ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ: Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΝΗΛΕΑ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ

Μωραΐτη Κωνσταντίνα
Διπλωματική Εργασία
Περίοδος εκτέλεσης: 2023-2024
Επιβλέπων: Γεώργιος-Φοίβος Σαργέντης **,** Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ: Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΣΤΟΝ ΠΟΤΑΜΟ ΝΗΛΕΑ ΣΤΗΝ ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ

Διπλωματική Εργασία

Μωραΐτη Κωνσταντίνα

Τριμελής επιτροπή:

Σαργέντης Γεώργιος-Φοίβος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό ΕΜΠ (Επιβλέπων)
Ευστρατιάδης Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ
Μαμάσης Νικόλαος, Καθηγητής ΕΜΠ

Περίοδος εκτέλεσης: 2023-2024
Στοιχεία επικοινωνίας: ntinamor1998@gmail.com

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Κατάλογος εικόνων **5**

Κατάλογος πινάκων **8**

Κατάλογος Διαγραμμάτων **9**

Πρόλογος-Ευχαριστίες **10**

Περίληψη **11**

Summary **12**

1 Εισαγωγή **13**

1.1 Θέμα 13

1.2 Στόχος....13

1.3 Διάρθρωση εργασίας 14

1.4 Δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε συνέδρια στα πλαίσια της εργασίας 16

2 Νομοθετικό πλαίσιο **17**

3 Περιοχή μελέτης **19**

3.1 Γενικά....19

3.2 Ανθρωπογενή/ Δημογραφικά χαρακτηριστικά....20

3.2.1 Πληθυσμός....20

3.2.2 Χρήσεις Γης....21

3.2.3 Χρήσεις νερού....24

3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά 24

3.4 Κλίμα....25

3.5 Υδρολογία της περιοχής....26

4 Περιβαλλοντικές προκλήσεις στη Βόρεια Εύβοια **28**

4.1 Η ασθένεια των πλατανιών....29

4.2 Κυκλώνας Ζορμπάς....32

4.3 Δασικές πυρκαγιές....33

4.4 Καταιγίδες Daniel-Elias 36

5 Έρευνα πεδίου **38**

5.1 Γενικά 38
5.2 Πρώτη έρευνα πεδίου 38
5.3 Δεύτερη έρευνα πεδίου 40
5.4 Τρίτη έρευνα πεδίου 42
5.5 Ευρήματα και ανάλυση/ Επιπτώσεις στη διαχείριση των υδάτων 45

6 Ανάλυση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών 46

6.1 Μεθοδολογία 46
6.1.1 Εκτίμηση Φυσιογραφικών Χαρακτηριστικών 46

7 Μοντέλο Βροχόπτωσης HEC-RAS 49

7.1 Θεωρητικό υπόβαθρο 49
7.1.1 Δεδομένα IMERG 49
7.1.2 Λογισμικό HEC-RAS 50
7.2 Μεθοδολογία 51
7.2.1 Επεξεργασία IMERG δεδομένων 51
7.2.2 Μεθοδολογία HEC-RAS 52
7.3 Αποτελέσματα 57

8 Στατιστική Ανάλυση Βροχομετρικών Δεδομένων Βόρειας Εύβοιας 59

8.1 Γενικά 59
8.2 Θεωρητικό υπόβαθρο 59
8.3 Αποτελέσματα 61
8.4 Συμπεράσματα 64

9 Σύγκριση Δορυφορικών Εικόνων Zorbas-Daniel/Elias 66

9.1 Γενικά 66
9.2 Θεωρητικό υπόβαθρο 66
9.2.1 Synthetic Aperture Radar (SAR) 66
9.2.2 Sentinel-1 67
9.3 Δεδομένα 68
9.3.1 Επιλογή δεδομένων Sentinel-1 68
9.3.2 Μεταφόρτωση των δεδομένων 69
9.4 Επεξεργασία Δεδομένων Μέσω SNAP 69
9.4.1 Μέθοδος χαρτογράφησης πλημμύρας με κατώφλι (Thresholding) 71
9.5 Εφαρμογή στην περιοχή μελέτης 71
9.5.1 Σχέση βροχόπτωσης-πλημμυρικού φαινομένου 71
9.5.2 Σύγκριση δορυφορικών εικόνων 71

10 Ορθολογική Μέθοδος 74

10.1 Γενικά 74
10.2 Θεωρητικό υπόβαθρο 74
10.2.1 Η εξίσωση Q=C·i·A 74
10.2.2 Συντελεστής Manning 76
10.2.3 Συντελεστή απορροής 77
10.3 Μεθοδολογία 80
10.3.1 Γεωμετρικά Δεδομένα 80
10.3.2 Συντελεστής Manning 81
10.3.3 Συντελεστής απορροής CN 83
10.3.4 Στερεοπαροχή 84
10.3.5 Υπολογισμός Παροχής/Ταχυτήτων Ροής 85
10.4 Αποτελέσματα 87

11 Συμπεράσματα **90**

11.1 Σύνοψη των Κύριων Αποτελεσμάτων 90
11.2 Περιβαλλοντική Διαχείριση 91
11.3 Συνέπειες για τις Τοπικές Κοινότητες 92
11.4 Προτάσεις για τη Διαχείριση και Αποκατάσταση 92
11.5 Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις 93

12 Παράρτημα **94**

12.1 Κατάλογος Οικισμών 94
12.2 Αυτοψίες 96
12.3 Αυτοψίες Drone 125
12.3.1 Θέση 1 125
12.3.2 Θέση 2 126
12.3.3 Θέση 3 127
12.3.4 Θέση 4 128
12.3.5 Θέση 5 129
12.4 Κώδικας Υλοποίησης 131
12.4.1 Κώδικας Linux (NASA link to netCDF) 131
12.4.2 Κώδικας Python 131

13 Αναφορές **134**

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 3.1:Επισκόπηση ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας – Μορφολογία 19
Εικόνα 3.2:Περιοχή Μελέτης..... 20
Εικόνα 3.3 : Πληθυσμός Εύβοιας 20
Εικόνα 3.4: Corine Land Cover 23
Εικόνα 3.5: Γεωλογικός Χάρτης..... 25
Εικόνα 3.6:Γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης..... 27
Εικόνα 4.1:Η εξέλιξη της νόσου στα πλατάνια..... 31
Εικόνα 4.2 :Η κοίτη του ποταμού πριν από τα μέσα της δεκαετίας του 2010 και το 2022 στις εκβολές του ποταμού Βούδουρου 31
Εικόνα 4.3:Δορυφορική εικόνα του MTLC ZORBAS στις 29 Σεπτεμβρίου 2018 33
Εικόνα 4.4:α) Η έκταση της δασικής πυρκαγιάς το 2021 β) Η καμένη έκταση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Νηλέα..... 35
Εικόνα 4.5:Τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Νηλέα τον Αύγουστο του 2020 (πριν από την πυρκαγιά, στα αριστερά) και τον Αύγουστο του 2021 (μετά την πυρκαγιά στα δεξιά) 36
Εικόνα 4.6: Επιπτώσεις της πλημμύρας στο τοπίο 37
Εικόνα 5.1:Ποταμος Νηλέας-Κλάδος ενδιαφέροντος..... 39
Εικόνα 5.2: Επιλεγμένες περιοχές δημιουργίας 3D μοντέλου της κοίτης του ποταμού κοντά στο χωριό Κήρινθος στη Βόρεια Εύβοια 43
Εικόνα 5.3:Η περιοχή μελέτης στο Google Earth (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°47'59.84" N, 23°26'42.23" E; B: 38°47'57.14" N, 23°26'33.39" E; Ημερομηνία: 29.8.2020..... 43
Εικόνα 5.4:Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ημερομηνία: 2.5.2024..... 44
Εικόνα 5.5: Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 44
Εικόνα 6.1: :Διαδικασία εξαγωγής λεκανών απορροής..... 46
Εικόνα 6.2: Διαδικασία εξαγωγής λεκανών απορροής..... 47
Εικόνα 7.1: IMERG βροχή σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή..... 49
Εικόνα 7.2 Επιφάνεια εργασίας IPE 52
Εικόνα 7.3 Παράθυρο Έναρξης HEC-RAS 53
Εικόνα 7.4 Επιφάνεια Εργασίας RAS Mapper 54
Εικόνα 7.5 Δεδομένα Unsteady Flow Analysis 55
Εικόνα 7.6 Ορισμός Χρονικών Βημάτων Unsteady Flow Analysis 56
Εικόνα 7.7 Εκτέλεση προσομοίωσης..... 56
Εικόνα 7.8 Αποτελέσματα προσομοίωσης Zorbas..... 57
Εικόνα 7.9 Αποτελέσματα προσομοίωσης Daniel 58
Εικόνα 7.10 Αποτελέσματα προσομοίωσης Elias..... 58
Εικόνα 9.1 Enhanced visualization-radiometric terrain corrected 68
Εικόνα 9.2 Βήματα επεξεργασίας δεδομένων SAR..... 69
Εικόνα 9.3 **.** Sentinel-1 SAR, ˙. α) Βόρεια Εύβοια. Με κόκκινο χρώμα, υποδεικνύεται η περιοχή ενδιαφέροντος. β) περιοχή ενδιαφέροντος..... 72
Εικόνα 9.4 Sentinel-1 SAR, . Καταιγίδα Ζορμπάς. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 27.09.2018 β) 3.10.2018..... 72
Εικόνα 9.5 Sentinel-1 SAR,. Καταιγίδα Ντάνιελ. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 1.9.2023 β) 7.9.2023 73

Εικόνα 9.6 Sentinel-1 SAR, . Καταιγίδα Ελίας. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 25.9.2023 β) 1.10.2023 73
Εικόνα 10.1 Χάρτης χρήσεων γης λεκάνης 82
Εικόνα 10.2 Χάρτης προσδιορισμού συντελεστή CNII 83
Εικόνα 10.3 Τιμές ετήσιας εδαφικής απώλειας 84
Εικόνα 12.1 Landmark 1 98
Εικόνα 12.2 Landmark 2 99
Εικόνα 12.3 Landmark 3 100
Εικόνα 12.4 Landmark 4 101
Εικόνα 12.5 Landmark 5 102
Εικόνα 12.6 Landmark 6 103
Εικόνα 12.7 Landmark 7 104
Εικόνα 12.8 Landmark 8 105
Εικόνα 12.9 Landmark 9 106
Εικόνα 12.10 Landmark 10 107
Εικόνα 12.11 Landmark 11 108
Εικόνα 12.12 Landmark 12 109
Εικόνα 12.13 Landmark 13 110
Εικόνα 12.14 Landmark 14 111
Εικόνα 12.15 Landmark 15 112
Εικόνα 12.16 Landmark 16 113
Εικόνα 12.17 Landmark 17 114
Εικόνα 12.18 Landmark 18 115
Εικόνα 12.19 Landmark 19 116
Εικόνα 12.20 Landmark 20 117
Εικόνα 12.21 Landmark 21 118
Εικόνα 12.22 Landmark 22 119
Εικόνα 12.23 Landmark 23 120
Εικόνα 12.24 Landmark A 121
Εικόνα 12.25 Landmark B 122
Εικόνα 12.26 Landmark C 123
Εικόνα 12.27 Landmark D 124
Εικόνα 12.28 Επιλεγμένες περιοχές μοντελοποίησης της κοίτης του ποταμού κοντά στο χωριό Κήρινθος στη Βόρεια Εύβοια 125
Εικόνα 12.29 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°49'45.80" N, 23°27'54.15" E; B: 38°49'48.71" N, 23°28'3.58" E, Ημερομηνία: 6.1.2021 125
Εικόνα 12.30 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=5435be7497554d318ed4ec43bf46d4a4 Ημερομηνία: 2.5.2024 126
Εικόνα 12.31 Το σύνθετο 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 126
Εικόνα 12.32 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°49'45.80" N, 23°27'54.15" E; B: 38°49'35.00" N, 23°27'52.81" E; Ημερομηνία: 6.1.2021 126
Εικόνα 12.33 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=a559f676f45149a88dc4b797f5311181 Ημερομηνία: 2.5.2024 127

Εικόνα 12.34 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 127
Εικόνα 12.35 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°48'29.11" N, 23°27'41.11" E; B: 38°48'34.16" N, 23°28'7.73" E; Ημερομηνία: 6.1.2022 127
Εικόνα 12.36 Το συνθετικό 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=cfb1e22de2754f88b22d7174e3f4e453 Ημερομηνία: 2.5.2024 128
Εικόνα 12.37 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 128
Εικόνα 12.38 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°48'29.11" N, 23°27'41.11" E; B: 38°48'32.33" N, 23°27'44.16" E; Ημερομηνία: 6.1.2022 128
Εικόνα 12.39 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=6ec9e0ae6c64498aab0ad8608c38c928 Ημερομηνία: 2.5.2024 129
Εικόνα 12.40 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 129
Εικόνα 12.41 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: A: 38°47'59.84" N, 23°26'42.23" E; B: 38°47'57.14" N, 23°26'33.39" E; Ημερομηνία: 29.8.2020 129
Εικόνα 12.42 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=38e750bc887f4872aaa64e1d22102c6c Ημερομηνία: 2.5.2024 130
Εικόνα 12.43 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. 130

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1:Εξέλιξη Πληθυσμού Δήμου Μαντουδίου 21
Πίνακας 3.2:Κατανομή της έκτασης της Εύβοιας στις βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά ΥΠΑ, νομό, δήμο ή κοινότητα..... 22
Πίνακας 3.3: Χρήσεις ύδατος..... 24
Πίνακας 5.1:Ενδεικτικός πίνακας σημείων ενδιαφέροντος 40
Πίνακας 5.2:Σύγκριση κοίτης ποταμού..... 41
Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής 47
Πίνακας 6.2: Δεδομένα Υψογραφικής Καμπύλης 48
Πίνακας 8.1 Βασικά Συγκριτικά Μεγέθη..... 61
Πίνακας 10.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης 80
Πίνακας 10.2 Διαστάσεις Γέφυρας 81
Πίνακας 10.3 Επιτόπια κλίση εδάφους (γέφυρα)..... 81
Πίνακας 10.4 Αριθμός Manning ανά χρωματική κλάση..... 82
Πίνακας 10.5 Υπολογιμός συνολικού όγκου φερτών 85
Πίνακας 10.6 Υπολογισμοί ορθολογικής μεθόδου 86
Πίνακας 10.7 Ημερήσια ύψη βροχής 87
Πίνακας 10.8 Ορθολογική Μέθοδος..... 88
Πίνακας 10.9 Σύγκριση Δεδομένων Παρατήρησης-Μοντέλου 88
Πίνακας 12.1 Κατάλογος Οικισμών..... 95
Πίνακας 12.2 Σημεία Ενδιαφέροντος..... 96
Πίνακας 12.3 Επιπλέον σημεία που πάρθηκαν κατά την δεύτερη φάση. 97

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 3.1: Εξέλιξη πληθυσμό δημοτικών ενοτήτων περιοχής μελέτης (Βορειά Εύβοια)..... 21
Διάγραμμα 3.2: Κάλυψη Γης 23
Διάγραμμα 3.3: Σύνολο εκτάσεων 23
Διάγραμμα 3.4: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων-Σταθμός Προκοπίου 26
Διάγραμμα 3.5: Πυκνότητα πιθανότητας βροχόπτωσης που εκτιμάται από ροπές K 27
Διάγραμμα 4.1: Ύψη βροχής κατά τον μήνα Σεπτέμβριο, 2018..... 32
Διάγραμμα 4.2:Θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Εύβοιας -Αύγουστος 2021 34
Διάγραμμα 4.3:Η εξέλιξη των πυρκαγιών στην Ελλάδα και την Εύβοια (2000–2021)..... 35
Διάγραμμα 4.4: Ύψη βροχής κατά τον μήνα Σεπτέμβριο, 2023..... 37
Διάγραμμα 5.1:Προφίλ ανύψωσης ποταμού..... 39
Διάγραμμα 6.1:Υψογραφική Καμπύλη..... 48
Διάγραμμα 8.1 Χρονοσειρές Βροχοπτώσεων..... 62
Διάγραμμα 8.2 Boxplot..... 62
Διάγραμμα 8.3 Ελάχιστη/Μέγιστη/Μέση Τιμή 63
Διάγραμμα 10.1 Ημερήσια ύψη βροχής..... 87

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή αποτέλεσε ορόσημο στον κύκλο των σπουδών μου. Κατά την διάρκεια της εκπόνησής της είχα την ευκαιρία όχι μόνο να μάθω καινούριες δεξιότητες αλλά και να γνωρίσω και να συνεργαστώ με ανθρώπους με βαθιά γνώση του αντικειμένου. Οι εμπειρίες που κέρδισα μου προσέφεραν πάρα πολλά εφόδια και μου παρουσίασαν νέους τρόπους προσέγγισης της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού.

Στο πλαίσιο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σαργέντη Φοίβο (Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό ΕΜΠ) για την καθοδήγηση στην εκπόνηση της εργασίας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της. Παράλληλα ευχαριστώ τους κ. Ευστρατιάδη Ανδρέα αναπληρωτή καθηγητή και τον κ. Μαμάση Νικόλαο καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για την συμμέτοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ τους κ. Τουνουσίδου Ελεονώρα , κ. Καγγελάρη Σπύρο, κ. Χριστοδούλου Χρήστο από το Ελληνικό Κτηματολόγιο για την υποστήριξη και την άμεση ανταπόκριση στα αιτήματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια της εργασίας. Τους ευχαριστώ θερμά για τον χρόνο και την βοήθεια τους.

Επιπλέον ευχαριστώ θερμά την κ. Σιγούρου Σταυρούλα , διδάκτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών για τον χρόνο που διέθεσε και την πολύτιμη βοήθεια της. Ευχαριστώ τους κ. Δημητριάδη Παναγιώτη, κ. Ηλιοπούλου Θεανώ και κ. Μπενέκο Ιωάννη καθώς και όλους τους συνεργάτες που συνέβαλλαν με τον δικό τους τρόπο στην εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αφιερώνοντας χρόνο και σκέψη για την βοήθεια της ολοκλήρωσής της.

Τέλος, θα ήθελα να κάνω ξεχωριστή μνεία στους ανθρώπους του στενού μου κύκλου, την οικογένεια μου και τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου προσφέροντάς μου αγάπη και υποστήριξη σε κάθε βήμα. Η ευγνωμοσύνη μου δεν χωράει σε λόγια, ευχαριστώ.

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτελεί η διερεύνηση των υδρολογικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων στη λεκάνη απορροής του Νηλέα στη Βόρεια Εύβοια, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις καταστροφές που προκλήθηκαν από τις καταιγίδες Daniel και Elias, καθώς και στις συνέπειες των δασικών πυρκαγιών και της ασθένειας των πλατανιών. Η σύγκριση με τον Κυκλώνα Zorba αναδεικνύει τις διαφορές στην πλημμυρική απόκριση της περιοχής απέναντι στα πρόσφατα ακραία καιρικά φαινόμενα. Παρόλο που η καταιγίδα Elias έφερε λιγότερες βροχοπτώσεις από την καταιγίδα Daniel, οι πλημμύρες ήταν εντονότερες, γεγονός που επισημαίνει την αλλαγή στη συμπεριφορά της πλημμυρικής πεδιάδας εξαιτίας της απώλειας βλάστησης και της συσσώρευσης φερτών υλικών. Η καταστροφή της βλάστησης, κυρίως των πλατανιών, από την ασθένεια Ceratocystis platani και τις πυρκαγιές, προκάλεσε σημαντική μείωση στη φυσική ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό, οδηγώντας σε αυξημένη απορροή και διάβρωση.

Στη μελέτη περιλαμβάνονται λεπτομερείς αυτοψίες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή, καταγράφοντας τις αλλαγές στην τοπογραφία και στις υδρολογικές συνθήκες μετά από κάθε καταστροφικό φαινόμενο. Επιπλέον, εφαρμόστηκε η Ορθολογική Μέθοδος για τον υπολογισμό της απορροής κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, παρέχοντας πολύτιμα δεδομένα για την κατανόηση των υδρολογικών επιπτώσεων της απώλειας βλάστησης και των αλλαγών στο τοπίο.

Η ανάλυση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS) αποτελεί κρίσιμο κομμάτι της μελέτης, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη αποτύπωση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Μέσω των εργαλείων GIS, καταγράφηκαν οι αλλαγές στη βλάστηση, οι περιοχές υψηλού κινδύνου πλημμύρας και οι μεταβολές στις χρήσεις γης. Η ανάλυση αυτή βελτιώνει την πρόγνωση των πλημμυρικών γεγονότων και υποδεικνύει τις περιοχές που χρειάζονται άμεσες παρεμβάσεις.

Στη συνέχεια, η εργασία προσομοιώνει τις πλημμυρικές συνθήκες χρησιμοποιώντας το μοντέλο HEC-RAS και δορυφορικές εικόνες από τον Sentinel-1, εξετάζοντας την αυξημένη ευπάθεια της περιοχής μετά τις πρόσφατες πυρκαγιές. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποκαλύπτουν την επίδραση της απώλειας πλατανιών στην υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης, που σε συνδυασμό με τη διάβρωση και τη συσσώρευση φερτών υλικών, αυξάνει τον κίνδυνο πλημμυρών ακόμα και με μικρότερες βροχοπτώσεις.

Το παράδοξο των πρόσφατων πλημμυρών, όπου μικρότερες ποσότητες βροχής οδήγησαν σε πιο έντονη πλημμυρική απόκριση, υπογραμμίζει την ανάγκη για στοχευμένα προληπτικά μέτρα και στρατηγικές αποκατάστασης. Η διαχείριση των υδάτων, η αποκατάσταση της βλάστησης και η εφαρμογή πρακτικών για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι κρίσιμης σημασίας για τη βιωσιμότητα της περιοχής.

Summary

The objective of the present study is to investigate the hydrological and environmental impacts of flooding phenomena in the Nileas River basin in Northern Evia, with particular emphasis on the damage caused by the storms Daniel and Elias, as well as the consequences of wildfires and the disease affecting plane trees. The comparison with Cyclone Zorbas highlights the differences in the flood response of the area to recent extreme weather events. Although the storm Elias brought less precipitation compared to storm Daniel, the floods were more intense, indicating a significant change in the behavior of the floodplain due to vegetation loss and the accumulation of sediment. The destruction of vegetation, particularly of plane trees, due to the disease Ceratocystis platani and wildfires, resulted in a significant reduction in the soil's natural capacity to retain water, leading to increased runoff and erosion.

The study includes detailed field surveys conducted in the study area, documenting changes in topography and hydrological conditions following each catastrophic event. Additionally, the Rational Method was applied to calculate runoff during intense rainfall events, providing critical data for understanding the hydrological impacts of vegetation loss and the alterations that have occurred in the landscape.

The analysis of Geographic Information Systems (GIS) constitutes a key component of the study, offering a comprehensive mapping of the physiographic characteristics of the area. Using GIS tools, changes in vegetation, areas at high flood risk, and land-use changes were mapped. This analysis enhances the ability to predict flood events and identifies areas requiring immediate intervention.

Subsequently, the study simulates flood conditions using the HEC-RAS model and satellite imagery from Sentinel-1, analyzing the increased vulnerability of the area following the recent wildfires. The results of the simulation reveal the significant impact of the loss of plane trees on the hydrological behavior of the basin, which, combined with erosion and sediment accumulation, increases the risk of flooding even with lower rainfall amounts.

The paradox of recent floods, where smaller amounts of rainfall resulted in a greater flood response, underscores the need for targeted preventive measures and restoration strategies. Water management, vegetation restoration, and the development of practices to mitigate environmental impacts are vital for the sustainability of the area.

1 Εισαγωγή

1.1 Θέμα

Η παρούσα εργασία εξετάζει τις μεταβολές στο περιβάλλον και τη δυναμική των πλημμυρικών φαινομένων στη λεκάνη απορροής του Νηλέα στη Βόρεια Εύβοια, μια περιοχή που επηρεάστηκε από έντονες κλιματικές και ανθρωπογενείς αλλαγές. Το κεντρικό θέμα επικεντρώνεται στα πλημμυρικά φαινόμενα που σημειώθηκαν έπειτα από τις μεγάλες δασικές πυρκαγιές και την καταστροφική δράση των καταιγίδων Daniel και Elias, που προκάλεσαν σημαντικές αλλοιώσεις στο τοπίο και την τοπική χλωρίδα. Επίσης, η εργασία διερευνά τη συνεισφορά της ασθένειας των πλατανιών, που εξαπλώθηκε κατά μήκος του ποταμού Νηλέα και οδήγησε σε μαζική απώλεια πλατανιών από την κοίτη του. Η εξαφάνιση των πλατανιών, μαζί με τις πυρκαγιές, είχε ως αποτέλεσμα την απογύμνωση της περιοχής από τη φυσική βλάστηση, γεγονός που επηρέασε τις υδρολογικές συνθήκες και την απόκριση της λεκάνης στις βροχοπτώσεις.

Για την κατανόηση της πλημμυρικής συμπεριφοράς της περιοχής, πραγματοποιήθηκαν αυτοψίες και επιτόπιες παρατηρήσεις, οι οποίες συνέβαλαν στη συλλογή πρωτογενών δεδομένων και την αξιολόγηση της φυσικής τοπογραφίας και των περιβαλλοντικών αλλαγών στην περιοχή. Τα δεδομένα αυτά συμπληρώνονται από τη χρήση του λογισμικού HEC-RAS για τη μοντελοποίηση των πλημμυρικών φαινομένων και την ανάλυση δορυφορικών εικόνων από τον Sentinel-1 για την παρακολούθηση των αλλαγών στο τοπίο. Επιπρόσθετα, εξετάζεται η σύγκριση των πλημμυρικών επιπτώσεων των καταιγίδων Daniel και Elias με τα αποτελέσματα του Κυκλώνα Ζορμπά, ώστε να αναδειχθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες στην επίδραση των ακραίων καιρικών φαινομένων στο τοπικό οικοσύστημα και την υδρολογία.

1.2 Στόχος

Ο βασικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι η ολοκληρωμένη τεκμηρίωση και ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων στη λεκάνη του Νηλέα μετά τις πυρκαγιές, την ασθένεια των πλατανιών και τις επακόλουθες καταιγίδες. Η μελέτη αποσκοπεί στην κατανόηση της υδρολογικής απόκρισης της περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές αλλαγές και τον ρόλο που διαδραμάτισαν οι απώλειες στη βλάστηση. Συγκεκριμένα, η εργασία επικεντρώνεται στα εξής σημεία:

- Την καταγραφή και σύγκριση των πλημμυρικών γεγονότων πριν και μετά τις πυρκαγιές και την ασθένεια των πλατανιών, αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και αυτοψίες που επιτρέπουν την ακριβή αποτύπωση των περιβαλλοντικών μεταβολών.
- Την εκτίμηση των επιπτώσεων της απώλειας της βλάστησης και των καταιγίδων στις υδρολογικές συνθήκες της περιοχής, μέσω της χρήσης του HEC-RAS και της ανάλυσης

των δεδομένων του Sentinel-1, με σκοπό την καταγραφή και την προσομοίωση των πλημμυρικών φαινομένων.
- Την ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ακραίων καιρικών φαινομένων, της ασθένειας των πλατανιών και της τοπικής διαχείρισης των υδάτων, με στόχο να προταθούν μέτρα για τη μελλοντική πρόληψη και μετριασμό των πλημμυρών.

Η έρευνα περιλαμβάνει επίσης αυτοψίες και επί τόπου παρατηρήσεις, οι οποίες παρέχουν πολύτιμα δεδομένα σχετικά με τις άμεσες συνέπειες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον. Με την ολοκλήρωση αυτών των αναλύσεων, η εργασία αποσκοπεί στην κατανόηση της δυναμικής των πλημμυρών σε περιοχές όπου οι περιβαλλοντικές αλλαγές και οι πυρκαγιές έχουν διαταράξει τις φυσικές διαδικασίες, ενώ στόχο έχει την πρόταση κατευθύνσεων για καλύτερες πρακτικές διαχείρισης υδάτων και προστασίας του περιβάλλοντος.

1.3 Διάρθρωση εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε δέκα κεφάλαια, καθένα από τα οποία καλύπτει διαφορετικές πτυχές του θέματος και συνεισφέρει στην πλήρη κατανόηση των επιπτώσεων των πλημμυρών στη λεκάνη απορροής του Νηλέα. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των υδάτων και την περιβαλλοντική προστασία στην Ελλάδα. Αυτό το πλαίσιο θέτει τα θεμέλια για την κατανόηση των πολιτικών και των ρυθμίσεων που σχετίζονται με την πρόληψη και αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων και άλλων περιβαλλοντικών καταστροφών.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται τα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, το κλίμα, και οι υδρολογικές συνθήκες. Αυτή η περιγραφή είναι κρίσιμη για την κατανόηση της ευρύτερης περιβαλλοντικής κατάστασης της λεκάνης του Νηλέα και του τρόπου με τον οποίο αυτή επηρεάζει την πλημμυρική της συμπεριφορά.

Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις περιβαλλοντικές προκλήσεις της Βόρειας Εύβοιας, όπως η ασθένεια των πλατανιών, ο Κυκλώνας Ζορμπάς, οι πρόσφατες δασικές πυρκαγιές, καθώς και οι καταιγίδες Daniel και Elias. Εξετάζεται η αλληλεπίδραση αυτών των γεγονότων με τη λεκάνη απορροής του Νηλέα και οι επιπτώσεις τους στο τοπικό περιβάλλον.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση της έρευνας πεδίου, η οποία πραγματοποιήθηκε για τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων και την καταγραφή των επιπτώσεων των πλημμυρών στην περιοχή. Ειδικότερα, περιγράφονται οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή

των επιτόπιων μετρήσεων και την ανάλυση των αλλαγών στη φυσική τοπογραφία της περιοχής.

Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την ανάλυση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας γεωγραφικά δεδομένα και τεχνικές χαρτογράφησης.

Στο έβδομο κεφάλαιο, περιγράφεται η χρήση του μοντέλου HEC-RAS για την προσομοίωση των πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης. Αναλύονται τα δεδομένα IMERG που χρησιμοποιήθηκαν για τη βροχομετρική εκτίμηση και περιγράφονται τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης, συμβάλλοντας στην κατανόηση των πλημμυρικών επιπτώσεων και της υδρολογικής απόκρισης της περιοχής.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων της Βόρειας Εύβοιας. Η ανάλυση αυτή συμβάλλει στην κατανόηση των βροχοπτώσεων και των κλιματικών προτύπων της περιοχής, ενισχύοντας την κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις πλημμύρες στη λεκάνη του Νηλέα.

Το ένατο κεφάλαιο αφορά τη χρήση δορυφορικών εικόνων για την εκτίμηση της πλημμυρικής έκτασης και τη σύγκριση των δορυφορικών εικόνων που ελήφθησαν από τα γεγονότα του Κυκλώνα Ζορμπά και των καταιγίδων Daniel και Elias. Μέσω της χρήσης δορυφορικών εικόνων Sentinel-1, η εργασία καταγράφει τις αλλαγές στο τοπίο και τις πλημμυρικές επιπτώσεις, συμβάλλοντας στην κατανόηση των μεταβολών που έχουν επέλθει λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Τέλος, στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου, με τη χρήση της εξίσωσης $Q=C \cdot i \cdot A$ για την εκτίμηση των απορροών στη λεκάνη απορροής του Νηλέα. Με βάση τα ευρήματα της εργασίας, διατυπώνονται προτάσεις για τη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτων και την πρόληψη των πλημμυρών στην περιοχή, συμβάλλοντας στην υιοθέτηση καλύτερων περιβαλλοντικών πρακτικών στο μέλλον.

1.4 Δημοσιεύσεις και ανακοινώσεις σε συνέδρια στα πλαίσια της εργασίας

Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας, δημοσιεύθηκαν δύο επιστημονικά άρθρα [1,2] σχετικά με το θέμα και έγινε παρουσίαση στο διεθνές συνέδριο EGU 2024 στη Βιέννη[3],συνεισφέροντας κοινοποίηση των συμπερασμάτων και τον διάλογο γύρω από τα αποτελέσματα με την επιστημονική κοινότητα. Ο κατάλογος των δημοσιεύσεων αυτών παρατίθεται παρακάτω:

- Moraiti K., Sigourou S., Dimitriadis P., Ioannidis R., Benekos I., Iliopoulou T., Kitsou O., Mamassis N., Koutsoyiannis D., Sargentis G.-F. Documenting the Changing Floodplain of Nileas Basin in North Euboea (Greece) before and after Storms Daniel and Elias. Rural and Regional Development. 2024; 2(3):10013. https://doi.org/10.35534/rrd.2024.10013
- Sargentis G.-F., Moraiti K., Benekos I., Ioannidis R., Mamassis N. Fast-Track Documentation of the Alterations on the Landscape, before and after a Natural Hazard—Case Study: North Euboea Greece before and after Storms Daniel and Elias. Rural and Regional Development 2024, 2, 10016. https://doi.org/10.70322/rrd.2024.10016
- Moraiti, K., Sigourou, S., Kougia, M., Sargentis, G.-F., and Koutsoyiannis, D. On-site inspection in monitoring of water flow for the calibration of hydraulic models and the statistical analysis of the hydraulic output. Case study: The river Nileas in North Euboea Greece, before and after the storm Elias in September 2023, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-5186, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-5186 , 2024.

2 Νομοθετικό πλαίσιο

Η προστασία από τις πλημμύρες αποτελεί ένα ζωτικής σημασίας θέμα για την ασφάλεια, την υγεία και την οικονομική ευημερία των κοινοτήτων σε ολόκληρο τον κόσμο. Η αύξηση της συχνότητας και της έντασης των πλημμυρών, συνδυασμένη με τις ανθρώπινες επεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, έχει καταστήσει την ανάγκη για αποτελεσματική νομοθετική προσέγγιση ακόμα πιο επείγουσα.

Σε αυτό το πλαίσιο, η ευρωπαϊκή νομοθεσία έχει διαδραματίσει έναν καθοριστικό ρόλο στην προώθηση της πρόληψης και της αντιμετώπισης των πλημμυρών. Οι οδηγίες και οι κανονισμοί που εκδίδονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση παρέχουν το νομικό πλαίσιο για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, την προστασία των κοινοτήτων και των φυσικών πόρων, καθώς και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των πλημμυρών σε όλα τα επίπεδα, από το τοπικό έως το ευρωπαϊκό.

Η βασικότερη οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αφορά τον κίνδυνο πλημμυρών είναι η Οδηγία 2007/60/ΕΚ. Εγκρίθηκε το 2007 και έχει ως στόχο την αξιολόγηση και τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στους ανθρώπους, την υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία. Περιλαμβάνει απαιτήσεις για τη δημιουργία πλαισίων για την αξιολόγηση και διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, καθώς και για την πληροφόρηση του κοινού και τη συμμετοχή του σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Επιπλέον, περιέχει προβλεπόμενες ενέργειες για την προστασία και αντιμετώπιση των πλημμυρών, καθώς και για την αντιμετώπιση των συνεπειών τους.

Οι βασικές απαιτήσεις της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ περιλαμβάνουν:

- Αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας: Τα κράτη μέλη πρέπει να πραγματοποιούν αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας σε καθορισμένες περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη τη συχνότητα και την ένταση των πλημμυρών.

- Διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας: Τα κράτη μέλη πρέπει να αναπτύσσουν πλαίσια για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας, τα οποία περιλαμβάνουν μέτρα πρόληψης, προειδοποίησης και προστασίας.

- Πληροφόρηση και συμμετοχή του κοινού: Τα κράτη μέλη πρέπει να ενθαρρύνουν την πληροφόρηση και τη συμμετοχή του κοινού στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που αφορούν τον κίνδυνο πλημμύρας.

- Προστασία και αντιμετώπιση των επιπτώσεων: Τα κράτη μέλη πρέπει να αναπτύσσουν και να εφαρμόζουν μέτρα για την προστασία και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων των πλημμυρών, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας της υγείας, του περιβάλλοντος και της οικονομίας.

Αυτές οι απαιτήσεις προωθούν την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου και βιώσιμου πλαισίου για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας σε ευρωπαϊκό επίπεδο.[4]

Πέραν της εν λόγο Οδηγίας υπάρχουν και άλλες οδηγίες και νομοθετικά μέσα που αφορούν τη διαχείριση των πλημμυρών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ορισμένα από αυτά περιλαμβάνουν:

- Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα ύδατα (Πλαίσιο Κοινοτικής Πολιτικής για τα Υδάτινα Πορίσματα): Αυτή η οδηγία θεσπίζει ένα πλαίσιο για την προστασία των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων, και για την προαγωγή της βιώσιμης χρήσης των υδάτων. Περιλαμβάνει διατάξεις σχετικά με τη διαχείριση του υδάτινου περιβάλλοντος, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών.[5]

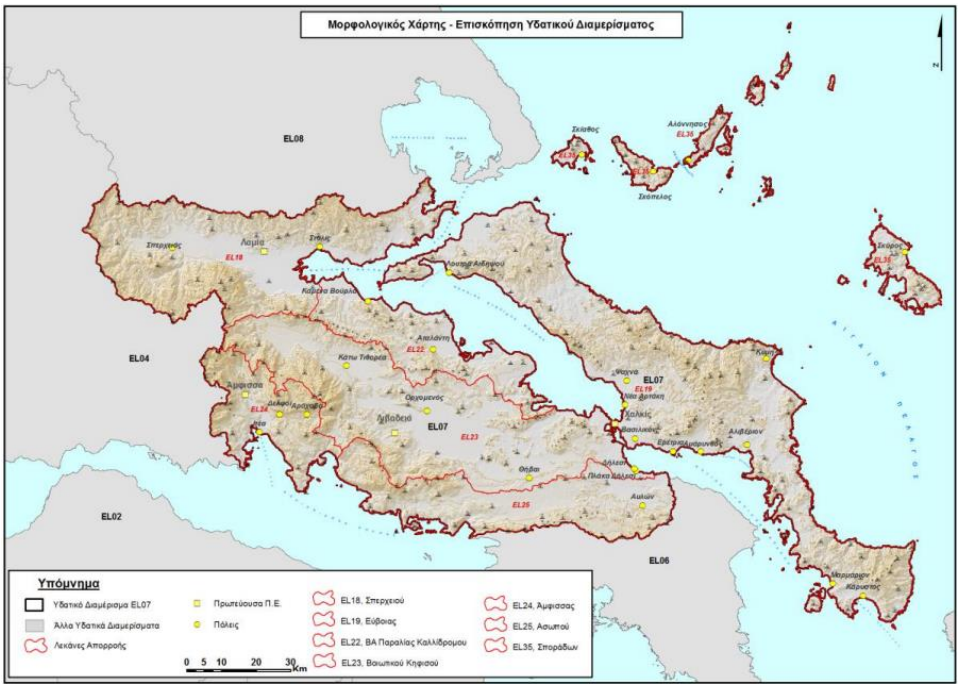
- Οδηγία 2007/2/ΕΚ για την πρόληψη και τον έλεγχο των πλημμυρών: Αυτή η οδηγία αναφέρεται στην αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, καθώς και στην ενημέρωση του κοινού για τους κινδύνους πλημμύρας και τη συνεργασία σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τη διαχείρισή τους.[6]

Αυτές οι οδηγίες αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου νομοθετικού πλαισίου που αποσκοπεί στην προστασία και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών.

3 Περιοχή μελέτης

3.1 Γενικά

Η Εύβοια αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα νησιά της Μεσογείου με έκταση 3654 km^2. Ανήκει στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας και έχει πρωτεύουσα την πόλη της Χαλκίδας [7].Η λεκάνη απορροής (ΛΑΠ) της Εύβοιας (EL19) εντάσσεται στο υδατικό διαμέρισμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Σύμφωνα με την 2η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής ως ΛΑΠ ορίζεται : «… η εδαφική έκταση από την οποία αποστραγγίζεται το σύνολο μιας περιοχής, μέσω του υδρογραφικού δικτύου της (διαδοχικών ρευμάτων, χειμάρρων, ποταμών, και πιθανώς λιμνών) και παροχετεύεται στη θάλασσα μέσω της εκβολής (ή δέλτα) ποταμού.»[8]



Εικόνα 3.1:Επισκόπηση ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας – Μορφολογία

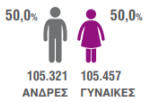
Για τις ανάγκες της έρευνας, η Εύβοια χωρίστηκε ενδεικτικά σε βόρειο και νότιο τμήμα, με το βόρειο τμήμα να εκτείνεται από τα βόρεια παράλια του νησιού έως την ευρύτερη περιοχή του χωριού Προκοπίου. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στο εν λόγω βορειότερο κομμάτι της Εύβοιας και συγκεκριμένα στην υπολεκάνη του ποταμού Νηλέα καθώς και σε τμήματα των ποταμών Κηρέα και Βούδουρου.

Εικόνα 3.2:Περιοχή Μελέτης[9]

3.2 Ανθρωπογενή/ Δημογραφικά χαρακτηριστικά

3.2.1 Πληθυσμός

Την περιοχή ενδιαφέροντος καταλαμβάνει ως επί το πλείστων ο δήμος Μαντουδίου-Λίμνης-Αγίας Άννας ο οποίος αποτελείται από 48 οικισμούς [10] (βλ.131).
Ο πληθυσμός της Εύβοιας αγγίζει περίπου το 2% του συνολικού πληθυσμού της Ελλάδας και ανέρχεται στους 210778 κατοίκους. Συγκεκριμένα στην βόρεια Εύβοια, για τον δήμο Μαντουδίου που αφορά την περιοχή μελέτης οι κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2021 ανέρχονται στους 12235. [11]



Περιφερειακή Ενότητα Ευβοίας

Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
ΧΑΛΚΙΔΕΩΝ	102.223	**109.256**	51.701	54.241	50.522	55.015
ΔΙΡΦΥΩΝ - ΜΕΣΣΑΠΙΩΝ	18.800	**15.934**	9.912	8.207	8.888	7.727
ΕΡΕΤΡΙΑΣ	13.053	**12.652**	6.563	6.341	6.490	6.311
ΙΣΤΙΑΙΑΣ - ΑΙΔΗΨΟΥ	21.083	**19.396**	10.396	9.589	10.687	9.807
ΚΑΡΥΣΤΟΥ	12.180	**11.903**	6.091	5.990	6.089	5.913
ΚΥΜΗΣ - ΑΛΙΒΕΡΙΟΥ	28.437	**26.350**	14.323	13.137	14.114	13.213
ΜΑΝΤΟΥΔΙΟΥ - ΛΙΜΝΗΣ - ΑΓΙΑΣ ΑΝΝΑΣ	12.045	**12.235**	6.024	6.211	6.021	6.024
ΣΚΥΡΟΥ	2.994	**3.052**	1.638	1.605	1.356	1.447

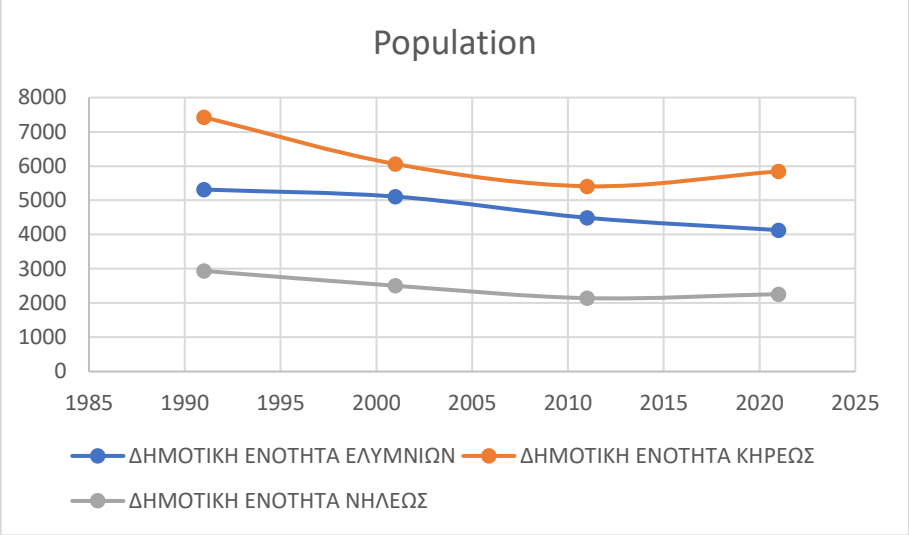
Εικόνα 3.3 : Πληθυσμός Εύβοιας

Κατά την διάρκεια των τελευταίων 30 χρόνων παρατηρείται σχετική μείωση του πληθυσμού

των δημοτικών ενοτήτων της περιοχής. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε παράγοντες όπως η αστικοποίηση, η μετανάστευση προς μεγαλύτερα αστικά κέντρα και οι δημογραφικές αλλαγές που επηρεάζουν τις αγροτικές και ημιαστικές περιοχές.

	1991	2001	2011	2021
ΔΗΜΟΣ ΜΑΝΤΟΥΔΙΟΥ - ΛΙΜΝΗΣ - ΑΓΙΑΣ ΑΝΝΑΣ (Έδρα: Λίμνη, η)	15681	13673	12045	12235

Πίνακας 3.1:Εξέλιξη Πληθυσμού Δήμου Μαντουδίου [12]



Διάγραμμα 3.1: Εξέλιξη πληθυσμό δημοτικών ενοτήτων περιοχής μελέτης (Βορειά Εύβοια)

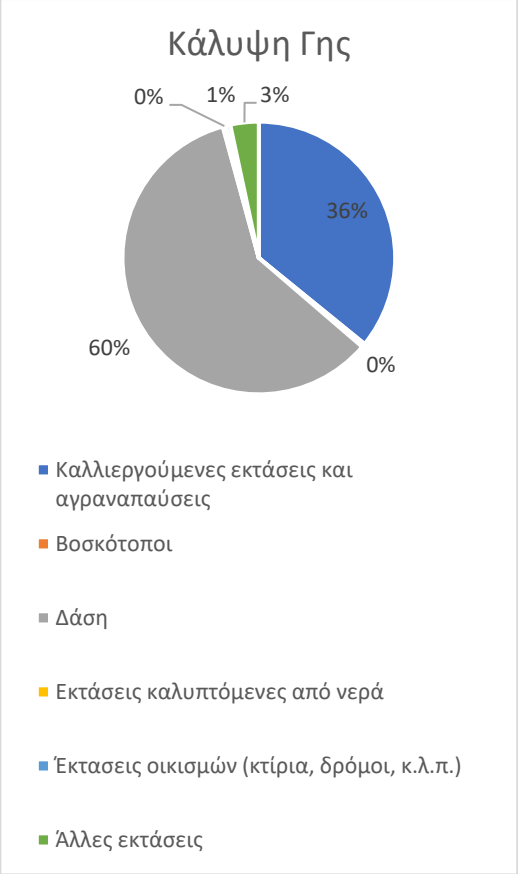
3.2.2 Χρήσεις Γης

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Νηλέα αποτελεί μια τυπική αγροτική περιοχή με ένα μεγάλο ποσοστό να καλύπτεται από δασικές εκτάσεις . Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καλύπτουν το 36% της συνολικής επιφάνειας υποδηλώνοντας τη σημαντική γεωργική δραστηριότητα της περιοχής, ενώ το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης της γης καταλαμβάνουν δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων δέντρων. Οι βοσκότοποι και οι εκτάσεις που καλύπτονται από νερά αντιπροσωπεύουν μικρότερα ποσοστά, ενώ οι οικιστικές εκτάσεις (κτήρια, δρόμοι κ.λπ.) καταλαμβάνουν επίσης περιορισμένο μέρος της συνολικής γης. Τέλος, ένα μικρό ποσοστό αφορά εκτάσεις που δεν εντάσσονται στις υπόλοιπες κατηγορίες, υποδεικνύοντας την ύπαρξη ποικίλων άλλων χρήσεων γης. Αυτή η κατανομή αντικατοπτρίζει τη φυσιογνωμία της περιοχής,

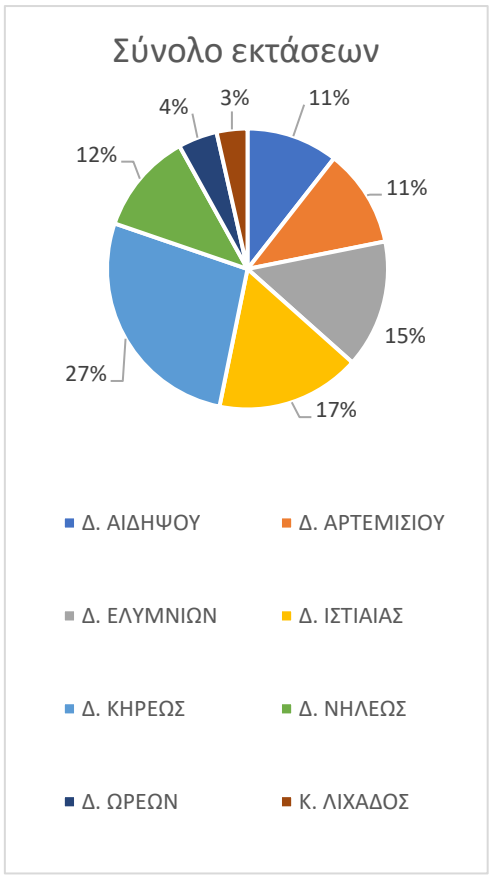
όπου κυριαρχεί η δασική και αγροτική χρήση, ενώ η ανθρώπινη δραστηριότητα και υποδομές παραμένουν συγκριτικά περιορισμένες. [13]

ΥΠΑ, νομοί, δήμοι κοινότητες	Σύνολο εκτάσεων	Καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγραναπαύσεις	Βοσκότοποι	Δάση	Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά	Εκτάσεις οικισμών (κτίρια, δρόμοι, κ.λπ.)	Άλλες εκτάσεις
Δ. ΑΙΔΗΨΟΥ	115,6	48,2	1,9	62,9	0,3	1,6	0,7
Δ. ΑΡΤΕΜΙΣΙΟΥ	123,6	43,3	0,0	79,1	0,3	0,9	0,0
Δ. ΕΛΥΜΝΙΩΝ	161,3	56,7	0,0	103,5	0,3	0,3	0,5
Δ. ΙΣΤΙΑΙΑΣ	181,8	96,2	0,0	82,6	2,2	0,3	0,5
Δ. ΚΗΡΕΩΣ	296,1	51,4	2,8	205,2	1,2	1,1	34,4
Δ. ΝΗΛΕΩΣ	128,0	50,9	0,0	76,3	0,0	0,2	0,6
Δ. ΩΡΕΩΝ	49,3	32,4	0,0	15,8	0,0	1,0	0,0
Κ. ΛΙΧΑΔΟΣ	38,8	13,4	0,0	25,2	0,0	0,0	0,2
ΣΥΝΟΛΟ	1.094,6	392,5	4,8	650,6	4,3	5,5	36,8

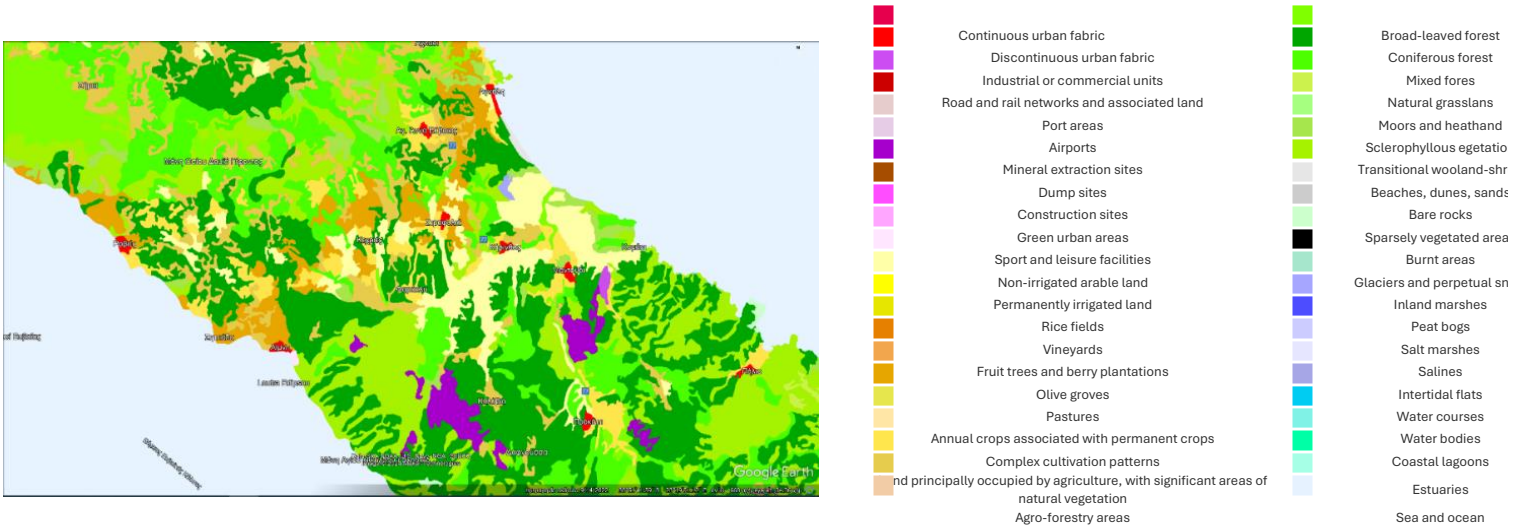
Πίνακας 3.2:Κατανομή της έκτασης της Εύβοιας στις βασικές κατηγορίες χρήσης/κάλυψης, κατά ΥΠΑ, νομό, δήμο ή κοινότητα



Διάγραμμα 3.2: Κάλυψη Γης



Διάγραμμα 3.3: Σύνολο εκτάσεων



Εικόνα 3.4: Corine Land Cover [14]

3.2.3 Χρήσεις νερού

Οι κύριες κατηγορίες της χρήσης ύδατος είναι η ύδρευση, η άρδευση , η βιομηχανία και η κτηνοτροφία. Στην Ανατολική Στερεά η βασικές ανάγκες του νερού αντιστοιχούν στην άρδευση και την ύδρευση [5].Οι απολήψεις για ύδρευση είναι 27.542.203 m^3/έτος, δηλαδή περίπου 130,6 m^3 ανά κάτοικο ετησίως ή περίπου 357 λίτρα ανά κάτοικο ημερησίως. Αυτό το νούμερο φαίνεται σχετικά υψηλό, πιθανότατα λόγω συνυπολογισμού βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή τουριστικής κίνησης, αν ο πληθυσμός αυξάνεται σε ορισμένες περιόδους. Αντίστοιχα το 108.477.007 m^3/έτος για άρδευση είναι ιδιαίτερα υψηλό, κάτι που αναδεικνύει τη μεγάλη εξάρτηση της περιοχής από τη γεωργία. Το ποσό αυτό αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατανάλωσης νερού (περίπου το 75%), γεγονός που πιθανότατα δείχνει έντονη αγροτική δραστηριότητα και αυξημένη ανάγκη για νερό κατά τους θερινούς μήνες.

ΑΠΟΛΗΨΕΙΣ ΥΔΑΤΟΣ (m^3 /year)	
Ύδρευσης	27.542.203
Άρδευσης	108.477.007
Κτηνοτροφίας	4.336.513
Βιομηχανίας	3.669.723
ΣΥΝΟΛΟ ΑΠΟΛΗΨΕΩΝ ΥΔΑΤΟΣ	**144.025.447**

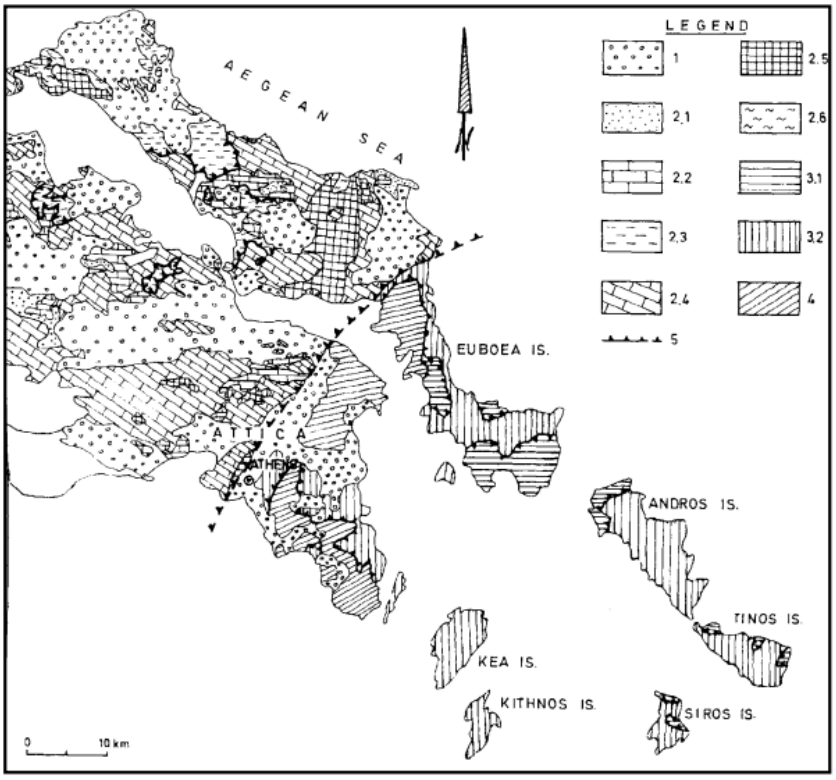
Πίνακας 3.3: Χρήσεις ύδατος

Στην βόρεια Εύβοια η άντληση του νερού γίνεται από διάφορες πηγές. Σημαντικό ποσοστό της υδροδότησης γίνεται μέσω γεωτρήσεων, αντλώντας νερό από υπόγεια αποθέματα. Οι υδροφόροι ορίζοντες της περιοχής τροφοδοτούνται κυρίως από βροχοπτώσεις και λιγότερο από επιφανειακές ροές. Αν και σε μικρότερο βαθμό, το νερό μπορεί να αντλείται από ποτάμια και ρέματα. Ο ποταμός Νηλέας είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στη Βόρεια Εύβοια, ο οποίος χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς, ειδικά στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις που βρίσκονται κοντά στο ρου του.

3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Η Βόρεια Εύβοια αποτελεί μια περιοχή της Ελλάδας στην οποία οι ορεινοί όγκοι και οι πεδιάδες χαμηλού υψομέτρου καθώς και τα πολυπληθή ποτάμια και ρυάκια δημιουργούν ένα πλούσιο ανάγλυφο. Τη γεωλογική δομή της περιοχής σχηματίζουν Αλπικοί και Μεταλπικοί γεωλογικοί

σχηματισμοί με τους πρώτους να ανήκουν στην υπο-Πελαγονική γεωτεκτονική ζώνη των Εσωτερικών Ελληνίδων και να περιλαμβάνουν ασβεστόλιθους, οφιολίθους και σχιστοκερατολιθικές διαπλάσεις. Οι Μεταλπικοί σχηματισμοί αποτελούνται κυρίως από ποταμολιμναίες αποθέσεις. Ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος είναι από τις πιο ενεργές ρηξιγενείς νεοτεκτονικές δομές της Ελλάδας. Η περιοχή αντιμετωπίζει σημαντική σεισμική δραστηριότητα, και πολλά ιστορικά σεισμικά γεγονότα έχουν καταγραφεί. [15]

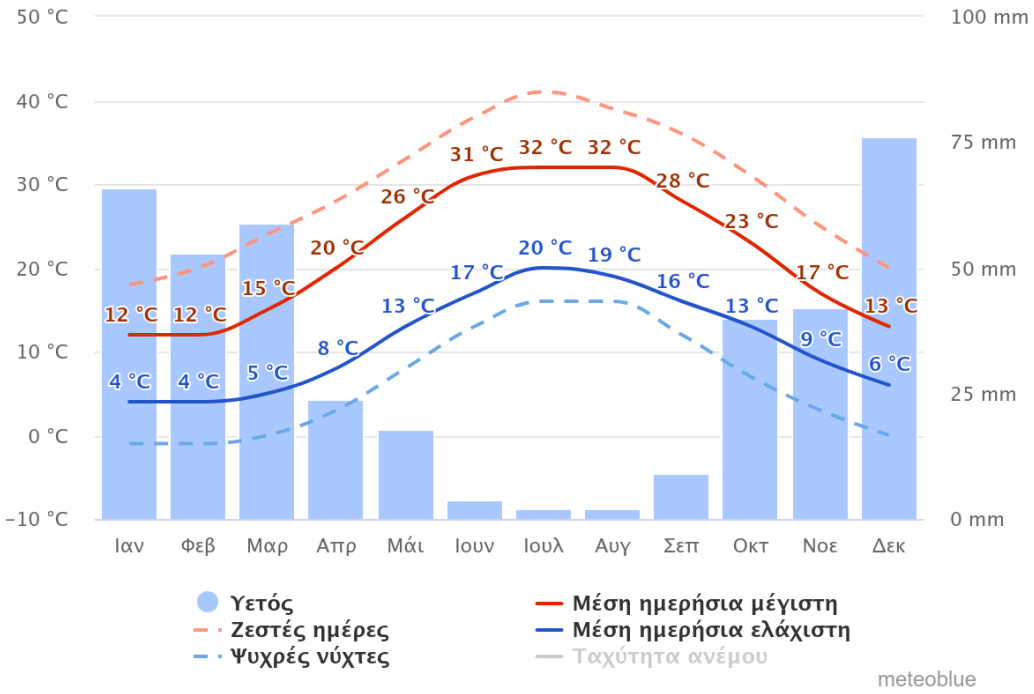


Υπόμνημα: 1: Μεταλπικοί σχηματισμοί. 2: Σχηματισμοί της Πελαγονικής Ζώνης (2.1: Φλύσχης, 2.2: Ασβεστόλιθοι του Ανώτερου Κρητιδικού, 2.3: Σχηματισμοί του Ηωελληνικού τεκτονικού καλύμματος, 2.4: Ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Μέσου–Ανώτερου Τριαδικού ως και του Ανώτερου Ιουρασικού, 2.5: Σχηματισμοί του Νεοπαλαιοζωικού–Μέσου Τριαδικού, 2.6: Κρυσταλλικό υπόβαθρο) 3: Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα (3.1: Σχιστόλιθοι Τσακαίων, 3.2: Μάρμαρα–Σιπολίνες Στύρων, 3.3: Σχηματισμοί Όχης, 3.4: Ενοποιημένοι σχηματισμοί του νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος) 4: Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροπόταμου–Αττικής 5: Γραμμή επώθησης.

Εικόνα 3.5: Γεωλογικός Χάρτης[16]

3.4 Κλίμα

Το κλίμα στον ελλαδικό χώρο είναι μεσογειακό με διάφορες εναλλαγές που εξαρτώνται από το υψόμετρο και την απόσταση της εκάστοτε περιοχής από την θάλασσα. Στο ίδιο πλαίσιο κυμαίνεται και η Βόρεια Εύβοια όπου παρατηρούνται ήπιοι υγροί χειμώνες και θερμά καλοκαίρια.[17]



Διάγραμμα 3.4: Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων-Σταθμός Προκοπίου [18]

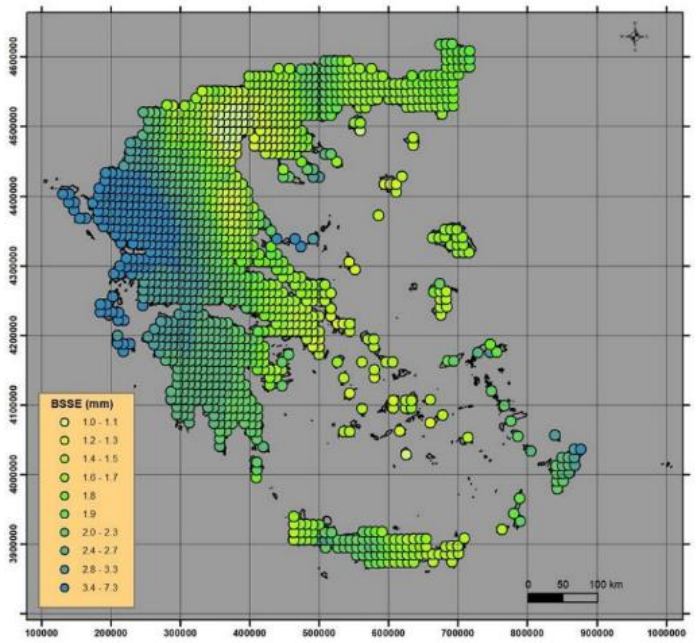
Ειδικότερα κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών παρατηρείται αυξημένος υετός με ύψη βροχής ≈60mm και σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες ενώ κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση μειώνεται αισθητά και οι θερμοκρασίες ανεβαίνουν. Σε τοπικό επίπεδο η πυκνή βλάστηση επηρεάζει το μικροκλίμα εξισορροπώντας τις ακραίες θερμοκρασίες και την ταχύτητα των ανέμων. Ως εκ τούτου θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν η αλλαγή των παραγόντων αυτών μετά την πυρκαγιά. [19]

3.5 Υδρολογία της περιοχής

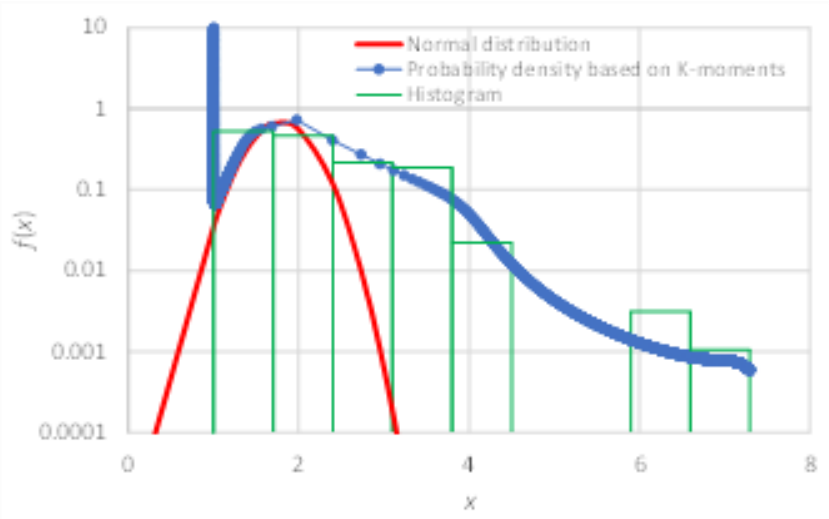
Το νερό, η ενέργεια και το φαγητό αποτελούν τους βασικούς παράγοντες της διατήρησης της ζωής στη γη. Τα στοιχεία αυτού του συμπλέγματος συσχετίζονται το ένα με το άλλο με αποτέλεσμα η αφθονία ή η έλλειψη ενός από αυτά να επηρεάζει την συνολική ισορροπία. Το νερό είναι ένα από τα βασικά στοιχεία του συμπλέγματος αυτού και για αυτό προκύπτει η ανάγκη υποδομών για την εκμετάλλευση του. Η διαθεσιμότητα των επιφανειακών υδάτων εξαρτάται κυρίως από την ένταση των βροχοπτώσεων στην εκάστοτε περιοχή. Πρόσφατα διεξήχθη έρευνα [20] που έδειξε τη γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα.

Θεωρώντας ότι η βροχόπτωση σηματοδοτεί τον πλούτο μιας περιοχής, αναλύθηκαν με ένα

Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, τα εικονιζόμενα δεδομένα που δείχνουν τις μέσες ποσότητες βροχόπτωσης μεταξύ των διαφόρων περιοχών της Ελλάδας. Προκειμένου να καταδειχθούν έντονες μεταβολές της βροχόπτωσης και να αποφευχθεί η κατασκευή ιστογράμματος που συνεπάγεται υποκειμενικότητα, στερείται λεπτομέρειας και ακρίβειας, οι ανισότητες ποσοτικοποιούνται με πυκνότητα πιθανότητας, εκτιμώμενη από ροπές K . [21]



Εικόνα 3.6:Γεωγραφική κατανομή της μέσης ημερήσιας βροχόπτωσης



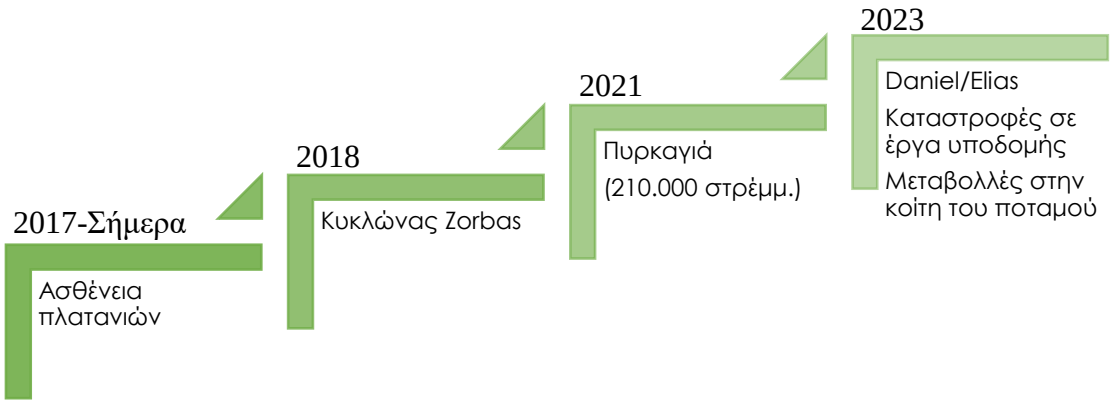
Διάγραμμα 3.5: Πυκνότητα πιθανότητας βροχόπτωσης που εκτιμάται από ροπές K

4 Περιβαλλοντικές προκλήσεις στη Βόρεια Εύβοια

Τα τελευταία χρόνια η Ελλάδα έχει υποβληθεί σε πολλές δοκιμασίες , οικολογικές και περιβαλλοντικές που έχουν οδηγήσει σε μεγάλες καταστροφές του φυσικού τοπίου και έχουν συνταράξει την οικονομία και την κοινωνία στο σύνολό τους [22]. Οι πυρκαγιές και ο πλημμύρες και οι ανεπαρκείς διαδικασίες πρόληψης και αντιμετώπισης των φαινομένων αυτών αποτελούν πηγή αγωνίας για μεγάλο μέρος του πληθυσμού της χώρας.

