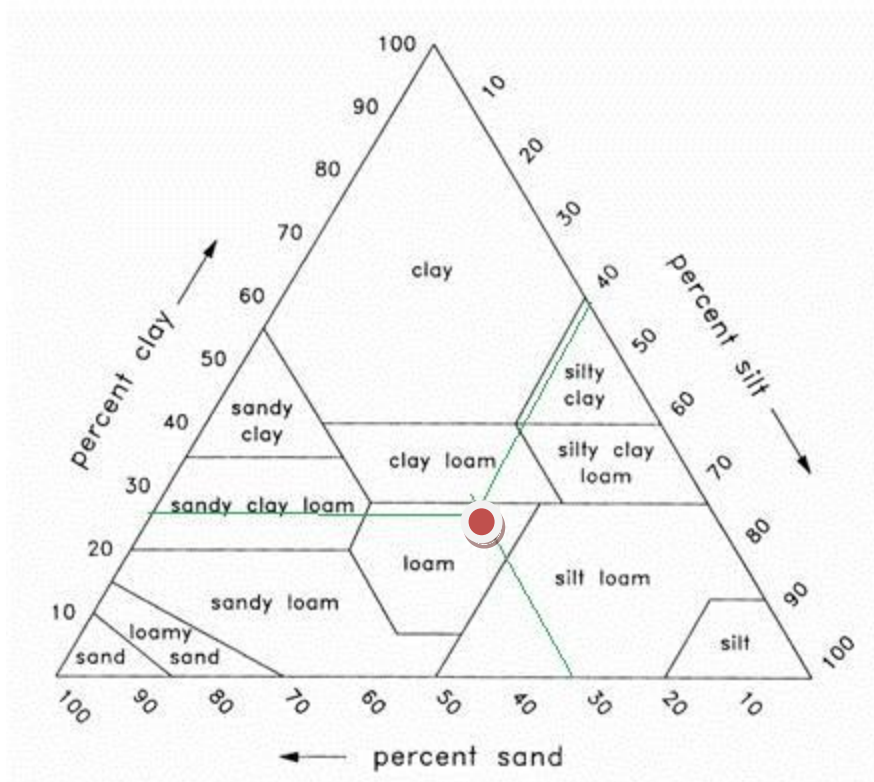
Βάση του πίνακα ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002, επειδή το ανάγλυφο της λεκάνης είναι επικλινές με μέση κλίση 48% (>30%) τότε ο συντελεστής λαμβάνει τιμές : C1 = 0.28~0,35. Από την εφαρμογή ArcGIS καταμετρούνται τα κελιά που αντιστοιχούν σε κάθε εύρος κλίσης για την οποία αντιστοιχεί και μια τιμή C1. Η τιμή του C1 για την λεκάνη υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 14 και είναι : **C1=0.31**.

Πίνακας 14 Συντελεστής C1-Υπολογισμός

Υπολογισμός συντελεστή C1				
Κλίση	cells count	$\rho = \text{count}/\text{sum}$	C1 ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ	$\rho * C1$
30%	49851	0.098	0.28	0.027
40%	94876	0.187	0.29	0.054
50%	111845	0.220	0.3	0.066
60%	104771	0.206	0.31	0.064
70%	77793	0.153	0.32	0.049
80%	47748	0.094	0.33	0.031
90%	17099	0.034	0.34	0.011
100%	3703	0.007	0.35	0.003
cells sum	507686		C1 final	0.31

6.1.2 Υπολογισμός συντελεστή C2

Για τον υπολογισμό του συντελεστή C2, γίνεται εκτίμηση της διηθητικότητας του εδάφους της λεκάνης. Από τα δεδομένα TopSoil data εξάγονται οι μέσες τιμές για την ιλύ, άμμο και άργιλο σε ποσοστά 41%, 33% και 26% αντίστοιχα σύμφωνα με τον πίνακα 14. Σύμφωνα με το διεθνές σύστημα κατάταξης εδαφών (Λουπασάκης, 2013), το έδαφος της λεκάνης θεωρείται «μέσο» και χαρακτηρίζεται ως πηλώδες.



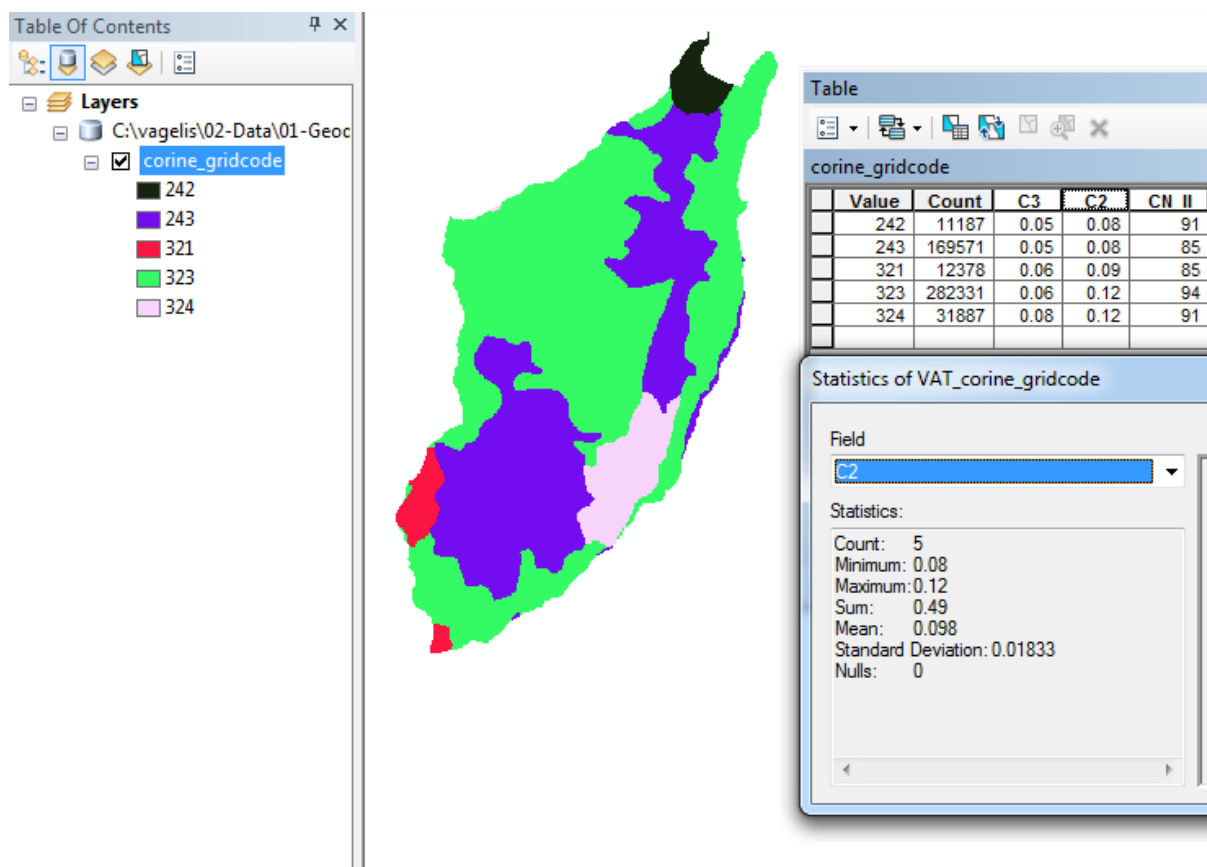
Σχήμα 32 Κατάταξη εδάφους βάση της σύστασης (Ίδια επεξεργασία)

. Σύμφωνα με την κωδικοποίηση Corine2012, για κάθε χαρακτηρισμένη με τριψήφιο κωδικό περιοχή αντιστοιχίζεται μια τιμή του συντελεστή C2, σύμφωνα με τον Πίνακα 15 . Εντοπίζονται τα τμήματα εκείνα της λεκάνης με αραιή/θαμνώδη βλάστηση, τα οποία σύμφωνα με ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ χαρακτηρίζονται ως «βραχώδη».

Με βάση τη σύσταση του εδάφους και την κωδικοποίηση Corine2012 , υπολογίζεται μέσω του ArcGIS, **C2=0.10**.

Πίνακας 15 Συντελεστής C2-Υπολογισμός

Υπολογισμός συντελεστή C2		
Κωδικός Corine	Περιγραφή	C2 (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002)
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.08
243	Γη που χρησιμοποιείται για γεωργία μαζί με φυσική βλάστηση	0.08
321	Βοσκότοποι	0.09
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.12
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.12



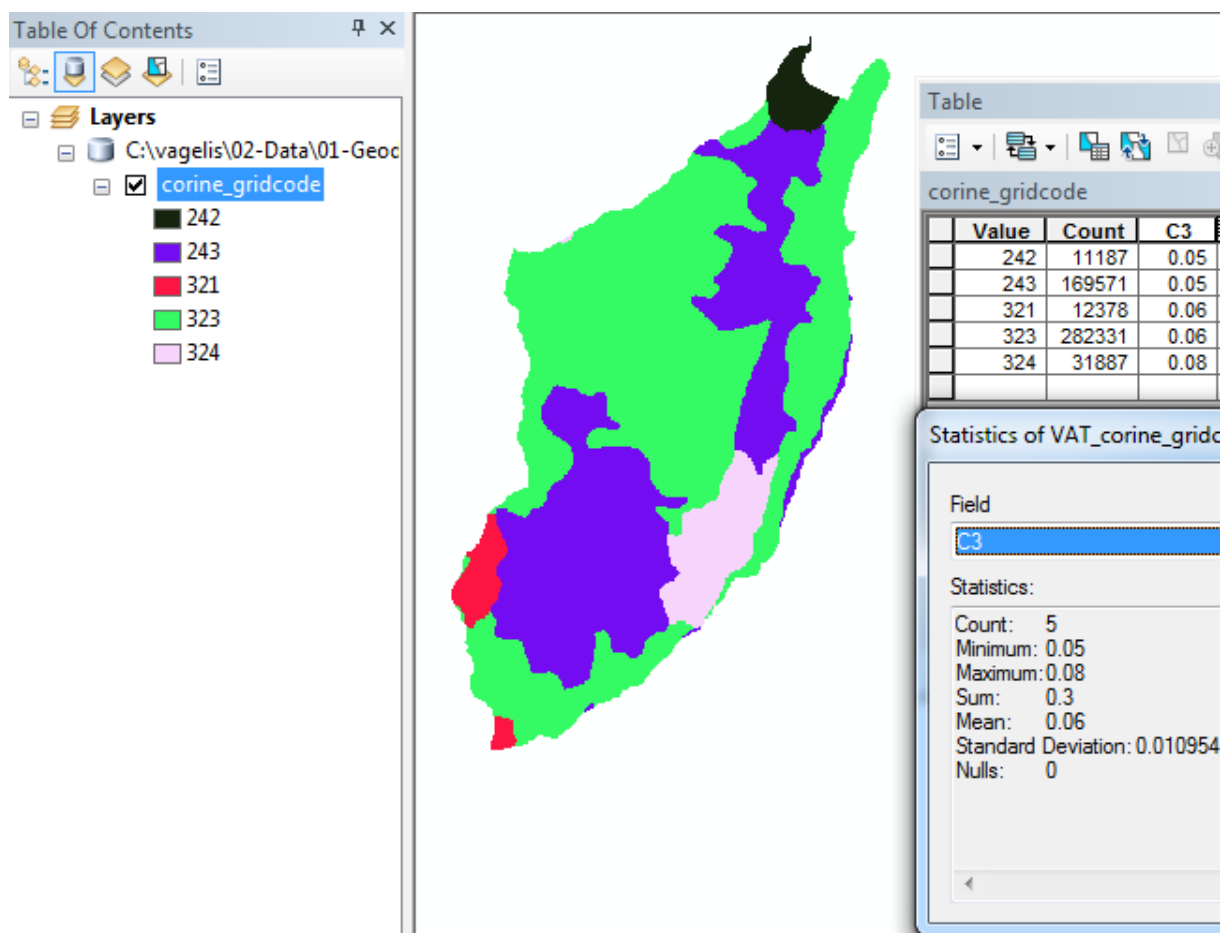
Σχήμα 33 Υπολογισμός συντελεστή C2-Corine2012 (Ίδια επεξεργασία)

6.1.3 Υπολογισμός συντελεστή C3

Ο υπολογισμός του συντελεστή C3 γίνεται με την χρήση των δεδομένων Corine2012. Για κάθε χαρακτηρισμένη με τριψήφιο κωδικό περιοχή αντιστοιχίζεται μια τιμή του συντελεστή C3, σύμφωνα με τον Πίνακα 16. Με την χρήση του ArcGIS, υπολογίζεται η μέση τιμή για την λεκάνη **C3=0.06**.

Πίνακας 16- Συντελεστής C3-Υπολογισμός

Υπολογισμός συντελεστή C3		
Κωδικός Corine	Περιγραφή	C3 (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002)
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.05
243	Γη που χρησιμοποιείται για γεωργία μαζί με φυσική βλάστηση	0.05
321	Βοσκότοποι	0.06
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.06
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.08



Σχήμα 34 Υπολογισμός συντελεστή C3-Corine2012 (Ίδια επεξεργασία)

6.1.4 Υπολογισμός συντελεστή C4

Ο συντελεστής C4 υπολογίζεται με βάση της αποθηκευτικής ικανότητας και της αποστράγγισης του υδρογραφικού δικτύου. Με χρήση του ArcGIS γίνεται υπολογισμός των κελιών που αντιστοιχούν στο υδρογραφικό δίκτυο. Ο λόγος του αριθμού των

κελιών του υδρογραφικού δικτύου προς τον συνολικό αριθμό της λεκάνης δίνει την αποχετευτικότητα του και αντίστοιχα υπολογίζεται ο συντελεστής **C4=0.04**, σύμφωνα με τον Πίνακα 17.

Πίνακας 17 Συντελεστής C4-Υπολογισμός

Υπολογισμός συντελεστή C4	
Αριθμός κελιών Υ/Δ δικτύου	3354
	1407
	1500
	285
Άθροισμα	6546
Αριθμός κελιών λεκάνης	507794
Πυκνότητα Υ/Δ δικτύου	1.29%
C4 (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002)	0.04

6.1.5 Υπολογισμός συντελεστή συνολικού συντελεστή απορροής C

Συνολικά ο συνολικός συντελεστής απορροής για το σύνολο της λεκάνης είναι :

$$C=C1+C2+C3+C2=0.31+0.10+0.06+0.04=>\underline{C=0.51}$$

6.1.6 Υπολογισμός χρόνου συρροής λεκάνης

Για τον καθορισμό του χρόνου συρροής της λεκάνης εφαρμόζονται τρεις μέθοδοι : (Giandotti, Kiprich, Passini), όπως αυτές περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.2.1 και τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18 Χρόνος συρροής

Χρόνος συρροής t _c	
Giandotti [hr]	1.26
Kiprich [hr]	0.28
Passini [hr]	0.60

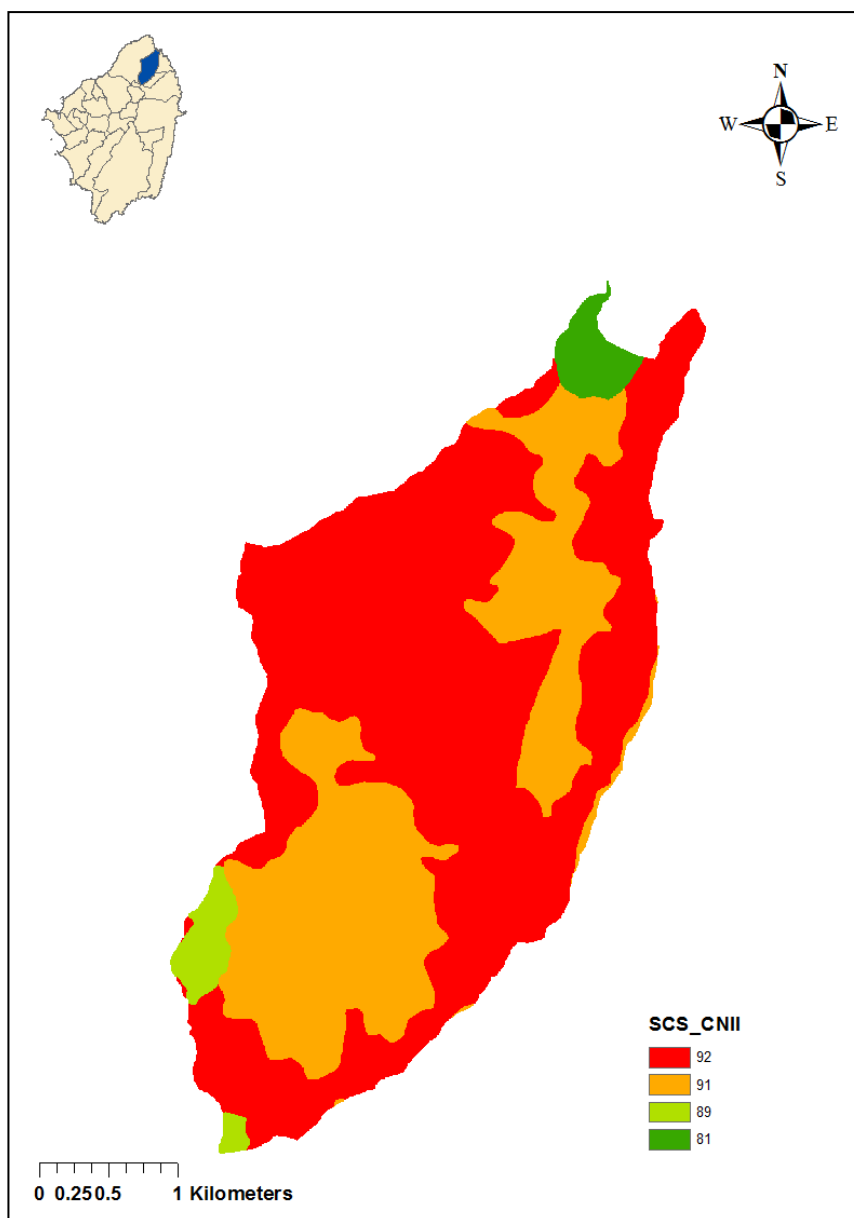
6.1.7 Υπολογισμός ενεργού βροχής με την μέθοδο SCS

Από τους πίνακες και τις σχέσεις της παραγράφου 2.2.4 και με βάση την σύσταση του εδάφους της λεκάνης που προσδιορίστηκε στην παράγραφο 6.1.2, συνδυαζόμενη με τις χρήσεις γης Corine2012, για κάθε τριψήφιο κωδικό, αντιστοιχίζεται μία τιμή CN_{II},

της μεθόδου SCS (Πίνακας 19). Με χρήση του προγράμματος ArcGIS υπολογίζεται η τιμή της για όλη την CN_{II} λεκάνη : **CN_{II}=89.2**.

Πίνακας 19 CN_{II} - SCS

Corine_2000 gridcode	CN _{II} _SCS
242	91
243	85
321	91
323	94
324	91



Σχήμα 35 Υπολογισμός CN_{II} -Corine2012 (Ίδια επεξεργασία)

Από τις εξισώσεις 2.2, 2.3, 2.4 υπολογίζονται τα CN_I , CN_{III} και η παράμετρος S σύμφωνα με τον πίνακα 20.

