

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑΣ INTERREG V-A ΕΛΛΑΔΑ-ΚΥΠΡΟΣ 2014-2020

BEACHTECH

Παράκτια διάβρωση λόγω κλιματικής αλλαγής: εκτίμηση και τρόποι αποτελεσματικής αντιμετώπισης σε τουριστικές περιοχές του Βορείου Αιγαίου και της Κύπρου

Κωδικός Πράξης: 5050552

Πακέτο Εργασίας 4	Εκτίμηση κινδύνου διάβρωσης στις πιλοτικές παραλίες Λέσβου, Χίου και Κύπρου
Παραδοτέο 4.1.1	Υδρολογική μελέτη λεκανών απορροής πιλοτικών περιοχών έρευνας (Λέσβου, Χίου και Κύπρου)

Κύριος Δικαιούχος Έργου	Πανεπιστήμιο Αιγαίου (ΤΩΘΒΕ-ΠΑ)
Επιστημονικός Υπεύθυνος Παραδοτέου	ΤΩΘΒΕ-ΠΑ
Συμμετέχοντες Φορείς στο Παραδοτέο	ΠΤΑΒΑ, ΤΕΠΑΚ, Δ. Πέγειας
Ομάδα Σύνταξης Παραδοτέου	Σ. Σαχτούρης, Ο. Τζωράκη
Ομάδα Υλοποίησης Παραδοτέου	Ο. Ανδρεάδης, Σ. Σαχτούρης, Ο. Τζωράκη, Μ. Λοϊζίδου, Μ. Ακουρδαλίτη, Δ. Χατζημιτσής, Ι. Κουντουρή, Κ. Παναγιώτου, Γ. Τσαίρης, Α. Καρίνου, Χ. Σάββας
Ημερομηνία	Οκτώβριος 2023
Διαδικτυακή πρόσβαση	http://beachtech.eu

Το παρόν κείμενο δημοσιεύτηκε με τη σύμφωνη γνώμη όλων των φορέων της σύμπραξης "BEACHTECH". Περιέχει υλικό τα δικαιώματα του οποίου ανήκουν στους δικαιούχους της πράξης "BEACHTECH" και το οποίο δεν μπορεί να αναπαραχθεί χωρίς άδεια από την σύμπραξη. Η έρευνα που οδήγησε στα αποτελέσματα του παρόντος κειμένου χρηματοδοτήθηκε από το Πρόγραμμα Συνεργασίας «Interreg V-A Ελλάδα-Κύπρος 2014-2020» (ΕΤΠΑ) και από Εθνικούς πόρους Ελλάδας και Κύπρου.

Η Σύμπραξη του Έργου



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΙΓΑΙΟΥ

Πανεπιστήμιο Αιγαίου



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟ
ΤΑΜΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Περιφερειακό Ταμείο
Ανάπτυξης Βορείου Αιγαίου



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο
Κύπρου



ΔΗΜΟΣ ΠΕΓΕΙΑΣ
MUNICIPALITY OF PEGEIA

Δήμος Πέγειας Κύπρου

ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1	ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	5
1.1.1	Παράκτια τρωτότητα	6
1.1.2	Απώλεια εδάφους και Ιζηματοπαροχής	15
1.1.3	Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής	16
2	ΛΕΣΒΟΣ	17
2.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	18
2.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ	21
2.3	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΡΟΗΣ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	26
2.3.1	Εισαγωγικά στοιχεία	26
2.3.2	Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων	26
2.3.3	Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων	28
2.3.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής	29
2.3.5	Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας	29
2.4	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΡΟΧΗ	31
2.4.1	Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R	31
2.4.2	Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας k	31
2.4.3	Συντελεστής τοπογραφίας LS	32
2.4.4	Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C και P	32
2.4.5	Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων	32
3	ΚΥΠΡΟΣ	35
3.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	35
3.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ	40
3.3	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΡΟΗΣ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	45
3.3.1	Εισαγωγικά στοιχεία	45
3.3.2	Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων	45
3.3.3	Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων	47
3.3.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής	48
3.3.5	Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας	50
3.4	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΡΟΧΗ	52
3.4.1	Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R	52
3.4.2	Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K	52
3.4.3	Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C	53
3.4.4	Συντελεστής πρακτικές διαχείρισης P και συντελεστής τοπογραφίας LS	53
3.4.5	Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων	54
3.5	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΚΟΛΥΜΠΟΥ	56
3.5.1	Λεκάνη Απορροής του Μαυροκόλυμπου	56
3.5.2	Φράγμα Μαυροκόλυμπου	56
3.5.3	Μεθοδολογία και απαραίτητα Δεδομένα για τη Υδρολογική προσομοίωση	57
3.5.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης	61
4	ΧΙΟΣ	63
4.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	64
4.2	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ	69
4.3	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΡΟΗΣ - ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	73
4.3.1	Εισαγωγικά στοιχεία	73
4.3.2	Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων	74
4.3.3	Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων	75
4.3.4	Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής	76
4.3.5	Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας	78
4.4	ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΡΟΧΗ	79
4.4.1	Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R	79
4.4.2	Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας k	79

4.4.3	Συντελεστής τοπογραφίας LS	80
4.4.4	Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C	80
4.4.5	Συντελεστής πρακτικές διαχείρισης P	81
4.4.6	Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων	81
4.5	ΦΡΑΓΜΑ ΚΑΛΑΜΩΤΗΣ – ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΈΚΘΕΣΗΣ	84
4.5.1	Μεθοδολογία	84
4.5.2	Υδρολογική έκθεση.....	85
4.5.3	Γεωτεχνική έκθεση	92
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	97
5.1	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΕΣΒΟΣ	97
5.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΥΠΡΟΣ	101
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	104
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΈΚΤΑΣΗΣ.....	104
6.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΠΑΡΟΧΗΣ.....	105
6.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΜΑΥΡΟΚΟΛΥΜΠΟΥ - ΚΥΠΡΟΣ.....	105
6.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΦΡΑΓΜΑ ΤΟΥ ΚΑΤΡΑΡΗ - ΧΙΟΣ.....	106
6.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	106
7	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	108
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	109
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	117

1 Εισαγωγή

Στο πλαίσιο του προγράμματος «INTERREG, Ελλάδα - Κύπρος», της πράξης «BeachTech» και της «δράσης 4.1.1 - Υδρολογική μελέτη λεκανών απορροής πιλοτικών περιοχών έρευνας (Λέσβου, Χίου και Κύπρου)» του παρόντος ερευνητικού προγράμματος εκπονείται η παρούσα μελέτη. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να προσφέρει μια πολύπλευρη προοπτική για την επίτευξη των στόχων μιας ολοκληρωμένης προσέγγισης της διαχείρισης των παράκτιων ζωνών σε τουριστικούς προορισμούς, συνδυάζοντας την αξιολόγηση της τρωτότητας των ακτών, την ανάλυση της ποτάμιας μεταφοράς ιζημάτων και των πλημμυρικών φαινομένων.

Αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία που μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρές λεκάνες απορροής νησιωτικών λεκανών που καταλήγουν σε τουριστικές παραλίες. Η μεθοδολογία ήρθε να καλύψει θέματα τόσο υδρολογικής δίαιτας των ποταμών, όσο και στερεομεταφοράς αυτών. Αρχικά, συλλέχθηκαν και έγινε επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων από ένα ευρύ φάσμα πηγών, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών σχετικά με βιο-γεωφυσικά και υδρολογικά δεδομένα των λεκανών απορροής. Τα δεδομένα αυτά εμπλουτίστηκαν με μετρήσεις από ακριβείς τοπογραφικές αποτυπώσεις με RTK-DGPS και UAVs-Drones και καταγραφή των ιδιαίτερων γεωμετρικών, υδραυλικών και ιζηματολογικών χαρακτηριστικών της κοίτης και των παριών των υδατορευμάτων. Επιπλέον, έγινε δοκιμή των UAVs-Drones για τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης βίντεο/εικόνας των υπό μελέτη ποτάμιων συστημάτων για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοίτης και της παρόχθιας ζώνης και βλάστησης.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μοντέλα

α) Το μοντέλο InVEST – Coastal Vulnerability χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της παράκτιας διάβρωσης,

β) Η απώλειες εδάφους εκτιμήθηκε με την ευρέως διαδεδομένη εμπειρική μέθοδος Universal Soil Loss Equation (USLE)

γ) Ο υπολογισμός της ιζηματοπαροχής με την εφαρμογή της Sediment Delivery Ratio (SDR) εξίσωσης, καθώς και τα παρακάτω υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα:

δ) Η ορθολογική μέθοδος, με μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της πλημμυρικής παροχής του υδατορεύματος για τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη),

ε) Η υδραυλική προσομοίωση της ροής στο υδατόρευμα με την εφαρμογή του λογισμικού HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) (U.S.A.C.E, 2016), λαμβάνοντας υπόψη τις πλημμυρικές παροχές που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο.

Όλα τα παραπάνω εφαρμόστηκαν για την κατανόηση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Αυτή η ολοκληρωμένη μεθοδολογία μπορεί να συμβάλει σε μια πιο ισχυρή και αξιόπιστη ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της παράκτιας τρωτότητας, της μεταφοράς των ιζημάτων και της εκτίμησης του κινδύνου πλημμύρας (Εικόνα 1).

Επιλέχθηκαν τρεις (3) περιοχές μελέτης και συγκεκριμένα α) η λεκάνη απορροής του ρέματος της Πέγειας στην Κύπρο, β) η περιοχή του ρέματος του φράγματος του Κατράρη στη Χίο και γ) η λεκάνη απορροής του ρέματος της Πέτρας στη Λέσβο.

Παρακάτω θα δοθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας αυτής στις τρεις περιοχές μελέτης.

1.1 Γενικό πλαίσιο μεθοδολογίας

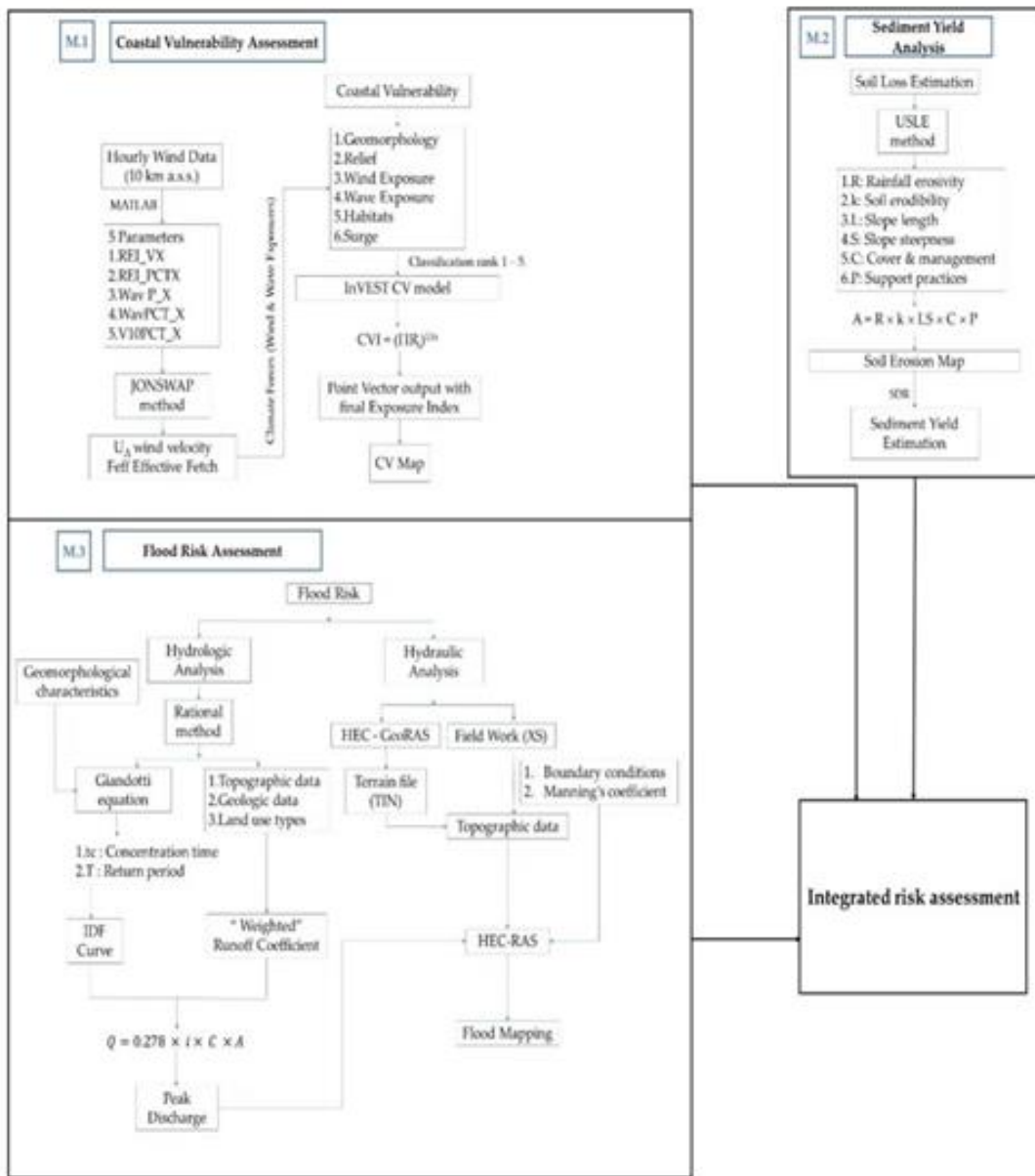
Το πλαίσιο μεθοδολογίας αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στις περιοχές μελέτης με σκοπό την μελέτη και ανάλυση των περίπλοκων σχέσεων μεταξύ των διαφορετικών παραμέτρων παράκτιας διαχείρισης όπως η παράκτια τρωτότητα, η ιζηματομεταφορά και η πλημμυρική επικινδυνότητα. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η προτεινόμενη μεθοδολογία, ενώ οι διάφοροι παράμετροι αναλύονται παρακάτω

Εκτίμηση Παράκτιας Τρωτότητας – M1: αποτελεί την διαδικασία μελέτης και αναγνώρισης των περιοχών με υψηλό κίνδυνο στην έκθεση βάση διάβρωσης, με την ταξινόμηση των φυσικών χαρακτηριστικών και δυναμικών στην παράκτια ζώνη.

Ανάλυση Ιζηματοπαροχής - M2: η εκτίμηση της συνολικής μεταφοράς ιζήματος από την λεκάνη απορροής στην γειτονική παράκτια ζώνη είναι σημαντική για την κατανόηση της ιζηματομεταφοράς από την κύρια κοίτη του ποταμού στα παράκτια περιβάλλοντα.

Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου – M3: η απεικόνιση του πλημμυρικού κινδύνου είναι σημαντική για την κατανόηση του δυνητικού μεγέθους των πλημμυρικών γεγονότων στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον, εκτελείται υδραυλική ανάλυση για τη δημιουργία

δισδιάστατων χαρτών πλημμύρας που απεικονίζουν το γεωγραφικό εύρος της πιθανής πλημμύρας



Εικόνα 1: Γραφική αναπαράσταση του αναπτυγμένου μεθοδολογικού πλαισίου στην περιοχή μελέτης για την διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στην παράκτια τρωτότητα, στην ιζηματομεταφορά και στην επικινδυνότητα πλημμυρών.

1.1.1 Παράκτια τρωτότητα

Η αξιολόγηση της παράκτιας τρωτότητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εργαλείου Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade offs (InVEST), έκδοση 3.10, για την περιοχή Πέτρα - Μόλυβος, βόρεια Λέσβος και για την Δυτική Κύπρο. Το Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade offs (InVEST) χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση και την αποτίμηση των αγαθών και υπηρεσιών της φύσης με σκοπό την διατήρηση της ανθρώπινης ζωής. Βοηθά ουσιαστικά στη διερεύνηση της διαχείρισης της υπάρχουσας κατάστασης στην περιοχή και τον τρόπο με τον οποίο οι αλλαγές στα οικοσυστήματα μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές της ζωής του ανθρώπου και

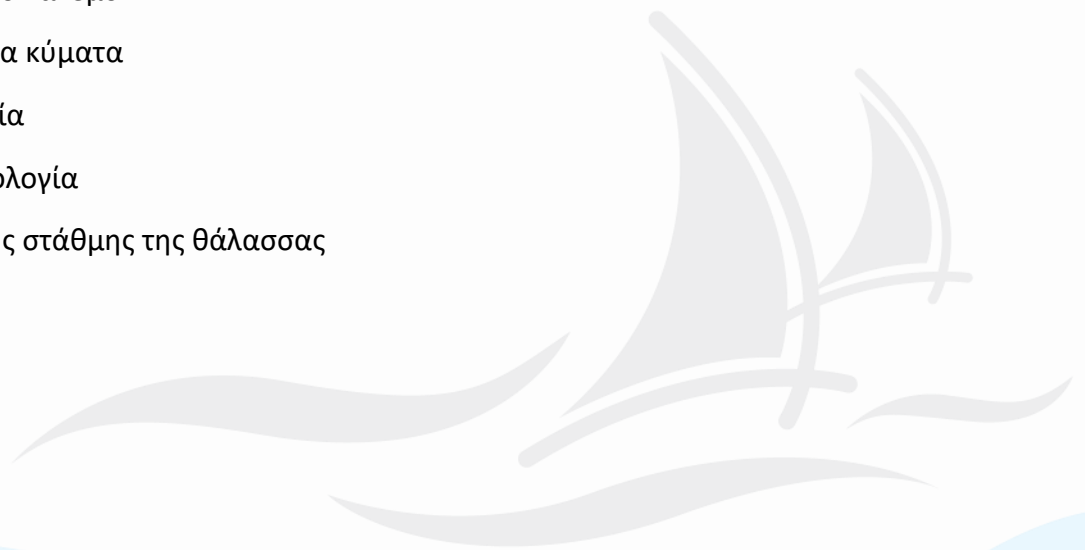
αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο του Stanford. Το μοντέλο InVEST Coastal Vulnerability χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας ή δείκτη έκθεσης τρωτότητας.

Ο δείκτης έκθεσης κατατάχθηκε για κάθε σημείο κατά μήκος της ακτογραμμής με ένα διάστημα που ορίστηκε από τον χρήστη. Ο δείκτης έκθεσης υποδεικνύει τη συγκριτική τρωτότητα διακριτών παράκτιων τμημάτων στη διάβρωση και τις πλημμύρες που προκύπτουν από καταιγίδες εντός της καθορισμένης περιοχής ενδιαφέροντος. Το μοντέλο έχει σχεδιαστεί για τον υπολογισμό του δείκτη έκθεσης στην παράκτια τρωτότητα (CVI) με την αξιολόγηση έξι βιο-γεωφυσικών παραμέτρων και της πληθυσμιακής πυκνότητας: Η έκθεση σε άνεμο και κύματα, το δυναμικό κύματος, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η γεωμορφολογία, οι φυσικοί βιότοποι, το ανάγλυφο και ο πληθυσμός. Η κατάταξη της έκθεσης σε βλαπτικότητα κυμαίνεται από πολύ χαμηλή έκθεση (κατάταξη= 1) έως πολύ υψηλή έκθεση (κατάταξη = 5). Τα πρωτογενή δεδομένα της περιοχής μελέτης (Πίνακας 1) επεξεργάστηκαν με τη χρήση του λογισμικού χαρτογράφησης QGIS 3.16.13.

Ο δείκτης τρωτότητας αξιολογεί την παράκτια διάβρωση, όπου η υψηλή έκθεση του CVI υποδηλώνει υψηλή τρωτότητα και η παράκτια ζώνη διαβρώνεται εύκολα λόγω της έκθεσης σε καταιγίδες και κύματα. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλή έκθεση του δείκτη υποδηλώνει χαμηλή τρωτότητα και η παράκτια περιοχή επηρεάζεται λιγότερο από τους φυσικούς κινδύνους

Το μοντέλο υπολογίζει τον δείκτη έκθεσης και την πυκνότητα του παράκτιου πληθυσμού χρησιμοποιώντας μια χωρική αναπαράσταση των ακόλουθων βιο-γεωφυσικών μεταβλητών:

- Ανάγλυφο
- Φυσικοί οικότοποι
- Έκθεση στο νάνεμο
- Έκθεση στα κύματα
- Βαθυμετρία
- Γεωμορφολογία
- Αλλαγή της στάθμης της θάλασσας



Πίνακας 1: Κατάταξη ευρών τιμών για την έκθεση τρωτότητας παράκτιας ζώνης μελέτης

Rank	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Γεωμορφολογία ($R_{Geomorphology}$)	Βραχώδεις, Ψηλοί Γκρεμοί	Μέτριοι Γκρεμοί	Χαμηλοί Γκρεμοί	Παραλία με κροκάλες	Αμμώδεις παραλίες, Δέλτα
Ανάγλυφο (R_{Relief})	81 - 100 (%)	61 - 80 (%)	41 - 60 (%)	21 - 40 (%)	0 - 20 (%)
Φυσικοί Οικότοποι ($R_{Habitats}$)	Κοραλλιογενείς ύφαλος, Παράκτιο δάσος	Υψηλός αμμόλοφος	Χαμηλός αμμόλοφος	Ποσειδωνία, Φαιοφύκη	Έλλειψη Βιοτόπου
Στάθμη Θάλασσας (R_{SLR}), Κυματική έκθεση ($R_{WaveExposure}$), Καταιγίδα κυμάτων (R_{Surge})	0 - 20 (%)	21 - 40 (%)	41 - 60 (%)	61 - 80 (%)	81 - 100 (%)

Ο τύπος του δείκτη παράκτιας τρωτότητας (CVI) για κάθε σημείο της ακτογραμμής είναι ο γεωμετρικός μέσος όρος όλων των βαθμών των μεταβλητών (Εξ. 1). Κατά συνέπεια, το τελικό προϊόν που παράγεται από το μοντέλο είναι ο συνολικός βαθμός τρωτότητας και των επτά παραμέτρων που μελετήθηκαν, ο οποίος αναπαρίσταται ως σημεία στο χάρτη της περιοχής μελέτης.

$$EI = (R_{Geomorphology} * R_{Relief} * R_{Habitats} * R_{SLR} * R_{WindExposure} * R_{WaveExposure} * R_{Surge})^{1/7} \quad (\text{Εξ. 1})$$

Παρακάτω δίνονται αναλυτικά οι μεταβλητές του μοντέλου.

Πληθυσμός (Population): εκτίμηση παράκτιου κινδύνου στην περίπτωση όπου οι ακτές πληγούν από το φαινόμενο της διάβρωσης και των πλημμυρών λόγω θυελλών. Το μοντέλο εξάγει τις τιμές του πληθυσμού κατά μήκος της ακτογραμμής σε διακριτά τμήματα με τη χωρική ανάλυση καθορισμένη από το χρήστη.

Ανάγλυφο (Relief): υπολογισμός του ανάγλυφου ανάντι της ακτογραμμής ενδιαφέροντος. Οι περιοχές που βρίσκονται, κατά μέσο όρο, σε μεγαλύτερο υψόμετρο από το μέσο επίπεδο της θάλασσας και έχουν μικρότερο κίνδυνο να πλημμυρίσουν από περιοχές σε χαμηλότερα υψόμετρα.

Γεωμορφολογία (Geomorphology): η κατάταξη τρωτότητας της ακτής με βάση τη γεωμορφολογία. Οι βραχώδεις ακτές είναι λιγότερο επιρρεπείς σε διάβρωση και πλημμύρες συγκρινόμενες με τις παραλίες ή τα δέλτα.

Φυσικοί Οικότοποι (Natural Habitats): Οι φυσικοί οικότοποι (βάλτοι, θαλάσσια βλάστηση, παράκτιες αμμοθίνες) κατέχουν πολύ σημαντικό ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων των παράκτιων κινδύνων που μπορεί να προκαλέσουν διάβρωση στις ακτές και να βλάψουν τις παράκτιες κοινότητες. Για παράδειγμα, τα μεγάλα κύματα σπάνε στους κοραλλιογενείς υφάλους πριν φτάσουν στην ακτή, τα παράκτια δάση μειώνουν δραματικά το ύψος των κυμάτων σε ρηχά νερά, τα θαλάσσια λιβάδια και οι βάλτοι σταθεροποιούν τα ιζήματα καθώς και διαχέουν την ενέργεια των κυμάτων. Παραλίες με λίγους ή καθόλου φυσικούς οικότοπους προσφέρουν ελάχιστη προστασία στη διάβρωση και τις πλημμύρες.

Κυματική έκθεση (Wave Exposure): Η σχετική έκθεση ενός τμήματος ακτογραμμής στα κύματα είναι ένας ποιοτικός δείκτης της πιθανής διάβρωσης της ακτογραμμής. Ένα δεδομένο τμήμα της ακτογραμμής εκτίθεται είτε σε ωκεάνια είτε σε τοπικά κύματα. Επίσης, για ένα δεδομένο ύψος κύματος, κύματα που έχουν μεγαλύτερη περίοδο έχουν περισσότερη δύναμη από μικρότερα κύματα. Ακτές που εκτίθενται στον ανοιχτό ωκεανό βιώνουν γενικά υψηλότερη έκθεση σε κύματα από προστατευμένες περιοχές, επειδή οι άνεμοι φυσούν πάνω από μια πολύ μεγάλη απόσταση, δημιουργώντας μεγαλύτερα κύματα. Επιπλέον, εκτεθειμένες περιοχές αντιμετωπίζουν τις συνέπειες κυμάτων μεγάλης περιόδου, που δημιουργήθηκαν από μακρινές καταιγίδες. Το μοντέλο διαφοροποιεί εκτεθειμένες και προστατευμένες περιοχές, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό απόστασης fetch και βάθους.

Πιθανότητα κυμάτων θύελλας (Surge Potential): Η ανύψωση των κυμάτων θύελλας είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, αλλά και του χρονικού διαστήματος που φυσάει ο άνεμος σε σχετικά ρηχές περιοχές. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ της ακτογραμμής και της άκρης της υφαλοκρηπίδας σε μια δεδομένη περιοχή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης καταιγίδας, τόσο υψηλότερο είναι το κύμα θύελλας.

Έκθεση στους ανέμους (Wind Exposure): Οι ισχυροί άνεμοι μπορούν να παράγουν υψηλά κύματα αν δρουν πάνω από μια περιοχή για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Ο δείκτης (εξίσωση 2) αυτός υπολογίζεται παίρνοντας υπόψη το μέσο όρο ταχύτητας των 10% μεγαλύτερων ανέμων για κάθε έναν από τους 16 ισογώνιους τομείς (0°, 22°, 45°, κλπ).

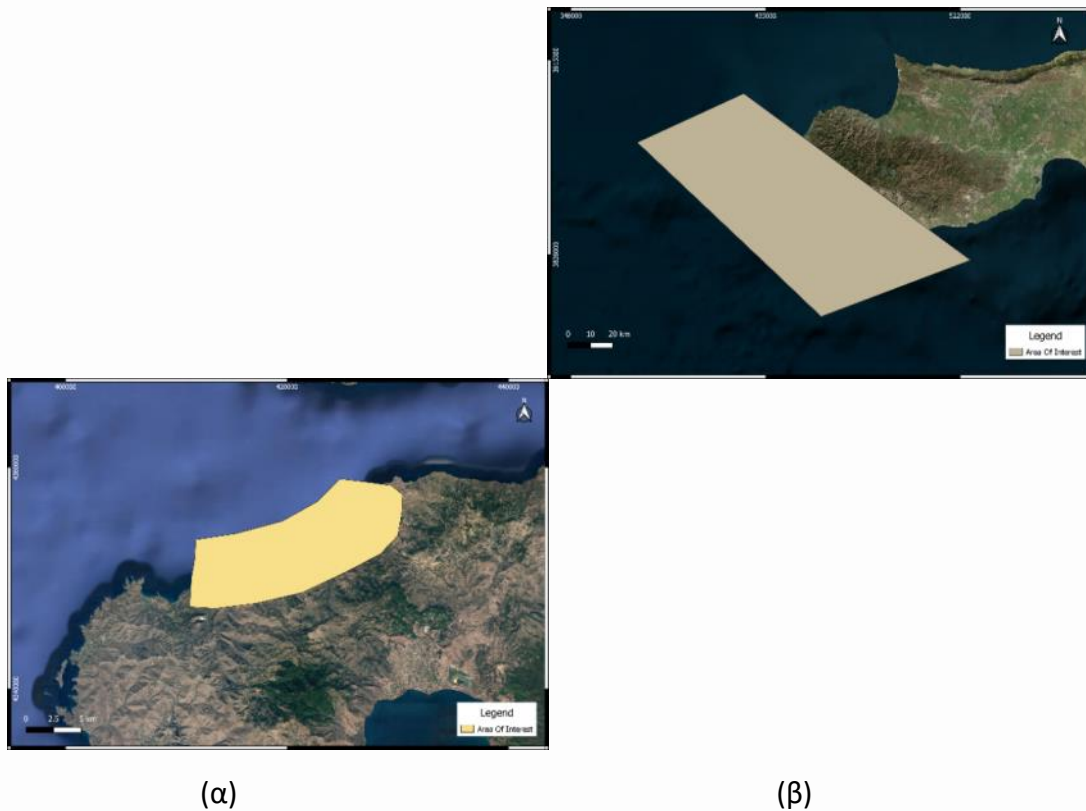
$$REI = \sum_{n=1}^{16} U_n P_n F_n \quad (\text{Εξ. 2})$$

Όπου U_n : Ο μέσος ταχύτητας των 10% μεγαλύτερων ανέμων για κάθε τομέα n (m/s), P_n : Το ποσοστό όλων των ανέμων των δεδομένων που έχουν την κατεύθυνση του εκάστοτε τομέα n , και F_n : Η απόσταση fetch (m) για κάθε τομέα n .

Επεξεργασία δεδομένων

Λαμβάνει μέρος η αναλυτική διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των απαραίτητων δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο εκτίμησης τρωτότητας για την εκάστοτε περιοχή. Η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιήθηκε για δυο περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, ν. Λέσβο, Ελλάδα και Πέγεια, ν. Κύπρο.

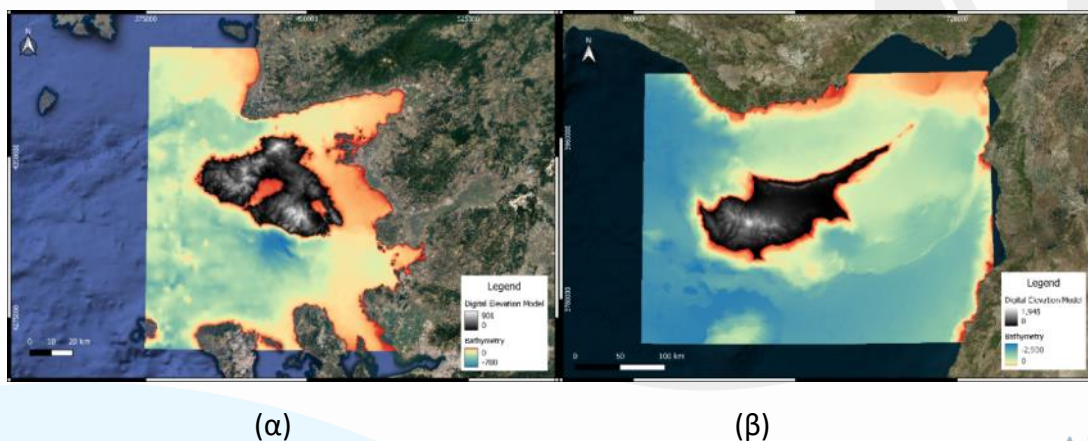
Περιοχή ενδιαφέροντος (Area of Interest): Η περιοχή μελέτης είναι ένα αρχείο shapefile πολυγώνου που οριοθετεί τη περιοχή όπου χρειάζονται τα αποτελέσματα διάβρωσης. Όλα τα υπόλοιπα αρχεία αναφέρονται πάνω σε αυτή τη περιοχή μελέτης (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Περιοχές ενδιαφέροντος (α) Λέσβος, Ελλάδα, (β) Κύπρος.

Βαθυμετρία (Bathymetry layer): Αρχείο raster με τιμές βάθους θάλασσας στην περιοχή μελέτης. Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι η λεπτομερής βαθυμετρία είναι ζωτικής σημασίας για την εφαρμογή ενός αξιόπιστου υδροδυναμικού μοντέλου σε πολύπλοκα παράκτια συστήματα (Εικόνα 3).

Ανάγλυφο (Relief): η συγκεκριμένη παράμετρο εκτιμάται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (**Digital Elevation Model- DEM**) σε αρχείο raster με τιμές ύψους (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Ανάγλυφο και Βαθυμετρία των περιοχών μελέτης (α) Λέσβος, Ελλάδα, και (β) Κύπρος.

Γεωμορφολογία (Geomorphology): Αρχείο shapefile polyline που αντιστοιχεί στην γεωμορφολογία κατά μήκος της ακτογραμμής. Ανάλογα με την γεωμορφολογία, κάθε κομμάτι της ακτογραμμής βαθμονομείται βάση του Πίνακα 1 και του συστήματος βαθμονόμησης για την τρωτότητα των ακτών του μοντέλου (Εικόνα 4).

Ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα (Continental shelf): Αρχείο shapefile polyline που αντιπροσωπεύει το τέλος της υφαλοκρηπίδας και την αρχή της ηπειρωτικής κατωφέρειας (Εικόνα 4).

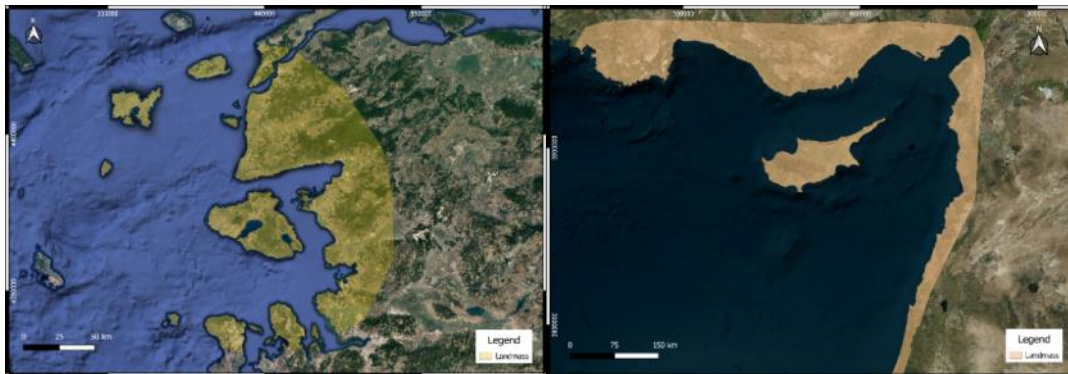


(α)

(β)

Εικόνα 4: Ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και Γεωμορφολογία (α) Λέσβος, Ελλάδα, (β) Κύπρος.

Landmass: Shapefile αρχείο πολυγώνου που ορίζει το γεωγραφικό σχήμα της υπό μελέτη ακτογραμμής καθώς και τα όρια θάλασσας στεριάς (Εικόνα 5).



(α)

(β)

Εικόνα 5: Landmass (α) Λέσβος, Ελλάδα, (β) Κύπρος.

Οικότοποι (Natural Habitat): Αρχείο shape file polygon που αντιπροσωπεύει τους φυσικούς οικοτόπους στην περιοχή. Ανάλογα με το τύπο του οικοτόπου δίνεται από το μοντέλο μια βαθμονόμηση από 1-5 για το ρόλο τους στη διάβρωση (Εικόνα 6).

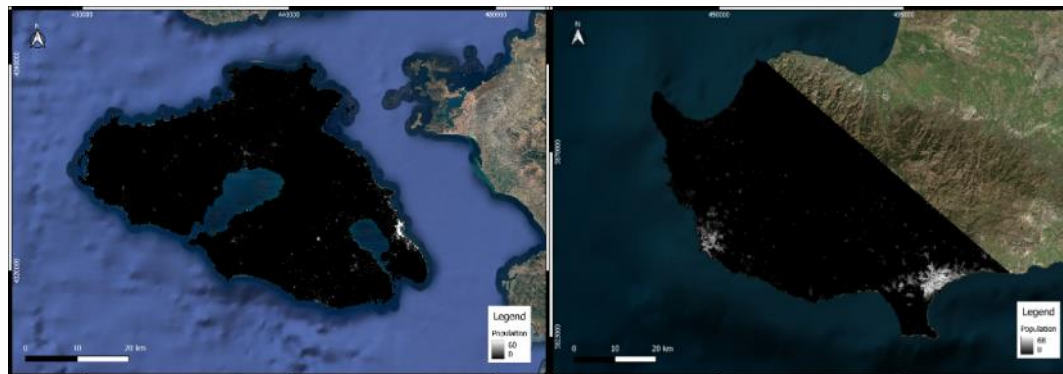


(α)

(β)

Εικόνα 6: Οικοσυστήματα των περιοχών (α) Λέσβος, Ελλάδα, (β) Κύπρος.

Πληθυσμός (Population): Αρχείο raster όπου κάθε ρικελ περιέχει τιμή για τον αριθμό των κατοίκων στη περιοχή (Εικόνα 7).



(α)

(β)

Εικόνα 7: Πληθυσμός (α) Λέσβος, Ελλάδα, (β) Κύπρος.

Κλιματικό δυναμικό (Climatic for cing grid): Αρχείο shapefile point που περιέχει στατιστικές πληροφορίες για τους ανέμους και κύματα για μια χρονοσειρά 5 ετών. Το αρχείο χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η έκθεση σε ανέμους και κύματα κάθε τμήματος της ακτογραμμής. Απαιτείται η εκτίμηση της σημασίας της έκθεσης στον άνεμο και των κυμάτων που δημιουργούνται από τον άνεμο. Θεωρείται ότι οι συνθήκες κύματος υπό συγκεκριμένη επιβολή ανέμου και διάρκεια μπορούν να περιγραφούν από συγκεκριμένα φάσματα πυκνότητας κυματικής ενέργειας, όπως το φάσμα JONSWAP, και είναι καταλληλότερα σε περιπτώσεις με περιορισμούς Fetch. Το μοντέλο ζητά εκ νέου στατιστικά στοιχεία ανέμου για τουλάχιστον 5 έτη και τη μέση ταχύτητα ανέμου σε καθέναν από τους 16 ισογωνικούς τομείς, όπου παρατηρήθηκαν ταχύτητες ανέμου στο 90ο εκατοστημόριο ή μεγαλύτερες κοντά στο τμήμα ενδιαφέροντος, για τον υπολογισμό του δείκτη σχετικής έκθεσης (REI) ή των υψηλότερων τιμών του 10 % και των σχετικών κατευθύνσεων. Για τον υπολογισμό του κύματος από τα χαρακτηριστικά του ανέμου και του Fetch, το μοντέλο απαιτεί το μέσο όρο των ταχυτήτων ανέμου που είναι μεγαλύτερες ή ίσες με το 90ο εκατοστημόριο που παρατηρήθηκαν σε κάθε έναν από τους 16 ισογωνικούς τομείς (Εικόνα 60).

Στην ανάλυση του ανέμου χρησιμοποιείται η μέθοδος JONSWAP-Pierson-Moskowitz (JONSWAP-P-M), η οποία εκτιμά το σημαντικό ύψος κύματος ανοικτής θάλασσας (H_s) και την κυματική περίοδο (T_p) μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας, με βάση την ελεγχόμενη ταχύτητα ανέμου U_A (Εξ. 3), το αποτελεσματικό κύμα (F_{eff}), (Εξ. 4) και τη διάρκεια του ανέμου (tD).

$$U_A = 0.71(U_{10})^{1.23} \quad (\text{Εξ.3})$$

όπου U_A είναι η ελεγχόμενη ταχύτητα του ανέμου και U_{10} είναι η ταχύτητα του ανέμου στα 10 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η μεταφορά ενέργειας από τον άνεμο στην επιφάνεια της θάλασσας αυξάνεται με το χρόνο ροής του ανέμου πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας-διάρκεια ανέμου (tD).

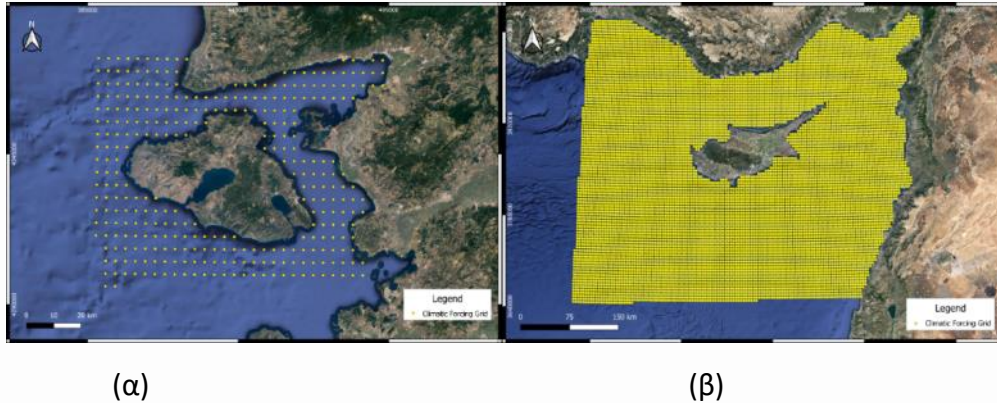
$$F_{eff} = \frac{\sum_i F_i (\cos a_i)^2}{\sum_i \cos a_i} \quad (\text{Εξ.4})$$

όπου η F_{eff} περιγράφει τη διεύθυνση ακτίνας 5° εκατέρωθεν της διεύθυνσης του ανέμου, η F_i είναι το γραμμικό ρεύμα διεύθυνσης και η a_i είναι η γωνία της ακτίνας l με τη διεύθυνση του ανέμου.

Πιο συγκεκριμένα οι πληροφορίες ανά στήλη που απαιτούνται στον attribute table του αρχείου και η μεθοδολογία με την οποία υπολογίστηκαν έχουν ως εξής:

1. LAT, LONG values. Πληροφορίες γεωγραφικού μήκους και πλάτους κάθε σημείου.
2. REI_VX, όπου $X = [0, 22, 45, 67, 90, 112, 135, 157, 180, 202, 225, 247, 270, 292, 315, 337]$. Η τιμή για κάθε στήλη αντιστοιχεί στο μέσο όρο των μεγαλύτερων 10% ανέμων για κάθε διεύθυνση X . Τα δεδομένα ανέμων 2017-2022 για το τμήμα της Λέσβου, και Κύπρου από το Meteo blue επεξεργάστηκαν στην MATLAB έτσι ώστε να δημιουργηθούν ξεχωριστοί πίνακες βάση των παραπάνω διευθύνσεων. Στους 16 νέους πίνακες αφού ταξινομήθηκαν ξεχωριστά σύμφωνα με την ταχύτητα των ανέμων από το μεγαλύτερο στο μικρότερο, αποκόπηκε το πρώτο 10% από κάθε πίνακα και χρησιμοποιήθηκε σαν δεδομένο στο GUI Wind Analysis για τον υπολογισμό του μέσου όρου παίρνοντας έτσι υπόψη και το ύψος του σταθμού.
3. REI_PCTX, όπου X οι ίδιες τιμές με τις παραπάνω. Οι 16 ποσοστιαίες τιμές αντιπροσωπεύουν έναν συντελεστή συχνότητας των ανέμων προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση ως προς το σύνολο των ανέμων της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Οι τιμές υπολογίστηκαν αφού δημιουργήθηκαν οι 16 πίνακες ανά κατεύθυνση στη MATLAB, διαιρώντας τον αριθμό των στοιχείων του καθενός με το σύνολο.
4. WavP_X, όπου X οι ίδιες τιμές με παραπάνω. Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται από το μοντέλο για τον υπολογισμό της κυματικής έκθεσης στην ακτογραμμή. Αντιπροσωπεύουν την κυματική ενέργεια σε κάθε κατεύθυνση προς την ακτή. Για τον υπολογισμό της χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο GUI Wave Estimator

5. : $W_{av}PPCT_X$, όπου X οι ίδιες τιμές με παραπάνω. 16 ποσοστιαίες τιμές που αντιπροσωπεύουν έναν συντελεστή συχνότητας της κυματικής ενέργειας σε κάθε κατεύθυνση.
6. V_{10PCT_X} , όπου X οι ίδιες τιμές με παραπάνω. Αντίστοιχες τιμές με το REI_VX με τη διαφορά πως αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν το μέσο όρο των 10% μεγαλύτερων ανέμων κάθε τομέα και όχι απόλυτης διεύθυνσης. Υπολογίστηκαν με παρόμοια μεθοδολογία με το REI_VX .



Εικόνα 8: Χάρτης που περιέχει εντός των σημείων στατιστικές πληροφορίες για τους ανέμους και κύματα των τελευταίων 5 ετών (2017-2022) α) Λέσβος, Ελλάδα β) Κύπρος.

Στάθμη θάλασσας (Sea level Rise): Οι προβολές της ακραίας στάθμης της θάλασσας (ESL) για τον 21ο αιώνα σύμφωνα με τα αντιπροσωπευτικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 της IPCC λήφθηκαν από την παγκόσμια βάση δεδομένων (με ανάλυση παράκτιου πλέγματος 25 km) που παρουσιάζεται στην εργασία των Vousdoukas et al., 2018. Στην παρούσα εργασία, τα ESLs στην ακτή είναι ένας συνδυασμός i) της σχετικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας (RSLR) λόγω των ευστατικών μεταβολών, ii) της αστρονομικής παλίρροιας (η_{tide}) και iii) των επεισοδιακών παράκτιων επιπέδων νερού (η_{CE}) λόγω των κυμάτων καταιγίδων και των κυματομορφών. Οι ESLs που συμβαίνουν μία φορά σε 10, 50 και 100 έτη, όπως υπολογίστηκαν για το έτος βάσης - 2000, και τα έτη αναφοράς 2050 και 2100, εξήχθησαν από τη βάση δεδομένων (Πίνακας 2) και θεωρήθηκαν ως προαιρετική παράμετρος εισόδου στο μοντέλο InVESTCoastalVulnerability (Πίνακας 1).

Πίνακας 2: Εύρος της ακραίας ανόδου της στάθμης της θάλασσας (ESL) για τις τρεις περιόδους επαναφοράς (10, 50 και 100 έτη) και οι συνιστώσες τους, οι οποίες αντιστοιχούν στις κυματικές συνθήκες κατά μήκος της ακτογραμμής Πέτρας-Μολύβου για διάφορες ημερομηνίες και σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια.

	Tr	Baseline	RCP 4.5		RCP 8.5	
		2000	2050	2100	2050	2100
RSLR (m)	-	0	0.19	0.51	0.22	0.76
η_{Tide} (m)	-	0.12 - 0.13	0.12	0.12 - 0.13	0.12	0.12 - 0.13
η_{ce}(m)	10	1.19	1.17	1.16	1.17	1.12
	50	1.35	1.34	1.33	1.34	1.28
	100	1.42	1.4	1.39	1.4	1.34
ESL (m)	10	1.31 - 1.32	1.48 - 1.49	1.80 - 1.81	1.51 - 1.52	2.01
	50	1.48	1.65 - 1.66	1.96 - 1.97	1.68 - 1.69	2.16 - 2.17
	100	1.54 - 1.55	1.72	2.03 - 2.04	1.74 - 1.75	2.22 - 2.23

1.1.2 Απώλεια εδάφους και Ιζηματοπαροχής

Η απώλεια εδάφους εκτιμήθηκε με την ευρέως διαδεδομένη εμπειρική μέθοδος Universal Soil Loss Equation (USLE), ενώ ο υπολογισμός της ιζηματοπαροχής με την εφαρμογή της Sediment Delivery Ratio (SDR) εξίσωση, στην λεκάνη απορροής της Πέγειας.

Η USLE είναι το μοντέλο με μαθηματικό ανάπτυγμα εκτίμησης ποσότητας απώλεια εδάφους από το νερό, και χρησιμοποιείται ευρέως στις πρακτικές σχεδίων διατήρησης εδάφους και διαχείρισης γης (Helmi,2023;BezakN. et al.,2021). Το μοντέλο συμπεριλαμβάνει διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την διάβρωση εδάφους συμπεριλαμβανομένων μοτίβου βροχοπτώσεων, τύπου εδάφους, τοπογραφία, τύποι χρήσεις γης, και πρακτικές διαχείρισης (BezakN. et al.,2021; BenavidezR. et al.,2018). Η εξίσωση της USLE δίνεται παρακάτω (Εξ. 5), όπου χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του μέσου ετήσιου εύρους απώλεια εδάφους:

$$A = R*k*LS*C*P \quad (\text{Εξ. 5})$$

Όπου A είναι η απώλεια εδάφους σε μονάδες ανά επιφάνεια ($\text{tha}^{-1}\text{yr}^{-1}$), R είναι η παράμετρος διάβρωσης από την βροχή ($\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{yr}^{-1}$), k είναι η παράμετρος για την διαβρωσιμότητα εδάφους (tMJmm^{-1}), LS είναι ο συντελεστής τοπογραφίας που περιλαμβάνει το μήκος της κλίσης (L) και την απότομη κλίση (S), C είναι ο συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης, και P είναι ο συντελεστής πρακτικών υποστήριξης.

1.1.3 Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής

Για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας στην περιοχή μελέτης απαιτούνται τόσο υδρολογικοί υπολογισμοί για την εκτίμηση της μέγιστης απορροής όσο και υδραυλικές προσομοιώσεις για τη δημιουργία των προφίλ της επιφάνειας του νερού. Η ορθολογική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μέγιστης παροχής που απαιτείται ως είσοδος για τις υδραυλικές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για την επιλεγμένη "περιοχή πλημμύρας". Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η παροχή αιχμής για τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20ετίας, 100ετίας και 500ετίας) στον εκάστοτε λεκάνη απορροής. Όσον αφορά τις υδραυλικές προσομοιώσεις, πραγματοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές προσομοιώσεις, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετική περίοδο επαναφοράς, προκειμένου να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά ροής ανά διατομή και να εκτιμηθεί ο κίνδυνος πλημμύρας στην "περιοχή πλημμύρας". Όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης (προσομοιώσεις 1-D) μέσω της εφαρμογής του λογισμικού HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System).



2 Λέσβος

Η Λέσβος είναι ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου και είναι το τρίτο σε έκταση και το πέμπτο σε πληθυσμό νησί στην Ελλάδα. Βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του Αιγαίου Πελάγους, κοντά στα μικρασιατικά παράλια, και απέχει λιγότερο από 10 χλμ. από την τουρκική ηπειρωτική χώρα, αλλά και περίπου 200 χλμ. από το πλησιέστερο τμήμα της ελληνικής ηπειρωτικής χώρας. Η ακτογραμμή της έχει μήκος 370 χλμ. και χαρακτηρίζεται από δύο μεγάλους ημίκλειστους και επιμήκεις κόλπους (της Γέρας και της Καλλονής). Η πρωτεύουσά του, Μυτιλήνη, κτισμένη στη νοτιοανατολική πλευρά του νησιού, αποτελεί ταυτόχρονα την έδρα της Περιφέρειας Βορείου Αιγαίου.