Μέσα στην τελευταία δεκαετία η βόρεια Εύβοια έχει πληγεί επανειλημμένα από φυσικές καταστροφές . Μετά το 2017, μια σοβαρή ασθένεια άρχισε να εξαλείφει τα πλατάνια (Platanus orientalis), τα οποία αναπτύσσονταν κατά μήκος των όχθων του ποταμού και βοηθούσαν στη σταθεροποίηση της ροής του νερού. Το 2018 ο κυκλώνας Zorbas «χτύπησε» την περιοχή με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν σοβαρά προβλήματα στην περιοχή. Ένα άλλο δραματικό γεγονός που έπληξε σοβαρά τη Βόρεια Εύβοια ήταν η πυρκαγιά που εκδηλώθηκε τον Αύγουστο του 2021 και έκαψε περίπου 210.000 στρέμματα [23].Επιπλέον, τον Σεπτέμβριο του 2023, η κακοκαιρίες Elias και Daniel έπληξαν την περιοχή, προκαλώντας σοβαρές ζημιές σε χωριά και καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Τα γεγονότα αυτά άλλαξαν δραστικά το έδαφος, προκαλώντας ποικίλες επιπτώσεις στις υδρολογικές λεκάνες της περιοχής.



4.1 Η ασθένεια των πλατανιών

Η νόσος *Ceratocystis Platani* είναι ένας μύκητας που βρίσκεται ειδικά στα είδη Platanus στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στην Ευρώπη. Στην Ελλάδα έχει επηρεάσει το είδος *Platanus Orientalis* και έχει σημαντικό αντίκτυπο στα παραποτάμια δάση. Γενετική ανάλυση η οποία εφαρμόστηκε σε απομονωμένους μύκητες από δείγμα στον Ελλαδικό χώρο έδειξε ότι είναι πανομοιότυπο με τον γονότυπο που παρατηρήθηκε στην Ιταλία, την Γαλλία και την Ελβετία. Το παθογόνο προκαλεί σημαντική θνησιμότητα των δέντρων σε συστάδες κατά μήκος ρεμάτων και ποταμών. Η ασθένεια φαίνεται να εξαπλώνεται μέσω της επαφής με τις ρίζες του τρεχούμενου νερού και πιθανώς των μολυσμένων εργαλείων κλαδέματος. Επιπλέον, το σκαθάρι "*Ambrosia Beetle*" είναι φορέας του παθογόνου και έχει παρατηρηθεί στην Ελλάδα να προσβάλλει φυτικά μέρη του πλατάνου. Με αυτό τον τρόπο έμμεσα μεταφέρει τον μύκητα και συμβάλει στην μόλυνση των δέντρων. Στην Ελλάδα, οι επιθέσεις σκαθαριών "*Ambrosia Beetle*" σε άρρωστα πλατάνια ενδέχεται να είναι ένας από τους λόγους που το παθογόνο εξαπλώνεται πιο γρήγορα απ' ότι σε άλλες χώρες (Ιταλία, Γαλλία, Ελβετία) όπου ο κύριος παράγοντας εξάπλωσης φαίνεται να είναι η μετακίνηση του C.Platani μέσω του νερού. [24].

Η έντονη μείωση της παραποτάμιας βλάστησης δημιουργεί σημαντικές μεταβολές στο φυσικό τοπίο καθώς επηρεάζει και τα χαρακτηριστικά του εδάφους της πληγείσας περιοχής. Τα πλατάνια κατά μήκος της όχθης αντιστέκονται στην ροή του νερού και συμβάλουν στην τραχύτητα του εδάφους , που συχνά ποσοτικοποιείται ως συντελεστής τραχύτητας του Manning (n). Επιπλέον τα ριζικά συστήματα των δέντρων βοηθούν στη σταθεροποίηση των όχθων των ποταμών και στην πρόληψη της διάβρωσης. Όταν αυτά τα δέντρα εξαλειφθούν η συνολική βλαστική αντίσταση μειώνεται, μειώνοντας ενδεχομένως την τιμή του Manning (n)[25].

Με τραχύτητα μειωμένη εδάφους , ο ποταμός θα μπορούσε να βιώσει ταχύτερους ρυθμούς ροής υπό κανονικές συνθήκες, αλλά αυτό μπορεί να αλλάξει κατά τη διάρκεια πλημμυρών, ειδικά εάν συσσωρεύονται ιζήματα ή εάν η διάβρωση της όχθης γίνει σημαντική. Στην περίπτωση της λεκάνης του Νηλέα, όπου τα πλατάνια εξαφανίστηκαν μετά την φωτιά, η αρχική μείωση της τραχύτητας μπορεί να δώσει τη θέση της σε αυξημένη ιζηματογένεση και αστάθεια της όχθης, επηρεάζοντας μελλοντικά πλημμυρικά πρότυπα[26].

Οι επιλογές μείωσης του κινδύνου για το για το Ceratocystis Platani στην ΕΕ περιλαμβάνουν τα ακόλουθα [27]:

- Σύστημα πιστοποίησης για την παραγωγή φυτών Platanus που προορίζονται για φύτευση: Η εφαρμογή ενός συστήματος πιστοποίησης για φυτά όταν προορίζονται για

φύτευση μπορεί να συμβάλλει στην διασφάλιση του εμπορίου μόνο υγιών και απαλλαγμένων από ασθένειες φυτών μειώνοντας τον κίνδυνο εισαγωγής του C.Platani.

- Επέκταση των μέτρων στις πληγείσες αναπτυσσόμενες χώρες και η συμπερίληψη των καυσόξυλων στους κανονισμούς που αφορούν την ξυλεία μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη της εξάπλωσης του μύκητα.
- Εφαρμογή κανονιστικού πλαισίου για τα μηχανήματα: Ένα νέο κανονιστικό πλαίσιο για την απολύμανση των εργαλείων και του εξοπλισμού μπορεί να συμβάλλει στην μείωση του κινδύνου εξάπλωσης μέσω αυτού του μηχανισμού. Τα μηχανήματα πρέπει είτε να προέρχονται από περιοχές στις οποίες δεν έχει παρατηρηθεί κάποιο παθογόνο είτε να καθαρίζονται, να απολυμαίνονται και να είναι απαλλαγμένα από φυτικά υπολείμματα τόσο όταν ,μεταφέρονται σε περιοχές όπου καλλιεργούνται δέντρα πλάτανου όσο και κατά την φύτευση του κάθε δέντρου ξεχωριστά.
- Μέτρα εκρίζωσης: Θα πρέπει να εφαρμόζονται βελτιστοποιημένες διαδικασίες εκρίζωσης ώστε να εξασφαλιστεί η μείωση δυνητικών ιδρυτικών πληθυσμών μειώνοντας τη μεταφορά του παθογόνου παράγοντα σε κατάλληλους ξενιστές στην ΕΕ.
- Φύτευση ανθεκτικών κλώνων Platanus στις πληγείσες περιοχές: Η εισαγωγή ανθεκτικών κλώνων Platanus σε νέες φυτείες στις πληγείσες περιοχές μπορεί να συμβάλει στον μετριασμό των επιπτώσεων του C. platani. Οι ανθεκτικοί κλώνοι είναι λιγότερο ευαίσθητοι στον παθογόνο παράγοντα και μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη της εξάπλωσης της νόσου.
- Εναρμόνιση και βελτίωση των μέτρων έκτακτης ανάγκης: Τα μέτρα έκτακτης ανάγκης που εφαρμόζονται από τα κράτη μέλη της ΕΕ που πλήττονται από τον μύκητα (Γαλλία, Ελλάδα και Ιταλία) θα μπορούσαν να εναρμονιστούν και να βελτιωθούν. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη διασφάλιση συντονισμένης και αποτελεσματικής αντιμετώπισης της νόσου.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτές οι επιλογές μείωσης του κινδύνου προσδιορίστηκαν με βάση την αξιολόγηση που διενεργήθηκε από την ομάδα της EFSA για την υγεία των φυτών. Η αποτελεσματικότητα αυτών των επιλογών μπορεί να ποικίλει και ενδέχεται να απαιτείται περαιτέρω έρευνα και παρακολούθηση για την αξιολόγηση των επιπτώσεών τους.

Η εμφάνιση της νόσου στην Βόρεια Εύβοια εκτιμάται γύρω στα μέσα της δεκαετίας του 2010. Στον τομέα της διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας, οι μακροχρόνιες αλλοιώσεις στο τοπίο και τη βλάστηση κοντά στον ποταμό αποτελούν πηγή ανησυχίας τόσο για τους ερευνητές όσο και για τους κατοίκους της περιοχής. Δεδομένου ότι ένας σημαντικός αριθμός πλατάνων ευδοκιμεί κατά μήκος των όχθων του ποταμού, το αντίκτυπο στην πλημμυρική περιοχή και στους συντελεστές τραχύτητας του ποταμού είναι σημαντικό. Επίσης, υπάρχει αύξηση του φορτίου καθίζησης στην πληγείσα περιοχή [28].

5/2015

6/2017

4/2021

6/2022

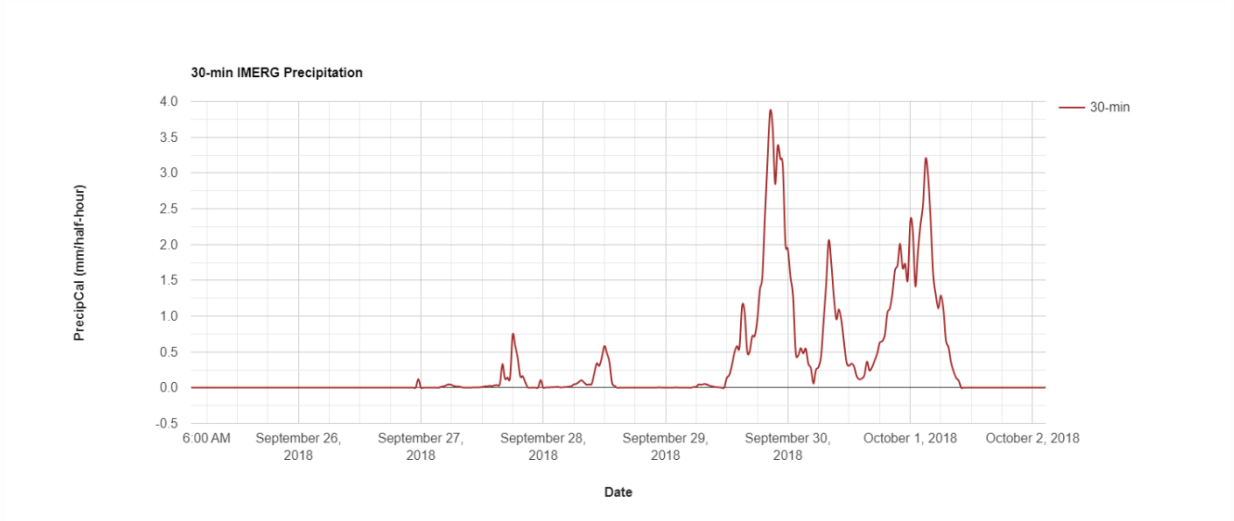
Εικόνα 4.1:Η εξέλιξη της νόσου στα πλατάνια

Εικόνα 4.2 :Η κοίτη του ποταμού πριν από τα μέσα της δεκαετίας του 2010 και το 2022 στις εκβολές του ποταμού Βούδουρου

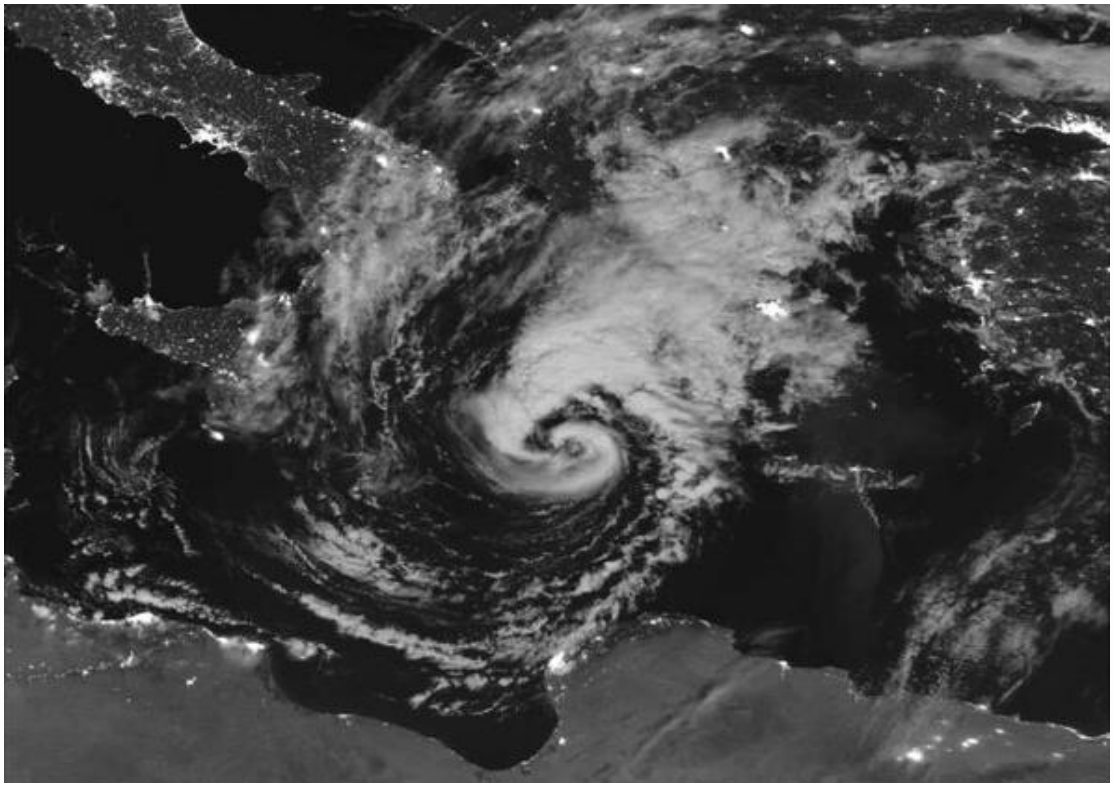
4.2 Κυκλώνας Ζορμπάς

Οι μεσογειακοί τυφώνες (medicanes) είναι τροπικοειδείς κυκλώνες που συμβαίνουν στη Μεσόγειο θάλασσα. Εμφανίζουν χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των τυφώνων, όπως τον θερμό πυρήνα και την περιοχή όπου σχηματίζεται το «μάτι» του κυκλώνα. Σε αντίθεση με τους τυφώνες δημιουργούνται πάνω από ψυχρότερα νερά και επηρεάζονται από διαφορετική ατμοσφαιρική δύναμη. Οι Μεσογειακοί τυφώνες μπορούν να φέρουν ισχυρούς ανέμους, έντονες βροχοπτώσεις και ψηλά κύματα επηρεάζοντας περιοχές γύρω από το λεκανοπέδιο της Μεσογείου. Η διαδικασία του σχηματισμού και η εξέλιξή των κυκλώνων αυτών μπορεί να είναι πολύπλοκη και δύσκολο να προβλεφθεί με ακρίβεια λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν σε όλη την Μεσόγειο [29].

Ο κυκλώνας «Ζορμπάς» ήταν ένας κυκλώνας που έπληξε τη Μεσόγειο το φθινόπωρο του 2018. Χαρακτηρίστηκε από ισχυρές καταιγίδες και πλημμύρες και έφτασε στη μέγιστη έντασή του στις 29 Σεπτεμβρίου 2018 [30]. Συγκεκριμένα στη βόρεια Εύβοια πολλές καλλιέργειες και περιουσίες καταστράφηκαν λόγω της υπερχείλισης του ποταμού Κηρέα. Η πλημμύρα λόγω του Ζορμπά είχε καταστροφικές επιπτώσεις σε ολόκληρη την περιοχή καθώς και την απώλεια ανθρώπινων ζωών [31].



Διάγραμμα 4.1: Ύψη βροχής κατά τον μήνα Σεπτέμβριο, 2018[32]



Εικόνα 4.3:Δορυφορική εικόνα του MTLC ZORBAS στις 29 Σεπτεμβρίου 2018[33]

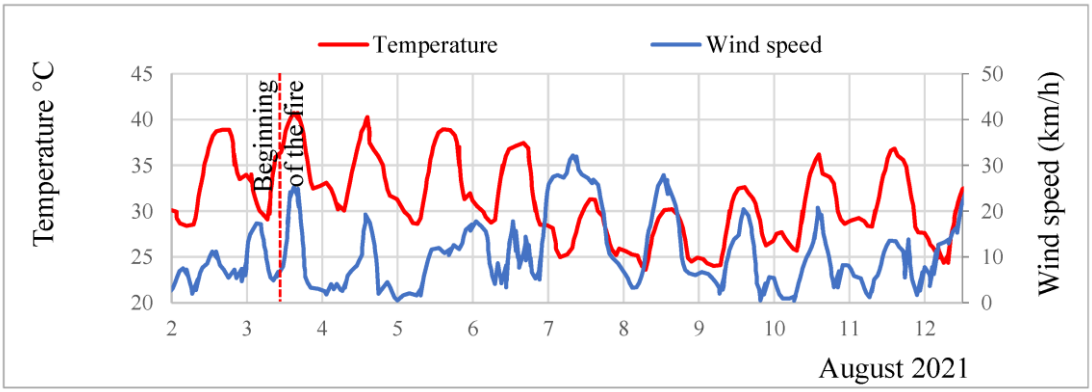
4.3 Δασικές πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα οικοσυστήματα της πληγείσας περιοχής ανάλογα με την ένταση την διάρκεια και την συχνότητα τους. Μπορεί να κυμαίνονται από μικρές φωτιές έως καταστροφικές πυρκαγιές με σοβαρές επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους και στις λεκάνες απορροής. Η πυρκαγιά επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ροή του νερού μειώνοντας τα πεδία αναχαίτησης της ροής προς τα κατάντη και δημιουργώντας μεγάλη απορροή ακόμα και την περίπτωση μικρότερων καταιγίδων. Επιπλέον σε ορισμένες περιπτώσεις εξαλείφει προσωρινά την εκπομπή υδρατμών, αυξάνει την υγρασία του εδάφους και τη ροή στα ρεύματα, και μειώνει τη διείσδυση του εδάφους.

Οι περιβαλλοντικές προκλήσεις και διαταραχές, όπως οι πυρκαγιές, έχουν ποίκιλλες επιπτώσεις που εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες όπως το κλίμα, οι βροχοπτώσεις , η γεωλογία , τα εδάφη και τα είδη των δέντρων. Τα χαρακτηριστικά της ροής του νερού φαίνεται να αυξάνουν τις τιμές τους έπειτα από την καταστροφή μεγάλων δασικών περιοχών, με περίοδο επαναφοράς η οποία μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ λίγων χρόνων και δεκαετιών. Οι πυρκαγιές μπορούν να αυξήσουν τις μέγιστες ροές πλημμυρών πολύ πέρα από το κανονικό εύρος μεταβλητότητας που παρατηρείται στις λεκάνες απορροής με πλήρη βλάστηση. Οι μέγιστες αυξήσεις της ροής κατά

10 έως 100 φορές είναι συχνές, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί έως και 2.300 φορές μεταβολή στις συνθήκες πριν από τη φωτιά.

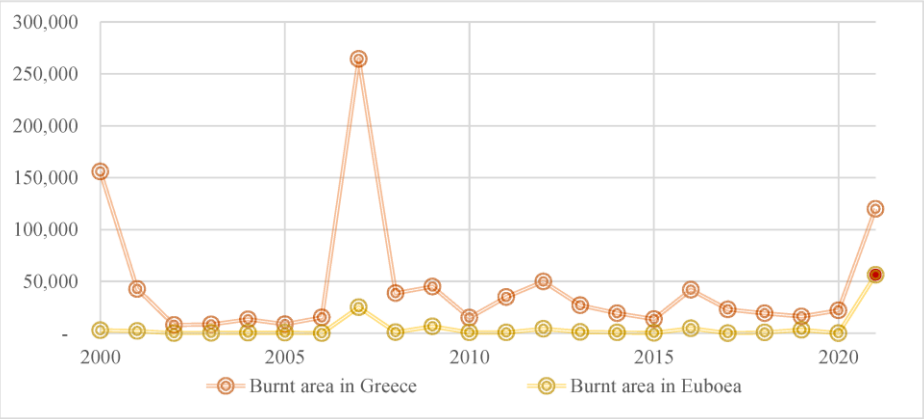
Η καθαρή επίδραση των αυξημένων ροών αιχμής στα συστήματα λεκανών απορροής και στον υδρόβιο οικότοπο είναι συνάρτηση της καμένης περιοχής, των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής και της σοβαρότητας της πυρκαγιάς. Μικρές περιοχές σε επίπεδο έδαφος που υπόκεινται σε προδιαγεγραμμένες πυρκαγιές μπορεί να έχουν μικρή επίδραση στους υδάτινους πόρους, ενώ μεγάλες περιοχές σε απότομο έδαφος που καίγονται σε υψηλή σοβαρότητα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις[34].



Διάγραμμα 4.2:Θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου στην περιοχή της Εύβοιας -Αύγουστος 2021

Το καλοκαίρι του 2021 ήταν ένα από τα πιο καταστροφικά και δυσάρεστα στη μνήμη των κατοίκων της Ελλάδας και ιδιαίτερα της βόρειας Εύβοιας [35]. Οι μεγάλες πυρκαγιές που ξέσπασαν στην περιοχή προκάλεσαν μια καταστροφή τρομακτικών διαστάσεων, επηρεάζοντας το φυσικό περιβάλλον, τα αγροτικά τοπία και τις κοινότητες που καλούνται να αντιμετωπίσουν ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της σύγχρονης Ελλάδας: τις δασικές πυρκαγιές. Η Εύβοια αποτελεί ένα τόπο που χαρακτηρίζεται από την πλούσια βλάστηση, την εύφορη γη και τα άγρια δάση. Ωστόσο η αστικοποίηση και η εγκατάλειψη της υπαίθρου προκαλούν σημαντικά προβλήματα στην συντήρηση των πευκοδασών. Τα τελευταία χρόνια οι κάτοικοι της περιοχής έχουν μειώσει την τριβή που είχα παλαιότερα με τα δάση (για βόσκηση αιγών και βοοειδών, συλλογή ρετσινιού των δέντρων, κοπή δέντρων για ξυλεία και διάφορα άλλα είδη καλλιεργειών και κτηνοτροφίας) με αποτέλεσμα τα δάση να αποτελούν πλέον τεράστιες συστάδες δέντρων [36] με άφθονη καύσιμη ύλη και ευάλωτες σε εν δυνάμει πυρκαγιές.

Μεγάλες πυρκαγιές στην Εύβοια σημειώθηκαν το 1977, το 2007 και το 2021 [37].



Διάγραμμα 4.3:Η εξέλιξη των πυρκαγιών στην Ελλάδα και την Εύβοια (2000–2021)

Οι επιπτώσεις της πυρκαγιάς του 2021 που εκδηλώθηκε στη Βόρεια Εύβοια είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της αναχαίτισης του νερού, την αύξηση της απορροής, την αλλοίωση των χαρακτηριστικών του εδάφους και την αύξηση του όγκου και της αιχμής της ομβριακής ροής[6]. Επιπλέον, σημειώθηκαν σημαντικές αυξήσεις, επηρεασμένες από την ένταση της πυρκαγιάς και τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Συνολικά, κάηκε έκταση 125,48 km².

Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Νηλέα, το 68% της συνολικής έκτασης επηρεάστηκε από την πυρκαγιά, μεταβάλλοντας τη ροή των ποταμών και επιδεινώνοντας την κατάσταση κατά την διάρκεια των πλημμυρικών γεγονότων.

Εικόνα 4.4:α) Η έκταση της δασικής πυρκαγιάς το 2021 β) Η καμένη έκταση στη λεκάνη απορροής του ποταμού Νηλέα

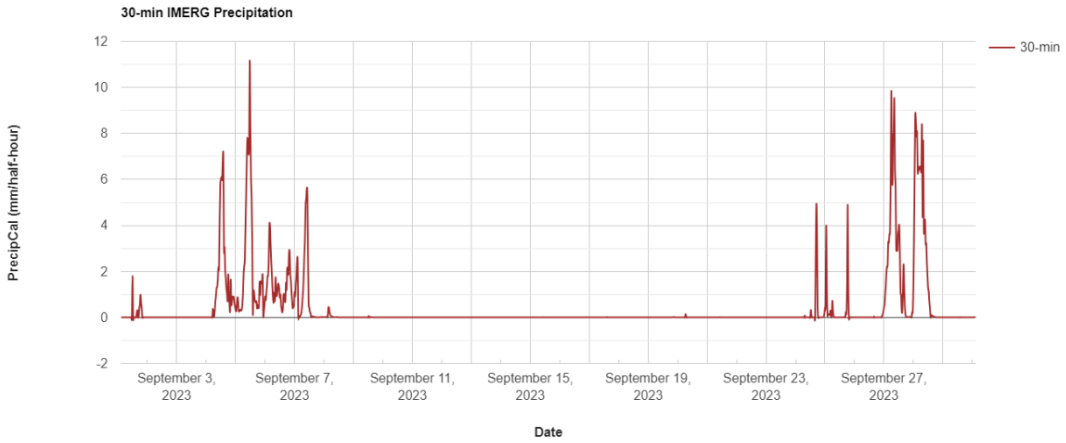
Εικόνα 4.5:Τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Νηλέα τον Αύγουστο του 2020 (πριν από την πυρκαγιά, στα αριστερά) και τον Αύγουστο του 2021 (μετά την πυρκαγιά στα δεξιά)

4.4 Καταιγίδες Daniel-Elias

Τον Σεπτέμβριο του 2023 δύο ακραία καιρικά φαινόμενα έπληξαν την Ελλάδα δημιουργώντας έντονα πλημμυρικά φαινόμενα σε ολόκληρη την χώρα.

Η κακοκαιρία Daniel ξεκίνησε στις 4 Σεπτεμβρίου και διήρκησε μέχρι τις 12 Σεπτεμβρίου. Το ακραίο αυτό καιρικό φαινόμενο είχε έντονες επιπτώσεις τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Τουρκία, στη Βουλγαρία, και ιδιαίτερα στη Λιβύη[38]. Στην Ελλάδα, η κακοκαιρία προκάλεσε σημαντικές καταστροφές, ειδικά στη Θεσσαλία και την Εύβοια, όπου η υπερχείλιση ποταμών και οι έντονες βροχοπτώσεις οδήγησαν σε πλημμύρες που κατέστρεψαν οδικό και ηλεκτρικό δίκτυο, σπίτια και γεωργικές καλλιέργειες[39].

Συνολικά στην Ελλάδα, η κακοκαιρία "Daniel" είχε ως αποτέλεσμα τουλάχιστον 17 νεκρούς και προκάλεσε μεγάλες υλικές ζημιές. Η κακοκαιρία ήταν τόσο έντονη λόγω του φαινομένου "μπλοκ Ωμέγα", το οποίο προκάλεσε τη στασιμότητα του καιρικού συστήματος στην περιοχή, επιτρέποντας τη συνεχή άντληση υγρού αέρα από τη Μεσόγειο Θάλασσα, ενισχύοντας έτσι τη διάρκεια και την ένταση των φαινομένων[40]. Συγκεκριμένα στην στη βόρεια Εύβοια, περιοχές όπως το Μαντούδι, το Προκόπι, και οι Γούβες επλήγησαν σοβαρά και υπέστην μεγάλες καταστροφές.



Διάγραμμα 4.4: Ύψη βροχής κατά τον μήνα Σεπτέμβριο, 2023

Η κακοκαιρία Elias έπληξε την Εύβοια στο τέλος Σεπτεμβρίου 2023, προσθέτοντας επιπλέον καταστροφές στις ήδη πληγείσες περιοχές από την προηγούμενη κακοκαιρία. Οι βροχοπτώσεις ήταν εξίσου έντονες και προκάλεσαν νέες πλημμύρες, καταπτώσεις και ζημιές σε υποδομές. Οι περιοχές της κεντρικής και βόρειας Εύβοιας βίωσαν έντονες βροχοπτώσεις, με πολλούς δρόμους να γίνονται αδιάβατοι και πολλές κοινότητες να αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα[41]. Σε πολλούς δήμους και κοινότητες παρατηρήθηκαν μεγάλα ύψη βροχής. Συγκεκριμένα, η Λίμνη έλαβε 216 mm μέσα σε διάστημα 7 ωρών, ενώ η Ιστιαία κατέγραψε 140 mm σε διάστημα 3,5 ωρών. Σύμφωνα με την ΕΡΤ, χωριά στο νησί της Εύβοιας επλήγησαν από πλημμύρες και δρόμοι υπέστησαν ζημιές, επιδεινώνοντας τις προκλήσεις που αντιμετώπισε μετά τις πυρκαγιές του 2021[42].

Εικόνα 4.6: Επιπτώσεις της πλημμύρας στο τοπίο

5 Έρευνα πεδίου

5.1 Γενικά

Στην εποχή της ψηφιακής τεχνολογίας, η έρευνα των μηχανικών έχει εξελιχθεί σημαντικά μέσω της χρήσης υπολογιστικών μοντέλων και προγραμμάτων προσομοίωσης. Αυτή η προσέγγιση έχει επιταχύνει την πρόοδο της επιστήμης, επιτρέποντας την ανάλυση και τον σχεδιασμό πολύπλοκων συστημάτων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Ωστόσο, παρά τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα, η εξάρτηση από τα ψηφιακά μέσα εγείρει σοβαρούς κινδύνους, όπως η λογοκλοπή και η πιθανή παραβίαση της επιστημονικής δεοντολογίας. Οι ερευνητές συχνά υιοθετούν παρόμοιες προσεγγίσεις και μεθοδολογίες, γεγονός που καθιστά δυσκολότερη την αναγνώριση της πρωτοτυπίας και της καινοτομίας των επιμέρους μελετών. Επομένως, η επαλήθευση της εγκυρότητας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων μέσω επιτόπιας έρευνας είναι επιτακτική ανάγκη.

Η επιτόπια έρευνα πεδίου παρέχει τη δυνατότητα να επιβεβαιωθούν τα υπολογιστικά ευρήματα και να αξιολογηθεί η πραγματική δυνατότητα εφαρμογή των προτεινόμενων λύσεων. Ειδικότερα, οι μηχανικοί μπορούν να συλλέξουν πρωτογενή δεδομένα, να εξετάσουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες και να εντοπίσουν παράγοντες που ενδεχομένως παραλείπονται στα υπολογιστικά μοντέλα. Επιπλέον, η φυσική παρουσία στον χώρο μελέτης ενισχύει την κατανόηση των τοπικών ιδιαιτεροτήτων και επιτρέπει την αξιολόγηση των επιπτώσεων των σχεδιαστικών επιλογών στο πραγματικό περιβάλλον.[43] Μέσω της συνδυαστικής χρήσης υπολογιστικών εργαλείων και επιτόπιων ερευνών, οι μηχανικοί μπορούν να διασφαλίσουν την επιστημονική ακρίβεια και τη δεοντολογική ακεραιότητα των ερευνών τους, προωθώντας ταυτόχρονα την ανάπτυξη και την καινοτομία στην επιστήμη των κατασκευών. Έναυσμα για την προσέγγιση αυτή υπήρξε αντίστοιχη έρευνα πεδίου που είχε προηγηθεί σε άλλο μέρος της Ελλάδας στο πλαίσιο του μαθήματος «Ολοκληρωμένο θέμα υδραυλικού σχεδιασμού»[44,45].

5.2 Πρώτη έρευνα πεδίου

Μετά τον κυκλώνα Ζορμπά, τις καταστροφικές πυρκαγιές του 2021 καθώς και την εν εξελίξει ασθένεια των πλατανιών θεωρήθηκε απαραίτητη μία επιτόπια ερεύνα πεδίου (αυτοψία) ώστε να εξεταστούν η ροή του ποταμού και η κοίτη. Τον Απρίλιο του 2023 πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στην Βόρεια Εύβοια με σκοπό την συλλογή δεδομένων από το πεδίο και την παρατήρηση του ποταμού σε ορισμένα σημεία της περιοχής μελέτης. Κατά την πρώτη αυτή επαφή με την περιοχή μελέτης παρατηρήθηκε εκτεταμένο πρόβλημα κατά μήκος του ποταμού Νηλέα λόγω της ασθένειας των παραποτάμιων δέντρων. Επιπλέον η φωτιά φαίνεται να επηρέασε το μεγαλύτερο μέρος του κλάδου που εξετάστηκε.

Ο κλάδος του ποταμού που μελετάται ξεκινά από την συμβολή του Νηλέα με τον Κηρέα ,

περίπου ένα χιλιόμετρο βόρεια του χωριού Μαντουδίου και εκτείνεται μέχρι πλησίον του χωριού Αμέλαντες.

Εικόνα 5.1:Ποταμος Νηλέας-Κλάδος ενδιαφέροντος

Διάγραμμα 5.1:Προφίλ ανύψωσης ποταμού

Συνολικά λήφθηκαν 23 σημεία στην πλειοψηφία τους κατά μήκος του ποταμού αλλά και από την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος(βλ.96)

Θέσεις	Μοίρες		Δεκαδική Μορφή		ΕΓΣΑ'87	
	Μήκος	Πλάτος	Μήκος	Πλάτος	X	Y
Θέση 1	38°47'17"N	23°24'51"E	38,78805556	23,41416667	448971,392	4293133,165
Θέση 2	38°47'00"N	23°24'23"E	38,78333333	23,40638889	448292,484	4292613,5
Θέση 3	38°46'59"N	23°23'53"E	38,78305556	23,39805556	447568,475	4475684,755
Θέση 4	38°46'59"N	23°23'36"E	38,78305556	23,39333333	447158,316	4292590,116
Θέση 5	38°47'07"N	23°23'31"E	38,78527778	23,39194444	447039,320	4292837,514

Πίνακας 5.1:Ενδεικτικός πίνακας σημείων ενδιαφέροντος

5.3 Δεύτερη έρευνα πεδίου

Τον Νοέμβριο του 2023 έπειτα από τα έντονα καιρικά φαινόμενα κατά την διάρκεια του Σεπτεμβρίου κρίθηκε απαραίτητο να επαναληφθεί η επίσκεψη στην περιοχή μελέτης καθώς, σύμφωνα με μαρτυρίες, οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες είχαν μεταβάλλει εμφανώς το τοπίο. Κατά την δεύτερη έρευνα στο πεδίο για την ορθότητα της των αποτελεσμάτων της σύγκρισης η συλλογή δεδομένων έγινε στα ίδια τοπόσημα που είχαν επιλεγεί κατά την πρώτη επίσκεψη ,τον Απρίλιο. Επιπλέον αυτών μελετήθηκαν και κάποιες θέσεις κατάντη της συμβολής των κύριων ποταμών (Νηλέα και Κηρέα), κατά μήκος του ποταμού Βούδουρου. Στον συγκεκριμένο κλάδο, από την συμβολή μέχρι και το δέλτα του ποταμού παρατηρήθηκαν μεγάλες μεταβολές στην κοίτη, καταστροφές σε υποδομές και καλλιέργειες καθώς και μεγάλη ποσότητα φερτών που κατέληξαν στην θάλασσα. Μέσω φωτογραφικού υλικού εντοπίζονται οι διαφορές και τα προβλήματα που προέκυψαν μετά τις πλημμύρες(βλ.12.2).