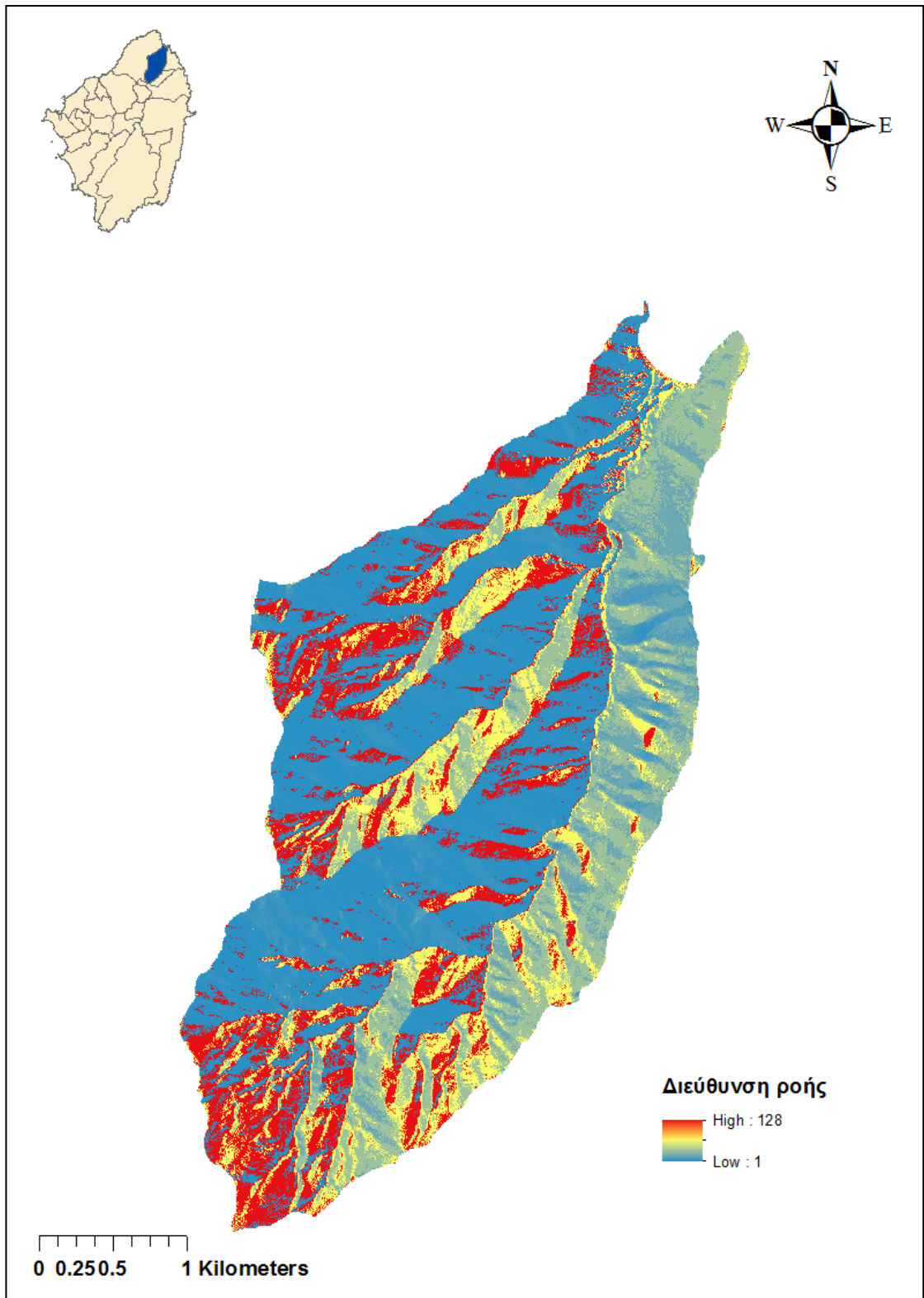
Πίνακας 20-Τιμές παραμέτρου S-SCS

Curve Number (CN)	Τιμή	S
CN_{II}	89.2	30.75
CN_I	77.97	71.78
CN_{III}	95.93	10.79

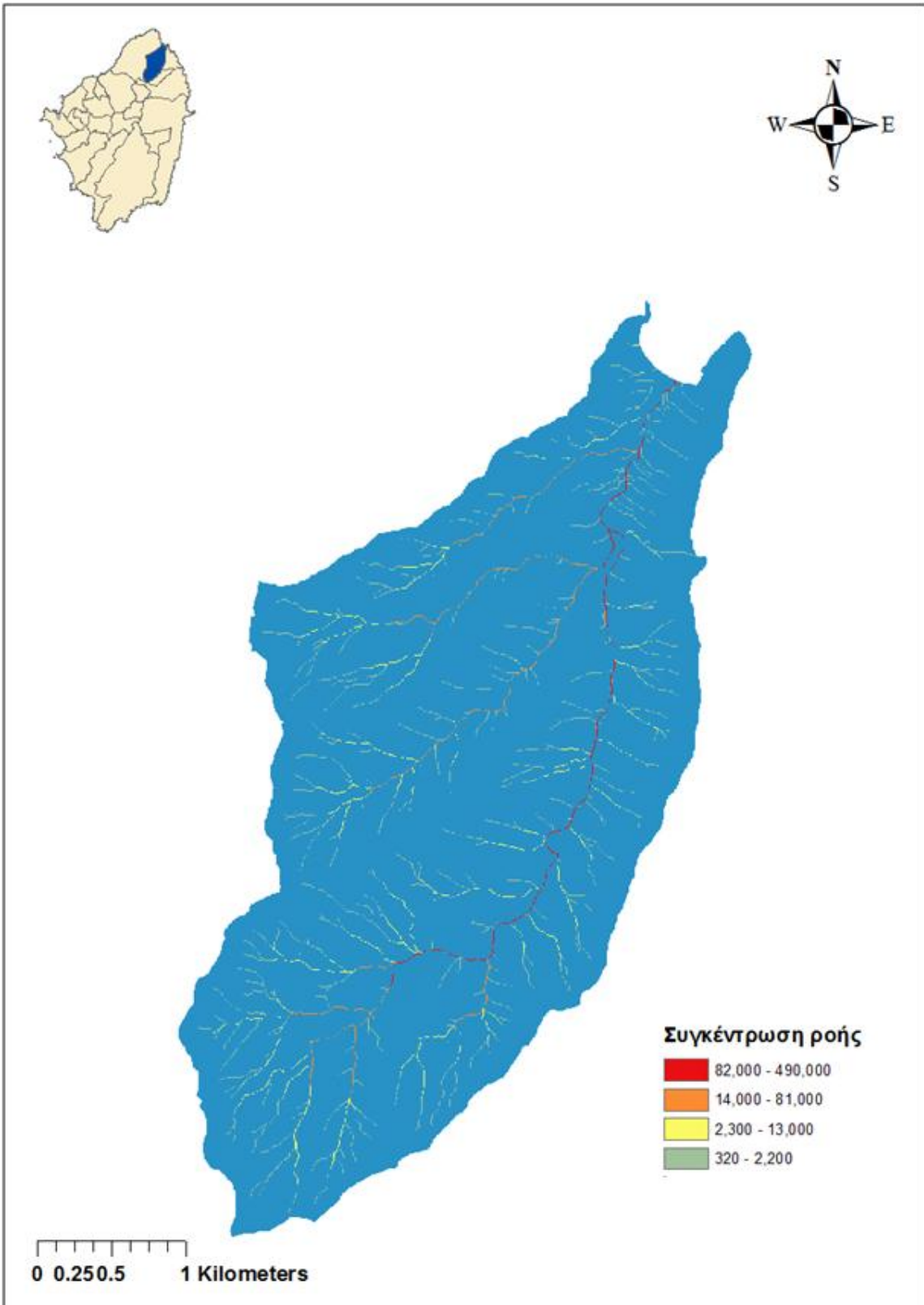
6.1.8 Κατασκευή ΜΥΓ

Η κατασκευή του ΜΥΓ, γίνεται με την μέθοδο των ισόχρονων καμπύλων και την χρήση του ArcGIS. Τα βήματα υπολογισμού περιγράφονται είναι συνοπτικά τα ακόλουθα (Φελώνη, 2018) :

- Από το DEM της λεκάνης υπολογίζεται η διεύθυνση ροής και η συγκέντρωση ροής σε αυτήν.
- Από την συγκέντρωση ροής γίνεται ταξινόμηση του υδρογραφικού δικτύου και ακολούθως υπολογίζεται η ταχύτητα ροής εντός του δικτύου (in channel flow).
- Από το DEM της λεκάνης, υπολογίζονται οι κλίσεις (σε μοίρες) της λεκάνης.
- Από τα δεδομένα Corine2012 υπολογίζεται ο συντελεστής τραχύτητας K100 της λεκάνης.
- Η ταχύτητα χερσαίας ροής (off channel flow) υπολογίζεται από τις κλίσεις την λεκάνης με συνδυασμό του συντελεστή τραχύτητας K100 (Πίνακας 21).
- Η συνολική ταχύτητα ροή υπολογίζεται από το άθροισμα των δύο ταχυτήτων (in channel και off channel).
- Ο συνολικός χρόνος ροής προκύπτει από την συνολική ταχύτητα ροής. Ακολούθως υπολογίζεται το ΜΥΓ, στην επιθυμητή χρονική βάση



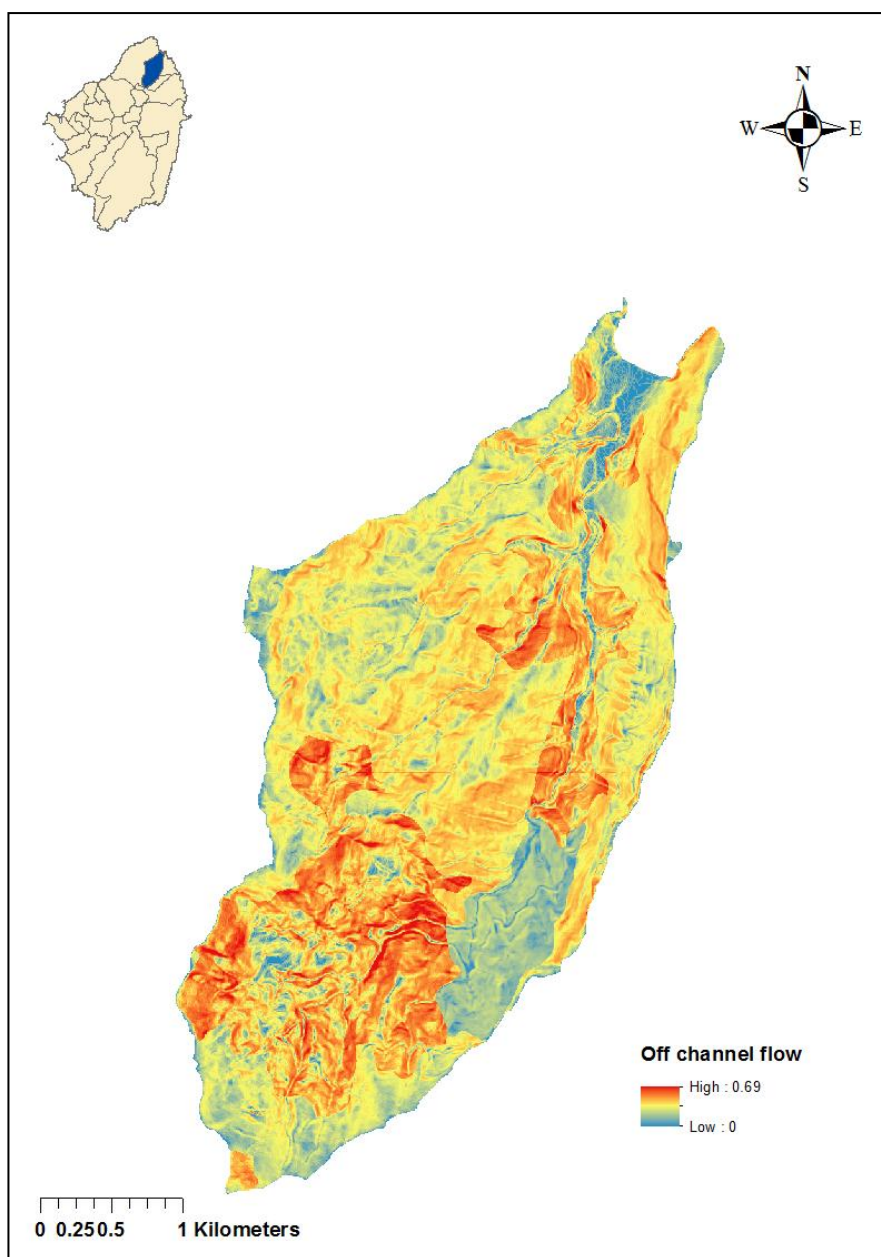
Σχήμα 36 Διεύθυνση ροής (Ίδια επεξεργασία)



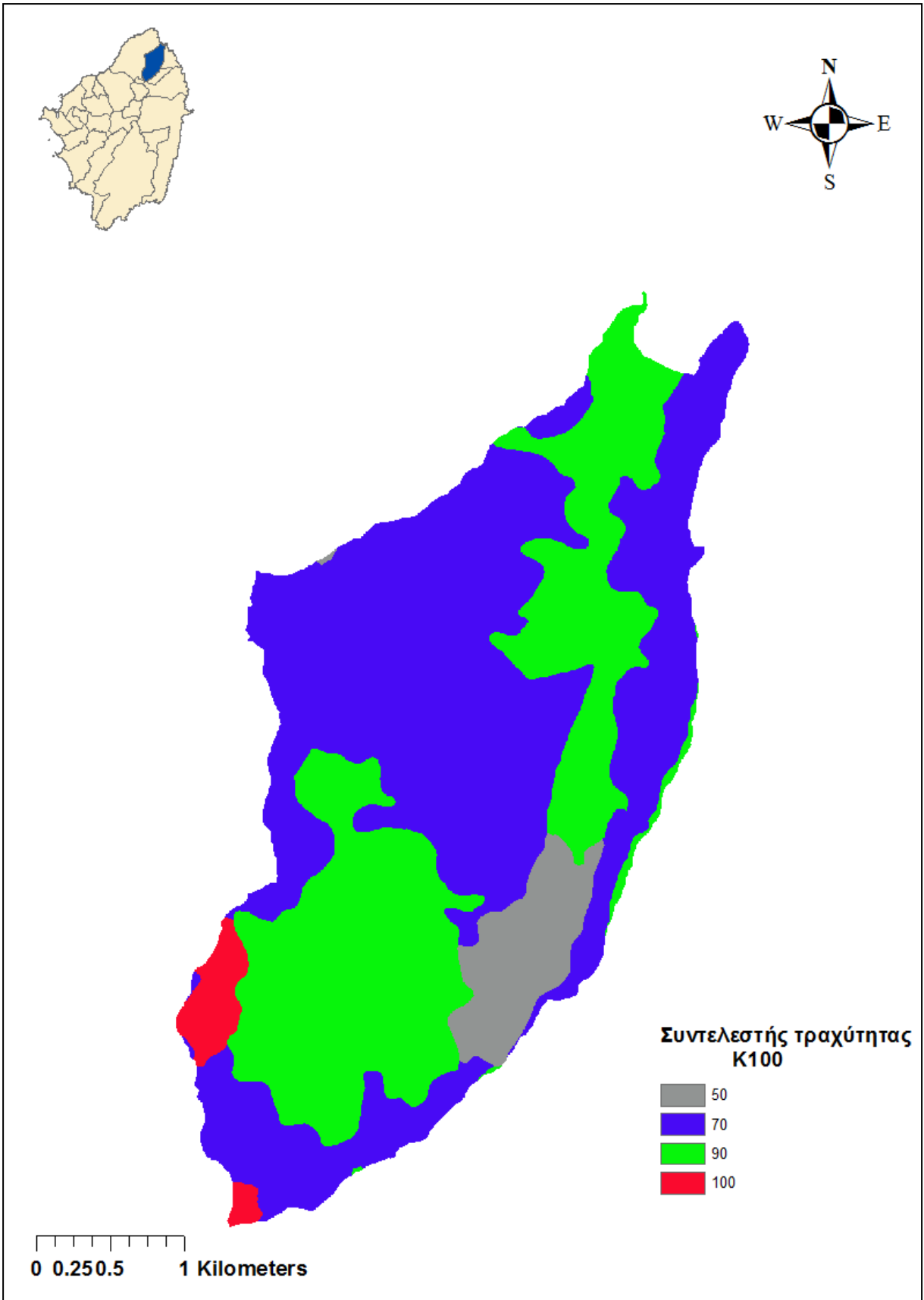
Σχήμα 37 Συγκέντρωση ροής (Ίδια επεξεργασία)

Πίνακας 21 Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας K100

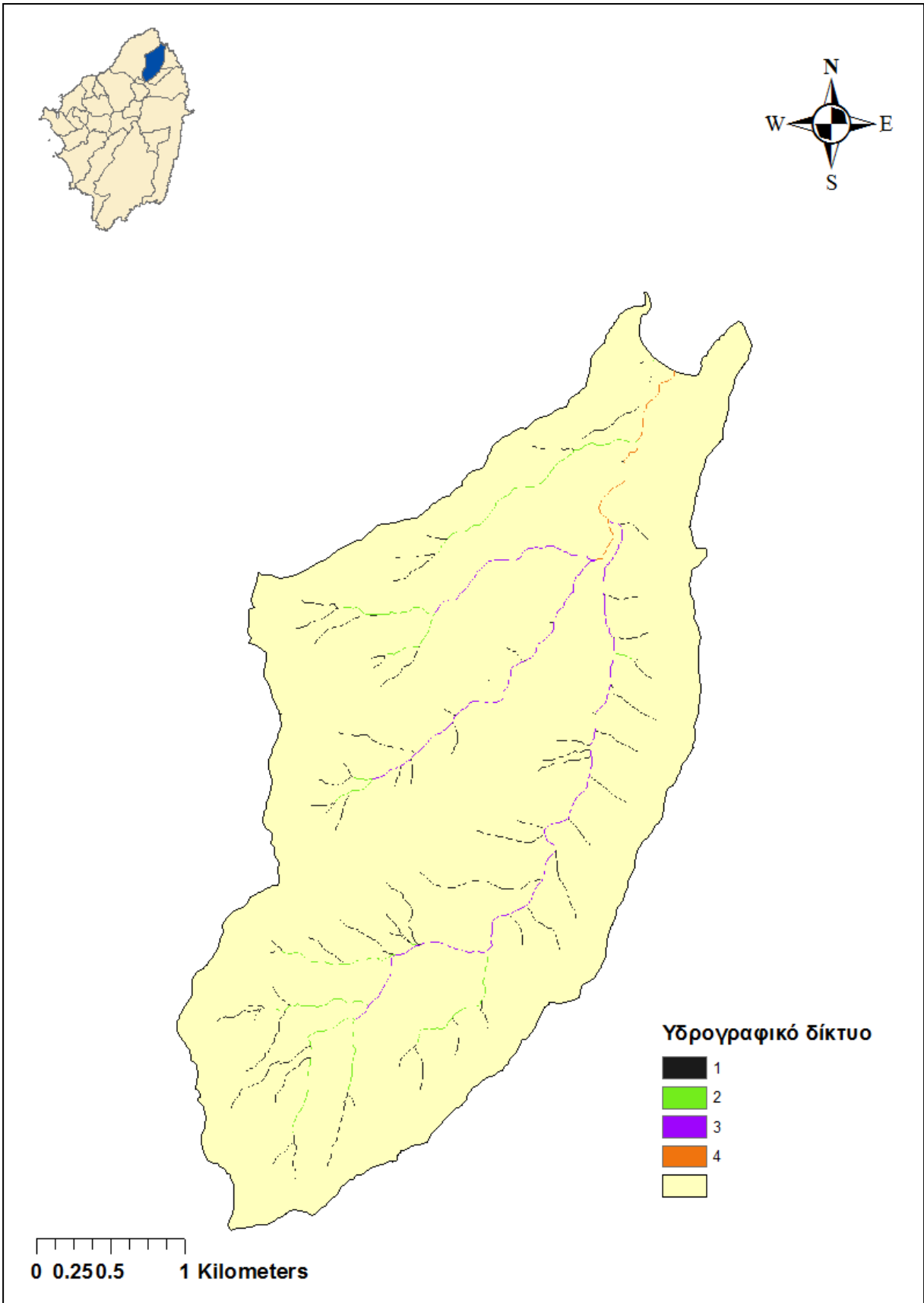
Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας K100		
Κωδικός Corine	Περιγραφή	K100
242	Σύνθετες καλλιέργειες	90
243	Γη που χρησιμοποιείται για γεωργία μαζί με φυσική βλάστηση	90
321	Βοσκότοποι	100
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	70
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	50