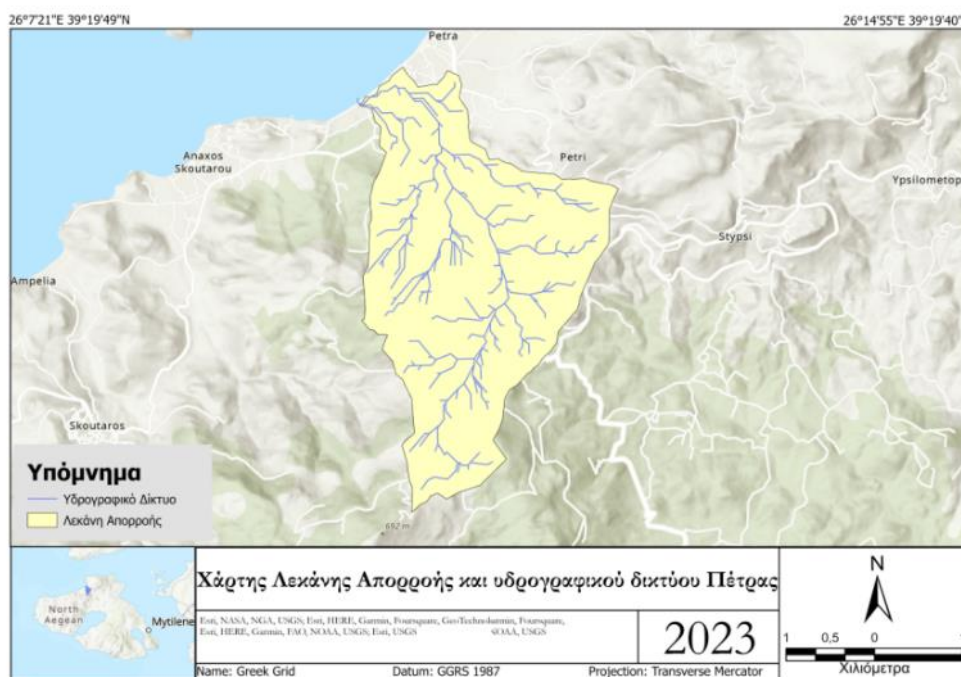
Η Λέσβος βρίθει γεωλογικών μνημείων, καθώς και περιοχών με φυσικό κάλλος και οικολογική αξία. Το μνημείο που ξεχωρίζει στο νησί είναι το Απολιθωμένο Δάσος, το οποίο έχει χαρακτηριστεί διατηρητέο φυσικό μνημείο (UNESCO World Heritage site). Επιπλέον, το νησί της Λέσβου διαθέτει πλήθος αρχαιολογικών θέσεων και μνημείων, τα οποία με την ομορφιά τους αποτέλεσαν πηγή έμπνευσης για καλλιτέχνες, ζωγράφους, συγγραφείς αλλά και ποιητές.



Εικόνα 9: Πέτρα Λέσβου (Φωτογραφία πηγή: Google Earth)

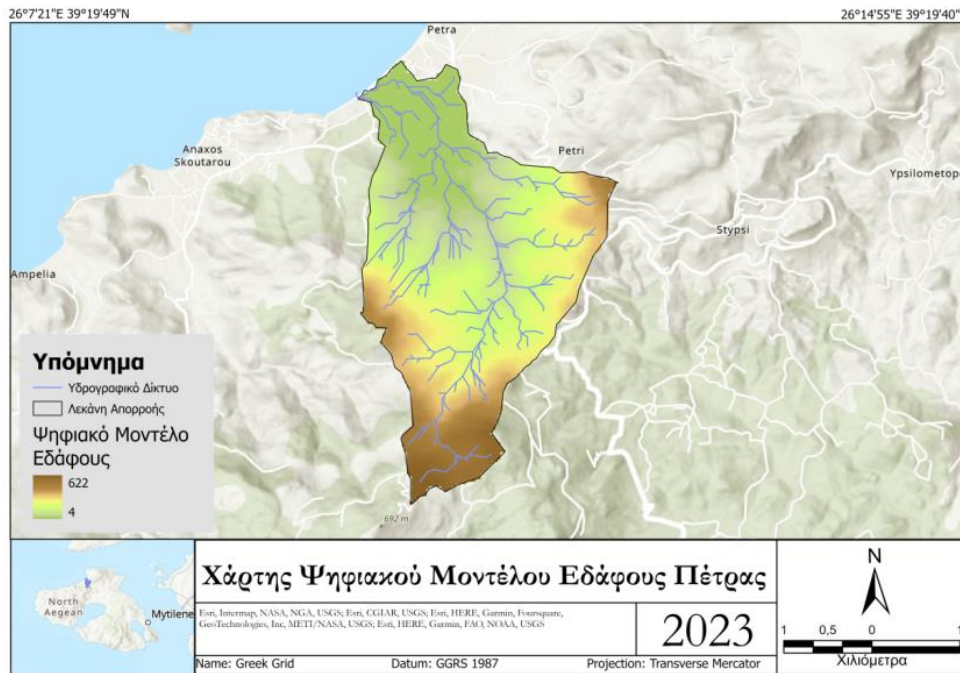
2.1 Περιγραφή της υπό μελέτη λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του ρέματος της Πέτρας χωροθετείται στα βόρεια της ν. Λέσβου (Εικόνα 10). Η λεκάνη απορροής είναι από τις μικρότερες που εντοπίζονται στο βόρειο τμήμα της ευρύτερης περιοχής. Διοικητικά ανήκει, στην δημοτική ενότητα Πέτρας, και συγκεκριμένα στο Δήμο δυτικής Λέσβου. Το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες με διεύθυνση μεγάλου άξονα N-B. Επιπλέον, η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής, το οποίο και απορρέει στη θάλασσα με το σημείο εκβολής της λεκάνης να εντοπίζεται συγκεκριμένα στην παραλία της Πέτρας. Τέλος, εντός της λεκάνης απορροής εντοπίζονται ένας οικισμός, και συγκεκριμένα ο οικισμός της Πέτρας στα βόρεια της λεκάνης.



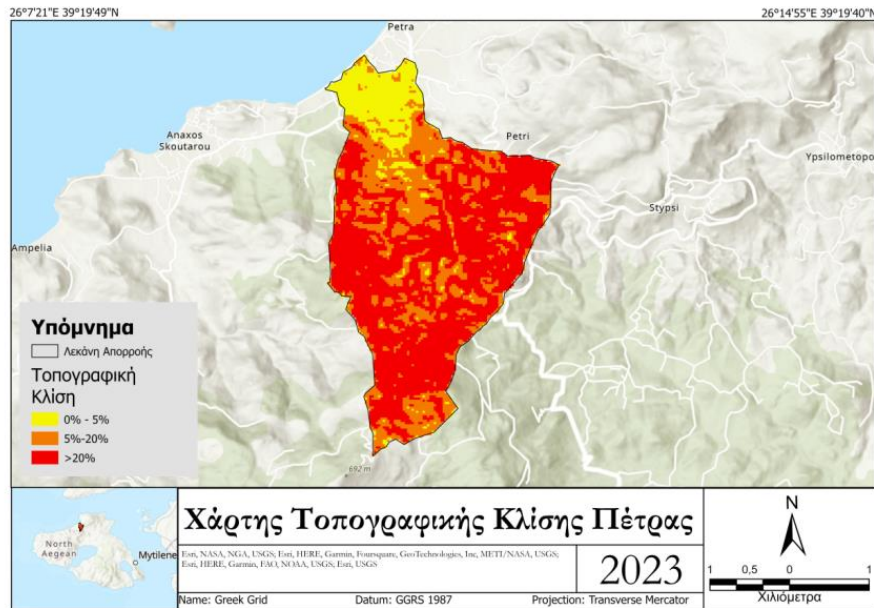
Εικόνα 10: Η τοποθεσία και τα περιμετρικά όρια της λεκάνης απορροής του ρ. Πέτρας σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και το σημείο εκβολής του στη θάλασσα.

Στην Εικόνα 11 απεικονίζεται η διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στη λεκάνη απορροής όπως διαμορφώνεται με βάση πρωτογενή δεδομένα που αποκτήθηκαν από το Πρόγραμμα Παρατήρησης της Γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Copernicus» (πινακίδες υψομέτρων επί του εδάφους με μέγεθος εικονοστοιχείων 27x27 m). Επιπλέον, από την Εικόνα 11 διαπιστώνεται ότι τα χαμηλά υψόμετρα συναντώνται, ως πει το πλείστον, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, ενώ τα υψηλά στο νότιο τμήμα της.

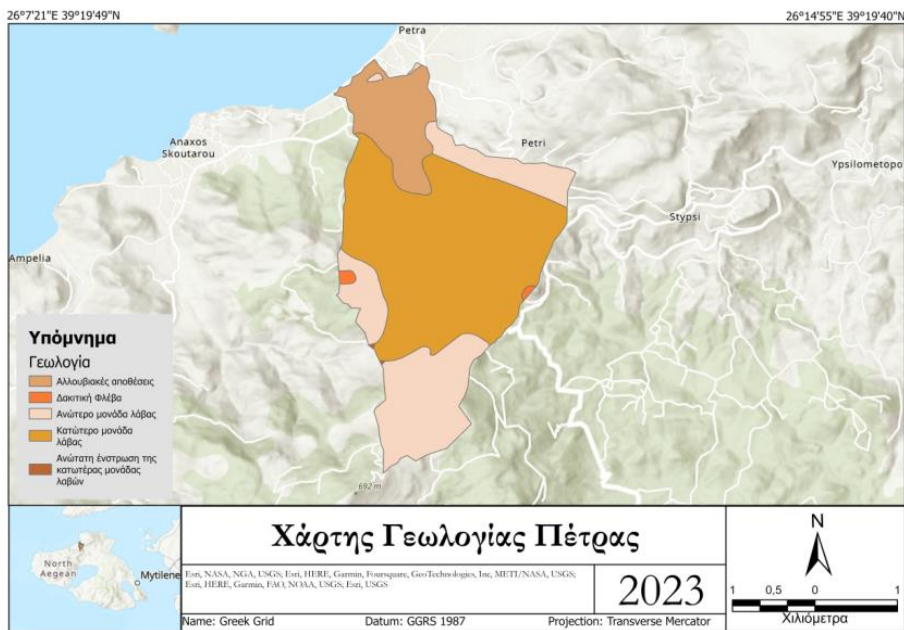


Εικόνα 11: Διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Στην Εικόνα 12 απεικονίζεται η διαβάθμιση των επιφανειακών κλίσεων στη λεκάνη, όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Εικόνα 11). Σύμφωνα με το εύρος τιμών που λαμβάνεται υπόψη (ταξινόμηση που ακολουθείται για τον υπολογισμό του συν/τή απορροής κατά τη διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου). Από γεωλογικής άποψης, στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής απαντώνται, κατά κύριο λόγο, πετρώματα ηφαιστειακής προέλευσης και συγκεντρώσεις χειμαρρωδών αποθέσεων (άργιλοι, άμμοι, ποτάμιες αποθέσεις). Τέλος, σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται και ασβεστόλιθοι. Στην Εικόνα 13 απεικονίζεται η κατανομή των παραπάνω γεωλογικών σχηματισμών (γεωλογικό υπόβαθρο) που δομούν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Τέλος, στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι στην προκειμένη περίπτωση το ενδιαφέρον των γεωλογικών σχηματισμών ως προς το είδος τους έγκειται ουσιαστικά στον βαθμό υδατοπερατότητας του καθενός, καθώς αποτελεί σημαντική παράμετρο η οποία και λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του συντελεστή επιφανειακής απορροής κατά τη διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου. Υπό το πρίσμα αυτό, οι επιμέρους σχηματισμοί στην περιοχή κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες (κλάσεις υδατοπερατότητας), α) τους βραχώδεις σχηματισμούς (B) όπου περιλαμβάνεται το σύνολο των πετρωμάτων που εντοπίζονται στην περιοχή και χαρακτηρίζονται από μικρή υδατοπερατότητα και β) τις αλλουβιακές αποθέσεις (A) που χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλη.



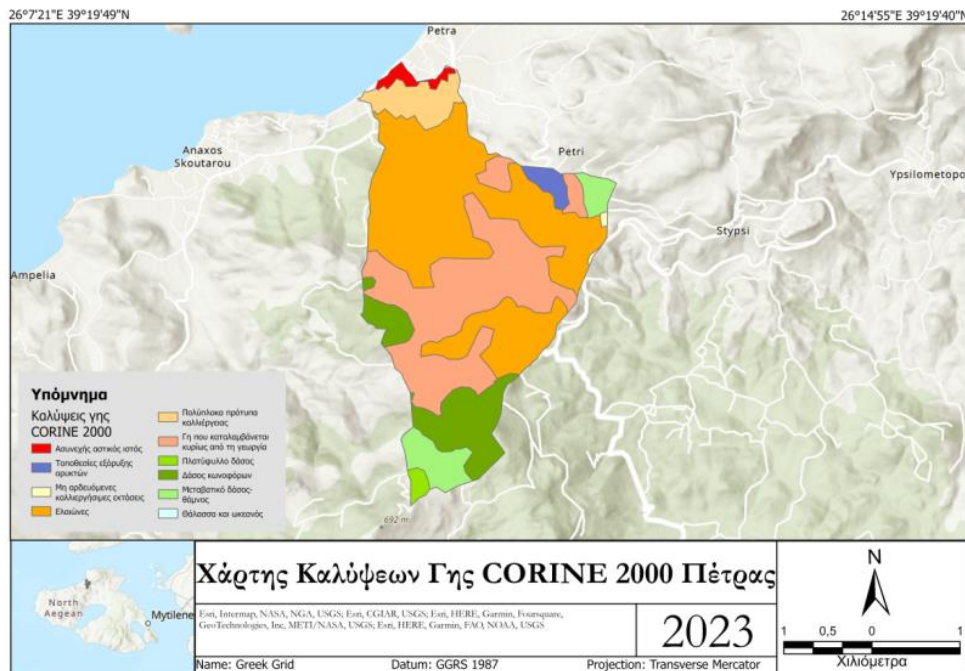
Εικόνα 12: Διαβάθμιση επιφανειακών κλίσεων στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής



Εικόνα 13: Το γεωλογικό υπόβαθρο της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Τέλος, όσον αφορά τις χρήσεις γης, στη λεκάνη απορροής κυριαρχεί, ως επί το πλείστον, οι ελαιώνες (223) επίσης στα νότια συναντάμε δάση κωνοφόρων (κωδ. 312), ακόμα συναντάμε κεντρικά της λεκάνης διάφορα είδη καλλιεργειών (κωδ. 242,243) και τέλος στα βόρεια συναντάμε τον ασυνεχή αστικό ιστό (112). Στον Πίνακα 32 δίνονται όλες οι κατηγορίες χρήσεων γης που εντοπίζονται στην περιοχή ανά τύπο χρήσεων γης, ενώ στην Εικόνα 14 απεικονίζεται η χωρική κατανομή των εμφανιζόμενων χρήσεων γης. Όσον αφορά συγκεκριμένα τις τρεις επικρατούσες κατηγορίες χρήσεων γης, όπως προκύπτει από την εικόνα, ο αστικός ιστός εντοπίζεται, κατά κύριο λόγο, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής, το δάσος κωνοφόρων στο νότιο τμήμα όπου παρατηρούνται και τα

μεγάλα υψόμετρα (Εικόνα 14), και, τέλος, η γεωργική γη εμφανίζεται γενικώς διάσπαρτη στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης.



Εικόνα 14: Οι Χρήσεις γης εντός της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Πίνακας 3: Τύποι χρήσεων γης στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Χρήση Γης	Περιγραφή χρήσης γης
112	Ασυνεχής αστική ιστός
211	Μη αρδευόμενες-καλλιεργήσιμες εκτάσεις
223	Ελαιώνες
242	Πολύπλοκα πρότυπα καλλιέργειας
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
311	Πλατύφυλλο δάσος
312	Δάσος κωνοφόρων
324	Μεταβατικές δασώδεις/θαμνώδεις εκτάσεις
131	Τοποθεσία εξόρυξης ορυκτών

2.2 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής

Στην παρούσα ενότητα λαμβάνει χώρα λεπτομερής παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής (παροχής σχεδιασμού) στο υπό μελέτη υδατόρευμα, η οποία και αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για τη διενέργεια της υδραυλικής προσομοίωσης. Σε γενικές γραμμές, για τη μετατροπή της βροχής σε απορροή και τον προσδιορισμό των παροχών αιχμής εφαρμόζονται ποικίλες μέθοδοι, με την ορθολογική μέθοδο (rational method) να συνιστά μία από τις πιο διαδεδομένες και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους (Κουτσοβίλη, 2018, Μιμίκου και Μπαλάς, 2006,

Τράκος, 2021). Σύμφωνα με την εν λόγω μέθοδο, ο υπολογισμός της πλημμυρικής αιχμής πραγματοποιείται με τη χρήση της παρακάτω εξίσωσης, Εξ. (6):

$$Q = 0,278 * C * i * A \quad (\text{Εξ. 6})$$

όπου Q είναι η πλημμυρική αιχμή στο υδατόρευμα (m^3/s), i είναι η ένταση της βροχόπτωσης (mm/hr) για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς T και για διάρκεια ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής (t_c), C είναι ο συν/τής επιφανειακής απορροής της λεκάνης (αδιάστατο μέγεθος), και A είναι η έκταση της λεκάνης (km^2).

Όπως γίνεται αντιληπτό από την παραπάνω εξίσωση, τα βασικά μεγέθη που απαιτούνται για την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής είναι η ένταση της βροχόπτωσης και ο συν/τής απορροής. Σχετικά με την παράμετρο της έντασης, ο υπολογισμός της επιτελείται, ως επί το πλείστον, με τη χρήση των όμβριων καμπυλών (IDF curves), οι οποίες και αποτελούν αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης, i συναρτήσει της διάρκειας του επεισοδίου βροχόπτωσης, d και της περιόδου επαναφοράς, T (Κουρνιώτης, 2020). Στην προκειμένη περίπτωση για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση όμβριας καμπύλης από τον μετεωρολογικό σταθμό από το Κεράμι στην Καλλονή Λέσβου από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων που έχει παραχθεί για τα διαχειριστικά σχέδια.

$$i(d, T) = \frac{472,98(T^{0,093} - 0,734)}{(1 + d / 0,134)^{0,741}} \quad (\text{Εξ. 7})$$

Καθώς, όμως, στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου ισχύει η παραδοχή ότι η μέγιστη παροχή (πλημμυρική αιχμή) εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της υδρολογικής λεκάνης καταφθάσει στην έξοδο της, η διάρκεια της βροχόπτωσης (d) στην Εξ. (7) ουσιαστικά ισούται με τον χρόνο συγκέντρωσης (t_c) στη λεκάνη απορροής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006). Από τις διάφορες εμπειρικές σχέσεις που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, η εξίσωση Giandotti, Εξ. (8), η οποία χρησιμοποιείται και στην προκειμένη περίπτωση, θεωρείται ότι παρέχει σχετικά ρεαλιστικές τιμές, ιδιαίτερα όσον αφορά την περίπτωση μεγάλων λεκανών με σημαντικό τμήμα επιφανειακής απορροής (Κουρνιώτης, 2020).

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (\text{Εξ. 8})$$

όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής (hr), A είναι η έκταση της λεκάνης (km^2), L είναι η μέγιστη διαδρομή από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι το σημείο εξόδου της λεκάνης (km), και ΔH είναι η διαφορά μεταξύ του μέσου υψομέτρου και του υψομέτρου στην έξοδο της λεκάνης (m).

Όσον αφορά, τώρα, τον συν/τή επιφανειακής απορροής, καθώς πρόκειται για μία παράμετρο που εξαρτάται από έναν σημαντικό αριθμό παραγόντων, όπως π.χ.

μορφολογία εδάφους, τοπογραφική κλίση, φυτοκάλυψη, εδαφική υγρασία, σύσταση εδαφών, ένταση βροχόπτωσης, ο καθορισμός της, ως επί το πλείστον, γίνεται εμπειρικά βάσει βιβλιογραφίας και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση ειδικών πινάκων που έχουν διαμορφωθεί για τον σκοπό αυτό και οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη ορισμένους από τους προαναφερθέντες παράγοντες (π.χ. φύση εδαφών, φυτική κάλυψη, τοπογραφικές συνθήκες) (Κουρنيώτης, 2020, Μπούρη, 2008). Στην προκειμένη περίπτωση, ο υπολογισμός του συν/τή επιφανειακής απορροής πραγματοποιείται με χρήση της απλής σχέσης $C = 1 - C1' - C2' - C3'$, όπου οι όροι $C1'$, $C2'$ και $C3'$ είναι, αντίστοιχα, συνάρτηση της τοπογραφικής κλίσης, της υδατοπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και των χρήσεων γης, ενώ ουσιαστικά εκφράζουν τη συνεισφορά της κατείσδυσης ως αντισταθμιστικού όρου στην επιφανειακή απορροή (γι' αυτόν τον λόγο γίνεται και αφαίρεση των όρων στην παραπάνω σχέση). Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές του συν/τή απορροής (C), όπως υπολογίστηκαν για τις επιμέρους κατηγορίες επιφανειακών κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης που διαμορφώθηκαν στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής, και για τις οποίες ελήφθησαν οι ακόλουθες τιμές των συν/τών $C1'$, $C2'$ και $C3'$ (Τράκος, 2021):

Πίνακας 4: Τιμές συν/τή επιφανειακής απορροής (C) ανά κατηγορία κλίσης ($C1'$), υδατοπερατότητας ($C2'$) και χρήσεων γης ($C3'$)

Χρήση Γης	Υδατοπερατότητα	A - Αποθέσεις	A - Αποθέσεις	A - Αποθέσεις	B - Βραχώδη	B - Βραχώδη	B - Βραχώδη
	κλίση	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%
	$C1'$	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10
	$C3' \setminus C2'$	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20
131	0,00	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70
211	0,10	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
223	0,10	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
242	0,10	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
243	0,10	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
312	0,20	0,10	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50
321	0,15	0,15	0,25	0,35	0,35	0,45	0,55
323	0,15	0,15	0,25	0,35	0,35	0,45	0,55

Στη συνέχεια, βάσει των τιμών του Πίνακα 4 καθώς και της έκτασης των περιοχών που εμπεριέχονται σε κάθε μία από τις εφαρμοζόμενες κατηγορίες κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης υπολογίζεται ένας σταθμισμένος συν/τής απορροής για την υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Στο σημείο αυτό, όμως, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο σταθμισμένος συν/τής που υπολογίζεται με βάση τις παραπάνω τιμές αναφέρεται σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων με περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, συνήθως απαιτείται διόρθωση των υπολογιζόμενων τιμών του συν/τή απορροής, καθώς τόσο η υδροπερατότητα όσο και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τα οποία και απομειώνουν την απορροή έχουν μία αναλογικά

μικρότερη επίδραση στον συνολικό όγκο της απορροής. Η διόρθωση επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον υπολογιζόμενο συν/τή, C , με τον συν/τή C_f (Πίνακας 5) διατηρώντας, όμως, σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του καινούριου συν/τή τη μονάδα (Κουρνιώτης, 2020, Κουτσοβίλη, 2018).

Πίνακας 5: Συν/τής διόρθωσης, C_f ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς, T

Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	Συν/τής διόρθωσης, C_f
20	1.10
100	1.25
500	1.25

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας έρευνας αφενός για τον ορθότερο και αναλυτικότερο υπολογισμό των διαφόρων υδρολογικών μεγεθών που εμπεριέχονται στην ορθολογική μέθοδο (π.χ. χρόνος συγκέντρωσης, συν/τής επιφανειακής απορροής, πλημμυρική αιχμή) και αφετέρου προκειμένου να καταστεί δυνατή η υδραυλική προσομοίωση του τμήματος του υδατορεύματος που χωροθετείται στα κατάντη και το οποίο εμφανίζεται περισσότερο επιδεκτικό στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Στην Εικόνα 15 απεικονίζονται η εξεταζόμενη λεκάνη σε συνδυασμό με τον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (κύριο υδατόρευμα), για τον οποίο απαιτείται η γνώση της πλημμυρικής αιχμής.



Εικόνα 15: Το κύριο τμήμα του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, καθώς και ο κλάδος του υδατορεύματος που λαμβάνεται υπόψη κατά την υδραυλική προσομοίωση (υπό μελέτη τμήμα).

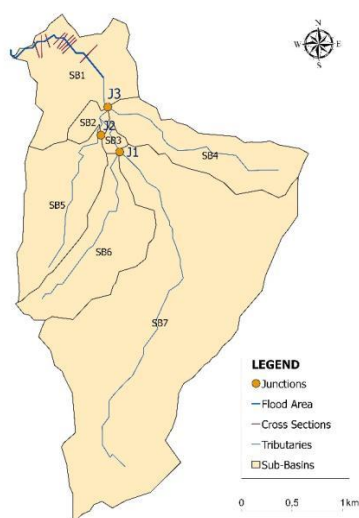
Στον Πίνακα 6 δίνονται διάφορα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής, και κυρίως εκείνων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του χρόνου

συγκέντρωσης (t_c) σε συνδυασμό με τον εκτιμώμενο χρόνο συγκέντρωσης των υπολεκάνων, όπως υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης Giandotti, Εξ. (8).

Πίνακας 6: Επιμέρους γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και εκτιμώμενος χρόνος συγκέντρωσης (t_c) για την εξεταζόμενη λεκάνη απορροής.

Υπολεκάνη	L (km)	H _μ (m)	H _{εξ} (m)	ΔH (m)	A (km ²)	t _c (hrs)	κλίση (%)
1	0,270	17,19	9,00	8,19	0,105	0,743	6,49%
2	1,548	13,86	6,00	7,86	0,914	2,740	5,41%
3	0,300	17,88	12,00	5,88	0,049	0,688	8,02%
4	2,109	166,37	10,00	156,37	0,824	0,679	26,81%
5	1,754	121,76	13,00	108,76	0,890	0,768	24,40%
6	1,851	160,95	19,00	141,95	0,903	0,690	26,65%
7	4,354	261,64	21,00	240,64	4,373	1,200	29,72%

Στην Εικόνα 16 παρουσιάζονται οι 7 υπολεκάνες και τα τα τρία σημεία συμβολής τους (J1, J2, J3), στην μελέτη του υδατορεύματος λαμβάνουμε υπόψη τους παραπόταμους που συμβάλλουν στον κόμβο J3, ορίστηκε ο μεγαλύτερος χρόνος συγκέντρωσης για τον κόμβο (SB7 → SB3 → SB2). Για τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας (20, 100 και 200 έτη) χρησιμοποιούμε τους συντελεστές απορροής για κάθε μια από τις υπολεκάνες, παράλληλα λαμβάνοντας υπόψη τις υπολεκάνες που συμβάλλουν στον κόμβο J3, ορίστηκε μια νέα «σταθμευμένη» τιμή C για τον κόμβο για κάθε περίοδο επαναφοράς. Τέλος, μετά από υπολογισμούς τόσο του συντελεστή έντασης βροχής και του συντελεστή απορροής, και εφαρμογής της Εξ. 8, ορίστηκε η τιμή εκροής στον κόμβο J3 για κάθε περίοδο επαναφοράς Όπως γίνεται άμεσα εμφανές από τα στοιχεία του Πίνακα 7, στο υδατόρευμα οι πλημμυρικές αιχμές εμφανίζονται μεγαλύτερες για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.



Εικόνα 16: Λεκάνη απορροής Πέτρας, υπολεκάνες και κύριος κλάδος μελέτης.

Πίνακας 7: Υπολογισμός πλημμυρικής αιχμής στην υπό μελέτη συμβολή του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

Juncton	T (years)	tc (hrs)	i (mm h ⁻¹)	Area (km ²)	C	Q (m ³ s ⁻¹)
J3	5	2.63	21.46	7.14	0.58	33.8
	50		35.38		0.69	55.3
	100		40.19		0.72	75.5

2.3 Αριθμητική προσομοίωση ροής - Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας

2.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στην παρούσα ενότητα λαμβάνει χώρα αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας υδραυλικής προσομοίωσης του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, υλοποιείται στο περιβάλλον του λογισμικού HEC-RAS, παρέχοντας ως τελικό εξαγόμενο τον προσδιορισμό τόσο επιμέρους υδραυλικών μεγεθών που συνδέονται με τη ροή του νερού (π.χ. στάθμη και πλάτος ελεύθερης επιφάνειας νερού, ταχύτητα ροής, αριθμός Froude) όσο και της πλημμυρικής έκτασης (επιφάνεια κατάκλυσης) σε όλο το εύρος της κοίτης του υπό μελέτη τμήματος. Όλοι οι υπολογισμοί στο HEC-RAS έγιναν σε συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης (1D) ροής (μη μεταβολή των επιμέρους υδραυλικών μεγεθών με τον χρόνο) για τις παροχές αιχμής και των τριών διαφορετικών περιόδων επαναφοράς που εξετάστηκαν κατά την υδρολογική ανάλυση (20, 100 και 200 έτη).

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία της υδραυλικής προσομοίωσης στο λογισμικό HEC-RAS διακρίνεται σε δύο φάσεις (Τσιτρούλης, 2015, U.S.A.C.E., 2016). Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα η γεωμετρική ανάλυση του υπό μελέτη υδατορεύματος, η οποία ουσιαστικά συνίσταται αφενός στον σχεδιασμό της κύριας γραμμής ροής του υδατορεύματος και των διατομών ελέγχου όπου επιτελούνται οι επιμέρους υδραυλικοί υπολογισμοί, και αφετέρου στον προσδιορισμό της τραχύτητας της κοίτης (προσδιορισμός συν/τών Manning) βάσει της φύσης και της κατάστασης των επιφανειών της (Κουρνιώτης, 2020). Σε δεύτερη φάση πραγματοποιείται η υδραυλική ανάλυση, η οποία έγκειται στη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος και πιο συγκεκριμένα στην εισαγωγή των παροχών σχεδιασμού, στον καθορισμό των οριακών συνθηκών ροής, και, τέλος, στην επιλογή του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή).

2.3.2 Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων

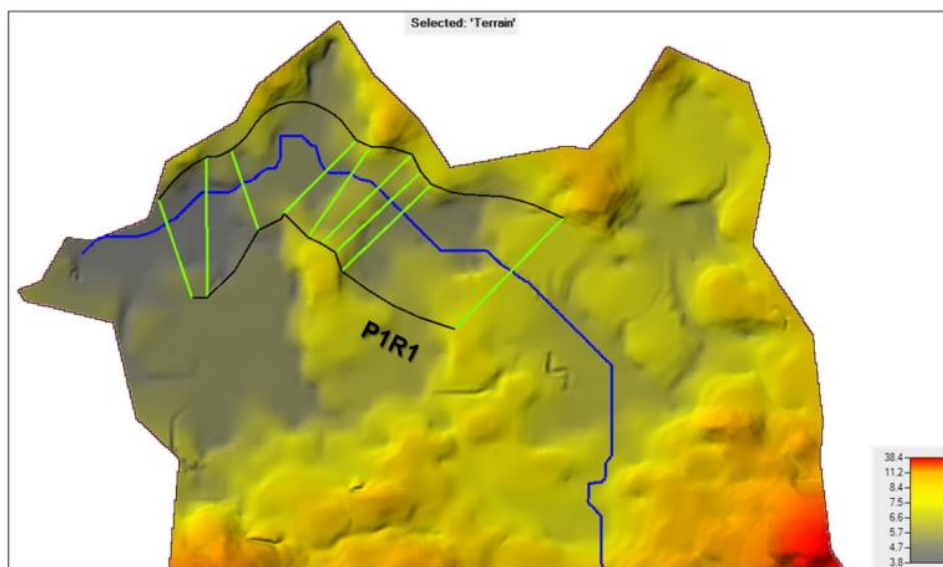
Όσον αφορά τη διαδικασία της γεωμετρικής ανάλυσης και τη διαμόρφωση του γεωμετρικού ομοιώματος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος έγινε χρήση της επέκτασης HEC-GeoRAS του λογισμικού ArcMap μέσω της οποίας γενικώς δημιουργούνται επιμέρους θεματικά επίπεδα (RASlayers) που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη μορφή, τη διάταξη και τη γεωμετρία του υδατορεύματος (π.χ. κατεύθυνση ροής στο υδατόρευμα, προσανατολισμός και μήκος υδατορεύματος, αποστάσεις διατομών μεταξύ

τους και από τις όχθες κ.ά.). Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκαν για τους υπό μελέτη κλάδους του υδατορεύματος, η κύρια γραμμή ροής (κεντρική κοίτη), οι όχθες, οι διευθύνσεις ροής, και οι διατομές ελέγχου, ενώ προσδιορίστηκαν όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και δεδομένα χρησιμοποιώντας ως βάση τις μετρούμενες διατομές στο πεδίο και το τοπογραφικό υπόβαθρο υπό τη μορφή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους (TIN, Triangulated Irregular Network).

Πιο αναλυτικά, η γραμμή ροής σχεδιάστηκε βάσει του διαμορφωμένου υδρογραφικού δικτύου κατά τη φορά της ροής, οι όχθες και οι διευθύνσεις ροής μετρήθηκαν ως πολυγωνικές γραμμές εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης και σε αποστάσεις 15 και 30 m, αντίστοιχα, ενώ, τέλος, οι διατομές ελέγχου μετρήθηκαν σε καθορισμένη απόσταση και με καθορισμένο πλάτος, επιχειρώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ορθότερη οριοθέτηση του υδατορεύματος και την πλήρη αποτύπωση του πλημμυρικού πεδίου στην εκάστοτε θέση (Γιάννιου, 2015, Κουρنيώτης, 2020). Για τον λόγο αυτό, το πλάτος των διατομών δεν διατηρείται γενικώς σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος των επιμέρους κλάδων του υδατορεύματος, όντας συγκεκριμένα μεγαλύτερο σε περιπτώσεις που το ανάγλυφο του εδάφους είναι σχετικά επίπεδο. Επιπλέον επισημαίνεται ότι, όσον αφορά την περίπτωση των οχθών του υδατορεύματος, ο σχεδιασμός τους έγινε σε αρχικό στάδιο, λαμβάνοντας συγχρόνως πληροφορίες σχετικά με το πλάτος του υδατορεύματος από τις επιτόπιες μετρήσεις του πεδίου, ενώ ο οριστικός καθορισμός τους έλαβε χώρα μετέπειτα στο HEC-RAS.

Στην Εικόνα 17 απεικονίζεται αφενός η κύρια γραμμή ροής του τμήματος του υδατορεύματος που περιλαμβάνεται στην υδραυλική ανάλυση και το οποίο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται στα κατάντη (πλημμυρική περιοχή) και αφετέρου οι διατομές ελέγχου που μετρήθηκαν στο πεδίο κατά μήκος του εν λόγω τμήματος. Συνολικά σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν 9 διατομές. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, σε περιοχές με γενικώς επίπεδο ανάγλυφο, οι διατομές σχεδιάστηκαν με μεγαλύτερο πλάτος, έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν το πλημμυρικό γεγονός.

Στη συνέχεια, τα επιμέρους διαμορφωμένα θεματικά επίπεδα εισήχθησαν στο HEC-RAS, όπου συγκεκριμένα έλαβε χώρα επεξεργασία και οριστική οριοθέτηση των οχθών του υπό μελέτη κλάδου του υδατορεύματος (σε περιπτώσεις που υπήρχε σχετική απόκλιση), καθώς και καθορισμός του συν/τή Manning, στον οποίο και αποδόθηκε εντός της κοίτης του υδατορεύματος τιμή ίση με 0,04 και αριστερά και δεξιά αυτής ανάλογα το είδος χρήσης γης (Ε.Γ.Υ., 2017).



Εικόνα 17: Η γραμμή ροής του εξεταζόμενου τμήματος του κύριου κλάδου του υδατορεύματος και οι διατομές ελέγχου που μετρήθηκαν και μελετήθηκαν στο πεδίο κατά μήκος των εν λόγω τμημάτων.

2.3.3 Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος στο HEC-RAS απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο καθορισμός των παροχών σχεδιασμού, των οριακών συνθηκών και του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή). Αναφορικά με τις παροχές σχεδιασμού, αυτές προέρχονται από την υδρολογική ανάλυση που προηγήθηκε και αφορούν τις εκτιμώμενες τιμές πλημμυρικής αιχμής στον κλάδο του υδατορεύματος (Πίνακας 7) και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 200 έτη). Επομένως, για κάθε περίοδο επαναφοράς διαμορφώνεται ένα διαφορετικό προφίλ παροχών που περιλαμβάνει διαφορετικές τιμές παροχής.

Αναφορικά με τις οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος, οι οποίες και γενικώς εφαρμόζονται στις οριακές διατομές του υπό μελέτη υδατορεύματος, ο ορθός καθορισμός τους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την όσον το δυνατόν ακριβή προσέγγιση της κατάστασης ροής στο υδατόρευμα, καθώς αποτελούν το εναρκτήριο βήμα για την εκτέλεση των επιμέρους υπολογισμών (Κουρنيώτης, 2020, U.S.A.C.E., 2016). Στην προκειμένη περίπτωση, ο τύπος των οριακών συνθηκών που εφαρμόσθηκε στις οριακές διατομές του υπό μελέτη κλάδο του υδατορεύματος είναι αυτός του ομοιόμορφου βάθους ροής (normal depth) βάσει του οποίου εισάγεται η κλίση της γραμμής ενέργειας για να υπολογιστεί στη συνέχεια το ομοιόμορφο βάθος στις διατομές. Τις περισσότερες φορές, όμως, καθώς η κλίση της γραμμής ενέργειας δεν είναι γνωστή υιοθετείται η παραδοχή ότι γενικώς ταυτίζεται με την τοπογραφική κλίση του πυθμένα, όπως αυτή

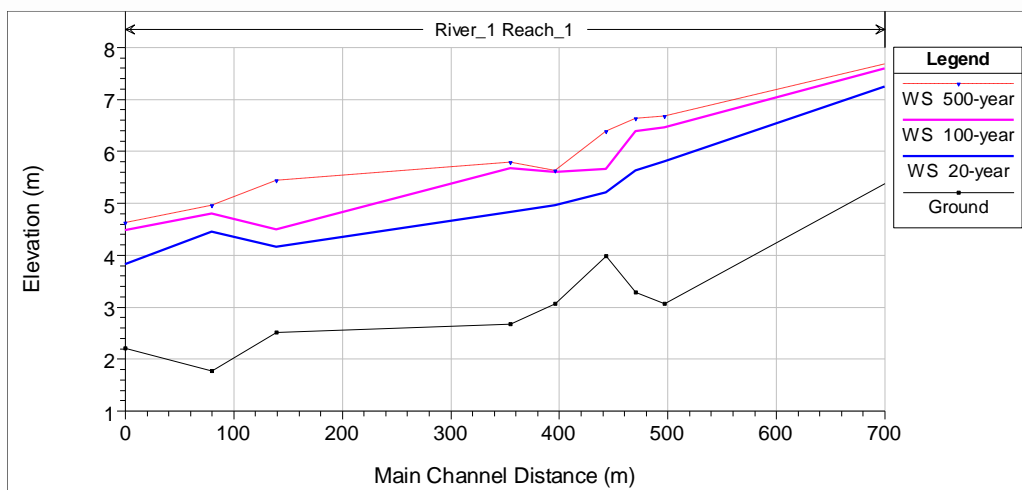
υπολογίζεται μεταξύ της οριακής διατομής και της επόμενης διαδοχικής της (Κουτσοβίλη, 2018).

Στην Εικόνα 17 σημειώνονται οι διατομές στον κλάδο του υδατορεύματος στις οποίες εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος. Τέλος, σχετικά με το καθεστώς ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος γίνεται η επιλογή της μεικτής ροής προκειμένου να διασφαλισθεί ακόμα και η περίπτωση ύπαρξης υπερκρίσιμης ροής στο υδατόρευμα, ειδικότερα στα τμήματα εκείνα που ενδέχεται να παρατηρούνται μεγάλες διαφορές εδαφικής κλίσης.

2.3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής

Μετά την επιτυχημένη ολοκλήρωση των υπολογισμών παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση της ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος για συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης (1D) ροής, και τα οποία συγκεκριμένα συνοψίζονται στην Εικόνα 18.

Στην Εικόνα 18 απεικονίζεται η κατά μήκος τομή και το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στην υπο μελέτη συμβολή του υδατορεύματος, όπως προέκυψε και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη). Όπως γίνεται άμεσα εμφανές, το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μειώνεται αισθητά από τα ανάντη προς τα κατόντη καθώς μειώνεται το υψόμετρο του εδάφους, ενώ αυξάνεται όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδος επαναφοράς του πλημμυρικού συμβάντος (μεγαλύτερο ύψος ελεύθερης επιφάνειας για περίοδο επαναφοράς 500 ετών), αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500 ετών η διαφορά είναι σχετικά μικρή.



Εικόνα 18: Κατά μήκος τομή και προφίλ της επιφάνειας του νερού στον υπό μελέτη κλάδο του υδατορεύματος για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη)

2.3.5 Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας

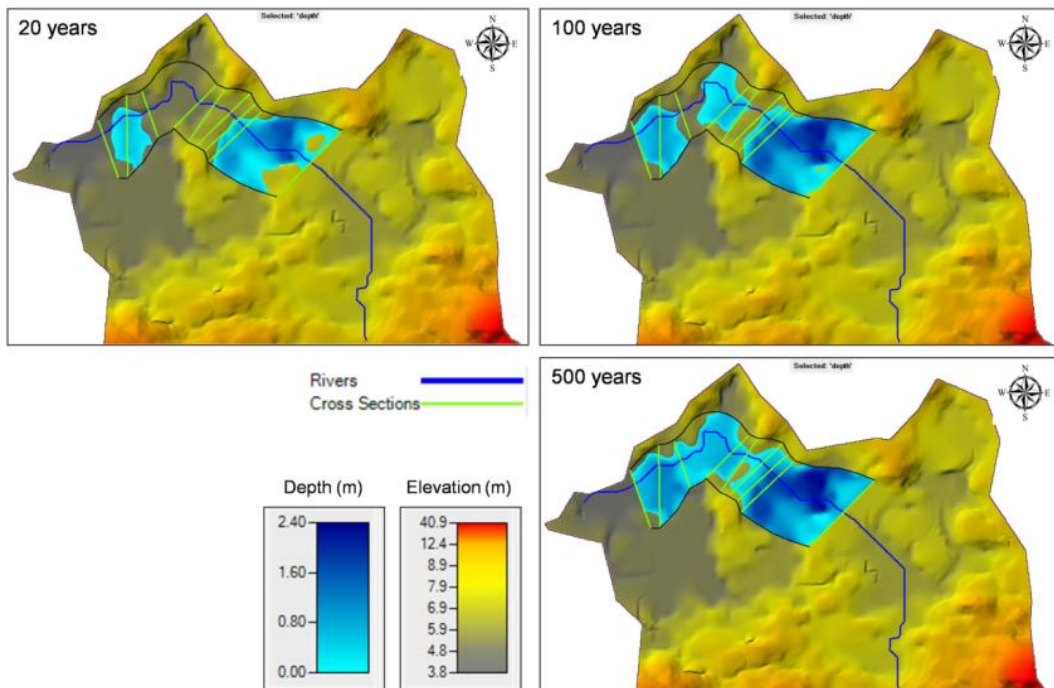
Τελικό βήμα της υδραυλικής ανάλυσης συνιστά η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος μέσω του υπολογισμού και της χαρτογράφησης των πλημμυρικών εκτάσεων. Στην Εικόνα 19 δίνονται οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και

500 έτη). Επίσης οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το βάθος νερού, καθώς και με τη γεωγραφική του εξάπλωση.

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμύρας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη)

T (έτη)	Συνολική πλημμυρική έκταση (km ²)	Μέγιστο πλημμυρικό βάθος (m)
20	0,048	1,88
100	0,077	2,30
500	0,092	2,42

Εικόνα 19: Επιφάνεια κατάκλυσης και βάθος νερού κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη)



Όπως συμπεραίνεται από την Εικόνα 19, το υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 500 έτη) χαρακτηρίζεται, κατά κύριο λόγο, από αρνητική ικανότητα παροχέτευσης των πλημμυρικών παροχών, καθώς, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι διατομές του υπερχειλίζουν και το νερό κατακλύζει εκτάσεις εκατέρωθεν της κοίτης του υδατορεύματος. Η κατάσταση γίνεται πιο έντονη όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδο επαναφοράς, αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500 ετών παρατηρείται σχετικά μικρή διαφορά. Επιπρόσθετα, μέσω της Εικόνας 19 καταδεικνύονται οι περιοχές εκείνες κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος, οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από τα πλημμυρικά φαινόμενα (μεγαλύτερη έκταση πλημμυρικού πεδίου), και κατ' επέκταση χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό.

2.4 Απώλεια εδάφους και ιζηματοπαροχη

2.4.1 Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R

Ο συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων ποσοτικοποιεί την ένταση και συχνότητα των γεγονότων βροχόπτωσης όπου συμβάλλει στην διάβρωση εδάφους. Δεδομένης της ανεπαρκούς διαθεσιμότητας λεπτομερών δεδομένων βροχοπτώσεων, συνήθως υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα μέσα μηνιαία ή ακόμα και τα μέσα ετήσια δεδομένα βροχοπτώσεων. Στην παρούσα εργασία, τα μετεωρολογικά δεδομένα που επεξεργαστήκαμε για τον συντελεστή R ήταν από τον μετ. σταθμό της Πέτρας, μεταξύ 2012-2022 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, και στην συνέχεια για τον υπολογισμό του συντελεστή R που ανταποκρίνεται στην υπό εξεταζόμενη περίοδο.

2.4.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας k

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας είναι μια ευαίσθητη παράμετρος, η οποία συνδέεται σημαντικά με την δομή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, αντιπροσωπεύοντας την ευαισθησία του εδάφους. Στην παρούσα μελέτη, εξαιτίας της έλλειψης λεπτομερών δεδομένων που σχετίζονται με την εδαφική υφή και διαπερατότητα, ο υπολογισμός του συντελεστή k βασίστηκε στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, για κάθε γεωλογικό σχηματισμό όπου παρουσιάζονται στην περιοχή, η τιμή του K προσδιορίστηκε (Πίνακας 9) λαμβάνοντας υπόψη τις λίστες από

Πίνακας 9: Τιμές του συντελεστή K σύμφωνα με τους γεωλογικούς σχηματισμούς. εμπειρικές παρατηρήσεις σχετικές βιβλιογραφικές πηγές.

Κωδικός ΕΑΓΜΕ	Γεωλογικοί Σχηματισμοί		K
Q.al	Αλλουβιακές αποθέσεις		0,030
Ng.d	Φλέβα		0,020
Ng.ul	Πάνω στρώμα λάβας		0,022
Ng.II ₂	Κάτω στρώμα λάβας		0,020
Ng.ul ₁	Κατώτερο τμήμα του άνω σχηματισμού της λάβας		0,022

2.4.3 Συντελεστής τοπογραφίας LS

Ο συντελεστής τοπογραφίας (LS) που περιλαμβάνει το μήκος της κλίσης (L) και την απότομη κλίση (S), αντιστοιχεί στην αναλογία μεταξύ εδαφικής απώλειας ενός δεδομένου μήκους κλίσης και της απότομης κλίσης προς την αρχική μονάδα USLE

Στην παρούσα μελέτη, οι τιμές του LS λήφθηκαν από την εφαρμογή της Εξ. 9, ακολουθώντας την μεθοδολογική προσέγγιση των Mitasova και Mitas. Η χωρική κατανομή του LS απεικονίζεται στην Εικόνα 20.

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.09} \right)^n \quad (\text{Εξ. 9})$$

2.4.4 Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C και P

Ο Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης (C) ποσοτικοποιεί τον αντιδραστικό αντίκτυπο των καλλιεργειών και των πρακτικών διαχείρισης στη διάβρωση εδάφους που προκαλείται από το νερό και συνδέεται στην πραγματικότητα με τους τύπους χρήσεων γης που υπάρχουν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στο Πίνακα 10 αναπαρίστανται οι τιμές του C για κάθε χρήση γης προσαρμοσμένες στην λεκάνη της Πέτρας, ενώ στην Εικόνα 20 απεικονίζεται η χωρική κατανομή.

Ο συντελεστής πρακτικών υποστήριξης (P) περιγράφει τα αποτελέσματα των πρακτικών ως το περίγραμμα, την καλλιέργεια λωρίδων, τις κοίλες πλαγιές, τις βεράντες, τους φράκτες χόρτου, τους φράκτες λάσπης και τα συστήματα αποστράγγισης επιφανειών, και χρησιμεύει ως δείκτης της συνολικής αποτελεσματικότητας των πρακτικών στον μετριασμό της διάβρωσης εδάφους. Σε αυτή την μελέτη, ο συντελεστής P εκτιμήθηκε, ομοίως με τον συντελεστή C, βασίστηκε στους υπάρχον τύπους χρήσης γης της περιοχής μελέτης, ενώ εφαρμόζει τις ίδιες παραδοχές με τους (Michas et al., 2015) για μια κοντινή λεκάνη όσον αφορά την εφαρμογή πρακτικών διατήρησης του εδάφους.

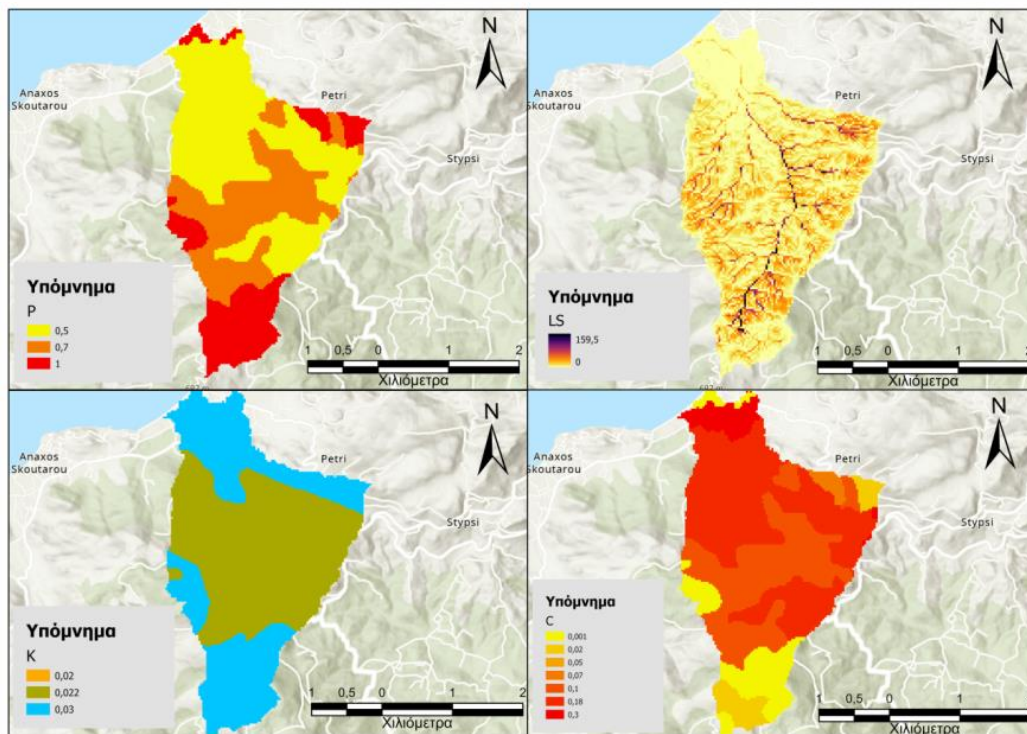
Πίνακας 10: Οι τιμές των συντελεστών C και P για κάθε τύπο χρήσης γης στην λεκάνη της Πέτρας.