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 13</td><td rowspan="4"> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°49'15"N</td></tr>
<tr><td>23°22'53"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446149,21875529
4296789,2373994</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου/κατολίσθηση</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Πίνακας 5.2:Σύγκριση κοίτης ποταμού

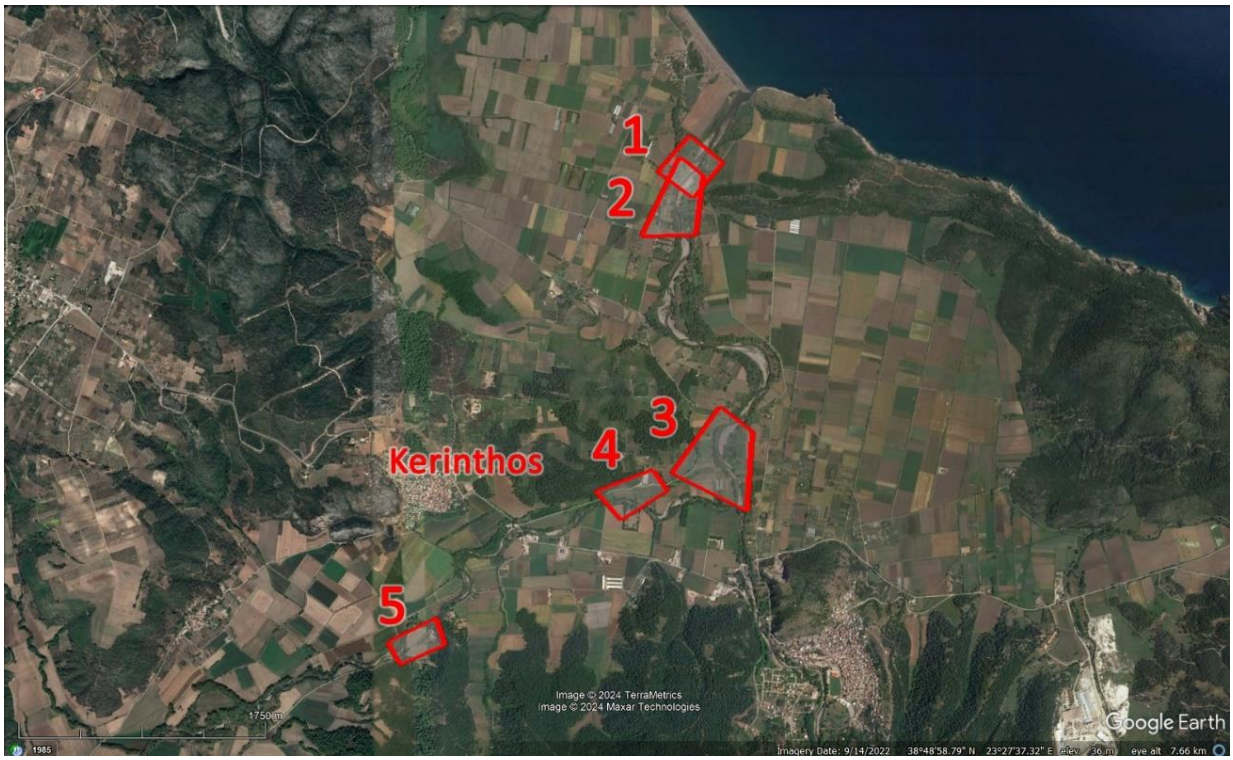
5.4 Τρίτη έρευνα πεδίου

Σε συνέχεια των παραπάνω αυτοψιών και για λόγους πληρότητας διεξήχθη μία ακόμα συμπληρωματική έρευνα στην οποία εντάχθηκαν και εργαλεία ψηφιακής αποτύπωσης για την καλύτερη τεκμηρίωση των συμπερασμάτων. Για να περιγραφούν οι αρχικές συνθήκες του εδάφους, το πρώτο βήμα περιλαμβάνει την εξέταση της αναπαράστασής της περιοχής μελέτης στο Google Earth καθώς και την σύγκριση χαρτών από το αρχείο του. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει μία γενική εικόνα των μεταβολών ανά τα χρόνια. Τέτοιες εικόνες χρησιμοποιήθηκαν και για να εκτιμηθεί η ευπάθεια του τοπίου στη λεκάνη απορροής του Νηλέα και για την εκτίμηση των επιπτώσεων της νόσου στα πλατάνια. Μέσω των ιστορικών χαρτών πάρθηκαν επίσης πληροφορίες σχετικά με πιθανές μεταβολές της χλωρίδας στις κοίτες των ποταμών κατά τη διάρκεια πλημμυρών, υποδεικνύοντας πιθανά σημεία αστοχίας.

Οι αρχικές επιτόπιες επιθεωρήσεις πραγματοποιήθηκαν τον Απρίλιο του 2023, ακολουθούμενες από έναν δεύτερο γύρο επιθεωρήσεων τον Νοέμβριο του 2023, μετά τις πλημμύρες που προκλήθηκαν από την καταιγίδα Daniel και Elias. Στόχος ήταν να ενισχυθεί η οπτική αναπαράσταση των αλλαγών στη λεκάνη απορροής για να τονιστεί το μέγεθος των μεταβολών λόγω των πλημμυρών.

Ο συνδυασμός χαρτών, δορυφορικών εικόνων και φωτογραφιών από την επίσκεψη στην περιοχή μελέτης περιγράφει λεπτομερώς τη μείωση των δασικών εκτάσεων, τα σημεία διάβρωσης και τις αλλαγές στην κοίτη και τις εκβολές του ποταμού. Με την οπτικοποίηση αυτών των αλλαγών, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα το εξελισσόμενο τοπίο της πλημμυρικής πεδιάδας του ποταμού και τη δυναμική του, επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματικότερη επεξεργασία δεδομένων για τον μετριασμό των επιπτώσεων τέτοιων γεγονότων.

Τελευταίο στάδιο της έρευνας αποτελεί η αποτύπωση του υποβάθρου σε τρισδιάστατο μοντέλο. Επιλεγμένα τμήματα της πληγείσας περιοχής καταγράφηκαν αρχικά μέσω πολλαπλών διαδοχικών εικόνων με ένα εμπορικό drone χαμηλού κόστους. Αυτές οι φωτογραφίες στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε επεξεργασία μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής KIRIENGINE, η οποία χρησιμοποιεί φωτογραμμετρία για τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Οι φωτογραφίες του drone μεταφορτώθηκαν σε μια διαδικτυακή πλατφόρμα και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία για τη δημιουργία 3D μοντέλων. Μόλις εισαχθούν τα δεδομένα φωτογραμμετρίας, μια εφαρμογή που εξάγει τα μοντέλα 3D επιτρέπει τη σύγκριση παρόμοιων όψεων του μοντέλου με την πληγείσα περιοχή. Στην συνέχεια οι φωτογραφίες αυτές επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού ανοικτού κώδικα “Blender”[46] η οποία χρησιμοποιεί την φωτογραμμετρία για την δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων. Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή των φωτογραμμετρικών δεδομένων, τα εργαλεία που είναι ενσωματωμένα στην εφαρμογή επιτρέπουν τη βελτίωση των μοντέλων, τη διόρθωση τυχόν προβλημάτων και την ενσωμάτωσή τους σε μεγαλύτερα έργα. Η εξαγωγή των 3D μοντέλων επιτρέπει την ταχεία αξιολόγηση της πληγείσας περιοχής, διευκολύνοντας τη μελέτη και την πρόταση υποδομών έκτακτης ανάγκης.



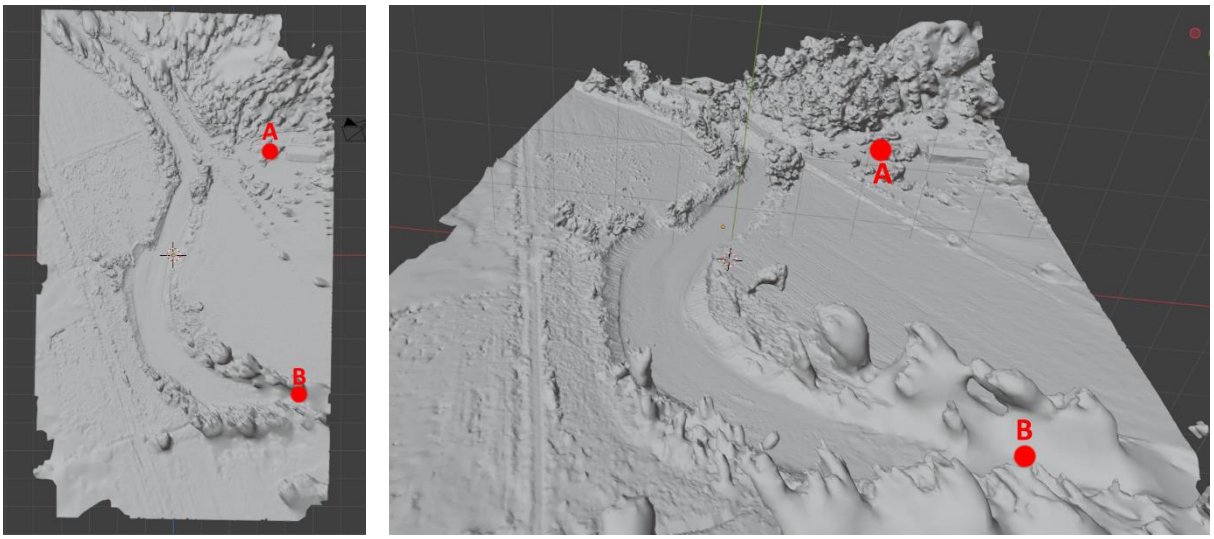
Εικόνα 5.2: Επιλεγμένες περιοχές δημιουργίας 3D μοντέλου της κοίτης του ποταμού κοντά στο χωριό Κήρινθος στη Βόρεια Εύβοια

(α) (β)

Εικόνα 5.3:Η περιοχή μελέτης στο Google Earth (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°47'59.84" N, 23°26'42.23" E; Β: 38°47'57.14" N, 23°26'33.39" E; Ημερομηνία: 29.8.2020

(α) (β)

Εικόνα 5.4:Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.[47] Ημερομηνία: 2.5.2024



(α) (β)

Εικόνα 5.5: Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

5.5 Ευρήματα και ανάλυση/ Επιπτώσεις στη διαχείριση των υδάτων

Ο κύριος ερευνητικός στόχος των αλλεπάλληλων ερευνών στο πεδίο είναι η βαθύτερη κατανόηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου μετά την πλημμύρα και η καταγραφή σημαντικών αλλαγών. Οι επισκέψεις στο πεδίο διευκολύνουν τις συγκρίσεις με προηγούμενα γεγονότα, βελτιώνοντας την κατανόηση των εξελισσόμενων περιβαλλοντικών δυναμικών.

Οι έρευνες αυτές υπογραμμίζουν τη σημασία των επιτόπιων επιθεωρήσεων ως εργαλείο για την καταγραφή των υφιστάμενων συνθηκών και την αξιολόγηση των επιπτώσεων από φυσικές καταστροφές. Στην περίπτωση της Βόρειας Εύβοιας, οι παρατηρήσεις έδειξαν σημαντικές αλλαγές στο πλάτος της κοίτης του ποταμού, συσσώρευση ιζημάτων στο δέλτα του ποταμού Βουδούρου και μεταβολές στο φυσικό τοπίο κατά μήκος του ποταμού και της παραλίας. Η καταστροφή γεωργικής γης και η κατάρρευση δρόμων προκάλεσαν σοβαρά προβλήματα για τους τοπικούς κατοίκους, επηρεάζοντας αρνητικά την τοπική οικονομία και τις καθημερινές τους ζωές. Οι έντονες βροχοπτώσεις, σε συνδυασμό με τις καταστροφικές πυρκαγιές και τις ασθένειες των πλατανιών, ανέδειξαν την ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου και βελτίωσης των υποδομών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης καταδεικνύουν την ανάγκη για προληπτικά μέτρα και αποτελεσματική διαχείριση των κινδύνων που απορρέουν από τις φυσικές καταστροφές. Οι δραματικές αλλαγές στις κοίτες των ποταμών και η απώλεια γεωργικής γης έχουν σοβαρές συνέπειες για τις τοπικές κοινότητες, τόσο οικονομικά όσο και οικολογικά[48]. Η αξιοποίηση της τοπικής γνώσης, η μοντελοποίηση των συνθηκών ροής των ποταμών και η ταυτοποίηση των αδύνατων σημείων μπορούν να οδηγήσουν σε καλύτερο σχεδιασμό και κατασκευή υποδομών.

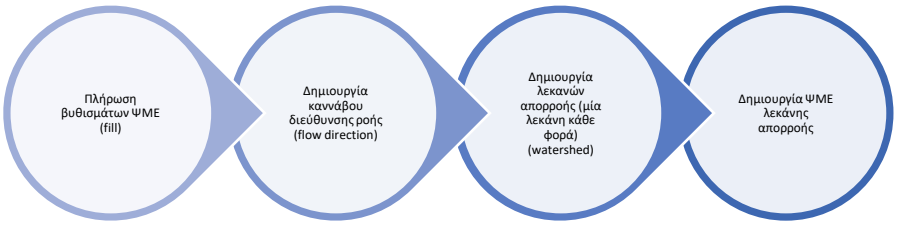
6 Ανάλυση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών

6.1 Μεθοδολογία

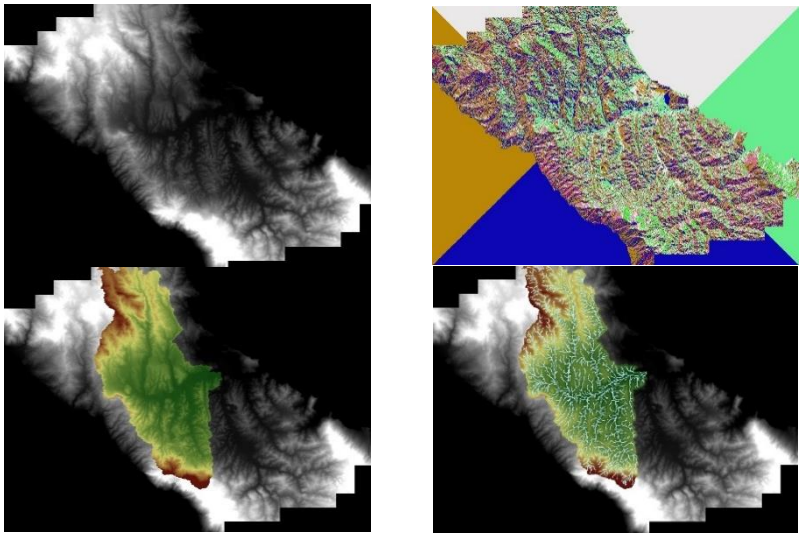
Στα πλαίσια της μελέτης για την ακριβέστερη αποτύπωση των δεδομένων και την καλύτερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων διεξήχθη μια αναλυτική μελέτη της υδρογραφίας και της τοπογραφίας της ευρύτερης περιοχής χρησιμοποιώντας Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS). Δεδομένα για το παρόν κομμάτι της εργασίας λήφθηκαν έπειτα από αίτηση από το Εθνικό Κτηματολόγιο[49]. Η εφαρμογή που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση είναι το ArcGIS[50].

6.1.1 Εκτίμηση Φυσιογραφικών Χαρακτηριστικών

Πρώτο βήμα στην ανάλυση αυτή είναι η δημιουργία της υπό μελέτη λεκάνης απορροής. Για να ολοκληρωθεί αυτό το βήμα ακολουθούμε μία διαδικασία χρησιμοποιώντας τα ενσωματωμένα εργαλεία του ArcGIS. Η διαδικασία έχει ως εξής: αρχικά με την εντολή «fill» γίνεται πλήρωση των βυθισμάτων του ψηφιακού μοντέλου εδάφους ώστε να μην υπάρχουν ασυνέχειες στο υπόβαθρο. Στην συνέχεια με την εντολή «flow direction» υπολογίζεται για κάθε ψηφίδα η διεύθυνση που θα κατευθυνθεί η ροή και έτσι δημιουργείται ο κάνναβος διεύθυνσης ροής. Τέλος με την εντολή «watershed» προσδιορίζονται όλα τα σημεία του δικτύου και με βάση την υπολογισμένη ροή δημιουργείται η ανάντη λεκάνη απορροής. Το υδρογραφικό δίκτυο δημιουργείται από τη συγκέντρωση ροής με τη χρήση κάνναβου, ορίζοντας το ελάχιστο αριθμό κυττάρων (κατώφλι) που απαιτούνται για το σχηματισμό του υδατορεύματος.



Εικόνα 6.1: :Διαδικασία εξαγωγής λεκανών απορροής[51]



Εικόνα 6.2: Διαδικασία εξαγωγής λεκανών απορροής

Αφού προσδιοριστεί το υπόβαθρο, η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο υπολογίζονται τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής ενδιαφέροντος. Για τον υπολογισμό του εμβαδού της λεκάνης λαμβάνεται ο αριθμός των ψηφίδων που περιέχονται στη λεκάνη επί την έκταση της στοιχειώδους επιφάνειας (2x2m). Έπειτα μέσα από τα αντίστοιχα εργαλεία της εφαρμογής γίνεται ο υπολογισμός των παρακάτω: ελάχιστο, μέγιστο, μέσο υψόμετρο, μήκος του κύριου υδατορεύματος και υπολογισμός της μέσης κλίσης. Τα μεγέθη αυτά παρατίθεται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

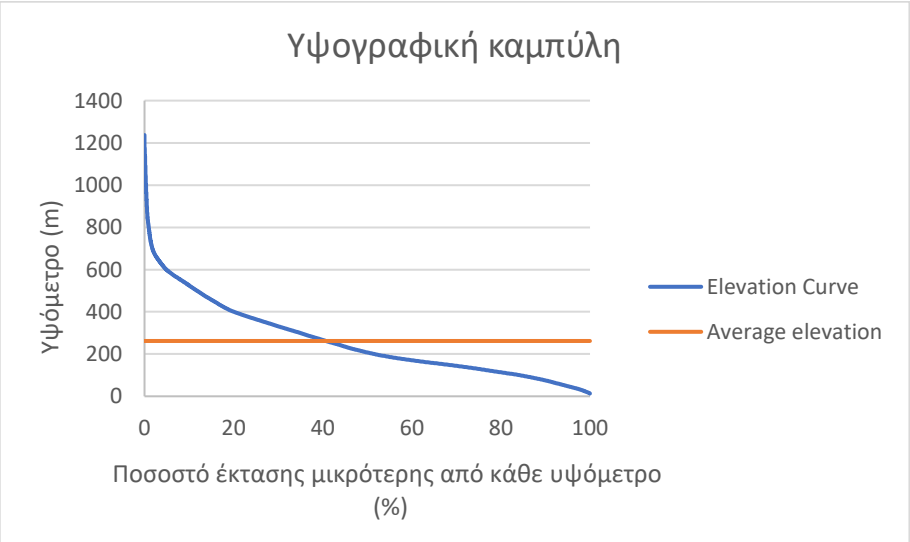
Εμβαδόν λεκάνης απορροής	184,45 km^2
Ελάχιστο Υψόμετρο	13 m
Μέγιστο Υψόμετρο	1237 m
Μέσο Υψόμετρο	261,845 m
Μήκος Κύριου Υδατορεύματος	21,4 km

Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά μεγέθη λεκάνης απορροής

Με βάση τα επεξεργασμένα δεδομένα εξάγεται μέσω επεξεργασίας στο excel η υψογραφική καμπύλη στην οποία απεικονίζει τις μεταβολές του υψομέτρου κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος καθώς και το μέσο υψόμετρο των σημείων αυτού.

Υψόμετρο (m)	Αριθμός ψηφίδων σε κάθε υψόμετρο	Αθροιστικός αριθμός ψηφίδων που είναι μικρότερες από κάθε υψόμετρο	Ποσοστό επιφάνειας που είναι μικρότερη από κάθε υψόμετρο (%)	Υψόμετρο (m)	Μέσο υψόμετρο (m)
13	7171	7171	99,98444868	13	262
14	32126	39297	99,91477892	14	262
15	16938	56235	99,87804648	15	262
16	56067	112302	99,75645729	16	262
17	45932	158234	99,65684728	17	262
18	50528	208762	99,54727019	18	262
19	40996	249758	99,45836459	19	262
20	29599	279357	99,39417499	20	262
21	74264	353621	99,23312304	21	262
22	67309	420930	99,08715399	22	262
23	62499	483429	98,9516161	23	262
24	62767	546196	98,81549702	24	262
25	50551	596747	98,70587006	25	262
26	45737	642484	98,60668293	26	262
27	40360	682844	98,51915658	27	262
28	61428	744272	98,38594131	28	262
29	57034	801306	98,26225504	29	262
30	87281	888587	98,0729739	30	262
31	74991	963578	97,91034535	31	262
32	68264	1031842	97,76230525	32	262
33	62469	1094311	97,62683242	33	262
34	66449	1160760	97,4827284	34	262
35	72353	1233113	97,32582073	35	262

Πίνακας 6.2: Δεδομένα Υψογραφικής Καμπύλης



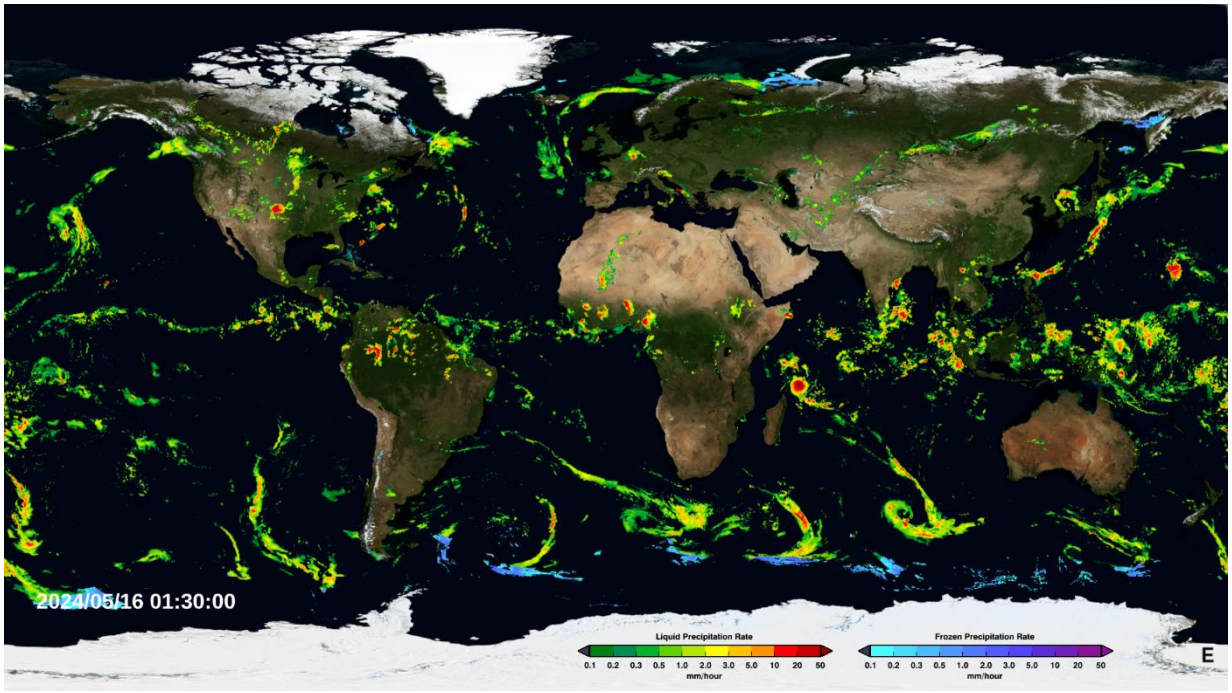
Διάγραμμα 6.1:Υψογραφική Καμπύλη

7 Μοντέλο Βροχόπτωσης HEC-RAS

7.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

7.1.1 Δεδομένα IMERG

Στη συνέχεια των ερευνητικών εργασιών, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της βροχής που καταγράφηκε από τους μετεωρολογικούς σταθμούς κατά τη διάρκεια των δύο καταιγίδων. Για την επίτευξη αυτού, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα προσομοίωσης από την IMERG, τα οποία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατανομή της βροχής σε χωρική κλίμακα. Τα δεδομένα IMERG συνδέονται με το πρόγραμμα Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG), το οποίο αναπτύχθηκε από τη NASA. Αυτό το πρόγραμμα συνδυάζει δεδομένα από πολλούς δορυφόρους που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την πρόσθετη ποσότητα της βροχόπτωσης και άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους σε παγκόσμια κλίμακα. Η IMERG αξιοποιεί δεδομένα από πολλούς δορυφόρους, συμπεριλαμβανομένων των δορυφόρων του GPM (Global Precipitation Measurement) και άλλων δορυφόρων που μετρούν τη βροχόπτωση. Χρησιμοποιεί πολύπλοκους αλγόριθμους για τον συνδυασμό των δεδομένων από αυτούς τους δορυφόρους, προκειμένου να παράγει εκτιμήσεις υψηλής ανάλυσης της βροχόπτωσης σε χρονική ανάλυση από λίγα λεπτά έως μηνιαία[52].



Εικόνα 7.1: IMERG βροχή σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή

7.1.2 Λογισμικό HEC-RAS

Το HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)[53] είναι ένα λογισμικό που αναπτύχθηκε από το Σώμα Μηχανικών Στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών (US Army Corps of Engineers) και χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση ροής νερού σε ποτάμια και κανάλια. Το HEC-RAS είναι ευρέως αναγνωρισμένο και χρησιμοποιείται για υδραυλικές μελέτες, προσομοίωση πλημμυρών, ανάλυση πεδιάδων πλημμυρών, σχεδιασμό και ανάλυση υδραυλικών έργων, καθώς και για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Το λογισμικό αυτό επιτρέπει τη διεξαγωγή αναλύσεων ροής σε ένα, δύο ή τρεις διαστάσεις και μπορεί να προσομοιώσει τόσο σταθερές όσο και μη σταθερές συνθήκες ροής. Μερικές από τις βασικές δυνατότητες του HEC-RAS περιλαμβάνουν την ανάλυση διατομών ποταμών, τη διαχείριση δομών ελέγχου πλημμυρών, όπως φράγματα και γέφυρες, καθώς και την εκτίμηση της διάχυσης των πλημμυρών σε παρακείμενες περιοχές[54].

Στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η έκδοση HEC-RAS 6.5 η οποία παρέχει επεξεργασία στις δύο διαστάσεις (2D). Η ανάλυση δύο διαστάσεων παρέχει μια πιο ακριβείς και τεκμηριωμένη προσέγγιση της μοντελοποίησης της ροής του νερού και των υδραυλικών διαδικασιών σε σύγκρισή με την κλασσική μέθοδο της ανάλυσης μία διάστασης. Στο 2D HECRAS το λογισμικό προσομοιώνει την ροή του νερού σε δύο οριζόντιες διαστάσεις αντί να θεωρηθεί ότι η ροή κινείται σε μία μόνο κατεύθυνση όπως στην μοντελοποίηση 1D.Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για περίπλοκα σχηματισμούς εδάφους και περιπτώσεις όπου η ροή του νερού κινείται σε πολλές κατευθύνσεις όπως για παράδειγμα οι περιπτώσεις πλημμύρας, οι αστικές περιοχές κλπ.[55] Η μέθοδος αυτή παρέχει αρκετή λεπτομέρεια επιτρέποντας την προσομοίωση λεπτομερών μοτίβων ροής, συμπεριλαμβανομένων των διαχωρισμένων ροών και της διασποράς του νερού σε μεγάλες περιοχές. Αυτό το επίπεδο λεπτομέρειας είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την κατανόηση των αλληλεπιδράσεων του νερού με το τοπίο, ειδικά στη μοντελοποίηση πλημμύρας.

Το 2D HEC-RAS χρησιμοποιείται ευρέως για τη χαρτογράφηση και διαχείριση των πλημμυρικών πεδίων, επιτρέποντας την προσομοίωση και τη χαρτογράφηση των εκτάσεων πλημμύρας, των βαθών και των ταχυτήτων σε πλημμυρικά πεδία, κάτι που είναι κρίσιμο για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας, τη ζωνοποίηση και τον σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης. Είναι επίσης πολύ χρήσιμο στην αστική προσομοίωση πλημμυρών, όπου οι πολύπλοκες διαδρομές ροής που δημιουργούνται από κτίρια, δρόμους και άλλες υποδομές απαιτούν μια πιο ακριβή αναπαράσταση της εξάπλωσης του νερού κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης ή πλημμυρικών γεγονότων. Οι περιβαλλοντικές εκτιμήσεις επωφελούνται από την προσομοίωση 2D, προσομοιώνοντας τον αντίκτυπο των προτεινόμενων έργων υποδομής στα φυσικά πρότυπα ροής του νερού, βοηθώντας στην αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

7.2 Μεθοδολογία

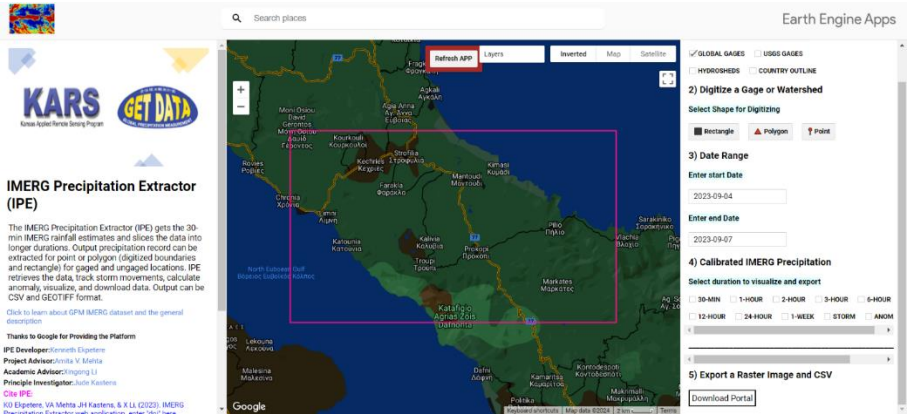
7.2.1 Επεξεργασία IMERG δεδομένων

Αρχικά, λήφθηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα από την ιστοσελίδα EarthData που παρέχεται από τη NASA. Η λήψη των δεδομένων από τη NASA πραγματοποιήθηκε μέσω διαδικτυακών διευθύνσεων, από τις οποίες κατεβάστηκαν αρχεία μορφής netCDF, τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν σε λογισμικά υδρολογικής και υδραυλικής μοντελοποίησης. Για την επίτευξη της λήψης δημιουργήθηκε κώδικας σε περιβάλλον Linux, καθώς τα αρχεία των δεδομένων ήταν πολλά σε αριθμό[131].Επιπλέον για μεγαλύτερη ευχέρεια αναπτύχθηκε και αντίστοιχος κώδικας σε περιβάλλον Python[131]. Για την εφαρμογή αυτού θα πρέπει να γίνουν τα αντίστοιχα αρχεία στον εκάστοτε υπολογιστή σύμφωνα με τις οδηγίες της NASA[56].Στη συνέχεια, τα αρχεία netCDF ενώθηκαν σε ένα ενιαίο αρχείο, ώστε να διευκολυνθεί η επεξεργασία τους. Η διαδικασία αυτή εκτελέστηκε μέσω κώδικα σε περιβάλλον Python, με τη βοήθεια της εφαρμογής Google Colab[131]. Τα δεδομένα σαν ένα ενιαίο αρχείο πλέον εξάχθηκαν σε αρχεία CSV μέσω το κώδικα μέσω του κώδικα που παρατίθεται παρακάτω[131].

Σαν επιπλέον πηγή δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το IMERG Precipitation Extractor [57]. Το IMERG Precipitation Extractor (IPE) λαμβάνει τις εκτιμήσεις βροχόπτωσης του IMERG σε διαστήματα των 30 λεπτών και τα παρέχει σε μορφή CSV για την πιο εύκολη επεξεργασία τους. Τα δεδομένα βροχόπτωσης μπορούν να εξαχθούν για συγκεκριμένα σημεία ή περιοχές (όπως ψηφιοποιημένα όρια και ορθογώνια) τόσο για περιοχές με διαθέσιμες μετρήσεις όσο και για περιοχές χωρίς σταθμούς μέτρησης. Το IPE προσφέρει τη δυνατότητα ανάκτησης δεδομένων, παρακολούθησης της κίνησης των καταιγίδων, υπολογισμού ανωμαλιών, οπτικοποίησης και λήψης των δεδομένων. Τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν σε μορφή CSV ή GEOTIFF.

Με αυτό το εργαλείο, οι χρήστες μπορούν να αναλύσουν βροχοπτώσεις σε βάθος χρόνου, να παρακολουθήσουν την εξέλιξη καταιγίδων και να εξάγουν γεωαναφερόμενα δεδομένα για περαιτέρω ανάλυση και χρήση σε διάφορες εφαρμογές υδρολογίας και μετεωρολογίας.

Η διαδικασία λήψης των δεδομένων απαιτεί προσδιορισμό κάποιων χωρικών και χρονικών παραγόντων που αφορούν την περιοχή μελέτης και τις ημερομηνίες που αφορούν το γεγονός της βροχόπτωσης. Επιπλέον επιλέγονται όρια για καθοδήγηση της ψηφιοποίησης των περιοχών. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η επιλογή GLOBAL GAGES που αναφέρεται σε ένα σύνολο μετρητών (gages) που βρίσκονται σε παγκόσμια κλίμακα. Η επιλογή αυτή επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιήσει παγκόσμιες τοποθεσίες μετρητών βροχόπτωσης ως οδηγό για την ψηφιοποίηση περιοχών ενδιαφέροντος. Στην συνέχεια επιλέγεται διάρκεια των μετρήσεων των δεδομένων και εξαγωγή διαγραμμάτων και πινάκων κατανομής της βροχόπτωσης.



Εικόνα 7.2 Επιφάνεια εργασίας IPE

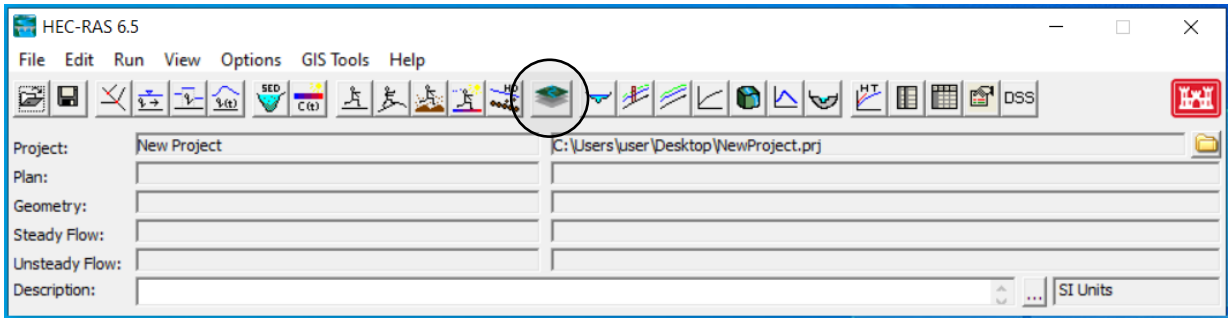
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα σύνολα δεδομένων IMERG αποτελούν έναν δείκτη εκτίμησης των βροχοπτώσεων με μεγάλη αβεβαιότητα καθώς υποεκτιμούν τα υψηλότερα ύψη βροχής [58]. Η παραπάνω συνθήκη επιβεβαιώθηκε και με σύγκριση των IMERG δεδομένων με δεδομένα που παρείχε η Εθνική Μετερεωλογική Υπηρεσία για τον σταθμό στο παραθαλάσσιο χωριό Ωρεοί το οποίο βρίσκεται βόρεια της περιοχής μελέτης.