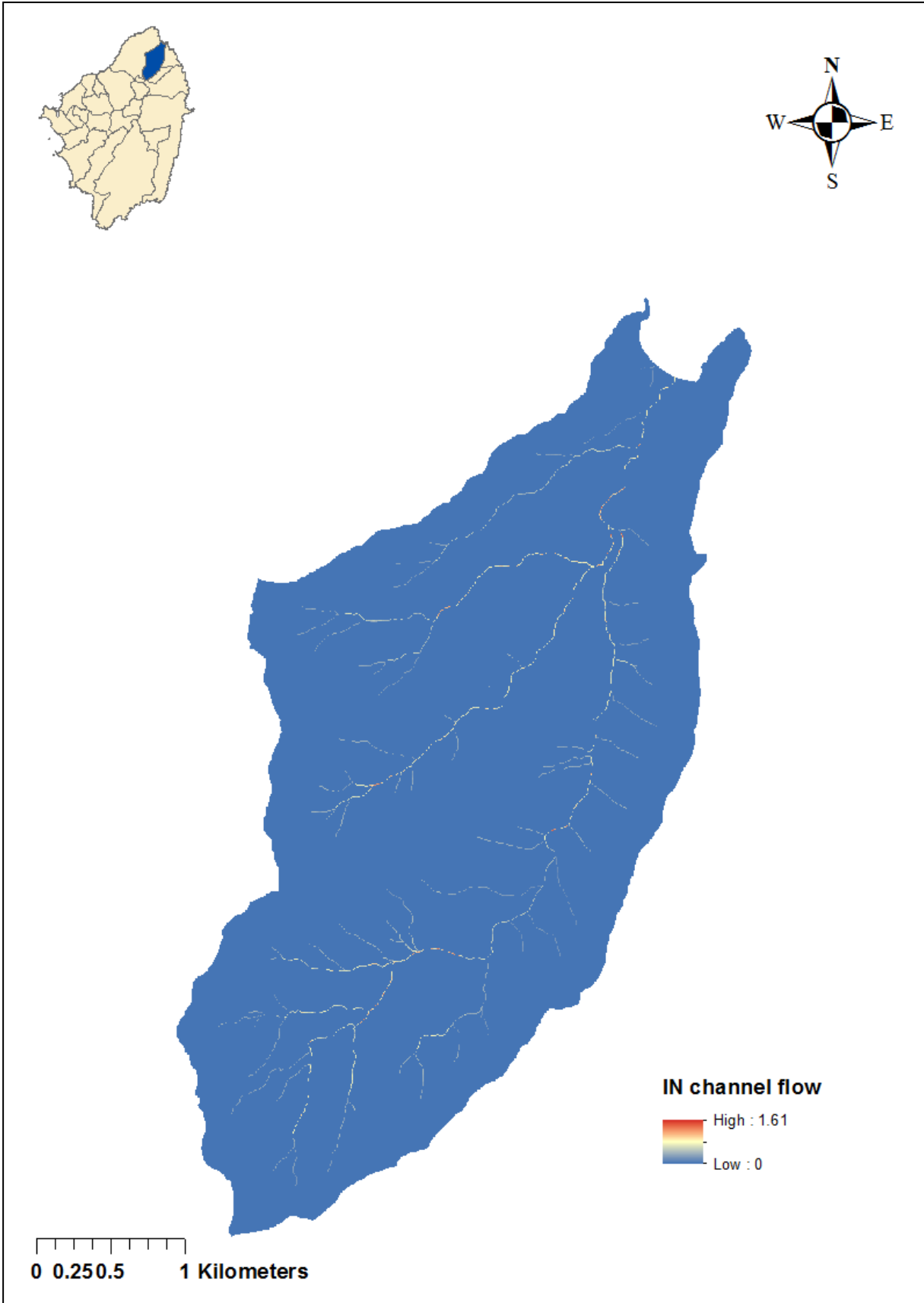
Σχήμα 38 Ταχύτητα off channel (Ίδια επεξεργασία)



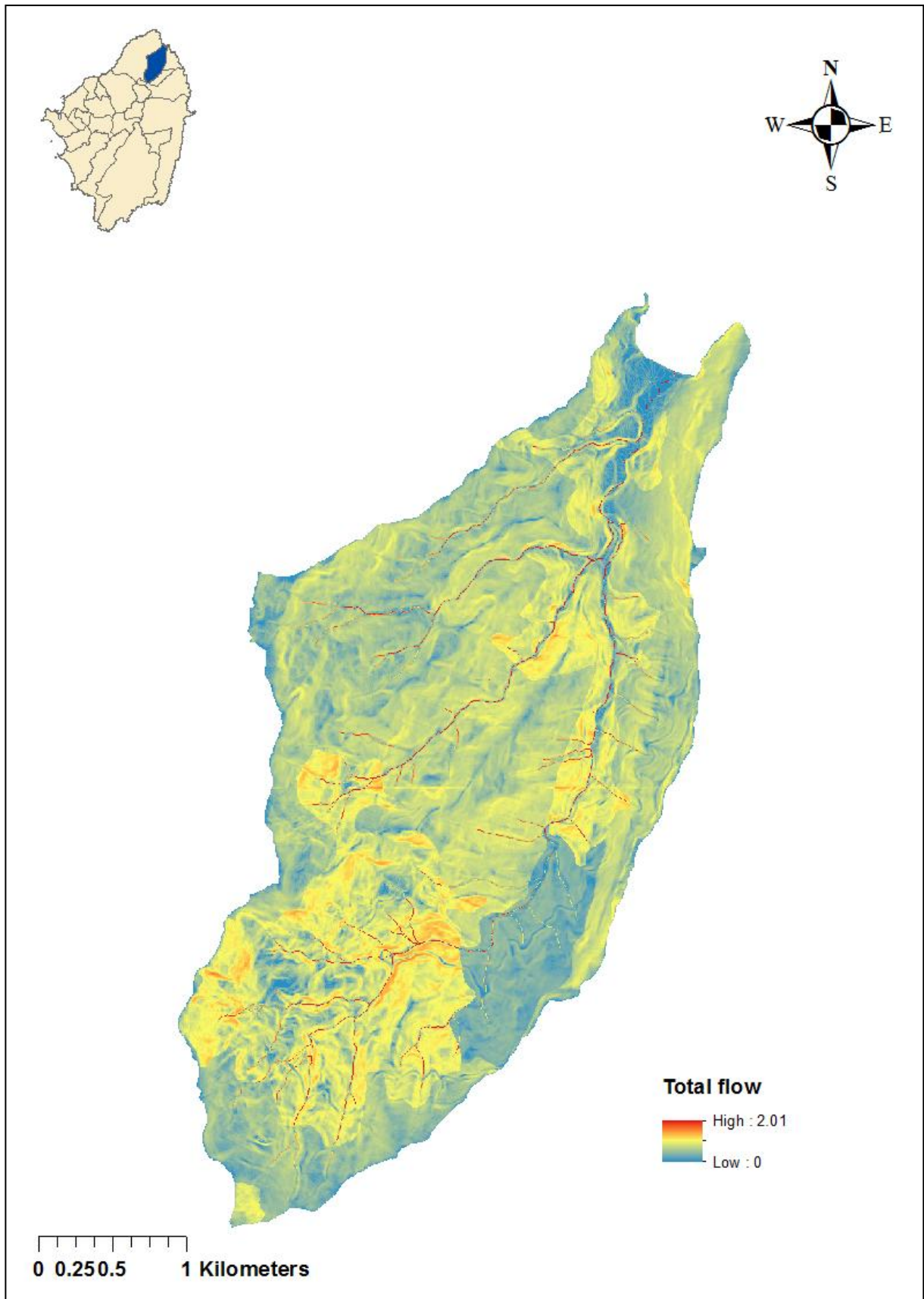
Σχήμα 39 Ταξινόμηση συντελεστή τραχύτητας Κ100 (Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 40 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 41 Ταχύτητα in channel (Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 42 Ολική ταχύτητα ροής (Ίδια επεξεργασία)

Με την χρήση του λογισμικού Arcgis, υπολογίζεται ο αριθμός των κελιών N_i που απορρέουν από την έξοδο της λεκάνης απορροής ανά 15 min. Για την μετατροπή των κελιών που απορρέουν σε παροχή χρησιμοποιείται η σχέση : $Q_i = N_i \cdot A \cdot 0.01/15 \cdot 60$

Q_i [m^3/sec]: Παροχή το χρονικό διάστημα i

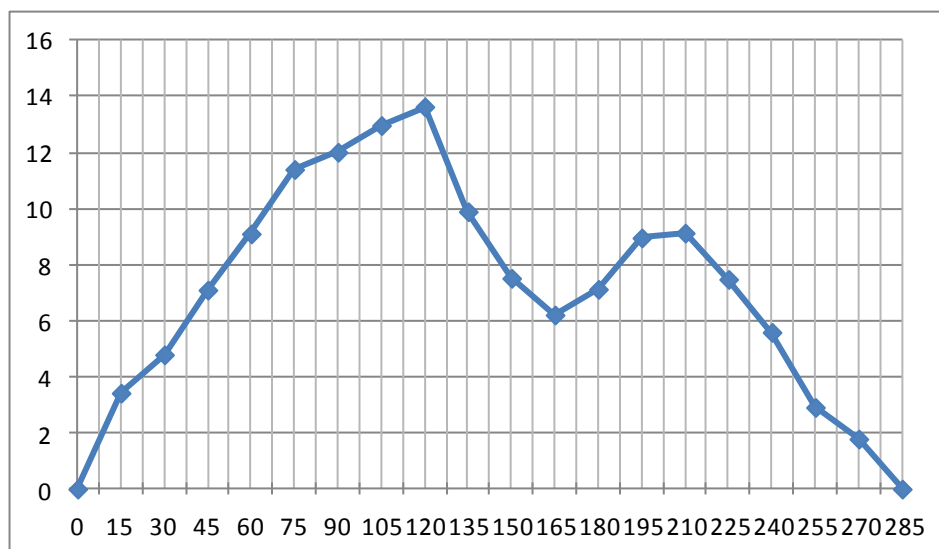
N_i : Αριθμός κελιών που απορρέουν το διάστημα i

A [m^2] : Διάσταση κελιού=25

$0.01/15 \cdot 60$: Μετατροπή του ύψους βροχής (10 mm/15 min = 0.01m/15*60 sec)

Πίνακας 22 Κελιά που απορρέουν /15 min και ΜΥΓ 15 Λεκάνης Απορροής

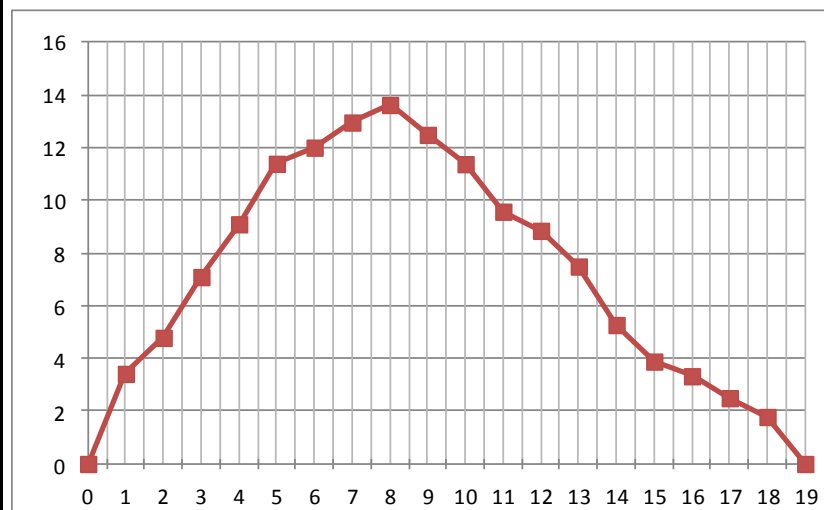
t [min]	N_i	t [min]	Q_i
0	0	0	0
15	12321	15	3.42
30	17245	30	4.79
45	25557	45	7.10
60	32777	60	9.10
75	41046	75	11.40
90	43256	90	12.02
105	46691	105	12.97
120	49093	120	13.64
135	35622	135	9.90
150	27071	150	7.52
165	22360	165	6.21
180	25656	180	7.13
195	32256	195	8.96
210	32877	210	9.13
225	26931	225	7.48
240	20125	240	5.59
255	10484	255	2.91
270	6426	270	1.79
285	0	285	0.00



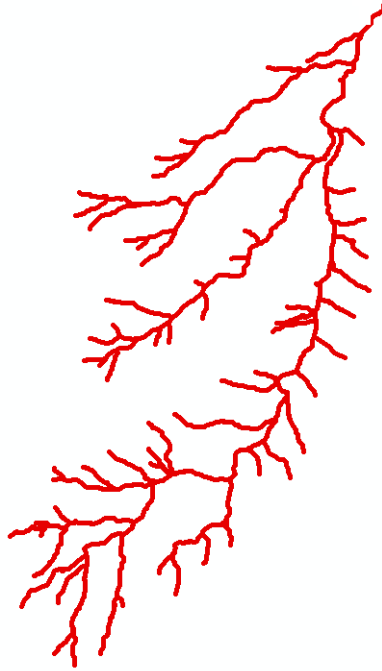
Σχήμα 43 ΜΥΓ 15 min (Ιδια επεξεργασία)

Το σημείο καμπής του ΜΥΓ (165 min) (Εικόνα 67), οφείλεται στη καθυστέρηση του ενός κλάδου του υδρογραφικού δικτύου, λόγω της μεγαλύτερης απόστασης τους απομακρυσμένου σημείου του από την έξοδο της λεκάνης. Για την διευκόλυνση των υπολογισμών γίνεται τροποποίηση του ΜΥΓ, διατηρώντας σταθερό τον συνολικό αριθμό κελιών που απορρέουν (Εικόνα 68).

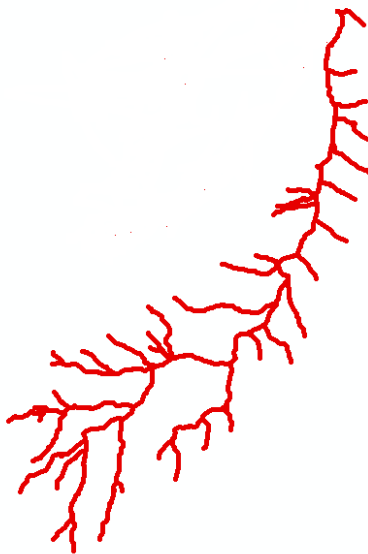
t [min]	Qi
0	0
15	3.42
30	4.79
45	7.10
60	9.10
75	11.40
90	12.02
105	12.97
120	13.64
135	12.50
150	11.39
165	9.58
180	8.86
195	7.50
210	5.28
225	3.89
240	3.33
255	2.50
270	1.79
285	0.00



Σχήμα 44 Τροποποιημένο ΜΥΓ (ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 45 Υδρογραφικό δίκτυο (Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 46 Καθυστερών κλάδος υδρογραφικού δικτύου (Ίδια επεξεργασία)

6.1.9 Στοχαστική προσομοίωση

Στο πλαίσιο υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής, θα πραγματοποιηθεί παραγωγή συνθετικών μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης για πενήντα χρόνια και χρονικός επιμερισμός τους σε 15λεπτα με στόχο :

- Την κατασκευή όμβριας καμπύλης για τη λεκάνη με βάση την χρονοσειρά τριών ετών και τον έλεγχο της σε περίοδο επαναφοράς πενήντα ετών.
- Την δημιουργία επεισοδίων βροχής με περίοδο επαναφοράς πενήντα ετών και την εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών αιχμής για τη λεκάνη

Η επιλογή των πενήντα ετών για την εκτέλεση στοχαστικής προσομοίωσης έγινε με βάση το γεγονός, ότι αυτή είναι η μέγιστη χρονική περίοδος στην οποία τα διατιθέμενα λογισμικά και η αντίστοιχη υπολογιστική ισχύς υποστηρίζουν τον χρονικό επιμερισμό των μηνιαίων χρονοσειρών σε χρονοσειρές 15λέπτου.

Η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών και ο χρονικός επιμερισμός έγινε με τα λογισμικά Hydrognomon, MS Excel, Castalia και NetStorm, με χρήση των χρονοσειρών βροχόπτωσης δεκαλέπτου της λεκάνης.

Η συνάθροιση των χρονοσειρών δεκαλέπτου σε μηνιαίες έγινε με το λογισμικό Hydrognomon με το εργαλείο Aggregation.

Παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών

Η παραγωγή συνθετικών μηνιαίων χρονοσειρών έγινε με δύο τρόπους :

- Εφαρμογής μοντέλου AR(1) σε MS Excel
- Εφαρμογή μοντέλου SMA με χρήση του λογισμικού Castalia

Για το μοντέλο AR (1) (Κουτσογιάννης, Στοχαστικές Μέθοδοι στους Υδατικούς Πόρους), υπολογίστηκε η μέση τιμή μ και η τυπική απόκλιση σ για κάθε μήνα και ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης (Correlation) α σύμφωνα με το μοντέλο. Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του λευκού θορύβου υπολογίζονται σύμφωνα με τις σχέσεις :

- $\mu_v = \mu * (1 - \alpha)$
- $\sigma_v = (\sqrt{1 - \alpha^2}) * \sigma$

Σύμφωνα με το μοντέλο AR(1) αν h_k είναι το αρχικό ύψος βροχής για κάθε μήνα (δεδομένα) τότε ο υπολογισμός γίνεται με βάση την σχέση : $h_k = (h_{k-1}) * \alpha + a_v$ όπου η τιμή a_v η τιμή του λευκού θορύβου που στο MS Excel υπολογίζεται με την εντολή NORMINV(Rand(), μ_v , σ_v) (Παραγωγή τιμής λευκού θορύβου, με μέθοδο Monte Carlo με μέση τιμή και τυπική απόκλιση που υπολογίστηκε από AR(1)).

Για την εφαρμογή του μοντέλου SMA, γίνεται εισαγωγή της μηνιαίας χρονοσειράς στο λογισμικό Castalia και παραγωγή συνθετικής χρονοσειράς 500 ετών.

Το μοντέλο AR(1) εφαρμόζεται δέκα φορές και παράγονται αντίστοιχα δέκα χρονοσειρές των πενήντα ετών.

Το μοντέλο SMA εφαρμόζεται μέσω του λογισμικού Castalia και παράγεται συνθετική χρονοσειρά 500 ετών από την οποία επιλέγεται τυχαία μια χρονοσειρά πενήντα ετών.

Χρονικός επιμερισμός χρονοσειρών

Για τον χρονικό επιμερισμό των χρονοσειρών ακολουθείται η εξής διαδικασία :

- Εισαγωγή των μηνιαίων χρονοσειρών στο λογισμικό Hydrognomon και επιλογή χρονικού επιμερισμού με το εργαλείο Disaggregation.
- Από τις επιλογές χρονικού επιμερισμού που παρέχει το εργαλείο επιλέγεται:
 - Cumulative : Random disaggregated values (Η βροχή είναι αθροιστική μεταβλητή).
 - Random model : High order (Τα λοιπά μοντέλα του εργαλείου δίνουν τιμές πολύ χαμηλές που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα).

Εφαρμόζεται η διαδικασία αυτή δύο φορές και δημιουργούνται ωριαίες χρονοσειρές.

- Οι ωριαίες χρονοσειρές που δημιουργήθηκαν εισάγονται στο λογισμικό NetStorm, όπου επιλέγεται το εργαλείο Short Duration Disaggregation, με στοχαστική μέθοδο.
- Από την χρονοσειρά που δημιουργείται επιλέγονται εκείνα τα επεισόδια βροχής που περιλαμβάνουν το μεγαλύτερο ύψος βροχής δεκαπενταλέπτου.

Η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόζεται εννέα φορές για τις εννέα χρονοσειρές του μοντέλου AR(1) και μία φορά για την χρονοσειρά του μοντέλου SMA, οπότε συνολικά προκύπτουν δέκα επεισόδια βροχής που αντιστοιχούν σε περίοδο επαναφοράς πενήντα ετών (Πίνακας 23).

Πίνακας 23 Επεισόδια βροχής από στοχαστική προσομοίωση

Επεισόδια βροχής 15λέπτου - Στοχαστική προσομοίωση AR(1),SMA											
SMA		AR (1)		AR(1)		AR(1)		AR(1)		AR(1)	
11:15	5.0573	21:15	5.16	06:15	34.67	17:00	8.80	16:15	1.02		
11:30	36.3708	21:30	40.12	06:30	24.30	17:15	10.36	16:30	3.06		
11:45	14.584	21:45	14.66	06:45	7.84	17:30	48.08	16:45	4.97		
12:00	4.8979	22:00	4.98	07:00	0.48	17:45	16.48	17:00	8.17		
						18:00	5.50	17:15	11.93		
								17:30	44.73		
								17:45	17.89		
								18:00	5.87		
AR(1)		AR(1)		AR(1)		AR(1)		AR(1)		AR(1)	
16:15	0.74	11:15	5.4433	11:15	3.7317	21:15	4.43	16:15	0.74		
16:30	2.43	11:30	16.2342	11:30	11.2897	21:30	13.0722	16:30	2.43		
16:45	4.30	11:45	44.1883	11:45	34.7346	21:45	42.9229	16:45	4.30		
17:00	9.36	12:00	5.7342	12:00	3.984	22:00	4.5049	17:00	9.36		
17:15	10.87	12:15	0.9198	12:15	0.5768	23:15	0.1425	17:15	10.87		
17:30	45.20	12:30	0.237	12:30	0.2448	23:30	0.4702	17:30	45.20		
17:45	16.90	12:45	0.1478	12:45	0.1321	23:45	0.3179	17:45	16.90		
18:00	5.60	13:00	0.0454	13:00	0.0563	00:00	0.1294	18:00	5.60		
		13:15	0.696	13:15	0.7211						
		13:30	0.501	13:30	0.2547						
		13:45	0.2554	13:45	0.1377						
		14:00	0.0876	14:00	0.0465						

6.1.10 Έλεγχος όμβριας καμπύλης νήσου Νάξου

Η όμβρια καμπύλη της Νάξου, προκύπτει, βάση της προδιαγραφής του ΥΠΕΚΑ από την σχέση (2.5) :

$$i(b,t) = \frac{\lambda'(T^k - \psi')}{\left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^n}$$

κ: 0.156

λ': 182.2

ψ': 0.371

θ: 0.134

η: 0,741

Η όμβρια καμπύλη προέκυψε από υπερετήσια χρονοσειρά ημερήσιων υψών βροχής από τον μετεωρολογικό σταθμό της ΕΜΥ, στην πόλη της Νάξου, που όπως αναφέρθηκε βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του νησιού και αρκετά μακριά από την περιοχή μελέτης.