Χρήση Γης	Περιγραφή χρήσης	C	P
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,001	1,00
131	Τοποθεσία εξόρυξης ορυκτών	0,050	1,00
211	Μη αρδευόμενες-καλλιεργήσιμες εκτάσεις	0,300	0,70
223	Ελαιώνες	0,100	0,50
242	Πολύπλοκα πρότυπα καλλιέργειας	0,180	0,50
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0,070	0,70
311	Πλατύφυλλο δάσος	0,001	1,00
312	Δάσος κωνοφόρων	0,001	1,00
324	Μεταβατικές δασώδεις/θαμνώδεις εκτάσεις	0,020	1,00

2.4.5 Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων

Η εφαρμογή του μοντέλου USLE πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS. Ειδικότερα, για κάθε παράμετρο που συμπεριλήφθηκε στην USLE (R, K, LS, C και P) ψηφιακά χωροταξικά

επίπεδα δεδομένων δημιουργήθηκαν σε raster πλέγμα χρησιμοποιώντας το ίδιο πλέγμα με το DEM (27m x 27 m).



Στην

Εικόνα 20: Χάρτης αναπαράστασης των συντελεστών της USLE (K, P, C και LS) για την λεκάνη απορροής της Πέτρας.

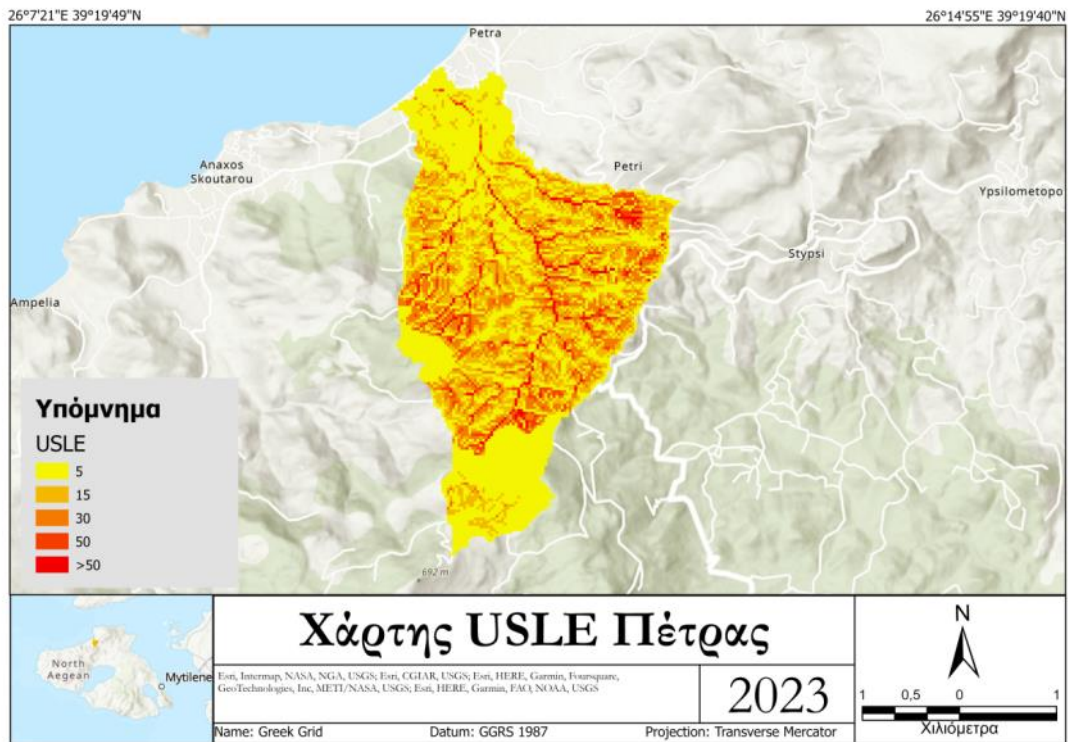
Εικόνα 21, ο

ετήσιος ρυθμός απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Καλαμωτής απεικονίζεται λαμβάνοντας υπόψη πέντε κατηγορίες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διάβρωσης του εδάφους, που ορίζεται ως: (i) πολύ χαμηλό (0-5 tha-1yr-1), (ii) χαμηλή (5-15 tha-1yr-1), (iii) μέτρια (15-30 tha-1yr-1), (iv) υψηλή (30-50 tha-1yr-1)

Εικόνα 21: Κατανομή απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Πέτρας.

και (v)

πολύ υψηλή (>50 tha-1 έτος-1). Ο χάρτης που προκύπτει αποκαλύπτει ένα εμφανές μοτίβο, όπου περιοχές κατά μήκος του δικτύου αποστράγγισης, που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές LS, παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένα επίπεδα διάβρωσης του εδάφους.



Τέλος, ο Πίνακας 11 παρουσιάζει τη μέση και συνολική ετήσια απώλεια εδάφους για τη λεκάνη της Πέγειας, καθώς και τη μέση και συνολική ετήσια απόδοση ιζήματος που εναποτίθεται στην έξοδο της λεκάνης. Η απόδοση ιζήματος είναι ιδιαίτερης σημασίας γιατί σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του ιζήματος που μεταφέρεται και συσσωρεύτηκε στην παραλία. Στο πλαίσιο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι η εκτιμώμενη τιμή της μέσης απόδοσης ιζήματος είναι 358 t km⁻¹ γ-1

Πίνακας 11: Απώλεια εδάφους και απόδοση ιζήματος στη λεκάνη της Πέτρας.

	Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Απώλεια εδάφους	Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά ha)	t ha ⁻¹ γr ⁻¹	9,83
	Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά km ²)	t km ⁻¹ γr ⁻¹	983
	Έκταση λεκάνης απορροής	km ²	8,0
	Συνολικήετήσια απώλεια εδάφους	t γr ⁻¹	7.860
Στερεο-παροχή	Συν/τής απομείωσης (Vanoni)	-	0,364
	Ετήσια στερεοπαροχή (ανά km ²)	t km ⁻¹ γr ⁻¹	358
	Συνολικήετήσια στερεοπαροχή	t γr ⁻¹	2.860

3 Κύπρος

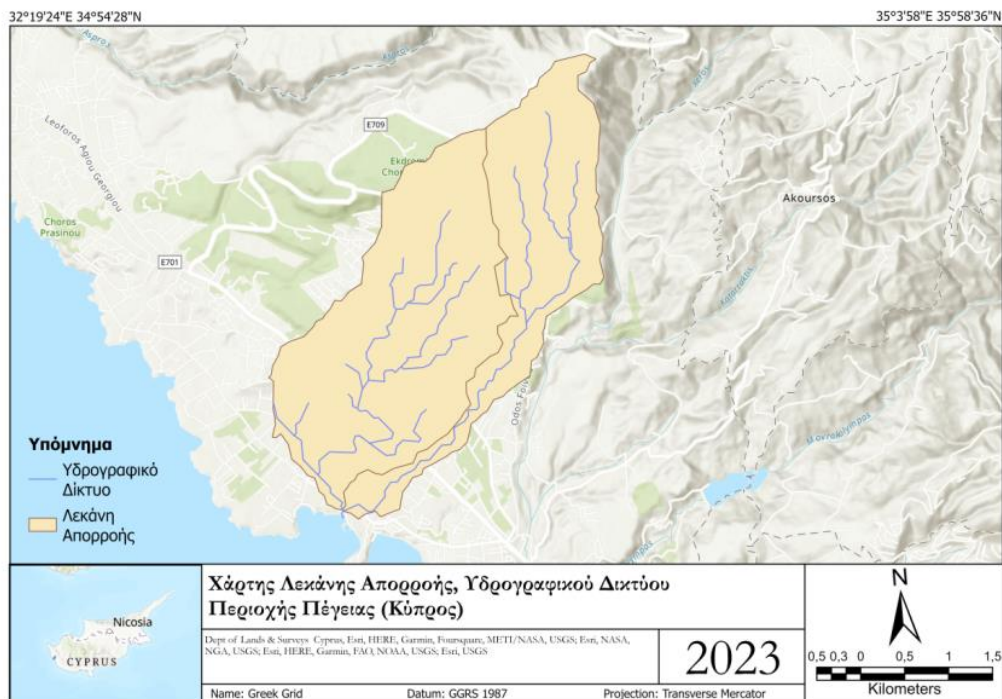
Η Κύπρος Βρίσκεται ανατολικά της Ελλάδας, νότια της Τουρκίας (στα 64 χιλιόμετρα / 40 ναυτικά μίλια), δυτικά της Συρίας και βόρεια της Αιγύπτου. Είναι το τρίτο μεγαλύτερο σε έκταση νησί της Μεσογείου μετά τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Γεωγραφικά η Κύπρος ανήκει στη Μέση Ανατολή. Ωστόσο, επειδή ιστορικά, πολιτιστικά και οικονομικά η Κύπρος έχει δεσμούς με την Ευρώπη και ιδιαίτερα με την Ελλάδα, θεωρείται μέρος μόνο της Δύσης και της Ευρώπης. Θεωρείται σήμερα το νοτιοανατολικό άκρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και της Ευρώπης ολόκληρης.



Φράγμα Ευρετού- Κύπρος (φωτογραφία από Θ.Κουνάδης)

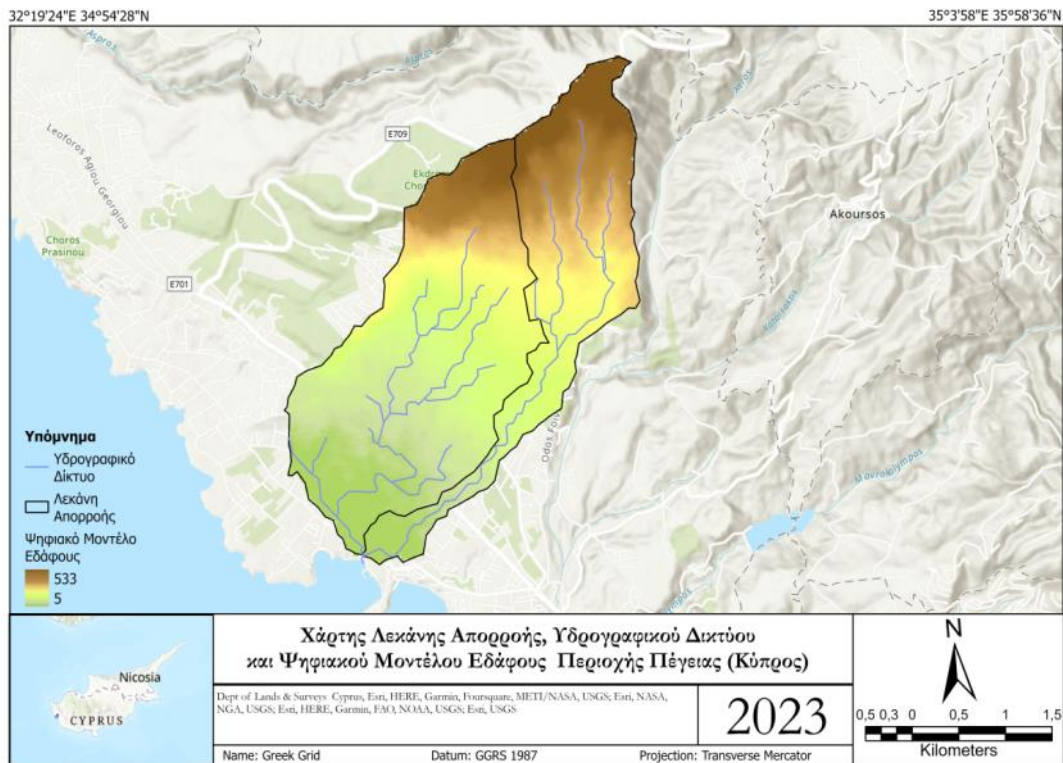
3.1 Περιγραφή της υπό μελέτη λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του ρ. Πέγεια χωροθετείται στα δυτικά της ν.Κύπρου σε μικρή απόσταση από τον οικισμό της Πάφου (Εικόνα 22). Η λεκάνη απορροής είναι από τις μικρότερες που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της ευρύτερης περιοχής μεταξύ της Πάφου και της Πέγειας. Διοικητικά ανήκει, στην επαρχία της Πάφου, και συγκεκριμένα στο Δήμο Πέγειας. Το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες με διεύθυνση μεγάλου άξονα ΒΑ-ΝΔ. Επιπλέον, η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής, το οποίο και απορρέει στη θάλασσα με το σημείο εκβολής της λεκάνης να εντοπίζεται συγκεκριμένα στην παραλία του Κόλπου των Κοραλλιών με την ονομασία Λαουρού.(Εικόνα 22). Τέλος, εντός της λεκάνης απορροής εντοπίζονται ένας οικισμός, και συγκεκριμένα ο οικισμός της Πέγειας στα νότιο-δυτικά της λεκάνης.



Εικόνα 22: Η τοποθεσία και τα περιμετρικά όρια της λεκάνης απορροής του ρ. Πέγειας σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και το σημείο εκβολής του στη θάλασσα.

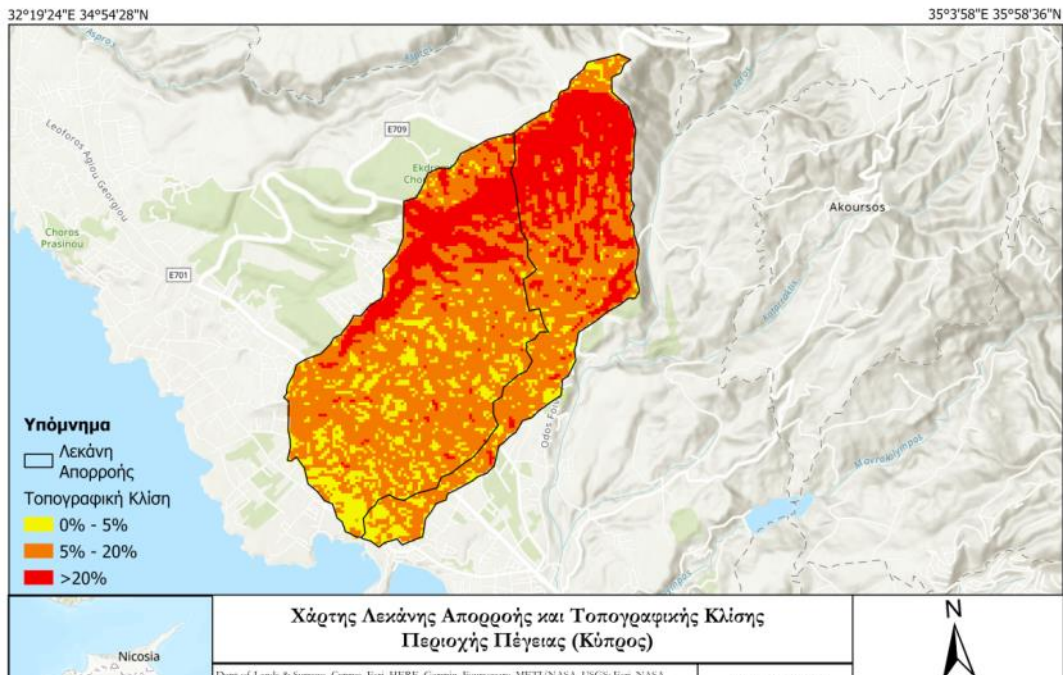
Στην Εικόνα 23 απεικονίζεται η διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στη λεκάνη απορροής όπως διαμορφώνεται με βάση πρωτογενή δεδομένα που αποκτήθηκαν από το Πρόγραμμα Παρατήρησης της Γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Copernicus» (πινακίδες υψομέτρων επί του εδάφους με μέγεθος εικονοστοιχείων 27x27m). Επιπλέον, από την Εικόνα 3 διαπιστώνεται ότι τα χαμηλά υψόμετρα συναντώνται, ως πει το πλείστον, στο νότιο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης, ενώ τα υψηλά στο βόρειο-ανατολικό τμήμα της.



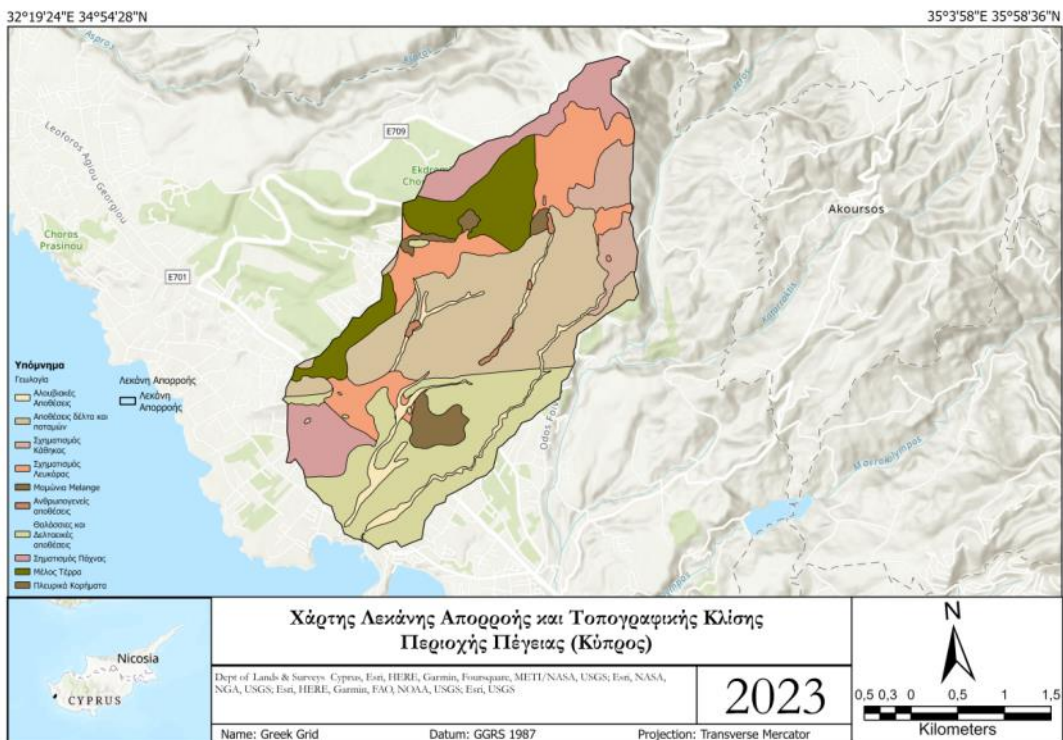
Εικόνα 23: Διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Στην Εικόνα 24 απεικονίζεται η διαβάθμιση των επιφανειακών κλίσεων στη λεκάνη, όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Εικόνα 23). Σύμφωνα με το εύρος τιμών που λαμβάνεται υπόψη (ταξινόμηση που ακολουθείται για τον υπολογισμό του συν/τή απορροής κατά τη διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου).

Από γεωλογικής άποψης, στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής απαντώνται, κατά κύριο λόγο, πετρώματα ηφαιστειακής προέλευσης και συγκεντρώσεις χειμαρρωδών αποθέσεων (άργιλοι, άμμοι, ποτάμιες αποθέσεις). Τέλος, σε πολύ μικρότερο ποσοστό συναντώνται και ασβεστόλιθοι. Στην Εικόνα 25 απεικονίζεται η κατανομή των παραπάνω γεωλογικών σχηματισμών (γεωλογικό υπόβαθρο) που δομούν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Τέλος, στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι στην προκειμένη περίπτωση το ενδιαφέρον των γεωλογικών σχηματισμών ως προς το είδος τους έγκειται ουσιαστικά στον βαθμό υδατοπερατότητας του καθενός, καθώς αποτελεί σημαντική παράμετρο η οποία και λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του συντελεστή επιφανειακής απορροής κατά τη διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου. Υπό το πρίσμα αυτό, οι επιμέρους σχηματισμοί στην περιοχή κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες (κλάσεις υδατοπερατότητας), α) τους βραχώδεις σχηματισμούς (B) όπου περιλαμβάνεται το σύνολο των πετρωμάτων που εντοπίζονται στην περιοχή και χαρακτηρίζονται από μικρή υδατοπερατότητα και β) τις αλλουβιακές αποθέσεις (A) που χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλη υδατοπερατότητα.



Εικόνα 25: Διαβάθμιση επιφανειακών κλίσεων στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.



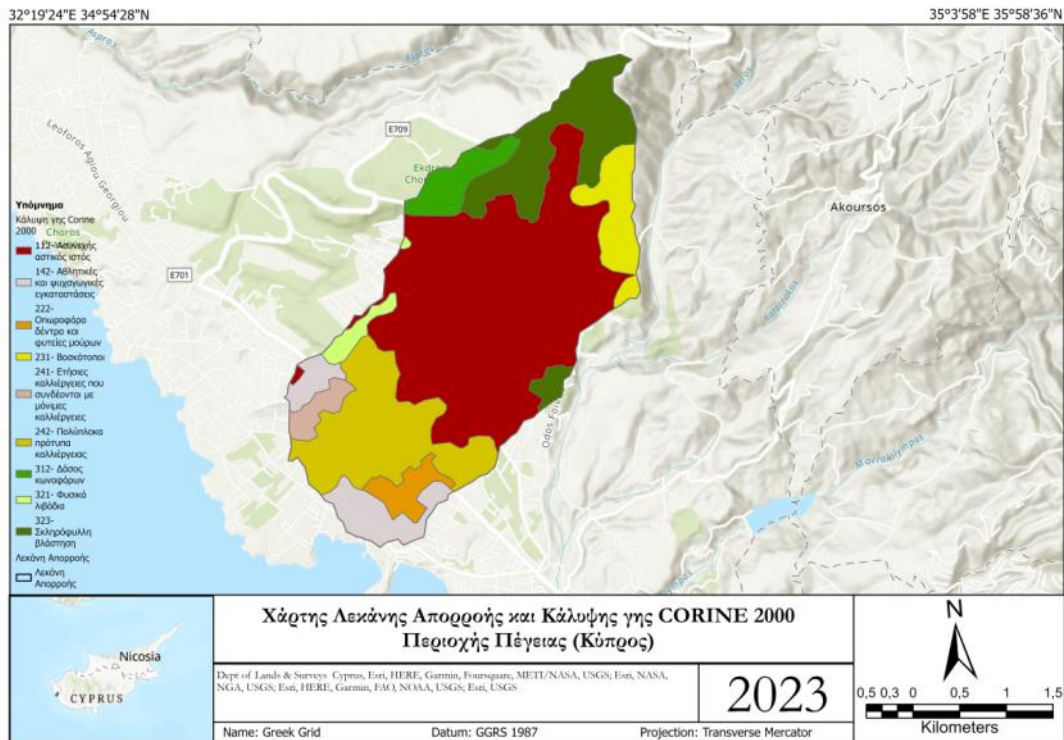
Εικόνα 24: Το γεωλογικό υπόβαθρο της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Τέλος, όσον αφορά τις χρήσεις γης, στη λεκάνη απορροής κυριαρχεί, ως επί το πλείστον, ο αστικός ιστός (κωδ. 112), επίσης συναντάμε δάση κωνοφόρων (κωδ. 312) και σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδ 323) και τέλος διάφορα είδη καλλιεργειών (κωδ. 241,242) και οπωροφόρων δέντρων (κωδ. 222) όπως και κάποιες αθλητικές-ψυχαγωγικές

εγκαταστάσεις (κωδ.142). Στον Πίνακα 12 δίνονται όλες οι κατηγορίες χρήσεων γης που εντοπίζονται στην περιοχή ανά τύπο χρήσεων γης, ενώ στην Εικόνα 26 απεικονίζεται η χωρική κατανομή των εμφανιζόμενων χρήσεων γης. Όσον αφορά συγκεκριμένα τις τρεις επικρατούσες κατηγορίες χρήσεων γης, όπως προκύπτει από την εικόνα, ο αστικός ιστός εντοπίζεται, κατά κύριο λόγο, στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής, το δάσος κωνοφόρων στο βόρειο-ανατολικό τμήμα όπου παρατηρούνται και τα μεγάλα υψόμετρα (Εικόνα 23), και, τέλος, η γεωργική γη εμφανίζεται γενικώς διάσπαρτη στο νότιο-δυτικό τμήμα της λεκάνης.

Πίνακας 12: Κατανομή της επιφάνειας της υπό μελέτη λεκάνης απορροής ανά τύπο χρήσεων γης.

α/α	ΚΩΔ	Περιγραφή χρήσης γης
1	112	Διακεκομμένη αστική δόμηση
2	142	Αθλητικές και ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις
3	222	Οπωροφόρα Δέντρα
4	231	Βοσκότοποι
5	241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες
6	242	Πολύπλοκα πρότυπα καλλιέργειας
7	312	Δάσος κωνοφόρων
8	321	Φυσικοί βοσκότοποι
9	323	Σκληροφυλλική βλάστηση



Εικόνα 26: Οι Χρήσεις γης εντός της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

3.2 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής

Στην προκειμένη περίπτωση για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση όμβριας καμπύλης που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο κατάρτισης της μεταπτυχιακής διπλωματικής για το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο «Διερεύνηση εμπειρικών σχέσεων για την εκτίμηση των πλημμυρικών αιχμών στην Κύπρο» (Γαλιούνα,2011, Πασιαρδής,2011) για τον μετεωρολογικό σταθμό του Φράγματος Ευρέτου της περιοχής Σκούλλοι Κύπρου (τον πλέον κοντινό σταθμό στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής από όσους διαθέτουν αναλυτικές εξισώσεις όμβριων καμπυλών στο νησί της Κύπρου), και η οποία συγκεκριμένα λαμβάνει και την ακόλουθη μορφή, (Εξ. 10):

Πίνακας 13: Συντελεστές Όμβριων Καμπυλών.

(Εξ. 9)

$$\dot{y} = \frac{\lambda * \psi + \frac{\lambda}{\kappa} \left[\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-\kappa} - 1 \right]}{(d + \theta)^n}$$

Συντελεστές Όμβριων Καμπυλών	
κ	0,06
λ	9,81
ψ	2,59
θ	0,09
η	0,71

όπου \dot{y} είναι η ένταση της βροχόπτωσης (mm/hr), d είναι η διάρκεια της βροχόπτωσης (hr) και T είναι η περίοδος επαναφοράς (έτη). Οι υπόλοιπες σταθερές λαμβάνονται υπόψη σύμφωνα με τον Πίνακα 13.

Καθώς, όμως, στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου ισχύει η παραδοχή ότι η μέγιστη παροχή (πλημμυρική αιχμή) εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της υδρολογικής λεκάνης καταφθάσει στην έξοδό της, η διάρκεια της βροχόπτωσης (d) στην Εξ. (9) ουσιαστικά ισούται με τον χρόνο συγκέντρωσης (t_c) στη λεκάνη απορροής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006). Από τις διάφορες εμπειρικές σχέσεις που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, η εξίσωση Giandotti, Εξ. (8), η οποία χρησιμοποιείται και στην προκειμένη περίπτωση, θεωρείται ότι παρέχει σχετικά ρεαλιστικές τιμές, ιδιαίτερα όσον αφορά την περίπτωση μεγάλων λεκανών με σημαντικό τμήμα επιφανειακής απορροής (Κουρنيώτης, 2020).

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (\text{Εξ. 8})$$

όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής (hr), A είναι η έκταση της λεκάνης (km^2), L είναι η μέγιστη διαδρομή από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι το σημείο εξόδου της λεκάνης (km), και ΔH είναι η διαφορά μεταξύ του μέσου υψομέτρου και του υψομέτρου στην έξοδο της λεκάνης (m).

Όσον αφορά, τώρα, τον συν/τή επιφανειακής απορροής, καθώς πρόκειται για μία παράμετρο που εξαρτάται από έναν σημαντικό αριθμό παραγόντων, όπως π.χ. μορφολογία εδάφους, τοπογραφική κλίση, φυτοκάλυψη, εδαφική υγρασία, σύσταση εδαφών, ένταση βροχόπτωσης, ο καθορισμός της, ως επί το πλείστον, γίνεται εμπειρικά βάσει βιβλιογραφίας και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση ειδικών πινάκων που έχουν διαμορφωθεί για τον σκοπό αυτό και οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη ορισμένους από τους προαναφερθέντες παράγοντες (π.χ. φύση εδαφών, φυτική κάλυψη, τοπογραφικές συνθήκες) (Κουρنيώτης, 2020, Μπούρη, 2008). Στην προκειμένη περίπτωση, ο υπολογισμός του συν/τή επιφανειακής απορροής πραγματοποιείται με χρήση της απλής σχέσης $C = 1 - C1' - C2' - C3'$, όπου οι όροι $C1'$, $C2'$ και $C3'$ είναι, αντίστοιχα, συνάρτηση της τοπογραφικής κλίσης, της υδατοπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και των χρήσεων γης, ενώ ουσιαστικά εκφράζουν τη συνεισφορά της κατείσδυσης ως αντισταθμιστικού όρου στην επιφανειακή απορροή (γι' αυτόν τον λόγο γίνεται και αφαίρεση των όρων στην παραπάνω σχέση). Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές του συν/τή απορροής (C), όπως υπολογίστηκαν για τις επιμέρους κατηγορίες επιφανειακών κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης που διαμορφώθηκαν στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής, και για τις οποίες ελήφθησαν οι ακόλουθες τιμές των συν/τών $C1'$, $C2'$ και $C3'$ (Τράκος, 2021):

- $C1' = 0,30$ για κλίσεις 0-5%, $C1' = 0,20$ για κλίσεις 5-20%, $C1' = 0,10$ για κλίσεις >20%,
- $C2' = 0,40$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μεγάλη υδατοπερατότητα (Α - αποθέσεις), $C2' = 0,30$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μέτρια υδατοπερατότητα (Β - ασβεστολιθικοί σχηματισμοί), $C2' = 0,20$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μικρή υδατοπερατότητα (Γ - βραχώδεις σχηματισμοί),
- $C3' = 0,00$ για περιοχές με δόμηση (κωδ. 112, 142), $C3' = 0,10$ για τις διάφορων ειδών καλλιεργήσιμες γαίες (κωδ. 222, 231, 241, 242), $C3' = 0,15$ για φυσικούς βοσκοτόπους,

χερσότοπους και θαμνώδεις εκτάσεις (κωδ. 321, 323), $C3' = 0,20$ για δασώδεις περιοχές (κωδ. 312).

Πίνακας 14: Τιμές συν/τή επιφανειακής απορροής (C) ανά κατηγορία κλίσης (C1'), υδατοπερατότητας (C2') και χρήσεων γης (C3').

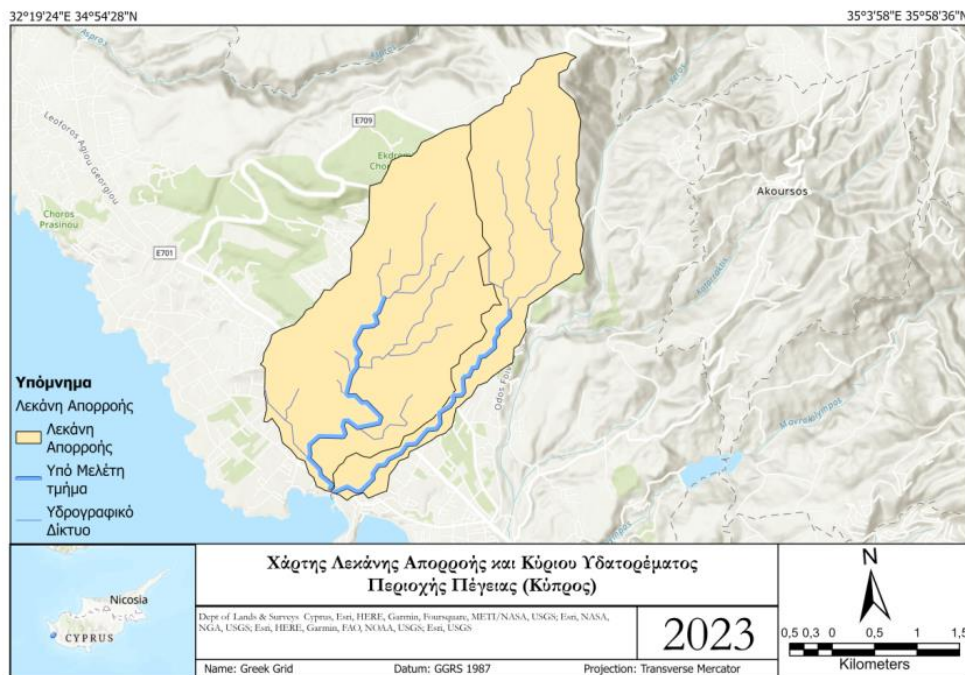
ΚΥΠΡΟΣ										
Χρήση Γης	Υδατοπερατότητα	A - Μεγάλη	A - Μεγάλη	A - Μεγάλη	B - Μέτρια	B - Μέτρια	B - Μέτρια	Γ - Μικρή	Γ - Μικρή	Γ - Μικρή
	Κλίση	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%
	C1'	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10
	C3' \ C2'	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20
112	0,00	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
142	0,00	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
222	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
231	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
241	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
242	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60
312	0,20	0,10	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50
321	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55
323	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55

Στη συνέχεια, βάσει των τιμών του Πίνακα 14 καθώς και της έκτασης των περιοχών που εμπεριέχονται σε κάθε μία από τις εφαρμοζόμενες κατηγορίες κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης υπολογίζεται ένας σταθμισμένος συν/τής απορροής για την υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Στο σημείο αυτό, όμως, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο σταθμισμένος συν/τής που υπολογίζεται με βάση τις παραπάνω τιμές αναφέρεται σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων με περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, συνήθως απαιτείται διόρθωση των υπολογιζόμενων τιμών του συν/τή απορροής, καθώς τόσο η υδροπερατότητα όσο και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τα οποία και απομειώνουν την απορροή έχουν μία αναλογικά μικρότερη επίδραση στον συνολικό όγκο της απορροής. Η διόρθωση επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον υπολογιζόμενο συν/τή, C, με τον συν/τή C_f (Πίνακας 15) διατηρώντας, όμως, σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του καινούριου συν/τή τη μονάδα (Κουρνιώτης, 2020, Κουτσοβίλη, 2018).

Πίνακας 15: Συν/τής διόρθωσης, C_f ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς, T .

Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	Συν/τής διόρθωσης, C_f
20	1,10
100	1,25
500	1,25

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας έρευνας αφενός για τον ορθότερο και αναλυτικότερο υπολογισμό των διαφόρων υδρολογικών μεγεθών που εμπεριέχονται στην ορθολογική μέθοδο (π.χ. χρόνος συγκέντρωσης, συν/τής επιφανειακής απορροής, πλημμυρική αιχμή) και αφετέρου προκειμένου να καταστεί δυνατή η υδραυλική προσομοίωση του τμήματος του υδατορεύματος που χωροθετείται στα κατάντη και το οποίο εμφανίζεται περισσότερο επιδεκτικό στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων, η λεκάνη απορροής υποδιαιρείται σε δύο (2) επιμέρους υπο-λεκάνες. Στην Εικόνα 27 απεικονίζονται οι εξεταζόμενες υπο-λεκάνες σε συνδυασμό με τους κύριους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου (κύριο υδατόρευμα), το σημείο συμβολής τους, καθώς και τους κλάδους που λαμβάνονται υπόψη στην υδραυλική προσομοίωση (P1R1, P2R1), και για τους οποίους επομένως απαιτείται η γνώση της πλημμυρικής αιχμής.



Εικόνα 27: Οι δύο (2) υπο-λεκάνες στις οποίες υποδιαιρείται η συνολική λεκάνη απορροής, τα κύρια τμήματα του υδρογραφικού δικτύου με το σημείο συμβολής αυτών, καθώς και οι κλάδοι του υδατορέματος (P1R1, P2R1) που λαμβάνονται υπόψη κατά την υδραυλική προσομοίωση.

Στον Πίνακα 16 δίνονται διάφορα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των δύο εξεταζόμενων υπο-λεκανών απορροής, και κυρίως εκείνων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης (t_c) σε συνδυασμό με τον εκτιμώμενο χρόνο συγκέντρωσης σε κάθε υπο-λεκάνη, όπως υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης Giandotti, Εξ. (8). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, ο μεγαλύτερος χρόνος συγκέντρωσης

παρατηρείται στην υπο-λεκάνη 1 (Εικόνα 27), η οποία και καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση στο σύνολο της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Πίνακας 16: Επιμέρους γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και εκτιμώμενος χρόνος συγκέντρωσης (t_c) για τις δύο εξεταζόμενες υπο-λεκάνες απορροής.

Λεκάνη/ Υπολεκάνη	Έκταση (km^2)	Μεγαλύτερη διαδρομή (km)	Μέσουψόμετρο (m)	Υψόμετροστηνέξοδο (m)	Μέσηκλίση (%)	t_c (hrs)
Υπολ. 1	6,4	5,3	124,7	5,0	13,2%	2,06
Υπολ. 2	4,0	6,5	239,2	6,0	20,0%	1,45

Στον Πίνακα 17 για κάθε ένα κλάδο του υπό μελέτη υδατορεύματος (P1R1, P2R1) και για τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας (20, 100 και 200 έτη) παρουσιάζονται οι τιμές των επιμέρους μεγεθών που εμπεριέχονται στην ορθολογική μέθοδο (χρόνος συγκέντρωσης, ένταση βροχόπτωσης, σταθμισμένος συν/τής απορροής), καθώς και οι τελικές εκτιμώμενες τιμές της πλημμυρικής αιχμής, οι οποίες και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ανάλυσης. Όπως γίνεται άμεσα εμφανές από τα στοιχεία του πίνακα, και στους δυο κλάδους του υδατορεύματος οι πλημμυρικές αιχμές εμφανίζονται μεγαλύτερες για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

Πίνακας 17: Υπολογισμός πλημμυρικής αιχμής στους υπό μελέτη κλάδους (P1R1, P1R2) του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

	Κλάδος	Λεκάνη/ Υπολεκάνη	T (έτη)	t_c (hrs)	i (mm/h)	Έκταση (km^2)	Σταθμισμένος συν/τής C	Q (m^3/s)
Κύτρος	P1R1	Υπολ. 1	20	2,06	33,25	6,4	0,39	23,2
			100		44,89		0,47	39,2
			500		57,60		0,49	50,3
	P2R1	Υπολ. 2	20	1,45	42,13	4,0	0,49	23,1
			100		56,89		0,59	38,9
			500		73,00		0,61	50,0

3.3 Αριθμητική προσομοίωση ροής - Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας

3.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στην παρούσα ενότητα λαμβάνει χώρα αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας υδραυλικής προσομοίωσης του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος, η οποία, όπως προαναφέρθηκε, υλοποιείται στο περιβάλλον του λογισμικού HEC-RAS, παρέχοντας ως τελικό εξαγόμενο τον προσδιορισμό τόσο επιμέρους υδραυλικών μεγεθών που συνδέονται με τη ροή του νερού (π.χ. στάθμη και πλάτος ελεύθερης επιφάνειας νερού, ταχύτητα ροής, αριθμός Froude) όσο και της πλημμυρικής έκτασης (επιφάνεια κατάκλυσης) σε όλο το εύρος της κοίτης του υπό μελέτη τμήματος. Όλοι οι υπολογισμοί στο HEC-RAS έγιναν σε συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης (1D) ροής (μη μεταβολή των επιμέρους υδραυλικών μεγεθών με τον χρόνο) για τις παροχές αιχμής και των τριών διαφορετικών περιόδων επαναφοράς που εξετάστηκαν κατά την υδρολογική ανάλυση (20, 100 και 200 έτη).

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία της υδραυλικής προσομοίωσης στο λογισμικό HEC-RAS διακρίνεται σε δύο φάσεις (Τσιτρούλης, 2015, U.S.A.C.E., 2016). Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα η γεωμετρική ανάλυση του υπό μελέτη υδατορεύματος, η οποία ουσιαστικά συνίσταται αφενός στον σχεδιασμό της κύριας γραμμής ροής του υδατορέθματος και των διατομών ελέγχου όπου επιτελούνται οι επιμέρους υδραυλικοί υπολογισμοί, και αφετέρου στον προσδιορισμό της τραχύτητας της κοίτης (προσδιορισμός συν/τών Manning) βάσει της φύσης και της κατάστασης των επιφανειών της (Κουρνιώτης, 2020). Σε δεύτερη φάση πραγματοποιείται η υδραυλική ανάλυση, η οποία έγκειται στη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος και πιο συγκεκριμένα στην εισαγωγή των παροχών σχεδιασμού, στον καθορισμό των οριακών συνθηκών ροής, και, τέλος, στην επιλογή του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή).

3.3.2 Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων

Όσον αφορά τη διαδικασία της γεωμετρικής ανάλυσης και τη διαμόρφωση του γεωμετρικού ομοιώματος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος έγινε χρήση της επέκτασης HEC-GeoRAS του λογισμικού ArcMap μέσω της οποίας γενικώς δημιουργούνται επιμέρους θεματικά επίπεδα (RASlayers) που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη μορφή, τη διάταξη και τη γεωμετρία του υδατορεύματος (π.χ. κατεύθυνση ροής στο υδατόρευμα, προσανατολισμός και μήκος υδατορεύματος, αποστάσεις διατομών μεταξύ τους και από τις όχθες κ.ά.). Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκαν για τους υπό μελέτη κλάδους του υδατορεύματος, η κύρια γραμμή ροής (κεντρική κοίτη), οι όχθες, οι διευθύνσεις ροής, και οι διατομές ελέγχου, ενώ προσδιορίστηκαν όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και δεδομένα χρησιμοποιώντας ως βάση το τοπογραφικό υπόβαθρο υπό τη μορφή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους (TIN, Triangulated Irregular Network).

Πιο αναλυτικά, η κύρια γραμμή ροής σχεδιάστηκε βάσει του διαμορφωμένου υδρογραφικού δικτύου κατά τη φορά της ροής, οι όχθες και οι διευθύνσεις ροής

σχεδιάστηκαν ως πολυγωνικές γραμμές εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης και σε αποστάσεις 15 και 30m, αντίστοιχα, ενώ, τέλος, οι διατομές ελέγχου σχεδιάστηκαν σε καθορισμένη απόσταση και με καθορισμένο πλάτος, επιχειρώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ορθότερη οριοθέτηση του υδατορεύματος και την πλήρη αποτύπωση του πλημμυρικού πεδίου στην εκάστοτε θέση (Γιάννιου, 2015, Κουρνιατής, 2020). Για τον λόγο αυτό, το πλάτος των διατομών δεν διατηρείται γενικώς σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος των επιμέρους κλάδων του υδατορεύματος, όντας συγκεκριμένα μεγαλύτερο σε περιπτώσεις που το ανάγλυφο του εδάφους είναι σχετικά επίπεδο. Επιπλέον επισημαίνεται ότι, όσον αφορά την περίπτωση των οχθών του υδατορεύματος, ο σχεδιασμός τους έγινε σε αρχικό στάδιο, λαμβάνοντας συγχρόνως πληροφορίες σχετικά με το πλάτος του υδατορεύματος από το GoogleEarth, ενώ ο οριστικός καθορισμός τους έλαβε χώρα μετέπειτα στο HEC-RAS.

Στην Εικόνα 28 απεικονίζεται αφενός η κύρια γραμμή ροής του τμήματος του υδατορεύματος που περιλαμβάνεται στην υδραυλική ανάλυση και το οποίο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται στα κατάντη (πλημμυρική περιοχή) και αφετέρου οι διατομές ελέγχου που σχεδιάστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος. Συνολικά σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν 68 διατομές, οι οποίες και κατανέμονται στους επιμέρους κλάδους ως εξής: 29 διατομές στον κλάδο P1R1 και 39 διατομές στον κλάδο P2R1. Επισημαίνεται ότι οι διατομές ελέγχου στον κλάδο P2R1 σχεδιάστηκαν με μεγαλύτερη πυκνωση (μικρότερη απόσταση μεταξύ τους) σε σχέση με τον κλάδο P1R1 καθώς στην περιοχή αυτή το ανάγλυφο του εδάφους είναι πιο επίπεδο και οι κλίσεις μικρότερες. Επιπρόσθετα, όπως ήδη προαναφέρθηκε, σε περιοχές με γενικώς επίπεδο ανάγλυφο, οι διατομές σχεδιάστηκαν με μεγαλύτερο πλάτος, έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν το πλημμυρικό γεγονός.

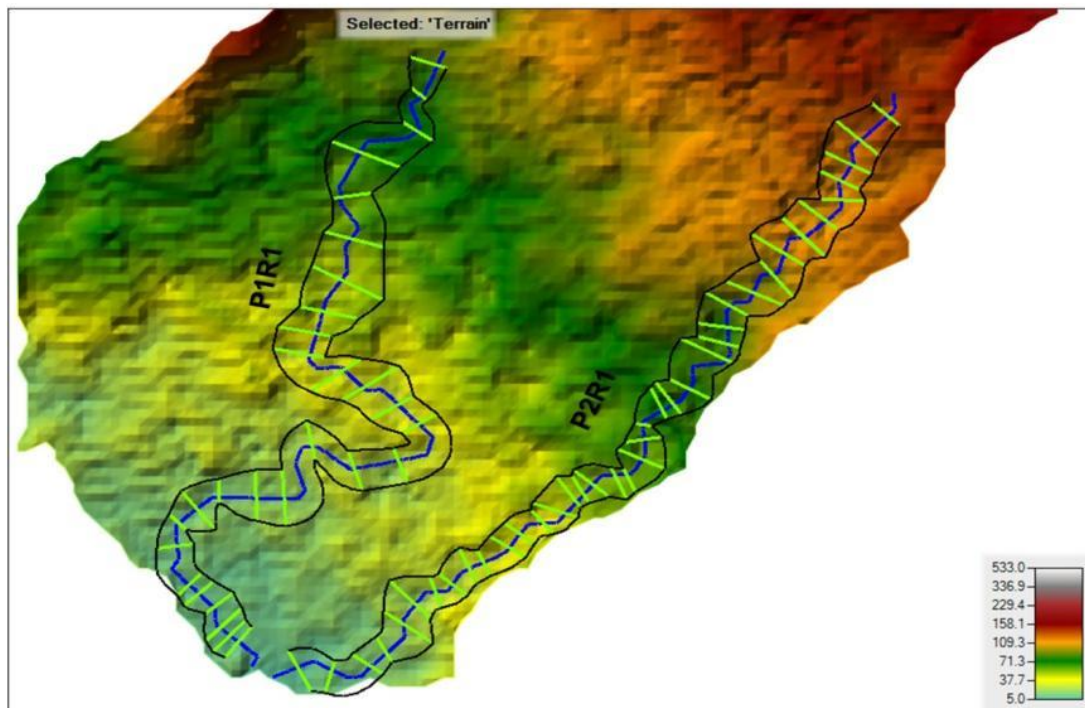
Στη συνέχεια, τα επιμέρους διαμορφωμένα θεματικά επίπεδα εισήχθησαν στο HEC-RAS, όπου συγκεκριμένα έλαβε χώρα επεξεργασία και οριστική οριοθέτηση των οχθών των υπό μελέτη κλάδων του υδατορεύματος (σε περιπτώσεις που υπήρχε σχετική απόκλιση), καθώς και καθορισμός του συν/τή Manning, στον οποίο και αποδόθηκε εντός της κοίτης του υδατορεύματος τιμή ίση με 0,04, ενώ εκατέρωθεν της δεξιάς και της αριστερής κοίτης τιμές με βάση την υπάρχουσα χρήση γης, οι οποίες και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 1β (Ε.Γ.Υ., 2017).

Πίνακας 1β: Συντελεστής Manning.

Χρήση Γης	Manning
112	0,20
142	0,20
222	0,10
242	0,08
323	0,15

3.3.3 Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος στο HEC-RAS απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο καθορισμός των παροχών σχεδιασμού, των οριακών συνθηκών και του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή). Αναφορικά με τις παροχές σχεδιασμού, αυτές προέρχονται από την υδρολογική ανάλυση που προηγήθηκε και αφορούν τις εκτιμώμενες τιμές πλημμυρικής αιχμής στους δύο κλάδους του υδατορεύματος (Πίνακας 17) και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 200 έτη). Επομένως, για κάθε περίοδο επαναφοράς διαμορφώνεται ένα διαφορετικό προφίλ παροχών που περιλαμβάνει διαφορετικές τιμές παροχής για κάθε κλάδο του υδατορεύματος.



Εικόνα 28: Η κύρια γραμμή ροής του εξεταζόμενου τμήματος του υδατορεύματος (κλάδοι P1R1, P1R2), οι διατομές ελέγχου που σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν κατά μήκος των εν λόγω τμημάτων.

Αναφορικά με τις οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος, οι οποίες και γενικώς εφαρμόζονται στις οριακές διατομές του υπό μελέτη υδατορεύματος, ο ορθός καθορισμός τους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την όσον το δυνατόν ακριβή προσέγγιση της κατάστασης ροής στο υδατόρευμα, καθώς αποτελούν το εναρκτήριο βήμα για την εκτέλεση των επιμέρους υπολογισμών (Κουρنيώτης, 2020, U.S.A.C.E., 2016). Στην προκειμένη περίπτωση, ο τύπος των οριακών συνθηκών που εφαρμόσθηκε στις οριακές διατομές των υπό μελέτη κλάδων του υδατορεύματος είναι αυτός του ομοιόμορφου βάθους ροής (normal depth) βάσει του οποίου εισάγεται η κλίση της γραμμής ενέργειας για να υπολογιστεί στη συνέχεια το ομοιόμορφο βάθος στις διατομές. Τις περισσότερες φορές, όμως, καθώς η κλίση της γραμμής ενέργειας δεν είναι γνωστή υιοθετείται η παραδοχή ότι γενικώς ταυτίζεται με την τοπογραφική κλίση του πυθμένα, όπως αυτή

υπολογίζεται μεταξύ της οριακής διατομής και της επόμενης διαδοχικής της (Κουτσοβίλη, 2018).