7.2.2 Μεθοδολογία HEC-RAS

Επεξεργασία Γεωμετρίας

Στην παρούσα εργασία το λογισμικό HEC-RAS 2D [59] χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και την εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης για τα τρία υπό μελέτη γεγονότα (Zorbas,Daniel,Elias). Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει μία συστηματική διαδικασία μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η υδρολογική μοντελοποίηση, η ανάλυση χωρικών δεδομένων και τέλος η υδραυλική προσομοίωση των φαινομένων. Η ανάλυση έγινε σε πολύ πρώιμο στάδιο με κύριο στόχο την παρατήρηση της έκτασης του πλημμυρικού πεδίου και την σύγκριση με αποτελέσματα άλλων μεθόδων.

Το αρχικό βήμα περιλαμβάνει την εκκίνηση ενός νέου project και την δημιουργία directory για όλα τα ήδη υπάρχοντα αρχεία δεδομένων καθώς και για εκείνα που θα παράξει το μοντέλο. Στη συνέχεια επιλέγεται η επιλογή RAS Mapper (όπως φαίνεται στον κύκλο στην Εικόνα 7.3 Παράθυρο Έναρξης HEC-RAS), όπου θα ξεκινήσει η εισαγωγή και η επεξεργασία των δεδομένων.

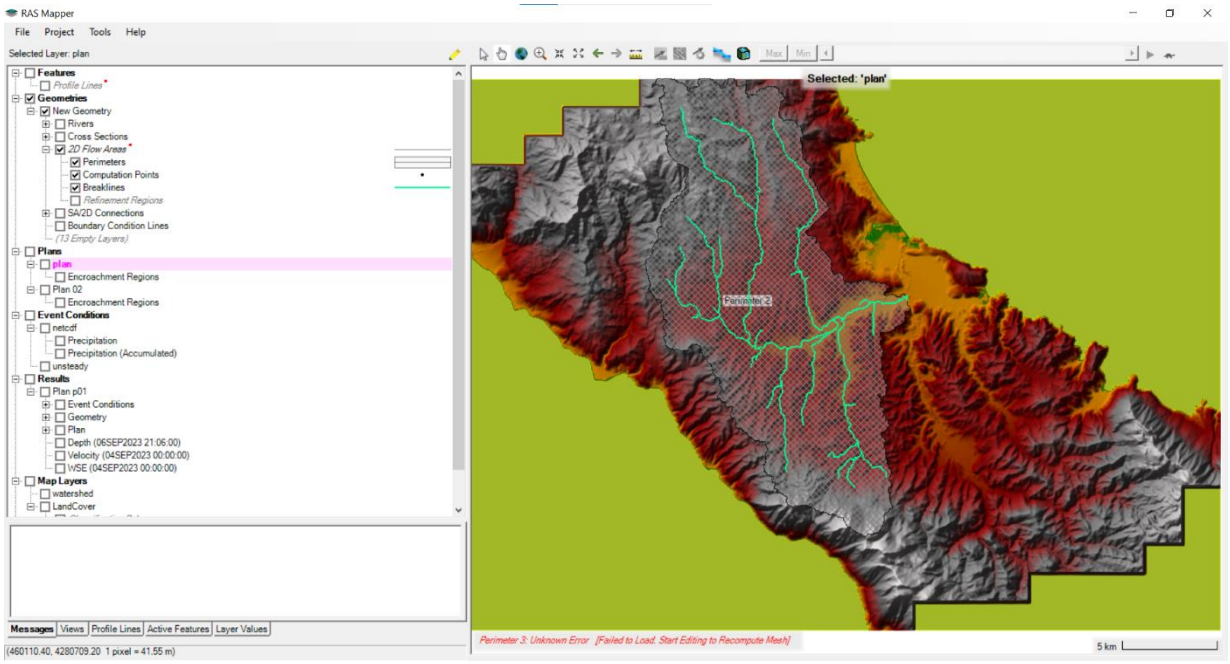


Εικόνα 7.3 Παράθυρο Έναρξης HEC-RAS

Το πρώτο και ιδιαίτερα σημαντικό βήμα στο RAS Mapper είναι ο καθορισμός του συστήματος συντεταγμένων προβολής. Σε αυτή την ανάλυση, χρησιμοποιείται το ελληνικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Το αρχείο προβολής έχει τη μορφή .prj και μπορεί να βρεθεί στο " Coordinate Systems Worldwide "[60] μέσω της εισαγωγής του κωδικού 2100, ο οποίος αντιστοιχεί στα γεωδαιτικά δεδομένα της Ελλάδας. Στη συνέχεια, με δεξί κλικ στην επιλογή "Terrains", εισάγεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) σε μορφή TIFF, το οποίο θα χρησιμεύσει ως υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση.

Έπειτα, δημιουργείται μια νέα γεωμετρία και εισάγεται η λεκάνη απορροής στην περιοχή ροής 2D (2D Flow Area) και το υδρογραφικό δίκτυο σε μορφή shapefile, τα οποία έχουν εξαχθεί από την επεξεργασία στο ArcGIS. Χρησιμοποιώντας την επιλογή “Generate computational points” η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε κυψέλες δημιουργώντας ένα υπολογιστικό πλέγμα.Η ανάλυση του πλέγματος επιλέγεται με βάση την τοπογραφική πολυπλοκότητα και την κλίμακα των υδρολογικών διεργασιών που μοντελοποιούνται. Ένα λεπτομερές πλέγμα χρησιμοποιείται σε περιοχές με απότομες κλίσεις και κοντά σε κρίσιμες υδραυλικές κατασκευές, ενώ ένα πιο αραιό πλέγμα εφαρμόζεται σε σχετικά επίπεδες και λιγότερο περίπλοκες περιοχές.
Στην παρούσα εργασία, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιείται έχει ανάλυση 2x2 μέτρα. Επομένως, για την παραγωγή ακριβέστερων αποτελεσμάτων, επιλέγεται πλέγμα 10x10 μέτρα στην ευρύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, ενώ κατά μήκος μιας ζώνης 5 μέτρων εκατέρωθεν του κύριου υδατορέματος επιλέγεται πλέγμα 3x3 μέτρα. Αν προκύψουν σφάλματα στο πλέγμα, διορθώνονται είτε αλλάζοντας την ανάλυση του πλέγματος είτε χειροκίνητα με την προσθήκη computational points.

Έπειτα καθορίζονται οι οριακές συνθήκες με βάση τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Τα ανάντη όρια ορίζονται ως όρια εισροής, χρησιμοποιώντας δεδομένα χρονοσειρών που αντικατοπτρίζουν την αντίδραση της λεκάνης απορροής σε γεγονότα βροχόπτωσης. Στα κατάντη όρια, καθορίζονται κανονικές συνθήκες βάθους ή στάθμης υδρογράμματος, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά εκροής του ποταμού.



Εικόνα 7.4 Επιφάνεια Εργασίας RAS Mapper

Εισαγωγή και επεξεργασία βροχομετρικών δεδομένων

Αφού γίνει η ανάλυση και η επεξεργασία της γεωμετρίας και η εφαρμογή των οριακών συνθηκών γίνεται η εφαρμογή της βροχόπτωσης για τις χρονικές περιόδους που αφορούν το κάθε γεγονός. Τα δεδομένα βροχόπτωσης για τις περιόδους μελέτης που λήφθηκαν είναι τα δεδομένα IMERG που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι βροχοπτώσεις διήρκησαν περίπου 10 ημέρες στην περίπτωση της καταιγίδας Zorbas και από 5 ημέρες στις καταιγίδες Daniel και Elias παρέχοντας επαρκείς λεπτομέρειες για την αποτύπωση της δυναμικής των καταιγίδων.

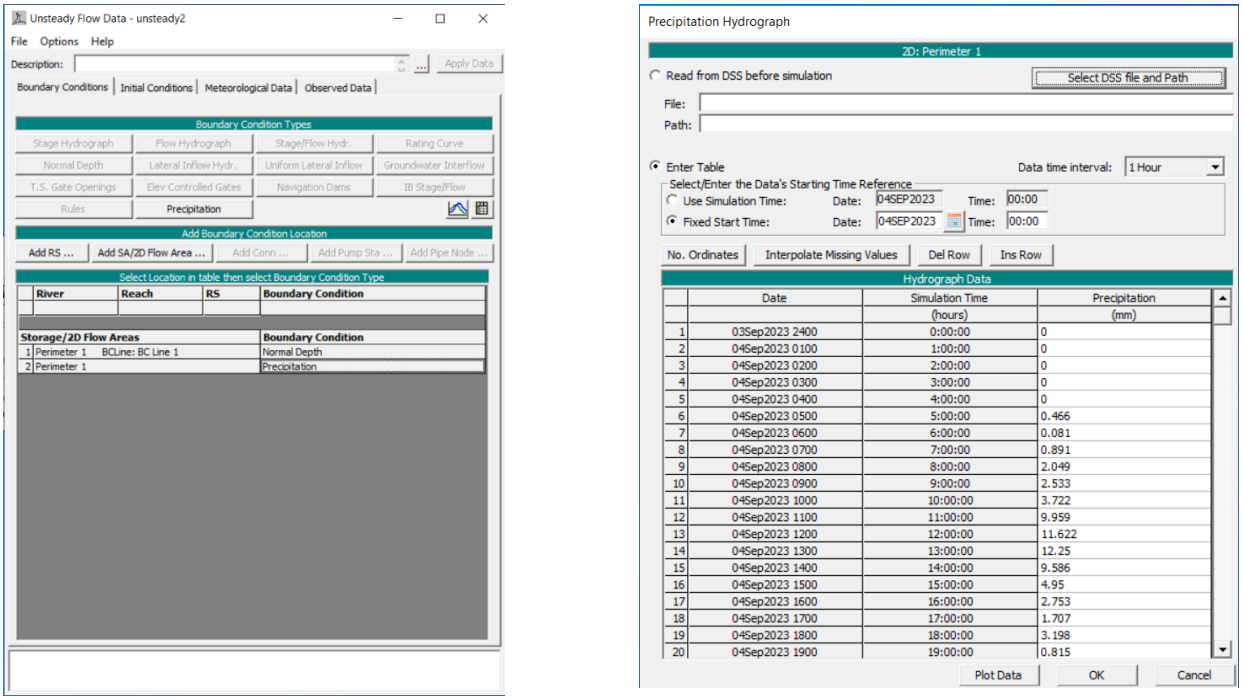
Το HEC-RAS 2D επιτρέπει την άμεση εισαγωγή χωρικά κατανεμημένης βροχόπτωσης σε όλο το υπολογιστικό πεδίο μελέτης. Η βροχόπτωση εισήχθη ως πλέγμα τιμών βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης, επιτρέποντας στο μοντέλο να προσομοιώσει την επιφανειακή ροή απευθείας από τα γεγονότα βροχόπτωσης. Η υδροδυναμική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις 2D εξισώσεις ρηχών υδάτων εντός του HEC-RAS. Το μοντέλο προσομοίωσε την κίνηση του νερού κατά μήκος της πλημμυρικής πεδιάδας και μέσω των καναλιών του ποταμού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εξισώσεις ορμής όσο και συνέχειας.

Το μοντέλο βαθμονομήθηκε χρησιμοποιώντας παρατηρούμενα δεδομένα ροής από τις καταιγίδες των Zorba, Daniel και Elias με βασικές παραμέτρους βαθμονόμησης, συμπεριλαμβανομένων συντελεστών τραχύτητας (n's Manning), ρυθμών διείσδυσης και οριακών συνθηκών. Η βαθμονόμηση πραγματοποιήθηκε προσαρμόζοντας αυτές τις

παραμέτρους για να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ παρατηρούμενων και προσομοιωμένων υψομέτρων επιφάνειας νερού και ταχυτήτων ροής.

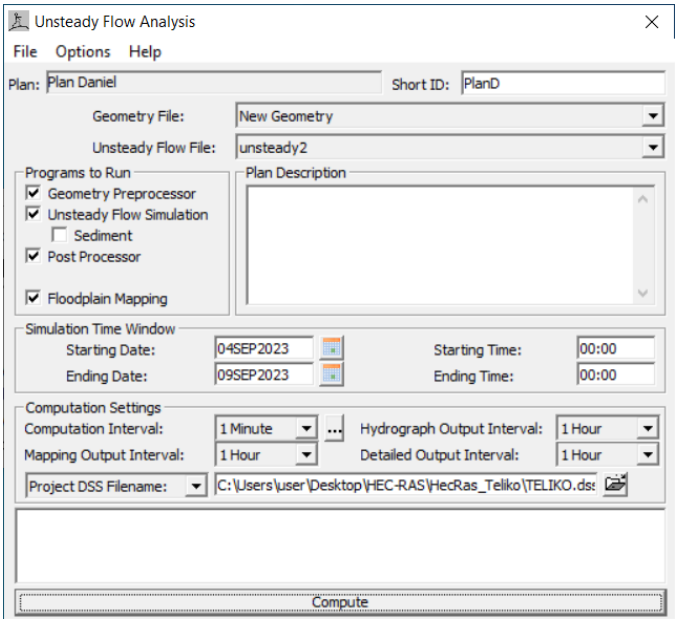
Για την επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης ασταθούς ροής (unsteady flow analysis) του HEC-RAS η οποία περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων για την μοντελοποίηση ροών σε ποτάμια και κανάλια που μεταβάλλονται με τον χρόνο.

Η ανάλυση ασταθούς ροής στο HEC-RAS εκτελείται μέσω μιας σειράς βημάτων που περιλαμβάνουν την εισαγωγή δεδομένων, τη ρύθμιση παραμέτρων και την προσομοίωση της ροής. Αρχικά, οι τιμές ροής ή οι υδρολογικές συνθήκες για τα σημεία εισόδου πρέπει να οριστούν, κάτι που μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή υδρογραφημάτων, τα οποία περιγράφουν τη μεταβολή της ροής με τον χρόνο. Αν απαιτείται, προστίθενται επιπλέον σημεία εισόδου ροής ή πηγές ρύπων, όπως βροχόπτωση ή αντλήσεις.



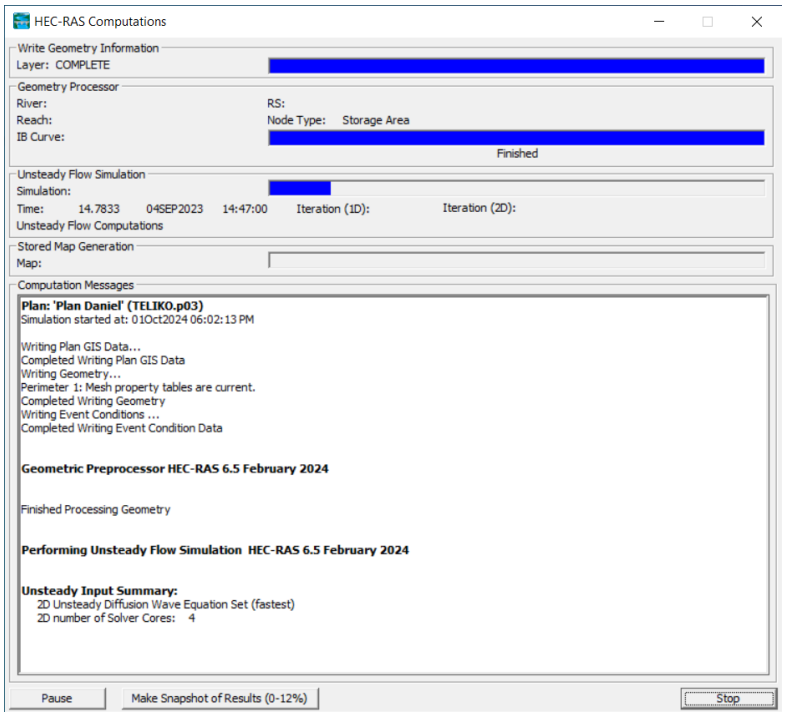
Εικόνα 7.5 Δεδομένα Unsteady Flow Analysis

Στη συνέχεια, από το Unsteady Flow Analysis, οι ρυθμίσεις για τους υπολογισμούς διαμορφώνονται. Μέσω του Options > Computation Settings, ορίζεται το χρονικό βήμα (time step) για τους υπολογισμούς, εξασφαλίζοντας ότι είναι αρκετά μικρό ώστε να συλληφθούν οι μεταβολές της ροής. Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης καθορίζεται με βάση τις ανάγκες της μελέτης (π.χ. 24 ώρες ή περισσότερο), ενώ μπορεί να οριστεί και ένα αρχικό διάστημα σταθεροποίησης (warm-up period) για την επίτευξη σταθερής κατάστασης.



Εικόνα 7.6 Ορισμός Χρονικών Βημάτων Unsteady Flow Analysis

Αφού ολοκληρωθούν οι ρυθμίσεις, η προσομοίωση εκτελείται μέσω της εντολής Compute στο μενού Unsteady Flow Analysis. Οι υπολογισμοί για την ασταθή ροή τρέχουν και οποιαδήποτε σφάλματα ή προειδοποιήσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.



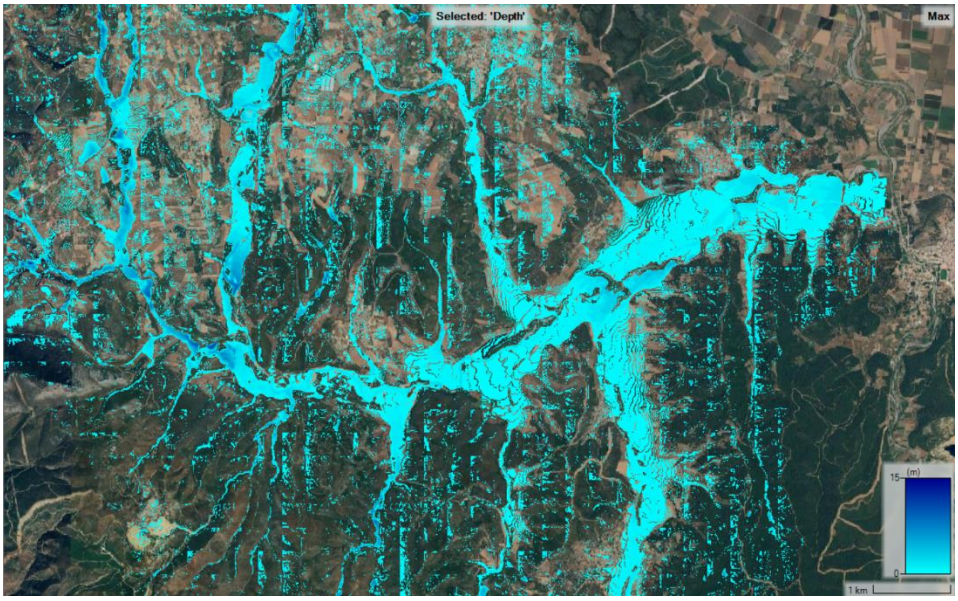
Εικόνα 7.7 Εκτέλεση προσομοίωσης

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης, τα αποτελέσματα μπορούν να αναλυθούν μέσω της επιλογής View Results. Στα αποτελέσματα συμπεριλαμβάνονται διαγράμματα υδρογραμμάτων

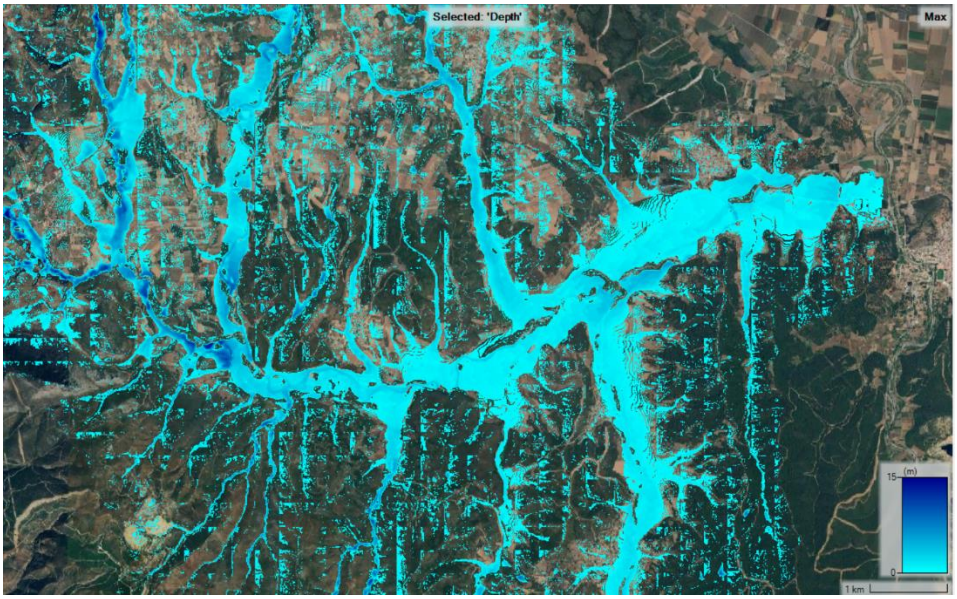
(hydrographs) σε διάφορα σημεία, που επιτρέπουν την ανάλυση της μεταβολής της ροής και της στάθμης με τον χρόνο. Επιπλέον, οι διατομές και οι επιφανειακές στάθμες μπορούν να εξεταστούν για την κατανόηση της χωρικής κατανομής της ροής.

7.3 Αποτελέσματα

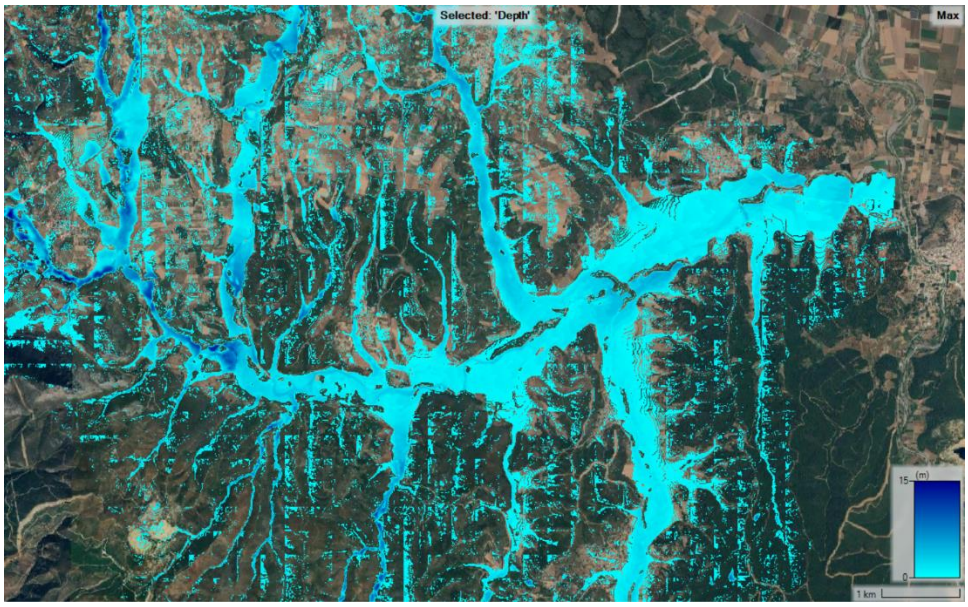
Το κύριο αποτέλεσμα του μοντέλου HEC-RAS 2D ήταν χάρτες πλημμύρας, οι οποίοι έδειξαν την έκταση και το βάθος των πλημμυρών σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης. Αυτοί οι χάρτες δημιουργήθηκαν για διαφορετικά σενάρια, παρέχοντας μια οπτική αναπαράσταση των περιοχών που κινδυνεύουν περισσότερο κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων. - Αναλύθηκαν οι χάρτες πλημμυρών για τον εντοπισμό κρίσιμων υποδομών και κοινοτήτων που κινδυνεύουν. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν επίσης με ιστορικά αρχεία πλημμυρών για να επικυρωθεί η ακρίβειά τους.



Εικόνα 7.8 Αποτελέσματα προσομοίωσης Zorbas



Εικόνα 7.9 Αποτελέσματα προσομοίωσης Daniel



Εικόνα 7.10 Αποτελέσματα προσομοίωσης Elias

Βάση των εικόνων που προκύπτουν από το μοντέλο παρατηρούμε ότι ο Daniel και ο Elias είχαν μεγαλύτερο εύρος πλημμυρικής ζώνης σε σχέση με τον Zorba.

Στο παρόν μοντέλο δεν χρησιμοποιήθηκαν χάρτες που να διαφοροποιούν τον συντελεστή manning λόγω των περιβαλλοντικών αλλαγών που έλαβαν χώρα Η διαφορά που παρατηρείται δικαιολογείται λόγω της διαφοράς ποσότητας βροχής που παρατηρήθηκε σε κάθε γεγονός. Τα αποτελέσματα του μοντέλου μας παρέχουν μια συνολική γενική εικόνα του εύρους πλημμυρικού πεδίου.

8 Στατιστική Ανάλυση Βροχομετρικών Δεδομένων Βόρειας Εύβοιας

8.1 Γενικά

Τα γεγονότα έντονων βροχοπτώσεων και κατ' επέκταση πλημμυρών βασίζονται σε δεδομένα χωρικά και χρονικά κατανεμημένα. Μεγάλο μέρος της επεξεργασίας και της διαχείρισης των δεδομένων αυτών αποτελεί η στατιστική ανάλυση του κάθε γεγονότος και η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η παρούσα ανάλυση επικεντρώνεται στα επεισόδιά βροχής που μελετώνται (Zorbas, Daniel, Elias) με στόχο την κατανόηση των διαφορών αυτών των επεισοδίων σε στατιστικό επίπεδο και την οπτικοποίηση των διαφορών τους μέσω διαγραμμάτων.

8.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η μελέτη βασίζεται σε μετρήσεις βροχόπτωσης που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια των κυκλώνων Zorbas, Daniel και Elias, σε χρονικά διαστήματα των 30 λεπτών. Οι κυριότεροι δείκτες που εξετάστηκαν είναι το συνολικό ύψος βροχόπτωσης, η μέση τιμή βροχόπτωσης, το μέγιστο και το ελάχιστο ύψος βροχόπτωσης.

Το Συνολικό Ύψος Βροχής αναφέρεται στην ποσότητα βροχής που έχει καταγραφεί σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Εκφράζεται συνήθως σε χιλιοστά (mm) και αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των επιμέρους μετρήσεων βροχόπτωσης που έγιναν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Είναι ένα βασικό μέτρο που χρησιμοποιείται για να αξιολογηθεί η συνολική ένταση και έκταση ενός φαινομένου βροχόπτωσης. Υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των επιμέρους μετρήσεων βροχόπτωσης Xi σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο:

$$Συνολικό\ Ύψος\ Βροχής = \sum_{i=1}^{n} nXi$$

όπου Xi είναι η βροχόπτωση στο χρονικό διάστημα i και n είναι ο συνολικός αριθμός των διαστημάτων.

Η Μέση Τιμή Βροχόπτωσης είναι ο μέσος όρος των καταγεγραμμένων τιμών βροχόπτωσης για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Υπολογίζεται ως το άθροισμα όλων των μετρήσεων βροχόπτωσης, διαιρεμένο με τον αριθμό των μετρήσεων. Η μέση τιμή παρέχει μια γενική εκτίμηση της βροχόπτωσης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση διαφορετικών χρονικών περιόδων ή γεωγραφικών περιοχών. Υπολογίζεται ως ο αριθμητικός μέσος όλων των

μετρήσεων:

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} nXi$$

Το Μέγιστο Ύψος Βροχής είναι η μεγαλύτερη τιμή βροχόπτωσης που καταγράφηκε σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αυτή η μέτρηση είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εκτίμηση των ακραίων βροχοπτώσεων και τον εντοπισμό περιόδων κατά τις οποίες παρατηρήθηκαν έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν πλημμυρικά φαινόμενα. Αντίστοιχα το Ελάχιστο Ύψος Βροχής αντιπροσωπεύει τη μικρότερη τιμή βροχόπτωσης που καταγράφηκε σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Συνήθως, αυτή η τιμή μπορεί να είναι μηδενική, υποδηλώνοντας ότι δεν υπήρχε βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Η ελάχιστη τιμή βοηθά στην κατανόηση των περιόδων με πολύ χαμηλή ή ανύπαρκτη βροχόπτωση.

Η Διακύμανση Βροχόπτωσης είναι ένα στατιστικό μέτρο που περιγράφει το πόσο διαφέρουν οι τιμές της βροχόπτωσης από τον μέσο όρο. Υπολογίζεται ως το μέσο των τετραγώνων των αποκλίσεων από τη μέση τιμή. Η διακύμανση παρέχει πληροφορίες για τη συνολική διασπορά των δεδομένων και το πόσο ομοιογενή ή ετερογενή είναι τα δεδομένα βροχόπτωσης. Η διακύμανση υπολογίζεται ως το μέσο των τετραγώνων των αποκλίσεων από τη μέση τιμή:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n} (X\iota - \bar{X})^2$$

Η Τυπική Απόκλιση Βροχόπτωσης είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και δίνει μια ένδειξη του μέσου μεγέθους των αποκλίσεων των τιμών από τη μέση τιμή. Μια υψηλή τυπική απόκλιση υποδηλώνει ότι οι τιμές βροχόπτωσης παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, ενώ μια χαμηλή τιμή υποδηλώνει ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κοντά στη μέση τιμή.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=n}^{n} (X\iota - \bar{X})^2}$$

Ο Ρυθμός Βροχόπτωσης εκφράζει την ποσότητα βροχής που πέφτει σε μια δεδομένη χρονική περίοδο, συνήθως μετρούμενη σε χιλιοστά ανά ώρα (mm/ώρα)[61]. Είναι μια κρίσιμη μέτρηση για την εκτίμηση της έντασης της βροχόπτωσης σε σύντομες χρονικές περιόδους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας.

Ο Συντελεστής Ασυμμετρίας είναι ένα μέτρο της ασυμμετρίας της κατανομής των δεδομένων. Αν η κατανομή είναι συμμετρική, τότε ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι κοντά στο μηδέν. Αν

ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι θετικός, υποδηλώνει ότι η κατανομή έχει μια "ουρά" προς τις υψηλότερες τιμές, δηλαδή υπάρχουν λίγες, αλλά πολύ μεγάλες τιμές βροχόπτωσης. Αντίθετα, ένας αρνητικός συντελεστής ασυμμετρίας υποδηλώνει ότι η "ουρά" της κατανομής είναι προς τις χαμηλότερες τιμές.

Η Κύρτωση είναι ένα μέτρο που περιγράφει το "ύψος" ή την "πληθωρικότητα" της κατανομής των δεδομένων σε σχέση με μια κανονική κατανομή. Υψηλή κύρτωση υποδηλώνει ότι η κατανομή έχει μια αιχμηρή κορυφή και παχιά ουρές, κάτι που σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότερες ακραίες τιμές (τόσο υψηλές όσο και χαμηλές) από ό,τι σε μια κανονική κατανομή. Χαμηλή κύρτωση υποδηλώνει μια πιο επίπεδη κατανομή.

$$Kurtosis = \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{Xi - \bar{\bar{X}}}{\sigma} \right)^4 - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

8.3 Αποτελέσματα

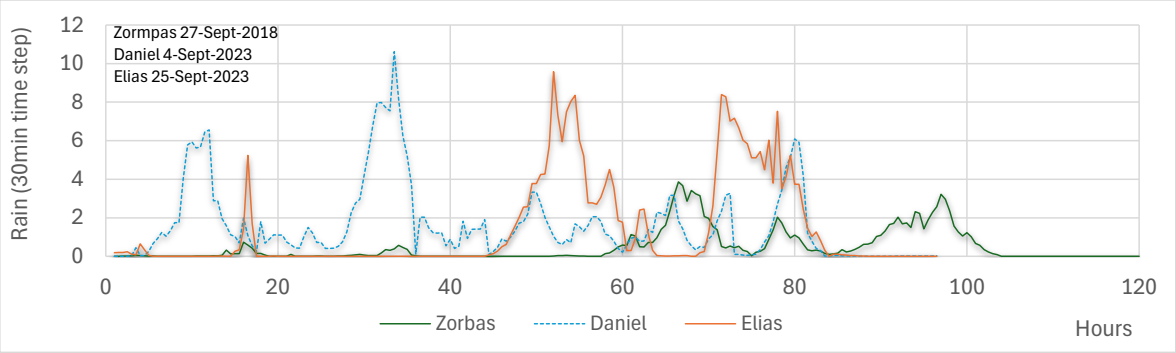
Μέσω της στατιστικής ανάλυσης προέκυψε μία γενική εικόνα βάση της οποίας είναι πιο εύκολη η σύγκριση των γεγονότων βροχόπτωσης και η παρατήρηση διαφοροποίησης ορισμένων χαρακτηριστικών.

	Zorbas	*Daniel*	*Elias*
Συνολικό Ύψος Βροχής	114.096	314.647	261.87
Μέση Τιμή Βροχόπτωσης	0.4754	1.638786	1.363906
Μέγιστο Ύψος Βροχής	3.866	10.617	9.573
Ελάχιστο Ύψος Βροχής	0	0	0
Διακύμανση Βροχόπτωσης	0.658522609	3.924958	5.376475
Τυπική Απόκλιση Βροχόπτωσης	0.81149406	1.981151	2.318723
Ρυθμός Βροχόπτωσης (mm/ώρα)	0.9508	3.277573	2.727813
Συντελεστής Ασυμμετρίας (Skewness)	2.146732311	2.202782	1.699436
Κύρτωση (Kurtosis)	4.215484587	5.006926	1.801798

Πίνακας 8.1 Βασικά Συγκριτικά Μεγέθη

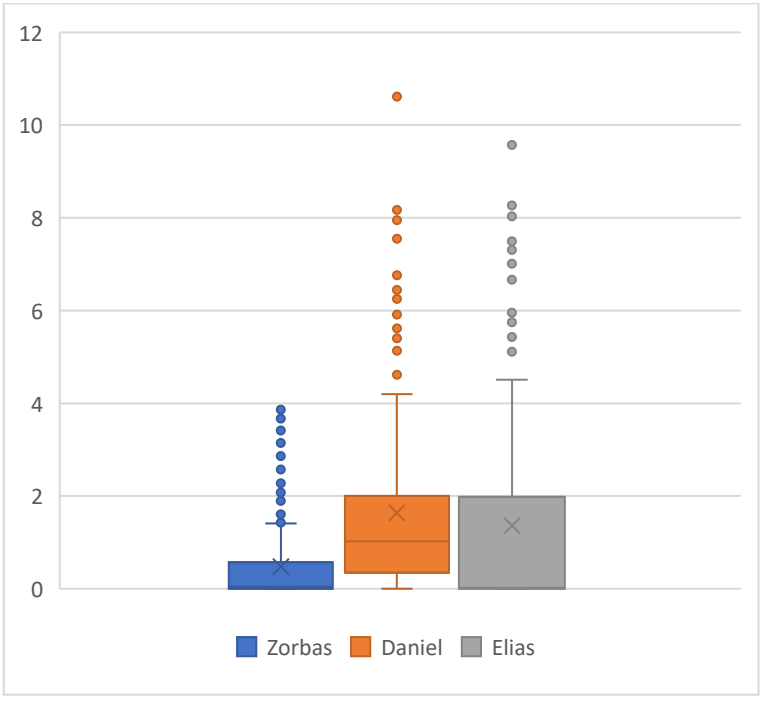
Από τη σύγκριση των δεδομένων για τις καταιγίδες Daniel, Elias και Zorbas, η καταιγίδα Elias εμφανίζει τη μεγαλύτερη διασπορά. Το εύρος των τιμών, δηλαδή η διαφορά μεταξύ του χαμηλότερου και του υψηλότερου σημείου, είναι σημαντικά μεγαλύτερο στην καταιγίδα Elias

συγκριτικά με τις άλλες δύο. Αυτό υποδεικνύει ότι κατά τη διάρκεια της καταιγίδας Elias παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ποικιλία στις τιμές της έντασης βροχόπτωσης. Αντίθετα, η καταιγίδα Zorbas παρουσιάζει τη μικρότερη διασπορά, καθώς τα δεδομένα της είναι πιο συγκεντρωμένα γύρω από τη μέση τιμή, δείχνοντας ότι η ένταση της καταιγίδας Zorbas ήταν πιο σταθερή.