Συγκρίνοντας τις ετήσιες βροχοπτώσεις μεταξύ της πόλης της Νάξου και της περιοχής μελέτης (Πίνακας 24) διαπιστώνεται διαφορά ύψους βροχής 196 mm, μεταξύ των μέγιστων ετήσιων βροχοπτώσεων και άνω των 400 mm στις μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις. Λαμβάνοντας υπόψη την εντόπια εμπειρία και τα ανωτέρω δεδομένα,

γίνεται αντιληπτό ότι στην περιοχή μελέτης επικρατούν μεγαλύτερα ύψη βροχής από ότι στην πόλη της Νάξου, από τα δεδομένα της οποίας εξάχθηκε η όμβρια καμπύλη.

Πίνακας 24 Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων σταθμών EMY και meteo.gr

	Σύγκριση βροχομετρικών δεδομένων Χώρας Νάξου/περιοχής μελέτης	
	Πόλη (Χώρα) Νάξου	Περιοχή μελέτης
Έτη χρονοσειράς	49	3
Μαx ετήσια βρόπτωση [mm]	652.6/έτος 1981	848.22/έτος 2014
Μέση ετήσια βροχόπτωση [mm]	365.04	773.26

Με βάση την προσομοίωση της παραγράφου 6.1.9 γίνεται λαμβάνεται ο μέσος όρος των εντάσεων βροχής για τα δέκα επεισόδια βροχής : $i=71.07\text{mm/hr}$ ($T=50$ έτη). Ακολούθως γίνεται έλεγχος όμβριας καμπύλης του ΥΠΕΚΑ με την εφαρμογή “Goal seek”, του MS Excel. Η περίοδος επαναφοράς που προκύπτει είναι $T=194$ έτη, αντί για $T=50$ έτη.

6.1.11 Κατασκευή όμβριων καμπύλων για την περιοχή μελέτης

Με βάση τα δεδομένα δεκαλέπτης βροχόπτωσης γίνεται δοκιμή κατασκευής όμβριων καμπύλων για την περιοχή μελέτης παρόλο που οι υπάρχουσες χρονοσειρές δεκαλέπτου είναι για μικρό αριθμό ετών. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής :

- Εισαγωγή χρονοσειράς δεκαλέπτου και εύρεση ακραίων υδρολογικών γεγονότων με το εργαλείο Extreme evaluation.
- Στο παράθυρο IDF build γίνεται επιλογή «Yearly» και την θέση Multiplier τοποθετούνται κάθε φορά οι αριθμοί 1, 3, 6, 12, 24, 36, 72, 144, που αντιστοιχούν σε εξαιρετικά υδρολογικά γεγονότα 10 λεπτών, μισής ώρας, 1 ώρας, 2 ωρών, 4 ωρών, 6 ωρών, 12 ωρών, 1 ημέρας αντίστοιχα και 8 αρχεία αντίστοιχα.
- Προσθήκη των χρονοσειρών στο πεδίο (IDF Time Series Intensity) και επιλογή IDF Analysis,

Πίνακας 25 Εξαιρετικά υδρολογικά γεγονότα-HYDROGNOMON

ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ - ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ HYDROGNOMON								
	10 min	30 min	1h	2h	4h	6h	12h	24h
2012-13	14.69	17.56	21.99	31.03	49.52	64.88	70.6	70.6
2013-14	9.58	22.2	30.75	34.39	43.21	44.61	57.81	61.77
2014-15	8.42	19.44	23.47	29.7	43.4	54.18	78.99	111.46
2015-16	10.54	16.21	20.13	25.17	32.53	39.25	62.75	85.63
2016-17	7.82	9.22	9.54	12.5	15.58	15.58	16.4	23.6

Κατασκευή όμβριων καμπύλων – επιλογή κατανομής

Από τις διατιθέμενες κατανομές του λογισμικού Hydrognomon, γίνεται έλεγχος των όμβριων καμπύλων που παράγονται

Διαπιστώνεται ότι η κατανομή που προσαρμόζεται στα δεδομένα βροχόπτωσης της λεκάνης (τόσο στις δεδομένες χρονοσειρές, όσο και στα επεισόδια βροχής περιόδου επαναφοράς T=50 έτη) είναι η κατανομή Log Pearson III με στατιστικές παραμέτρους :

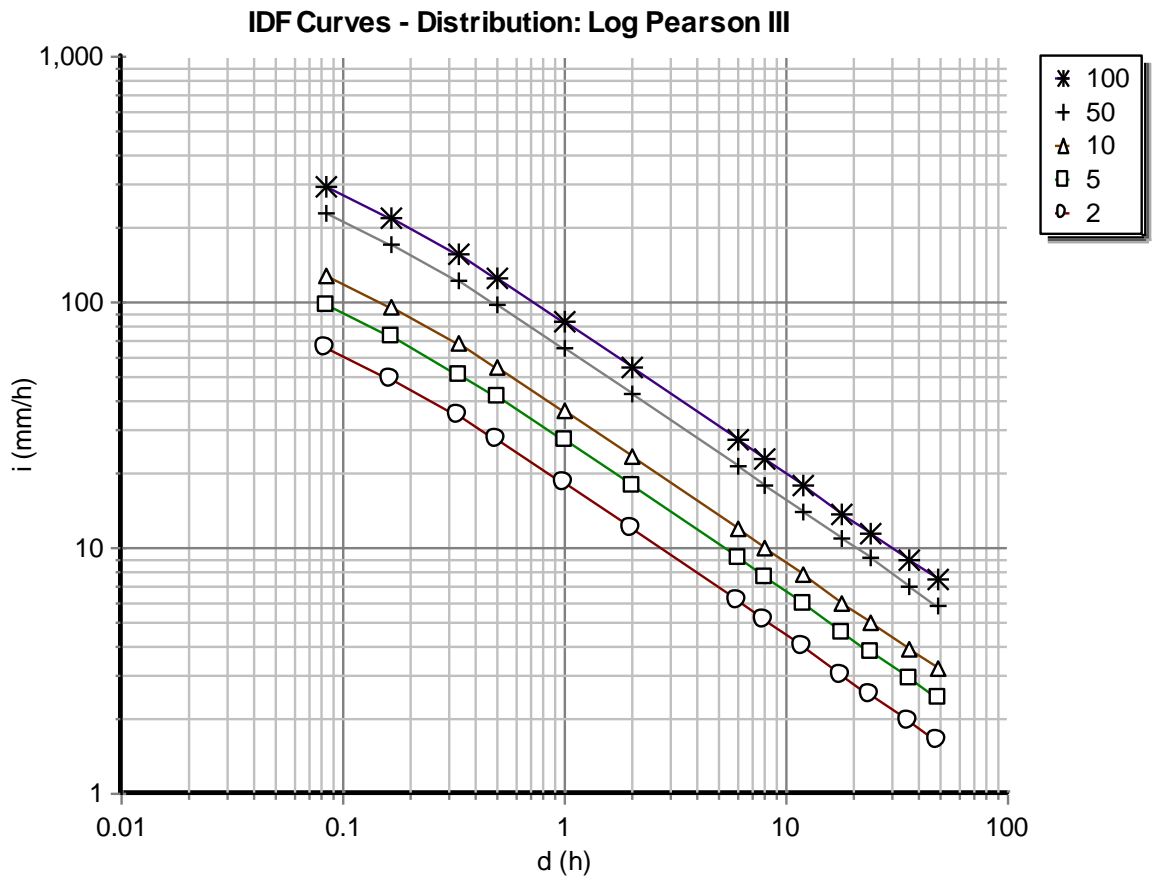
- k=2.11
- λ=3,33
- c=2.41
- η=0,632
- θ =0.06

$$\text{Η εξίσωση της όμβριας καμπύλης είναι : } i [\text{mm/h}] = \frac{a}{(d+0.06)^{0.632}}$$

όπου d [h] η διάρκεια της βροχόπτωσης και α παράμετρος ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς :

Πίνακας 26 Τιμή παραμέτρου α όμβριας καμπύλης

T ['Ετη]	Παράμετρος α όμβριας καμπύλης
2	18.97
5	28.45
10	37.41
20	48.53
50	67.61
100	86.32
200	109.75
500	150.03



Σχήμα 47 Όμβρια καμπύλη περιοχής μελέτης (Ίδια επεξεργασία)

Για $T=50$ έτη περίοδο επαναφοράς, $i=71,07$ mm/hr (προσομοίωση), η όμβρια καμπύλη επαληθεύεται.

6.1.12 Σύγκριση μεθόδων υπολογισμού πλημμυρικής παροχής αιχμής (Ορθολογική-ΜΥΓ)

Στην παράγραφο αυτή θα εκτελεστεί εκτίμηση πλημμυρικής παροχής για περίοδο επαναφοράς $T=50$ έτη με την ορθολογική μέθοδο και μέσω του ΜΥΓ.

Από την όμβρια καμπύλη i [mm/h] = $\frac{67.61}{(d+0.06)^{0.632}}$ της παραγράφου 6.1.11 και για χρόνο συρροής κάθε φορά ίσο με αυτό που υπολογίστηκε με κάθε μία από τις τρεις, μεθόδους προκύπτει ο πίνακας :

Πίνακας 27 Ορθολογική μέθοδος T=50 έτη

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ T=50 Έτη			
GIANDOTTI			
tc	T	i	Q
1.26	50	56.73	102.15
KIPRICH			
tc	T	i	Q
0.28	50	133.70	240.74
PASSINI			
tc	T	i	Q
0.6	50	87.91	158.29

Για την εφαρμογή του ΜΥΓ καταρτίζεται το υετογράφημα σχεδιασμού (με την μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (Online course <http://slideplayer.com/slide/5687688/>)) για το χρόνο συρροής κάθε μεθόδου και εφαρμόζεται η μέθοδος SCS για τον υπολογισμό της ενεργού βροχόπτωσης, θεωρώντας επί το δυσμενέστερο κατηγορία υγρασίας III ($CN_{III}=95.93$, $S=10.79$), οπότε προκύπτουν οι πίνακες 28, 29 ,30.

Πίνακας 28 Υετογράφημα (Giandotti, T=50 έτη)

Υετογράφημα, Giandotti, T=50		
t [h]	h [mm]	h_{ev} [mm]
0	0	0
0.25	6.09	1.05
0.5	9.16	6.13
0.75	35.43	32.52
1	13.33	12.97
1.25	7.23	7.09

Πίνακας 29 Υετογράφημα (Kiprich, T=50 έτη)

Υετογράφημα, Kiprich, T=50		
t [h]	h [mm]	h_{ev} [mm]
0	0	0
0.25	35.43	25.13

Πίνακας 30 Υετογράφημα (Passini, T=50 έτη)

Υετογράφημα, Passini, T=50		
t [h]	h [mm]	h_{ev} [mm]
0	0	0
0.25	35.43	25.13
0.5	13.33	12.72

οπότε ο πίνακας 27 συμπληρώνεται :

Πίνακας 31 Σύγκριση ορθολογικής μεθόδου-ΜΥΓ (T=50 έτη)

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ T=50 Έτη				ΜΥΓ
GIANDOTTI				ΜΥΓ
tc	T	i	Q	Q
1.26	50	56.73	102.15	78.55
KIPRICH				ΜΥΓ
tc	T	i	Q	Q
0.28	50	133.70	240.74	13.64
PASSINI				ΜΥΓ
tc	T	i	Q	Q
0.6	50	87.91	158.29	50.76

Για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη η όμβρια καμπύλη έχει εξίσωση $i[\text{mm/h}] = \frac{86.32}{(d+0.06)^{0.632}}$. Το υετογράφημα σχεδιασμού και οι αντίστοιχες παροχές (μόνο για μέθοδο Giandotti) αναγράφονται στους πίνακες 32 και 33.

Πίνακας 32 Υετογράφημα (Giandotti, T=100 έτη)

Υετογράφημα, Giandotti, T=100		
t [h]	h [mm]	h _{ev} [mm]
0	0	0
0.25	4.58	0.44
0.5	6.90	3.87
0.75	26.67	23.36
1	10.03	9.59
1.25	5.44	5.27

Πίνακας 33 Σύγκριση ορθολογικής μεθόδου-ΜΥΓ (Giandotti, T=100 έτη)

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ T=100 έτη				ΜΥΓ
GIANDOTTI				ΜΥΓ
tc	T	i	Q	Q
1.26	100	72.43	130.42	103.97

Από την σύγκριση των δύο μεθόδων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι Kirpich και Passini δίνουν εσφαλμένο χρόνο συρροής για την λεκάνη, καθώς αποδίδουν πολύ μεγάλες παροχές και αποκλίνουν από την παροχή που υπολογίζεται με το ΜΥΓ
- Η μέθοδος Giandotti εκτιμά πλημμυρική παροχή που αποκλίνει από την παροχή που υπολογίζει το ΜΥΓ κατά 30% για T=50 έτη και 25,4% για T=100 έτη και η οποία είναι στα αποδεκτά όρια τιμών για την λεκάνη (<100 m³/sec).
- Η μεγαλύτερη τιμή της παροχής αιχμής της ορθολογικής μεθόδου, ενδεχομένως προκύπτει από την υψηλή τιμή του συντελεστή απορροής (C=0.51), που οφείλεται στα εύρη τιμών των επιμέρους συντελεστών του που δίνει η μέθοδος ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ 2002.

6.1.13 Εκτίμηση παροχής αιχμής με ΜΥΓ για επεισόδιο βροχόπτωσης από στοχαστική προσομοίωση

Από τον πίνακα των επεισοδίων βροχόπτωσης της παραγράφου 6.1.9 (T=50 έτη), επιλέγεται το επεισόδιο βροχόπτωσης με το μεγαλύτερο ύψος βροχής. Για την εφαρμογή του ΜΥΓ, υπολογίζεται η ενεργός βροχής για CN_{III}, επί το δυσμενέστερο.

Πίνακας 34 Ενεργός βροχή για το επεισόδιο στοχαστικής προσομοίωσης

t	h [mm]	Αθροιστική βροχής [mm]	Αθροιστική ενεργού βροχής [mm]	h _{εV} [mm]
	0	0	0	0
16:15	0.74	0.74	0.00	0.00
16:30	2.43	3.17	0.00	0.00
16:45	4.30	7.47	0.05	0.05
17:00	9.36	16.83	2.75	2.70
17:15	10.87	27.70	8.88	6.13
17:30	45.20	72.90	45.70	36.82
17:45	16.90	89.80	61.16	15.47
18:00	5.60	95.40	66.38	5.22

Η παροχή αιχμής όπως προκύπτει από το ΜΥΓ είναι **Q=87.37 m³/sec.**

Πίνακας 35 Πλημμυρογράφημα επεισοδίου στοχαστικής προσομοίωσης

t [15 MIN]	Q								
0	0.00	0.00							0.00
1	3.42	0.02	0.00						0.02
2	4.79	0.03	0.02	0.00					0.04
3	7.10	0.04	0.03	0.92	0.00				0.99
4	9.10	0.05	0.04	1.29	2.10	0.00			3.48
5	11.40	0.06	0.05	1.92	2.94	12.60	0.00		17.56
6	12.02	0.07	0.06	2.46	4.35	17.64	5.29	0.00	29.86
7	12.97	0.07	0.07	3.08	5.58	26.14	7.41	1.79	44.12
8	13.64	0.07	0.07	3.24	6.99	33.52	10.98	2.50	57.37
9	12.50	0.07	0.07	3.50	7.36	41.98	14.08	3.70	70.77
10	11.39	0.06	0.07	3.68	7.95	44.24	17.63	4.75	78.38
11	9.58	0.05	0.06	3.37	8.36	47.75	18.58	5.95	84.12
12	8.86	0.05	0.05	3.07	7.66	50.20	20.06	6.27	87.37
13	7.50	0.04	0.05	2.59	6.98	46.02	21.09	6.77	83.53
14	5.28	0.03	0.04	2.39	5.87	41.93	19.33	7.11	76.71
15	3.89	0.02	0.03	2.02	5.43	35.28	17.61	6.52	66.92
16	3.33	0.02	0.02	1.42	4.60	32.60	14.82	5.94	59.43
17	2.50	0.01	0.02	1.05	3.23	27.61	13.70	5.00	50.62
18	1.79	0.01	0.01	0.90	2.38	19.43	11.60	4.62	38.96
19	0.00	0.00	0.01	0.67	2.04	14.32	8.16	3.91	29.12
			0.00	0.48	1.53	12.27	6.01	2.75	23.05
				0.00	1.09	9.20	5.16	2.03	17.48
					0.00	6.57	3.87	1.74	12.18
						0.00	2.76	1.30	4.07
							0.00	0.93	0.93
								0.00	0.00
									0.00

7 Υπολογισμοί εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής λεκάνης Κορωνίδας

7.1 Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης με εμπειρικές μεθόδους

Για την εκτίμηση της διάβρωσης της περιοχής μελέτης, γίνεται εφαρμογή των δύο εμπειρικών μεθόδων RUSLE και Gavrilovic. Η μέση τιμή κάθε συντελεστή υπολογίζεται από το εργαλείο “Raster Calculator” του ArcGIS. Οι τελικές πράξεις πολλαπλασιασμού των συντελεστών στις μεθόδους γίνεται επίσης μέσω του “Raster Calculator” και όχι με αλγεβρικό πολλαπλασιασμό των μέσω τιμών τους.

7.1.1 Εφαρμογή μεθόδου RUSLE

Για την εφαρμογή της μεθόδου RUSLE είναι απαραίτητος προσδιορισμός των επιμέρους συντελεστών της μεθόδου : R (Συντελεστής βροχής), K (συντελεστής διάβρωσης εδάφους), LS (συντελεστής μήκους κλίσης-γωνίας εδάφους), C (συντελεστής φυτοκάλυψης), P (συντελεστής αντιδιαβρωτικών πρακτικών). Στις επόμενες παραγράφους αναπτύσσεται ο υπολογισμός του κάθε συντελεστή και ταυτόχρονα γίνεται σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές που προκύπτουν από τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού οργανισμού ESDAC, τόσο για τους συντελεστές της μεθόδου , όσο και για το σύνολο της μέσης ετήσιας διάβρωσης (ειδικά για τον συντελεστή R, αναγράφονται και οι τιμές που προκύπτουν από εμπειρικές μεθόδους).

7.1.1.1 Συντελεστής R

Η εφαρμογή των αναλυτικών σχέσεων (3.2), (3.3) και (3.4) για τα δεδομένα δεκάλεπτης χωρικά κατανεμημένης χρονοσειράς βροχής των μετεωρολογικών σταθμών Κορώνου και Απόλλωνα (παράγραφος 5.2.2), δίνει τιμή συντελεστή βροχής **R=611.39 MJmm/hahr**. Επιπρόσθετα, εφαρμόστηκαν οι εμπειρικές μέθοδοι του πίνακα 4, για τον υπολογισμό της τιμής του R. Συνολικά τα αποτελέσματα για κάθε μέθοδο και για την τιμή που προκύπτει από τα δεδομένα ESDAC, αναγράφονται στον πίνακα 36.