Στην Εικόνα 28 σημειώνονται οι διατομές σε κάθε κλάδο του υδατορεύματος στις οποίες εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος, ενώ στον Πίνακα 18 δίνονται οι υπολογιζόμενες τιμές της κλίσης πυθμένα που εισάγονται στις διατομές σε συνδυασμό με τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό των τιμών αυτών (υψόμετρο πυθμένα των δύο διαδοχικών διατομών και μεταξύ τους απόσταση). Τέλος, σχετικά με το καθεστώς ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος γίνεται η επιλογή της μεικτής ροής προκειμένου να διασφαλισθεί ακόμα και η περίπτωση ύπαρξης υπερκρίσιμης ροής στο υδατόρευμα, ειδικότερα στα τμήματα εκείνα που ενδέχεται να παρατηρούνται μεγάλες διαφορές εδαφικής κλίσης.

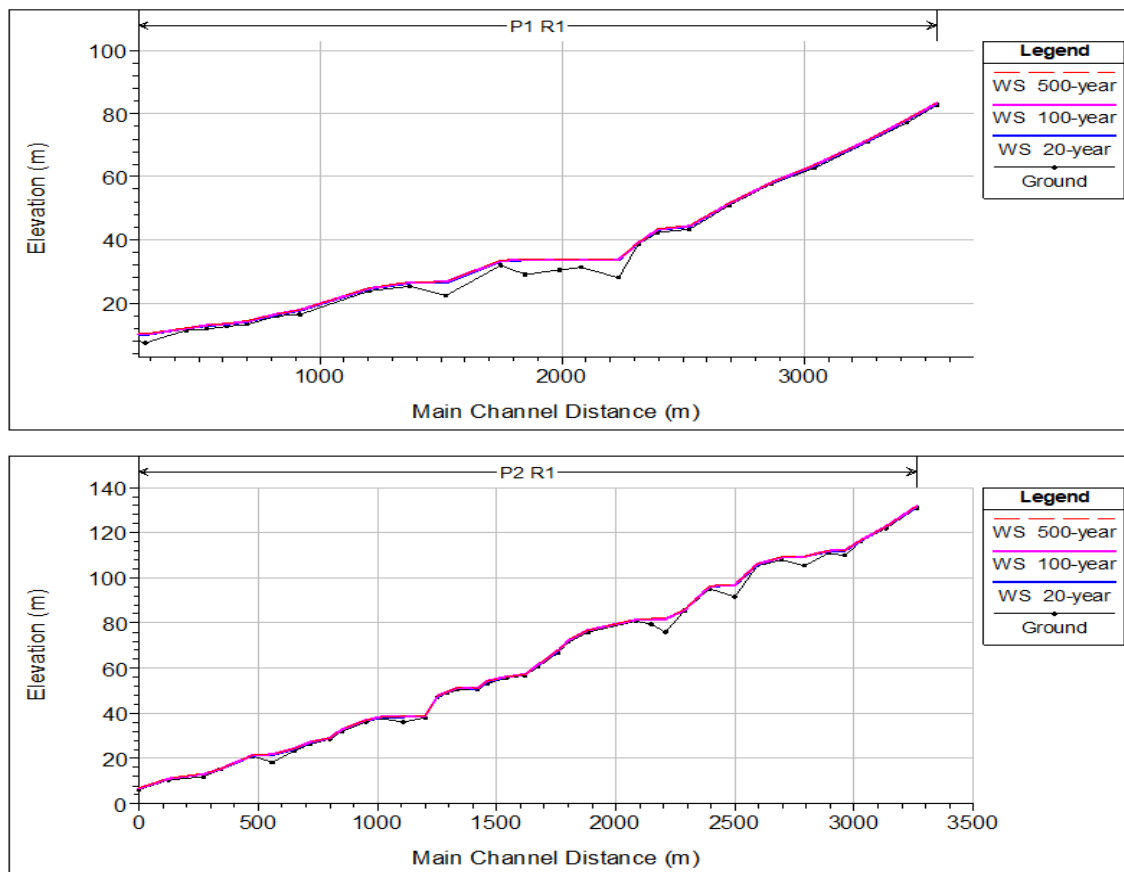
Πίνακας 18: Υπολογιζόμενες τιμές τοπογραφικής κλίσης πυθμένα (οριακές συνθήκες) που εισάγονται στις οριακές διατομές των επιμέρους κλάδων του υδατορεύματος.

	Ανάντη (m)	Κατάντη(m)	Απόσταση(m)	Κλίση
P1R1	7,00	6,71	36,848	0,00787
	82,61	77,17	124,382	0,04374
P2R1	7,41	6	59,44	0,02372
	131,10	122,01	127,881	0,07108

3.3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής

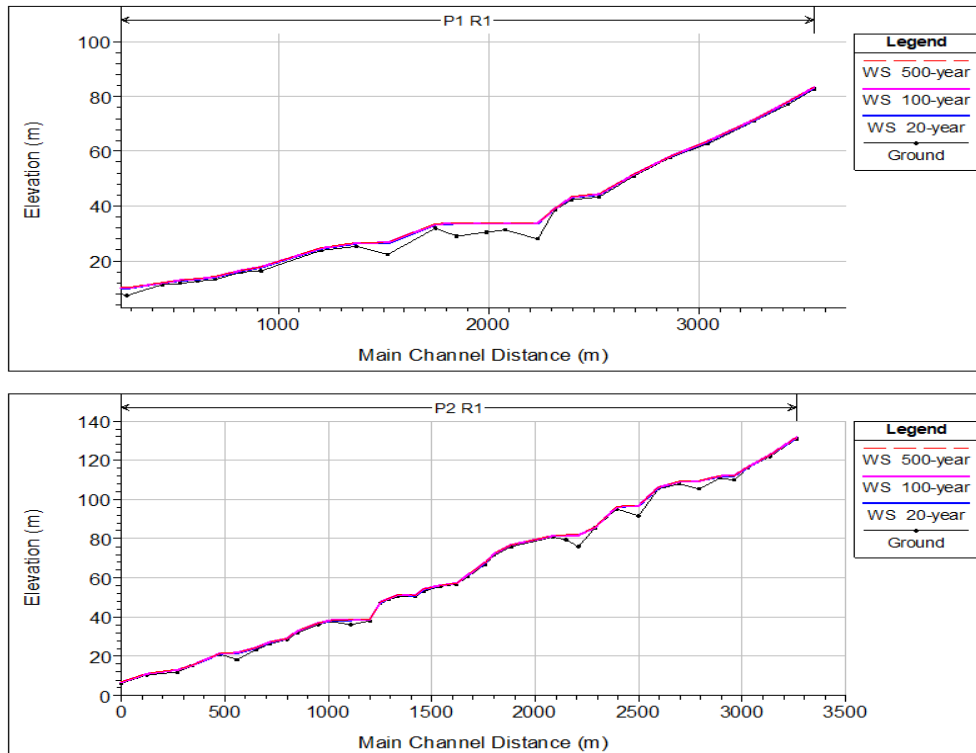
Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση της ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος για συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης (1D) ροής, και τα οποία συγκεκριμένα συνοψίζονται στις Εικόνες 29 και 30.

Αρχικά, λοιπόν, στην Εικόνα 29 απεικονίζεται η κατά μήκος τομή και το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στους δύο υπό μελέτη κλάδους του υδατορεύματος, P1R1 και P2R1, όπως προέκυψαν και για τα δύο διαφορετικά προφίλ παροχών που εξετάστηκαν και τα οποία αντιστοιχούν στις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη). Όπως γίνεται άμεσα εμφανές, και στους δύο υπό μελέτη κλάδους, το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μειώνεται αισθητά από τα ανάντη προς τα κατάντη καθώς μειώνεται το υψόμετρο του εδάφους, ενώ αυξάνεται όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδος επαναφοράς του πλημμυρικού συμβάντος (μεγαλύτερο ύψος ελεύθερης επιφάνειας για περίοδο επαναφοράς 500 ετών), αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500 ετών η διαφορά είναι σχετικά μικρή.



Εικόνα 29: Κατά μήκος τομή και προφίλ της επιφάνειας του νερού στους δύο υπό μελέτη κλάδους του υδατορεύματος, P1R1-P2R1 και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη).

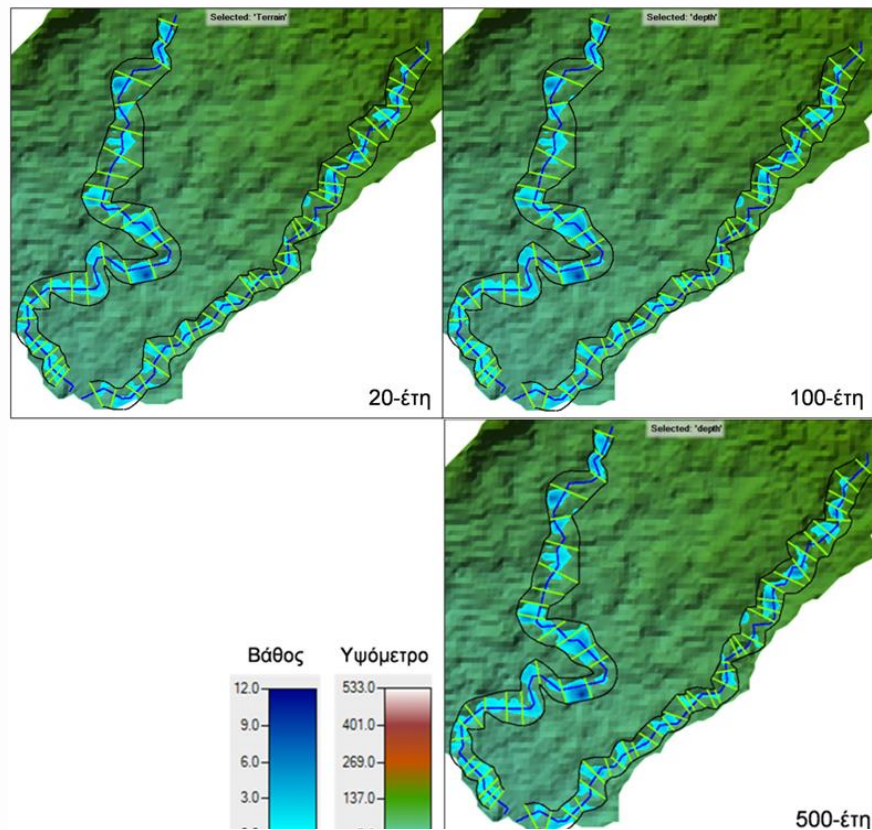
Στη συνέχεια, στην Εικόνα 30 δίνεται το διάγραμμα των ταχυτήτων ροής κατά μήκος των δύο υπό μελέτη κλάδων του υδατορεύματος, όπως προέκυψε και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 500 έτη). Όπως διαπιστώνεται, και στους τρεις υπό μελέτη κλάδους σημειώνονται σημαντικές αυξομειώσεις των ταχυτήτων ροής μεταξύ των επιμέρους διατομών ελέγχου, γεγονός που αποδίδεται αφενός στη μεταβολή του εδαφικού αναγλύφου μεταξύ των διατομών και αφετέρου στη μεταβολή της παροχής που διέρχεται από κάθε διατομή εξαιτίας των υπερχειλίσεων (Κουτσοβίλη, 2018, Μπούρη, 2008). Επιπρόσθετα, όπως παρατηρείται, σε γενικές γραμμές, οι ταχύτητες ροής εμφανίζονται υψηλότερες όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδος επαναφοράς του πλημμυρικού συμβάντος (με κάποιες ελάχιστες εξαιρέσεις σε ορισμένες διατομές του κλάδου P2R1 λόγω αισθητής μεταβολής του πλημμυρικού πεδίου στις συγκεκριμένες διατομές), όπως επίσης υψηλότερες εμφανίζονται στην περίπτωση του κλάδου P1R1, και ιδιαίτερα στο ανάντη τμήμα αυτού, εξαιτίας των μεγαλύτερων εδαφικών κλίσεων που παρατηρούνται στο εν λόγω τμήμα του υδατορεύματος.



Εικόνα 30: Ταχύτητας ροής κατά μήκος των δύο υπό μελέτη κλάδων του υδατορεύματος, (P1R1 και P2R1) και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη).

3.3.5 Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας

Τελικό βήμα της υδραυλικής ανάλυσης συνιστά η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος μέσω του υπολογισμού και της χαρτογράφησης των πλημμυρικών εκτάσεων. Αρχικά, στην Εικόνα 31 δίνονται οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλισης και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη), οι οποίοι και περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το βάθος νερού, καθώς και με τη γεωγραφική του εξάπλωση.



Εικόνα 31: Επιφάνεια κατάκλυσης και βάθος νερού κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

Όπως συμπεραίνεται από την Εικόνα 31, το υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 200 έτη) χαρακτηρίζεται, κατά κύριο λόγο, από αρνητική ικανότητα παροχέτευσης των πλημμυρικών παροχών, καθώς, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι διατομές του υπερχειλίζουν και το νερό κατακλύζει εκτάσεις εκατέρωθεν της κοίτης του υδατορεύματος. Η κατάσταση γίνεται πιο έντονη όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδο επαναφοράς, αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500 ετών παρατηρείται σχετικά μικρή διαφορά. Επιπρόσθετα, μέσω της Εικόνας 31 καταδεικνύονται οι περιοχές εκείνες κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος, οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από τα πλημμυρικά φαινόμενα (μεγαλύτερη έκταση πλημμυρικού πεδίου), και κατ' επέκταση χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα τμήμα του κλάδου P1R1 που εντοπίζεται μετά τον οικισμό της Πέγειας και στο οποίο οι υψομετρικές διαφορές δεν έχουν μεγάλη μεταβολή, ενώ σχετικό πρόβλημα παρατηρείται και κατά μήκος του κλάδου P2R1, κυρίως προς το κατάντη τμήμα του, όπου μερικά πλημμυρικά όρια εκτείνονται σε αξιοσημείωτη σχετικά απόσταση από την κοίτη του υδατορεύματος.

Πίνακας 19: Χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμύρας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

Τ (έτη)	Συνολική πλημμυρική έκταση (km ²)	Μέγιστο πλημμυρικό βάθος (m)
20	0,312	10,42
100	0,337	10,68
500	0,359	10,82

3.4 Απώλεια εδάφους και ιζηματοπαροχή

3.4.1 Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R

Ο συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων ποσοτικοποιεί την ένταση και συχνότητα των γεγονότων βροχόπτωσης όπου αυτές συμβάλλουν στην διάβρωση εδάφους. Δεδομένης της ανεπαρκούς διαθεσιμότητας λεπτομερών δεδομένων βροχοπτώσεων, συνήθως υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα μέσα μηνιαία ή ακόμα και τα μέσα ετήσια δεδομένα βροχοπτώσεων. Στην παρούσα εργασία, ελήφθησαν δεδομένα από τον σταθμό της Πέγειας, για το διάστημα 2012-2022 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, και στην συνέχεια για τον υπολογισμό του συντελεστή R που ανταποκρίνεται στην υπό εξεταζόμενη περίοδο.

3.4.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας K

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας είναι μια ευαίσθητη παράμετρος, η οποία συνδέεται σημαντικά με την δομή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, αντιπροσωπεύοντας την ευαισθησία του εδάφους. Στην παρούσα μελέτη, εξαιτίας της έλλειψης λεπτομερών δεδομένων που σχετίζονται με την εδαφική υφή και διαπερατότητα, ο υπολογισμός του συντελεστή K βασίστηκε στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, για κάθε γεωλογικό σχηματισμό όπου παρουσιάζονται στην περιοχή, η τιμή του K προσδιορίστηκε (Πίνακας 20) λαμβάνοντας υπόψη τις λίστες από εμπειρικές παρατηρήσεις σχετικές βιβλιογραφικές πηγές.

Πίνακας 20: Τιμές του συντελεστή K σύμφωνα με τις γεωλογικές σχηματισμούς

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	K
Αλλουβιακές αποθέσεις	0,03
Αλλουβιακές και δελταϊκές αποθέσεις	0,03
Θαλάσσιες και Δελταϊκές αποθέσεις	0,03
Ανθρωπογενείς αποθέσεις	0,03

Σχηματισμός Κάθηκα	0,02
Σχηματισμός Λευκάρων	0,02
Σχηματισμός Πάχνας	0,02
Μέλος (Terra)	0,022
Πλευρικά κορήματα (Terra)	0,03
Σχηματισμοί Μαμωνίας	0,01

3.4.3 Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C

Στο Πίνακα 21 αναπαρίστανται οι τιμές του C για κάθε χρήση γης προσαρμοσμένες στην λεκάνη της Πέγειας, ενώ στην Εικόνα 32 απεικονίζεται η χωρική κατανομή.

Πίνακας 21: Χρήσεις Γης.

	Κωδικός	Χρήση Γης	C
Κύπρος	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0,001
	142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0,001
	222	Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων	0,200
	231	Βοσκότοποι	0,100
	241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες	0,200
	242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0,180
	312	Δάση κωνοφόρων	0,001
	321	Φυσικά λιβάδια	0,300
	323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	0,025

3.4.4 Συντελεστής πρακτικές διαχείρισης P και συντελεστής τοπογραφίας LS

Ο συντελεστής πρακτικών διαχείρισης (P) περιγράφει τα αποτελέσματα των πρακτικών διαχείρισης, τις αναβαθμίδες, τις κοίλες πλαγιές, τις βεράντες, τους φράκτες χόρτου, τους φράκτες λάσπης και τα συστήματα αποστράγγισης επιφανειών, και χρησιμεύει ως δείκτης της συνολικής αποτελεσματικότητας των πρακτικών στον μετριασμό της διάβρωσης εδάφους. Στην περίπτωση μας για την λεκάνη απορροής της Πέγειας ο συντελεστής P καθορίζεται με την τιμή 1.0.

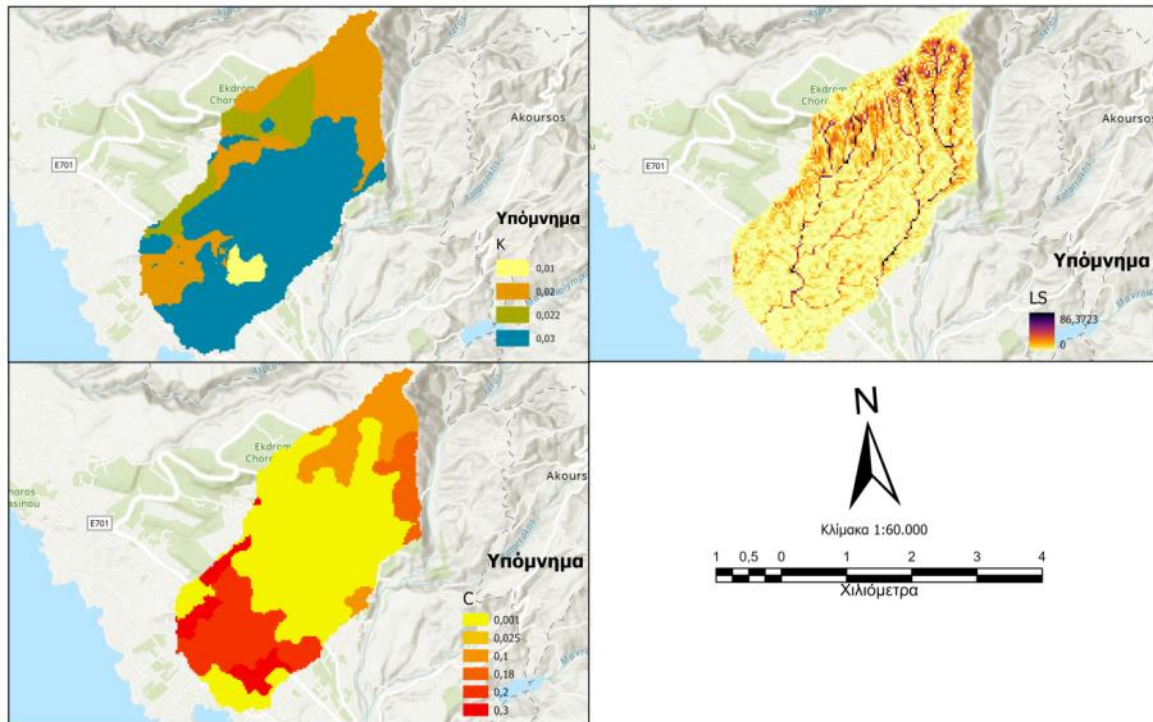
Ο συντελεστής τοπογραφίας (LS) που περιλαμβάνει το μήκος της κλίσης (L) και την απότομη κλίση (S), αντιστοιχεί στην αναλογία μεταξύ εδαφικής απώλειας ενός δεδομένου μήκους κλίσης και της απότομης κλίσης προς την αρχική μονάδα USLE

Στην παρούσα μελέτη, οι τιμές του LS λήφθηκαν από την εφαρμογή της Εξ. 9, ακολουθώντας την μεθοδολογική προσέγγιση των Mitasova και Mitas. Η χωρική κατανομή του LS απεικονίζεται στην Εικόνα 32.

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.09} \right)^n \quad (\text{Εξ. 9})$$

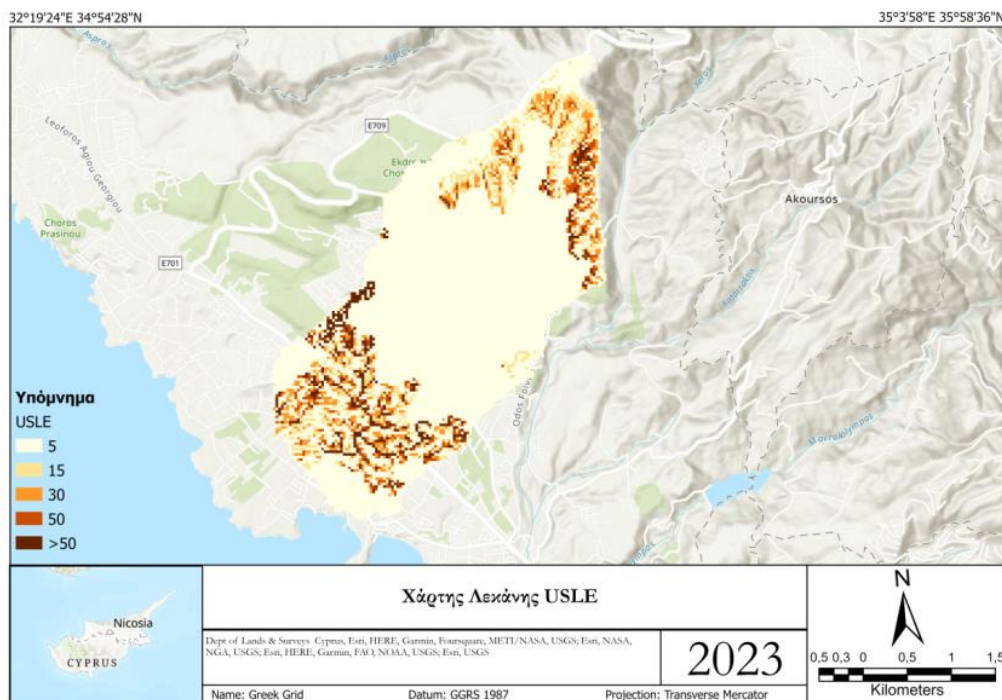
3.4.5 Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων

Η εφαρμογή του μοντέλου USLEπραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS. Ειδικότερα, για κάθε παράμετρο που συμπεριλήφθηκε στην USLE (R, K, LS, C και P) ψηφιακά χωροταξικά επίπεδα δεδομένων δημιουργήθηκαν σε raster πλέγμα χρησιμοποιώντας το ίδιο πλέγμα με το DEM (27m x 27 m).



Εικόνα 32: Χάρτης αναπαράστασης των συντελεστών της USLE για την λεκάνη Πέγειας: α) K-συντελεστής, β) LS- συντελεστής, γ) C- συντελεστής.

Στην Εικόνα 33, ο ετήσιος ρυθμός απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Πέγειας απεικονίζεται λαμβάνοντας υπόψη πέντε κατηγορίες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διάβρωσης του εδάφους, που ορίζεται ως: (i) πολύ χαμηλή (0-5 tha-1yr-1), (ii) χαμηλή (5-15 tha-1yr-1), (iii) μέτρια (15-30 tha-1yr-1), (iv) υψηλή (30-50 tha-1yr-1) και (v) πολύ υψηλή (>50 tha-1 έτος-1). Ο χάρτης που προκύπτει αποκαλύπτει ένα εμφανές μοτίβο, όπου περιοχές κατά μήκος του δικτύου αποστράγγισης, που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές LS, παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένα επίπεδα διάβρωσης του εδάφους. Αντίθετα, οι περιοχές που καταλαμβάνονται από δασικές εκτάσεις στα βόρεια τμήματα της περιοχής, καταδεικνύουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές διάβρωσης του εδάφους, ακόμα παρατηρούμε στην μέση της λεκάνης απορροής την ελάχιστη διάβρωση λόγω ύπαρξης του αστικού ιστού της Πέγειας.



Εικόνα 33: Κατανομή απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Πέγειας.

Τέλος, ο Πίνακας 22 παρουσιάζει τη μέση και συνολική ετήσια απώλεια εδάφους για τη λεκάνη της Πέγειας, καθώς και τη μέση και συνολική ετήσια απόδοση ιζήματος που εναποτίθεται στην έξοδο της λεκάνης. Η απόδοση ιζήματος είναι ιδιαίτερης σημασίας γιατί σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του ιζήματος που μεταφέρεται και συσσωρεύτηκε στην παραλία. Στο πλαίσιο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι η εκτιμώμενη τιμή της μέσης απόδοσης ιζήματος είναι $325 \text{ t km}^{-1} \text{ yr}^{-1}$.

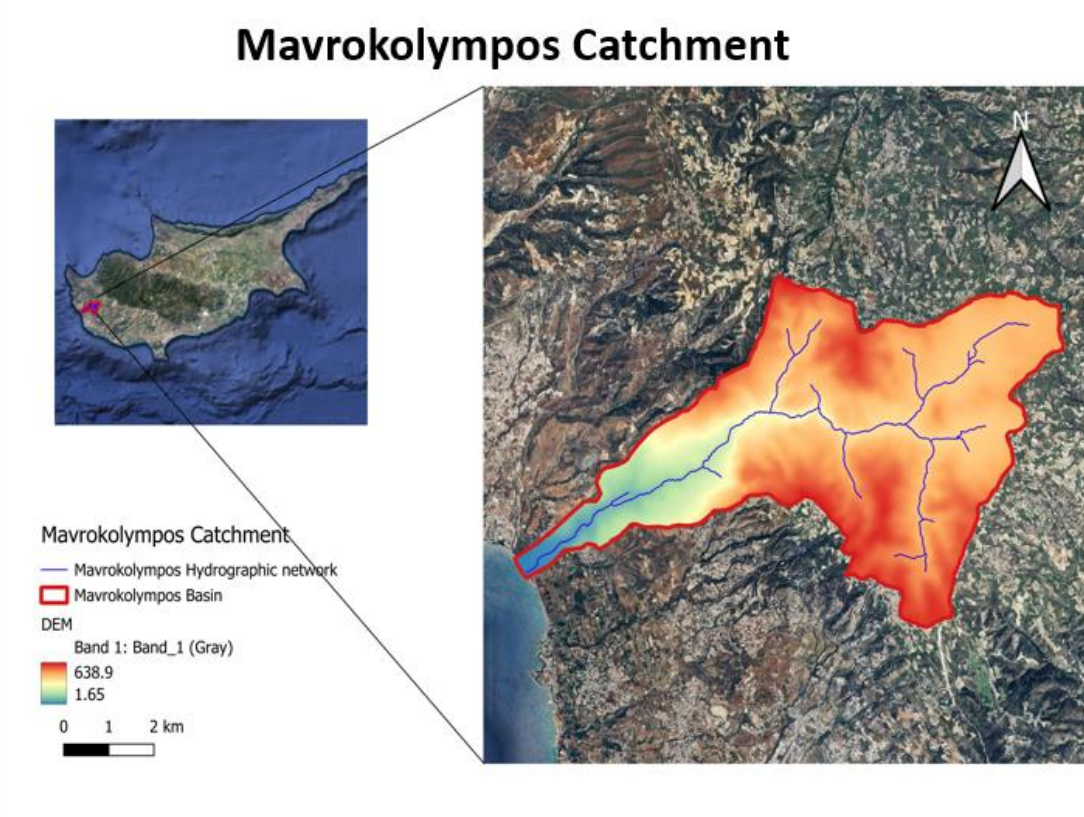
Πίνακας 22: Απώλεια εδάφους και απόδοση ιζήματος στη λεκάνη του ρέματος της Πέτρας.

Κύπρος	Απώλεια εδάφους	Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
		Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά ha)	$\text{t ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$	9,23
	Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά km^2)	$\text{t km}^{-1} \text{ yr}^{-1}$	923	
	Έκταση λεκάνης απορροής	km^2	10,4	
	Συνολική ετήσια απώλεια εδάφους	t yr^{-1}	9.600	
	Στερεο-παροχή	Συν/τής απομείωσης (Vanoni)	-	0,353
	Ετήσια στερεοπαροχή (ανά km^2)	$\text{t km}^{-1} \text{ yr}^{-1}$	325	
	Συνολική ετήσια στερεοπαροχή	t yr^{-1}	3.380	

3.5 Υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του φράγματος του Μαυροκόλυμπου

3.5.1 Λεκάνη Απορροής του Μαυροκόλυμπου

Η λεκάνη απορροής του Μαυροκόλυμπου βρίσκεται στα νότιο-ανατολικά από την την λεκάνη απορροής της Πέγειας που εξετάσαμε παραπάνω και βορειο-δυτικά από τον οικισμό της Πάφου και είναι σημαντικής σημασίας για όλη την περιοχή, άρα και της Πέγειας, λόγω του φράγματος που υπάρχει και χρησιμοποιείται για την ύδρευση και άρδευση των περισσότερων παράκτιων τουριστικών περιοχών.

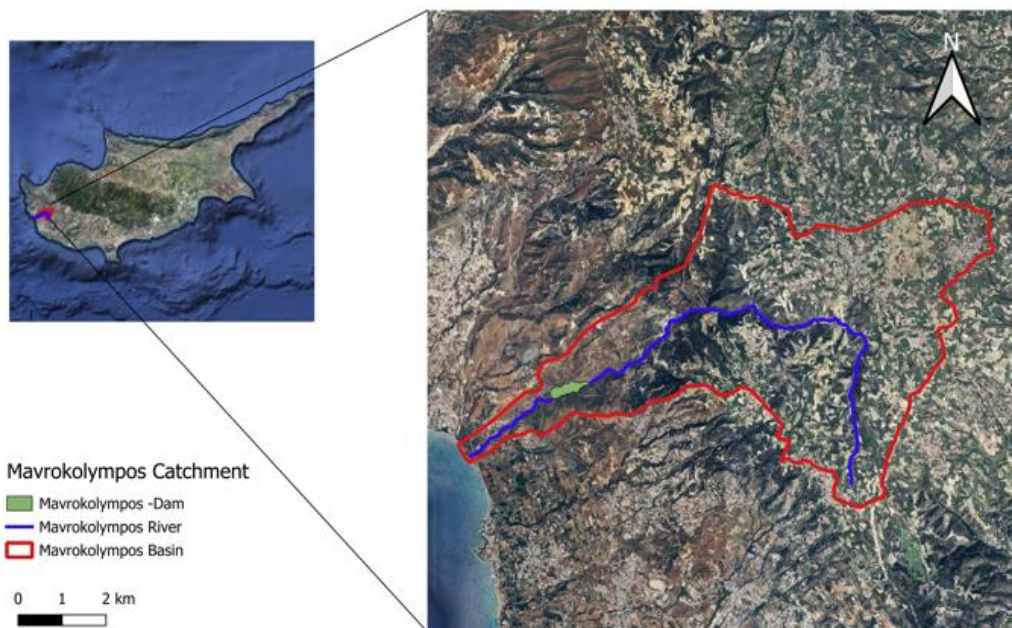


Εικόνα 34: Υδρογραφικό δίκτυο και λεκάνη απορροής Μαυροκόλυμπου.

3.5.2 Φράγμα Μαυροκόλυμπου

Το φράγμα του Μαυροκόλυμπου (Εικόνα 35) είναι από τα πρώτα που κατασκευάστηκαν από την Κυπριακή Δημοκρατία δείγμα της σπουδαιότητας και της χρησιμότητας για την περιοχή, είναι χωμάτινο φράγμα χωρητικότητας 2.180.000 μ³. Βρίσκεται μεταξύ των χωριών Κισσόνεργα και Πέγεια, περί τα 2,5 χιλιόμετρα από τη θάλασσα. Είναι κτισμένο πάνω στον ποταμό Μαυροκόλυμπο, σε μέσο υψόμετρο 70 μέτρων. Έχει ύψος 45 μ., μήκος 183 μ., και επιφάνεια 175.000 μ.². Το φράγμα του Μαυροκόλυμπου κατασκευάστηκε μεταξύ Ιουνίου 1964 και Νοεμβρίου 1967.

Mavrokolympos Catchment



Εικόνα 35: Φράγμα Μαυροκόλυμπου και κύριο υδατόρευμα.

3.5.3 Μεθοδολογία και απαραίτητα Δεδομένα για τη Υδρολογική προσομοίωση

Σκοπός της μελέτης αυτής, είναι η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του ρέματος του Μαυροκόλυμπου στη δυτική Κύπρο με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrological Modeling System). Η εν λόγω λεκάνη απορροής είναι μεγάλης σπουδαιότητας, αφού το υδατικό δυναμικό της επηρεάζεται από τους ορεινούς όγκους του νησιού που την περιβάλλουν και υπάρχει έντονο ενδιαφέρον αξιοποίησης των υδάτων της λεκάνης που συγκεντρώνεται στο φράγμα του Μαυροκόλυμπου.

Στη παρούσα έρευνα, όπως προαναφέρθηκε, έγινε χρήση του υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS, ένα μοντέλο το οποίο κατασκευάστηκε από το Τμήμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center). Σχεδιάστηκε για τις προσομοιώσεις των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε μία λεκάνη απορροής, αφού πρόκειται για ένα σύστημα που χρησιμοποιείτε σε περιπτώσεις μοντέλου συνεχούς (US Army Corps of Engineers, 2017).

Τα μοντέλα συνεχούς προσομοίωσης (continuous models), περιλαμβάνουν ως είσοδο μία ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο, μετεωρολογικών μεταβλητών (π.χ. βροχόπτωση, λιώσιμο χιονιού κλπ.) και ως έξοδο το υδρογράφημα από τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα διαθέτει συμπληρωματικά εργαλεία ανάλυσης για τη βελτίωση του μοντέλου, τη πρόβλεψη της ροής, την αξιολόγηση της αβεβαιότητας του μοντέλου, τη μεταφορά ιζημάτων καθώς και τη ποιότητα του νερού.

Το HEC-HMS διαθέτει ένα πλήρως ενοποιημένο περιβάλλον εργασίας όπου περιλαμβάνει βάση δεδομένων, βοηθητικά προγράμματα για την εισαγωγή δεδομένων, μηχανή υπολογισμού και εργαλεία για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από τη προσομοίωση αποθηκεύονται στο HEC-DSS (DataStorageSystem) όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με κάποιο άλλο λογισμικό για μελέτες που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα του νερού, την πρόβλεψη της ροής, αστική αποστράγγιση, μελλοντικές επιπτώσεις αστικοποιήσεις, σχεδιασμό υπερχειλίσας δεξαμενών, μείωση ζημιών από τις πλημμύρες και τη λειτουργία των υδάτινων συστημάτων (US Army Corps of Engineers, 2017).

Στο μοντέλο προσομοίωσης για την μέθοδο άμεσης απορροής:

- Για το μοντέλο συνεχής προσομοίωσης χρησιμοποιείται η μέθοδος ClarkUnitHydrograph
- Αποτελείται από δύο αρχικές παραμέτρους: α) ο χρόνος συγκέντρωσης, β) ο συντελεστής αποθήκευσης που μετρούνται σε ώρες
-
- Ο χρόνος συγκέντρωσης για το μοντέλο αυτό θεωρήθηκε ότι μπορεί να είναι μικρότερος από το χρονικό βήμα (24ώρο)
- Χρησιμοποιήθηκε ο χρόνος συγκέντρωσης 2 hr και ο συντελεστής αποθήκευσης 4 hr

Για τη μέθοδο της βασικής απορροής:

- Χρησιμοποιείται η μέθοδος LinearReservoir όπου περιλαμβάνει 4 παραμέτρους:

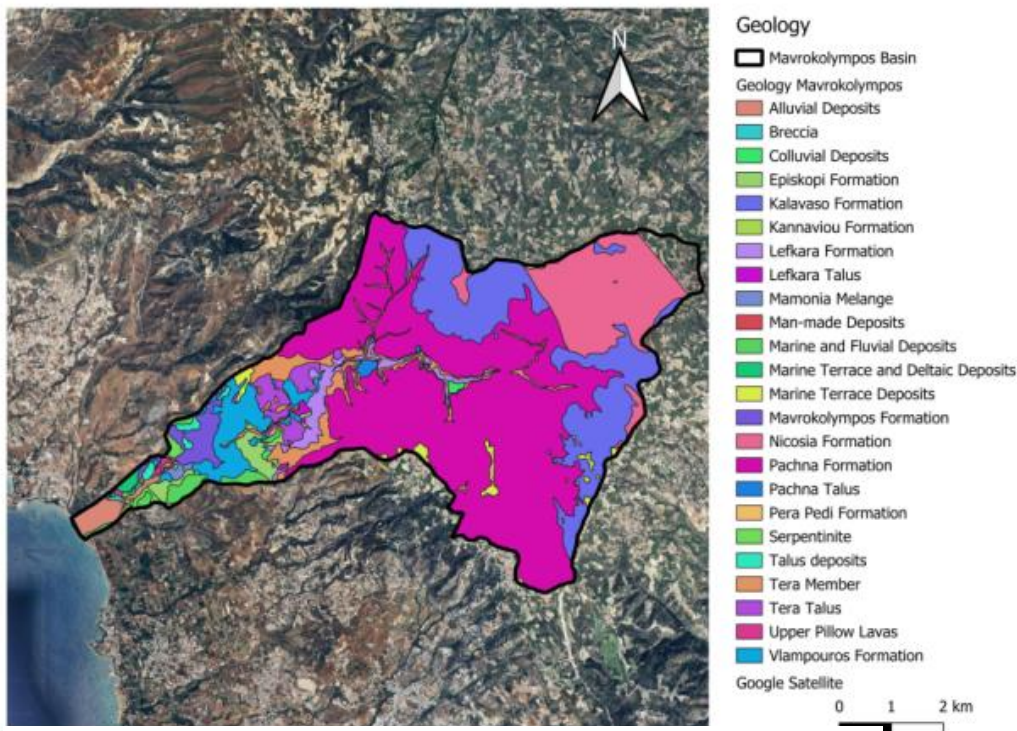
I.Gw1 Initial (250 m³/sec)

II.Gw1 Coefficient (100 hr)

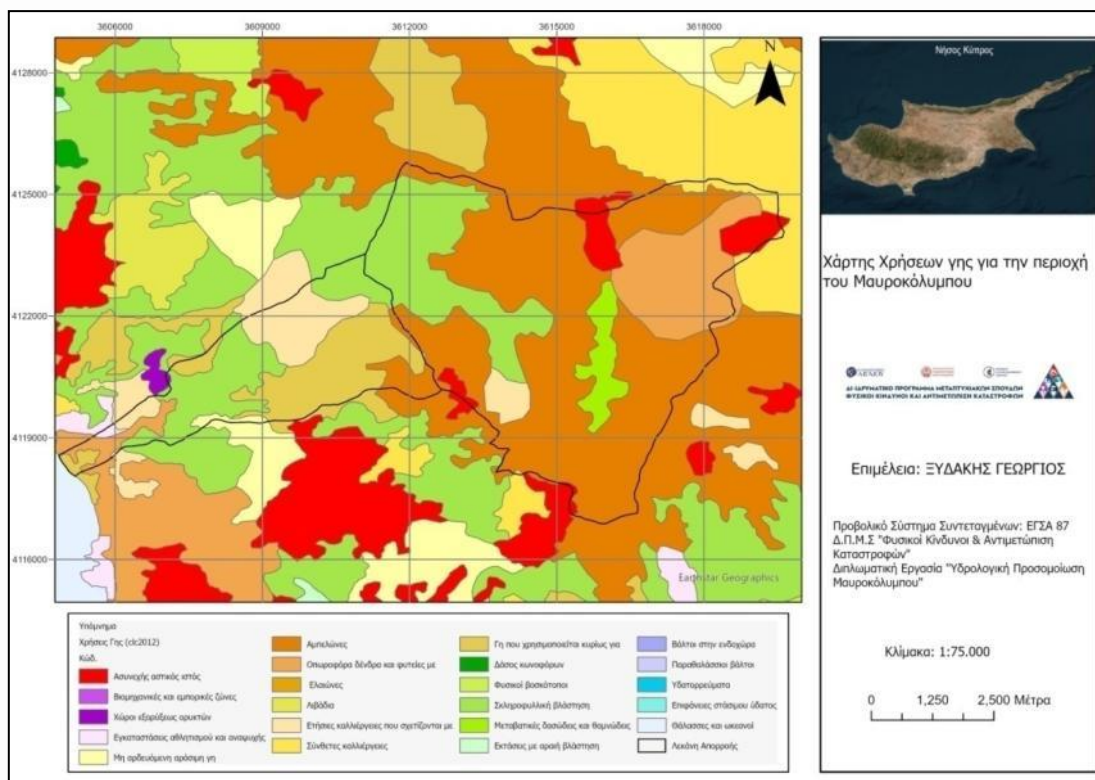
III.Gw2 Initial (350 m³/sec)

IV.Gw2 Coefficient (250 hr)

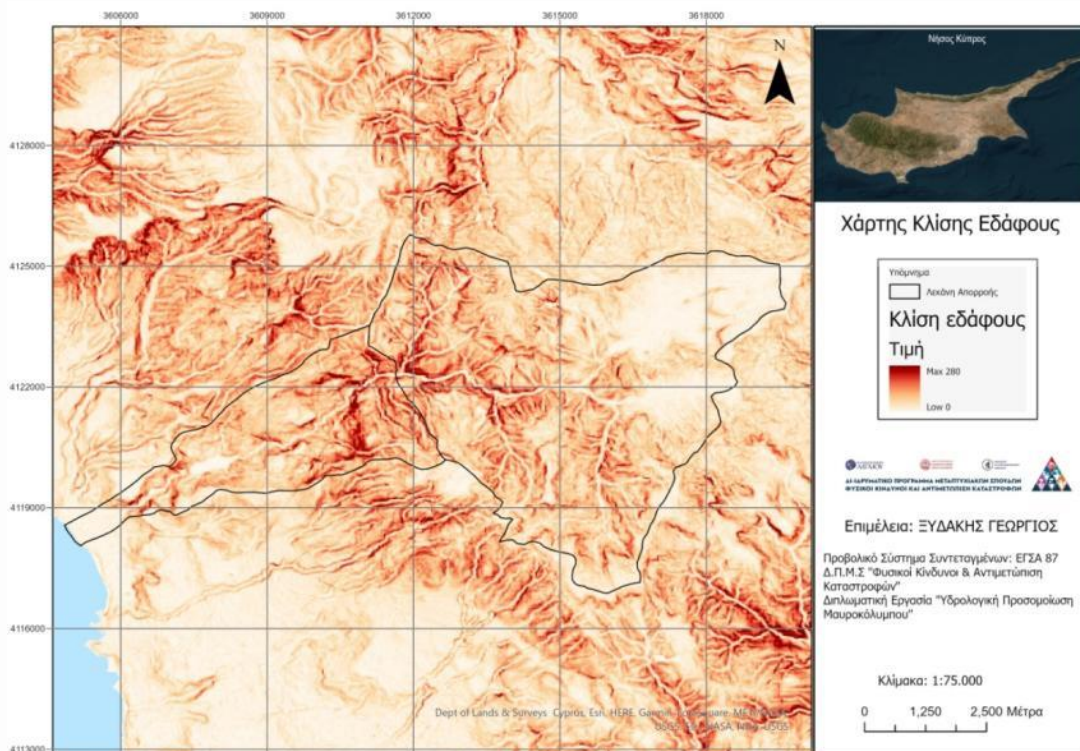
Επιπλέον δεδομένα που είναι απαραίτητα για το μοντέλο HEC-HMS και την λεκάνη απορροής του ενδιαφέροντός μας είναι η γεωλογία, οι χρήσεις γης, η τοπογραφική κλίση και το DEM της περιοχής. Για την ενσωμάτωση αυτών πληροφοριών με το υδρολογικό μας μοντέλο χρησιμοποιήσαμε το εργαλείο διαχείρισης των χωρικών δεδομένων GIS, το οποίο συνεργάζεται με το πρόγραμμα HEC-HMS μέσω της επέκτασης HEC-GeoHMS.



Εικόνα 36: Γεωλογία λεκάνης απορροής Μαυροκόλυμπου.

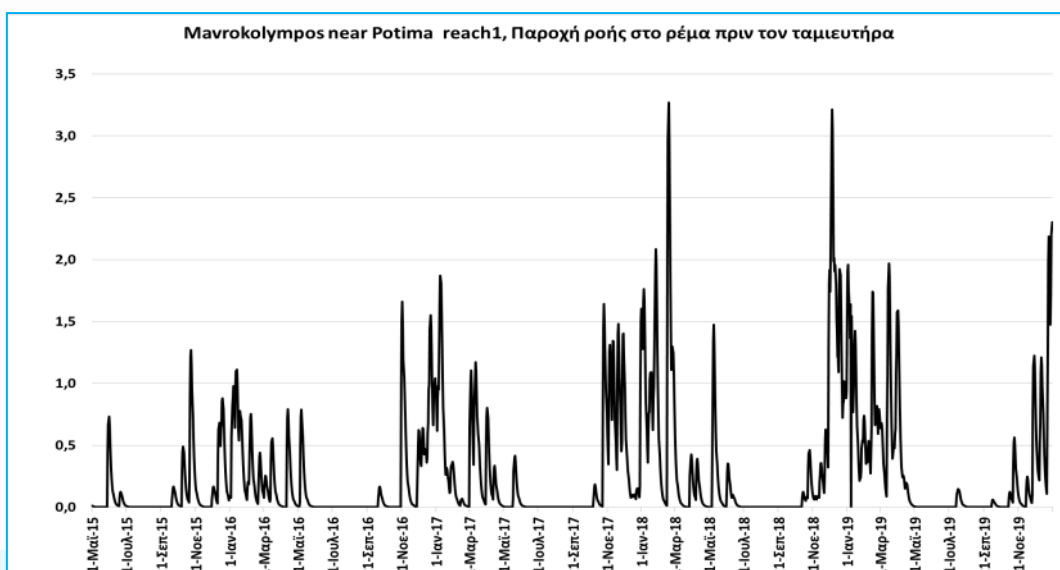


Εικόνα 37: Χάρτης χρήσεων γης λεκάνης απορροής του Μαυροκόλυμπου.

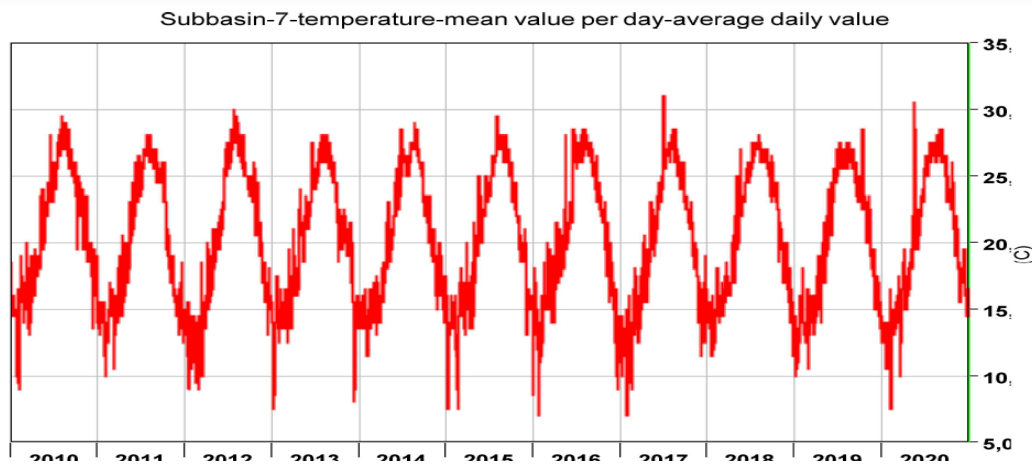


Εικόνα 39: Χάρτης κλίσης εδάφους λεκάνης απορροής Μαυροκόλυμπου.

Τέλος, πολύ σημαντικά είναι τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας που εισάγουμε στο πρόγραμμα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση της λεκάνης απορροής του Μαυροκόλυμπου χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά δεδομένα (Εικόνα 40) του σταθμού Ασπρόκρεμος που βρίσκεται εντός της υδρολογικής λεκάνης. Το είδος της μετεωρολογικής παραμέτρου και η χρονική περίοδος ημερήσιων δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, για τον σταθμό, είναι η δεκαετία 1990 – 2022 για το ύψος βροχόπτωσης και την μέση ημερήσια θερμοκρασία (Εικόνα 39).



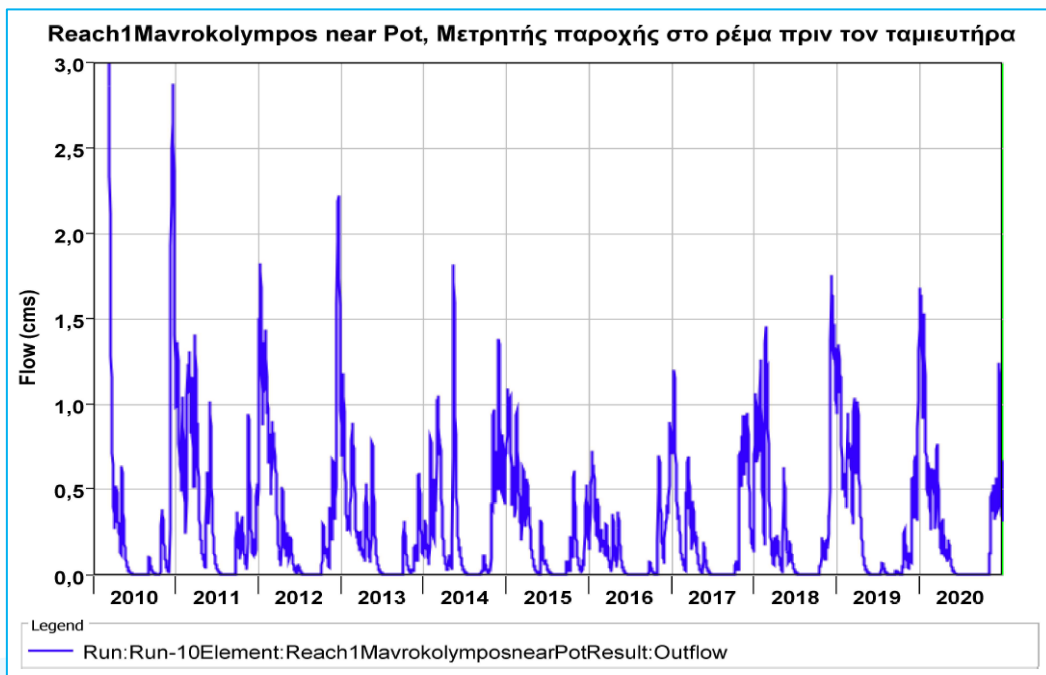
Εικόνα 38: Ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης το διάστημα 2010-2020.