Διάγραμμα 8.1 Χρονοσειρές Βροχοπτώσεων

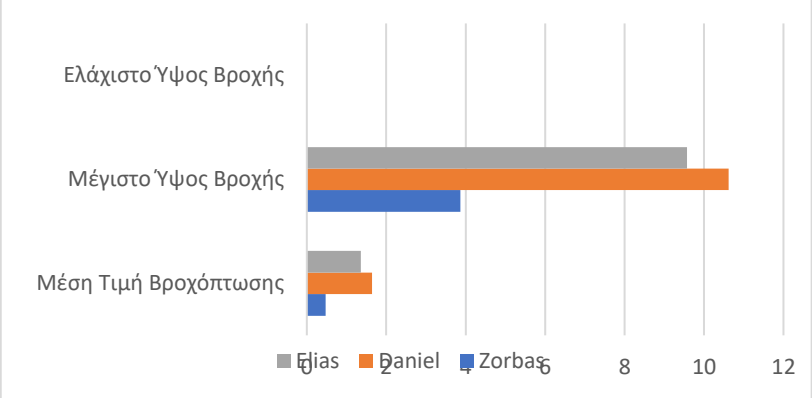
Και στις τρεις καταιγίδες παρατηρούνται ακραίες τιμές, οι οποίες εμφανίζονται ως σημεία εκτός του εύρους του κουτιού (box) στα διαγράμματα boxplot. Αυτές οι ακραίες τιμές, που είναι σημαντικά υψηλότερες από τις υπόλοιπες τιμές, υποδηλώνουν έντονες βροχοπτώσεις ή άλλους ακραίους παράγοντες. Τα outliers αυτά μπορεί να σχετίζονται με ισχυρές καταιγίδες ή ακραία καιρικά φαινόμενα που συνόδευαν κάθε καταιγίδα, αναδεικνύοντας τη μεταβλητότητα των φαινομένων που συνδέονται με αυτές.



Διάγραμμα 8.2 Boxplot

Στο παραπάνω διάγραμμα η κεντρική τάση των δεδομένων εκφράζεται μέσω της διαμέσου, η οποία αναπαρίσταται από τη γραμμή στο εσωτερικό του κουτιού. Η διάμεσος, ή αλλιώς η μεσαία τιμή, παρέχει μια εικόνα για το κέντρο των δεδομένων, βοηθώντας μας να κατανοήσουμε πού συγκεντρώνεται η πλειονότητα των τιμών.

Η διασπορά των δεδομένων αναπαρίσταται από το μήκος του κουτιού, γνωστό και ως ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR). Το IQR δείχνει την κατανομή του μεσαίου 50% των δεδομένων και παρέχει πληροφορίες για τη μεταβλητότητα των τιμών γύρω από τη μέση περιοχή τους. Τα «μουστάκια» (whiskers) επεκτείνονται από το κουτί για να υποδείξουν το πλήρες εύρος των τιμών εντός της κατανομής, εξαιρώντας τα εκτός μεσαίων τιμών ή αλλιώς τα ακραία σημεία. Η συμμετρία ή ασυμμετρία της κατανομής των δεδομένων μπορεί να εκτιμηθεί από τη θέση της διαμέσου εντός του κουτιού. Όταν η διάμεσος είναι πιο κοντά στο κάτω ή στο άνω όριο του κουτιού, αυτό ενδέχεται να υποδεικνύει μια ασυμμετρία στην κατανομή των δεδομένων. Μια κεντρική διάμεσος υποδηλώνει μεγαλύτερη συμμετρία, ενώ η μετατόπισή της προς τα άκρα του κουτιού μπορεί να σημαίνει ότι οι τιμές έχουν μια προτίμηση προς ένα συγκεκριμένο μέρος της κατανομής. Τέλος, η διακύμανση εντός του εύρους του κουτιού, δηλαδή το διάστημα μεταξύ του πρώτου και του τρίτου τεταρτημορίου, δείχνει ότι οι καταιγίδες Daniel και Elias παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκριτικά με την καταιγίδα Zorbas. Αυτό σημαίνει ότι, πέρα από την υψηλότερη ένταση, οι καταιγίδες Daniel και Elias περιείχαν μεγαλύτερη ποικιλία στη μεταβολή των τιμών κατά τη διάρκειά τους, σε αντίθεση με την καταιγίδα Zorbas που χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα στις μετρήσεις.



Διάγραμμα 8.3 Ελάχιστη/Μέγιστη/Μέση Τιμή

Σε ό,τι αφορά τη μέση τιμή των μετρήσεων, η καταιγίδα Daniel παρουσιάζει υψηλότερη μέση τιμή από τις άλλες δύο καταιγίδες. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή της Daniel είναι λίγο υψηλότερη από εκείνη της Elias και σημαντικά υψηλότερη από την αντίστοιχη της Zorbas. Αυτό υποδηλώνει ότι η ένταση της βροχόπτωσης ή άλλου μετρούμενου μεγέθους κατά την καταιγίδα

Daniel ήταν γενικά πιο έντονη σε σύγκριση με την καταιγίδα Zorbas. Τέλος, η διακύμανση εντός του εύρους του κουτιού, δηλαδή το διάστημα μεταξύ του πρώτου και του τρίτου τεταρτημορίου, δείχνει ότι οι καταιγίδες Daniel και Elias παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα συγκριτικά με την καταιγίδα Zorbas. Αυτό σημαίνει ότι, πέρα από την υψηλότερη ένταση, οι καταιγίδες Daniel και Elias περιείχαν μεγαλύτερη ποικιλία στη μεταβολή των τιμών κατά τη διάρκειά τους, σε αντίθεση με την καταιγίδα Zorbas που χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη σταθερότητα στις μετρήσεις.

8.4 Συμπεράσματα

Η καταιγίδα Zorbas του 2018 χαρακτηρίζεται από μικρότερη διασπορά και πιο συγκεντρωμένες τιμές γύρω από τη μέση τιμή, γεγονός που δείχνει μια πιο σταθερή και προβλέψιμη ένταση βροχόπτωσης. Αυτή η σταθερότητα επιτρέπει στα υδάτινα ρεύματα και το αποστραγγιστικό σύστημα να απορροφήσουν τη ροή του νερού με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, μειώνοντας τον κίνδυνο απότομων υπερχειλίσεων. Ωστόσο, λόγω της παρατεταμένης διάρκειας του φαινομένου, μπορεί να παρατηρηθεί κορεσμός των εδαφών, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα για πλημμυρικά φαινόμενα. Ειδικά σε περιοχές με ήδη υψηλή απορροή, το συνεχές φορτίο στο έδαφος μπορεί να προκαλέσει διαρκείς πλημμυρικές επιβαρύνσεις.

Το 2023, η καταιγίδα Daniel παρουσίασε την υψηλότερη μέση τιμή βροχόπτωσης, υποδηλώνοντας ένταση και υψηλή ποσότητα υδάτινης ροής. Η καταιγίδα αυτή φανερώνει αυξημένη μεταβλητότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται γρήγορες και υψηλές συσσωρεύσεις νερού. Αυτές οι συνθήκες αυξάνουν σημαντικά την πιθανότητα πλημμυρών, ειδικά στις περιοχές όπου το αποστραγγιστικό δίκτυο δεν είναι σχεδιασμένο για τόσο υψηλά επίπεδα ροής. Η έντονη φύση της καταιγίδας Daniel μπορεί να οδηγήσει σε διαβρώσεις και να καταστήσει τις τοπικές υποδομές ιδιαίτερα ευάλωτες.

Λίγο αργότερα την ίδια χρονιά, η καταιγίδα Elias εμφάνισε μεγάλη ποικιλία τιμών και υψηλή διασπορά, αντανακλώντας ένα φαινόμενο με έντονα μεταβαλλόμενες εντάσεις βροχόπτωσης. Αυτή η υψηλή μεταβλητότητα συνεπάγεται ακανόνιστες και απότομες αυξήσεις στη ροή των υδάτων, αυξάνοντας την πιθανότητα υπερχειλίσεων και έντονων πλημμυρικών φαινομένων. Η απότομη εναλλαγή στις βροχοπτώσεις ενδέχεται να προκαλέσει διαβρώσεις στις κοίτες των ποταμών, δημιουργώντας αυξημένο κίνδυνο για τις υποδομές της περιοχής. Η καταιγίδα Elias καταδεικνύει την επικινδυνότητα τέτοιων ασταθών φαινομένων, ειδικά σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε γρήγορη αύξηση της στάθμης των υδάτων.

Συνολικά, οι καταιγίδες Zorbas, Daniel και Elias παρουσιάζουν μοναδικά χαρακτηριστικά σε όρους διασποράς, κεντρικής τάσης και ακραίων τιμών, υποδεικνύοντας τις διαφορετικές

επιπτώσεις τους στα πλημμυρικά φαινόμενα της περιοχής. Οι εντονότερες καταιγίδες του 2023 (Daniel και Elias) φαίνεται να αυξάνουν την ένταση και τη διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων, ενώ η σταθερότερη καταιγίδα του 2018 (Zorbas) επηρεάζει τον κορεσμό του εδάφους και τη συνολική απορροή.

9 Σύγκριση Δορυφορικών Εικόνων Zorbas-Daniel/Elias

9.1 Γενικά

Η χαρτογράφηση των πλημμυρών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες συνιστώσες της διαχείρισης των φυσικών καταστροφών καθώς και της κατάλληλης περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Οι πλημμύρες μπορούν να δημιουργήσουν σημαντικές βλάβες σε υποδομές, οικοσυστήματα και να απειλήσουν ακόμα και ανθρώπινες ζωές. Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης και ψηφιακής ανάλυσης εικόνας μέσω δορυφόρων έχουν γίνει απαραίτητα εργαλεία για την ακριβή και έγκαιρη ανίχνευση και χαρτογράφηση πλημμυρών. Ιδιαίτερα χρήσιμη είναι η τεχνολογία που χρησιμοποιεί ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (Synthetic Aperture Radar-SAR) όπως το Sentinel-1. Η ικανότητα του SAR να διεισδύει στα σύννεφα και να λειτουργεί κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες το καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμο κατά τη διάρκεια πλημμυρών, όπου οι οπτικές εικόνες μπορεί να μην είναι εφικτό να μελετηθούν λόγω των υψηλών ποσοστών νεφοκάλυψης.

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται λεπτομερώς τη διαδικασία χαρτογράφησης πλημμυρών χρησιμοποιώντας δεδομένα SAR Sentinel-1 και το λογισμικό SNAP (Sentinel Application Platform). Επιπλέον καλύπτεται το θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνολογίας SAR, τη διαδικασία απόκτησης δεδομένων, τα βήματα που εμπλέκονται στην επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιώντας το SNAP και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

9.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

9.2.1 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Το Synthetic Aperture Radar (SAR) είναι ένα εργαλείο απεικόνισης που χρησιμοποιεί την κίνηση του ραντάρ για να συνθέσει ένα μεγάλο διάφραγμα κεραίας, επιτυγχάνοντας εξαιρετική ανάλυση κατά μήκος της διαδρομής. Είναι ικανό να λειτουργεί σε διάφορες συνθήκες, όπως μέσα από σύννεφα, ομίχλη και βροχόπτωση, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές τηλεπισκόπησης. Η τεχνολογία SAR έχει ποικίλες εφαρμογές, όπως χαρτογράφηση εδάφους και περιβαλλοντική παρακολούθηση[62].

Το Synthetic Aperture Radar (SAR) λειτουργεί εκπέμποντας σήματα ραντάρ και επεξεργάζοντας τα ανακλώμενα σήματα για να δημιουργήσει εικόνες υψηλής ανάλυσης της επιφάνειας της Γης. Το σύστημα SAR εκπέμπει μια σειρά από παλμούς ραντάρ προς το έδαφος. Αυτοί οι παλμοί βρίσκονται συνήθως στη ζώνη συχνοτήτων μικροκυμάτων, επιτρέποντας τη

διείσδυση μέσω των νεφών και τη λειτουργία σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Καθώς η πλατφόρμα ραντάρ (αερομεταφερόμενη ή διαστημική) κινείται κατά μήκος της πορείας της, συλλέγει δεδομένα από πολλές θέσεις. Αυτή η κίνηση προσομοιώνει ένα μεγάλο άνοιγμα κεραίας, η οποία είναι κρίσιμη για την επίτευξη υψηλής ανάλυσης[63]. Τα εκπεμπόμενα σήματα ραντάρ χτυπούν στο έδαφος και ανακλώνται πίσω στο σύστημα ραντάρ. Έπειτα υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την επιστροφή των σημάτων, ο οποίος βοηθά στον καθορισμό της απόστασης από τον στόχο. Το σύστημα ραντάρ συλλέγει συνεχώς τα ανακλώμενα σήματα καθώς κινείται. Κάθε παλμός παρέχει πληροφορίες για το έδαφος και ο συνδυασμός αυτών των σημάτων επιτρέπει τη δημιουργία μιας λεπτομερούς εικόνας. Τα συλλεγμένα δεδομένα υφίστανται πολύπλοκες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων, όπως η προσαρμοσμένη διήθηση και η συμπίεση παλμών. Αυτές οι τεχνικές βελτιώνουν την ποιότητα των εικόνων και την ανάλυση συσχετίζοντας τα ληφθέντα σήματα με τα εκπέμποντα. Τα επεξεργασμένα δεδομένα χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μιας δισδιάστατης εικόνας της περιοχής που εξετάζεται. Η ανάλυση της εικόνας καθορίζεται από την συνθετική άνοιξη που δημιουργείται μέσω της κίνησης του ραντάρ και των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων επεξεργασίας. Οι εικόνες που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές, όπως γεωλογικές εκτιμήσεις, παρακολούθηση του περιβάλλοντος ακόμα και για εφαρμογές που στοχεύουν σε στρατιωτική αναγνώριση της εκάστοτε περιοχής [62,64].

Συνοψίζοντας, το SAR αξιοποιεί την κίνηση της πλατφόρμας ραντάρ και προηγμένες τεχνικές επεξεργασίας σημάτων για να δημιουργήσει εικόνες υψηλής ανάλυσης της επιφάνειας της Γης, καθιστώντας το ένα ισχυρό εργαλείο για τηλεπισκόπηση.

9.2.2 Sentinel-1

Η αποστολή Sentinel-1 αποτελεί μέρος του προγράμματος Copernicus του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (European Space Agency's - ESA). Αποτελείται από έναν συνδυασμό δορυφόρων SAR (Sentinel-1A και Sentinel-1B) που παρέχουν συνεχή δεδομένα υψηλής ανάλυσης μέσω ραντάρ. Ο Sentinel-1 λειτουργεί στο εύρος συχνοτήτων μικροκυμάτων C-band με μήκος κύματος περίπου 5,6 cm. Τα χαρακτηριστικά αυτά τον καθιστούν κατάλληλο για την ανίχνευση αλλαγών στα επιφανειακά ύδατα και την χαρτογράφηση πλημμυρισμένων περιοχών. Οι κύριοι στόχοι της αποστολής περιλαμβάνουν την παρακολούθηση χερσαίου και θαλάσσιου περιβάλλοντος , την συμβολή στην αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης καθώς και την συμβολή στο ερευνητικό έργο[65].
Οι κύριοι τρόποι λειτουργίας για τη χαρτογράφηση πλημμυρών είναι:

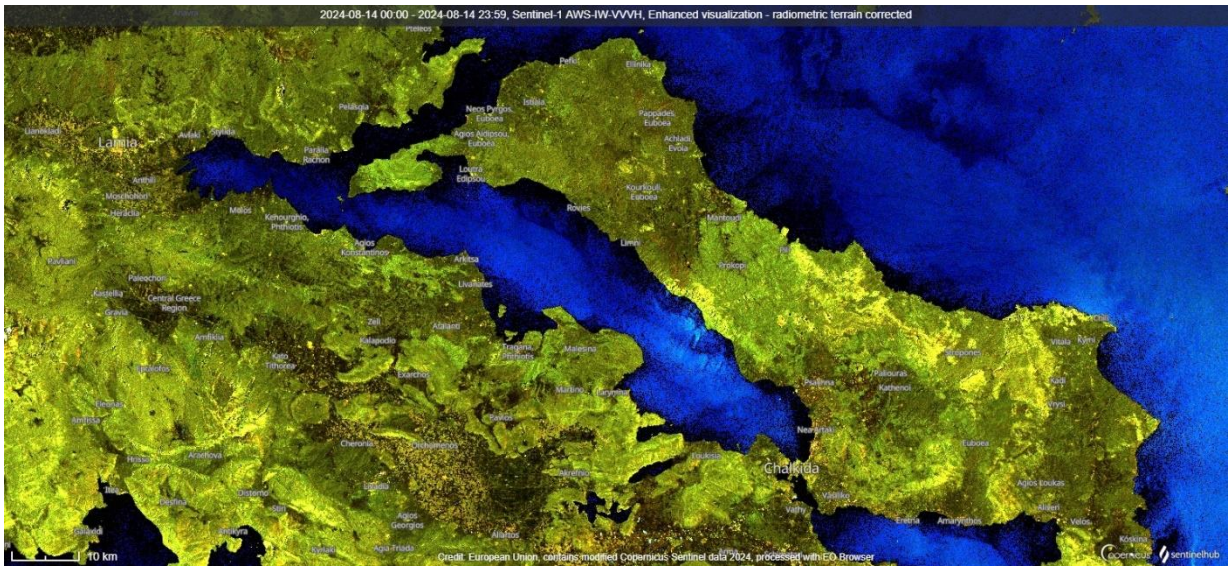
- Interferometric Wide Swath (IW): Παρέχει κάλυψη μεγάλης λωρίδας (250 km) με μέτρια ανάλυση (5 x 20 μέτρα).

- Extra-Wide Swath (EW): Παρέχει ακόμη μεγαλύτερη κάλυψη (400 km) αλλά σε χαμηλότερη ανάλυση, χρήσιμη για παρακολούθηση πλημμυρών σε περιφερειακή κλίμακα.

9.3 Δεδομένα

9.3.1 Επιλογή δεδομένων Sentinel-1

Για την χαρτογράφηση τον πλημμυρών και την μελέτη των πλημμυρικών φαινομένων της εργασίας έγινε λήψη των δεδομένων Sentinel-1 SAR για την περιοχή ενδιαφέροντος και την χρονική περίοδο πριν και μετά από το πλημμυρικό γεγονός. Οι κυριότερες πλατφόρμες μεταφόρτωσης των δεδομένων αυτών είναι το Copernicus Open Access Hub [66] και το Sentinel Hub EO Browser [67].



Εικόνα 9.1 Enhanced visualization-radiometric terrain corrected

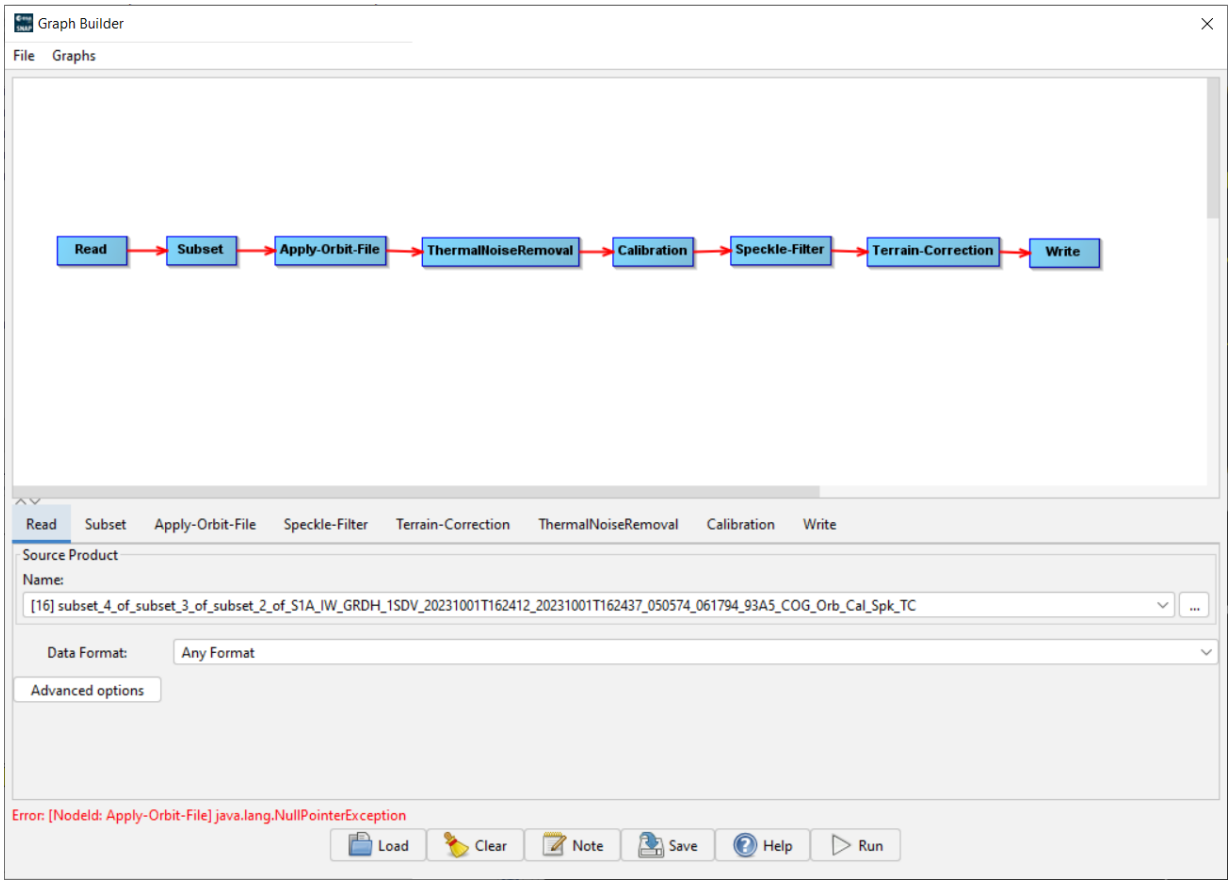
Κατά την επιλογή και των δεδομένων είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψιν κάποιες λεπτομέρειες για την ακριβέστερη επεξεργασίας τους στα επόμενα στάδια. Το σύνολο των δεδομένων θα πρέπει να καλύπτει όσο είναι εφικτό τον χρόνο πριν κατά την διάρκεια και μετά το πλημμυρικό συμβάν ώστε να είναι πιο εύκολη η παρατήρηση της εξέλιξης της πλημμύρας. Επίσης πολύ σημαντική είναι η επιλογή ανάλυσης που να συνάδει με την κλίμακα της πλημμύρας, η λειτουργία IW προτιμάται γενικά για χαρτογράφηση πλημμυρών λόγω της ισορροπίας μεταξύ κάλυψης και ανάλυσης. Τα δεδομένα του Sentinel-1 είναι διαθέσιμα σε VV (κάθετη-κάθετη) και VH (κάθετη-οριζόντια) πόλωση. Η VH είναι συχνά πιο ευαίσθητη στα επιφανειακά ύδατα και είναι χρήσιμη για τη διάκριση των πλημμυρισμένων περιοχών από άλλους τύπους γης.

9.3.2 Μεταφόρτωση των δεδομένων

Μόλις γίνει η επιλογή και προσδιοριστούν τα κατάλληλα σύνολα δεδομένων μπορούν να ληφθούν από τις αντίστοιχες ιστοσελίδες. Τα δεδομένα παρέχονται σε μορφές SLC (Single Look Complex) ή GRD (Ground Range Detected). Για τη χαρτογράφηση πλημμυρών, η GRD χρησιμοποιείται συνήθως καθώς είναι ήδη γεωαναφερόμενη και ευκολότερη στην επεξεργασία.

9.4 Επεξεργασία Δεδομένων Μέσω SNAP

Το SNAP (Sentinel Application Platform) είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που αναπτύχθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων Sentinel. Για να γίνει η χαρτογράφηση της πλημμύρας μέσω του λογισμικού αυτού ακολουθείται μία διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων SAR η οποία παρατίθεται παρακάτω[68].



Εικόνα 9.2 Βήματα επεξεργασίας δεδομένων SAR

Subset: Το πρώτο βήμα αφορά τον περιορισμό της πληροφορίας χωρικά. Μέσω της εντολής subset μπορεί να επιλεγεί μια συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος από το μεγαλύτερο σύνολο δεδομένων, μειώνοντας το μέγεθος των δεδομένων για ταχύτερη επεξεργασία.

Διαδικασία στο SNAP:

- Άνοιγμα του ληφθέντος αρχείου Sentinel-1 GRD στο SNAP.
- Μετάβαση στο Raster > Subset.
- Επιλογή κατάλληλου πολύγωνου περιοχής ενδιαφέροντος ή εφαρμογή συντεταγμένων.

*Apply Orbit File***:** Το επόμενο βήμα προεπεξεργασίας είναι η εφαρμογή του αρχείου τροχιάς στα δεδομένα SAR. Τα αρχεία τροχιάς περιέχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με τη θέση του δορυφόρου και είναι απαραίτητα για την ακριβή γεωαναφορά.

Διαδικασία στο SNAP:

- Μετάβαση στο Radar > Apply Orbit File.
- Επιλογή κατάλληλου αρχείου τροχιάς και εφαρμογή στην εικόνα.

*Thermal Noise Removal***:** Αυτό το βήμα αφαιρεί τον θερμικό θόρυβο (thermal noise) από τα δεδομένα, ο οποίος είναι ένας τύπος ανεπιθύμητου σήματος που μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα των εικόνων SAR.

Διαδικασία στο SNAP:

- Μετάβαση στο Radar > Radiometric > Thermal Noise Removal.
- Επιλογή κατάλληλου συνολου δεδομένων (συνήθως λειτουργούν οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις).

Calibration: Η ραδιομετρική βαθμονόμηση μετατρέπει το σήμα SAR σε μια φυσικά σημαντική τιμή γνωστή ως συντελεστής οπισθοσκέδασης (sigma nought, σ0). Αυτό το βήμα είναι πολύ σημαντικό για τη σύγκριση διαφορετικών εικόνων SAR με την πάροδο του χρόνου και για την ανάλυση της έντασης του σήματος επιστροφής ραντάρ.

Διαδικασία στο SNAP:

- Μετάβαση στο Radar > Radiometric > Calibration.
- Επιλογή εξόδου Sigma0 και καθορισμός πόλωσης (VV ή VH).
- Εκτέλεση διαδικασίας.

*Speckle Filter***:** Ο θόρυβος των κηλίδων (speckle noise), εγγενής στις εικόνες SAR, μπορεί να αποκρύψει χαρακτηριστικά ενδιαφέροντος. Το Speckle Filter μειώνει αυτόν τον θόρυβο, διευκολύνοντας τον εντοπισμό πλημμυρισμένων περιοχών.

Διαδικασία στο SNAP:

- Μετάβαση στο Radar > Speckle Filtering .
- Επιλέξτε ένα speckle filter, όπως Lee ή Gamma MAP, και εφαρμόστε το στην εικόνα.

Terrain Correction: Η διόρθωση εδάφους πραγματοποιείται για την απομάκρυνση των παραμορφώσεων που προκαλούνται από την τοπογραφία της επιφάνειας της Γης και για την

ακριβή γεωαναφορά της εικόνας.

Διαδικασία στο SNAP:

- Μετάβαση στο Radar > Geometric > Terrain Correction > Range-Doppler Terrain Correction.
- Επιλογή ενός ψηφιακού μοντέλου ανύψωσης (DEM) όπως SRTM 3Sec και ορισμός της κατάλληλης προβολής εξόδου (π.χ. UTM).
- Εκτέλεση της διαδικασίας διόρθωσης.

9.4.1 Μέθοδος χαρτογράφησης πλημμύρας με κατώφλι (Thresholding)

Μία κοινή μέθοδος για την ανίχνευση πλημμυρών είναι η χρήση κατωφλίων, όπου περιοχές με τιμές ανακλώμενου σήματος ραντάρ κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο ταξινομούνται ως υδάτινες. Το αποτέλεσμα είναι μια δυαδική μάσκα που δείχνει τις πλημμυρισμένες σε σχέση με τις μη πλημμυρισμένες περιοχές.

Διαδικασία στο SNAP:

- Χρήση του εργαλείου Bant Maths για την δημιουργία μιας νέας ζώνη που εφαρμόζει ένα κατώφλι στη βαθμονομημένη εικόνα SAR.
- Για παράδειγμα, μπορεί να οριστεί το όριο έτσι ώστε οι περιοχές με Sigma0 < 1.5E-2 να ταξινομούνται ως νερό. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιούμε την εντολή : If Sigma0 < 1.5E-2 then 1 else NaN
- Αυτό δημιουργεί μια δυαδική εικόνα όπου το 1 αντιπροσωπεύει το νερό (πλημμυρισμένες περιοχές) και το 0 αντιπροσωπεύει τη μη πλημμυρισμένη γη.

9.5 Εφαρμογή στην περιοχή μελέτης

9.5.1 Σχέση βροχόπτωσης-πλημμυρικού φαινομένου

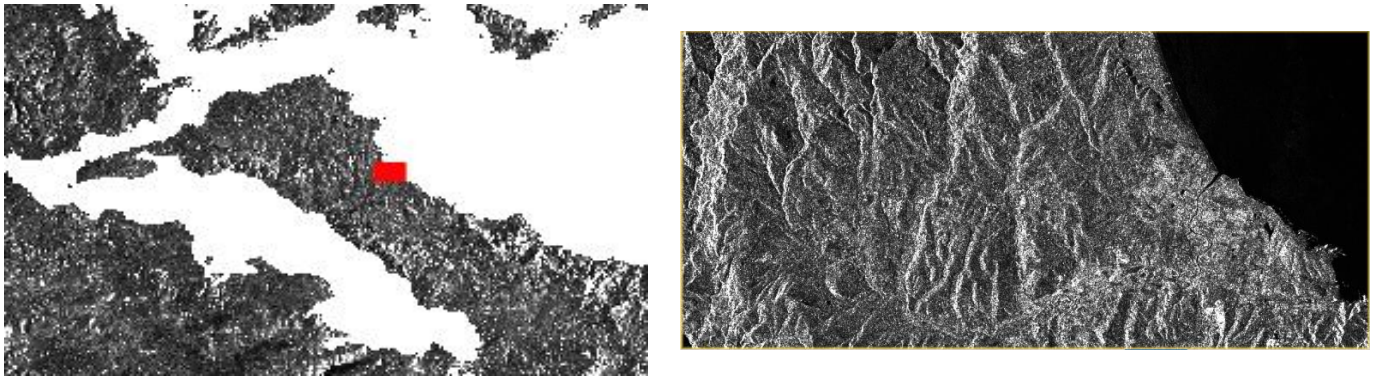
Με βάση την στατιστική ανάλυση των γεγονότων Zorbas και Daniel/Elias παρατηρείται ότι η ένταση στης βροχής στην δεύτερη περίπτωση ήταν πολύ μεγαλύτερη. Η παρατήρηση αυτή έρχεται σε αντίθεση με το μέγεθος του πλημμυρικού φαινομένου σε κάθε γεγονός. Με βάση μαρτυρίες των κατοίκων της περιοχής καθώς και ειδησεογραφικές πηγές η πλημμυρική στάθμη του Zorba έφτασε υψηλότερα από εκείνη του Elias, παρά τη μικρότερη ένταση των βροχοπτώσεων που συνδέονται με αυτόν. Για τον λόγω αυτό κρίθηκε αναγκαία η σύγκριση της έκτασης των πλημμυρισμένων περιοχών σε κάθε περίπτωση.

9.5.2 Σύγκριση δορυφορικών εικόνων

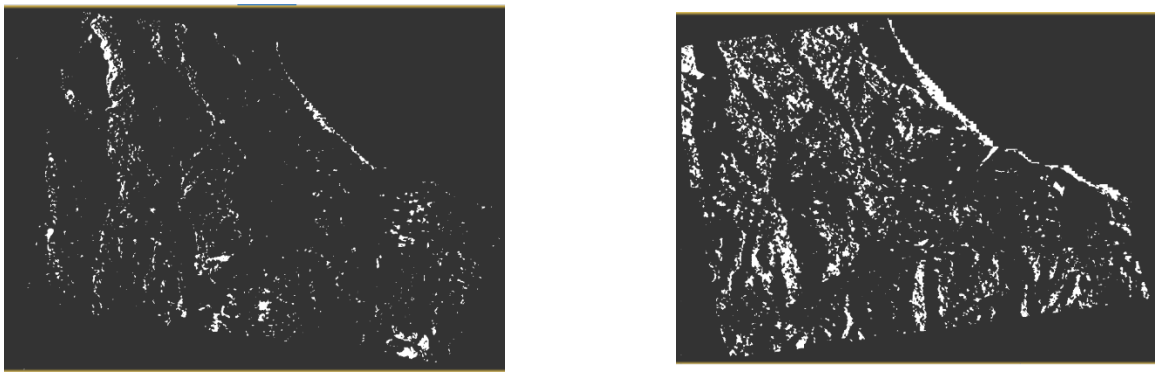
Η μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω παρουσιάζει ορισμένες αδυναμίες όταν η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα ορεινά. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε για την σύγκριση το μέρος του ποταμού κατάντη της συμβολής των ποταμών Νηλέα και Κηρέα , ο ποταμός Βούδουρος.