Πίνακας 36 Τιμές συντελεστή R

Συντελεστής R [MJmm/hahr]				
Αναλυτικός υπολογισμός	ESDAC (2015)	Renard and Freimund (1994)	Van der Knijff et al., (2000a&b)	Torri et al (2006)
611.39	798.57	1763.65	886.69	1156.78

7.1.1.2 Συντελεστής K

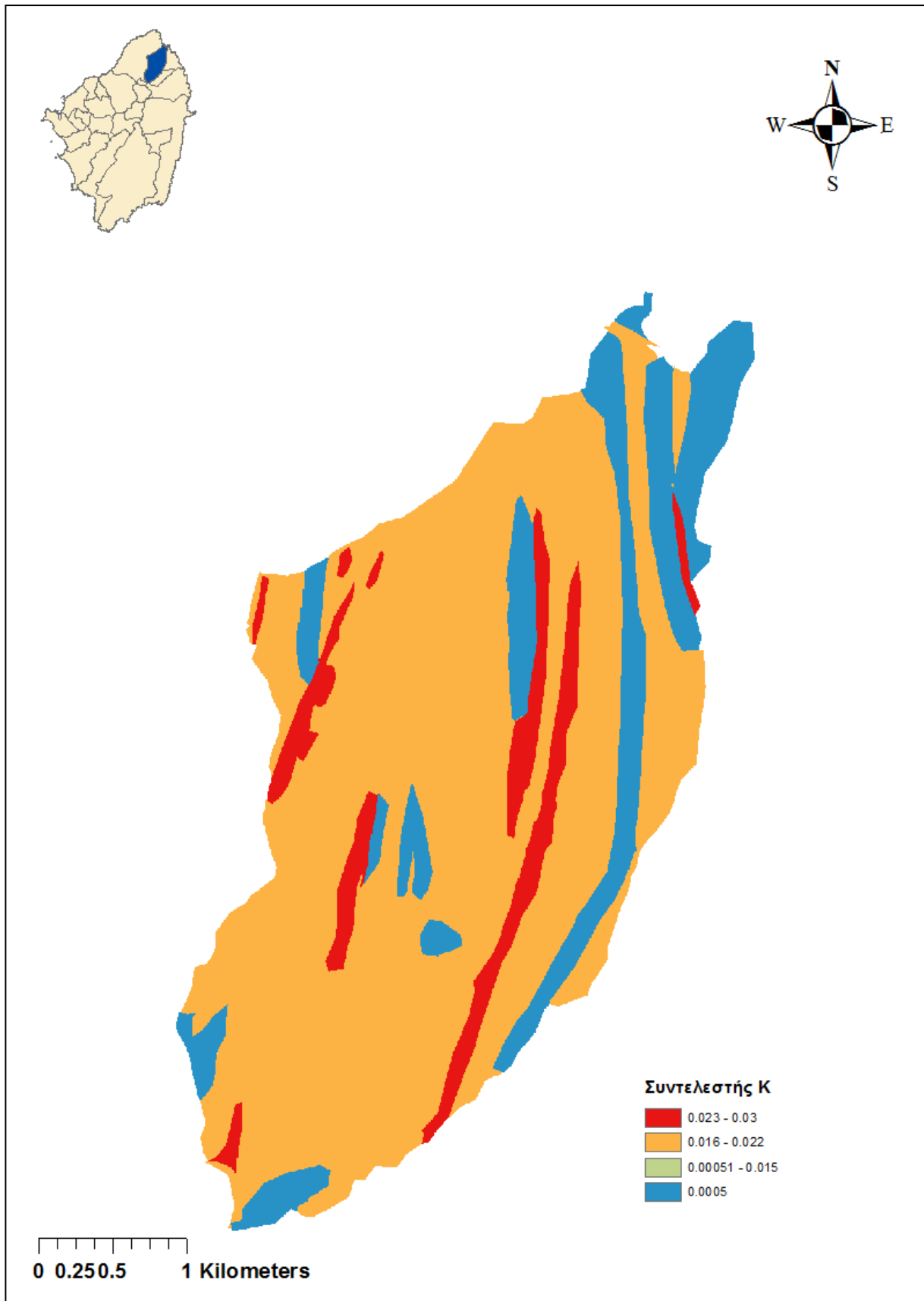
Ο υπολογισμός του συντελεστή K βασίστηκε στον χάρτη γεωλογικού υποβάθρου του ΙΓΜΕ. Βάση του χάρτη αυτού δημιουργήθηκε με το λογισμικό ArcGIS αρχείο πολυγώνων (Shapefile), του οποίου ο πίνακας ιδιοτήτων (Attribute table) περιλαμβάνει την αντιστοίχιση του κάθε πολυγώνου με το αντίστοιχο πέτρωμα και με τον συντελεστή κ. Η αντιστοίχιση του συντελεστή κ, προέρχεται από συγκεκριμένες βιβλιογραφικές αναφορές (Παπάζογλου (2009), Bathrellos et al. (2010)) στον πίνακα 37. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 38.

Πίνακας 37 Τιμές συντελεστή K

Τιμές συντελεστή K	
Σχηματισμός	K
Μάρμαρα	0.0005
Αμφιβολίτης	0.03
Μαρμαρυγιακοι σχιστόλιθοι	0.015
Μεταμορφωμενα υπερβασικα	0.03

Πίνακας 38 Μέση τιμή συντελεστή R

Συντελεστής k [tnhr/MJmm]	
Γεωλογικό υπόβαθρο	ESDAC (2014)
0.0183	0.0318

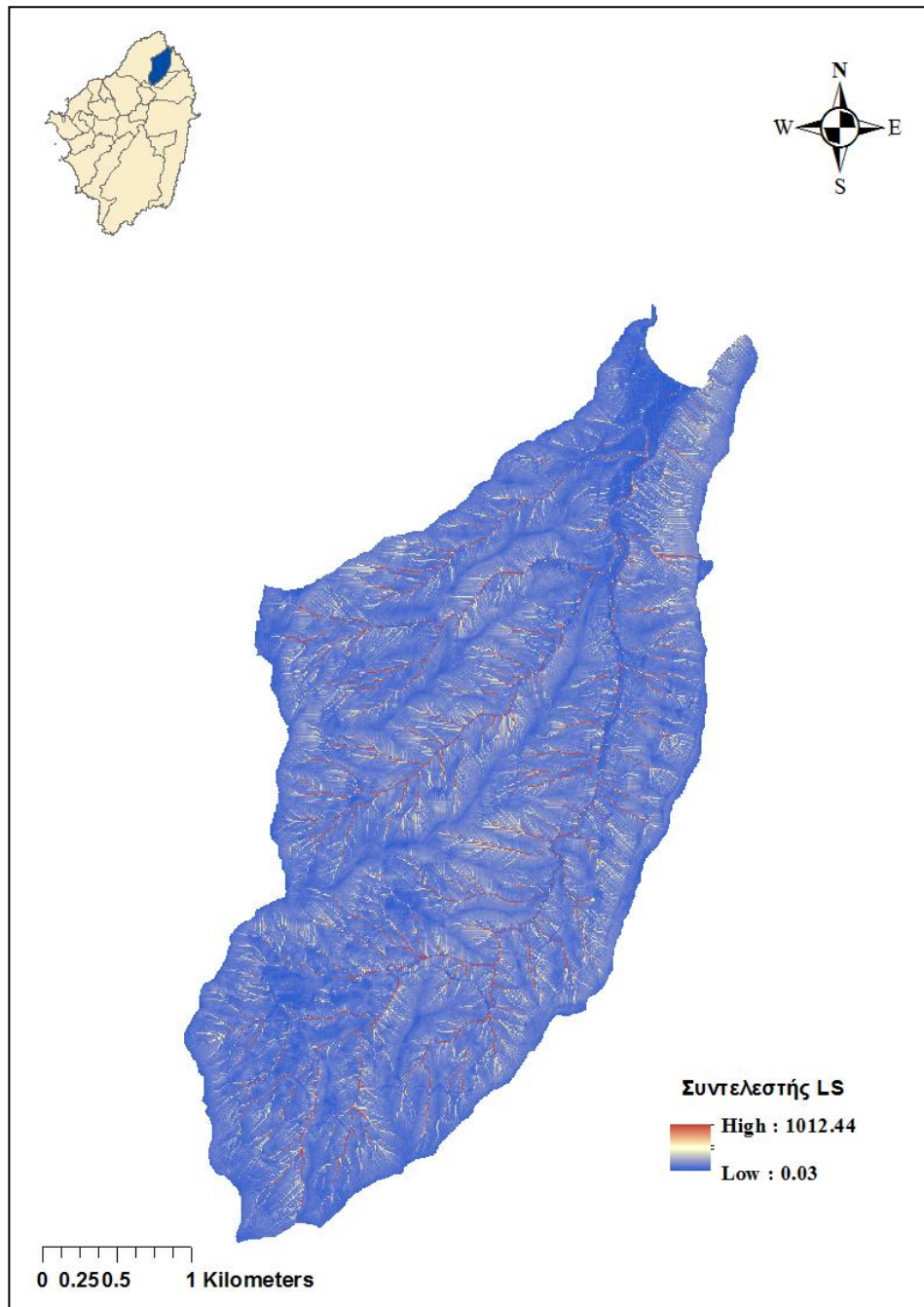


Σχήμα 48 Κατανομή συντελεστή Κ (ίδια επεξεργασία)

Η διαφορά στην τιμή των δύο μεθόδων οφείλεται στο ότι ο ESDAC χρησιμοποιεί στοιχεία για την ποιοτική σύσταση του εδάφους.

7.1.1.3 Συντελεστής LS

Ο υπολογισμός του συντελεστή γίνεται με τις σχέσεις 3.7, 3.8, 3.9, μέσω του λογισμικού ArcGIS. Η μέση τιμή του LS είναι : $LS=0.95*6.53 \Rightarrow$ **LS=6.18**. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί με αυτή του ESDAC καθώςον χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες εξισώσεις υπολογισμού και στις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 49 Κατανομή συντελεστή LS (Ίδια επεξεργασία)

7.1.1.4 Συντελεστής C

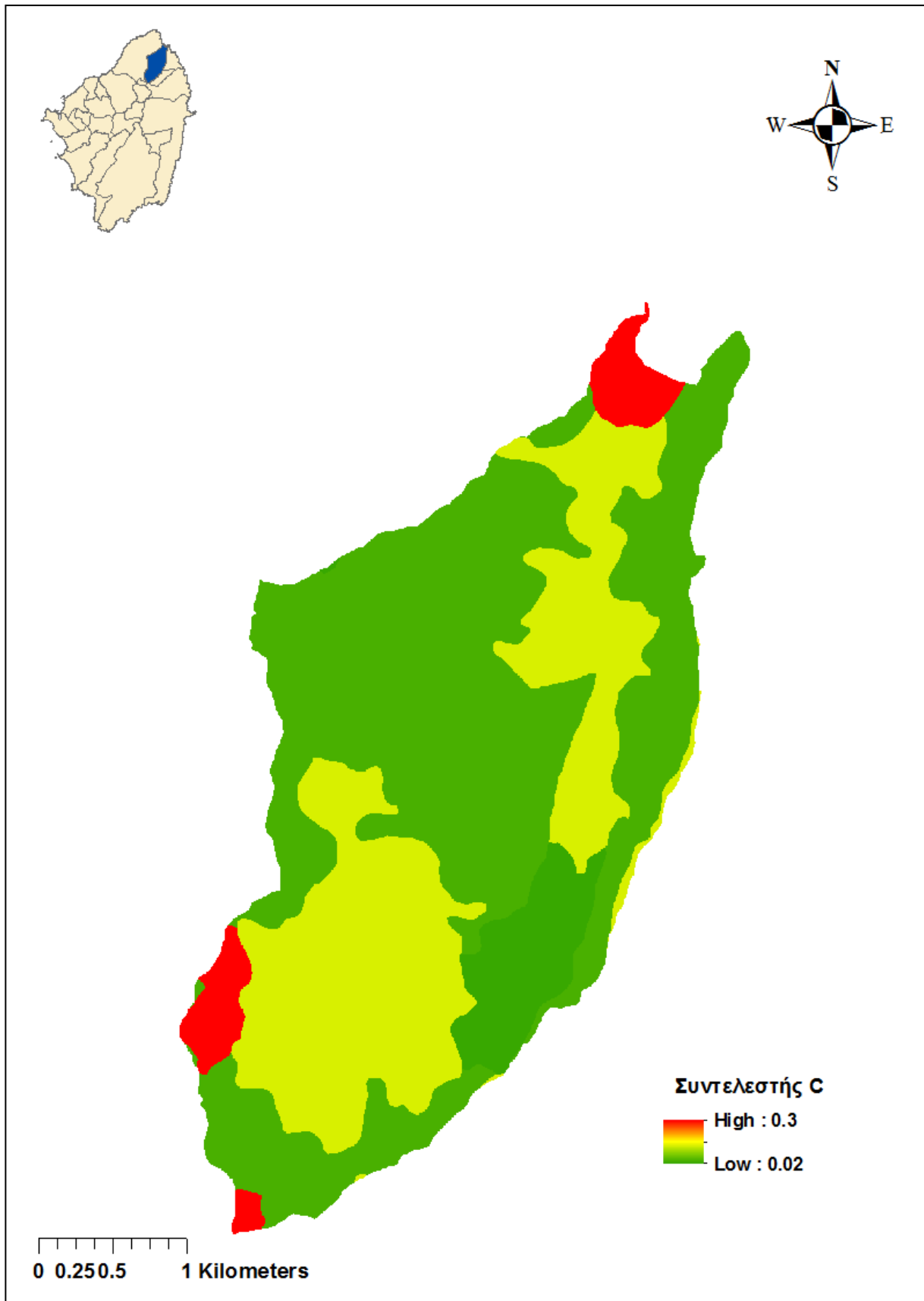
Ο συντελεστής C υπολογίζεται από τα δεδομένα Corine2012. Σε κάθε τριψήφιο κωδικό αντιστοιχίζεται και μία τιμή βάση βιβλιογραφικών αναφορών (Βαχαβιώλος 2014, Ευθυμίου 2016), σύμφωνα με τον πίνακα 39. Ο υπολογισμός γίνεται με εισαγωγή των τιμών αυτών στο πίνακα (Attribute table) του Corine2012, μέσω του ArcGIS. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 40.

Πίνακας 39 Τιμές συντελεστή C

Τιμές συντελεστή C		
Κωδικοποίηση Corine	Χρήση γης	C
242	Σύνθετες καλλιεργειες	0.26
243	Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις δασικής βλάστησης	0.1
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.3
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.03
324	Μεταβατικές θαμνώδεις-δασώδεις εκτάσεις	0.02

Πίνακας 40 Μέση τιμή συντελεστή C

Συντελεστής C	
Υπολογισμός	ESDAC (2015)
0.0644	0.0814



Σχήμα 50 Κατανομή συντελεστή C (ίδια επεξεργασία)

7.1.1.5 Συντελεστής P

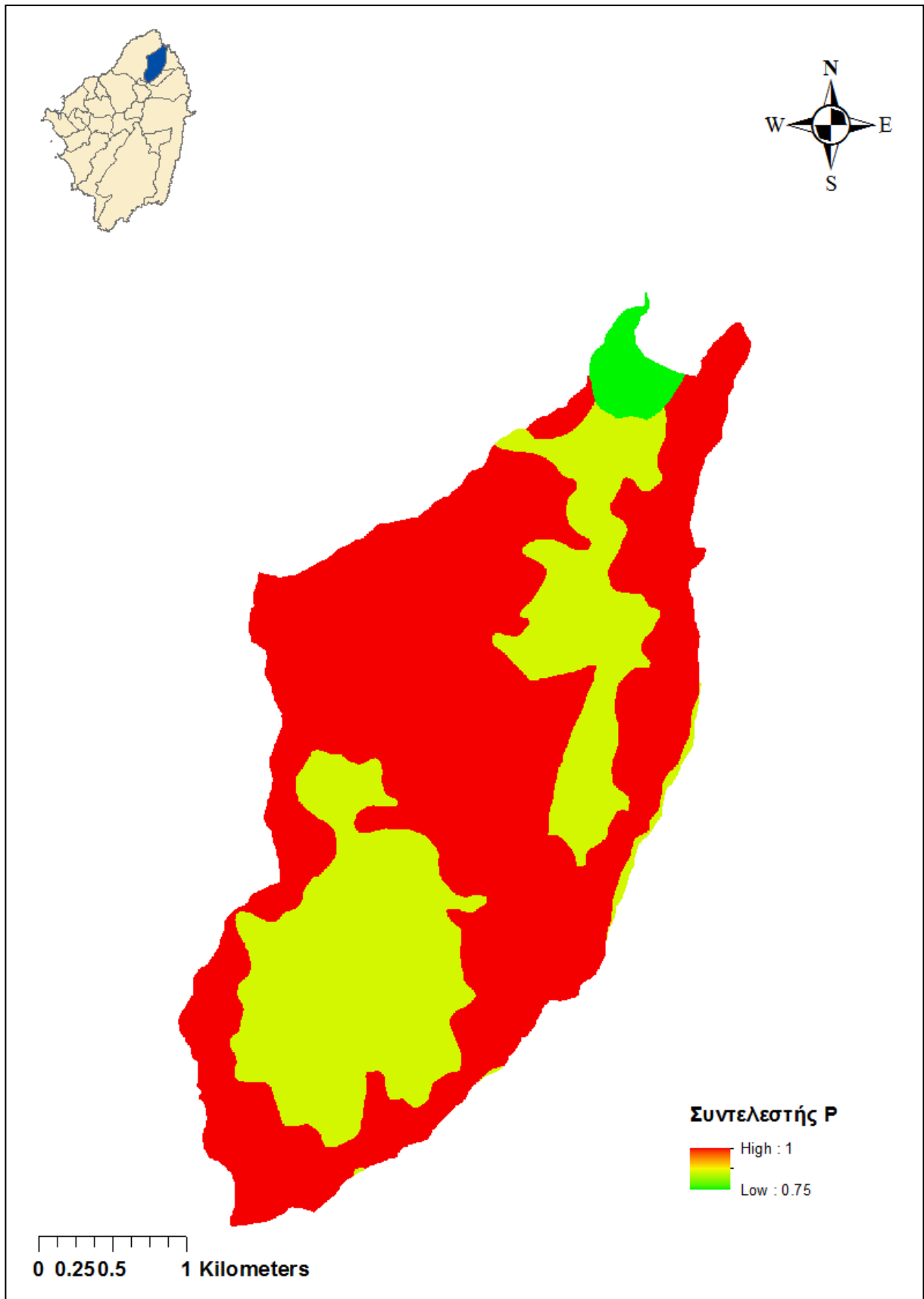
Ο συντελεστής P, υπολογίζεται κατ' αντίστοιχο τρόπο με τον συντελεστή C, από τα δεδομένα Corine2012 με αντιστοίχιση κατάλληλης με τις αντιδιαβρωτικές πρακτικές της καλλιέργειας τιμή, σύμφωνα με τον πίνακα 41. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 42.