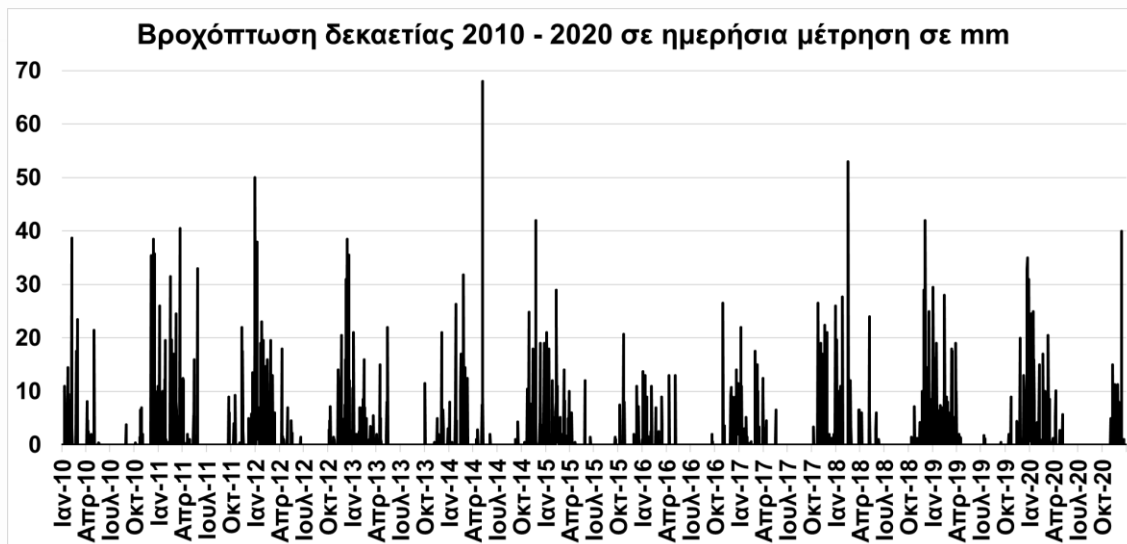
Εικόνα 40: Διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας.

3.5.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Μετά την ολοκλήρωση των υπολογισμών με το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS μπορούμε να εξάγουμε διαφόρων ειδών διαγράμματα. Στην περίπτωση μας στην Εικόνα 42 βλέπουμε την παροχή ροής πριν τον ταμιευτήρα και βάση του προγράμματος υπολογισμών στην Εικόνα 41 παρατηρούμε το γράφημα των μετρήσεων της παροχής για το διάστημα από το 2015 έως και το 2019. Όσον αφορά την μέση τιμή παροχής και την παροχή του υδατορεύματος κατά τις περιόδους μη-βροχής, υπάρχει συμφωνία ανάμεσα στις προσομοιωμένες και στις μετρούμενες τιμές της παροχής. Κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών γεγονότων παρατηρείται μικρή απόκλιση και μικρή υπερεκτίμηση των αιχμών πλημμύρας από το μοντέλο σε σχέση με τις παρατηρούμενες τιμές.



Εικόνα 41: Παροχή ροής πριν τον ταμιευτήρα με το πρόγραμμα του HEC-HMS.



Εικόνα 42: Οι παρατηρούμενες τιμές στο ρέμα πριν τον ταμιευτήρα.



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

4 Χίος

Η Χίος είναι νησί του Βορείου και Ανατολικού Αιγαίου, το πέμπτο μεγαλύτερο της Ελλάδας με έκταση 842 τετρ. χιλιόμετρα και μήκος ακτών 213 χιλιόμετρα. Διοικητικά αποτελεί την Περιφερειακή Ενότητα Χίου, η οποία ανήκει στην Περιφέρεια Βορείου Αιγαίου μαζί με τα Ψαρά και τα Αντίψαρα (στη δυτική πλευρά) και τις Οινούσσες (στην ανατολική πλευρά).

Ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 51.320 κατοίκους (απογραφή 2011), που ζει στην πόλη της Χίου, πρωτεύουσα και κύριο λιμάνι του νησιού, καθώς και στα 64 χωριά του νησιού. Ακόμα η Χίος έχει μεγάλη απόδημη κοινότητα σε Λονδίνο και Νέα Υόρκη. Η μικρότερη απόσταση του νησιού από τις απέναντι ακτές της Μικράς Ασίας, είναι 3,5 ναυτικά μίλια από το ακρωτήριο Πούντα ως τη χερσόνησο της Ερυθραίας, στο ύψος του Τσεσμέ.

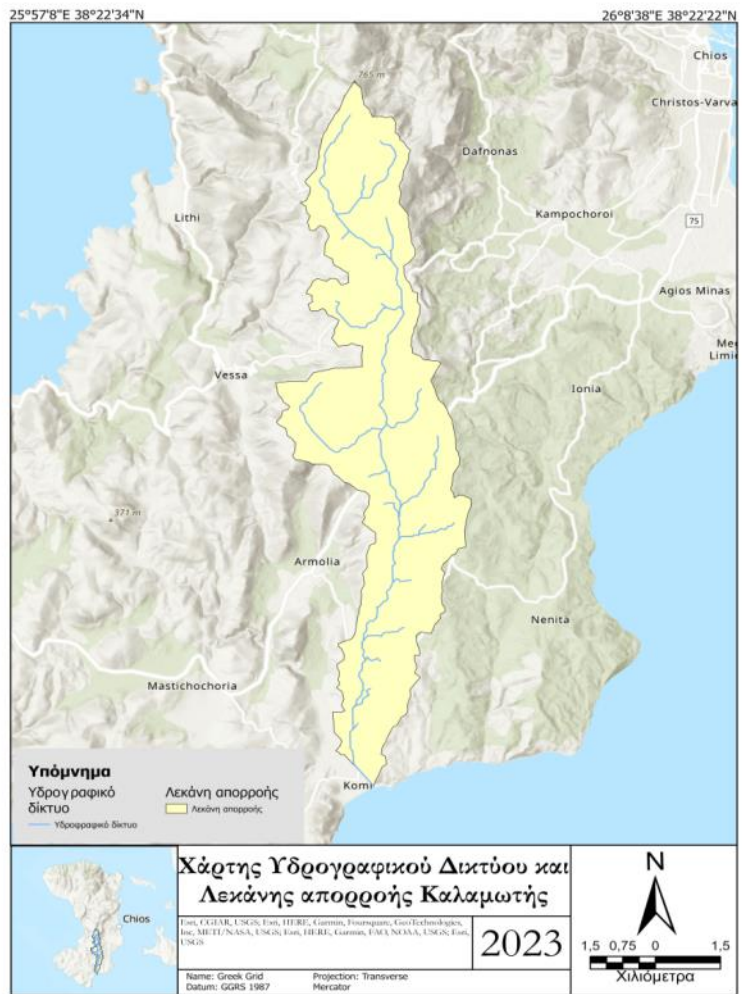
Τα κύρια προϊόντα που εξάγει είναι η ονομαστή χιώτικη μαστίχα, τα σύκα και το κρασί, ενώ έχει διεθνή φήμη για το μέγεθος και την ποιότητα της ναυτιλίας της. Η πρωτεύουσα του νησιού, η πόλη Χίος, είναι γνωστή στους ντόπιους ως Χώρα. Ακόμη, ξεχωρίζουν αρκετοί οικισμοί που είναι γνωστοί για τα αρχιτεκτονικά τους χαρακτηριστικά (όπως το Πυργί και τα Μεστά).



Εκβολή ποταμού Κατράρη-Χίος (Φωτογραφία Σ.Σαχτούρης).

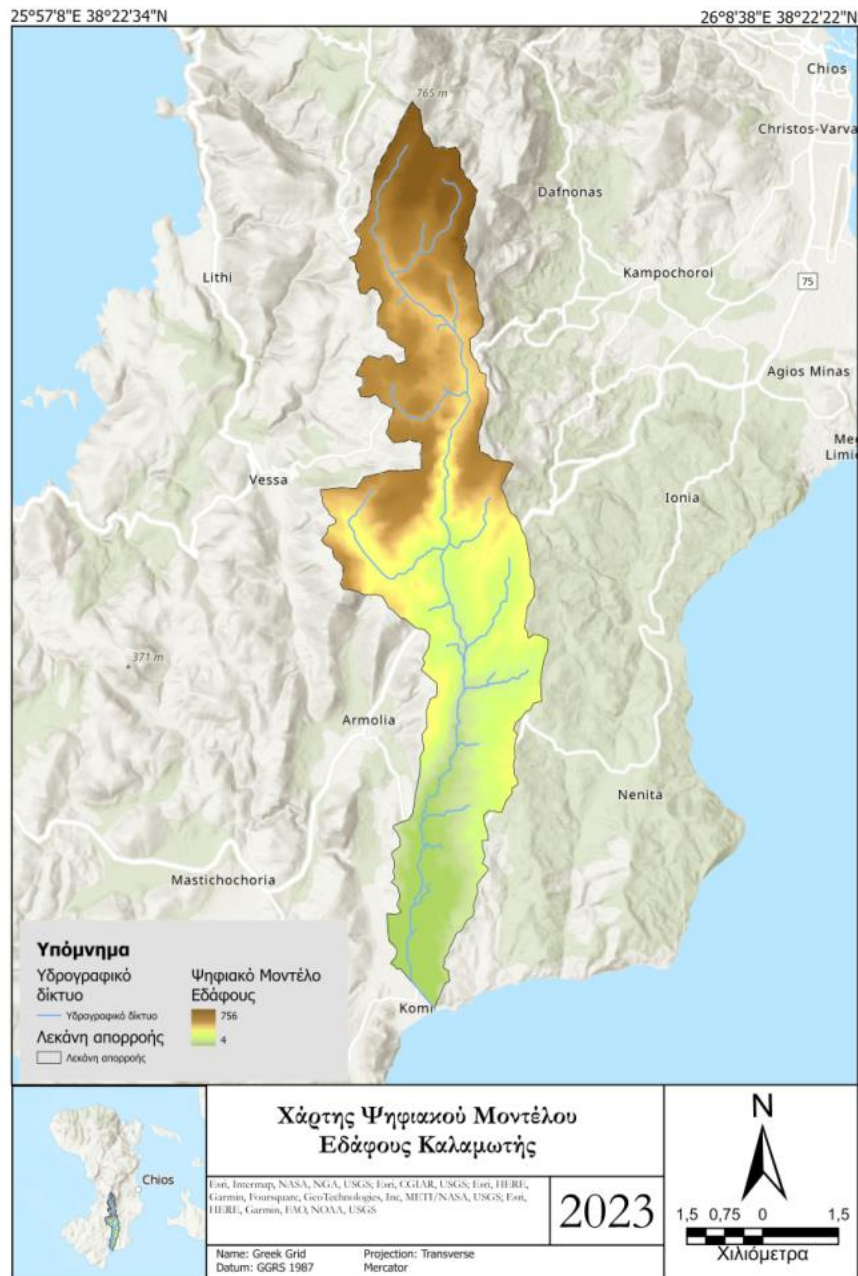
4.1 Περιγραφή της υπό μελέτη λεκάνης απορροής

Η λεκάνη απορροής του π. Κατράρη χωροθετείται στα νότια της ν. Χίου σε μικρή απόσταση από τον οικισμό της Καλαμωτής. (Εικόνα 43), η λεκάνη απορροής είναι από τις μεγαλύτερες που εντοπίζονται στο νότιο τμήμα της ευρύτερης περιοχής. Διοικητικά ανήκει στον δήμο Χίου, στην δημοτική ενότητα Μαστιχοχωρίων. Το σχήμα της λεκάνης είναι επίμηκες με διεύθυνση μεγάλου άξονα Β-Ν. Επιπλέον, η λεκάνη απορροής χαρακτηρίζεται από ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο δενδριτικής μορφής, το οποίο και απορρέει στη θάλασσα με το σημείο εκβολής της λεκάνης να εντοπίζεται συγκεκριμένα στην παραλία της Κώμης (Εικόνα 43). Τέλος, εντός της λεκάνης απορροής εντοπίζονται δύο οικισμοί, και συγκεκριμένα ο οικισμός της Καλαμωτής στα κεντρικά και ο οικισμός της Κώμης στα νότια της λεκάνης απορροής.



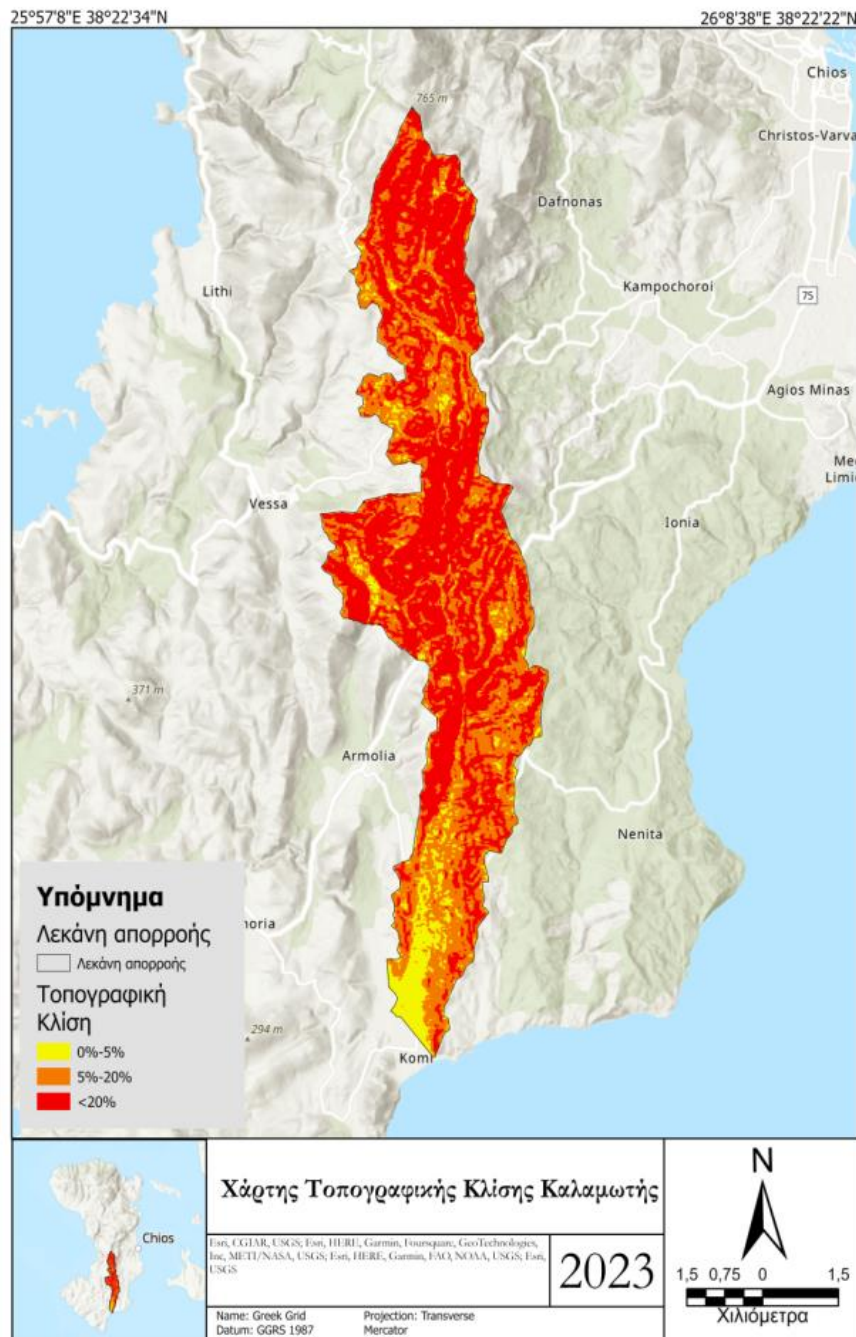
Εικόνα 43: Η τοποθεσία και τα περιμετρικά όρια της λεκάνης απορροής του ρ. Πέγειας σε συνδυασμό με το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης και το σημείο εκβολής του στη θάλασσα.

Στην Εικόνα 44 απεικονίζεται η διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στη λεκάνη απορροής όπως διαμορφώνεται με βάση πρωτογενή δεδομένα που αποκτήθηκαν από το Πρόγραμμα Παρατήρησης της Γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης «Copernicus» (πινακίδες υψομέτρων επί του εδάφους με μέγεθος εικονοστοιχείων 27x27m). Επιπλέον, από την Εικόνα 44 διαπιστώνεται ότι τα χαμηλά υψόμετρα συναντώνται, ως πει το πλείστον, στο νότιο τμήμα της λεκάνης, ενώ τα υψηλά στο βόρειο τμήμα της.



Εικόνα 44: Διαβάθμιση του εδαφικού αναγλύφου στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Στην Εικόνα 45 απεικονίζεται η διαβάθμιση των επιφανειακών κλίσεων στη λεκάνη, όπως αυτές υπολογίστηκαν με βάση το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Εικόνα 44). Σύμφωνα με το εύρος τιμών που λαμβάνεται υπόψη (ταξινόμηση που ακολουθείται για τον υπολογισμό του συν/τή απορροής κατά τη διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου).

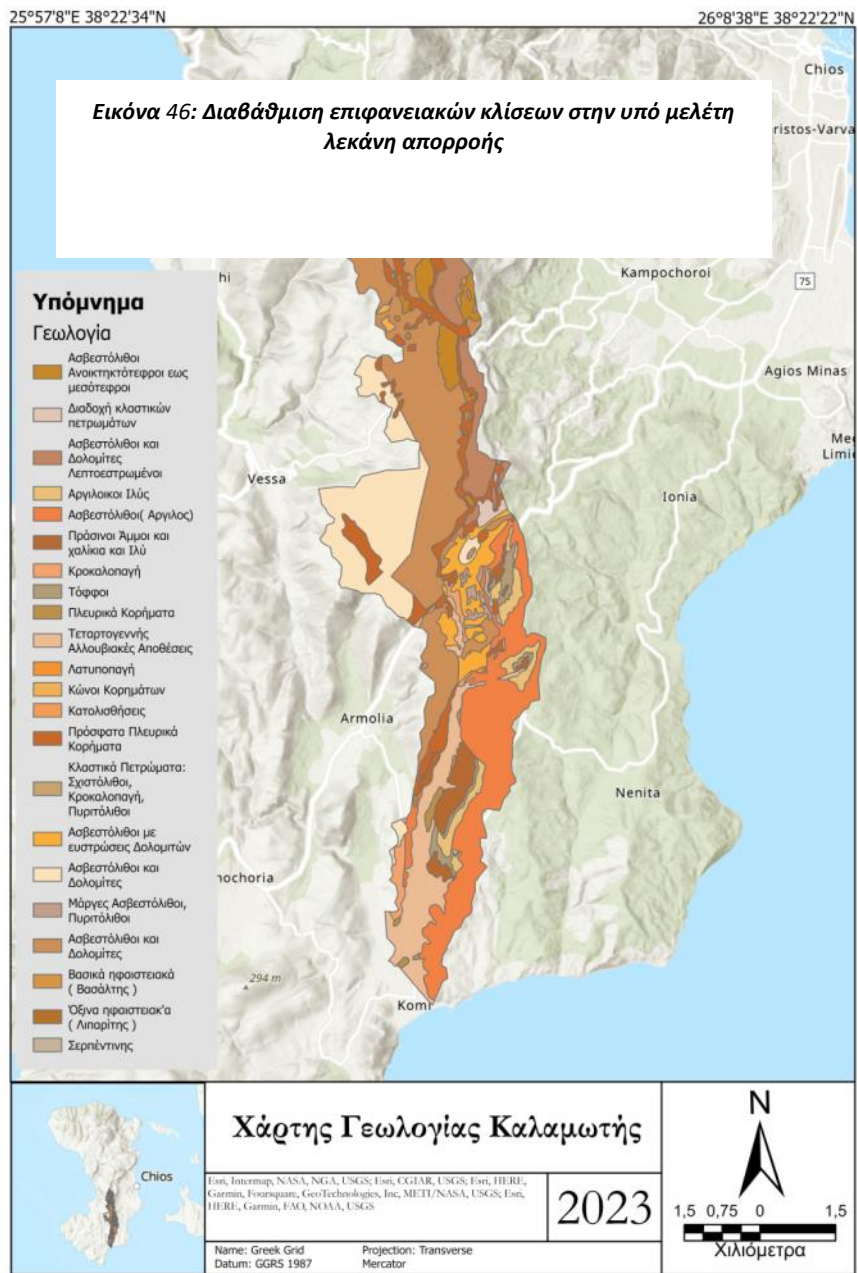


Εικόνα 45: Διαβάθμιση επιφανειακών κλίσεων στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Από γεωλογικής άποψης, στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής απαντώνται, κατά κύριο λόγο, πετρώματα ηφαιστειακής προέλευσης και συγκεντρώσεις χειμαρρωδών αποθέσεων (άργιλοι, άμμοι, ποτάμιες αποθέσεις). Τέλος, σε μεγάλο ποσοστό συναντώνται και διάφορων είδη ασβεστόλιθων.

Στην Εικόνα 47 απεικονίζεται η κατανομή των παραπάνω γεωλογικών σχηματισμών (γεωλογικό υπόβαθρο) που δομούν το σύνολο της περιοχής μελέτης.

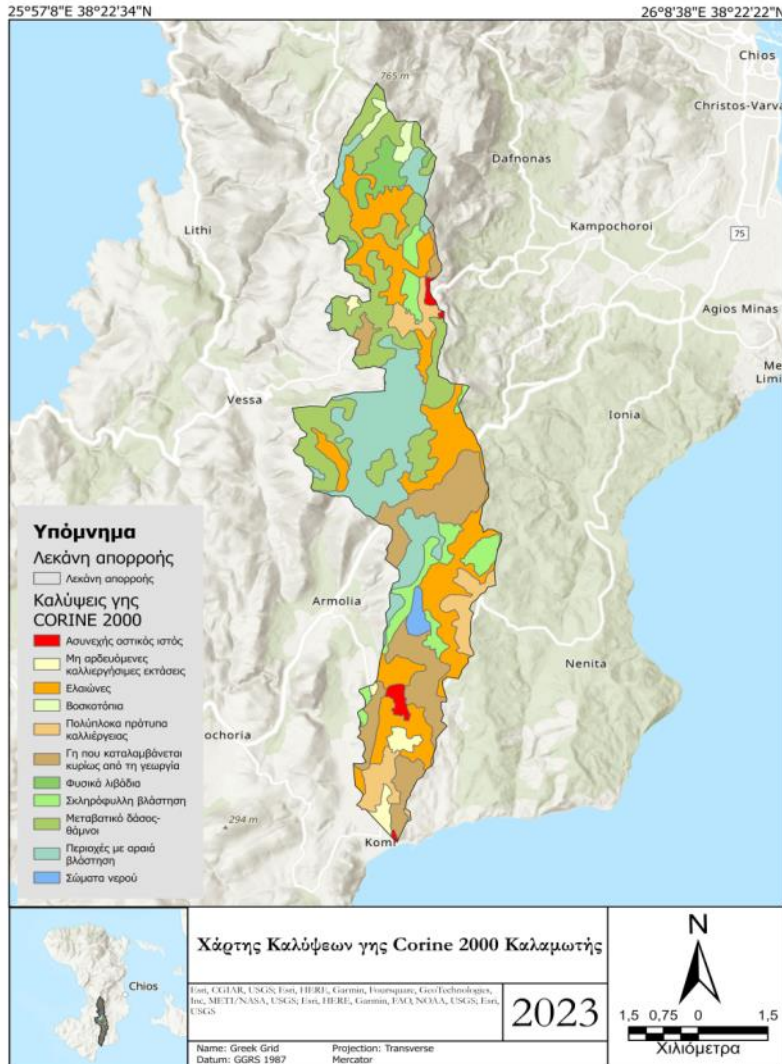
Τέλος, στο σημείο αυτό θα πρέπει να ειπωθεί ότι στην προκειμένη περίπτωση το ενδιαφέρον των γεωλογικών σχηματισμών ως προς το είδος τους έγκειται ουσιαστικά στον βαθμό υδατοπερατότητας του καθενός, καθώς αποτελεί σημαντική παράμετρο η οποία και λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του συντελεστή επιφανειακής απορροής κατά την διαδικασία εφαρμογής της ορθολογικής μεθόδου. Υπό το πρίσμα αυτό, οι επιμέρους σχηματισμοί στην περιοχή κατατάσσονται σε πέντε βασικές κατηγορίες (κλάσεις υδατοπερατότητας), α) ασβεστόλιθοι και δολομίτες β) κλαστικά πετρώματα γ) ερυθρές άργιλοι, δ) αποθέσεις-κορήματα και ε) ηφαιστειακά πετρώματα.



Εικόνα 47: Το γεωλογικό υπόβαθρο της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Τέλος, όσον αφορά τις χρήσεις γης, στη λεκάνη απορροής συναντάμε περιοχές με αραιή βλάστηση και σκληρόφυλλή βλάστηση, διάφορα είδη καλλιεργειών και ελαιώνες, φυσικά λιβάδια και βοσκοτόπια και φυσικά τον αστικό ιστό στα νότιο-κεντρικά με τον οικισμό της Καλαμωτής και παραλιακά με τον οικισμό της Κώμης. Στην Εικόνα 48 απεικονίζεται η

χωρική κατανομή των εμφανιζόμενων χρήσεων γης. Όσον αφορά συγκεκριμένα τις τέσσερις επικρατούσες κατηγορίες χρήσεων γης, όπως προκύπτει από την εικόνα, οι περιοχές με αραιή βλάστηση εντοπίζονται κατά κύριο λόγο, στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης απορροής, οι γεωργικές εκτάσεις στο νότιο τμήμα της λεκάνης, τα φυσικά λιβάδια στο βόρειο τμήμα της λεκάνης και οι ελαιώνες είναι διάσπαρτοι σε όλο το μήκος της λεκάνης. Ακόμα πολύ σημαντική παρατήρηση είναι και η απεικόνιση του φράγματος της Καλαμωτής στο νοτιο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης για το οποίο θα υπάρξει περαιτέρω ανάλυση παρακάτω.



Εικόνα 48: Οι Χρήσεις γης εντός της υπό μελέτη λεκάνης απορροής.

Πίνακας 23: Τύποι χρήσεων γης στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής.

Χρήση Γης	Περιγραφή χρήσης γης
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση
211	Μη αρδευόμενη - αρόσιμη γη
223	Ελαιώνες
242	Πολύπλοκα πρότυπα καλλιέργειας
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Μεταβατικές δασώδεις/θαμνώδεις εκτάσεις
333	Περιοχές με αραιά βλάστηση
512	Σώματα νερού/Φράγμα Κατράρη
321	Φυσικό λιβάδι
231	Βοσκοτόπια

4.2 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής

Στην προκειμένη περίπτωση για τον υπολογισμό της έντασης της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση όμβριας καμπύλης από τον μετεωρολογικό σταθμό από το Πυργί στην Χίο από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων που έχει παραχθεί για τα διαχειριστικά σχέδια.

$$i(d, T) = \frac{429,59(T^{0,093} - 0,724)}{(1 + d / 0,134)^{0,741}} \quad (\text{Εξ. 11})$$

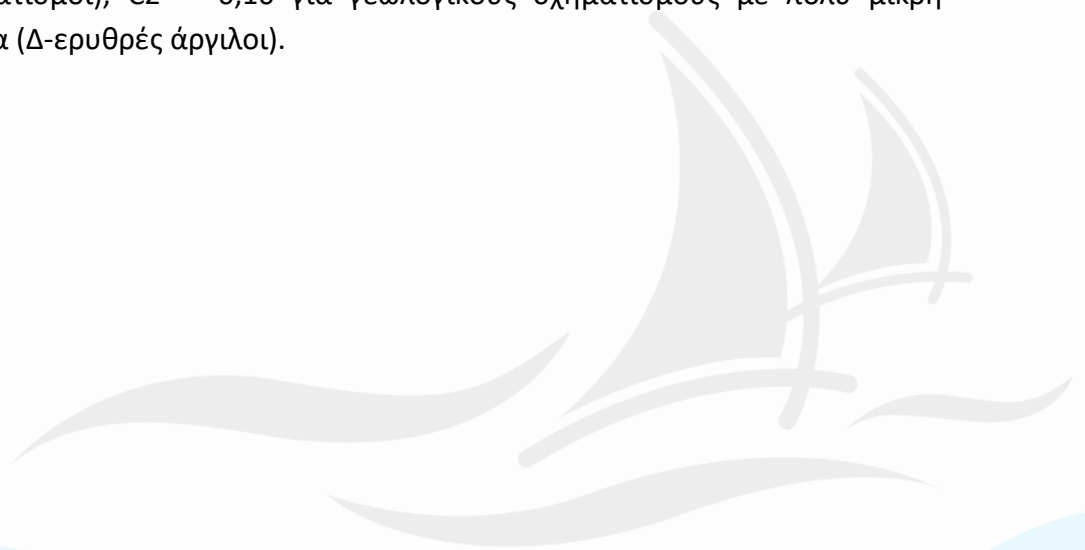
Καθώς, όμως, στην περίπτωση της ορθολογικής μεθόδου ισχύει η παραδοχή ότι η μέγιστη παροχή (πλημμυρική αιχμή) εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της υδρολογικής λεκάνης καταφθάσει στην έξοδο της, η διάρκεια της βροχόπτωσης (d) στην Εξ. (11) ουσιαστικά ισούται με τον χρόνο συγκέντρωσης (t_c) στη λεκάνη απορροής (Μιμίκου και Μπαλτάς, 2006). Από τις διάφορες εμπειρικές σχέσεις που έχουν παρουσιαστεί στη βιβλιογραφία για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, η εξίσωση Giandotti, Εξ. (8), η οποία χρησιμοποιείται και στην προκειμένη περίπτωση, θεωρείται ότι παρέχει σχετικά ρεαλιστικές τιμές, ιδιαίτερα όσον αφορά την περίπτωση μεγάλων λεκανών με σημαντικό τμήμα επιφανειακής απορροής (Κουρنيώτης, 2020).

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}} \quad (\text{Εξ. 8})$$

όπου t_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης στη λεκάνη απορροής (hr), A είναι η έκταση της λεκάνης (km^2), L είναι η μέγιστη διαδρομή από το πιο απομακρυσμένο σημείο μέχρι το σημείο εξόδου της λεκάνης (km), και ΔH είναι η διαφορά μεταξύ του μέσου υψομέτρου και του υψομέτρου στην έξοδο της λεκάνης (m).

Όσον αφορά, τώρα, τον συν/τή επιφανειακής απορροής, καθώς πρόκειται για μία παράμετρο που εξαρτάται από έναν σημαντικό αριθμό παραγόντων, όπως π.χ. μορφολογία εδάφους, τοπογραφική κλίση, φυτοκάλυψη, εδαφική υγρασία, σύσταση εδαφών, ένταση βροχόπτωσης, ο καθορισμός της, ως επί το πλείστον, γίνεται εμπειρικά βάσει βιβλιογραφίας και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση ειδικών πινάκων που έχουν διαμορφωθεί για τον σκοπό αυτό και οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη ορισμένους από τους προαναφερθέντες παράγοντες (π.χ. φύση εδαφών, φυτική κάλυψη, τοπογραφικές συνθήκες) (Κουρνιώτης, 2020, Μπούρη, 2008). Στην προκειμένη περίπτωση, ο υπολογισμός του συν/τή επιφανειακής απορροής πραγματοποιείται με χρήση της απλής σχέσης $C = 1 - C1' - C2' - C3'$, όπου οι όροι $C1'$, $C2'$ και $C3'$ είναι, αντίστοιχα, συνάρτηση της τοπογραφικής κλίσης, της υδατοπερατότητας των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και των χρήσεων γης, ενώ ουσιαστικά εκφράζουν τη συνεισφορά της κατείδυσης ως αντισταθμιστικού όρου στην επιφανειακή απορροή (γι' αυτόν τον λόγο γίνεται και αφαίρεση των όρων στην παραπάνω σχέση). Στον Πίνακα 24 παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές του συν/τή απορροής (C), όπως υπολογίστηκαν για τις επιμέρους κατηγορίες επιφανειακών κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης που διαμορφώθηκαν στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής, και για τις οποίες ελήφθησαν οι ακόλουθες τιμές των συν/τών $C1'$, $C2'$ και $C3'$ (Τράκος, 2021):

- $C1' = 0,30$ για κλίσεις 0-5%, $C1' = 0,20$ για κλίσεις 5-20%, $C1' = 0,10$ για κλίσεις >20%,
- $C2' = 0,40$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μεγάλη υδατοπερατότητα (Α - αποθέσεις), $C2' = 0,20$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μικρή υδατοπερατότητα (Β - βραχώδη σχηματισμοί),
- $C2' = 0,40$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μεγάλη υδατοπερατότητα (Α - αποθέσεις), $C2' = 0,30$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μέτρια υδατοπερατότητα (Β - ασβεστολιθικοί σχηματισμοί), $C2' = 0,20$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με μικρή υδατοπερατότητα (Γ - βραχώδεις σχηματισμοί), $C2' = 0,10$ για γεωλογικούς σχηματισμούς με πολύ μικρή υδατοπερατότητα (Δ-ερυθρές άργιλοι).



Πίνακας 24: Τιμές συν/τή επιφανειακής απορροής (C) ανά κατηγορία κλίσης (C1'), υδατοπερατότητας (C2') και χρήσεων γης (C3').

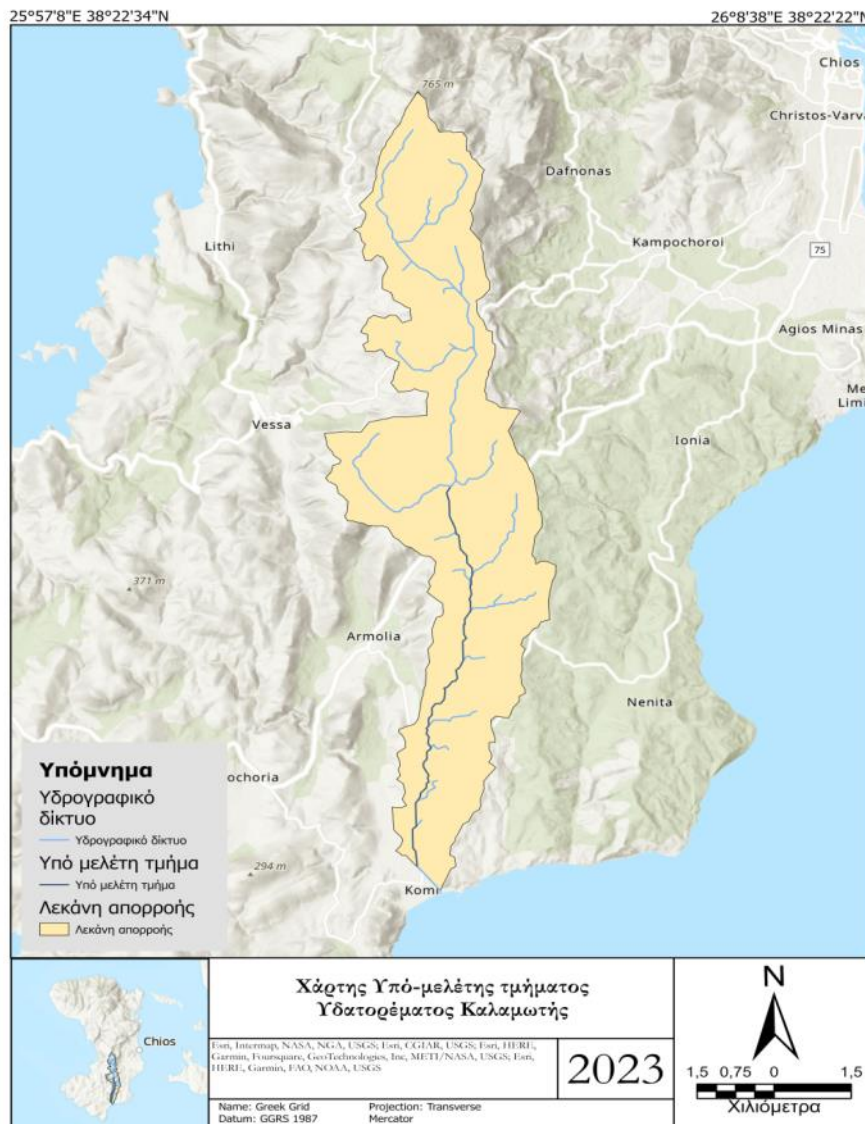
ΧΙΟΣ													
Χρήση Γης	Υδατοπερατότητα	A - Μεγάλη	A - Μεγάλη	A - Μεγάλη	B - Μέτρια	B - Μέτρια	B - Μέτρια	Γ - Μικρή	Γ - Μικρή	Γ - Μικρή	Δ - Πολύ μικρή	Δ - Πολύ μικρή	Δ - Πολύ μικρή
	Κλίση	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%	0-5%	5-20%	>20%
	C1'	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10	0,30	0,20	0,10
	C3' \ C2'	0,40	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,20	0,10	0,10	0,10
112	0,00	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80
211	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
223	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
231	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
242	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
243	0,10	0,20	0,30	0,40	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70
321	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65
323	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65
324	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65
333	0,15	0,15	0,25	0,35	0,25	0,35	0,45	0,35	0,45	0,55	0,45	0,55	0,65
512	0,00	0,30	0,40	0,50	0,40	0,50	0,60	0,50	0,60	0,70	0,60	0,70	0,80

Στη συνέχεια, βάσει των τιμών του Πίνακα 24 καθώς και της έκτασης των περιοχών που εμπεριέχονται σε κάθε μία από τις εφαρμοζόμενες κατηγορίες κλίσεων, υδατοπερατότητας και χρήσεων γης υπολογίζεται ένας σταθμισμένος συν/τής απορροής για την υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Στο σημείο αυτό, όμως, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο σταθμισμένος συν/τής που υπολογίζεται με βάση τις παραπάνω τιμές αναφέρεται σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων με περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη. Για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, συνήθως απαιτείται διόρθωση των υπολογιζόμενων τιμών του συν/τής απορροής, καθώς τόσο η υδροπερατότητα όσο και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, τα οποία και απομειώνουν την απορροή έχουν μία αναλογικά μικρότερη επίδραση στον συνολικό όγκο της απορροής. Η διόρθωση επιτυγχάνεται πολλαπλασιάζοντας τον υπολογιζόμενο συν/τή, C, με τον συν/τή C_f (Πίνακας 25) διατηρώντας, όμως, σε κάθε περίπτωση ως μέγιστη τιμή του καινούριου συν/τή τη μονάδα (Κουρνιατής, 2020, Κουτσοβίλη, 2018).

Πίνακας 25: Συν/τής διόρθωσης, C_f ανάλογα με την περίοδο επαναφοράς, T.

Περίοδος επαναφοράς, T (έτη)	Συν/τής διόρθωσης, C _f
20	1,10
100	1,25
500	1,25

Στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας έρευνας αφενός για τον ορθότερο και αναλυτικότερο υπολογισμό των διαφόρων υδρολογικών μεγεθών που εμπεριέχονται στην ορθολογική μέθοδο (π.χ. χρόνος συγκέντρωσης, συν/τής επιφανειακής απορροής, πλημμυρική αιχμή) και αφετέρου προκειμένου να καταστεί δυνατή η υδραυλική προσομοίωση του τμήματος του υδατορεύματος που χωροθετείται στα κατάντη και το οποίο εμφανίζεται περισσότερο επιδεκτικό στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Στην Εικόνα 49 απεικονίζονται η εξεταζόμενη λεκάνη σε συνδυασμό με τον κύριο κλάδο του υδρογραφικού δικτύου (κύριο υδατόρευμα, P1R1), για τον οποίο απαιτείται η γνώση της πλημμυρικής αιχμής.



Εικόνα 49: Το κύριο τμήμα του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης, καθώς και ο κλάδος του υδατορέματος (P1R1) που λαμβάνεται υπόψη κατά την υδραυλική προσομοίωση (υπό μελέτη τμήμα).

Στον Πίνακα 26 δίνονται διάφορα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής, και κυρίως εκείνων που υπεισέρχονται στον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης (t_c) σε συνδυασμό με τον εκτιμώμενο χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης, όπως υπολογίστηκε με τη χρήση της εξίσωσης Giandotti, Εξ. (8).

Πίνακας 26: Επιμέρους γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και εκτιμώμενος χρόνος συγκέντρωσης (t_c) για την εξεταζόμενη λεκάνη απορροής.

Λεκάνη/ Υπολεκάνη	Έκταση (km^2)	Μεγαλύτερη διαδρομή (km)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο στην έξοδο (m)	Μέση κλίση (%)	t_c (hrs)
Λεκ. 1	35,9	19,7	284,1	6,0	25,1%	4,01

Στον Πίνακα 27 για τον κλάδο του υπό μελέτη υδατορεύματος (P1R1) και για τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας (20, 100 και 200 έτη) παρουσιάζονται οι τιμές των επιμέρους μεγεθών που εμπεριέχονται στην ορθολογική μέθοδο (χρόνος συγκέντρωσης, ένταση βροχόπτωσης, σταθμισμένος συν/τής απορροής), καθώς και οι τελικές εκτιμώμενες τιμές της πλημμυρικής αιχμής, οι οποίες και χρησιμοποιούνται στη συνέχεια κατά τη διαδικασία της υδραυλικής ανάλυσης. Όπως γίνεται άμεσα εμφανές από τα στοιχεία του πίνακα, στο υδατόρευμα οι πλημμυρικές αιχμές εμφανίζονται μεγαλύτερες για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς.

Πίνακας 27: Υπολογισμός πλημμυρικής αιχμής στον υπό μελέτη κλάδο (P1R1) του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

Κλάδος	Λεκάνη/ Υπολεκάνη	T (έτη)	t_c (hrs)	i (mm/h)	Έκταση (km^2)	Σταθμισμένος συν/τής C	Q (m^3/s)
P1R1	Λεκ. 1	20	4,01	15,20	35,9	0,50	92,6
		100		44,89		0,61	157,0
		500		26,14		0,63	205,1

4.3 Αριθμητική προσομοίωση ροής - Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας

4.3.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Σε γενικές γραμμές, η διαδικασία της υδραυλικής προσομοίωσης στο λογισμικό HEC-RAS διακρίνεται σε δύο φάσεις (Τσιτρούλης, 2015, U.S.A.C.E., 2016). Συγκεκριμένα, σε πρώτη φάση λαμβάνει χώρα η γεωμετρική ανάλυση του υπό μελέτη υδατορεύματος, η οποία ουσιαστικά συνίσταται αφενός στον σχεδιασμό της κύριας γραμμής ροής του υδατορεύματος και των διατομών ελέγχου όπου επιτελούνται οι επιμέρους υδραυλικοί υπολογισμοί, και αφετέρου στον προσδιορισμό της τραχύτητας της κοίτης (προσδιορισμός συν/τών Manning) βάσει της φύσης και της κατάστασης των επιφανειών της (Κουρνιώτης, 2020). Σε δεύτερη φάση πραγματοποιείται η υδραυλική ανάλυση, η οποία έγκειται στη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος και πιο συγκεκριμένα στην εισαγωγή των παροχών σχεδιασμού, στον καθορισμό των οριακών συνθηκών ροής, και, τέλος, στην επιλογή του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή).

4.3.2 Διαμόρφωση γεωμετρικών δεδομένων

Όσον αφορά τη διαδικασία της γεωμετρικής ανάλυσης και τη διαμόρφωση του γεωμετρικού ομοιώματος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος έγινε χρήση της επέκτασης HEC-GeoRAS του λογισμικού ArcMap μέσω της οποίας γενικώς δημιουργούνται επιμέρους θεματικά επίπεδα (RASlayers) που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τη μορφή, τη διάταξη και τη γεωμετρία του υδατορεύματος (π.χ. κατεύθυνση ροής στο υδατόρευμα, προσανατολισμός και μήκος υδατορεύματος, αποστάσεις διατομών μεταξύ τους και από τις όχθες κ.ά.). Στο πλαίσιο αυτό δημιουργήθηκαν για τους υπό μελέτη κλάδους του υδατορεύματος, η κύρια γραμμή ροής (κεντρική κοίτη), οι όχθες, οι διευθύνσεις ροής, και οι διατομές ελέγχου, ενώ προσδιορίστηκαν όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και δεδομένα χρησιμοποιώντας ως βάση το τοπογραφικό υπόβαθρο υπό τη μορφή τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους (TIN, Triangulated Irregular Network).

Πιο αναλυτικά, η γραμμή ροής σχεδιάστηκε βάσει του διαμορφωμένου υδρογραφικού δικτύου κατά τη φορά της ροής, οι όχθες και οι διευθύνσεις ροής σχεδιάστηκαν ως πολυγωνικές γραμμές εκατέρωθεν της κεντρικής κοίτης και σε αποστάσεις 15 και 30m, αντίστοιχα, ενώ, τέλος, οι διατομές ελέγχου σχεδιάστηκαν σε καθορισμένη απόσταση και με καθορισμένο πλάτος, επιχειρώντας κατ' αυτόν τον τρόπο την ορθότερη οριοθέτηση του υδατορεύματος και την πλήρη αποτύπωση του πλημμυρικού πεδίου στην εκάστοτε θέση (Γιάννιου, 2015, Κουρنيώτης, 2020). Για τον λόγο αυτό, το πλάτος των διατομών δεν διατηρείται γενικώς σταθερό αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος των επιμέρους κλάδων του υδατορεύματος, όντας συγκεκριμένα μεγαλύτερο σε περιπτώσεις που το ανάγλυφο του εδάφους είναι σχετικά επίπεδο. Επιπλέον επισημαίνεται ότι, όσον αφορά την περίπτωση των οχθών του υδατορεύματος, ο σχεδιασμός τους έγινε σε αρχικό στάδιο, λαμβάνοντας συγχρόνως πληροφορίες σχετικά με το πλάτος του υδατορεύματος από το GoogleEarth, ενώ ο οριστικός καθορισμός τους έλαβε χώρα μετέπειτα στο HEC-RAS.

Στην Εικόνα 50 απεικονίζεται αφενός η κύρια γραμμή ροής του τμήματος του υδατορεύματος που περιλαμβάνεται στην υδραυλική ανάλυση και το οποίο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, βρίσκεται στα κατάντη (πλημμυρική περιοχή) και αφετέρου οι διατομές ελέγχου που σχεδιάστηκαν κατά μήκος του εν λόγω τμήματος. Συνολικά σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν 51 διατομές. Όπως ήδη προαναφέρθηκε, σε περιοχές με γενικώς επίπεδο ανάγλυφο, οι διατομές σχεδιάστηκαν με μεγαλύτερο πλάτος, έτσι ώστε να μπορούν να παραλάβουν το πλημμυρικό γεγονός.

Στη συνέχεια, τα επιμέρους διαμορφωμένα θεματικά επίπεδα εισήχθησαν στο HEC-RAS, όπου συγκεκριμένα έλαβε χώρα επεξεργασία και οριστική οριοθέτηση των οχθών του υπό μελέτη κλάδου του υδατορεύματος (σε περιπτώσεις που υπήρχε σχετική απόκλιση), καθώς και καθορισμός του συν/τή Manning, στον οποίο και

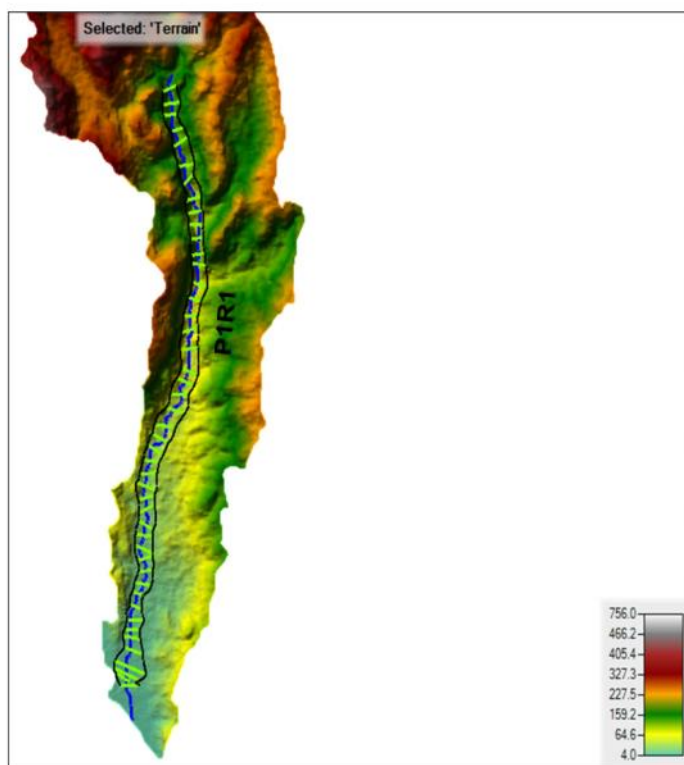
Χρήση Γης	Manning
112	0,20
211	0,04
223	0,10
242	0,08
243	0,04
323	0,15
324	0,08
333	0,04
512	0,03

Πίνακας 128: Συντελεστής Manning.

αποδόθηκε εντός της κοίτης του υδατορεύματος τιμή ίση με 0,04, ενώ εκατέρωθεν της δεξιάς και της αριστερής κοίτης τιμές με βάση την υπάρχουσα χρήση γης, οι οποίες και παρουσιάζονται αναλυτικά στον παρακάτω Πίνακα 12β (Ε.Γ.Υ., 2017).