Για την ανάλυση , και με βάση τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα, έγινε επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων από τις εξής ημερομηνίες:

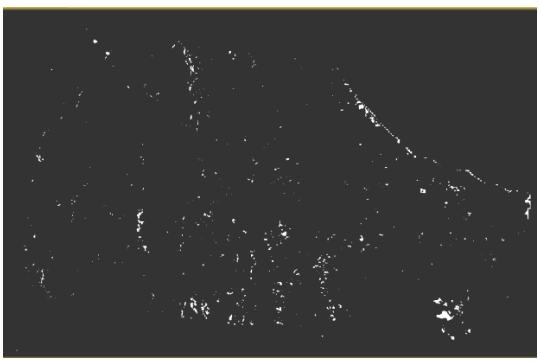
27/09/2018	Έναρξη φαινομένου Zorba
03/10/2018	Λήξη φαινομένου Zorba
01/09/2023	Έναρξη φαινομένου Daniel
07/09/2023	Λήξη φαινομένου Daniel
25/09/2023	Έναρξη φαινομένου Elias
01/10/2023	Λήξη φαινομένου Elias

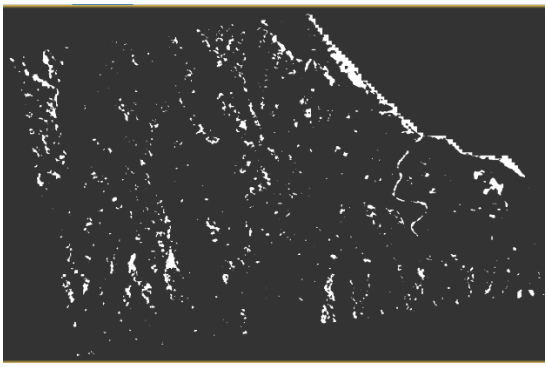


Εικόνα 9.3 . Sentinel-1 SAR, [69, 70]. α) Βόρεια Εύβοια. Με κόκκινο χρώμα, υποδεικνύεται η περιοχή ενδιαφέροντος. β) περιοχή ενδιαφέροντος

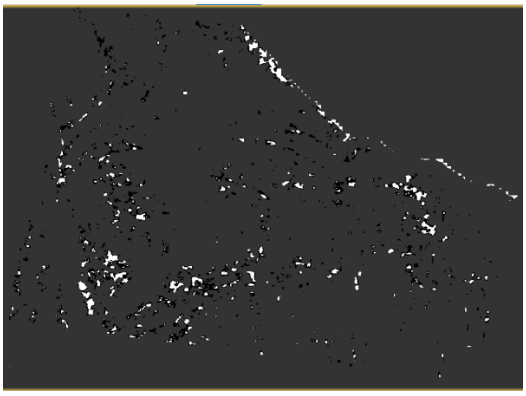


Εικόνα 9.4 Sentinel-1 SAR, . Καταιγίδα Ζορμπάς. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 27.09.2018 β) 3.10.2018





Εικόνα 9.5 Sentinel-1 SAR,. Καταιγίδα Ντάνιελ. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 1.9.2023 β) 7.9.2023



Εικόνα 9.6 Sentinel-1 SAR, . Καταιγίδα Ελίας. Πλημμυρικές ζώνες στην περιοχή ενδιαφέροντος α) 25.9.2023 β) 1.10.2023

Με λευκό χρώμα στις εικόνες αποτυπώνονται οι περιοχές τις οποίες υπήρχε πιο έντονα το πλημμυρικό φαινόμενο. Συγκρίνοντας τις πλημμυρισμένες περιοχής μετά το πέρας των γεγονότων δηλαδή την αρχή του μήνα Οκτωβρίου παρατηρούμε ότι το ποσοστό των πλημμυρισμένων περιοχών διαφέρει κατ' ελάχιστο στις δύο περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό είναι αξιοσημείωτο εφόσον , όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στα γεγονότα Daniel και Elias αθροιστικά αλλά και μεμονωμένα σημειώθηκαν μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης.

Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία των πλατάνων και στη μειωμένη ταχύτητα ροής του νερού, η οποία επέφερε πιο αργή απορροή. Αντίθετα, στον Elias, η απουσία πλατάνων και δασικών εκτάσεων, σε συνδυασμό με την αυξημένη ροή υδάτων, οδήγησε σε ταχύτερη απορροή, παρασύροντας ταυτόχρονα φερτά υλικά και πρανή της κοίτης. Παρά τις εκτεταμένες καταστροφές που προκλήθηκαν από τη διάβρωση της κοίτης, η έκταση του πλημμυρικού πεδίου ήταν πιο περιορισμένη σε σχέση με το μέγεθος του φαινομένου.

10 Ορθολογική Μέθοδος

10.1 Γενικά

Η διαχείριση της επιφανειακής απορροής των βροχοπτώσεων που συμβαίνει κατά την διάρκεια μίας καταιγίδας προβλέπεται να γίνεται μέσω του δικτύου ομβρίων. Η απορροή αυτή αποτελεί ένα υδρολογικό μέγεθος και η ποσοτικής της εκτίμηση εμπίπτει στον τομέα της τεχνικής υδρολογίας. Δεδομένου ότι η παροχή των ομβρίων (Q) αυτό έχει έντονο στοιχείο τυχαιότητας , η ποσοτική περιγραφή γίνεται με βάση την θεωρία πιθανοτήτων. Η υδρολογική πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων βασίζεται στα βροχομετρικά δεδομένα. Ειδικότερα, δεδομένου ότι οι κρίσιμοι χρόνοι βροχής είναι συνήθως μερικών λεπτών και σπάνια ξεπερνούν τη μία ώρα, είναι αναγκαία η γνώση των εντάσεων βροχής μικρής διάρκειας. Η ορθολογική μέθοδος έρχεται να υποστηρίξει τους υπολογισμούς της θεωρίας πιθανοτήτων που χρειάζονται για τον προσδιορισμό της απορροής, προσφέροντας μια απλή αλλά αποτελεσματική προσέγγιση[71].

10.2 Θεωρητικό υπόβαθρο

10.2.1 Η εξίσωση Q=C·i·A

Η ορθολογική μέθοδος βοηθάει στην μετατροπή της ποσότητας βροχής σε απορροή μέσω της εξίσωσης:

$$Q = C \cdot i \cdot A$$

Q: μέγιστη παροχή πλημμύρας
C: συντελεστής απορροής
i: μέση ένταση βροχής (χρονικά και χωρικά)
A: έκταση της λεκάνης απορροής

Σημείωση: Παρόλο που η εξίσωση αυτή είναι συνεπής ως προς τις μονάδες μέτρησης, είναι απαραίτητο να μετατρέπονται οι μονάδες σε κατάλληλα μεγέθη (π.χ., η ένταση βροχής από mm/h σε m/s) για να εφαρμοστεί σωστά η μέθοδος.

Η επιφάνεια της λεκάνης απορροής προσδιορίζεται με ακρίβεια, καθώς αποτελεί το μοναδικό στοιχείο της μεθόδου που μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς. Σε αστικές περιοχές, η χάραξη του υδροκρίτη λαμβάνει υπόψη και το ρυμοτομικό σχέδιο, ενώ σε μη αστικές περιοχές, ο προσδιορισμός του ορίου της επιφάνειας βασίζεται κυρίως στην τοπογραφία.[71]

Όσον αφορά τις όμβριες καμπύλες, αυτές απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ έντασης, χρονικής

κλίμακας και περιόδου επαναφοράς των βροχοπτώσεων. Οι όμβριες καμπύλες αποτελούν ουσιώδες στοιχείο για την εκτίμηση των παροχών ομβρίων μιας περιοχής, βασισμένες σε βροχογραφικά δεδομένα. Η κατασκευή τους εξαρτάται από την ανάλυση ακραίων υψών βροχής και οι μορφές τους επηρεάζονται από διάφορες μεθοδολογικές υποθέσεις.

Η σύγχρονη προσέγγιση στην κατάρτιση των όμβριων καμπυλών βασίζεται σε δεδομένα από βροχόμετρα και βροχογράφους, και χρησιμοποιεί παραμετρικές εκφράσεις που απορρέουν από συναρτησιακές εκφράσεις πιθανοτικών κατανομών. Η γενική σχέση των όμβριων καμπυλών εκφράζεται μέσω της εξίσωσης:

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

όπου το i είναι η μέγιστη ένταση βροχής για συγκεκριμένη χρονική κλίμακα d και περίοδο επαναφοράς T. Οι συναρτήσεις a(T) και b(d) είναι παραμετρικές και προσδιορίζονται αναλυτικά από τις κατανομές έντασης βροχής της περιοχής μελέτης, αποφεύγοντας τη χρήση εμπειρικών συναρτήσεων.

Η κρίσιμη ένταση βροχής υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τις όμβριες καμπύλες, αφού πρώτα επιλεγεί η περίοδος επαναφοράς και καθοριστεί η διάρκεια της βροχής. Στην ορθολογική μέθοδο, η χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της έντασης βροχής θεωρείται ίση με τη διάρκεια της κρίσιμης βροχής και ταυτίζεται με τον χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης μέχρι το σημείο που γίνεται ο έλεγχος της διατομής. Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει μια σταγόνα βροχής από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στην εξεταζόμενη διατομή.[72]

Η παραδοχή ότι η διάρκεια της βροχής ισούται με τον χρόνο συγκέντρωσης βασίζεται στην απλή (αλλά όχι αυστηρά αποδεδειγμένη) λογική ότι για μια δεδομένη ένταση βροχής, η απορροή φτάνει στο μέγιστο όταν η διάρκεια της βροχής είναι τουλάχιστον ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης, καθώς τότε όλα τα τμήματα της λεκάνης συμβάλλουν στην απορροή. Εάν η διάρκεια της βροχής είναι μεγαλύτερη, η έντασή της μειώνεται, και έτσι η απορροή θα είναι μικρότερη. Συνεπώς, ο μέγιστος ρυθμός απορροής, για δεδομένη περίοδο επαναφοράς, αναμένεται όταν η διάρκεια της βροχής είναι ίση με τον χρόνο συγκέντρωσης.

Στα δίκτυα ομβρίων, ο χρόνος συγκέντρωσης μπορεί να αναλυθεί σε δύο επιμέρους χρόνους: τον χρόνο εισόδου, δηλαδή τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η απορροή στο δίκτυο, και τον χρόνο ροής κατά μήκος του αγωγού μέχρι τη διατομή που εξετάζεται. Ο χρόνος εισόδου εξαρτάται από την κλίση του εδάφους, το μήκος της διαδρομής μέχρι το δίκτυο, τη συχνότητα των φρεατίων υδροσυλλογής και των ιδιωτικών συνδέσεων, καθώς και από τις πολεοδομικές συνθήκες. Εξαρτάται επίσης από την ένταση της βροχής, καθώς και από τις συνθήκες

κατακράτησης και διήθησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της βροχής, τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος εισόδου.

Σε αντίθεση με τον χρόνο εισόδου, ο χρόνος ροής μπορεί να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, βασισμένος σε υδραυλικούς υπολογισμούς. Σε ένα δίκτυο ομβρίων, υπάρχουν πολλές εναλλακτικές διαδρομές που μπορούν να καταλήξουν στη συγκεκριμένη θέση που εξετάζεται. Πρέπει να επιλέγεται η διαδρομή που έχει τον μέγιστο χρόνο συγκέντρωσης, ο οποίος είναι η άθροιση του χρόνου εισόδου και του χρόνου ροής.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ενδιαφέρει επίσης ο υπολογισμός του χρόνου εισόδου εξωτερικών μη αστικών λεκανών, όπου η απορροή οδηγείται είτε στο δίκτυο ομβρίων είτε σε περιμετρική τάφρο αποχέτευσης. Για την εκτίμηση του χρόνου συγκέντρωσης, χρησιμοποιείται συχνά η εμπειρική σχέση του Giandotti, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη στην ελληνική πρακτική, αλλά υπάρχουν και άλλες σχέσεις που εφαρμόζονται διεθνώς για διάφορες λεκάνες.

Οι διαφορετικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης περιλαμβάνουν τη σχέση του Kirpich, η οποία αναπτύχθηκε από δεδομένα της Αμερικανικής Υπηρεσίας Διατήρησης Εδάφους και αναφέρεται κυρίως σε αγροτικές λεκάνες, καθώς και άλλες σχέσεις όπως της California Culverts Practice και της Federal Aviation Administration, που αναπτύχθηκαν για μικρές λεκάνες και αστικές περιοχές.

Συνοψίζοντας, ο χρόνος συγκέντρωσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στον υπολογισμό των παροχών σχεδιασμού και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η κλίση του εδάφους, η ένταση της βροχής, και η πολεοδομική διαμόρφωση της περιοχής.[71]

10.2.2 Συντελεστής Manning

Ο συντελεστής Manning, συχνά αναφερόμενος ως *n*, είναι μια εμπειρική παράμετρος που χρησιμοποιείται στην υδραυλική μηχανική για την εκτίμηση της ροής του νερού σε ανοιχτούς αγωγούς. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την τραχύτητα και την αντίσταση που προσφέρει η κοίτη του αγωγού στη ροή του νερού.[73]

Είναι σημαντικό τα σημειωθεί ότι ο συντελεστής Manning επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Στην υπό μελέτη περιοχή τα σημαντικότερα γεγονότα που επηρέασαν την τραχύτητα της περιοχής τα τελευταία χρόνια είναι η πυρκαγιά του 2021 και ευπάθεια των πλατανιών που οδήγησε στην εξάλειψη τους.

Η φωτιά επηρεάζει τον συντελεστή Manning και την τραχύτητα του εδάφους, τροποποιώντας την υδραυλική συμπεριφορά ενός ποταμού και την ικανότητά του να απορροφά και να

διοχετεύει το νερό. Ο συντελεστής Manning (n), που καθορίζει την αντίσταση του εδάφους στη ροή του νερού, μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά μετά από μία πυρκαγιά. Με την καταστροφή της βλάστησης στις όχθες ή στον πυθμένα ενός ποταμού, μειώνεται η φυτοκάλυψη και η τραχύτητα της κοίτης, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται ο συντελεστής Manning. Η μειωμένη αντίσταση από τη χαμένη βλάστηση επιτρέπει στο νερό να ρέει ταχύτερα, αφού δεν υπάρχουν πλέον φυτά και δέντρα να επιβραδύνουν τη ροή [74].

Επιπλέον, η φωτιά αποσταθεροποιεί το έδαφος, κάνοντάς το πιο ευάλωτο στη διάβρωση και αυξάνοντας την πιθανότητα εναπόθεσης υλικών μέσα στην κοίτη του ποταμού. Τα καμένα υπολείμματα της βλάστησης, καθώς και το χώμα που διαβρώνεται πιο εύκολα, συσσωρεύονται στον ποταμό, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τον συντελεστή Manning και να περιορίσει την κοίτη. Αυτό το φαινόμενο αυξάνει τον κίνδυνο υπερχείλισης, καθώς η ικανότητα του ποταμού να μεταφέρει μεγάλους όγκους νερού περιορίζεται.

Παράλληλα, η καταστροφή των οργανικών υλικών του εδάφους λόγω της φωτιάς μειώνει τη διηθητικότητα της περιοχής, καθιστώντας το έδαφος λιγότερο διαπερατό. Η επιφάνεια του εδάφους γίνεται πιο αδιάβροχη, οδηγώντας σε αυξημένη επιφανειακή απορροή. Παρόλο που αυτή η διαδικασία δεν επηρεάζει άμεσα τον συντελεστή Manning, αυξάνει την ποσότητα και την ταχύτητα του νερού που φτάνει στην κοίτη, επιβαρύνοντας τη συνολική υδραυλική συμπεριφορά της περιοχής. Έτσι, η φωτιά μπορεί να μειώσει την τραχύτητα λόγω της απώλειας της βλάστησης, ενώ παράλληλα προκαλεί διάβρωση και εναπόθεση υλικών, με επιπτώσεις στη φυσική ροή του ποταμού και την ευπάθεια του στις πλημμύρες.

10.2.3 Συντελεστή CN

Η παράμετρος CN (Curve Number) λαμβάνει τιμές από 0 έως 100 και επηρεάζεται από τις συνθήκες του εδάφους, τη χρήση της γης στη λεκάνη απορροής, καθώς και από τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, οι οποίες σχετίζονται με το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από προηγούμενες καταιγίδες. Αρχικά, η μέθοδος SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις κατηγορίες, με βάση τη διαπερατότητά τους:

Ομάδα Α	Εδάφη με υψηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως αμμώδη και χαλικώδη εδάφη με πολύ λίγο ποσοστό ιλύος και αργίλου.
Ομάδα Β	Εδάφη με μεσαίους ρυθμούς διήθησης, όπως αμμώδης πηλός.
Ομάδα Γ	Εδάφη με χαμηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως αργιλώδη εδάφη με σημαντική περιεκτικότητα σε άργιλο ή φτωχά σε οργανικό υλικό.

Ομάδα Δ	Εδάφη με πολύ χαμηλούς ρυθμούς διήθησης, όπως εδάφη που διογκώνονται όταν διαβραχούν (πλαστικές άργιλοι) ή επιφανειακά εδάφη με σχεδόν αδιαπέρατους υποορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Στη συνέχεια, καθορίζονται τρεις τύποι συνθηκών υγρασίας του εδάφους:

Τύπος I	Ξηρές συνθήκες (τα εδάφη είναι ξηρά αλλά όχι σε κατάσταση μαρασμού), όταν η βροχόπτωση των τελευταίων 5 ημερών είναι μικρότερη από 13 mm.
Τύπος II	Μέσες συνθήκες, όταν η βροχόπτωση των τελευταίων 5 ημερών κυμαίνεται μεταξύ 13 και 38 mm.
Τύπος III	Υγρές συνθήκες (τα εδάφη είναι σχεδόν κορεσμένα), όταν η βροχόπτωση των τελευταίων 5 ημερών είναι μεγαλύτερη από 38 mm.

Για τον τύπο υγρασίας II, η μέθοδος SCS παρέχει πίνακες με τιμές CN για κάθε ομάδα εδάφους και διάφορες χρήσεις γης.

Περιγραφή χρήσης γης		Υδρολογικός τύπος εδάφους			
		A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις		62 - 72	71 - 81	78 - 88	81 - 91
Λιβάδια, βοσκότοποι		30 - 68	58 - 79	71 - 86	78 - 89
Δάση		25 - 45	55 - 66	70 - 77	77 - 83
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, νεκροταφεία κτλ.					
με κάλυψη από πράσινο > 75%		39	61	74	80
με κάλυψη από πράσινο < 75%		49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές		89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπέρατες)		81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές					
Μέσο μέγεθος οικοπέδου (στρ)	Ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας (%)				
≤ 0.5	65	77	85	90	92
1	38	61	75	83	87
1.5	30	57	72	81	86
2	25	54	70	80	85
4	20	51	68	79	84
Δρόμοι					
με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων		98	98	98	98
χαλικόστρωτοι		76	85	89	91
χωματόδρομοι		72	82	87	89

Για τους τύπους I και III, το CN υπολογίζεται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

- Για τον Τύπο I:
  $$CN_I = CN_{II} - \frac{4.2 \cdot CN_{II}}{10 + 0.058 \cdot CN_{II}}$$
- Για τον Τύπο III:
  $$CN_{III} = CN_{II} + \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}}$$

Αντίστοιχα με τον συντελεστή τραχύτητας μεγάλη η πυρκαγιά επηρεάζει σημαντικά και τον συντελεστή απορροής.
Η ταξινόμηση της έντασης της επίδρασης της πυρκαγιάς γίνεται με βάση τη σφοδρότητά της ως εξής:

- Χαμηλή επίδραση: Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την παρουσία δέντρων με διατηρημένα φύλλα και έντονη καύση των μίσχων. Η επιφανειακή βλάστηση εμφανίζει μικρό βαθμό απανθράκωσης, ενώ το οργανικό υπόστρωμα παραμένει ως επί το πλείστον ανέπαφο, με περιορισμένη απανθράκωση σε βάθος χιλιοστών.
- Μέτρια επίδραση: Παρατηρείται πλήρης καύση των κορμών των δέντρων, με περιορισμένη διατήρηση των φύλλων. Η επιφανειακή βλάστηση είναι μετρίως απανθρακωμένη, και το οργανικό υπόστρωμα εμφανίζει εμφανή επίπεδα απανθράκωσης.
- Υψηλή επίδραση: Εμφανίζεται εκτεταμένη καταστροφή των κορμών και των βελόνων των δέντρων, συνοδευόμενη από εναπόθεση λευκής τέφρας και απανθρακωμένη οργανική ύλη σε βάθος αρκετών εκατοστών.

Η εκτίμηση της επίδρασης της πυρκαγιάς αυτή αναπαριστά μια μέση κατάσταση σε επίπεδο υπολεκάνης απορροής. Βάσει αυτής, υπολογίζεται η μεταβολή στον αριθμό καμπύλης απορροής (CN), ως εξής [75]:

Μεγάλη επίδραση: CNpost = CNpre + 15
Μέτρια επίδραση: CNpost = CNpre + 10
Χαμηλή επίδραση: CNpost = CNpre + 5

Για την ορθολογική μέθοδο απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή απορροής C για την εκτίμηση της απορροής νερού από μια επιφάνεια κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης. Ο αριθμός αυτός εκφράζει το ποσοστό της βροχόπτωσης που μετατρέπεται σε απορροή, δηλαδή τη ροή νερού που κινείται πάνω από την επιφάνεια και κατευθύνεται προς αποχετευτικά συστήματα, ποτάμια ή άλλες λεκάνες απορροής. Στην παρούσα εργασία , επειδή το επιτρέπουν οι τιμές του αριθμού cn θεωρούμε αναλογική σχέση μεταξύ των δύο συντελεστών.

10.3 Μεθοδολογία

Η ορθολογική μέθοδος που περιεγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση απορροής των υπό μελέτη γεγονότων βροχόπτωσης. Για την εφαρμογή της απαιτείται η συλλογή διάφορων δεδομένων και η επεξεργασία τους ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις της μεθόδου. Επιπλέον αξιοποιήθηκαν μετρήσεις από συγκεκριμένες θέσεις για την μετέπειτα αναλογία και σύγκριση των στοιχείων με τα αποτελέσματα του μοντέλου.

10.3.1 Γεωμετρικά Δεδομένα

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης έχουν υπολογιστεί με την βοήθεια των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS) καθώς και των χαρτών που παρέχονται από το Google Earth. Τα στοιχεία που αφορούν την συγκεκριμένη μέθοδο είναι κυρίως το εμβαδόν της λεκάνης απορροής, το συνολικό μήκος του υδατορέματος, το μέσο υψόμετρο εδάφους και η κλίση του εδάφους.

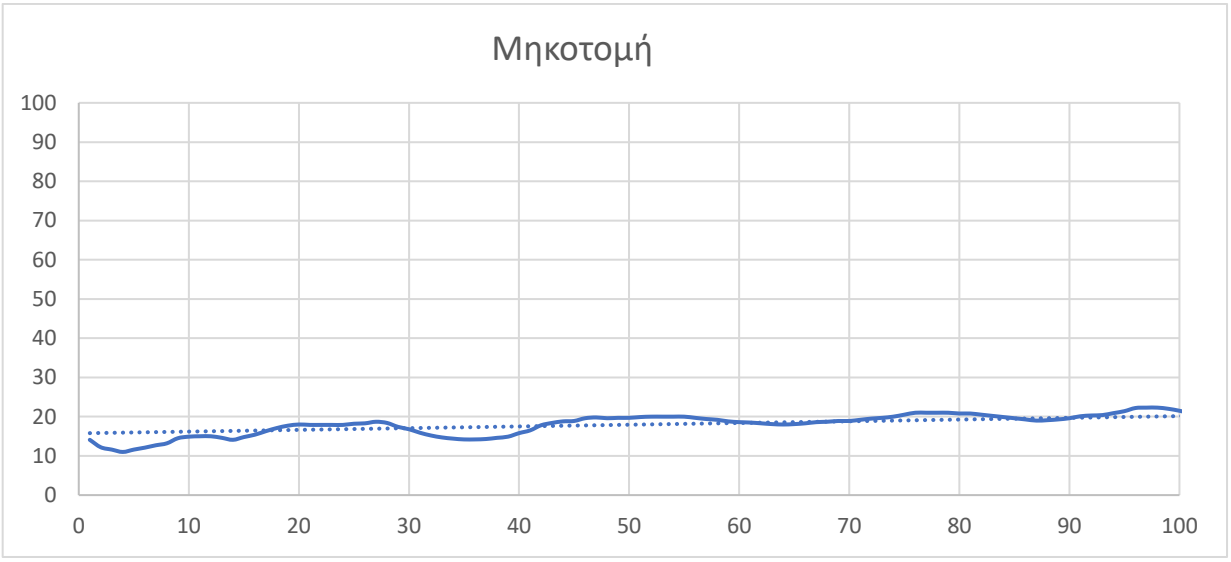
Εμβαδόν Λεκάνης (km^2)	
184.45	
Μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)	
262	
Υψόμετρο Εξόδου Λεκάνης	13m
Υψόμετρο Γέφυρας	21m

Πίνακας 10.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά λεκάνης

Στη θέση 16 των αυτοψιών εντοπίστηκε μία γέφυρα, στην οποία πραγματοποιήθηκαν πλήρεις μετρήσεις όλων των διαστάσεών της, συμπεριλαμβανομένων του μήκους, του πλάτους και του ύψους. Κατά τη διάρκεια της αυτοψίας, έγιναν συζητήσεις με τους ντόπιους κατοίκους, οι οποίοι παρείχαν πληροφορίες σχετικά με το μέγιστο ύψος του νερού κατά την διάρκεια των τριών πλημμυρικών γεγονότων, επιτρέποντας έτσι μία συγκριτική ανάλυση. Σύμφωνα με τις μαρτυρίες αυτές το ύψος του ποταμού κατά την διάρκεια της καταιγίδας Zorba έφτασε περι τα 3,5m στο υπο μελέτη σημείο, στην καταιγίδα Daniel τα 1,5m ενώ στην καταιγίδα Elias τα 3m. Επιπλέον, στο σημείο αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την τοπική κλίση του εδάφους, προκειμένου να αποτυπωθεί με ακρίβεια το ανάγλυφο και η κλίση της περιοχής γύρω από τη γέφυρα.

Διαστάσεις Γέφυρας (Κοιτάζοντας προς κατάντη Θέση 16)			
	Δεξιά		**Αριστερά**
Πλάτος (m)	12	**Πλάτος (m)**	12
Ύψος (m)	4.6	**Ύψος (m)**	4.6
Πάχος κεντρικό (m)	1.6		
Βάθος (m)(11/11/23)	0.6		

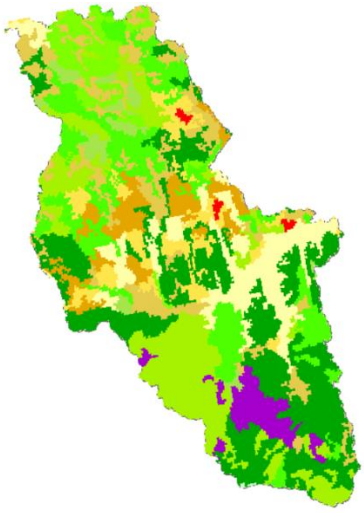
Πίνακας 10.2 Διαστάσεις Γέφυρας



Πίνακας 10.3 Επιτόπια κλίση εδάφους (γέφυρα)

10.3.2 Συντελεστής Manning

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή Manning αξιοποιήθηκαν οι χάρτες χρήσης γης [14]. Με την βοήθεια του λογισμικού ArkMap υπολογίστηκε το ποσοστό της εκάστοτε κλάσης από τον χάρτη χρήσεων γης της λεκάνης. Η κάθε υποκατηγορία αντιστοιχεί και σε ένα διαφορετικό συντελεστή τραχύτητας, οι τιμές που λαμβάνει σε κάθε περίπτωση ο συντελεστής λαμβάνονται από πίνακες που διατίθενται στο διαδίκτυο [76].



Εικόνα 10.1 Χάρτης χρήσεων γης λεκάνης

LABEL	Manning
Ασυνεχής αστικός ιστός	0.013
Χώροι εξόρυξης ορυκτών	0.013
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	0.03
Ελαιώνες	0.08
Σύνθετα πρότυπα καλλιέργειας	0.04
Γη που καταλαμβάνεται κυρίως από τη γεωργία, με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.05
Πλατύφυλλα δάση	0.1
Κωνοφόρα δάση	0.1
Μικτά δάση	0.1
Σκληρόφυλλη βλάστηση	0.05
Μεταβατικές δασικές εκτάσεις-θάμνοι	0.06
Περιοχές με αραιή βλάστηση	0.027

Πίνακας 10.4 Αριθμός Manning ανά χρωματική κλάση

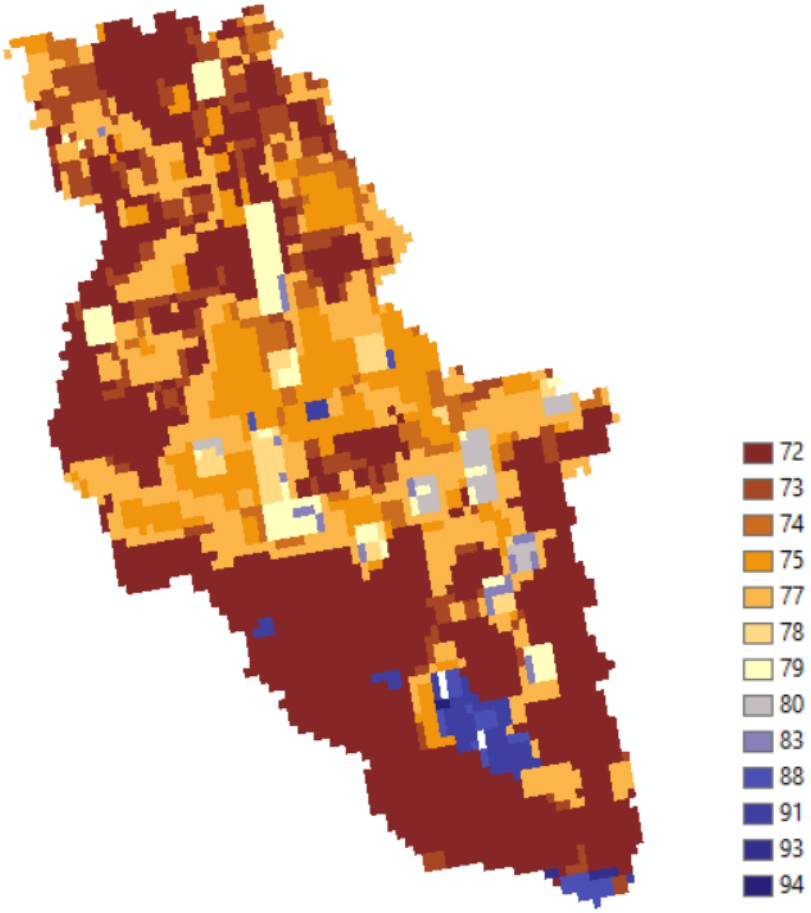
Αφού προσδιοριστούν οι επιμέρους συντελεστές υπολογίζετε ο σταθμισμένος μέσος όρος που αντιπροσωπεύει την μέση τραχύτητα της λεκάνης. Στην λεκάνη απορροής του ποταμού Νηλέα η τιμή αυτή είναι 0.07 χωρίς να ληφθεί υπόψιν η μεταβολή των εδαφών λόγω της πυρκαγιάς.

Η πυρκαγιά κατέλαβε το 68% της λεκάνης απορροής επομένως μπορεί να θεωρηθεί , χωρίς μεγάλο σφάλμα, ότι ο συντελεστής τραχύτητας αμέσως μετά τον γεγονός λαμβάνει την τιμή 0.025 που αντιστοιχεί σε αποτεφρωμένες εκτάσεις.

Οι τιμές αυτές αφορούν τον συντελεστή τραχύτητας στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης. Κατά μήκος του υδατορέματος οι τιμές υφίστανται σημαντικές διακυμάνσεις.

10.3.3 Συντελεστής CN

Ο αριθμός καμπύλης απορροής CN τύπου II αντλείται συνήθως από πίνακες και αρχεία GIS[77]. Στη συνέχεια, με τη χρήση συγκεκριμένων εξισώσεων, μπορούν να υπολογιστούν οι συντελεστές CN τύπου I και III.



Εικόνα 10.2 Χάρτης προσδιορισμού συντελεστή CNII

Ομοίως με τον συντελεστή τραχύτητας, ο συντελεστής απορροής μεταβάλλεται λόγω της πυρκαγιάς. Μετά από μια πυρκαγιά, ο συντελεστής CN τείνει να αυξάνεται, καθώς η φυτική κάλυψη μειώνεται και το έδαφος γίνεται λιγότερο διαπερατό λόγω της απώλειας της βλάστησης και της συμπύκνωσης του εδάφους.

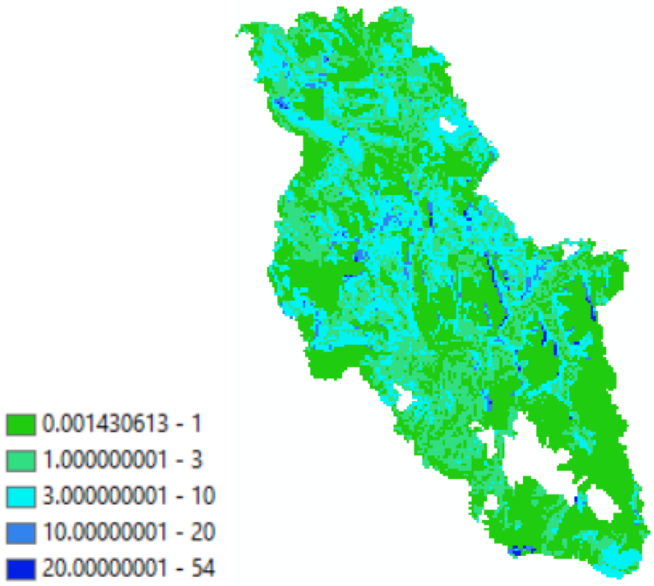
Κατά την διάρκεια της καταιγίδας Zorbas (2018) λόγω της πυκνής βλάστησης ο συντελεστής υπολογίζεται περί το 0.7. Μετά την πυρκαγιά ου 2021 και την αποκατάσταση της βλάστησης τα επόμενα δυο χρόνια ο συντελεστής για τα γεγονότα Daniel και Elias λαμβάνεται περίπου 0.8.

10.3.4 Στερεοπαροχή

Για τον υπολογισμό της στερεοπαροχής υπάρχουν διάφοροι εμπειρικοί τύποι. Μια από τις πιο εδραιωμένες μεθόδους είναι η RUSLE [78] η οποία υπολογίζει την στερεοπαροχή μέσω του γινομένου έξι συντελεστών : διαβρωτικότητα βροχόπτωσης (R), διαβρωτικότητα εδάφους (K), μήκος κλήσης (L) , βαθμός κλίσης (S), διαχείριση κάλυψης γης (C) και έλεγχος διάβρωσης (P)[79].

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Τα δεδομένα που παρέχουν τις τιμές της ετήσιας εδαφικής απώλειας διατίθενται ελεύθερα από το European Soil Data Centre (ESDAC) [80].



Εικόνα 10.3 Τιμές ετήσιας εδαφικής απώλειας

Το 2015, η εδαφική απώλεια εκτιμήθηκε σε 1 τόνο ανά εκτάριο. Ωστόσο, τα γεγονότα που συνέβησαν από το 2021 έως το 2023 είχαν σοβαρές επιπτώσεις στη διαχείριση του εδάφους.
Η καταστροφική πυρκαγιά του 2021 προκάλεσε σημαντική μείωση της βλάστησης, η οποία με τη σειρά της αύξησε την επιφανειακή διάβρωση. Μετά την πυρκαγιά, η εδαφική απώλεια εκτιμήθηκε να έχει αυξηθεί κατά 20% έως 100%, οδηγώντας σε νέες τιμές που κυμάνθηκαν από 1.2 έως 2 τόνους ανά εκτάριο. Αυτές οι αλλαγές ανέδειξαν την ευάλωτη κατάσταση του εδάφους, ειδικά σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες που ακολούθησαν.[81]

Η κατάσταση επιδεινώθηκε περαιτέρω με την έντονη βροχόπτωση στις αρχές Σεπτεμβρίου 2023. Η αυξημένη διάβρωση που προκλήθηκε από αυτή τη βροχόπτωση ανέβασε την εδαφική απώλεια σε 1.5 τόνους ανά εκτάριο, με εκτιμώμενες αυξήσεις της τάξης του 20% έως 50% λόγω της βροχής. Ως αποτέλεσμα, η νέα εκτίμηση της εδαφικής απώλειας κυμάνθηκε από 1.8 έως 2.25 τόνους ανά εκτάριο.