Πίνακας 41 Τιμές συντελεστή P

Τιμές συντελεστή P		
Κωδικοποίηση Corine	Χρήση γης	p
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.7
243	Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις δασικής βλάστησης	0.8
321	Φυσικοί βοσκότοποι	1
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	1
324	Μεταβατικές θαμνώδεις-δασώδεις εκτάσεις	1

Πίνακας 42 Μέση τιμή συντελεστή P

Συντελεστής P	
Υπολογισμός	ESDAC (2015)
0.944	0.6



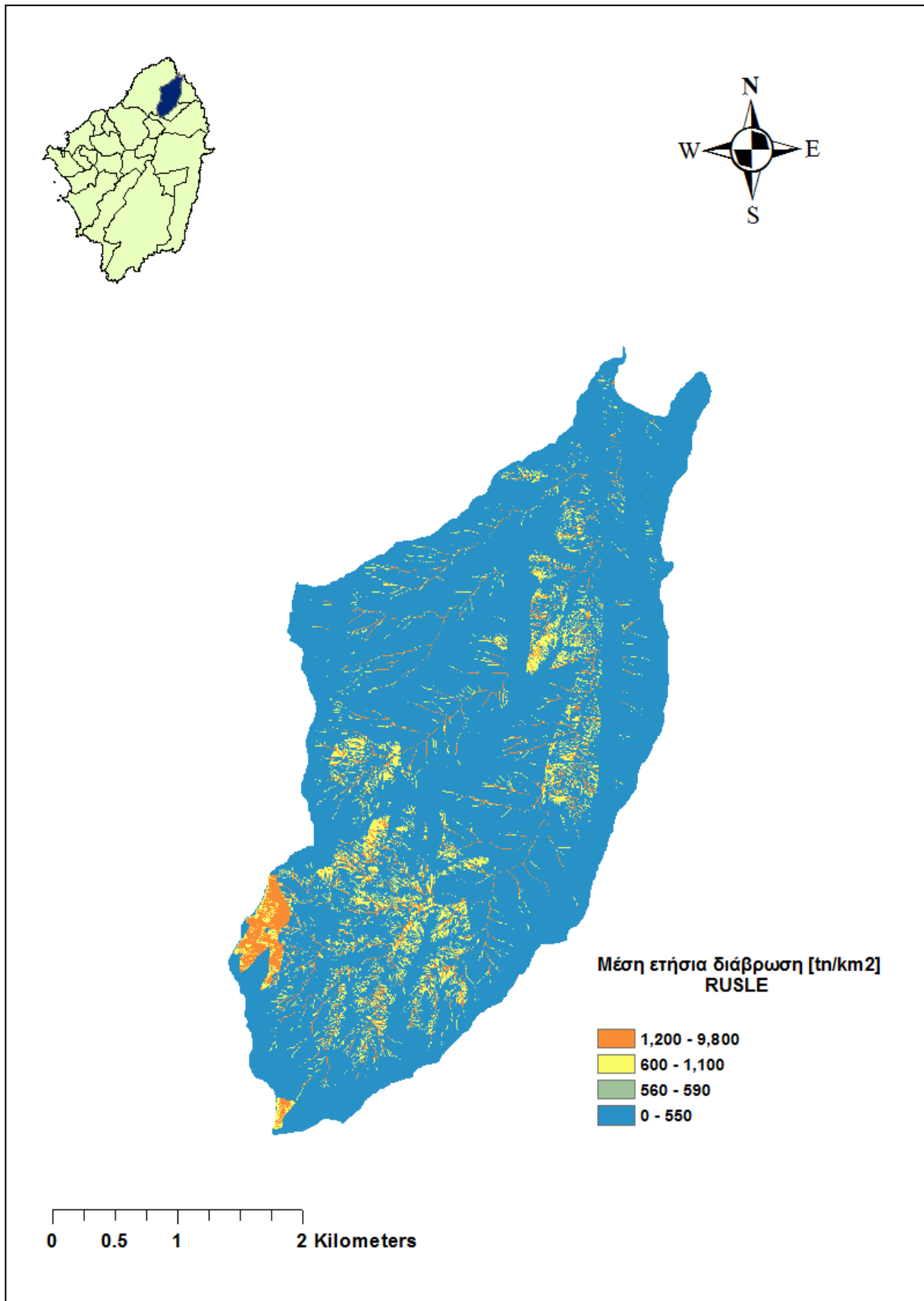
Σχήμα 51 Κατανομή συντελεστή P (ίδια επεξεργασία)

7.1.2 Αποτελέσματα μεθόδου RUSLE

Με βάση τις μέσες τιμές των συντελεστών, υπολογίζεται η τιμή της μέσης διάβρωσης της λεκάνης (η πράξη του πολλαπλασιασμού γίνεται μέσω του εργαλείου “Raster Calculator” του ArcGIS) ανά έτος και συγκρίνεται με την αντίστοιχη τιμή που υπολογίζεται από τα δεδομένα ESDAC. Τα αποτελέσματα αναγράφονται στον πίνακα 43.

Πίνακας 43 Μέση ετήσια διάβρωση

Μέση διάβρωση λεκάνης Κορωνίδας [tn/Km²/year]	
Υπολογισμός	ESDAC (2015)
333.48	508.57



Σχήμα 52 Μέση ετήσια διάβρωση – RUSLE (Ίδια επεξεργασία)

7.1.3 Σχολιασμός επί των αποτελεσμάτων κατά την εφαρμογή της μεθόδου

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου, όσον αφορά τις διαφοροποιήσεις από τα δεδομένα ESDAC είναι :

- Το DEM της περιοχής μελέτης είναι σε ανάλυση 5X5 m, ενώ τα αντίστοιχα δεδομένα ESDAC είναι σε αναλύσεις 100x100 και άνω.
- Η διαφορά της τιμής του συντελεστή R μεταξύ του αναλυτικού υπολογισμού και των δεδομένων ESDAC, οφείλεται στο γεγονός ότι ο ESDAC, χρησιμοποιεί βροχομετρικά δεδομένα που προέρχονται από την πόλη της Νάξου και όχι από την περιοχή μελέτης (χρονοσειρά ημερήσιας βροχόπτωσης-EMY) (Panagos et. al., 2015).
- Η μεθοδολογία υπολογισμού των τιμών των λοιπών συντελεστών, διαφοροποιείται από την μεθοδολογία του ESDAC.Επειδή γενικά ο ESDAC κάνει υπολογισμούς σε επίπεδο Κρατών και Ευρώπης, είναι αναμενόμενο να υπάρχουν διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα υπολογισμού.
- Η τάξη μεγέθους της ετήσιας εδαφικής διάβρωσης που υπολογίστηκε είναι η ίδια με αυτή που υπολογίζεται από τα δεδομένα ESDAC.

7.2 Εφαρμογή μεθόδου Gavrilovic

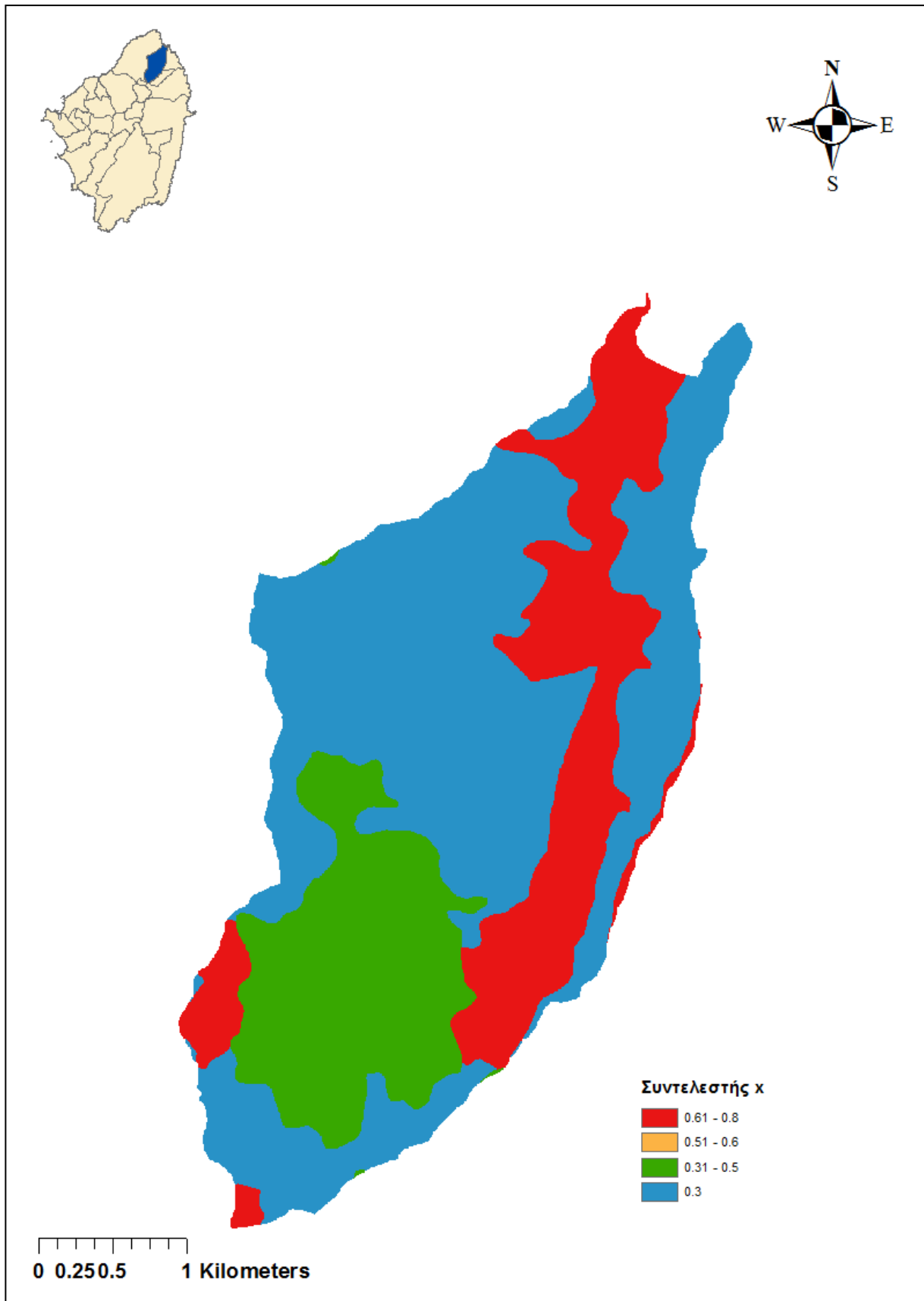
Για τον υπολογισμό της εδαφικής διάβρωσης με την μέθοδο Gavrilovic, γίνεται χρήση των εξισώσεων (3.14), (3.15), (3.16) και των πινάκων 7,8,9 της παραγράφου 3.5.2. Οι υπολογισμοί γίνονται με χρήση του λογισμικού ArcGIS.

7.2.1 Συντελεστής χ

Ο συντελεστής φυτοκάλυψης χ υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα Corine2012 και αντιστοίχιση σε κάθε τριψήφιο κωδικό μιας τιμής με βάση την βιβλιογραφία (Psilonikos et. al., 2013). σύμφωνα με τον πίνακα 44.

Πίνακας 44 Τιμές συντελεστή χ -Gavrilonic

Τιμές συντελεστή χ		
Κωδικοποίηση Corine	Χρήση γης	χ
242	Σύνθετες καλλιεργειες	0.8
243	Γεωργική γη με σημαντικές εκτάσεις δασικής βλάστησης	0.8
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.6
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.3
324	Μεταβατικές θαμνώδεις- δασώδεις εκτάσεις	0.5



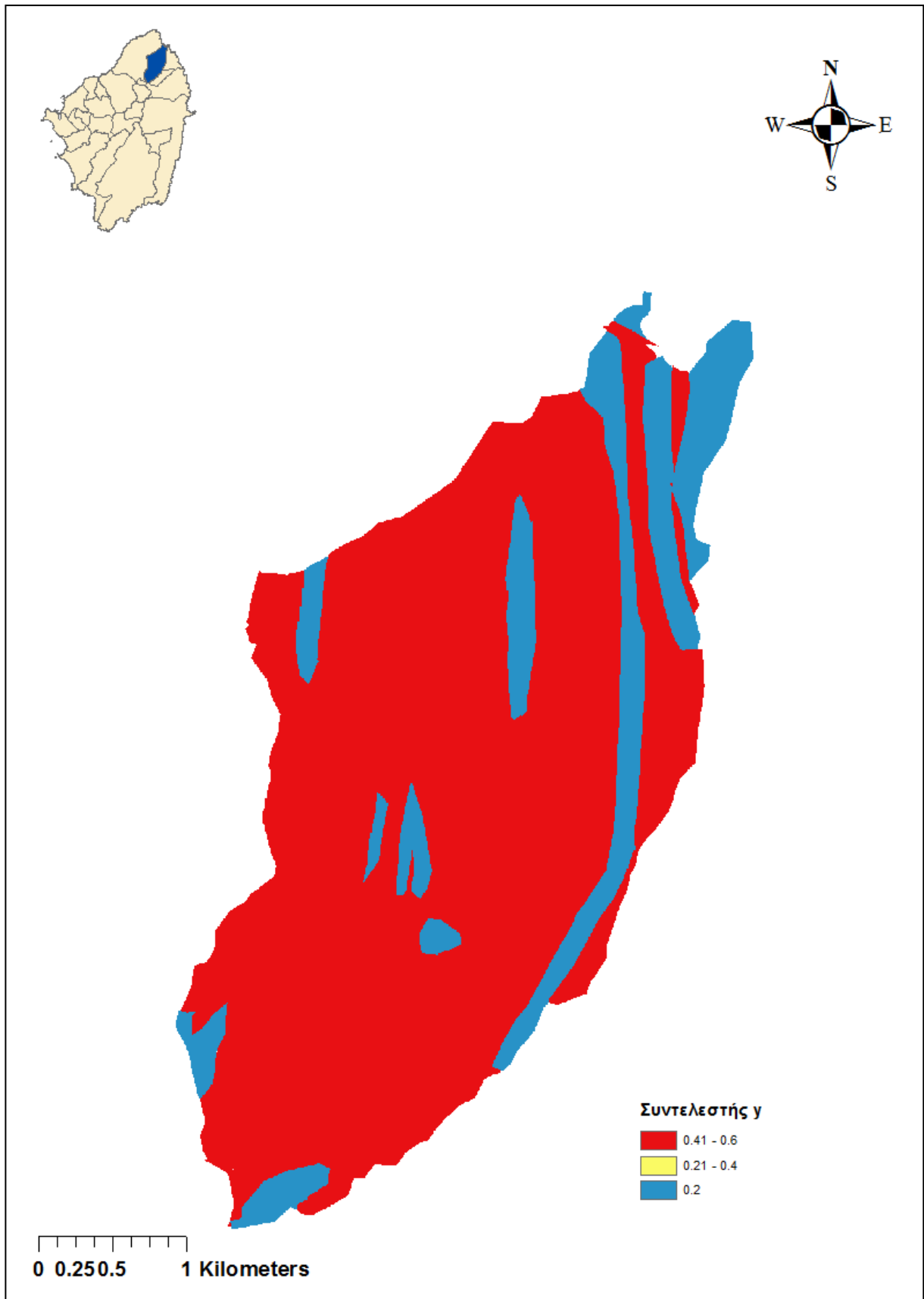
Σχήμα 53 Συντελεστής x (Ίδια επεξεργασία)

7.2.2 Συντελεστής γ

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας υπολογίζεται με βάση τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ και το shapefile που δημιουργήθηκε στην παράγραφο 7.1.1.2. Με βάση την βιβλιογραφία (Dalaris et.al., 2013), για κάθε πέτρωμα αντιστοιχίζεται μία τιμή σύμφωνα με τον πίνακα 45.

Πίνακας 45 Τιμές συντελεστή γ -Gavrilovic

Τιμές συντελεστή γ	
Σχηματισμός	γ
Μάρμαρα	0.20
Αμφιβολίτης	0.40
Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι	0.60
Μεταμορφωμένα υπερβασικά γαβρικά	0.40



Σχήμα 54 Συντελεστής (Ίδια επεξεργασία)

7.2.3 Συντελεστής ϕ

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας λαμβάνει τιμή σύμφωνα με τον πίνακα 9 της παραγράφου 3.5.2 : **$\phi=0.6$** , εφόσον συμβαίνουν αρκετές κατολισθήσεις κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων σε όλο το εύρος της λεκάνης (Εικόνες 24 και 25).



Εικόνα 24 Κατολισθήσεις εντός λεκάνης (Οδικό δίκτυο Κορωνίδας-Απόλλωνα) (Πηγή <http://kykladiki.blogspot.gr>)



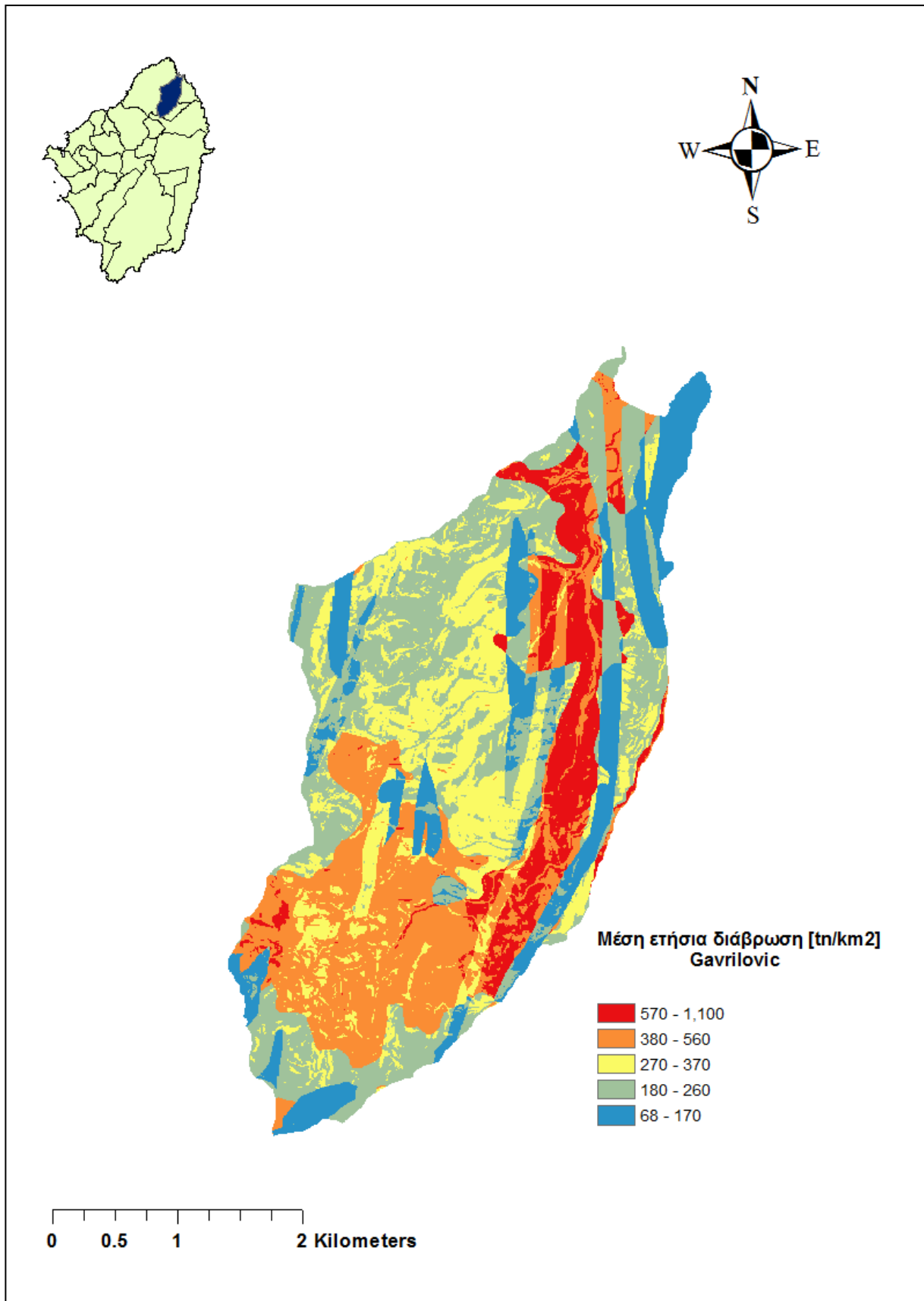
Εικόνα 25 Κατολισθήσεις εντός λεκάνης (Οδικό δίκτυο Κορωνίδας-Απόλλωνα) (Πηγή naxiotypia.gr)

7.2.4 Λοιπά δεδομένα

- Η μέση ετήσια θερμοκρασία υπολογίστηκε από τα κλιματικά δεδομένα της ΕΜΥ : $t_0=17.84^{\circ}\text{C}$ και ο αντίστοιχος συντελεστής προκύπτει **T=1.37**
- Η μέση κλίση υπολογίζεται μέσω του ArcGis
- Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι σύμφωνα με την παράγραφο 6.1.10 **P=682.07 mm**

7.2.5 Αποτελέσματα μεθόδου Gavrilovic

.Η μέση ετήσια εδαφική διάβρωση υπολογίζεται: **A_s=332,70 tn/Km²/year.**



Σχήμα 55 Μέση ετήσια διάβρωση – Gavrilovic (Ίδια επεξεργασία)

7.3 Στερεοαπορροή

Για την εκτίμηση της στερεοαπορροής της λεκάνης θα υπολογιστεί ο δείκτης στερεοαπορροής (SDR) σύμφωνα με την παράγραφο 3.5.3 για την μέθοδο RUSLE και ο αντίστοιχος δείκτης για την μέθοδο Gavrilovic

7.3.1 Εκτίμηση δείκτη SDR μεθόδου RUSLE

Από τις τρεις εξισώσεις της παραγράφου 3.5.3.1, προκύπτουν αντίστοιχα τιμές του SDR και της μέσης στερεοαπορροή της λεκάνης σύμφωνα με τον πίνακα 46.