4.3.3 Διαμόρφωση υδρολογικών δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, για τη διαμόρφωση του υδραυλικού προβλήματος στο HEC-RAS απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί ο καθορισμός των παροχών σχεδιασμού, των οριακών συνθηκών και του καθεστώτος ροής (υποκρίσιμη, υπερκρίσιμη ή μεικτή ροή). Αναφορικά με τις παροχές σχεδιασμού, αυτές προέρχονται από την υδρολογική ανάλυση που προηγήθηκε και αφορούν τις εκτιμώμενες τιμές πλημμυρικής αιχμής στον κλάδο του υδατορεύματος (Πίνακας 27) και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους



Εικόνα 50: Η γραμμή ροής του εξεταζόμενου τμήματος του υδατορεύματος (κλάδος P1R1) και οι διατομές ελέγχου που σχεδιάστηκαν και μελετήθηκαν κατά μήκος των εν λόγω τμημάτων.

επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 200 έτη). Επομένως, για κάθε περίοδο επαναφοράς διαμορφώνεται ένα διαφορετικό προφίλ παροχών που περιλαμβάνει διαφορετικές τιμές παροχής.

Αναφορικά με τις οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος, οι οποίες και γενικώς εφαρμόζονται στις οριακές διατομές του υπό μελέτη υδατορεύματος, ο ορθός καθορισμός τους αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την όσον το δυνατόν ακριβή προσέγγιση της κατάστασης ροής στο υδατόρευμα, καθώς αποτελούν το εναρκτήριο βήμα για την εκτέλεση των επιμέρους υπολογισμών (Κουρنيώτης, 2020, U.S.A.C.E., 2016). Στην προκειμένη περίπτωση, ο τύπος των οριακών συνθηκών που εφαρμόσθηκε στις οριακές διατομές του υπό μελέτη κλάδο του υδατορεύματος είναι αυτός του ομοιόμορφου βάθους ροής (normal depth) βάσει του οποίου εισάγεται η κλίση της γραμμής ενέργειας για να υπολογιστεί στη συνέχεια το ομοιόμορφο βάθος στις διατομές. Τις περισσότερες φορές, όμως, καθώς η κλίση της γραμμής ενέργειας δεν είναι γνωστή υιοθετείται η παραδοχή ότι γενικώς ταυτίζεται με την τοπογραφική κλίση του πυθμένα, όπως αυτή υπολογίζεται μεταξύ της οριακής διατομής και της επόμενης διαδοχικής της (Κουτσοβίλη, 2018).

Στην Εικόνα 50 σημειώνονται οι διατομές στον κλάδο του υδατορεύματος στις οποίες εφαρμόζονται οι οριακές συνθήκες του υδραυλικού προβλήματος, ενώ στον Πίνακα 28 δίνονται οι υπολογιζόμενες τιμές της κλίσης πυθμένα που εισάγονται στις διατομές σε συνδυασμό με τα στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό των τιμών αυτών (υψόμετρο πυθμένα των δύο διαδοχικών διατομών και μεταξύ τους απόσταση). Τέλος, σχετικά με το καθεστώς ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος γίνεται η επιλογή της μεικτής ροής προκειμένου να διασφαλισθεί ακόμα και η περίπτωση ύπαρξης υπερκρίσιμης ροής στο υδατόρευμα, ειδικότερα στα τμήματα εκείνα που ενδέχεται να παρατηρούνται μεγάλες διαφορές εδαφικής κλίσης.

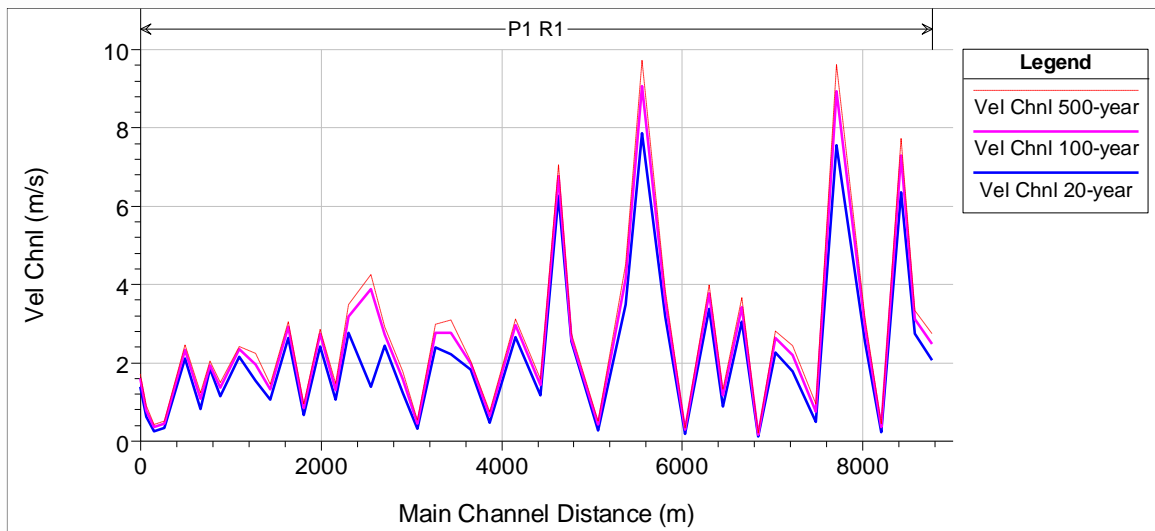
Πίνακας 28: Υπολογιζόμενες τιμές τοπογραφικής κλίσης πυθμένα (οριακές συνθήκες) που εισάγονται στις οριακές διατομές του υδατορεύματος.

Κλάδος	Τμήμα	Υψομετρική διαδοχικών διατομών (m)	Απόσταση διαδοχικών διατομών (m)	Κλίση
P1R1	Κατάντη	0,20	69,4	0,0029
	Ανάντη	1,17	195,5	0,0060

4.3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης ροής

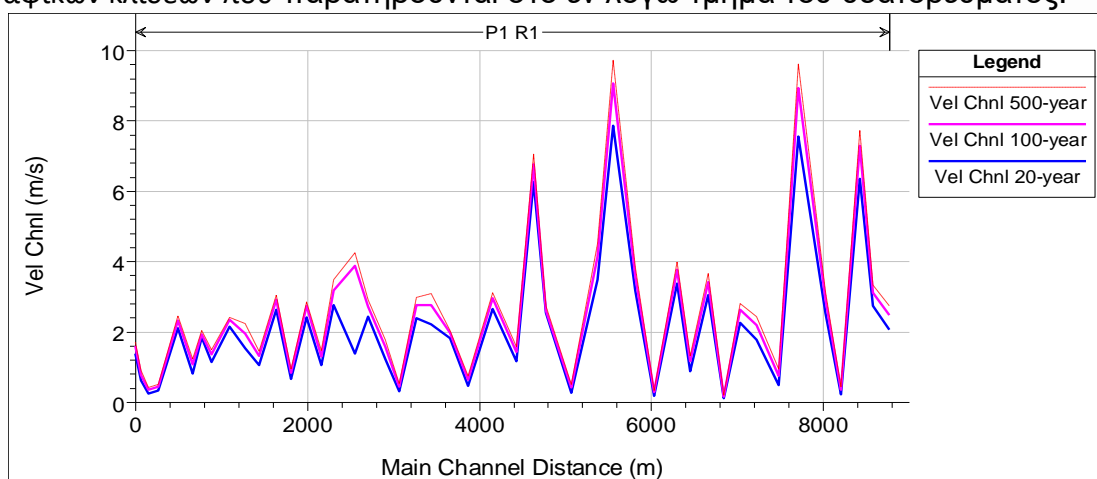
Μετά την επιτυχημένη ολοκλήρωση των υπολογισμών παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση της ροής στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος για συνθήκες μόνιμης μονοδιάστατης (1D) ροής, και τα οποία συγκεκριμένα συνοψίζονται στις Εικόνες 51 και 52.

Αρχικά, λοιπόν, στην Εικόνα 51 απεικονίζεται η κατά μήκος τομή και το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στον υπό μελέτη κλάδο του υδατορεύματος, P1R1, όπως προέκυψαν και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη). Όπως γίνεται άμεσα εμφανές, το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού μειώνεται αισθητά από τα ανάντη προς τα κατάντη καθώς μειώνεται το υψόμετρο του εδάφους, ενώ αυξάνεται όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδος επαναφοράς του πλημμυρικού συμβάντος (μεγαλύτερο ύψος ελεύθερης επιφάνειας για περίοδο επαναφοράς 500 ετών), αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500 ετών η διαφορά είναι σχετικά μικρή.



Εικόνα 51: Κατά μήκος τομή και προφίλ της επιφάνειας του νερού στον υπό μελέτη κλάδο του υδατορεύματος, P1R1, και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη).

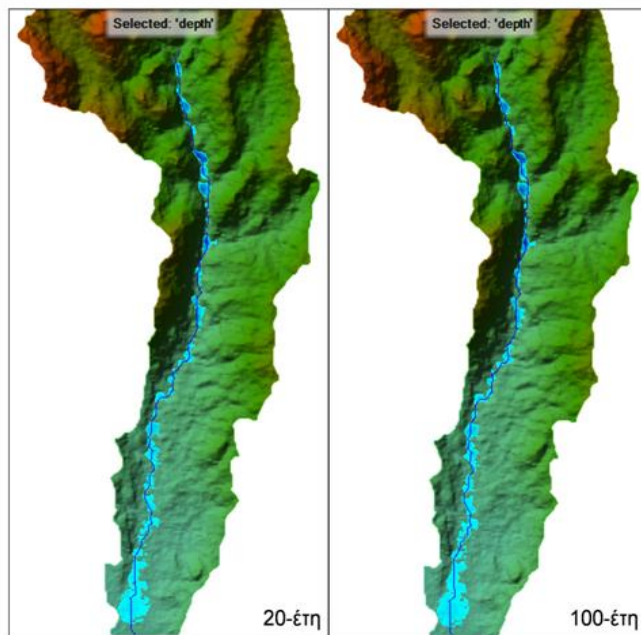
Στη συνέχεια, στην Εικόνα 52 δίνεται το διάγραμμα των ταχυτήτων ροής κατά μήκος του υπό μελέτη κλάδου του υδατορεύματος, όπως προέκυψε και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 500 έτη). Όπως διαπιστώνεται, στον υπό μελέτη κλάδο σημειώνονται σημαντικές αυξομειώσεις των ταχυτήτων ροής μεταξύ των επιμέρους διατομών ελέγχου, γεγονός που αποδίδεται αφενός στη μεταβολή του εδαφικού αναγλύφου μεταξύ των διατομών και αφετέρου στη μεταβολή της παροχής που διέρχεται από κάθε διατομή εξαιτίας των υπερχειλίσεων (Κουτσοβίλη, 2018, Μπούρη, 2008). Επιπρόσθετα, όπως παρατηρείται, σε γενικές γραμμές, οι ταχύτητες ροής εμφανίζονται υψηλότερες όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδος επαναφοράς του πλημμυρικού συμβάντος, όπως επίσης υψηλότερες εμφανίζονται στην περίπτωση του κλάδου P1R1, και ιδιαίτερα στο ανάντη τμήμα αυτού, εξαιτίας των μεγαλύτερων εδαφικών κλίσεων που παρατηρούνται στο εν λόγω τμήμα του υδατορεύματος.



Εικόνα 52: Ταχύτητας ροής κατά μήκος του υπό μελέτη κλάδου του υδατορεύματος, (P1R1), και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 200 έτη).

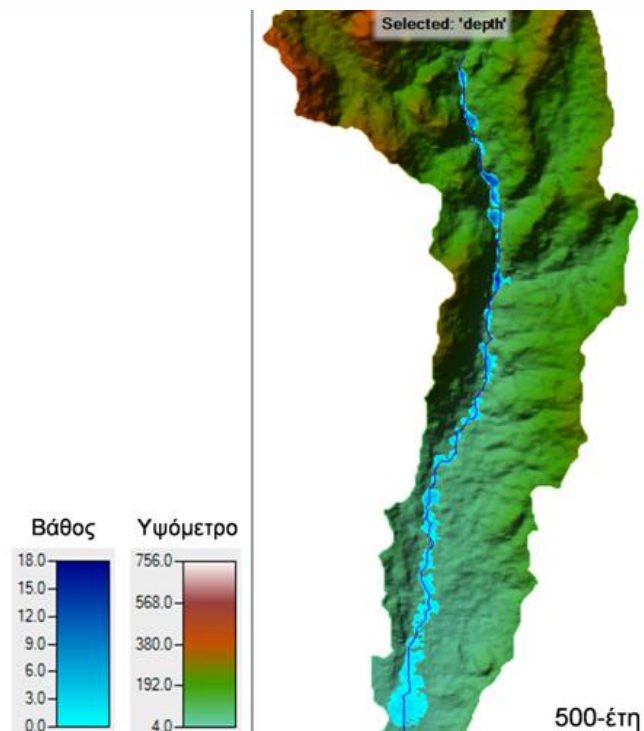
4.3.5 Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας - Χαρτογράφηση πλημμύρας

Τελικό βήμα της υδραυλικής ανάλυσης συνιστά η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος μέσω του υπολογισμού και της χαρτογράφησης των πλημμυρικών εκτάσεων. Αρχικά, στην Εικόνα 53 δίνονται οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης για τις δύο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 έτη), και παρακάτω στην Εικόνα 54 για την επόμενη περίοδο επαναφοράς (500 έτη). Επίσης οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το βάθος νερού, καθώς και με τη γεωγραφική του εξάπλωση.



Εικόνα 53: Επιφάνεια κατάκλυσης και βάθος νερού κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος και για τις δύο διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20 και 100 έτη).

Όπως συμπεραίνεται από τις Εικόνες 53 και 54, το υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν (20, 100 και 200 έτη) χαρακτηρίζεται, κατά κύριο λόγο, από αρνητική ικανότητα παροχέτευσης των πλημμυρικών παροχών, καθώς, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, οι διατομές του υπερχειλίζουν και το νερό κατακλύζει εκτάσεις εκατέρωθεν της κοίτης του υδατορεύματος. Η κατάσταση γίνεται πιο έντονη όσο μεγαλύτερη λαμβάνεται η περίοδο επαναφοράς, αν και μεταξύ της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών και αυτής των 500



Εικόνα 54: Επιφάνεια κατάκλυσης και βάθος νερού κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος για την περίοδο επαναφοράς των 500 ετών.

ετών παρατηρείται σχετικά μικρή διαφορά. Επιπρόσθετα, μέσω των Εικόνων 53 και 54 καταδεικνύονται οι περιοχές εκείνες κατά μήκος του υπό μελέτη τμήματος, οι οποίες επηρεάζονται περισσότερο από τα πλημμυρικά φαινόμενα (μεγαλύτερη έκταση πλημμυρικού πεδίου), και κατ' επέκταση χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής κατά τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, πρόκειται για ένα τμήμα του κλάδου P1R1 που εντοπίζεται λίγο πριν τον οικισμό της Κώμης και στο οποίο οι υψομετρικές διαφορές δεν έχουν μεγάλη μεταβολή, ενώ σχετικό πρόβλημα παρατηρείται και στα κεντρικά του του κλάδου P1R1,, όπου μερικά πλημμυρικά όρια εκτείνονται σε αξιοσημείωτη σχετικά απόσταση από την κοίτη του υδατορεύματος.

Πίνακας 29: Χαρακτηριστικά μεγέθη πλημμύρας στο υπό μελέτη τμήμα του υδατορεύματος και για τις τρεις διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (20, 100 και 500 έτη).

T (έτη)	Συνολική πλημμυρική έκταση (km ²)	Μέγιστο πλημμυρικό βάθος (m)
20	0,685	15,83
100	0,768	16,44
500	0,819	16,82

4.4 Απώλεια εδάφους και ιζηματοπαροχη

4.4.1 Συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων R

Ο συντελεστής διάβρωσης βροχοπτώσεων ποσοτικοποιεί την ένταση και συχνότητα των γεγονότων βροχόπτωσης όπου συμβάλλει στην διάβρωση εδάφους. Δεδομένης της ανεπαρκούς διαθεσιμότητας λεπτομερών δεδομένων βροχοπτώσεων, συνήθως υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα μέσα μηνιαία ή ακόμα και τα μέσα ετήσια δεδομένα βροχοπτώσεων. Στην παρούσα εργασία, τα μετεωρολογικά δεδομένα που επεξεργαστήκαμε για τον συντελεστή R ήταν από τον μετ. σταθμό του αεροδρομίου της Χίου, μεταξύ 2012-2022 τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης, και στην συνέχεια για τον υπολογισμό του συντελεστή R που ανταποκρίνεται στην υπό εξεταζόμενη περίοδο.

4.4.2 Συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας k

Ο συντελεστής εδαφικής διαβρωσιμότητας είναι μια ευαίσθητη παράμετρος, η οποία συνδέεται σημαντικά με την δομή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους, αντιπροσωπεύοντας την ευαισθησία του εδάφους. Στην παρούσα μελέτη, εξαιτίας της έλλειψης λεπτομερών δεδομένων που σχετίζονται με την εδαφική υφή και διαπερατότητα, ο υπολογισμός του συντελεστή K βασίστηκε στο γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, για κάθε γεωλογικό σχηματισμό όπου παρουσιάζονται στην περιοχή, η τιμή του K προσδιορίστηκε (Πίνακας 30) λαμβάνοντας υπόψη τις λίστες από εμπειρικές παρατηρήσεις σχετικές βιβλιογραφικές πηγές.

Πίνακας 30: Τιμές του συντελεστή K σύμφωνα με τις γεωλογικές σχηματισμούς.

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	K
Αποθέσεις - Κορήματα	0,030
Ερυθρές άργιλοι	0,030
Ασβεστόλιθοι - Δολομίτες	0,010
Κλαστικά πετρώματα	0,022
Ηφαιστειακά πετρώματα	0,020

4.4.3 Συντελεστής τοπογραφίας LS

Ο συντελεστής τοπογραφίας (LS) που περιλαμβάνει το μήκος της κλίσης (L) και την απότομη κλίση (S), αντιστοιχεί στην αναλογία μεταξύ εδαφικής απώλειας ενός δεδομένου μήκους κλίσης και της απότομης κλίσης προς την αρχική μονάδα USLE

Στην παρούσα μελέτη, οι τιμές του LS λήφθηκαν από την εφαρμογή της Εξ. 9, ακολουθώντας την μεθοδολογική προσέγγιση των Mitasova και Mitas. Η χωρική κατανομή του LS απεικονίζεται στην Εικόνα 10.

$$LS = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.09} \right)^n \quad (\text{Εξ.9})$$

4.4.4 Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης C

Ο Συντελεστής χρήσεων γης και διαχείρισης (C) ποσοτικοποιεί τον αντιδραστικό αντίκτυπο των καλλιεργειών και των πρακτικών διαχείρισης στη διάβρωση εδάφους που προκαλείται από το νερό και συνδέεται στην πραγματικότητα με τους τύπους χρήσεων γης που υπάρχουν στην περιοχή ενδιαφέροντος. Στο Πίνακα 31 αναπαρίστανται οι τιμές του C για κάθε χρήση γης προσαρμοσμένες στην λεκάνη της Καλαμωτής, ενώ στην Εικόνα 55 απεικονίζεται η χωρική κατανομή.

Πίνακας 31: Συντελεστής χρήσεων γης.

Κωδικός	Χρήση Γης	C
112	Ασυνεχής φυσικός ιστός	0,001
211	Μη αρδευόμενη - καλλιεργήσιμη γη	0,300
223	Ελαιώνες	0,100
231	Βοσκότοποι	0,100
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0,180

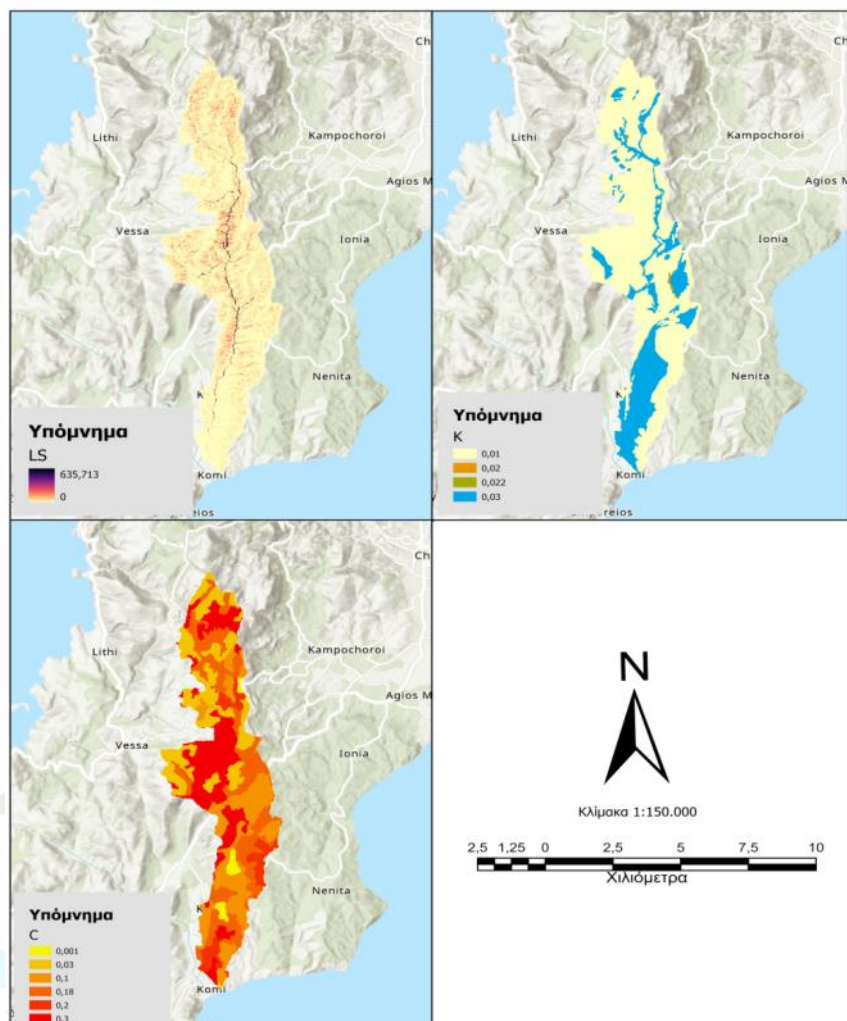
243	Γη που καταλαμβάνεται κυρίως από τη γεωργία, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0,070
321	Φυσικά λιβάδια	0,300
323	Σκληρόφυλλη βλάστηση	0,025
324	Μεταβατικός δασικός θάμνος	0,020
333	Περιοχές με αραιή βλάστηση	0,250
512	Υδάτινα σώματα	0,001

4.4.5 Συντελεστής πρακτικής διαχείρισης P

Στην περίπτωση μας για την λεκάνη απορροής του Κατράρη ο συντελεστής P καθορίζεται με την τιμή 1.0.

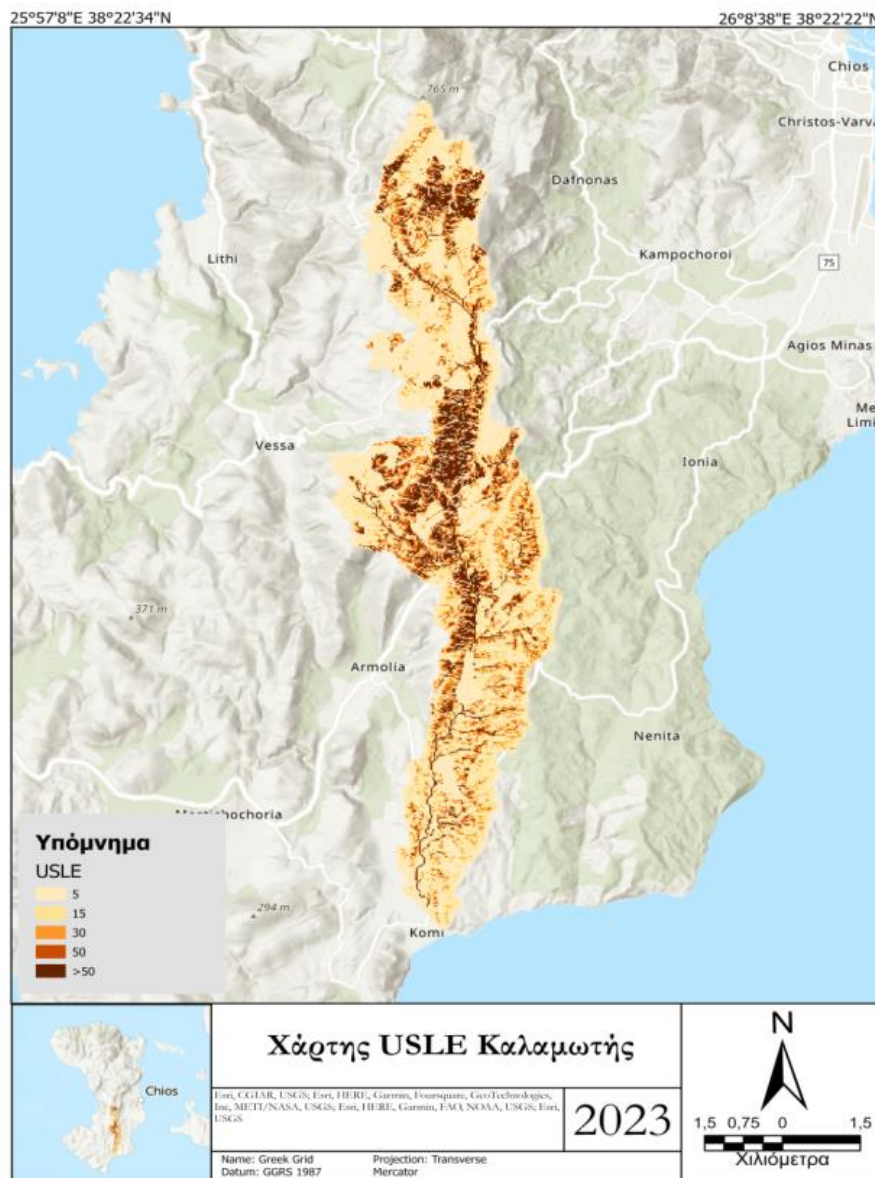
4.4.6 Διάβρωση εδάφους και απόδοση ιζημάτων

Η εφαρμογή του μοντέλου USLE πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS. Ειδικότερα, για κάθε παράμετρο που συμπεριλήφθηκε στην USLE (R, K, LS, C και P) ψηφιακά χωροταξικά επίπεδα δεδομένων δημιουργήθηκαν σε raster πλέγμα χρησιμοποιώντας το ίδιο πλέγμα με το DEM (27m x 27 m).



Εικόνα 55: Χάρτης αναπαράστασης των συντελεστών της USLE για την λεκάνη απορροής της Καλαμωτής: α) K-συντελεστής, β) LS- συντελεστής, γ) C- συντελεστής.

Στην Εικόνα 56, ο ετήσιος ρυθμός απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Καλαμωτής απεικονίζεται λαμβάνοντας υπόψη πέντε κατηγορίες, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διάβρωσης του εδάφους, που ορίζεται ως: (i) πολύ χαμηλό (0-5 tha-1yr-1), (ii) χαμηλή (5-15 tha-1yr-1), (iii) μέτρια (15-30 tha-1yr-1), (iv) υψηλή (30-50 tha-1yr-1) και (v) πολύ υψηλή (>50 tha-1 έτος-1). Ο χάρτης που προκύπτει αποκαλύπτει ένα εμφανές μοτίβο, όπου περιοχές κατά μήκος του δικτύου αποστράγγισης, που χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές LS, παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένα επίπεδα διάβρωσης του εδάφους.



Εικόνα 56: Κατανομή απώλειας εδάφους για τη λεκάνη της Καλαμωτής.

Τέλος, ο Πίνακας 32 παρουσιάζει τη μέση και συνολική ετήσια απώλεια εδάφους για τη λεκάνη της Πέγειας, καθώς και τη μέση και συνολική ετήσια απόδοση ιζήματος που εναποτίθεται στην έξοδο της λεκάνης. Η απόδοση ιζήματος είναι ιδιαίτερης σημασίας γιατί σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα του ιζήματος που μεταφέρεται και συσσωρεύτηκε στην παραλία. Στο πλαίσιο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι η εκτιμώμενη τιμή της μέσης απόδοσης ιζήματος είναι 740 t km⁻¹ γ-1.

Πίνακας 32: Απώλεια εδάφους και απόδοση ιζήματος στη λεκάνη της Καλαμωτής.

	Παράμετροι	Μονάδες	Τιμές
Απώλεια εδάφους	Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά ha)	t ha ⁻¹ γr ⁻¹	24,49
	Ετήσια απώλεια εδάφους (ανά km ²)	t km ⁻¹ γr ⁻¹	2.449
	Έκταση λεκάνης απορροής	km ²	35,9
	Συνολική ετήσια απώλεια εδάφους	t γr ⁻¹	87.920
Στερεο-παροχή	Συν/τής απομείωσης (Vanoni)	-	0,302
	Ετήσια στερεοπαροχή (ανά km ²)	t km ⁻¹ γr ⁻¹	740
	Συνολική ετήσια στερεοπαροχή	t γr ⁻¹	26.570



4.5 Φράγμα Καλαμωτής – Έλεγχος Τεχνικής Έκθεσης

Το Φράγμα της Καλαμωτής ή του « Κατράρη» βρίσκεται στην ΝΑ Χίο, ΔΕ Ιωνίας και Μαστιχωρίων. Το φράγμα είναι λιθόρριπτο με αργιλικό πυρήνα στεγάνωσης. Έχει στέψη 350m, και ύψος 30 m, καθώς η κλίση πρανών είναι της αναλογίας 2:1. Η λεκάνη απορροής είναι στα Β-ΒΔ του φράγματος, έχει σχήμα λωρίδας 13 km (μέχρι το φράγμα από τα ανάντι) και μέσο πλάτος 2.5 km, με έκταση 25658 στρμ (25.658 km²) και χωρητικότητα του ταμιευτήρα $2,0 \times 10^6 \text{m}^3$.



Εικόνα 57: Φράγμα Κατράρη

Στο παρόν έγγραφο γίνεται αναφορά εντοπισμού του προβλήματος χρήσης φράγματος. Τα προβλήματα εντοπίστηκαν στην λειτουργική συμπεριφορά του φράγματος βάση της λανθασμένης μελέτης με αποτέλεσμα την μην σωστή εκμετάλλευση του. Τα κύρια ερωτήματα που θέτονται είναι αν η σωστή ποσότητα του νερού, σύμφωνα με την μελέτη θα έπρεπε να καταλήγει στον ταμιευτήρα και αν στην θέση που βρίσκεται το φράγμα υπάρχει κάποια αστοχία του έργου για την απώλεια ύδατος από τον ταμιευτήρα.

4.5.1 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της εργασίας συλλέχθηκαν βροχομετρικά δεδομένα σε δυο σταθμούς Χίου Αεροδρόμιο και Χίος Ιωνία, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ), καθώς και γεωλογικά δεδομένα για την διαμόρφωση νέων γεωλογικών χαρτών, από την Ελληνική Αρχή Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Ενώ η Διεύθυνση Ανάπτυξης της ΠΕ Χίου προσκόμισε τις τεχνικές εκθέσεις του φράγματος Κατράρη για την γεωμετρία και την λειτουργία του ταμιευτήρα και της λεκάνης απορροής.

Η συλλογή δεδομένων για την εκπόνηση της εργασίας γίνεται σε δυο φάσεις. Στην πρώτη φάση γίνεται επεξεργασία των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των βροχομετρικών δεδομένων, αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης, αξιολόγηση κατασκευής έργου και κατάσταση έργου επιφανειακής στεγάνωσης του ταμιευτήρα.

Η μελέτη διαχωρίζεται σε δυο βασικούς άξονες επεξεργασίας του έργου τον υδρολογικό/υδραυλικό και τον γεωλογικό/γεωτεχνικό. Ο πρώτος άξονας αφορά στον έλεγχο και αξιολόγηση των δύο πρώτων χαρακτηριστικών (αξιολόγηση δεδομένων μελέτης) με σκοπό να καταλήξει σε μια αξιόπιστη πρόβλεψη αναμενόμενης εισροής στον ταμιευτήρα και ο δεύτερος αφορά στη διερεύνηση πιθανών προβληματικών σημείων ή/και περιοχών που χρήζουν ιδιαίτερης αντιμετώπισης.

4.5.2 Υδρολογική έκθεση

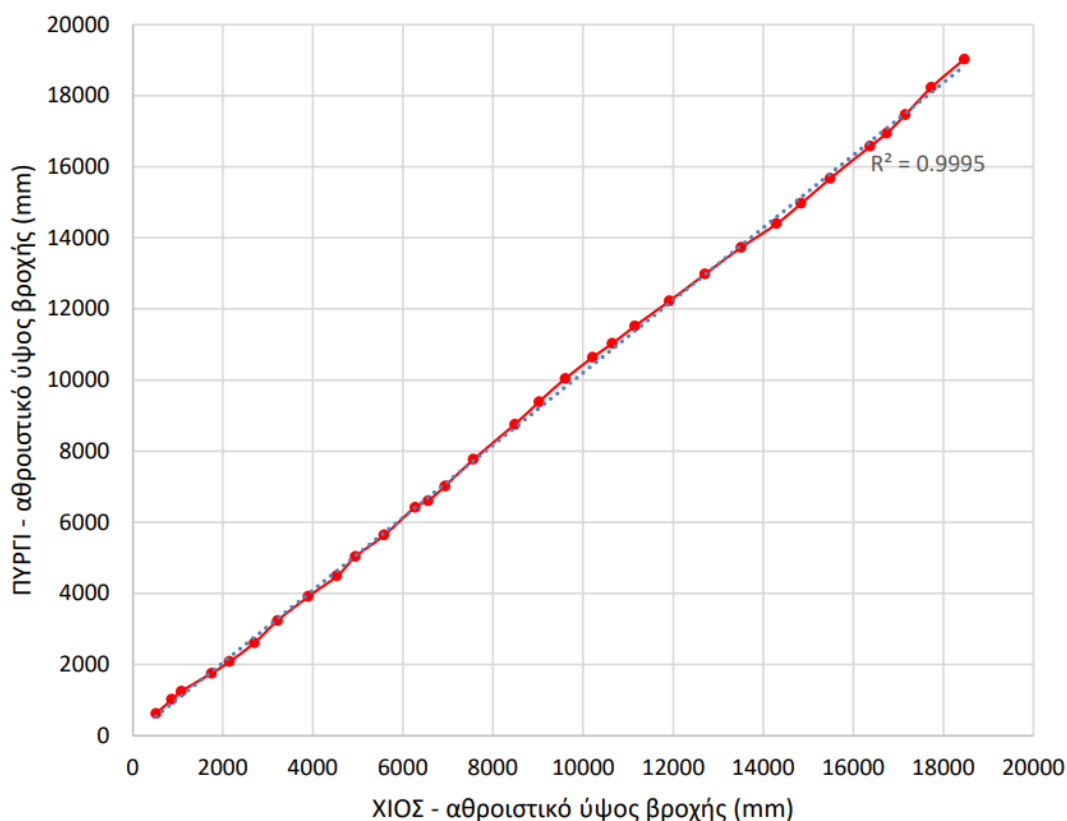
Σύμφωνα με την τεχνική έκθεση της Διεύθυνσης Ανάπτυξης ΠΕ Χίου, τα μετεωρολογικά δεδομένα που λήφθηκαν υπόψη είναι από την ΕΜΥ για τον σταθμό της Χίου (WMONo 16706) σε υψόμετρο 5 m κατά την χρονική περίοδο 1975-2019 οι παράμετροι που μελετήθηκαν οι εξής: Μηνιαίο ύψος υετού (mm), Μηνιαία Ώρα Ηλιοφάνειας (ώρες), Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (oC), και Μέση Μηνιαία Σχετική Υγρασία (%). Από την Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης της ΠΕ Χίου για το σταθμό του Πυργίου με υψόμετρο 133 m κατά την χρονική περίοδο 1987-2019 η παράμετρος που μελετήθηκε είναι η Μηνιαίο ύψος υετού (mm). Από την Διεύθυνση Αγροτικής Ανάπτυξης της ΠΕ Χίου για το σταθμό του Πιτυούς με υψόμετρο του βαρόμετρου 420 m και για χρονική περίοδο 1982-1986 η παράμετρος που μελετήθηκε είναι η Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (oC). Ο έλεγχος των μετεωρολογικών δεδομένων, κυρίως του Υετού γίνεται με την χρήση της διπλής αθροιστικής καμπύλης και ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης που προκύπτει είναι περίπου 0.7.

Για τους σταθμούς ΧΙΟΣ / Α (WMONo 16 706) και ΠΥΡΓΙ η στατιστική περιγραφή των δεδομένων για την βροχόπτωση για την κοινή περίοδο 1987 – 2019 είναι

Πίνακας 33: Ελάχιστη-Μέγιστη βροχόπτωση στους Μετεωρολογικούς σταθμούς.

	ΧΙΟΣ	ΠΥΡΓΙ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	209.6 mm	183.5 mm
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	919.7 mm	988.1 mm
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	577.1 mm	594.6 mm

ΔΙΠΛΗ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΧΙΟΣ - ΠΥΡΓΙ



Εικόνα 58: Συσχέτιση βροχοπτώσεων από τους σταθμούς Αεροδρομίου της Χίου με το Πυργί.

Πίνακας 34: Γεωμετρικά δεδομένα λεκάνης απορροής.

Γεωμετρικά και ψηφιακά δεδομένα της λεκάνης απορροής :

ΕΜΒΑΔΟΜΕΤΡΗΣΗ			
ΤΜΗΜΑ	E (m ²)	P (m)	PERIGRAFΗ
ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	2565888.69m ²	35859.39	Φράγματος Κατράρη
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 1	12984242.38m ²	26226.18	Μη καμένη εδαφική έκταση από τις Πυρκαγιές του 2012
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 2	4110949.20m ²	14010.79	Καμένη εδαφική έκταση από τις Πυρκαγιές του 2012
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 3	8563697.12m ²	17285.87	Καμένη εδαφική έκταση από τις Πυρκαγιές του 2012
ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ 4	4739804.38m ²	11082.99	Λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου Συκούση Καμένη εδαφική έκταση από τις Πυρκαγιές του 2012

Η λεκάνη απορροής του Φράγματος Καλαμωτής υπεισέρχεται στην υδρολογική μελέτη με τις εξής διαφοροποιήσεις, κατά την υδρολογική περίοδο 1976-1997 το εμβαδόν λεκάνης απορροής φράγματος είναι ίσο με E=25659 στρέμματα.

Κατά την υδρολογική περίοδο 1997-2019 έγιναν δυο προσομοιώσεις για την εξαγωγή δεδομένων απορροής στον ταμιευτήρα.

1. Προσομοίωση ΜΕ την λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου Συκούση και με εμβαδόν λεκάνης απορροής φράγματος E=20919 στρέμματα. Στην περίπτωση αυτή συνυπολογίζεται και η τυχόν υπερχειλίση της λιμνοδεξαμενής προς το Φράγμα Καλαμωτής. Το εμβαδόν της λεκάνης απορροής της λιμνοδεξαμενής είναι E= 4740 στρέμματα που αντιστοιχεί στο 18.5% της συνολικής έκτασης.

2. Προσομοίωση ΧΩΡΙΣ την λιμνοδεξαμενή Αγίου Γεωργίου Συκούση με εμβαδόν λεκάνης απορροής E=25659 στρέμματα.

Έπειτα η διπλή αθροιστική καμπύλη εφαρμόστηκε για την παράμετρο της θερμοκρασίας και εφαρμόστηκε η μέθοδος Penman-Monteith για τον υπολογισμό της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Από τις μετρήσεις της ΔΕΥΑΧ (υδρολογικών ετών 2013-2019) για την στάθμη λίμνης του φράγματος και την παροχή του αντλιοστασίου (απόληψη), συντάχθηκαν πίνακες βάση των οποίων έγινε η βαθμονόμηση των συντελεστών του υδρολογικού μοντέλου.

Οι βασικές παράμετροι της εδαφικής αποθήκευσης K και της κατείσδυσης C που επιλέγονται είναι: K=240 mm και C=0.170 για το αεροδρόμιο Χίου και K=240 mm και C=0.140 για τον σταθμό Πυργίου.

Πίνακας 35: Πίνακας βαθμονόμησης συντελεστών βαθμονόμησης υδρολογικού μοντέλου.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΟΓΚΟΣ V_d ($m^3 \cdot 10^3$) μέτρηση από ΔΕΥΑΧ	ΑΠΟΛΗΨΗ R_d ($m^3 \cdot 10^3$) μέτρηση από ΔΕΥΑΧ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΠΟΛΗΨΗ R_d ($m^3 \cdot 10^3$) μέτρηση από ΔΕΥΑΧ	ΣΤΑΘΜΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ H (m) μέτρηση από ΔΕΥΑΧ
2012	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ				
	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ		0	0	
2013	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ		0	0	
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ		0	0	
	ΜΑΡΤΙΟΣ		0	0	
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ		0	0	
	ΜΑΙΟΣ	931	0	0	73.50
	ΙΟΥΝΙΟΣ		0	0	
	ΙΟΥΛΙΟΣ		0	0	
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ		0	0	
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	
2014	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ		0	0	
	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ		0	0	
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	777	0	0	72.37
	ΜΑΡΤΙΟΣ	931	0	0	73.50
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ		0	0	
	ΜΑΙΟΣ		0	0	
	ΙΟΥΝΙΟΣ		0	0	
	ΙΟΥΛΙΟΣ		0	0	
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ		0	0	
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ		0	0	

Παρακάτω δίνεται ο Πίνακας 36 με τα αποτελέσματα κατά την βαθμονόμηση του Υδρολογικού μοντέλου

Πίνακας 36: Αποτελέσματα βαθμονόμησης υδρολογικού μοντέλου

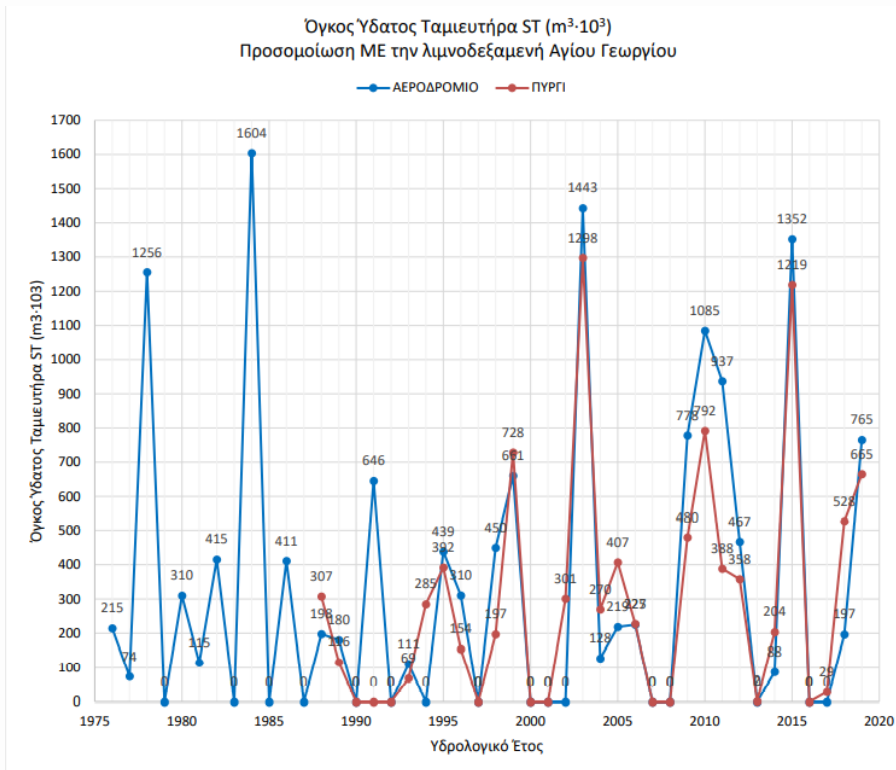
2013	ΧΙΟΣ									
Μήνας	Βροχόπτωση P (mm)	Δυνητική Εδαφική Εξατμοδιαπνοή E _e (mm)	Εδαφική αποθήκευση S (mm)	Απορροφή Q (mm)	Πραγματική Εδαφική Εξατμοδιαπνοή E _e (mm)	Επιφανειακή Απορροφή Q (mm)	Συντελεστής Απορροής ε	Δυνητική Εξάτμιση Ταμειυτήρα E _v (mm)	Στάθμη Ταμειυτήρα Η _i (m)	Επιφάνεια Ταμειυτήρα E _i (m ² ·10 ³)
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ			5.0							
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	3.2	75.9	3.7	0.0	4.5	0.0	0.000	82.9	73.5	142.3
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	32.0	54.0	3.4	0.0	32.3	0.0	0.000	52.2	73.4	141.5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	107.2	35.9	74.7	0.0	35.9	0.0	0.000	34.5	73.4	141.4
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	91.6	42.9	123.4	0.0	42.9	0.0	0.000	42.6	73.5	142.1
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	148.1	45.6	225.9	0.0	45.6	0.0	0.000	49.8	73.5	142.5
ΜΑΡΤΙΟΣ	50.9	81.5	198.8	0.0	77.9	0.0	0.000	94.6	73.6	143.5
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	57.9	106.7	162.3	0.0	94.5	0.0	0.000	127.3	73.6	143.1
ΜΑΙΟΣ	29.8	146.4	99.8	0.0	92.2	0.0	0.000	173.7	73.5	142.4
ΙΟΥΝΙΟΣ	6.9	177.3	49.1	0.0	57.6	0.0	0.000	206.7	73.5	142.3
ΙΟΥΛΙΟΣ	0.0	230.7	18.8	0.0	30.3	0.0	0.000	259.5	73.3	140.4
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0.4	211.4	7.8	0.0	11.4	0.0	0.000	230.9	73.0	137.9
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	17.8	122.2	5.0	0.0	20.5	0.0	0.000	135.7	72.8	135.4
Σύνολο - Μέση Τιμή	545.8	1330.4	81.0	0.0	545.8	0.0	0.000	1490.6	73.4	141.2
					545.8					
					K =					
						240				
					C =	0.170				
	EMY	PENMAN						PENMAN		

Για την βαθμονόμηση του μοντέλου γίνεται χρήση δεδομένων από την ΔΕΥΑΧ κατά την περίοδο 2013 – 2019. Για τον Οκτώβριο 2013 τα αποτελέσματα που δόθηκαν είναι σύμφωνα με τον Πίνακας 26.

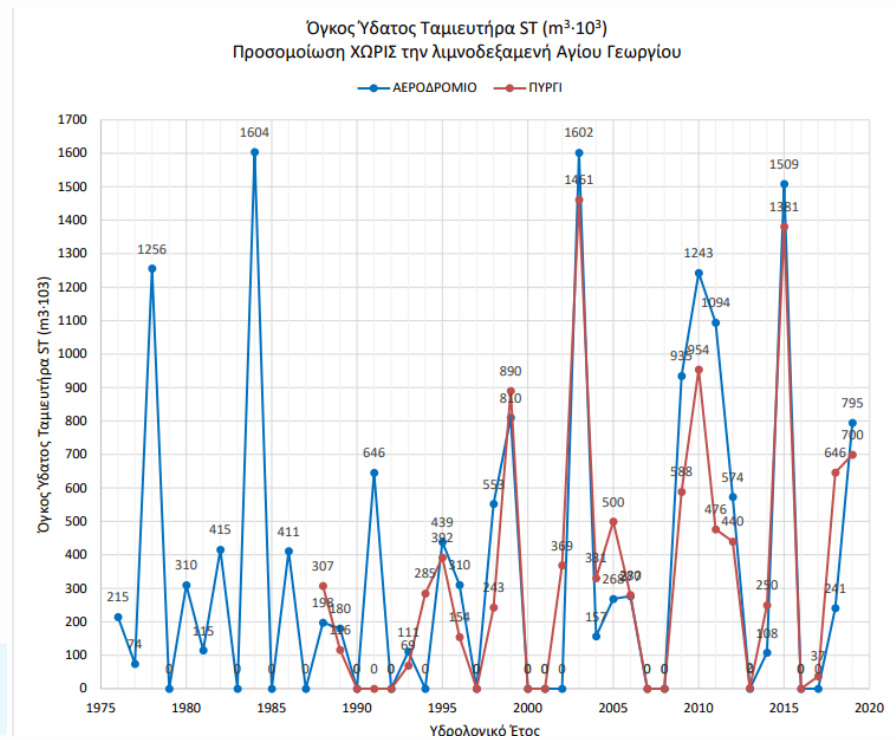
Πίνακας 37: Υδρολογία-υδραυλική της μελέτης του φράγματος (Οκτώβριος 2003).

Υδρολογικό έτος	Βροχόπτωση (χιλ)	Όγκος απορροής x10 ³ m ³	Συντελεστής απορροής %
1980	657.3	1.453	8.6
1981	562.4	333	2.3
1994 Ιανουάριος 94 - Μάρτιος 94	846.7	2.147	9.9
1995 Οκτώβριος 94 - Μάρτιος 95	926.3	2.639	11.0
1996 Ιανουάριος 96 - Νοέμβριος 96	Δεν υπήρχαν μετρήσεις βροχής	3.809	-

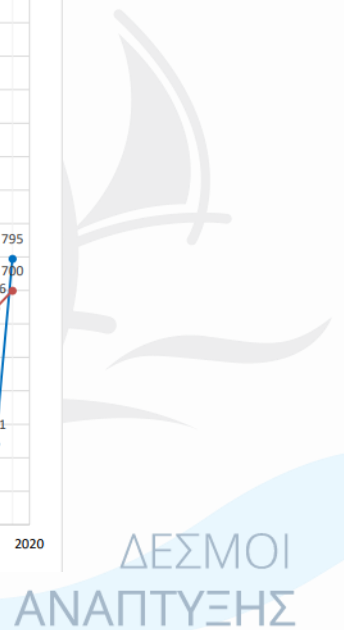
Παρακάτω δίνονται τα γραφήματα με τον υπολογισμό του όγκου ύδατος ΜΕ και ΧΩΡΙΣ την λιμνοδεξαμενή του Αγίου Γεωργίου



Εικόνα 59: Προσομοίωση ΜΕ την λιμνοδεξαμενη Αγίου Γεωργίου.



Εικόνα 60: Προσομοίωση ΧΩΡΙΣ την λιμνοδεξαμενη Αγίου Γεωργίου.



Από την τοπική Υπηρεσία του ΥΠΓΕ μετρήθηκαν στάθμες στο χειμάρρο Κατράρη, δίπλα από τη γεώτρηση Κοινή/Πατρικών όπου ο χειμάρρος έχει διαμορφωμένη κοίτη από σκυρόδεμα με πλάτος 4,00 μ. και δόθηκαν στοιχεία μετρήσεων στάθμης - παροχής για τις περιόδους Ιανουαρίου 1994 έως και Μαρτίου 1994, Οκτωβρίου 1994 έως και Μαρτίου 1995 και Ιανουαρίου 1996 έως και Νοεμβρίου 1996 .

Μετρήσεις παροχής έχουν γίνει και στους χειμάρρους Κατράρη και Κοκκαλά μεταξύ Φεβρουαρίου 1979 και Απριλίου 1981 στο πλαίσιο της Υδρογεωλογικής Μελέτης Ανατολικής και Κεντρικής Νήσου Χίου, που συντάχθηκε το 1981 απο τον Γεωλόγο κ. Β. Παρασχούδη . Οι μετρήσεις αυτές ήταν σποραδικές, χωρίς διάρκεια, ώστε να μπορούν να συσχετισθούν με τις αντίστοιχες βροχοπτώσεις και έγιναν χωρίς παροχόμετρο και με προσεγγιστική εκτίμηση των διατομών των χειμάρρων, τα αποτελέσματα που έδωσαν είναι:

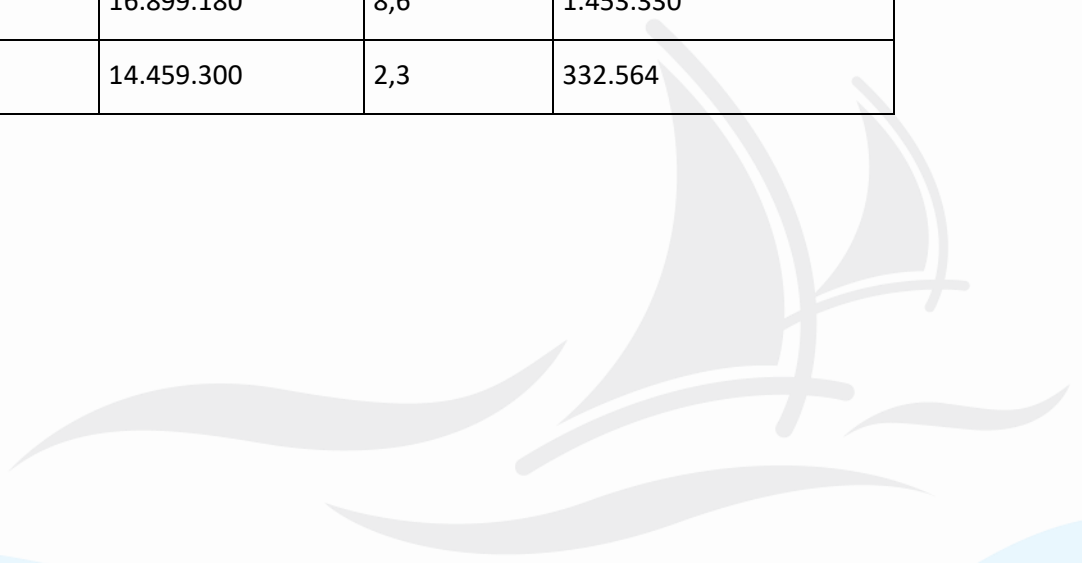
1. Ποταμός Κοκκαλάς 1979/80 5,8% απορροή
 1980/81 8,1% απορροή
2. Ποταμός Κατράρη 1979/80 8,6% απορροή
 1980/81 2,3% απορροή

Από την επεξεργασία των παραπάνω στοιχείων προέκυψαν οι ακόλουθες απορροές .

1. Από μελέτη κου Β. Παρασχούδη

Πίνακας 38: Μετρήσεις για τον ποταμό Κατράρη σύμφωνα με την μελέτη του Κου Παρασχούδη.

Έτος	Βροχή σε χλσ.	Ολικός όγκος βροχής σε μ ³	Απορροή %	Όγκος που απορρέει σε μ ³
1979/80	657,3	16.899.180	8,6	1.453.330
1980/81	562,4	14.459.300	2,3	332.564



2. Από μετρηθείσες απορροές από ΥΠ.ΓΕ. Χίου

Πίνακας 39: Αποτελέσματα των μετρήσεων στάθμης φράγματος από το ΥΠ.ΓΕ.

Έτος	Σε π.	Οκτ.	Νοε μ.	Δεκ.	Ιαν.	Φεβ.	Μαρ.	Απ ρ.	Μάϊ ο	Ιου ν.	Ιου λ.	Αυ γ.	Σύνολο σε μ ³
1993/94	---	---	---	---	1.258.110	882.247	6.345	---	---	---	---	---	2.146.702
1994/95	---	47.063	0	203.906	2.192.121	16.232	179.836	---	---	---	---	---	2.639.158
1995/96	---	---	---	---	1.237.469	2.570.067	1.701	---	---	0	0	0	3.809.237

Για τις τιμές που σημειώνονται με παύλα δεν ευρέθησαν μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν με μέτρηση στάθμης μια φορά την ημέρα, οπότε και ο υπολογισμός της απορροής είναι αρκετά προσεγγιστικός .

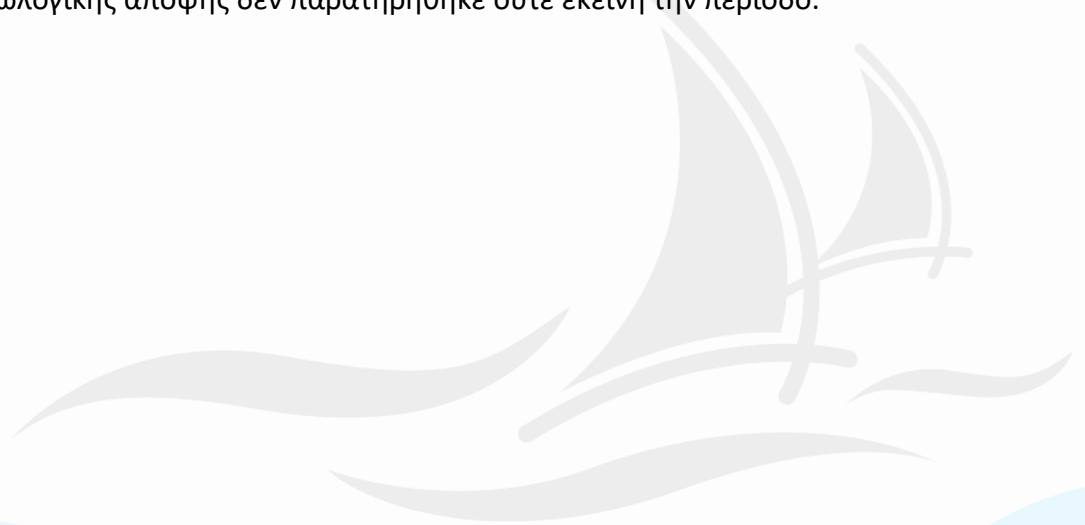


4.5.3 Γεωτεχνική έκθεση

Από επιτόπια έρευνα και από γεωλογικό χάρτη της περιοχής (ΙΓΜΕ, 1983) υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχουν στην περιοχή ενεργά γεωτεκτονικά ρήγματα.

Δυο κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών παρατηρήθηκαν στην περιοχή. Στο βόρειο τμήμα οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται είναι οι ασβεστόλιθοι και δολομίτες της Ιουρασικής περιόδου καθώς και θύλακες πυροκλαστικών υλικών. Το τμήμα αυτό καταλαμβάνει περίπου το 75% της λεκάνης απορροής. Τα πετρώματα αυτά θεωρούνται γενικά αδιαπέρατα με ερωτηματικό στις οριογραμμές εναλλαγής ασβεστόλιθων και πυροκλαστικών υλικών αλλά και την παρουσία Καρστικών κενών στους Ασβεστόλιθους. Το νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από αρκετά νεότερες (πλειοκαινικές, μειοκαινικές) αποθέσεις. Στο τμήμα αυτό, έκτασης 25% του συνόλου, βρίσκεται το φράγμα και ο ταμιευτήρας του. Τα στρώματα αυτά έχουν μεταβλητή υδατοπερατότητα, εξαρτώμενη κυρίως από τα υλικά που μορφώνουν το σχηματισμό. Σύμφωνα με τα μητρώα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων για τις ανάγκες της μελέτης του φράγματος, αλλά και μεταγενέστερα για τις μελέτες των συνοδών έργων αξιοποίησης, η ανατολική πλευρά του ταμιευτήρα (Μειοκαινικές αποθέσεις, α/α3) δομείται από Αργίλους και μπορεί κανείς να υποθέσει ότι το τμήμα αυτό είναι στεγανό.

Σε γενικές γραμμές, οι γεωλογικοί σχηματισμοί στην περιοχή δίνουν αδιαπέρατα τμήματα και οι άργιλοι που βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα του φράγματος χαρακτηρίζεται στεγανό. Τυχόν κορεσμός τους θα υποδήλωνε κατολισθήσεις. Σε περίπτωση κατείσδυσης υδάτων προς τη νότια πλευρά (κάτω από το σώμα του φράγματος) θα παρατηρούνταν κορεσμός και υδροφορία του χειμάρρου και αύξηση της στάθμης στα αμέσως κατάντη πηγάδια. Αν συνέβαινε αυτό θα παρατηρούνταν φαινόμενα απώλειας ύδατος από το φράγμα προς τα πηγάδια. Ένα εξίσου σημαντικό παράδειγμα αποτελεί το έτος 2015 όπου το φράγμα υπερχείλισε λόγω αυξημένης βροχόπτωσης στην περιοχή. Το φαινόμενο απώλειας από γεωλογικής άποψης δεν παρατηρήθηκε ούτε εκείνη την περίοδο.

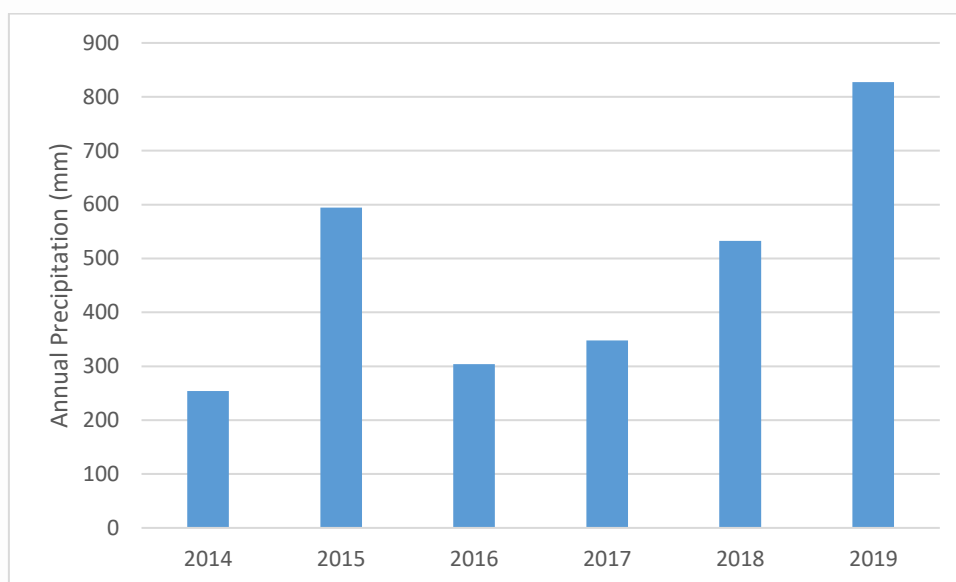


Πίνακας 40: Τα γεωμετρικά μεγέθη των σχηματισμών στην λεκάνη απορροής ανά επιφάνεια.

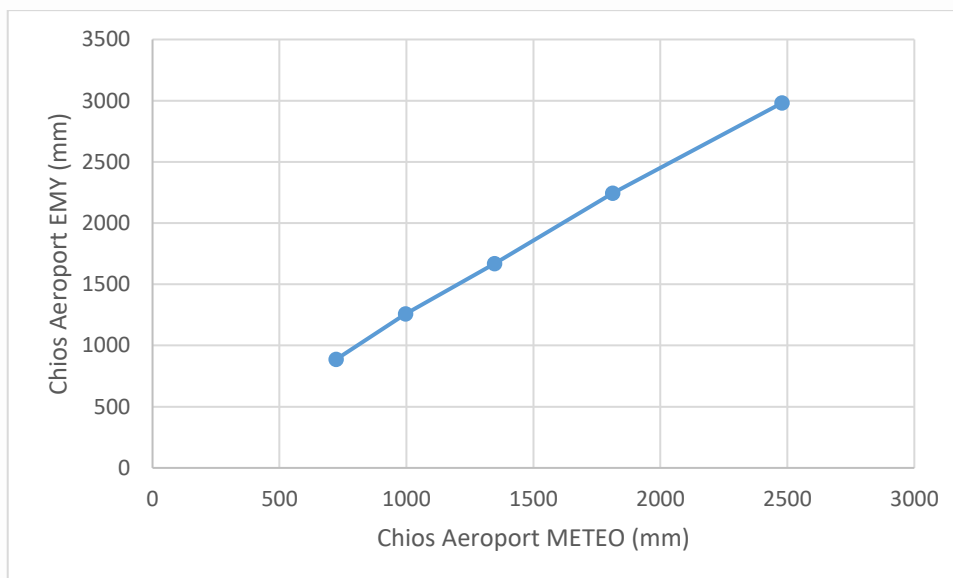
ΓεωμετρικάΜεγέθηΣχηματισμών				
α/α	Σχηματισμός	Επιφάνεια	Ποσοστό (%)	Παρατηρήσεις
1	Ασβεστόλιθοι & Δολομίτες	12837.89	50.03	
2	Πυροκλαστικά Υλικά	6163.06	24.02	
3	Μεσοκαινικές Αποθέσεις	3944.29	15.37	
4	Αποθέσεις	2713.65	10.58	ΛεκάνηΦράγματος
Επιφάνεια ΥδρολογικήςΛεκάνης		25658.89	100	

Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε για την περιοχή του φράγματος Κατράρη στην Χίο, με σκοπό την επαναξιολόγηση της τεχνικής έκθεσης του έργου. Δεδομένα συλλέχθηκαν από τους ίδιους φορείς, με την αξιολόγηση να χωρίζεται σε δυο τομείς. Την υδρολογική/Υδραυλική και Γεωλογική/Γεωτεχνική φάση.

a) Υδρολογική / Υδραυλική



Εικόνα 62: Συνολική ετήσια βροχόπτωση την περίοδο 2014 – 2019.



Εικόνα 63: Αθροιστική καμπύλη για τον Σταθμό της Χίου για την περίοδο 2015-2019.

Ο συντελεστής συσχέτισης είναι στο 1,23 χιλ τον χρόνο. Και μέση τιμή 496 mm

Πίνακας 41: Αθροιστικό ύψος για την Χίο, εκτίμηση και σύγκριση αυτών.

Date	Αθροιστική Καμπύλη Χίου METEO (mm)	Αθροιστική Καμπύλη Χίου EMY (mm)
2014-2015	722.8	886.3
2015-2016	995.6	1256.3
2016-2017	1346.4	1668.2
2017-2018	1811.6	2244.2
2018-2019	2478.2	2980.5

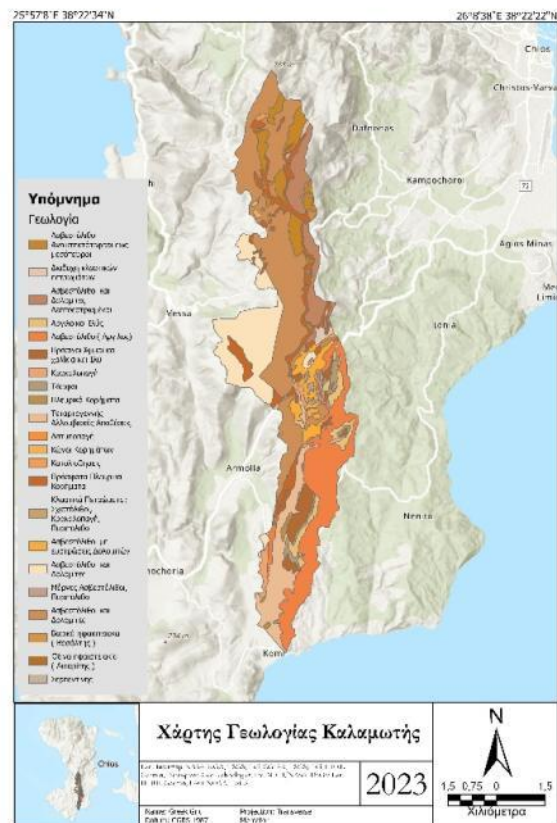
Πίνακας 42: Υδρολογικά έτη Χίου.

Year	Date	Βροχόπτωση (mm) Σύμφωνα με το METEO
2015	2014-2015	722.8
2016	2015-2016	272.8
2017	2016-2017	350.8
2018	2017-2018	465.2
2019	2018-2019	666.6

Year	Date	Βροχόπτωση (mm) - Σύμφωνα με το σταθμό της ΕΜΥ
2015	2014-2015	886.3
2016	2015-2016	370
2017	2016-2017	411.9
2018	2017-2018	576
2019	2018-2019	736.3

b) Γεωτεχνική έκθεση

Σύμφωνα με τον επαναπροσδιορισμό των χαρτών των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή μελέτης παρατηρήθηκε λεπτομερή επεξεργασία δεδομένων των γεωλογικών σχηματισμών (Εικόνα 64). Δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός του προβλήματος από τους γεωλογικούς χάρτες, ωστόσο μια πρώτη προσέγγιση μπορεί να διατυπωθεί από τους περισσότερους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που παρατηρούνται. Στην εικόνα 61, όπου απεικονίζεται ο γεωλογικός χάρτης σύμφωνα με την μελέτη του έργου φράγματος Κατράρη γίνεται αναφορά μόνο 4 ειδών γεωλογικών σχηματισμών ενώ στην επαναπροσδιορισμένη μορφή του χάρτη παρατηρούμε 22 διαφορετικούς σχηματισμούς.



Εικόνα 64: Χάρτης με τους γεωλογικούς σχηματισμούς της Χίου στην περιοχή μελέτης.

5 Αποτελέσματα

5.1 Περιοχή μελέτης Λέσβος

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή του μοντέλου InVEST Coastal Vulnerability απεικονίζονται στους παρακάτω χάρτες, συγκεκριμένα στην Εικόνα 61 παρουσιάζεται η εκτιμώμενη έκθεση τρωτότητας της ακτογραμμής, συμπεριλαμβανομένων και των έξι μεταβλητών. Γενικά, η περιοχή μελέτης παρουσιάζει Μεσαία με υψηλή έκθεση τρωτότητας (Rank = 3 - κίτρινα σημεία στον χάρτη και Rank = 4 - πορτοκαλί σημεία στον χάρτη). Παρόλα αυτά παρατηρούνται μερικά μικρά τμήματα στην ακτογραμμή με χαμηλή έκθεση (Rank = 2 – πράσινα σημεία στον χάρτη). Η περιοχή κοντά στον Γαβαθά δείχνει να παρουσιάζει πολύ υψηλά σημεία έκθεσης τρωτότητας (Rank = 5 – κόκκινα σημεία στον χάρτη).

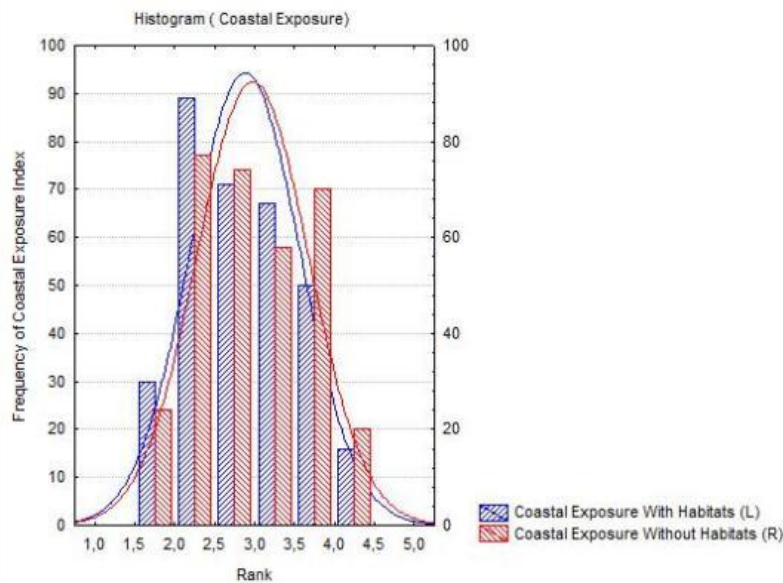
Γεωμορφολογία: Σύμφωνα με τους Εικόνα 61α παρατηρείται ότι υπάρχει υψηλή έκθεση τρωτότητας στις παραλίες με γεωλογικό υπόβαθρο τεταρτογενούς απόθεσης, ενώ στις περιοχές με χαμηλότερη έκθεση τρωτότητας το γεωλογικό υπόβαθρο χαρακτηρίζεται κυρίως από βασάλτες και ιγνιμβρίτες.

Ανάγλυφο και Κύμα Καταιγίδας: Το ανάγλυφο εδάφους και η απόσταση από την υφαλοκρηπίδα μπορούν να δράσουν παράλληλα με την τρωτότητα των ακτών. Χαμηλό υψόμετρο δηλώνει πιο ευάλωτη ακτή στη διάβρωση από τον άνεμο, τα κύματα και την απειλή πλημμυρών, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερη τρωτότητα. Σύμφωνα με την Εικόνα 66β και 66γ το Βόρειο και Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται με σχετικά χαμηλό υψόμετρο, ενώ το κεντρικό κομμάτι της περιοχής χαρακτηρίζεται με μεγάλο υψόμετρο και κατά συνέπεια έχει χαμηλή τρωτότητα.

Όσο πιο μακριά βρίσκεται η ακτή από την υφαλοκρηπίδα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι επιπτώσεις του κύματος καταιγίδας στην ακτή. Η κλίση της ακτής κοντά στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα είναι απότομη και η πιθανότητα βύθισης από τα κύματα καταιγίδας είναι πολύ μικρότερη. Ανατρέχοντας στην ενότητα InVEST Coastal Vulnerability - Μεταβλητές του μοντέλου, αναφέρεται η πιθανότητα των κυμάτων καταιγίδας (Surge Potential), και δίνεται έμφαση στην πρόταση «*Η ανύψωση των κυμάτων θύελλας είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, αλλά και του χρονικού διαστήματος που φυσάει ο άνεμος σε σχετικά ρηχές περιοχές. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ της ακτογραμμής και της άκρης της υφαλοκρηπίδας σε μια δεδομένη περιοχή κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης καταιγίδας, τόσο υψηλότερο είναι το κύμα θύελλας*». Η Εικόνα 66γ επιβεβαιώνει ότι η περιοχή έχει χαρακτηριστεί με την υψηλότερη έκθεση σύμφωνα με την τιμή που δίνει ο δείκτης έκθεσης. Η περιοχή απέχει από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα και εκτιμάται ότι επηρεάζεται περισσότερο από τα κύματα καταιγίδων και παλίρροιας. Ενώ οι υπόλοιπες περιοχές που βρίσκονται πιο κοντά στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα, έχουν χαμηλότερο δείκτη έκθεσης, άρα επηρεάζονται λιγότερο.

Φυσικοί οικότοποι: Τα είδη του οικοτόπου και της ακτογραμμής, αντίστοιχα, αποτελούν σημαντικά μέρη της παράκτιας ζώνης και η επίδρασή τους στην έκθεση τρωτότητας είναι

πολύ σημαντική. Όλα τα είδη οικοτόπων, είτε κατά μήκος της ακτογραμμής είτε μέσα στο νερό, έχουν περισσότερο ή λιγότερο προστατευτικές επιδράσεις στην ακτή. Για παράδειγμα, η μαγκρόβια βλάστηση μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τη διάβρωση του ανέμου και των κυμάτων, ενώ σε μικρότερο βαθμό τα θαλάσσια λιβάδια έχουν προστατευτική δράση. Εάν η ακτογραμμή αποτελείται από πολλούς βράχους, υψηλό ανάγλυφο και παρατηρείται χαμηλή έκθεση, είναι πιθανόν η ακτογραμμή να μειώσει τις επιπτώσεις που προκαλούνται από την επίδραση του ανέμου και των κυμάτων στην ακτή. Ωστόσο, εάν η ακτογραμμή αποτελείται από παραλίες, με χαμηλό ανάγλυφο και παρατηρείται υψηλή έκθεση τρωτότητας, τότε δεν μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις επιπτώσεις του ανέμου και των κυμάτων στην ακτή (Εικόνα 66δ).

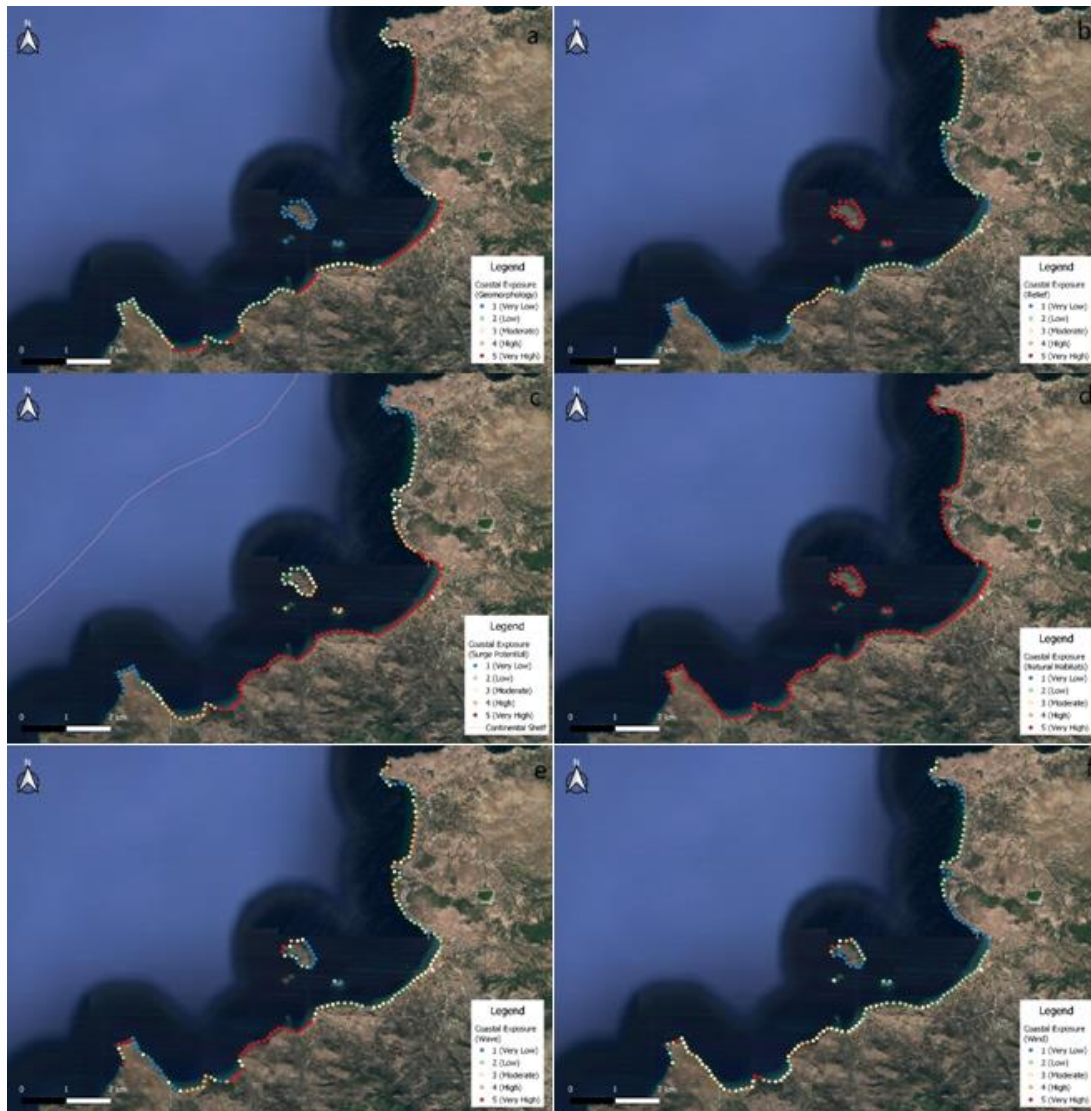


Εικόνα 65: Διάγραμμα 1 που φαίνεται η συχνότητα εμφάνισης του δείκτη της έκθεσης με την επίδραση και μη των φυσικών οικοτόπων.

Παρατηρώντας έτσι την Εικόνα 65 γίνεται αντιληπτό ότι η σημασία των οικοτόπων κατέχει σημαντικό ρόλο στην προστασία των ακτών της περιοχής μελέτης κυρίως στις ακραίες τιμές. Στο σημείο αυτό παρατηρούνται οι μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των δυο μεταβλητών, με την συχνότητα του δείκτη έκθεσης της τρωτότητας να συναντάται σε πιο υψηλές τιμές στην περίπτωση έλλειψης των φυσικών οικοτόπων.

Άνεμος και κύμα: Ο βορειοανατολικός άνεμος είναι η κύρια δύναμη δημιουργίας κυμάτων στην περιοχή μελέτης. Εφαρμόζοντας το μοντέλο Wave estimator (Monioudil. AndVelegrakisA.F.,2015) υπολογίστηκαν οι κυματικοί παράμετροι της περιοχής, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις Εικόνα 61ε και 6στ, η έκθεση τρωτότητας κυμαίνεται από υψηλή έως πολύ υψηλή στο μέσο της ακτογραμμής, ενώ στα υπήνεμα σημεία παρατηρείται χαμηλή (Rank = 2) και πολύ χαμηλή έκθεση (Rank = 1).

Σύμφωνα με την Εικόνα 66, ανεξάρτητα από την ισχυρή ένταση των ανέμων και των κυμάτων στις περιοχές με σκληρό γεωλογικό υπόστρωμα, η έκθεση της τρωτότητας παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (Rank=1 και Rank=2), ενώ οι περιοχές με μαλακό γεωλογικό υπόστρωμα χαρακτηρίζονται από υψηλή έκθεση τρωτότητας (Rank=4 και Rank=5).

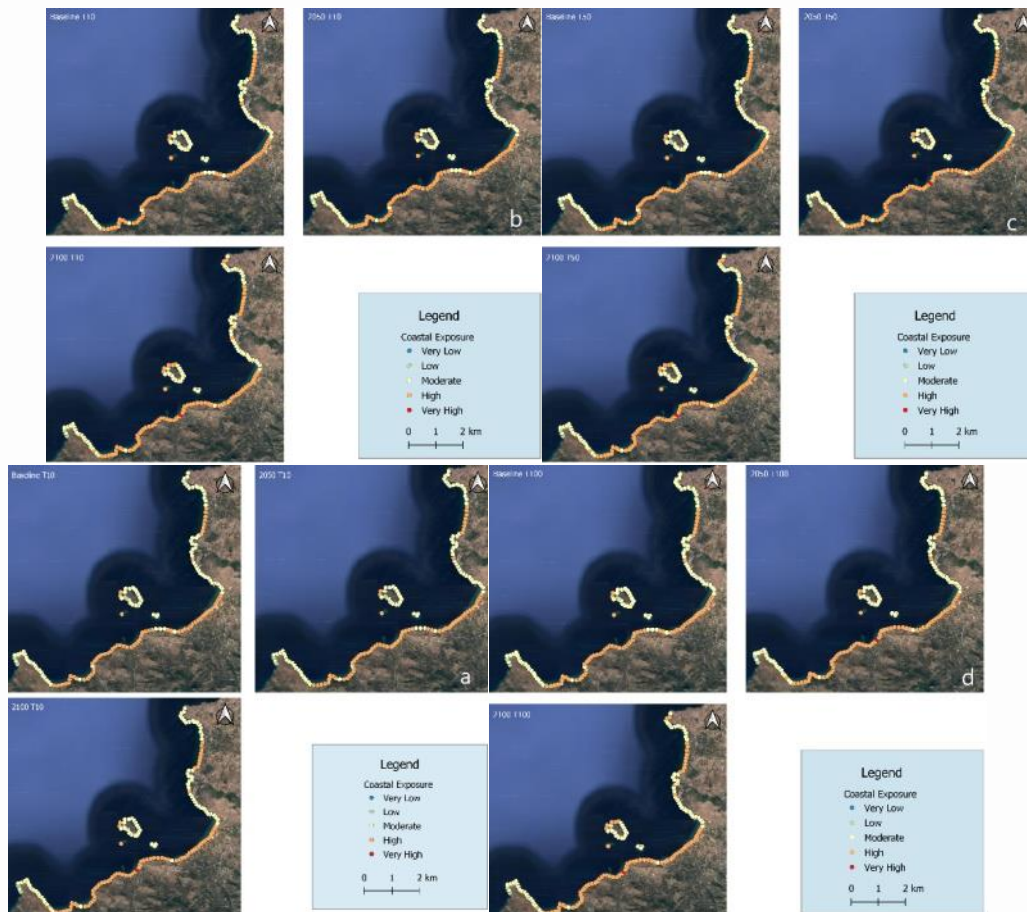


Εικόνα 66: Η βαθμολογική αξιολόγηση κάθε μίας από τις έξι μεταβλητές του δείκτη παράκτιας έκθεσης: α-α) Γεωμορφολογία, β-β) Ανάγλυφο, γ-γ) Καταιγίδα κυμάτων, δ-δ) Οικότοποι, ε-ε) Κύματα και στ-στ) Ανέμοι.

Στάθμη θάλασσας: Η εκτιμώμενη τρωτότητα ακτογραμμής, λαμβάνοντας υπόψη και τις επτά μεταβλητές (Εικόνα 67), δείχνει ότι η περιοχή της Πέτρας έχει πολύ υψηλή τρωτότητα. Η παράκτια ζώνη από την Πέτρα έως τον Μόλυβο (που περιλαμβάνει το ρέμα Πέτρας) παρουσιάζει μέτριο έως υψηλό δείκτη τρωτότητας. Διάσπαρτα μικρά τμήματα κατά μήκος της ακτογραμμής εμφανίζονται με χαμηλή τρωτότητα. Επιπλέον, η κατάσταση της περιοχής μελέτης εκτιμήθηκε για τα έτη 2050 και 2100 με τη χρήση του δείκτη τρωτότητας με τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, για τρεις περιόδους επαναφοράς (10, 50 και 100 έτη), αντίστοιχα.

Ο δείκτης τρωτότητας CVI δείχνει την κατάσταση της περιοχής μελέτης ως μέτρια ευπάθειας για 11 χιλιόμετρα ακτογραμμής, που είναι περίπου το 53,7% κατά μήκος της παράκτιας ζώνης (Εικόνα 67α). Το υπόλοιπο 44,4% ταξινομείται ως υψηλής τρωτότητας, καλύπτοντας 9,1 χλμ. ακτογραμμής, και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς (Εικόνα 67β). Η αξιολόγηση των δύο κλιματικών σεναρίων δεν έδειξε σημαντικές διαφορές για τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς. Συγκεκριμένα, ο CVI δείχνει ότι η κατάσταση της ακτογραμμής θα είναι μέτρια σε ποσοστό 53,7%, που αντιστοιχεί σε 10 χλμ. ακτογραμμής,

και υψηλή σε ποσοστό 44,4% έως το 2050. Ωστόσο, η κατάσταση της παράκτιας ζώνης αναμένεται να παρουσιάσει υψηλή έκθεση, φθάνοντας το 51,8% (10,6 km) μέχρι το 2100 για την περίοδο επαναφοράς 10 ετών. Η έκθεση στην τρωτότητα της ακτογραμμής εκτιμήθηκε ότι θα είναι 50,6% για μέτρια τρωτότητα (10,4 χλμ. ακτογραμμής) και 47,5% για υψηλή τρωτότητα έως το 2050, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο επαναφοράς 50 ετών (Εικόνα 67γ). Εξετάζοντας το 2100, η ακτογραμμή προβλέπεται να χαρακτηριστεί ως υψηλής τρωτότητας σε ποσοστό 51,8% και μέτριας τρωτότητας σε ποσοστό 46,3% για την περίοδο επαναφοράς 100 ετών (Εικόνα 62δ).



Εικόνα 67: Χάρτες κατανομής της εκτίμησης του δείκτη τρωτότητας των ακτών. α) η εκτίμηση του CVI για περίοδο επαναφοράς 10 ετών για την RCP4.5, β) η εκτίμηση του CVI για περίοδο επαναφοράς 10 ετών για την RCP8.5, γ) η εκτίμηση του CVI για περίοδο επαναφοράς 50 ετών για τις RCP4.5 και RCP8.5 και δ) η εκτίμηση του CVI για περίοδο επαναφοράς 100 ετών για τις RCP4.5 και RCP8.5.

5.2 Περιοχή μελέτης Κύπρος

Η Κύπρος εμφανίζει ιδιαίτερα προβλήματα στην αύξηση τρωτότητας και παρατήρηση διάβρωσης της ακτογραμμής. Η πολιτική «Ούτε σταγόνα νερού να μη χάνεται στη θάλασσα» αποτέλεσε κύρια στρατηγική για την διαχείριση των υδάτων στην Κύπρο. Όλοι σχεδόν οι ποταμοί έχουν στα πλαίσια της αντιμετώπισης του υδατικού προβλήματος κάποιο φράγμα. Ο φραγμός της ροής των νερών έχει ανακόψει επίσης και τη μεταφορά, προς την εκβολή των ποταμών, των ιζημάτων που μεταφέρουν τα ύδατα. Ως αποτέλεσμα αυτής της ανακοπής έχει διακοπεί ο κύκλος των πετρωμάτων/ ιζημάτων, γιατί τα ιζήματα κατακρατούνται στους ταμιευτήρες των φραγμάτων, μειώνοντας έτσι σταδιακά τη χωρητικότητά τους. Ο εμπλουτισμός των δέλτα των ποταμών με υλικό και η περαιτέρω ανάπτυξη τους έχει σταματήσει. Υπάρχουν μετρήσεις πεδίου που παρουσιάζουν απώλεια υλικού και υποχώρηση της ακτογραμμής σε περιοχές κοντά στις εκβολές ποταμών.

Γεωμορφολογία: Σύμφωνα με τα αποτελέσματα έκθεσης τρωτότητας για την παράμετρο της γεωμορφολογίας (Εικόνα 69α) παρατηρείται κυρίως υψηλή έκθεση τρωτότητας (Rank = 4). Αναλυτικά, οι περιοχές με ηφαιστειακό υπόστρωμα (λάβα) η έκθεση της ακτογραμμής έχει μέτρια τιμή (Rank = 3), στα σημεία όπου το γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από αποθέσεις (terrace deposits). Η τιμή του δείκτη τρωτότητας είναι υψηλή έως πολύ υψηλή κάτι που είναι αναμενόμενο καθώς όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το ίζημα τόσο πιο ευάλωτη είναι η ακτή στις συνθήκες που τείνουν να την διαταράξουν και χαρακτηρίζεται από λεπτόκοκκα ιζήματα προκύπτει υψηλή έκθεση τρωτότητας (Rank = 5).

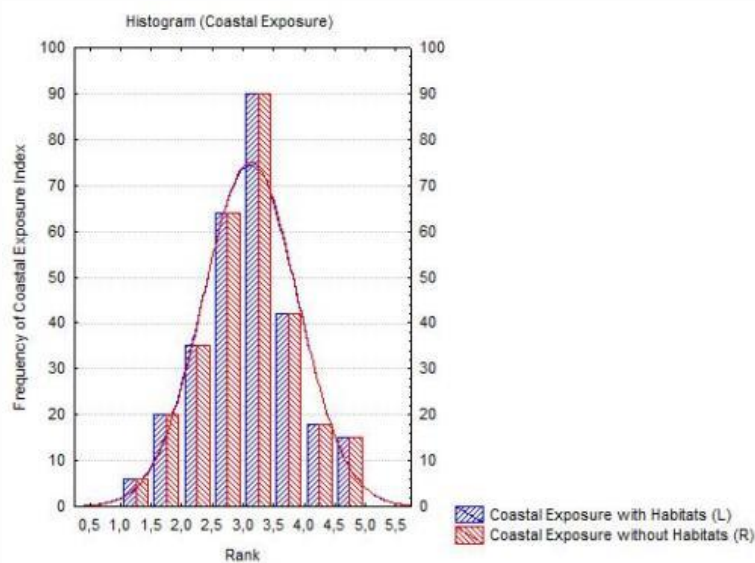
Στην περιοχή Ακρωτήρι (Αλυκή Λεμεσού), το υπόστρωμα αποτελείται από σχηματισμούς Απαλός, Αθαλάσσας, Κακκαρίστρα και Λεμεσός και το υπόλοιπο τμήμα προς το εσωτερικό του νησιού αποτελείται από λάσπη γεγονός που δικαιολογεί την ενδιάμεση τιμή (Rank = 3) του δείκτη έκθεσης. Οι αλλουβιακές αποθέσεις συναντώνται κυρίως σε περιοχές όπου υπάρχουν ποτάμια αλλά και αλυκές. Σαν γενικό συμπέρασμα το μεγαλύτερο μέρος της ακτογραμμής της Κύπρου είναι ευάλωτο στην έκθεση της τρωτότητας καθώς η πλειοψηφία του γεωλογικού υποστρώματος αποτελείται από λεπτόκοκκα ιζήματα.

Ανάγλυφο και Κύμα Καταιγίδας: Όπως αναφέρεται στην ενότητα «Περιοχή μελέτης: Λέσβος» το ανάγλυφο και η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα παίζουν σημαντικό ρόλο στην κλίση και απόσταση της ακτής, αντίστοιχα. Σύμφωνα με την Εικόνα 69β παρατηρείται ότι οι παραλίες με χαμηλό υψόμετρο παρουσιάζουν υψηλή έκθεση της τρωτότητας, ενώ οι παραλίες με μεγάλο είναι το υψόμετρο τόσο πιο μικρή είναι η έκθεση. Η ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα (βλ. περιοχή μελέτης: Λέσβου) παρατηρείται στην Εικόνα 69γ, τα σημεία που απέχουν περισσότερο από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα είναι και αυτά που έχουν την υψηλότερη τιμή έκθεσης τρωτότητας σε αντίθεση με εκείνα που βρίσκονται πιο κοντά.

Άνεμος και κύμα: Οι Εικόνα 69ε και 69στ παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της έκθεσης τρωτότητας σύμφωνα με τους κυματισμούς. Εφαρμόζοντας το μοντέλο Wave estimator με σκοπό τον υπολογισμό των κυματικών παραμέτρων της περιοχής και γνωρίζοντας ότι ο κύριος παράγοντας δημιουργίας αυτών είναι ο άνεμος- οπότε η κύρια διεύθυνση του είναι ο δυτικός- παρατηρείται ότι κατά μήκος της ακτογραμμής η έκθεση τρωτότητας

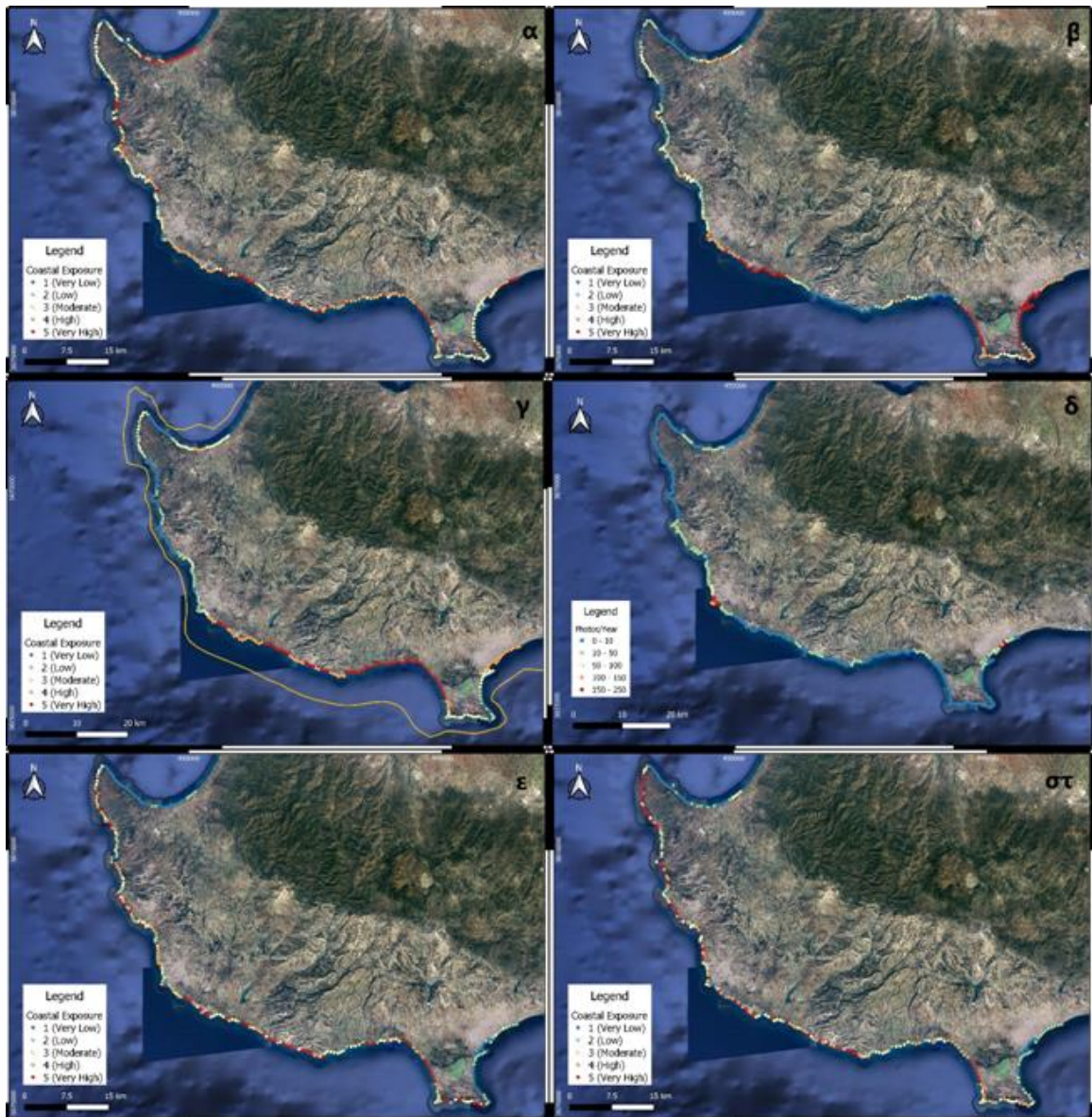
κυμαίνεται από υψηλή έως πολύ υψηλή στο μεγαλύτερο μέρος της ακτογραμμής (Εικόνα 69ε&στ), ενώ στα υπήνεμα σημεία παρατηρείται χαμηλή και πολύ χαμηλή έκθεση.

Φυσικοί οικότοποι: Σύμφωνα με την σημαντικότητα των φυσικών οικοτόπων (βλ. Περιοχή μελέτης: Λέσβος) παρατηρείται ότι στην Εικόνα 68 η σημασία των οικοτόπων δεν κατέχει σημαντικό ρόλο στην προστασία των ακτών της περιοχής μελέτης. Το συμπέρασμα προκύπτει με τις δυο μπάρες να είναι μεταξύ τους ίσες, επομένως εκτιμάται ότι κάποιος άλλος παράγοντας συνδράμει στην προστασία της ακτογραμμής από την έκθεση (χαμηλές ακραίες τιμές) όπως θα μπορούσε να είναι ένα φυσικό λιμάνι. Ενώ, στις υψηλές ακραίες τιμές πιθανόν να μην μπορούν οι συγκεκριμένοι τύποι οικοτόπων να προστατεύσουν την ακτή, γιατί θα μπορούσε να επικρατούν πολύ ισχυροί άνεμοι και κυματισμοί ανά τακτά χρονικά διαστήματα (Εικόνα 69δ).



Εικόνα 68: Διάγραμμα 2 που φαίνεται η συχνότητα εμφάνισης του δείκτη της έκθεσης με την επίδραση και μη των φυσικών οικοτόπων.

Έτσι, η περιοχή μελέτης στο μεγαλύτερο μέρος της είναι αρκετά εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους και κυματισμούς και έχοντας στο μεγαλύτερο μέρος της λεπτόκοκκα ιζήματα επομένως μαλακό υπόστρωμα, ο δείκτης έκθεσης της τρωτότητας να έχει υψηλές και πολύ υψηλές τιμές (Rank=4 και Rank=5) κατά μήκος της υπό μελέτης ακτογραμμής. Εξαιρέση αποτελούν οι περιοχές όπου το υπόστρωμα χαρακτηρίζεται σκληρό (Ηφαιστειακά ιζήματα και σχηματισμούς Απαλός) και η ακτογραμμή είναι ανθεκτική με μέτριας τιμή έκθεσης (Rank=3) (Εικόνα 69).



Εικόνα 69: Η βαθμολογική αξιολόγηση κάθε μίας από τις έξι μεταβλητές του δείκτη παράκτιας έκθεσης: α-α) Γεωμορφολογία, β-β) Ανάγλυφο, γ-γ) Καταιγίδα κυμάτων, δ-δ) Οικότοποι, ε-ε) Κύματα και στ-στ) Ανέμοι.

Η Εικόνα 70 δείχνει την εκτιμώμενη έκθεση τρωτότητας της ακτογραμμής, συμπεριλαμβανομένων και των έξι μεταβλητών. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής βρίσκεται σε υψηλή (Rank = 4) και πολύ υψηλή (Rank = 5) τρωτότητα. Παρατηρείται πολύ υψηλή έκθεση τρωτότητας στις εκβολές των ποταμών Έζουσα, και Ασπρόκρεμμου, και στο Δυτικό Άκρο του Ακρωτηρίου (Rank = 5). Ενώ, χαμηλή έκθεση (Rank = 2) στην περιοχή του Νέου Χωριού.



Εικόνα 70: Έκθεση της ακτογραμμής σύμφωνα με τον δείκτη τρωτότητας συμπεριλαμβανομένης και της επίδρασης των φυσικών οικοτόπων.

6 Συμπεράσματα

6.1 Συμπεράσματα Πλημμυρικής Έκτασης

- Παρατηρείται ότι και στις τρεις περιοχές μελέτης το υψόμετρο της στάθμης των υδατορευμάτων μειώνεται αναλογικά με το ανάγλυφο του εδάφους από τα ανάντι προς τα κατόντι
- Στα τμήματα των υδατορευμάτων που έχουν μικρή κλίση ή ανηφορική κλίση σε σχέση με την κατεύθυνση ροής, τότε παρατηρείται αύξηση του βάθους ροής και μείωση της ταχύτητας ροής.
- Σε όλα τα υδατορεύματα η στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού αυξάνεται όσο μεγαλώνει το πλημμυρικό γεγονός, π.χ. για περίοδο επαναφοράς 500 χρόνια παρατηρείται σε όλες τις περιπτώσεις η υψηλότερη στάθμη.
- Στα τμήματα των υδατορευμάτων με μεγάλες τοπογραφικές κλίσεις παρατηρείται μικρό βάθος ροής και αντίθετα παρατηρούνται μεγάλες ταχύτητες.
- Στην Κύπρο και στην Πέτρα και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς υπάρχει μεγάλος κίνδυνος υπερχείλισης των διατομών σχεδόν σε όλο το μήκος του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος, ενώ στην περίπτωση της Χίου το πρόβλημα, ως επί το πλείστον, εντοπίζεται στο κατόντι τμήμα του υδατορεύματος. Ιδιαίτερα έντονο πρόβλημα εντοπίζεται στην περίπτωση της Πέτρας όπου για την περίοδο επαναφοράς $T=500$ χρόνια πλημμυρίζει το σύνολο του υπό μελέτη τμήματος του υδατορεύματος.