Πίνακας 46 Τιμές SDR/Μέσης ετήσιας στερεοαπορροής

Τιμές SDR			
A [Km ²]	Renfro	Vanoni	SCS
12.7	0.33	0.31	0.39
Στερεοαπορροή [tn/yr]			
A _s [tn/Km ² /yr]	Renfro	Vanoni	SCS
333.48	1397.61	1312.91	1651.73

Η μέθοδος Renfro έχει καλύτερο δείκτη προσαρμογής ($R^2 \sim 92\%$) (Βαχαβιώλος 2014), γι' αυτό και επιλέγεται για τον υπολογισμό της στερεοαπορροής της λεκάνης. Συμπερασματικά η μέση ετήσια στερεοαπορροή της λεκάνης θα είναι : **S_γ=1397.61 tn/yr.**

7.3.2 Εκτίμηση δείκτη στερεοαπορροής μεθόδου Gavrilovic

Από την σχέση της παραγράφου 3.5.4 προκύπτει ο δείκτης συγκράτησης ιζήματος και η αντίστοιχη στερεοαπορροή σύμφωνα με τον πίνακα 47.

Πίνακας 47 Τιμή δείκτη συγκράτησης Gavrilovic/Μέση ετήσια στερεοαπορροή

Μέση Διάβρωση	Περίμετρος	Μέσο υψόμετρο	Μήκος κύριου υδατορέματος	Συντελεστής συγκράτησης	Μέση στερεοαπορροή
A _s [tn/yr]	O [Km]	D [km]	L [Km]	DR	S _γ [tn/yr]
4225.29	18.26	0.4371	4.2	0.796	3362.55

Η ετήσια στερεοαπορροή που υπολογίζεται από την σχέση Gavrilovic είναι **S_γ=3362.55 tn/yr.**

7.3.3 Εκτίμηση διάβρωσης-στερεοαπορροής με το μοντέλο WaTEM/SEDEM

Ο ESDAC (P. Borelli et. al., 2018) υπολόγισε σε επίπεδο Ευρώπης την διάβρωση και στερεοαπορροή με υψηλής ανάλυσης δεδομένα εδάφους (25X25m). Το μοντέλο εφαρμόζεται σε δύο στάδια :

- Εφαρμογή μεθόδου RUSLE
- Υπολογισμός του ιζήματος που μεταφέρεται από κάθε κελί από τα υψηλότερα ύψη μέχρι τα υδατορέματα, με υπολογισμό της δυνατότητας μεταφοράς (Transport Capacity – TC (Mg/yr) ο οποίος βασίζεται στην κάλυψη-χρήσεις γης και στην τοπογραφία του εδάφους.

Τα δεδομένα διατίθενται σε DEM 100X100m (για λόγους οικονομίας χώρου). Μέσω του ArcGIS υπολογίζεται η η στερεοαπορροή για την περιοχή μελέτης:

Στερεοαπορροή : $S_y=1339.85$ tn/year

7.4 Συζήτηση για την εκτίμηση της διάβρωσης και της στερεοαπορροής της περιοχής μελέτης

Η εκτίμηση διάβρωσης/στερεοαπορροής με το σύνολο των μεθόδων υπολογισμού για την λεκάνη Κορωνίδας φαίνεται συγκεντρωτικά στον πίνακα 48 :

Πίνακας 48 Συγκεντρωτικές τιμές εδαφικής διάβρωσης/στερεοαπορροής

Μέθοδος	Διάβρωση A_s [tn/yr]	Στερεοαπορροή S_y [tn/yr]
Υπολογισμός (RUSLE)	4235.2	1397.61
Υπολογισμός (Gavrilovic)	4225.29	3362.55
ESDAC (RUSLE 2015)	6102.84	—
ESDAC (WaTEM/SEDEM 2018)	—	1339.85

Τα ευρήματα που προκύπτουν είναι τα εξής :

- Υπάρχει σύγκλιση των αποτελεσμάτων ως προς την εκτίμηση της μέσης ετήσιας διάβρωσης της περιοχής μελέτης
- Η χρήση των δεδομένων Corine2012, του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, των αξιόπιστων δεδομένων βροχόπτωσης σε συνδυασμό με την εφαρμογή DEM υψηλής ανάλυσης σε λογισμικό GIS επαύξησε τις δυνατότητες εκτέλεσης υπολογισμών και οδήγησε στην εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

- Η επιλογή των συντελεστών εδαφικής διάβρωσης και φυτοκάλυψης τόσο στην μέθοδο RUSLE όσο και στην μέθοδο Gavrilovic θεωρείται επιτυχής καθώς ον οδήγησαν σε παραπλήσια αποτελέσματα.
- Ο δείκτης SDR εκτιμάει ότι ένα ποσοστό 30~33% της εδαφικής διάβρωσης μεταφέρεται μέσω του υδρογραφικού δικτύου σε αντίθεση με τον δείκτη συγκράτησης Gavrilovic που το επαυξάνει σε περίπου 80%. Η εν λόγω διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι η μέθοδος Gavrilovic δε λαμβάνει υπόψη την επιφάνεια της λεκάνης, αλλά βασίζεται στην περίμετρο και στο μέσο υψόμετρο της.
- Ο ESDAC μέσω της RUSLE (2015) υπερεκτιμά την εκτίμηση της διάβρωσης σε σύγκριση με το μοντέλο Watem/SEDEM (2018).
- Η τιμή της στερεοαπορροής που εκτιμάει το μοντέλο Watem/SEDEM (2018) συγκλίνει με την τιμή που υπολογίστηκε με RUSLE/Renfro.

8 Εκτίμηση στερεοπαροχής μέσω της πλημμυρικής παροχής – δημιουργία καμπύλων Q_s-Q

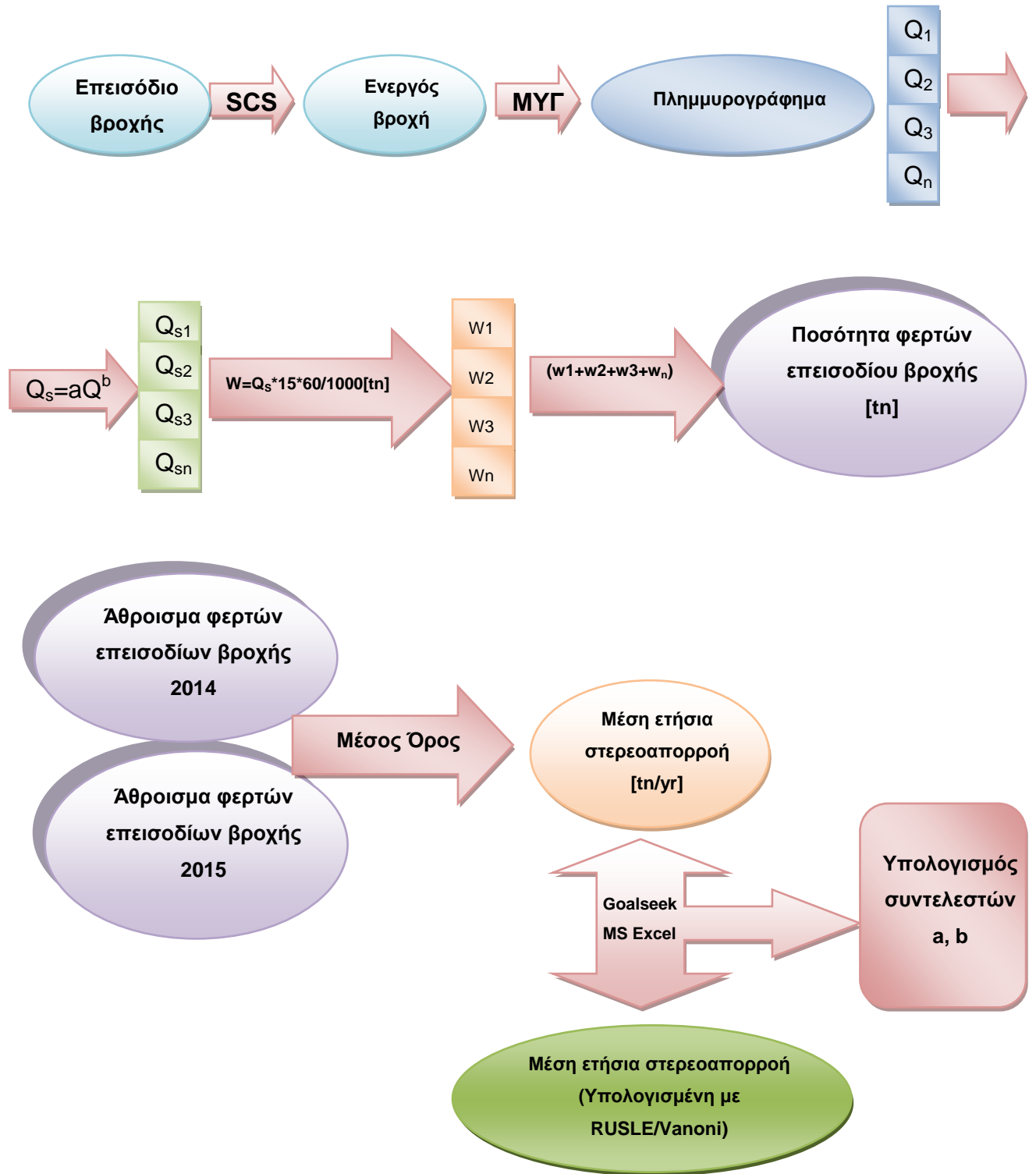
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εκτίμηση της στερεοπαροχής της λεκάνης μέσω της πλημμυρικής παροχής. Για τον σκοπό αυτό και αξιοποιώντας τις χρονοσειρές υψών 10λεπτης βροχόπτωσης και του ΜΥΓ της λεκάνης που προσδιορίστηκε στην παράγραφο 6.1.8, θα εκτιμηθούν οι συντελεστές a , b της σχέσης $Q_s=aQ^b$.

8.1 Μεθοδολογία-παραδοχές

Η μεθοδολογία που ακολουθείται, βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές :

- Η μέση ετήσια στερεοαπορροή λαμβάνεται ίση με την τιμή που υπολογίστηκε με τις μεθόδους RUSLE-Renfo στην παράγραφο 7.3.1 **$S_y=1397.61$ tn/yr.**
- Η στερεοπαροχή αφορά το συνολικό φορτίο (Απόπλυσης και κοίτης).
- Για τα έτη 2014 και 2015, επιλέχθηκαν όλα τα επεισόδια βροχής και υπολογίστηκε για το καθένα από αυτά η ενεργός βροχόπτωση με μέθοδο SCS.
- Από το παραπάνω βήμα απομονώθηκαν 20 και 19 επεισόδια ενεργού βροχής για το 2014 και 2015 αντίστοιχα.
- Σε κάθε ένα από τα επεισόδια ενεργού βροχόπτωσης εφαρμόστηκε το ΜΥΓ και υπολογίστηκε το αντίστοιχο πλημμυρικό επεισόδιο.
- Σε κάθε πλημμυρικό επεισόδιο εφαρμόζεται η εκθετική σχέση υπολογισμού της στερεοπαροχής με αρχικές τυχαίες τιμές $a=0.0001$ και $b=3$. Από αυτήν υπολογίστηκε το αντίστοιχο βάρος φερτών (W ([Kg]= Q_s [Kg/sec]*15*60 [sec]), για το αντίστοιχο 15λεπτο στο οποίο αντιστοιχεί η πλημμυρική παροχή.
- Το βάρος του ιζήματος που υπολογίζεται για κάθε πλημμυρικό επεισόδιο αθροίζεται και υπολογίζεται το συνολικό βάρος του ιζήματος που μεταφέρθηκε στα έτη 2014 και 2015 αντίστοιχα.
- Υπολογίζεται ο μέσος όρος των ετών 2014 και 2015. Εφαρμόζεται το εργαλείο “Goal seek” του MS Excel ώστε ο εν λόγω μέσος όρος να είναι ίσος με **$S_y=1397.61$ tn/yr** με αλλαγή της μεταβλητής b και υπολογισμό της μεταβλητής a από την εξίσωση **$b=1.2335-0.4041*\log a$** (Μιμίκου 2006).
- Οι υπολογισμοί αφορούν την υγρή περίοδο.

Η ανωτέρω μεθοδολογία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στο διάγραμμα ροής του σχήματος 56.

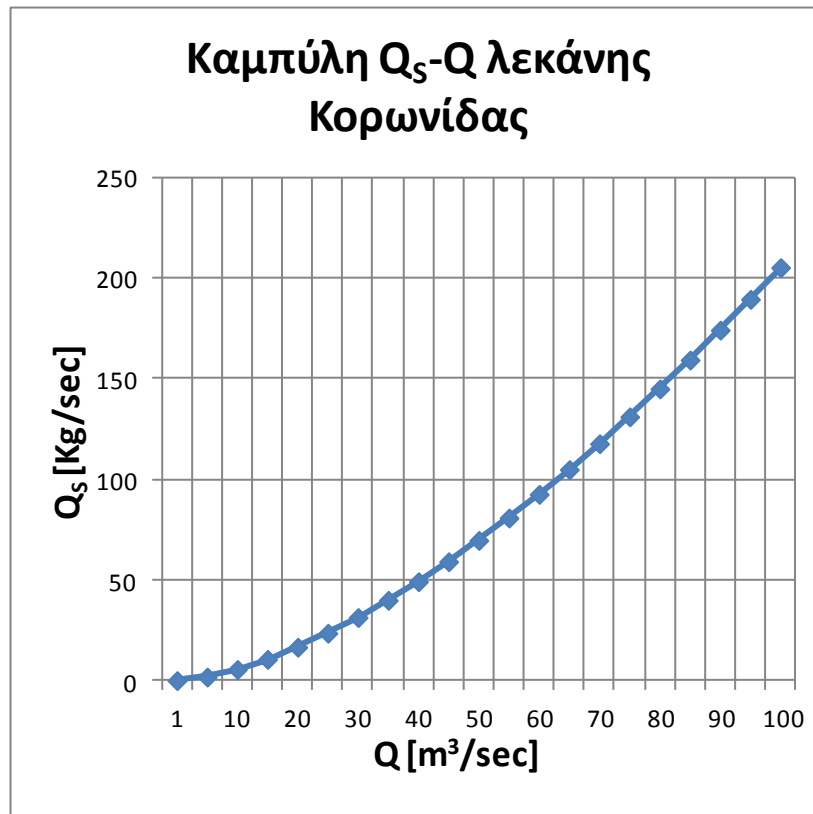


Σχήμα 56 Διάγραμμα ροής μεθόδου υπολογισμού συντελεστών a, b καμπύλης Q_s-Q

8.2 Αποτελέσματα-Συζήτηση

Η εφαρμογή του ΜΥΓ στα επεισόδια ενεργού βροχόπτωσης και η χρήση του εργαλείου “Goal Seek” του MS Excel, δίνουν τιμές μεταβλητών :

$$a=0.158, b=1.557$$



Σχήμα 57 Καμπύλη Στερεοπαροχής-παροχής (Ίδια επεξεργασία)

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την δημιουργία της καμπύλης είναι τα ακόλουθα :

1. Η μορφή της καμπύλης ακολουθεί την μορφή των καμπυλών αυτού του είδους.
2. Ο συντελεστής b είναι εκτός του εύρους 2.5-3.5 που έχει καθοριστεί για την Ελλάδα.
3. Ο συντελεστής a είναι εκτός του εύρους των εν ισχύ μεθοδολογιών (Ενιαία έκφραση δύναμης κ.α. (Ευθυμίου. 2016).

9 Συμπεράσματα-προτάσεις

9.1 Γενικά συμπεράσματα

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θεωρείται ότι επιτεύχθηκε ο αντικειμενικός σκοπός της εκτίμησης της πλημμυρικής παροχής αιχμής και της στερεοαπορροής της λεκάνης Κορωνίδας Νάξου σε επίπεδο τεχνικής μελέτης. Καταλύτης αυτής της προσπάθειας ήταν η ύπαρξη χρονοσειρών δεκάλεπτης βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης, που αποτέλεσαν την βάση για την επέκταση του φάσματος των υπολογισμών με αποτέλεσμα τη δημιουργία όμβριων καμπυλών και την εκτέλεση στοχαστικών προσομοιώσεων. Τα δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους και τα εξειδικευμένα λογισμικά συνέβαλαν σε εξειδικευμένους υπολογισμού υδρολογικής ανάλυσης και εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης και στερεοαπορροής.

Από την άλλη πλευρά, η έλλειψη εδαφικών μετρήσεων, οδήγησε στην εκτίμηση των συντελεστών μεθόδων εδαφικής διάβρωσης με βάση το υπάρχον γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής και στην αντιστοίχιση τους με τιμές που αναγράφονται στην ισχύουσα βιβλιογραφία. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα ESDAC αποτέλεσαν σαφή οδηγό και βάση αναφοράς για την σύγκρισή τους με τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

9.2 Ειδικά συμπεράσματα

Τα ειδικά συμπεράσματα αφορούν τα αποτελέσματα των επιμέρους αναλύσεων και είναι τα ακόλουθα :

1. Ο χρόνος συρροής της λεκάνης εκτιμάται σε 1.26 h με μέθοδο Giandotti. Λοιπές μέθοδοι (Kiprich, Passini), δίνουν μεγάλες παροχές αιχμής που αποκλίνουν σημαντικά από τις αντίστοιχες παροχές που προκύπτουν με εφαρμογή ΜΥΓ,
2. Η πλημμυρική παροχή αιχμής της λεκάνης απορροής Κορωνίδας, αντιπροσωπεύεται ορθότερα από το συνδυασμό ΜΥΓ-Όμβριας καμπύλης-Μεθόδου SCS σε σχέση με την ορθολογική μέθοδο (εκτίμηση συνολικού συντελεστή απορροής της λεκάνης. Η ορθολογική μέθοδος υπερεκτιμά την παροχή αιχμής κατά 25-30% περίπου.
3. Οι όμβριες καμπύλες, που υπολογίστηκαν από την προδιαγραφή του ΥΠΕΚΑ, δεν ισχύουν για την περιοχή μελέτης. Η ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων του δικτύου NOANN (meteo.gr), έδειξε ότι ακολουθούν κατανομή Log Pearson III, η οποία χρήζει μελλοντικής διερεύνησης με την ύπαρξη ικανού

αριθμού διαθέσιμων ετήσιων βροχομετρικών δεδομένων δεκαλέπτου, για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

4. Τα δεδομένα χρήσεων γης Corine2012 χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σε σημαντικό αριθμό εξισώσεων καταδεικνύοντας τον βαθμό σημασία τους.
5. Τα αποτελέσματα εκτίμησης της μέσης ετήσιας εδαφικής διάβρωσης και της αντίστοιχης στερεοαπορροής της λεκάνης Κορωνίδας, με την εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων υπολογισμού συγκλίνουν σε μία τάξη μεγέθους, γεγονός που επιβεβαιώνουν και τα δεδομένα ESDAC.
6. Η καμπύλη στερεοπαροχής-παροχής που υπολογίστηκε, χρήζει περαιτέρω διερεύνησης καθόσον λόγω της μικρή χρονική διάρκεια καταγραφής δεδομένων βροχής δεκαλέπτου.