- Στις τρεις περιοχές μελέτης και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς παρατηρείται ότι το βάθος πλημμύρας έχει υψηλότερες τιμές στις περιοχές όπου η πλημμύρα είναι ιδιαίτερα συγκεντρωμένη.

Τέλος, όσον αφορά το κομμάτι της υδραυλικής ανάλυσης των εξεταζόμενων τμημάτων του υδατορεύματος θα μπορούσε να λάβει χώρα σύνθεση των χαρτογραφικών προϊόντων πλημμυρικής κατάκλυσης με τις υπάρχουσες χρήσεις γης στην περιοχή μελέτης με απώτερο στόχο την εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους ζημίας και την κατάστρωση επιχειρησιακών σχεδίων διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, τα οποία θα προτείνουν τα καταλληλότερα κατασκευαστικά ή μη μέτρα για την πρόληψη και ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων των πλημμυρικών επεισοδίων στις περιοχές που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη τρωτότητα. Στα κατασκευαστικά μέτρα που θα μπορούσε να εφαρμοστούν συγκαταλέγονται η διαπλάτυνση της κοίτης του υδατορεύματος, η διαμόρφωση και η εκβάθυνση των διατομών, η επένδυση των πρανών, η κατασκευή αναχωμάτων κ.ά.

6.2 Συμπεράσματα Απώλειας εδάφους και Ιζηματοπαροχής

Σύμφωνα με τους χάρτες και τους Πίνακες που προέκυψαν από τους υπολογισμούς και για τις τρεις περιοχές μελέτης παρατηρούμε ότι:

- Υπάρχει αναλογία της έκτασης της λεκάνης απορροής με την μέση και συνολική ετήσια απώλεια εδάφους και με την μέση και συνολική ετήσια απόδοση ιζημάτων που αποτίθενται στην έξοδο της λεκάνης. Η απόδοση ιζημάτων έχει ιδιαίτερη σημασία επειδή σχετίζεται άμεσα με την ποσότητα των ιζημάτων που μεταφέρονται και συσσωρεύονται στην παραλία.
- Το είδος των χρήσεων γης επηρεάζει και την απώλεια εδάφους και την ιζηματοπαροχή.
- Η Κύπρος έχει διαφοροποίηση στην χωρική κατανομή σε σχέση με τις άλλες δυο περιοχές (Λέσβο, Χίο) λόγω της ύπαρξης μεγάλου αστικού ιστού στα κεντρικά της λεκάνης απορροής

6.3 Συμπεράσματα για το Φράγμα του Μαυροκόλυμπου - Κύπρος

Από την υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του φράγματος του Μαυροκόλυμπου προκύπτει ότι στη διαδικασία της ρύθμισης σε ετήσια βάση ο όγκος της προσομοίωσης και το ύψος του ταμιευτήρα εκτιμάται με σχετική ακρίβεια. Από την άλλη, γίνεται αντιληπτό πως ο εκτιμώμενος και ο μετρημένος όγκος απορροής συμβαδίζει με την πορεία της βροχόπτωσης. Όσο αναφορά την παροχή, παρατηρείται ότι υπάρχει υποεκτίμηση των μεγάλων τιμών (αιχμών) των προσομοιωμένων παροχών έναντι των μετρημένων παροχών. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, αφού σε πολλές περιπτώσεις, ανεξάρτητα από τις τιμές, οι μεταβολές των προσομοιωμένων παροχών συμπίπτουν με αυτές των μετρημένων. Τέλος, παρατηρείται μία καλή χρονική συσχέτιση των βροχοπτώσεων με τις υπολογισμένες και μετρημένες παροχές αφού μετά από κάθε βροχόπτωση ακολουθεί και μια αιχμή στις παροχές του ποταμού.

6.4 Συμπεράσματα για Φράγμα του Κατράρη - Χίος

Στο φράγμα του Κατράρη στην Χίο έχουμε δύο περιπτώσεις σφάλματος. Το πρώτο έχει να κάνει με την μη λεπτομερή γεωλογική μελέτη, στην τεχνική έκθεση, στην κοίτη του φράγματος και το δεύτερο με την υπερεκτίμηση των παραμέτρων των βροχοπτώσεων. Το πρώτο σφάλμα ωστόσο δεν έχει επηρεάσει την απόδοση του φράγματος γιατί τελικά η διαφορά στην κατείσδυση κρίνεται αμελητέα. Στο δεύτερο σφάλμα, από τα υπάρχοντα δεδομένα παρατηρήθηκε ότι έχει γίνει υπερεκτίμηση των παραμέτρων της βροχόπτωσης το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα να είναι υπερεκτιμημένοι όλοι οι υπολογισμοί που συνδέονται με αυτή την παράμετρο. Σε μια τεχνική έκθεση που έχει γίνει μελέτη για τις απορροές, αν τα νούμερα από το μοντέλο συμπίπτουν με αυτά της έκθεσης συνεπάγεται ότι το πρόβλημα βρίσκεται στην εκτίμηση των πρωταρχικών παραμέτρων που είναι η βροχή και στη συνέχεια σε όλους τους υπόλοιπους υπολογισμούς.

6.5 Συμπεράσματα Παράκτιας Διάβρωσης

Η εμφάνιση φαινομένων διάβρωσης και τρωτότητας στις παραλίες της Μεσογείου έχει αρχίσει να γίνεται συστηματική, εφόσον παρατηρείται μια σαφής οπισθοχώρηση των παραλιών ειδικά σε τουριστικούς προορισμούς ή σε περιοχές έντονης οικιστικής ανάπτυξης. Το μοντέλο Coastal Vulnerability δεν έχει χρησιμοποιηθεί σε περιοχές της Μεσογείου όπως η Ελλάδα, και η Κύπρος ενώ παράλληλα, η εκτενής βιβλιογραφική έρευνα έδειξε ότι υπάρχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή. Στην παρούσα ενότητα συνοψίζονται οι τρεις διαφορετικές μεθοδολογίες για μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της διαχείρισης των παράκτιων ζωνών σε τουριστικά ανεπτυγμένες περιοχές. Οι παραλίες των νησιών του Αιγαίου και της Κύπρου χαρακτηρίζονται ως στενές παραλίες τσέπης. Οι παραλίες αυτές δέχονται περιορισμένη παροχή ιζημάτων από ποταμούς διαλείπουσας ροής και χαρακτηρίζονται από μέτριο φορτίο ανάπτυξης της οπισθογραμμής. Το 81% των παραλιών στα νησιά του Αιγαίου βρίσκεται μπροστά από υποδομές, ενώ το 33% αυτών έχει μέτρια ή υψηλή παράκτια ανάπτυξη. Επιπλέον, το 15% αυτών των παραλιών συνδέεται με κάποια μορφή υφιστάμενης παράκτιας προστασίας. Η Πέτρα και ο Μόλυβος έχουν τουριστικές περιοχές με παράκτιες υποδομές, με υψηλές τουριστικές δραστηριότητες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και η περιοχή χαρακτηρίζεται ως μέτρια αστική.

Αρκετές μελέτες εκτίμησαν την τρωτότητα των ακτών σε Ευρώπη, Ασία και Αμερική τα αποτελέσματα των οποίων έδειξαν υψηλή τιμή του δείκτη CVI λόγω της απουσίας φυσικών οικοτόπων και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Επίσης, ο άνεμος και τα κύματα έχουν επηρεάσει αρνητικά την τρωτότητα των ακτών. Τα θαλάσσια λιβάδια Ποσειδωνίας παρέχουν αρκετές υπηρεσίες οικοσυστήματος και μειώνουν την ενέργεια των πλημμυρών. Η περιοχή Πέτρας – Μολύβου έχει υψηλή τρωτότητα που αποδίδεται στη γεωμορφολογία της ακτής, τις κλιματικές δυνάμεις και την απουσία φυσικών οικοτόπων (δηλαδή, *Posidonia oceanica*). Το CVI κυμαίνεται από μέτριες έως υψηλές τιμές (Εικόνα 67). Η προσαρμογή του μοντέλου παράκτιας τρωτότητας InVEST στη λεκάνη της Μεσογείου παρουσιάζει προκλήσεις. Τα ωκεανογραφικά δεδομένα ήταν δύσκολο να

αναλυθούν και να επεξεργαστούν λόγω διαφορετικού χρονικού βήματος, resolution και πηγής προέλευσης των δεδομένων, γεγονός που προκάλεσε αρκετές δυσκολίες στον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας. Το μοντέλο εξάγει ένδειξη τρωτότητας στην παράκτια ζώνη Πέτρας - Μολύβου, είναι απαραίτητο για εκτενέστερη ανάλυση όπως η εγκατάσταση συστημάτων οπτικής παρακολούθησης παραλίας για την παρακολούθηση της διάβρωσης της ακτογραμμής.

Σύμφωνα με τους (Pantusa et. al., 2022), οι παράμετροι της τρωτότητας των ακτών έδειξαν υψηλή αξία λόγω της γεωμορφολογίας της ακτογραμμής, της απουσίας ή χαμηλής παρουσίας φυσικών οικοτόπων και της χαμηλής παρουσίας ποταμών διαλείπουσας ροής. Τα υδρολογικά μοτίβα των ποταμών αυτών διακρίνονται από τη παύση ροής και τις ξηρές συνθήκες κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων του έτους. Τα Μεσογειακά ποτάμια συστήματα είναι τα πιο επηρεασμένα, με 20% στη Γαλλία, 90% στη Σαρδηνία και τη Σικελία, και περισσότερο από το 70% των ποτάμιων συστημάτων να είναι εφήμερα ρέματα στα νοτιοανατολικά της Ισπανίας]. Στη Λέσβο, το πολύπλοκο σύστημα των εφήμερων ρεμάτων που πλημμυρίζουν σε διάφορα σημεία τροφοδοτούν την ακτή με νερό και ιζήματα κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών γεγονότων. Είναι ένα τυπικό μεσογειακό δίκτυο ρεμάτων των νησιών, χωρίς σταθμούς μέτρησης και απουσία τακτικής παρακολούθησης της ροής. Στη λεκάνη απορροής της Πέτρας, υπολογίστηκε ότι η συνολική εκτιμώμενη απώλεια εδάφους είναι 7.860 τόνοι ετησίως και η συνολική απόδοση ιζήματος εκτιμάται ότι είναι 2.860 τόνοι ετησίως (Πίνακας 40). Η διάβρωση του εδάφους της λεκάνης ταξινομείται ως χαμηλή και πολύ χαμηλή επιβεβαιώνοντας τη μικρή συμβολή των χερσαίων ιζημάτων στην τροφοδοσία της παραλίας της Πέτρας.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά την εκτίμηση του δείκτη τρωτότητας για την περιοχή μελέτης της Κύπρου, δείχνουν ότι λόγω της γεωμορφολογίας του υψομέτρου (ανάγλυφο) και της γεωλογίας της περιοχής, προκύπτει ότι αρκετές περιοχές κατά μήκος της ακτογραμμής έχουν υψηλή και πολύ υψηλή έκθεση δείκτη της τρωτότητας. Η υπό μελέτη ακτογραμμή εκτιμάται ότι είναι σε μεγάλο βαθμό εκτεθειμένη απέναντι στις υδροδυναμικές συνθήκες. Μεγάλες τιμές για την έκθεση σε ανέμους παρουσιάζουν πολλά τμήματα της υπό μελέτης ακτογραμμής, με τα περισσότερα από αυτά να κατέχουν την υψηλότερη τιμή της έκθεσης σε αντίθεση με εκείνα που είναι προστατευμένα από τους ανέμους της περιοχής, έχοντας την χαμηλή και πολύ χαμηλή τιμή της έκθεσης τρωτότητας. Η σημαντικότητα ύπαρξης ή μη των φυσικών οικοτόπων της περιοχής δεν κατέχει σημαντικό ρόλο καθώς δεν μπορούν να προστατεύσουν επαρκώς την ακτή. Μεγάλη είναι η πιθανότητα επίδρασης των κυμάτων καταιγίδας καθώς κατευθυνόμαστε προς τα Νότια στην υπό μελέτη ακτογραμμή, όπου και η απόσταση από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα γίνεται μεγαλύτερη σε σχέση με την ακτή.

7 Παρατηρήσεις

Στην διαδρομή για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης υπήρξαν και διάφορα προβλήματα που καλό θα είναι να αναφερθούν, όπως και ο τρόπος αντιμετώπισης τους.

Πρώτο μεγάλο πρόβλημα που συναντήθηκε είναι οι μετρήσεις πεδίου. Ο αρχικός σχεδιασμός ήταν να γίνει χαρτογράφηση του υδατορεύματος από Drone-RTK και σε συνάρτηση με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), που αποκτήθηκε από το Ευρωπαϊκό δίκτυο παρατήρησης (Copernicus), να εξαχθούν οι λεκάνες απορροής των τριών περιοχών ενδιαφέροντος. Παρατηρήθηκε όμως απόκλιση του DEM με τα μετρούμενα σημεία του πεδίου. Οι λύσεις που εξετάστηκαν ήταν δύο:

A) Να χαρτογραφηθούν και οι τρεις λεκάνες με το Drone-RTK εξ'ολοκλήρου και παραχθεί νέο DEM διαστάσεων το μέγιστο (1mx1m). Αυτή λύση παρόλο που δοκιμάστηκε εγκαταλείφθηκε γιατί καταρχήν δεν υπήρχε το ανάλογο εργαστηριακό υλικό (συγκεκριμένο Drone, μπαταρίες, χρόνος, ομάδα κτλ) για να χαρτογραφηθούν και οι τρεις λεκάνες απορροής και ιδιαίτερα η λεκάνη της Χίου που ήταν μεγάλων διαστάσεων. Κατά δεύτερον μετά από πειραματικές πτήσεις διαπιστώθηκε ότι μέσω Drone-RTK και επεξεργασίας των στοιχείων με το πρόγραμμα Antisoft δεν ήταν δυνατόν να αφαιρεθεί η φυτοκάλυψη από τις κοίτες των ποταμών, άρα δεν είχαμε σωστά υψόμετρα για την κοίτη του κάθε ποταμού και τις όχθες του. Η ιδανική λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν χρησιμοποιηθεί το Drone-RTK για το γενικό DEM παράλληλα με το Lidar-Drone για τις παρόχθιες περιοχές με φυτοκάλυψη, και τέλος και χρήση του επίγειου δέκτη GNSS-GPS για να μετρηθεί το σωστό υψόμετρο της κοίτης.

B) Να αποκτηθεί από το Ευρωπαϊκό δίκτυο παρατήρησης (Copernicus) το καλύτερο δυνατό DEM ελεύθερης πρόσβασης, που υπάρχει αυτήν την στιγμή, διαστάσεων (27mx27m), και να γίνουν μετρήσεις για το υψόμετρο της κοίτης κάθε ποταμού με τον επίγειο δέκτη GNSS-GPS μόνο στον κύριο κλάδο του υδατορεύματος (αυτόν που χρησιμοποιήσαμε και στην υδραυλική προσομοίωση κάθε περιοχής). Τελικά επιλέχθηκε αυτήν η λύση, με την παραδοχή ότι υπάρχει μια μικρή απόκλιση του DEM αλλά έχουν μετρηθεί σωστά τα υψόμετρα της κοίτης των ποταμών και των παρόχθιων περιοχών, άρα σωστές διατομές στον κύριο κλάδο και κατ'επέκταση ρεαλιστική απεικόνιση του υδατορεύματος.

Δεύτερο πρόβλημα που συναντήθηκε ήταν μη εύρεση γεωλογικού χάρτη για την περιοχή της Χίου. Με το συγκεκριμένο πρόβλημα υπήρξε προβληματισμός για αρκετά μεγάλο διάστημα. Τελικά η λύση δόθηκε μέσω της ελληνική αρχής γεωλογικών & μεταλλευτικών ερευνών (ΕΑΓΜΕ) από όπου αποκτήθηκαν τα δύο γεωλογικά φύλλα χάρτη της Χίου, σε ψηφιακή μορφή, τα οποία και ψηφιοποιήθηκαν ανά γεωλογικό σχηματισμό.

Τρίτο και μεγαλύτερο πρόβλημα που συναντήθηκε ήταν στην παράκτια διάβρωση η μεταβλητή του προγράμματος για την έκθεση στον άνεμο και στα κύματα. Το αρχείο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η έκθεση σε ανέμους και κύματα κάθε τμήματος της ακτογραμμής δίνεται συνήθως από το ίδιο το πρόγραμμα, καθώς ακολουθεί έναν ιδιαίτερο τρόπο καταγραφής, πλην της Μεσογείου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να παραχθεί

ένα νέο αρχείο για την έκθεση στον άνεμο και στα κύματα, για τις περιοχές της μελέτης, που βασίστηκε σε δική μας μεθοδολογία.

8 Βιβλιογραφία

- Ahmad, H.F.; Alam, A.; Bhat, S.M.; Ahmad, S. OneDimensionalSteadyFlowAnalysisUsingHEC-RAS – ACaseofRiverJhelum, Jammu, andKashmir. *European Scientific Journal* **2016**, *12*, No.32 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431
- Ai, B.; Tian, Y.; Wang, P.; Gan, Y.; Luo, F.; Shi, Q. Vulnerability Analysis of Coastal Zone Based on InVEST Model in Jiaozhou Bay, China. *Sustainability* **2022**, *14*, 6913. <https://doi.org/10.3390/su14116913>
- Alves, W.S.; Martins, A.P.; Morrais, W.A.; Possa, E.M.; Castro, R.M.; Borges de Moura, D.M. USLE modeling of soil loss in a Brazilian cerrado catchment. *Rem.Sen.App.Soc. and Env.* **2022**, *27*, 100788. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100788>
- Al Ruheili, A.; Boluwade, A. Towards Quantifying the Coastal Vulnerability due to Natural Hazards using the InVEST Coastal Vulnerability Model. *Water* **2023**, *15*, 380. <https://doi.org/10.3390/w15030380>
- Andreadis, O.; Chatzipavlis, A.; Hasiotis, T.; Monioudi, I.; Manoutsoglou, E.; Velegrakis, A. Assessment of and Adaptation to Beach Erosion in Islands: An Integrated Approach. *J. Mar. Sci. Eng.* **2021**, *9*, 859. <https://doi.org/10.3390/jmse9080859>
- Andreadis, O., Hasiotis, T., Psarros F., Chatzipavlis, A., Velegrakis, A., 2017. Erosion and sediment transport processes along Eresos coastal zone (Lesvos, Greece). 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes 31 Aug. to 2 Sept., CEST2017_00710.
- Arkema K., Guannel G., Verutes G., Wood S., Guerry A., Ruckelshaus M., Kareiva P., Lacayo M. and Silver J. (2013). Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature climate change - Letters*. DOI: 10.1038/NCLIMATE1944.
- Baiamonte, G. A rational runoff coefficient for a revisited rational formula. *Hydr.Sc. J.* **2020**, *65:1*, 112-126, DOI: 10.1080/02626667.2019.1682150
- Benavidez, R.; Jackosn, B.; Maxwell, D.; Norton, K. A review of the (Evised) Universal Soil Loss Equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2018**,*22*, 6059–6086 <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
- Beven, K.J. *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*; Wiley-Blackwell: Oxford, UK, 2012.
- Bezak, N.; Mikos, M.; Borrelli, P.; Alewell, C.; Alvarez, P. et al. Soil erosion modeling: A bibliometric analysis. *Environmental Research* **2021**, *197*, 111087
- Bonaldo, D.; Antonioli, F.; Archetti, R.; Bezzi, A.; Correggiari, A.; Davolio, S.; De Falco, G.; Fantini, M. Integrating Multidisciplinary Instruments for Assessing Coastal Vulnerability to Erosion and Sea Level Rise: Lessons and Challenges from the Adriatic Sea (Italy). *Coastal Cons.* **2018**, *23*, 19–37
- Carey, B.W.; Stone, B.; Norman, P.L.; Shilton, P. Chapter 4: The empirical version of the rational method. In: *Soil conservation guidelines for Queensland*, Department of Science, Information Technology and Innovation, Brisbane, 2015
- Caroa, C.; Marquesa, J.C.; Cunhac, P.; Teixeira, Z. Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model. *Ecological Indicators* **2020**, *115*, 106426. doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106426
- Camarasa-Belmonte, A.M. Flash-Flooding of ephemeral streams in the context of climate change. *Geographical Research Letters* **2021**, Volume 47, pp 121 – 142, 1697-9540. doi.org/10.18172/cig.4838
- Campos, J. N. B.; de Carvalho Studart, T. M.; de Assis de Souza Filho, F.; Costa Porto, V. On the Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves, Partial-Area Effect and the Rational Method: Theory and the Engineering Practice. *Water* **2020**, *12*, 2730

- Chalazas, Th., Hasiotis, T., Monioudi, I., Andreadis, O., Manoutsoglou, E., Velegrakis A.2018. Evaluation of Coastal Vulnerability using the InVEST model - case study: SE Chios Island. 3rd International Congress on Applied Ichthyology & Aquatic Environment, Volos, Greece
- Chow, V.T., 1964. Handbook of applied hydrology. Mc-Graw-Hill, New York.
- Choudhari, K., Panigrahi, B., Paul, J.C. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal Of Geomatics And Geosciences*, 2014, 5 (2), 253-265
- Cicin-Sain, B.; Belfiore, S. Linking marine protected areas to integrated coastal and ocean management: a review of theory and practice. *Ocean Coast Manag.* **2005**, *48*, 847–868.
- Clark, C.O. (1945). Storage and the Unit Hydrograph. *Transactions of the America Society of Civil Engineers* 110, pp 1419-1446.
- Cook, A.,Merwade, V. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *J. of Hydro.***2009**,*377*, 131 – 142. doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.015
- Costabile,P.; Costanzo, C.; Ferraro, D.; Macchione, F; Petaccia, G Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model. *Water* **2020**, *12*, 2326; doi:10.3390/w12092326
- Daniil, E.I.;Michas, S.N.; Nikolaou, K.; Lazaridis, L.S. Systematic Approach for ungagged basins' discharge determination in western Peloponnese, Greece. *Global NEST Journal* **2012**, *14*, 3, 344-353.
- Daniil, E.I.;Michas, S.N.;Aerakis, G. Hydrologic issues in demarcation studies of watercourses in Greece. 2017. 15th International Conference on Environmental Science and Technology. CEST 2017, Rhodes, Greece, 31 August to 2 September 2017
- Delattre, L., Debolini, M., Paoli, J., Napoleone, C., Moulery, M., Leonelli, L., Santucci, P. Understanding the relationships between extensive livestock systems, land-cover changes, and cap support in less-favored Mediterranean areas. *Land*, **2020**, *9*(12), 1-20.
- De Silva M., Weerakoon S. Herath S. Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC–HMS:CaseStudyintheKelaniRiverBasin,SriLanka. Downloaded from ascelibrary.org by Aristotle University of Thessaloniki on 11/30/18. 132
- De Silva, M. M. G. T., Weerakoon, S. B., & Herath, S. (2013). Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC–HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 (4), 800-806
- Dhakal, N.;Fanf, X.; Cleveland, T.G.; Thompson, D.B. Revisiting Modified Rational Method. World Environmental and Water Resources Congress 2011, Bearing Knowledge for Sustainability
- Dimopoulos, T., Helfenstein, J., Kreuzer, A., Mohr, F., Sentas, S., Giannelis, R., Kizos, T. Different responses to mega-trends in less favorable farming systems. Continuation and abandonment of farming land on the islands of Lesvos and Lemnos, Greece. *Land and Policy*, **2023**, *124*.
- EuroSION: Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, Part II, DG Environment, EC, available at: <http://www.euroSION.org/reports-online/part2.pdf> (last access: March 2017), 29 May 2004
- Hammar-Klose, E.S.; Thieler, E.R. Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: A Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico Coasts. Reston, VA: U.S. *Geological Survey***2001**
- Hasiotis, T., Velegrakis, A., Trygonis, V., Topouzelis, K., Andreadis, O., Chatzipavlis, A., Psarros, F., Manoutsoglou, E., Monioudi, I., Koronios, E., 2017. Monitoring erosion risk in Kamari beach (Santorini). 15th International Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes 31 Aug. to 2 Sept., CEST2017_00705.
- Helmi, A.M. Quantifying catchments sediment release in arid regions using GIS-based Universal soil loss equation (USLE). *Ain Shams Engineering Journal* **2023**, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102038>
- HSA. 2011. Tables of demographic and social characteristics of the Resident Population of Greece (2011 Population-Housing Census). Hellenic Statistical Authority, <http://www.statistics.gr/en/2011-census-pop-hous>.

- Hydrologic Engineering Center ., 1990. *HEC-1 hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Hydrologic Engineering Center., 1981. *HEC hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA. 133
- Hydrologic Engineering Center., 2000. *HEC hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Hydrologic Engineering Center., 2001. *HEC hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Hydrologic Engineering Center., 2018. *HEC-HMS 4.3 hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Hydrologic Engineering Center., 2013. *HEC geo-HMS hydrograph package. Program user's manual*. US Army Corps of Engineers, Davis, CA, USA.
- Ioppolo, G.; Saija, G.; Salomone, R. From coastal management to environmental management: the sustainable eco-tourism program for the mid-western coast of Sardinia (Italy). *Land Use Pol.* **2013**, *31*, 460–471
- Kaffas, K.; Pisinaras, V.; Al Sayah, M.J.; Santopietro S.; Righetti, M. A USLE-based model with modified LS-factor combined with sediment delivery module for Alpine basins. *Catena* **2021**, *207*, 105655. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105655>
- Kathryn R. Elmer, Henrik Kusche, Topi K. Lehtonen and Axel Meyer, Local variation and parallel evolution: morphological and genetic diversity across a species complex of neotropical crater lake cichlid fishes, Published:12 June 2010 <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0271>
- Knebl, M, Yanga, Z-L, Hutchison, K, and Maidment D (2005), 'Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event', *Journal of Environmental Management* vol. 75 no. 4 pp.325–336.
- Komar, P. D. *Beach Processes and Sedimentation*, Prentice Hall, N.J., USA, 1998.
- Koutitas, X.G. *Introduction to coastal engineering and port works*. Ziti Publication, Thessaloniki, Greece. (in Greek), 1994.
- Langridge, et al, 2014. Key lessons for incorporating natural infrastructure into regional climate adaptation planning, *Ocean & coastal management* 95, 189-197.
- Lapides, D.A.; A. Sytsma; Thompson, S. Implications of Distinct Methodological Interpretations and Runoff Coefficient Usage for Rational Method Predictions. *Journal of the American Water Resources Association* **2021**, *57* (6), 859–874. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12949>
- Levrel, H.; Cabral, P.; Marcone, O.; Mongruel, R. The services provided by marine ecosystems. Value and Economy of Marine Resources. *John Wiley & Sons Inc* **2014**, pp. 1–51.
- Liquete, C.; Piroddi, C.; Drakou, E.G.; Gurney, L.; Katsanevakis, S.; et al. Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PLoS One* **2013**, *8* (7).
- Michailidi, E. M.; Antoniadis, S.; Koukouvinos, A.; Bacchi, B.; Efstratiadis, A. Timing the time of concentration: shedding light on a paradox. *Hyd. Sc. J.* **2018**, *63*, 721–740. <https://doi.org/10.1080/02626667.2018.1450985>
- Michas, S.; Nikolaou, K.; Koukouvinos, A.; Mamassis, N. Estimation of sediment yield with MUSLE and monitoring. A case study for Tsiknias dam at Lesbos Island in Greece, *IWA Balkan Young Water Professionals*, Thessaloniki, p. 8, 12 May 2015.
- Mihalic, T. Sustainable-responsible tourism discourse – towards 'responsustainable' tourism. *Clean. Prod.* **2016**, *11* (Part B), 461–470.
- Mitasova, H.; Mitas, L. Modelling Physical Systems, In: *Geographic Information Systems and Environmental Modelling*, Parks B., Crane M. and Clarke, K eds., *Prentice Hall* **2001**
- Monioudi, I.N.; Velegrakis, A.F.; Chatzipavlis, A.E.; Rigos, A.; Karambas, T.; Vousedoukas, M.I.; Hasiotis, T.; Koukouroufli, N.; Peduzzi, P.; Manoutsoglou, E.; Poulos, S.E.; Collins, M.B. Assessment of island beach erosion due to sea level rise: the case of the Aegean archipelago (Eastern Mediterranean). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* **2017**, *Volume 17*, pp. 449–466. doi:10.5194/nhess-17-449-2017

- Monioudi, I.N.; Karditsa, A.; Chatzipavlis, A.; Alexandrakis, G.; Andreadis, O.; Velegrakis, A.F.; Poulos, S.; Ghionis, G.; Petrakis, S.; Sifnioti, D.; et al. Assessment of the vulnerability of the eastern Cretan beaches (Greece) to sea level rise. *Reg. Environ. Chang.* **2016**, *16*, 1951–1962.
- Monioudi, I. and Velegrakis, A.F. Toolbox Manual - Wind and Wave Data Analysis GUI Manual, Department of Marine Sciences, School of Environment, University of Aegean. July 2015
- Namara, W.G.; Damisse, T.A.; Tufa, F.G. Application of HEC-RAS and HEC-GeoRAS model for Flood Inundation Mapping, the case of Awash Bello Flood Plain, Upper Awash River Basin, Oromiya Regional State, Ethiopia. *Mod. Earth Sys. and Env.* **2022**, *8*, 1449–1460 doi: [10.1007/s40808-021-01166-](https://doi.org/10.1007/s40808-021-01166-)
- Nash, J.E., and J.V. Sutcliffe, 1970. River flow forecasting through conceptual models; Part 1 - A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3), 282-290.
- Nasr, A.A., Wahl, T., Rashid, Md.M., Camus, P., Haigh, I.D. Assessing the dependence structure between oceanographic, fluvial, and pluvial flooding drivers along the United States coastline. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2021**, *25*, 6203–6222, <https://doi.org/10.5194/hess-25-6203-2021>
- Nharo, T.; Makurira, H.; Gumindoga, W. Mapping floods in the middle Zambezi Basin using earth observation and hydrological modeling techniques. *Ph. and Chem. of the Earth* **2019**, *114*, 102787. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002>
- N.I.G.M.R. Geological Map of Greece, Lesvos Island (Mithimna Sheet). National Institute of Geological and Mining Research. 1974
- Nkeki, F.N.; Bello, E.I.; Agbaje, I.G. Flood risk mapping and urban infrastructural susceptibility assessment using a GIS and analytic hierarchical raster fusion approach in the Ona River Basin, Nigeria. *Inter. J. of Dis. Risk Red.* **2022**, *77*, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103097>
- Olsen, S.; Tobey, J.; Kerr, M. A common framework for learning from ICM experience. *Ocean Coast Manag.* **1997**, *37*, 155–174.
- Panagos, P.; Meusburger, K.; Alewell, C.; Montanarella, L. Soil erodibility estimation using LUCAS point survey data of Europe, *Environmental Modelling & Software* **2012**, *30*, 143-145.
- Pantusa, D.; D'Alessandro, F.; Frega, F.; Francone, A.; Tomasicchio, G.R. Improvement of a coastal vulnerability index and its application along the Calabria Coastline, Italy. *Sci. Rep.* **2022**. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26374-w>
- Papaoulia, M., Karymbalis, E., Gaki-Papanastasiou, K. and Maroukian, H., 2013. Assessment of the susceptibility of the coast of Astypalaia island (SE Aegean Sea) to sea level rise. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, v. XLVII, no 1, 305- 314.
- Pastor, A.V.; Tzoraki, O.; Bruno, D.; Kaletova, T.; Mendoza-Lera, C.; Alamanosi, A.; et al. Rethinking ecosystem service indicators for their application to intermittent rivers. *Ecological Indicators* **2022**, *137*, 108693. doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108693
- Poulos, S., Plomaritis, Th., Ghionis, G., Collins, M., Angelopoulos, Chr., 2013. The role of coastal morphology in influencing sea level variations induced by meteorological forcing in microtidal waters: Examples from the island of Crete (Aegean Sea, Greece). *Journal of Coastal Research*, 29(2): 272-282.
- Poulos, S. and Chronis, G., 2001. Coastline changes in relation to longshore sediment transport and human impact, along the shoreline of Kato Achaia (NW Peloponnese, Greece). *Mediterranean Marine Science*, v 2/1: 5-13.
- Re, A.; Minola, L.; Pezzoli, A. Climate Scenarios for Coastal Flood Vulnerability Assessments: A Case Study for the Ligurian Coastal Region. *Climate* **2023**, *11*, doi:10.3390/cli11030056.
- Rocha, C.; Antunes, C.; Catita, C. Coastal vulnerability assessment due to sea level rise: The case study of the Atlantic coast of Mainland Portugal. *Water (Switzerland)* **2020**, *12*, doi:10.3390/w12020360.
- Rozos, D.; Skilodimou, H.; Loupasakis, C.; Bathrellos, G. Application of the revised universal soil loss equation model on landslide prevention. An example from N. Euboea (Evia) Island, Greece. *Environmental earth sciences* **2013**, *70*.
- Sajjad, M.; Li, Y.; Tang, Z.; Cao, L.; Liu, X. Assessing Hazard Vulnerability, Habitat Conservation, and Restoration for the Enhancement of Mainland China's Coastal Resilience. *Earth's Future* **2018**, *6*, 326-338, doi:10.1002/2017EF000676.

- Saroglou, H. Engineering geological behavior of volcanic formations. References to instability phenomena and town planning in Lesvos Island, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, **2012**, *46*, 108-122,
- SETE. 2016. Association of the Greek Touristic Businesses, International Airline Arrivals: 2015 & Planning Report (Slots), <http://sete.gr/media/4629/ypa-2015-and-slots-2016.pdf>, April 2017
- SETE. 2017. The contribution of Tourism to the Greek economy in 2015. http://www.insete.gr/portals/INSETE/01/2017_Simasia_Tourismou_2015_Revised_EN.pdf
- Sharp, R.; Douglass, J.; Wolny, S.; Arkema, K.; Bernhardt, J.; Bierbower, W.; Chaumont, N.; Denu, D.; Fisher, D.; Glowinski, K.; et al. VEST 3.9.1 User's Guide; The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund: Stanford, CA, USA, **2020**
- Silver, J.M.; Arkema, K.K.; Griffin, R.M.; Lashley, B.; Lemay, M.; Maldonado, S.; Verutes, G. Advancing coastal risk reduction science and implementation by accounting for climate, ecosystems, and people. *Front. Mar. Sci.* **2019**, *6*, 556.
- Sintayehu, V. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of upper blue Nile River Basin. *J Hydrol Curr Res* **2015**, *2(6)*, 1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7487.1000199>
- Skoulikidis, N.T., Sabater, S., Datry, T., Morais, M.M., Buffagni, A., Dörfinger, G., Zoogaris, S., Sánchez Montoya, M.M., Bonada, N., Kalogianni, E., Rosado, J., Vardakas, L., De Girolamo, A.M., Tockner, K. Non-perennial Mediterranean rivers in Europe: status, pressures, and challenges for research and management. *Science of the Total Environment* **2017**, Volume 577, pp 1-8. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.147
- Special Secretariat for Water. Flood Risk Management Plan, River Basin Districts of the Aegean Islands (Northern and Southern Aegean) Ministry of Environment and Energy, 2018 Vol. B' 2683/06.07.2018
- Stubington, R.; Acreman M.; Acuna, V.; Boon, P.J.; Boulton, A.J.; England, J.; Gilvear, D.; Sykes, T.; Wood, P.J. Ecosystem services of temporary streams differ between wet and dry phases in regions with contrasting climates and economies. *People Nat.* **2020**, *2*, 660–677
- Snyder, E.F., 1938. Synthetic unit graphs. *Transactions A.G.U.*, *19*, 447-454.
- Tan, W.J.; Yang, C.F.; Chateau, P.A.; Lee, M.T.; Chang, Y.C. Integrated coastal zone management for sustainable tourism using a decision support system based on system dynamics: A case study of Cijin, Kaohsiung, Taiwan. *Ocean and Coastal Manag.* **2018**, *153*, 31–139. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.12.012>
- Toimil, A.; Díaz-Simal, P.; Losada, I.J.; Camus, P. Estimating the risk of loss of beach recreation value under climate change. *Tour. Manag.* **2018**, *68*, 387–400.
- Todisco, F.; Vergni, L.; Ortenzi, S.; Di Matteo, L. Soil Loss Estimation Coupling a Modified USLE Model with a Runoff Correction Factor Based on Rainfall and Satellite Soil Moisture Data. *Water* **2022**, *14*, 2081. <https://doi.org/10.3390/w14132081>
- Topouzelis, K.; Makri, D.; Stoupas, N.; Papakonstantinou, A.; Katsanevakis, S. Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* **2018**, *67*, 98-113. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.013>
- Traore, V.B.; Bop, M.; Faye, M.; Malomar, G.; Gueye, E.O.; Sambou, H.; Dione, A.N.; Fall, S.; Tahirou Diaw, A.; Sarr, J.; and Beye, A.C. Using of Hec-ras Model for Hydraulic Analysis of a River with Agricultural Vocation: A Case Study of the Kayanga River Basin, Senegal. *American Journal of Water Resources* **2015**, *3*, 147-154. doi: 10.12691/ajwr-3-5-2
- Tzoraki, O.; Monioudi, I.; Velegrakis, A.; Moutafis, N.; Pavlogeorgatos, G.; Kitsiou, D. Resilience of touristic island beaches under sea level rise: A methodological framework. *Coast. Manag.* **2018**, *46*, 78–102.
- U.S. Army Corps of Engineers, HEC-RAS River Analysis System. User's Manual, Version 6.0, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, U.S., 2021. From, https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_Users_Manual.pdf

- Vacchi, M., Rovere, A., Zouros, N., Desruelles, S., Caron, V., Firpo, M. Spatial distribution of sea-level markers in Lesvos Island (NE Aegean Sea): Evidence of differential relative sea-level changes and the neotectonic implications. *Geomorphology*, **2012**, 159-160, 50-62.
- Vachaviolos T. Estimation of soil erosion, sediment yield and reservoir sedimentation from empirical methods with emphasis on rainfall's effect, MSc Thesis, Water Resources Science & Technology, National Technical University of Athens, Athens, 2014.
- Valaouris, A., Poulos, S., Petrakis, S., Alexandrakis, G., Vassilakis, E., Ghionis, G., 2014. Processes affecting recent and future morphological evolution of the Xylokastro beach zone (Gulf of Corinth, Greece). *Global Nest*, 16(4): 773-786.
- Van der Knijff, J.M.; Jones, R.J.A.; Montanarella, L. Soil erosion risk assessment in Europe, JRC Scientific and Technical Report - EUR 19022 EN, *European Soil Bureau, European Commission 2000a*.
- Van der Knijff, J.M.; Jones, R.J.A.; Montanarella, L. Soil erosion risk assessment in Italy, JRC Scientific and Technical Report - EUR 19044 EN, *European Soil Bureau, European Commission 2000b*.
- Vanoni V.A. Sedimentation engineering. Manuals and reports on engineering practice, New York: American Society of Civil Engineers, 1975
- Velegrakis, A.F., Vousdoukas, M., Andreadis, O., Pasakalidou E., Adamakis, G. and Meligonitis, R. 2008. Impacts of dams on their downstream beaches: A case study from Eresos coastal basin, Island of Lesvos, Greece. *Marine Georesources and Geotechnology*, 26, 350–371.
- Vousdoukas, M., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlann, M., Jevrejeva, S., Jackson, L. P., et al. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat. Commun*, **2018**,9, 2360. doi: [10.1038/s41467-018-04692-w](https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w)
- Waycott, M.; Duarte, C.M.; Carruthers, T.J.B.; Orth, R.J.; Dennison, W.C.; et al. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America***2009**, 106, 12377–12381.
- Wong, P.P. Coastal tourism development in Southeast Asia: relevance and lessons for coastal zone management. *Ocean Coast Manag.* **1998**, 38, 89–109.
- Wu, T.; Hou, X.Y. Review of research on coastline changes. *Acta Ecol. Sin.* 2016, 36, 1170–1182.
- Xafoulis, N.; Kontos, Y.; Farsirotou, E.; Kotsopoulos, S.; Perifanos, K.; Alamanis, N.; Dedousis, D.; Katsifarakis, K. Evaluation of Various Resolution DEMs in Flood Risk Assessment and Practical Rules for Flood Mapping in Data-Scarce Geospatial Areas: A Case Study in Thessaly, Greece. *Hydrology* **2023**, 10, 91. <https://doi.org/10.3390/hydrology10040091>
- Xafoulis, N.; Farsirotou, E.; Kotsopoulos, S.; Alamanis, N. Flood hazard assessment in a mountainous river basin in Thessaly, Greece, Based on 1D/2D numerical simulation. *Energy* **2022**, 8, 100142. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100142>
- Ye, F., Zhang, Y.J., Wang, H.V., Friedrichs, M.A.M., Irby, I.D., Alteljevich, E., ValleLevinson, A., Wang, Z., Huang, H., Shen, J., Du, J., 2018. A 3D unstructured-grid model for chesapeake bay: Importance of bathymetry. *Ocean Model.* 127, 1639. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2018.05.002>.
- Yirga, K.W. Flood hazard and risk assessment using GIS and remote sensing in lower awash sub-basin, Ethiopia. *J Environ*
- Young, C. B.; McEnroe, B. M.; Rome, A. Empirical Determination of Rational Method Runoff Coefficients. *J.ofHydr. Eng.* **2009**, 14. 1084-0699/ 2009/12-1283–1289/\$25.00
- Yu, Y.J. Integrated Coastal Area and River Basin Management in Jiaozhou Bay. Doctoral Dissertation, Ocean University of China, Qingdao, China, 2010.
- Zarris D.; Lykoudi E. Prediction of soil erosion at risk areas of the island Kefalonia using the USLE equation, 6th Panhellenic Conference of the Greek Geographic Company, Thessaloniki, 3-6 October 2002, Volume II, p. 412-419.
- Zhang, J.C.; Gao, P.; Dong, X.D. Ecological Vulnerability Assessment of Qingdao Coastal Zone Based on Landscape Pattern Analysis. *J. Ecol. Rural Environ.* 2021, 37, 1022–1030.
- Zouros, N. Assessment, protection, and promotion of geomorphological and geological sites in the Aegean area, Greece. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*,**2005**, 11(3), 227-234.

Zouros, N., Pavlides, S., Soulakellis, N., Chatzipetros, A., Vasileiadou, K., Valiakos, I., Mpentana, K. Using active fault studies for raising public awareness and sensitization on seismic hazards: A case study from Lesvos petrified forest Geopark, NE Aegean Sea. *Geoheritage*, **2011**, 3(4), 317-327



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

9 Παράρτημα Α – Φωτογραφικό υλικό



Χίος - Φράγμα Κατράρη



Χίος - Φράγμα Κατράρη

Χίος – Ρέμα Καλαμωτής



Χίος – Υπερχειλιστής Φράγματος

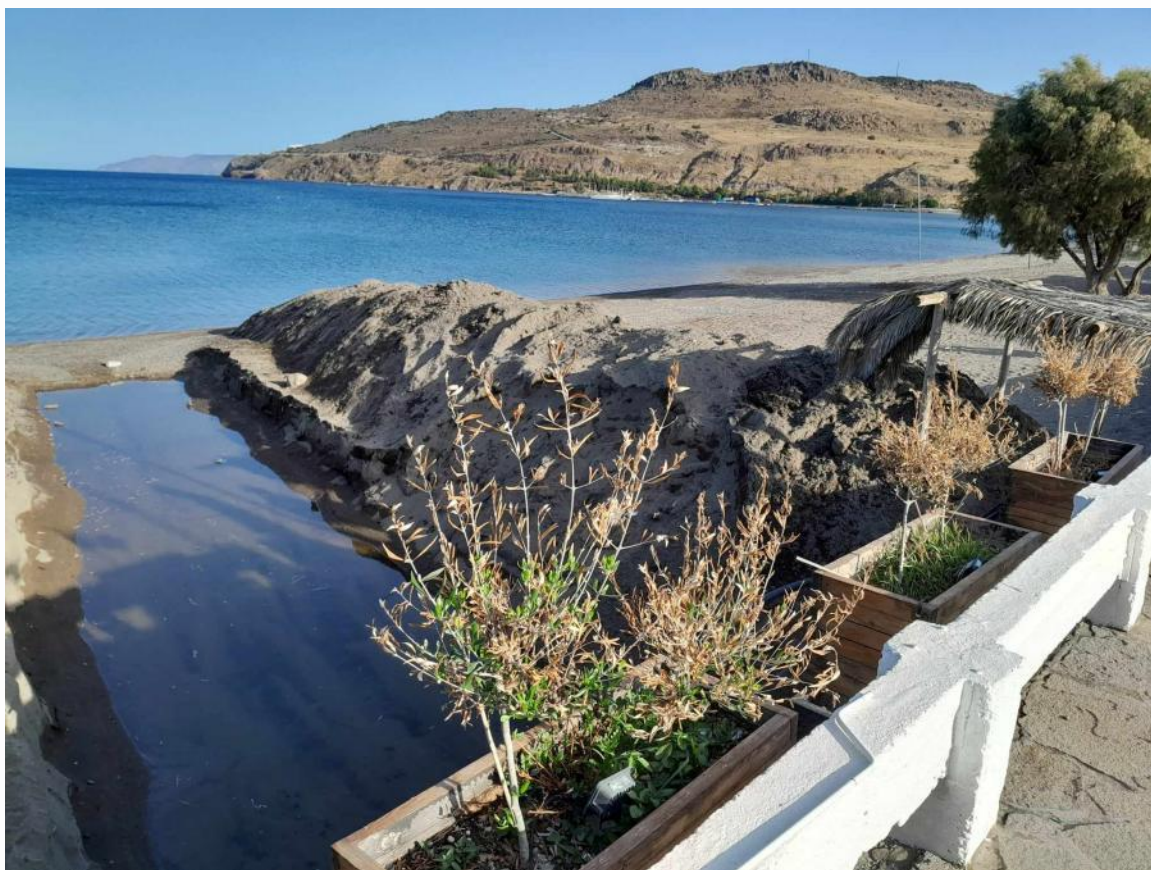




Πέτρα – εκβολή ρέματος



Πέτρα – ανάντι υδρογραφικό δίκτυο



Πέτρα – εκβολή ρέματος χειμερινή περίοδος



Πέτρα – εκβολή ρέματος



Πέτρα – μετρήσεις πεδίου με τον επίγειο δέκτη GNSS-GPS



Λέσβος

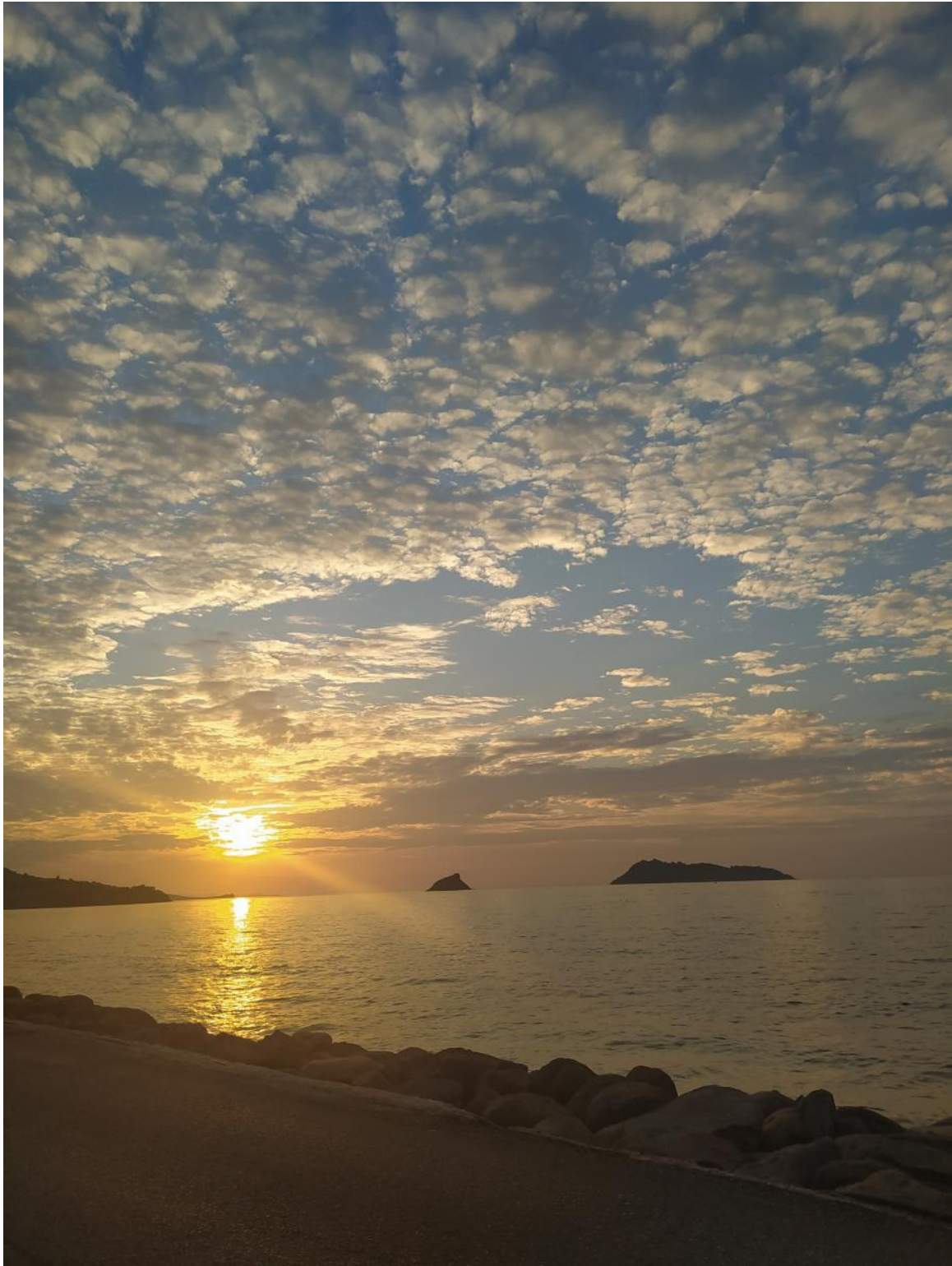
μετρήσεις με την χρήση UAVs-Drone

ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Λέσβος

ΔΕΣΜΟΙ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



Πέτρα