9.3 Προτάσεις

Οι προτάσεις προκύπτουν ως απόρροια της έλλειψης ικανού αριθμού δεδομένων της περιοχής μελέτης και ως εκ τούτου επικεντρώνονται πρωτίστως σε τεχνικό επίπεδο. Από την άλλη πλευρά η επίδραση της λεκάνης απορροής στην πρόσχωση του πυθμένα του όρμου του Απόλλωνα και στις κατ' επέκταση κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις αυτής, με την αναστολή, κυρίως, της κατασκευής αλιευτικού καταφυγίου, συνιστά στην υιοθέτηση επιπρόσθετων μεθόδων ανάλυσης (υδρολογικής-εδαφικής) προκειμένου να ερμηνευτεί πλήρως το εν λόγω ακτομηχανικό φαινόμενο. Με βάση τα ανωτέρω οι προτάσεις της εργασίας ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες :

- Προτάσεις σε τεχνικό επίπεδο
 - Τοποθέτηση μετεωρολογικού σταθμού στην κοινότητα Κορωνίδας για λήψη αξιόπιστων δεδομένων βροχόπτωσης στην λεκάνη απορροής.
 - Τοποθέτηση σταθμήμετρου /παροχόμετρου στην έξοδο της λεκάνης απορροής για την καταγραφή της στάθμης του χείμαρρου και της παροχής του και δημιουργία χρονοσειρών παροχής.
 - Επιτόπια μέτρηση στερεοφορτίου κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων και δημιουργία βάσης δεδομένων στερεοπαροχής.
 - Λήψη εδαφικών δειγμάτων στο σύνολο της λεκάνης για τον λεπτομερή καθορισμό της σύστασης του εδάφους και την προσαρμογή των συντελεστών εκτίμησης εδαφικής διάβρωσης των μεθόδων RUSLE και GAVRILOVIC.
- Προτάσεις σε επίπεδο μεθοδολογίας

- Τοπογραφική επανεκτίμηση των χρήσεων γης της λεκάνης ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των καλλιεργειών με αναβαθμούς που δρουν ανασχετικά στην εδαφική διάβρωση.
- Εφαρμογή υδρολογικού ομοιώματος (π.χ. Stanford) στη λεκάνη απορροής, με πρότερη εξασφάλιση του συνόλου των απαιτούμενων παραμέτρων για την εφαρμογή του,
- Εφαρμογή στοχαστικών μοντέλων εκτίμησης της εδαφικής διάβρωσης και στερεομεταφοράς της λεκάνης (π.χ. CREAMS) της λεκάνης.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

1. Βαφειάδης Μ. (2000). Εισαγωγή στην Επιφανειακή Υδρολογία
2. Βαφειάδης Μ. (2004). Σημειώσεις υδρογραφήματα. ΤΥΤΠ-ΑΠΘ, 2004
3. Βαχαβιώλος Θ. (2014). Εκτίμηση εδαφικής διάβρωσης, στερεοαπορροής και αποθέσεων ταμιευτήρα από εμπειρικές μεθόδους με έμφαση στην επίδραση της βροχόπτωσης. Μεταπτυχιακή εργασία. ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2014
4. Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2012). Εισαγωγή στα υδρογραφήματα, Διαφάνειες του μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Αθήνα, 2012
5. Ευθυμίου Ν. (2016). Αξιολόγηση μεθοδολογιών κατασκευής καμπύλων παροχής-στερεοπαροχής για την εκτίμηση της στερεοαπορροής. ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΑ (2016) 25(2): 27-40, Αθήνα, 2016
6. Ευθυμίου Ν. (2016). Ανάπτυξη στρατηγικών για την ποσοτική εκτίμηση της στερεοαπορροής από την υδατική διάβρωση με τη χρήση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων σε ορεινές υδρολογικές λεκάνες. Διδακτορική διατριβή. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2016
7. Ευστρατιάδης Α. (2011). Σημειώσεις υδρολογίας πλημμυρών και σχεδιασμού έργων αποχέτευσης όμβριων, ΣΤΕΑΜΧ, Αθήνα, 2011
8. Κουδούνη Α. (2006), Τα ρέματα στο σχεδιασμό του αστικού χώρου. Σπουδαστική εργασία. ΔΠΜΣ Αρχιτεκτονική και σχεδιασμός του χώρου, ΕΜΠ, Αθήνα, 2006
9. Κορρές Ε. (2016). Ακτομηχανική μελέτη παραλίας Απόλλωνα Νάξου-Εργασία μαθήματος Ακτομηχανική 8ου εξαμήνου, ΕΜΠ, Αθήνα, 2016
10. Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (1999). Τεχνική Υδρολογία. Σημειώσεις μαθήματος, Έκδοση 3, ΕΜΠ, Αθήνα
11. Κουτσογιάννης. Σημειώσεις μαθήματος Στοχαστικές μέθοδοι στους Υδατικούς Πόρους
12. Λεβογιάννης Ν. (1996). ΚΩΜΙΑΚΗ, ΤΟΠΟΥ ΧΡΩΜΑΤΑ- ΑΝΤΙΘΕΣΕΩΝ ΑΡΜΟΝΙΑ τόμος Α', ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΑΠΟΛΛΟΝΙΑΤΩΝ ΝΑΞΟΥ, Αθήνα, 1996

13. Λουκάς Α. (2017) Ανοικτά ακαδημαϊκά μαθήματα στο πανεπιστήμιο Θεσσαλίας-Υδρολογία, Τμήμα Πολιτικών μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
14. Λουπασάκης Κ. (2013). Σημειώσεις διαλέξεων μαθήματος Εδαφομηχανική και Στοιχεία Θεμελιώσεων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2013
15. Μαμάσης Ν. (2007α). Γεωμορφολογία και Απορροή. Εφαρμογές με τη χρήση ΣΓΠ. Σημειώσεις μαθήματος Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα. ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα, 2007
16. Μαρής Φ.Π. Σημειώσεις μαθήματος Διευθέτηση Ορεινών Υδάτων Ι. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Φυσικών Πόρων, ΔΠΘ
17. Μιμίκου, Μ.Α. και Ε.Α. Μπαλτάς (2012). Τεχνική Υδρολογία, 5η Έκδοση, 2012
18. Μιμίκου, Μ.Α. (2006). Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, 3η Έκδοση
19. Ξανθάκης Μ. (2011) Η μελέτη της εδαφικής διάβρωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής με σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία. Διδακτορική διατριβή, ΧΠΑ, Αθήνα 2011
20. Παπουτσάκης Ε. (2016). 14ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας Χαρτογραφική Επιστημονική Εταιρεία Ελλάδας Θεσσαλονίκη 2-4 Νοεμβρίου 2016
21. Παναγούλια Δ. και Δήμου Γ. (2005). Διάβρωση, μεταφορά και απόθεση φερτών υλών. Σημειώσεις μαθήματος, ΕΜΠ, Αθήνα, 2005.
22. Παναγούλια Δ. και Ζαρρής Ζ. (2010). Διάβρωση, μεταφορά και απόθεση φερτών υλών. Παρουσίαση μαθήματος, ΕΜΠ, Αθήνα, 2010
23. Παπάζογλου Π. (2009). Εκτίμηση του βαθμού διάβρωσης στη λεκάνη του Ανθεμούντα. Δράση του έργου LIFE07/ENV/GR/000278, 2009
24. Παρούση Μ., Γιαγγούλη Α., Βασιλείου Α., Μαρής Φ. (2010). Εκτίμηση της διάβρωσης των λεκανών της νήσου Λευκάδας. 20η συνάντηση χρηστών GIS. Αθήνα, 2010
25. Στεφανίδης Π. (2009). Ορεινή Υδρονομική Ι (Διευθετήσεις Ορεινών Υδάτων Ι). Σημειώσεις μαθήματος, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη 2009.
26. ΥΠΕΚΑ Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2016). Κατάρτιση όμβριων καμπυλών σε επίπεδο χώρας-Εφαρμογή οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Αθήνα, 2016
27. ΥΠΕΧΩΔΕ (2002). ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ Τεύχος 8, Αθήνα, 2002

Ξενόγλωσση

1. Bathrellos, Skilodimou, & Chousianitis (2010). Soil erosion assesment in Southern Evia island using USLE and GIS. Bulletin of the Geological Society of Greece, 43, 1572-1581

2. Borrelli, P., Van Oost, K., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., Panagos, P. 2018. A step towards a holistic assessment of soil degradation in Europe: Coupling on-site erosion with sediment transfer and carbon fluxes. *Environmental Research*, 161: 291-298.
3. Brown, L.C. and Foster, G.R. (1987) Storm Erosivity Using Idealized Intensity Distribution. *Transactions of the ASAE*, 30, 379-386.
4. Dalaris, M., Psilovikos, A., Sapoyntzis, M., Mourztios, P. (Water assesment in Skiathos island using the Gavrilovic method. *FEB/ Vol 22/ No 10/ 2013 – pages 2943 – 2952*
5. Desmet, P. and Grovers, G. (1996) A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 427 – 433.
6. Gavrilovic Z. (1988), The use of 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*. John Wiley & Sons, Chichester, p. 411–422.
7. K. Lagouvardos, V. Kotroni, A. Bezes, I. Koletsis, T. Kopania, S. Lykoudis, N. Mazarakis, K. Papagiannaki, S. Vougioukas. 2017. The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database. *Geoscience Data Journal*. Volume 4, Issue 1 June 2017 Pages 4–16 [10.1002/gdj3.44](https://doi.org/10.1002/gdj3.44)
8. McCool, D.K., L.C. Brown, G.R. Foster, et al. 1987. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Trans. ASAE* 30:1987-1396
9. Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymaszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Sci Total Environ*. 511: 801-814. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.01.008](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008)
10. Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., Alewell, C. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS, *Science of Total Environment*, 479–480 (2014) pp. 189–200
11. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K. (2015) A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, 5: 117-126.

12. Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, C., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L., 2015. Estimating the soil erosion cover-management factor at European scale. *Land Use policy journal*. 48C, 38-50
13. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, .C. 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 54: 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012
14. Stefanidis P., Kalinderis A. (2008). Soil erosion estimation through GIS techniques-The Gavrilovic model. Aristotele University of Thessaloniki, Thessaloniki, 2008
15. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook 537. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Διαδίκτυο

1. <http://www.dynsystem.com/NetSTORM/>
2. <http://www.emy.gr/emyl/el/>
3. <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/datasets>
4. <http://hydrognomon.org/>
5. http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/rsens/rs/corine_nomenclature_el.pdf
6. <http://www.meteo.gr/>
7. <http://slideplayer.com/slide/5687688/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΕΝΤΟΛΕΣ ARCGIS

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ DEM ΛΕΚΑΝΗΣ			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
Αρχεία DEM ΕΜΠ	ΕΝΩΣΗ ΤΩΝ ΑΡΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΝΙΑΙΟ DEM	ARC TOOLBOX->DATA MANAGEMENT TOOLS->RASTER DATASET->MOSAIC TO NEW RASTER	RASTER DEM
1.Dataset "ΟΡΙΑ δήμων Καλλικράτης" (http://geodata.gov.gr/dataset/oria-demon-kallikrates) (SHAPE FILE) 2.RASTER DEM	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	EDIT FEATURES-> START EDITING TO SHAPEFILE ΒΑΣΗ ΤΟΥ RASTER	SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ
SHAPE FILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ DEM ΛΕΚΑΝΗΣ	ARC TOOL BOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->EXTRACTION->EXTRACT BY MASK	RASTER DEM ΛΕΚΑΝΗΣ
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ SHAPEFILE ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
---	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΕΝΟΥ SHAPEFILE ΜΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARCCATALOG	---	ΚΕΝΟ SHAPEFILE
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΙΓΜΕ	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΠΟΛΥΓΩΝΩΝ ΣΤΟ ΚΕΝΟ SHAPEFILE ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ (ΜΕΤΑΤΡΟΦΗ ΚΕΝΟΥ SHAPEFILE)	EDIT FEATURES-> START EDITING->EDITING TOOLS	GEO_SHAPE
GEO_SHAPE	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΟΝΟΜΑΣΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ, ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ Κ (RUSLE),ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ γ (GAVRILOVIC)	ATTRIBUTE TABLE->ADD FIELD->ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3 ΠΕΔΙΩΝ (FIELDS) (ΕΝΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ)	GEO_SHAPE
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ SHAPEFILE CORINE			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
CORINE SHAPEFILE (http://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000)	ΜΕΤΑΤΡΟΦΗ ΣΕ RASTER	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->FEATURE TO RASTER (VALUE GRIDCODE) ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM	CORINE_RASTER
1.CORINE RASTER 2.SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΜΕΤΑΤΡΟΦΗ ΣΕ RASTER ΛΕΚΑΝΗΣ	ARC TOOL BOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->EXTRACTION->EXTRACT BY MASK	CORINE_RASTER_ΛΕΚΑΝΗΣ
CORINE_RASTER_ΛΕΚΑΝΗΣ	ΜΕΤΑΤΡΟΦΗ ΣΕ SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->FROM RASTER->RASTER TO POLYGON	CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ (GRIDCODE)
CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ (GRIDCODE)	ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ CNII (SCS), C,P (RUSLE), C2 (ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ). χ (GAVRILOVIC)	ATTRIBUTE TABLE->ADD FIELD->ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 6 ΠΕΔΙΩΝ (FIELDS) (ΕΝΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ)	CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΥΓ

Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
RASTER DEM ΛΕΚΑΝΗΣ	SINK	HEC-geoHMS->Preprocessing->fill sinks	RASTER SINK
RASTER SINK	FLOW DIRECTION	HEC-geoHMS->Preprocessing->flow direction	RASTER FLOW DIRECTION
RASTER FLOW DIRECTION	FLOW ACCUMULATION	HEC-geoHMS->Preprocessing->flow accumulation	RASTER FLOW ACCUMULATION
RASTER DEM ΛΕΚΑΝΗΣ	SLOPE PERCENTAGE	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->SURFACE->SLOPE (PERCENTAGE)	RASTER SLOPE PERCENTAGE
RASTER SLOPE PERCENTAGE	Sqrt_Slope	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA->RASTER CALCULATOR (RASTER SLOPE/100) ^{0.5}	Sqrt_Slope
CORINE SHAPEFILE (http://geodata.gov.gr/dataset/corine-2000)	ΠΡΟΣΘΗΚΕ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ Κ100	ATTRIBUTE TABLE->ADD FIELD->Κ100 (Συμπληρώνονται οι τιμές Κ που αντιστοιχούν στον τριψήφιο CORINE)	CORINE SHAPEFILE
CORINE SHAPEFILE	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ RASTER	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->FEATURE TO RASTER (VALUE:Κ) ΙΔΙΟ CELLSIZE ME TO DEM	RASTER CORINE
1. RASTER CORINE 2. SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΑΠΟΚΟΠΗ ΣΕ RASTER ΛΕΚΑΝΗΣ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->EXTRACTION->EXTRACT BY MASK	RASTER CORINE ΛΕΚΑΝΗΣ (Κ VALUE)
1. RASTER CORINE ΛΕΚΑΝΗΣ (Κ VALUE) 2. RASTER SLOPE PERCENTAGE	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΧΕΡΣΑΙΑΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ (OFFCHANNEL)	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA->RASTER CALCULATOR->[(RASTER SLOPE PERCENTAGE)/100]*(RASTER CORINE ΛΕΚΑΝΗΣ)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΧΕΡΣΑΙΑΣ ΠΟΗΣ (ΑΡΧΕΙΟ Vh μεταξύ 0-1.4 m/sec)
RASTER FLOW ACCUMULATION	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	RECLASSIFY-ΚΑΤΩΦΛΙ 2000 ΚΕΛΙΑ	RASTER FLOW ACCUMULATION
RASTER FLOW ACCUMULATION	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->RECLASS->RECLASSIFY	RASTER FLOW_ACC_RELASS
1. RASTER FLOW_ACC_RELASS 2. RASTER FLOW DIRECTION	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->HYDROLOGY->STREAM ORDER (STRAHLER, DOWNSTREAM)	RASTER STREAM ORDER
1. RASTER ΧΣΕΡΣΑΙΑΣ ΠΟΗΣ Vh 2. RASTER STREAM ORDER	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ (INCHANNEL)	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA->RASTER CALCULATOR->Vh*(RASTER STREAM ORDER)	RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ INCHANNEL FLOW (Vc)
SHAPE FILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ (ΜΗΔΕΝΙΚΟ SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ)	ATTRIBUTE TABLE->ADD FIELD->Value->0	SHAPE FILE ΛΕΚΑΝΗΣ (value 0)
SHAPE FILE ΛΕΚΑΝΗΣ (value 0)	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->FEATURE TO RASTER (VALUE:Κ) ΙΔΙΟ CELLSIZE ME TO DEM	RASTER ΛΕΚΑΝΗΣ (value 0)
1. RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ INCHANNEL FLOW Vc 2. RASTER ΛΕΚΑΝΗΣ (value 0)	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΤΕΛΙΚΟΥ RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ INCHANNEL ΥΔ	ARC TOOLBOX->DATA MANAGEMENT TOOLS->RASTER DATASET->MOSAIC TO NEW RASTER (OPERATOR :SUM, No BANDS=1, ΙΔΙΟ CELLSIZE)	RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ Υ.Δ.
1. RASTER ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ Υ.Δ. 2. RASTER ΧΣΕΡΣΑΙΑΣ ΠΟΗΣ Vh	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA->RASTER CALCULATOR->Vh+Vc	RASTER ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ Vtot

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΥΓ-ΣΥΝΕΧΕΙΑ

Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
RASTER ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ Vtot	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΚΑΝΑΒΟΥ ΒΑΡΩΝ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->100*(1/Vc) (ΠΟΛΛ/ΜΟΣ ΕΠΙ 10,100,1000 ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΨΗΦΙΑ ΠΟΥ ΕΠΙΘΥΜΟΥΜΕ ΝΑ ΚΡΑΤΗΣΟΥΜΕ)	RASTER ΚΑΝΑΒΟΥ ΒΑΡΩΝ (WEIGHT)
1. RASTER FLOW ACCUMULATION 2. RASTER ΚΑΝΑΒΟΥ ΒΑΡΩΝ (WEIGHT)	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ RASTER ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->HYDROLOGY->FLOWLENGTH (DOWNSTREAM), WEIGHT: RASTER ΚΑΝΑΒΟΥ ΒΑΡΩΝ	RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ
RASTER FLOW LENGTH (ΧΡΟΝΟΣ ΡΟΗΣ)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ ΣΕ hr	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->(RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ)/3600*100	RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ (hr)
RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ (hr)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΚΛΑΣΕΙΣ 15mn	PROPERTIES->CLASSIFY->18 CLASSES	RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ (hr)
RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ (hr)	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ ΚΛΑΣΕΙΣ 15mn	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->RECLASS->RECLASSIFY	RASTER ΧΡΟΝΟΥ ΡΟΗΣ (15 MIN)

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
RASTER SLOPE PERCENTAGE	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C1	PROPERTIES->CLASSIFY (ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ)	RASTER SLOPE PERCENTAGE
RASTER SLOPE PERCENTAGE	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΛΙΣΕΩΝ	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->RECLASS->RECLASSIFY	RASTER SLOPE PERCENTAGE_RECLASS
RASTER SLOPE PERCENTAGE_RECLASS	ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΕΛΙΩΝ ΣΕ ΚΑΘΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΛΙΣΕΩΝ	ATTRIBUTE TABLE	---
CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C2	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYGON TO RASTER (VALUE:C2) ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM	C2_RASTER
CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C3	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYGON TO RASTER (VALUE:C2) ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM	C3_RASTER
RASTER STREAM ORDER	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ (POLYLINE) ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	EDIT FEATURES->START EDITING	RASTER STREAM ORDER
RASTER STREAM ORDER	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ (POLYLINE) ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->FROM RASTER->TO POLYLINE	POLYLINE
POLYLINE	ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΣΕ RASTER	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYLINE TO RASTER ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM	POLYLINE RASTER
POLYLINE RASTER	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ C4	ATTRIBUTE TABLE->ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΚΕΛΙΩΝ ΤΗΣ POLYLINE	---
SCS			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
CORINE_SHAPEFILE ΛΕΚΑΝΗΣ	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ CN	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYGON TO RASTER ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM, (VALUE: CN)	CNII RASTER

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ RUSLE			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
RASTER DEM ΛΕΚΑΝΗΣ	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ b	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->SURFACE->SLOPE PERCENTAGE (DEGREES)	θ (DEGREES) RASTER
θ (DEGREES) RASTER	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ (β)-ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ L	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->(SINθ*0.0174)/0.0896/(0.56+3*(SINθ*0.0174) ^{0.8}) (ΤΟ 0.0174 ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΩΝ ΜΟΙΡΩΝ ΣΕ RAD)	β RASTER
β	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ m-ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ L	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->β/β+1	m RASTER
1.FLOW ACCUMULATION RASTER 2.m RASTER	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ L	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->[(FLOWACCUMULATION+5*5) ^(m+1)]*(FLOWACCUMULATION) ^(m+1) .[(FLOWACCUMULATION) ^(m+2)]*(22.13) ^(m)	L RASTER
FLOW ACCUMULATION RASTER	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ S	ARC TOOLBOX->SPATIAL ANALYST TOOLS->MAP ALGEBRA>RASTER CALCULATOR->ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΧΕΣΗ McCOOL	S_RASTER
1.CORINE SHAPE 2.GEO SHAPE	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ C,P,K	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYGON TO RASTER ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM , (VALUE: ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΟΥ ΕΠΙΘΥΜΟΥΜΕ ΝΑ ΕΞΑΓΟΥΜΕ)	C,P,K RASTERS
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ GAVRILOVIC			
Αρχεία Εισόδου	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Μονοπάτι εντολών	Αρχείο εξόδου
1.CORINE SHAPE 2.GEO SHAPE	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ x,y	ARC TOOLBOX->CONVERSION TOOLS->TO RASTER->POLYGON TO RASTER ΙΔΙΟ CELLSIZE ΜΕ ΤΟ DEM , (VALUE: ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΠΟΥ ΕΠΙΘΥΜΟΥΜΕ ΝΑ ΕΞΑΓΟΥΜΕ)	x,y, RASTERS