Τέλος, η δεύτερη έντονη βροχόπτωση στο τέλος Σεπτεμβρίου 2023, η οποία συνοδεύτηκε από πλημμύρες, είχε καταστροφικές συνέπειες για την περιοχή. Η εδαφική απώλεια, που είχε ήδη εκτιμηθεί σε 2.25 τόνους ανά εκτάριο, αναμένεται να αυξηθεί κατά 30% έως 70%. Έτσι, οι νέες εκτιμήσεις κυμαίνονται από 2.93 έως 3.83 τόνους ανά εκτάριο.[82]

Στην συνέχεια υπολογίζετε ο συντελεστής στερεοαπορροής (SDR) μέσω της σχέσης [83] $SDR = 0.42 * A^{-0.125}$ (A: εμβαδόν της λεκάνης απορροής) καθώς επίσης και η πυκνότητα των σωματιδίων των φερτών υλικών (dry bulk density) κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των τιμών 1.0 και 1.6 t/m3.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται τελικά ο συνολικός όγκος φερτών για μια περίοδο 100 ετών [79]:

VS (hm^3) =MSE (t/ha/y) *100 (ha/km^2) *A (km^2) *SDR*100 (y) /d (t/m^3)

Παρατηρείται ότι η εκτίμηση αλλάζει εάν λάβουμε υπόψιν τις μεταβολές λόγω των γεγονότων που έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών.

MSE	1	1.8	2.93
A	184	184	184
SDR	0.21885026	0.218850258	0.218850258
VS	402684.474	724832.0538	1179865.51

Πίνακας 10.5 Υπολογιμός συνολικού όγκου φερτών

10.3.5 Υπολογισμός Παροχής/Ταχυτήτων Ροής

Στην συνέχεια για την ανάλυση της απορροής σε τρία γεγονότα βροχόπτωσης, εφαρμόστηκε η ορθολογική μέθοδος που περιεγράφηκε παραπάνω , η οποία είναι κατάλληλη για μικρές λεκάνες απορροής όπου η απορροή μπορεί να θεωρηθεί ομοιόμορφη και άμεση. Συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα απαραίτητα δεδομένα βροχόπτωσης για τα τρία συγκεκριμένα γεγονότα. Κάθε γεγονός εξετάστηκε μεμονωμένα για να προσδιοριστεί η συνολική ποσότητα βροχόπτωσης και η μέγιστη ένταση βροχής κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Αυτά τα στοιχεία αποτέλεσαν τη βάση για τον υπολογισμό της απορροής μέσω της ορθολογικής μεθόδου.
Η διαδικασία ανάλυσης ολοκληρώθηκε με τον υπολογισμό της απορροής για καθένα από τα τρία γεγονότα βροχόπτωσης, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στην ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης, καθώς και τις ιδιαιτερότητες της λεκάνης απορροής. Τα αποτελέσματα έδωσαν εκτιμήσεις της μέγιστης παροχής απορροής για κάθε περίπτωση, γεγονός που βοηθά στην καλύτερη κατανόηση των απορροϊκών χαρακτηριστικών της λεκάνης και της απόκρισης της σε διαφορετικά γεγονότα βροχόπτωσης. Οι εκτιμήσεις αυτές είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων της περιοχής, καθώς και για τον σχεδιασμό έργων που σχετίζονται με τον έλεγχο της απορροής και την πρόληψη πλημμυρικών φαινομένων.

Date	Time	Precipitation (mm)	I(mm/h)	I(m/h)	A (km2)	A (m2)	C	Q(m3/h)
27-Sep-18	19:00	0.004	0.004	0.000004	184.45	1.84E+08	0.7	516.46
27-Sep-18	20:00	0.002	0.002	0.000002	184.45	1.84E+08	0.7	258.23
27-Sep-18	21:00	0.083	0.083	0.000083	184.45	1.84E+08	0.7	10716.55
27-Sep-18	22:00	0.005	0.005	0.000005	184.45	1.84E+08	0.7	645.58
27-Sep-18	23:00	0.011	0.011	0.000011	184.45	1.84E+08	0.7	1420.27
27-Sep-18	0:00	0.019	0.019	0.000019	184.45	1.84E+08	0.7	2453.19
28-Sep-18	1:00	0.015	0.015	0.000015	184.45	1.84E+08	0.7	1936.73
28-Sep-18	2:00	0.019	0.019	0.000019	184.45	1.84E+08	0.7	2453.19
28-Sep-18	3:00	0.036	0.036	0.000036	184.45	1.84E+08	0.7	4648.14
28-Sep-18	4:00	0.092	0.092	0.000092	184.45	1.84E+08	0.7	11878.58
28-Sep-18	5:00	0.17	0.17	0.00017	184.45	1.84E+08	0.7	21949.55
28-Sep-18	6:00	0.126	0.126	0.000126	184.45	1.84E+08	0.7	16268.49
28-Sep-18	7:00	0.086	0.086	0.000086	184.45	1.84E+08	0.7	11103.89
28-Sep-18	8:00	0.483	0.483	0.000483	184.45	1.84E+08	0.7	62362.55
28-Sep-18	9:00	0.754	0.754	0.000754	184.45	1.84E+08	0.7	97352.71
28-Sep-18	10:00	1.071	1.071	0.001071	184.45	1.84E+08	0.7	138282.17
28-Sep-18	11:00	0.437	0.437	0.000437	184.45	1.84E+08	0.7	56423.26
28-Sep-18	12:00	0.03	0.03	0.00003	184.45	1.84E+08	0.7	3873.45
28-Sep-18	13:00	0.001	0.001	0.000001	184.45	1.84E+08	0.7	129.12

Πίνακας 10.6 Υπολογισμοί ορθολογικής μεθόδου

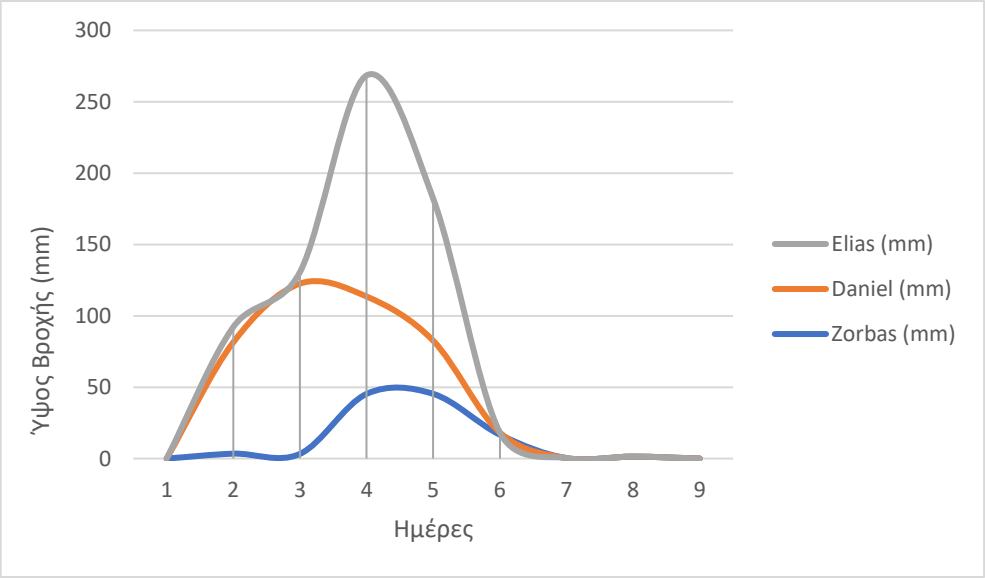
Στο σημείο στο οποίο ελληφθησαν τα γεωμετρικά δεδομένα της γέφυρας μετρήθηκε και η ταχύτητα ροής του νερού. Αξιοποιώντας την μέτρηση αυτή και με την εξίσωση του Manning $V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$ έγινε συγκριση με τις ταχυτητες ροής που προκύπτουν από τα πλημμυρικά μοντέλα.

10.4 Αποτελέσματα

Παρατηρώντας τα ημερήσια αθροιστικά βροχομετρικά δεδομένα των τριών υπό μελέτη καταιγίδων, διαφαίνονται σαφείς διαφορές μεταξύ των γεγονότων. Η καταιγίδα Zorbas είχε μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, αν και χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη ένταση σε σύγκριση με τις άλλες δύο καταιγίδες. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια των καταιγίδων Daniel και Elias, καταγράφηκαν σημαντικά μεγαλύτερα ύψη βροχής σε περίπου τη μισή χρονική περίοδο..

Zorbas (mm)	Daniel (mm)	Elias (mm)
0	0	0
3.442	78.023	10.708
3.279	119.286	8.05
45.3	68.243	154.895
45.335	37.235	99.536
16.74	1.503	0.042
0.287	0.074	0.033
1.395	0	0
0.012	0	0

Πίνακας 10.7 Ημερήσια ύψη βροχής



Διάγραμμα 10.1 Ημερήσια ύψη βροχής

Σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων της περιοχής, η καταιγίδα Zorbas προκάλεσε εκτεταμένες καταστροφές και υψηλά επίπεδα πλημμυρικών υδάτων. Ειδικότερα κοντά στον ποταμό Νηλέα, το ύψος του νερού έφτασε περίπου 3,5 έως 4 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της καταιγίδας Daniel, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικά πλημμυρικά φαινόμενα, ενώ η καταιγίδα Elias πλημμύρισε εκτεταμένα τις γύρω περιοχές, προκαλώντας

καταστροφές με επίπεδα πλημμύρας που έφτασαν περίπου τα 3 μέτρα.

	Zorbas	*Daniel*	*Elias*
C	0.7	0.8	0.8
dur (days)	8	6	6
V (hm3)	15.2	47.1	41.5
y (m)	3.5	1.5	3.0
A (m2)	87.5	37.5	75.0
P(m)	32.0	28.0	31.0
max n	0.035	0.009	0.026
stdev n	0.010	0.001	0.009
mean n	0.008	0.001	0.006

Πίνακας 10.8 Ορθολογική Μέθοδος

	11/11/2023
y (m)	0.6
A (m2)	15
P(m)	26.2
n river	0.15
V model	0.71
V obs	0.61

Πίνακας 10.9 Σύγκριση Δεδομένων Παρατήρησης-Μοντέλου

Εφαρμόζοντας την Ορθολογική Μέθοδο και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση του συντελεστή Manning λόγω της αλληλεξάρτησής του με τον συντελεστή απορροής, παρατηρείται το εξής: Κατά την καταιγίδα Zorbas το 2018, η περιοχή ήταν καλυμμένη από πυκνή βλάστηση και τα πλατάνια που φύονταν κατά μήκος της όχθης του ποταμού Νηλέα ήταν ανέπαφα. Η πυκνή φυτοκάλυψη συνετέλεσε στην αυξημένη κράτηση των υδάτων, γεγονός που οδήγησε στην υπερχείλιση του ποταμού και τα υψηλά επίπεδα πλημμύρας. Επιπλέον μέσω των βροχομετρηκών δεδομένων παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια του Αυγούστου και τις αρχές του Σεπτεμβρίου του 2018 είχαν προηγηθεί μικρές περίοδοι βροχοπτώσεων οι οποίες κατέστησαν το έδαφος κορεσμένο, γεγονός που αύξησε τη δυνατότητα απορροής και μείωσε τη δυνατότητα περαιτέρω απορρόφησης υδάτων. Το 2021, όμως, ξέσπασε η μεγάλη πυρκαγιά στην περιοχή, η οποία άλλαξε δραστικά τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Μετά την πυρκαγιά και έως τον Σεπτέμβριο του 2023 δεν σημειώθηκαν σημαντικές βροχοπτώσεις. Έτσι, κατά την καταιγίδα Daniel, τα νερά διέρχονταν εύκολα, χωρίς να συναντούν ιδιαίτερη αντίσταση, προκαλώντας την κατάπτωση φερτών υλικών. Τα φερτά αυτά υλικά συσσωρεύθηκαν και, κατά την καταιγίδα Elias στο τέλος του Σεπτεμβρίου, συνέβαλαν στην αύξηση ύψους των υδάτων, που οδήγησαν τελικά σε πλημμύρες και σοβαρές καταστροφές σε κατοικίες και υποδομές. Αντίστοιχα με τον Zorba και στην καταιγίδα Elias υπήρχε αυξημένη υγρασία στο έδαφος με αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμένη δυνατότητα διείσδυσης νερού. Η μικρή διαφορά μεταξύ της υπολογισμένης

ταχύτητας με την εξίσωση Manning (0,71) και της παρατηρηθείσας στο πεδίο (0,6) αναδεικνύει ορισμένες αναμενόμενες αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικών υπολογισμών και πραγματικών συνθηκών. Αυτή η διαφορά μπορεί να αποδοθεί στις γενικεύσεις και παραδοχές της εξίσωσης Manning, η οποία δεν λαμβάνει πάντα υπόψη παράγοντες όπως η τοπική βλάστηση και οι λεπτομέρειες της γεωμετρίας της κοίτης που μειώνουν την ταχύτητα.

11 Συμπεράσματα

Η μελέτη ανέδειξε τις σημαντικές επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων και των πυρκαγιών στη λεκάνη απορροής του Νηλέα. Οι αλλαγές στη βλάστηση, ιδίως η απώλεια των πλατανιών, συνέβαλαν στην τροποποίηση της υδρολογικής απόκρισης της περιοχής σε έντονες βροχοπτώσεις. Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των μοντέλων υποδεικνύουν αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών και μεγαλύτερη ανάγκη για περιβαλλοντική προστασία και στρατηγικές διαχείρισης των υδάτων. Οι προτάσεις για τη διαχείριση της λεκάνης επικεντρώνονται σε βραχυπρόθεσμες λύσεις για τον μετριασμό των πλημμυρικών επιπτώσεων και σε μακροπρόθεσμες πολιτικές για την αποκατάσταση της τοπικής βλάστησης και την πρόβλεψη και διαχείριση αντίστοιχων γεγονότων.

11.1 Σύνοψη των Κύριων Αποτελεσμάτων

Η ανάλυση των πλημμυρικών κινδύνων στη λεκάνη του Νηλέα μετά τις πυρκαγιές του 2021 έδειξε σημαντική επιδείνωση των πλημμυρικών συνθηκών, κυρίως λόγω της μείωσης της φυσικής βλάστησης και της ενίσχυσης της διάβρωσης. Σύμφωνα με τα μοντέλα HEC-RAS, οι χάρτες πλημμύρας που δημιουργήθηκαν για τις καταιγίδες Zorbas, Daniel και Elias παρουσίασαν αυξημένες πλημμυρικές εκτάσεις κατά περίπου 20-25%, με το βάθος των πλημμυρών να αυξάνεται κατά 0,5 μέτρα σε ορισμένες περιοχές. Η αποψίλωση των πλατανιών, ειδικότερα, προκάλεσε αύξηση της μέσης απορροής κατά 35% στη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, καθώς η απώλεια της βλάστησης μείωσε την ικανότητα συγκράτησης νερού και ενίσχυσε την απορροή, με συνέπεια την επιδείνωση των πλημμυρικών επιπτώσεων.

Η καταιγίδα Elias προκάλεσε εκτεταμένες πλημμύρες, παρόλο που παρουσίασε 15% λιγότερη βροχόπτωση σε σχέση με την καταιγίδα Daniel. Αυτό οφείλεται κυρίως στη διάβρωση και τη συσσώρευση φερτών υλικών, που περιόρισαν την αποστραγγιστική ικανότητα του ποταμού. Η συσσώρευση φερτών υλικών αυξήθηκε κατά 40% στις πληγείσες περιοχές, ειδικά στα σημεία εκβολής και συμβολής του Νηλέα με άλλους παραποτάμους, όπως ο Βούδουρος. Το γεγονός αυτό ενίσχυσε την πιθανότητα υπερχείλισης και κατέστησε δυσκολότερη τη διαχείριση της απορροής.

Η ανάλυση πεδίου και η έρευνα για την ασθένεια των πλατανιών ανέδειξαν την εκτεταμένη μείωση της βλάστησης κατά μήκος των ποταμών και παραποτάμων. Τα πλατάνια, που αποτελούν ζωτικής σημασίας στοιχεία των παραποτάμιων οικοσυστημάτων, παρέχουν σκίαση, σταθεροποιούν τις όχθες και συμβάλλουν στην απορρόφηση νερού. Η απώλεια αυτών των δέντρων έχει αποδυναμώσει την ικανότητα συγκράτησης του εδάφους, οδηγώντας σε αυξημένη διάβρωση και δημιουργία ρωγμών και κατολισθήσεων. Η διάβρωση, με τη σειρά της, επιδεινώνει τις περιβαλλοντικές συνθήκες, αφαιρώντας το επιφανειακό έδαφος, μειώνοντας τη γονιμότητα και περιορίζοντας την ανάπτυξη νέας βλάστησης.

Οι προσομοιώσεις πλημμυρών με τη χρήση του HEC-RAS και την ορθολογική μέθοδο κατέδειξαν ότι οι αλλαγές στη βλάστηση, σε συνδυασμό με τις καταστροφικές πυρκαγιές, αύξησαν την ταχύτητα της ροής του νερού και μείωσαν την ικανότητα απορρόφησης του εδάφους. Οι πυρκαγιές κατέστρεψαν τη φυσική βλάστηση, η οποία συγκρατούσε την υγρασία και απορροφούσε το νερό, με αποτέλεσμα οι βροχοπτώσεις να αυξάνουν τον πλημμυρικό κίνδυνο. Σε συγκεκριμένα τμήματα του ποταμού παρατηρήθηκαν αλλαγές στην πορεία της ροής, ενώ σε άλλες περιοχές καταγράφηκαν αυξημένα ποσοστά πλημμυρών λόγω της αδυναμίας του εδάφους να συγκρατήσει το νερό.

Τέλος, μέσω της ανάλυσης δορυφορικών εικόνων από τον Sentinel-1, διαπιστώθηκαν σημαντικές αλλαγές στο τοπίο της λεκάνης του Νηλέα, που ενισχύουν τα παραπάνω συμπεράσματα. Η απώλεια της βλάστησης και η συσσώρευση φερτών υλικών έχουν αυξήσει την ευπάθεια της λεκάνης του Νηλέα, καθιστώντας επιτακτική την ανάγκη για προληπτικά και αποκαταστατικά μέτρα, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος μελλοντικών πλημμυρών.

11.2 Περιβαλλοντική Διαχείριση

Τα ευρήματα αυτά έχουν άμεση επίδραση στην τρέχουσα διαχείριση των υδάτων καθώς υποδεικνύουν την ανάγκη λήψης μέτρων για την προστασία του περιβάλλοντος. Μια σημαντική πτυχή είναι η ανάγκη για αποκατάσταση της βλάστησης στις περιοχές γύρω από την κοίτη του ποταμού. Η αποκατάσταση αυτή θα μπορούσε να περιλαμβάνει προγράμματα φύτευσης ανθεκτικών ειδών, που θα ενισχύσουν τη φυσική οικολογική ισορροπία και θα μειώσουν την διάβρωση του εδάφους. Οι ανθεκτικές φυτικές ποικιλίες είναι ικανές να επιβιώσουν σε ακραίες συνθήκες και θα συμβάλουν στη δημιουργία ενός σταθερού και βιώσιμου οικοσυστήματος.

Επιπλέον, η ανάγκη για προτάσεις που να αντιμετωπίζουν την ασθένεια των πλατανιών είναι επιτακτική. Η συνεργασία με τις αρμόδιες αρχές μπορεί να οδηγήσει σε προληπτικά μέτρα που θα αποτρέψουν την εξάπλωση των ασθενειών αυτών. Η ενίσχυση της έρευνας και η εφαρμογή καινοτόμων στρατηγικών, όπως η βιολογική καταπολέμηση και η γενετική βελτίωση, μπορεί να αποτελέσουν χρήσιμες προσεγγίσεις.

Η εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές, επηρεάζουν την συχνότητα και την καταστροφικότητα των πλημμυρών είναι επίσης κρίσιμη. Η αποψίλωση της βλάστησης που προκαλείται από τις πυρκαγιές μπορεί να μειώσει την ικανότητα του εδάφους να απορροφά το νερό, οδηγώντας σε συχνότερες και πιο έντονες πλημμύρες. Αυτή η αλληλεπίδραση αυξάνει την ανάγκη για στρατηγικές αποκατάστασης που να περιλαμβάνουν προγράμματα αναδάσωσης και τη δημιουργία ζωνών προστασίας γύρω από ευαίσθητες περιοχές. Η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης των φυσικών πόρων είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων και τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των τοπικών κοινοτήτων.

11.3 Συνέπειες για τις Τοπικές Κοινότητες

Η εξέταση των κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων των περιβαλλοντικών αλλαγών είναι κρίσιμη για την κατανόηση των συνοδευτικών προκλήσεων και ευκαιριών που αναδύονται από αυτές τις μεταβολές. Μια από τις πιο εμφανείς επιπτώσεις αφορά την επίδραση των πλημμυρών στη γεωργία και στην καθημερινή ζωή των κατοίκων της περιοχής. Ιδιαίτερα για εκείνους που εξαρτώνται από τις αγροτικές δραστηριότητες, όπως η καλλιέργεια και η βόσκηση, οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές διαταραχές στην παραγωγική διαδικασία, με αποτέλεσμα την απώλεια εισοδημάτων.

Ακολούθως, η επίδραση των πλημμυρών επεκτείνεται και στις υποδομές της περιοχής. Οι υποδομές, όπως οι δρόμοι και οι γέφυρες, διατρέχουν τον κίνδυνο καταστροφής ή σοβαρών ζημιών, γεγονός που επιφέρει σημαντικό οικονομικό κόστος για τις τοπικές αρχές, οι οποίες καλούνται να διαχειριστούν την αποκατάσταση των υποδομών αυτών. Η αποκατάσταση των υποδομών απαιτεί όχι μόνο οικονομικούς πόρους αλλά και χρόνο, επηρεάζοντας την κοινωνική συνοχή και την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής.

11.4 Προτάσεις για τη Διαχείριση και Αποκατάσταση

Για τη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτων και την προστασία της λεκάνης, μπορούν να εφαρμοστούν προτάσεις που εστιάζουν στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων και τη βιωσιμότητα των τοπικών κοινοτήτων.

Αρχικά, η εφαρμογή μεθόδων φυσικής αποκατάστασης και η χρήση πράσινων υποδομών είναι κρίσιμη για την πρόληψη των πλημμυρών. Οι πράσινες υποδομές, όπως οι υγρότοποι και οι φυσικές περιοχές απορροής, μπορούν να λειτουργήσουν ως φυσικά φράγματα που απορροφούν την περίσσεια νερού και μειώνουν τη ροή επιφανειακών υδάτων. Αυτές οι μέθοδοι συμβάλλουν στην αποκατάσταση της φυσικής ροής των υδάτων και στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας.

Επιπλέον, σημαντική είναι η ανάπτυξη προγραμμάτων παρακολούθησης για την ασθένεια των πλατανιών και η αξιολόγηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στις υδρολογικές λεκάνες. Η δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης που θα συνδυάζει πεδία παρατήρησης και δορυφορικές τεχνολογίες θα επιτρέψει την έγκαιρη ανίχνευση και την παρέμβαση για την καταπολέμηση των ασθενειών, ελαχιστοποιώντας έτσι την εξάπλωσή τους και τις επιπτώσεις τους στο οικοσύστημα.

Τέλος, η ανάπτυξη σχεδίων αποκατάστασης που βασίζονται σε μεθοδολογίες GIS (Geographic Information Systems) και τηλεπισκόπησης είναι αναγκαία για την επαναφορά της τοπικής βλάστησης και τη μείωση των επιπτώσεων από τις πλημμύρες. Οι τεχνολογίες αυτές επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση των περιοχών που χρήζουν αποκατάστασης και την παρακολούθηση

της ανάπτυξης της βλάστησης με την πάροδο του χρόνου. Η ενσωμάτωσή τους στη διαδικασία σχεδίασης και εφαρμογής στρατηγικών αποκατάστασης μπορεί να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων και να διασφαλίσει τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων.

11.5 Μελλοντικές Ερευνητικές Κατευθύνσεις

Για την ενίσχυση της γνώσης και την αποτελεσματική διαχείριση των περιβαλλοντικών μεταβολών, προτείνονται συγκεκριμένες συστάσεις για περαιτέρω έρευνα που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην κατανόηση και την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων.

Πρώτον, η συστηματική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών μεταβολών μέσω δορυφορικών δεδομένων είναι επιτακτική. Η χρήση δορυφορικών τεχνολογιών παρέχει την ικανότητα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε ευρεία κλίμακα, επιτρέποντας την παρακολούθηση των αλλαγών στο τοπίο, τη βλάστηση και τις υδρολογικές συνθήκες. Η συνεχής παρακολούθηση θα διευκολύνει την ταυτοποίηση των τάσεων και την πρόβλεψη των μελλοντικών κινδύνων.

Δεύτερον, η διερεύνηση της χρήσης νέων τεχνολογιών για τη μοντελοποίηση πλημμυρικών φαινομένων. Η εφαρμογή προηγμένων υπολογιστικών μοντέλων και αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των προβλέψεων σχετικά με τις επιπτώσεις των πλημμυρών και των πυρκαγιών. Η ενσωμάτωσή τους σε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών.

Επιπλέον, η έρευνα για νέες τεχνικές αποκατάστασης των πλημμυρικών ζωνών είναι αναγκαία. Η αξιολόγηση των οικολογικών επιπτώσεων των στρατηγικών αποκατάστασης θα μπορούσε να διασφαλίσει ότι οι προσεγγίσεις που επιλέγονται είναι βιώσιμες και αποτελεσματικές μακροπρόθεσμα. Η ανάπτυξη και εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών αποκατάστασης μπορεί να συμβάλει στην αποκατάσταση των οικοσυστημάτων και στη βελτίωση της ανθεκτικότητας.

Τέλος, η ενσωμάτωση μεθόδων διαχείρισης υδατικών πόρων μέσω της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό βήμα προς τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτων. Η χρήση αισθητήρων IoT για την παρακολούθηση της ποιότητας και της ποσότητας του νερού σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την παροχέτευση του νερού. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να βοηθήσουν στην έγκαιρη ανίχνευση διαρροών, στη βελτιστοποίηση των αρδευτικών συστημάτων και στην αποτελεσματική διαχείριση των υδάτινων πόρων, διασφαλίζοντας τη βιωσιμότητα και την προστασία των οικοσυστημάτων.

12 Παράρτημα

12.1 Κατάλογος Οικισμών

Παρακάτω παρατίθεται ο κατάλογος με τα χωριά και τους οικισμούς της περιοχής μελέτης [7,10]

Δημοτική Ενότητα Ελυμνίων
Κοινότητα Λίμνης [2.046]
η Λίμνη [1.642]
τα Κατούνια [7]
η Μονή Αγίου Νικολάου Γαλατάκη [6]
ο Μυρτιάς [190]
ο Ρετσινόλακκος [6]
η Σηπιάδα [120]
η Χρόνια [75]
Κοινότητα Κεχριών [667]
οι Κεχριές [477]
η Δάφνη [190]
Κοινότητα Κουρκουλών -- οι Κουρκουλοί [314]
Κοινότητα Ροβιών [1.271]
οι Ροβιές [1.035]
τα Δαμιά [66]
η Δρυμώνα [57]
το Καλαμούδι [37]
ο Κούλουρος [10]
το Μαρούλι [16]
η Μονή Οσίου Δαυίδ Γέροντος [12]
το Παλαιοχώρι [38]
Κοινότητα Σκεπαστής -- η Σκεπαστή [192]
Δημοτική Ενότητα Κηρέως[Επεξεργασία | επεξεργασία κώδικα]
Κοινότητα Μαντουδίου [1.787]
το Μαντούδι [1.787]
οι Φούρνοι [0]
Κοινότητα Βλαχιάς [159]
η Βλαχιά [140]
το Σαρακήνικο [19]

Κοινότητα Δαφνούσσης [74]
η Δαφνούσσα [58]
το Τρούπι [16]
Κοινότητα Κηρίνθου [725]
η Κήρινθος [609]
η Ζωοδόχος Πηγή [82]
η Κρύα Βρύση [34]
Κοινότητα Μετοχίου Κηρέως -- το Μετόχι [160]
Κοινότητα Πηλίου -- το Πήλι [628]
Κοινότητα Προκοπίου -- το Προκόπι [948]
Κοινότητα Σπαθαρίου [280]
το Σπαθάρι [199]
τα Καλύβια [81]
Κοινότητα Στροφυλιάς -- η Στροφυλιά [472]
Κοινότητα Φαράκλας -- η Φαράκλα [178]
Δημοτική Ενότητα Νηλέως[Επεξεργασία | επεξεργασία κώδικα]
Κοινότητα Αγίας Άννης [1.009]
η Αγία Άννα [729]
η Αγκάλη [217]
η Παλαιόβρυση [63]
Κοινότητα Αμελάντων [22]
οι Αμέλαντες [22]
οι Στράφοι [0]
Κοινότητα Αχλαδίου [349]
το Αχλάδι [266]
η Φραγκάκη [83]
Κοινότητα Κεραμείας -- η Κεράμεια [118]
Κοινότητα Κερασέας -- η Κερασιά [247]
Κοινότητα Κοτσικιάς [179]
η Κοτσικιά [119]
το Αχλαδοπόταμο [0]
η Παραλία Κοτσικιάς [60]
Κοινότητα Παππάδων -- οι Παππάδες [220]

Πίνακας 12.1 Κατάλογος Οικισμών

12.2 Αυτοψίες

Συνολικά ελήφθησαν 23 ορόσημα, τα περισσότερα κατά μήκος του ποταμού αλλά και από την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος (Εικόνα 6, 7).

Στον πίνακα 1 παρατίθεται σύνοψη των σημείων και των συντεταγμένων τους.

Σε κάθε σημείο φωτογραφήθηκαν ανάντη και κατάντη του ποταμού και σημειώθηκαν λεπτομέρειες για τα προβλήματα που παρατηρήθηκαν λόγω της ασθένειας των πλατάνων και του καμένου δάσους.

Οι θέσεις Α, Β, Γ, Δ (σχήμα 8, πίνακας 2) προστέθηκαν στη δεύτερη φάση της επιτόπιας επιθεώρησης. Βρίσκονται κυρίως κατάντη της συμβολής των ποταμών, κατά μήκος του ποταμού Βουδούρου, όπου παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αλλαγή τοπίου.

	Coordinates					
Landmarks	Degrees		Decimal format		ΕΓΣΑ'87	
	longitude	latitude	longitude	latitude	X	Y
Landmark 1	38°47'17"N	23°24'51"E	38,78805556	23,41416667	448971,3927	4293133,165
Landmark 2	38°47'00"N	23°24'23"E	38,78333333	23,40638889	448292,4841	4292613,5
Landmark 3	38°46'59"N	23°23'53"E	38,78305556	23,39805556	447568,4755	4475684,755
Landmark 4	38°46'59"N	23°23'36"E	38,78305556	23,39333333	447158,3163	4292590,116
Landmark 5	38°47'07"N	23°23'31"E	38,78527778	23,39194444	447039,3206	4292837,514
Landmark 6	38°47'07"N	23°23'06"E	38,78527778	23,385	446436,1653	4292841,546
Landmark 7	38°47'00"N	23°22'56"E	38,78333333	23,38222222	446193,4455	4292627,399
Landmark 8	38°47'03"N	23°22'43"E	38,78416667	23,37861111	445880,4242	4292721,998
Landmark 9	38°47'26"N	23°25'29"E	38,79055556	23,42472222	449889,8971	4293404,768
Landmark 10	38°48'37"N	23°22'35"E	38,81027778	23,37638889	445707,1711	4295620,842
Landmark 11	38°48'14"N	23°22'35"E	38,80388889	23,37638889	445702,3353	4294911,87
Landmark 12	38°48'50"N	23°22'26"E	38,81388889	23,37388889	445492,8554	4296023,049
Landmark 13	38°49'15"N	23°22'53"E	38,82083333	23,38138889	446149,2188	4296789,237
Landmark 14	38°49'15"N	23°22'43"E	38,82083333	23,37861111	445908,0761	4296790,873
Landmark 15	38°49'44"N	23°23'01"E	38,82888889	23,38361111	446348,1616	4297681,858
Landmark 16	38°48'25"N	23°27'07"E	38,80694444	23,45194444	452264,9882	4295208,906
Landmark 17	38°50'13"N	23°22'50"E	38,83694444	23,38055556	446088,9953	4298577,575
Landmark 18	38°51'29"N	23°22'56"E	38,85805556	23,38222222	446249,4915	4300919,3
Landmark 19	38°48'36"N	23°28'13"E	38,81	23,47027778	453858,798	4295538,596
Landmark 20	38°48'07"N	23°26'49"E	38,80194444	23,44694444	451827,4924	4294656,675
Landmark 21	38°47'52"N	23°26'26"E	38,79777778	23,44055556	451269,8915	4294197,68
Landmark 22	38°47'39"N	23°25'54"E	38,79416667	23,43166667	450495,498	4293801,719
Landmark 23	38°47'37"N	23°25'26"E	38,79361111	23,42388889	449819,66	4293744,295

Πίνακας 12.2 Σημεία Ενδιαφέροντος

Landmark A	38°49'48"N	23°27'58"E	38.8300000	23.46611111	453509.989	4297760.089
Landmark B	38°48'29"N	23°28'13"E	38.8080555	23.47027778	453857.543	4295322.826
Landmark C	38°48'29"N	23°28'08"E	38.8080555	23.49388889	455907.612	4295311.213
Landmark D	38°48'29"N	23°27'26"E	38.8080555	23.45722222	452723.974	4295329.47

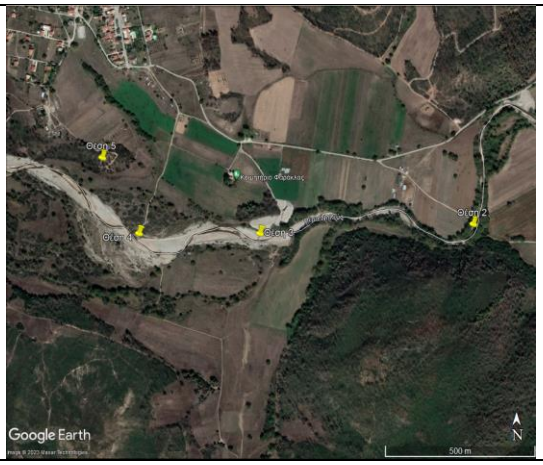
Πίνακας 12.3 Επιπλέον σημεία που πάρθηκαν κατά την δεύτερη φάση.

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 1</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'17"N</td></tr>
<tr><td>23°24'51"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>448971,3927
4293133,165</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

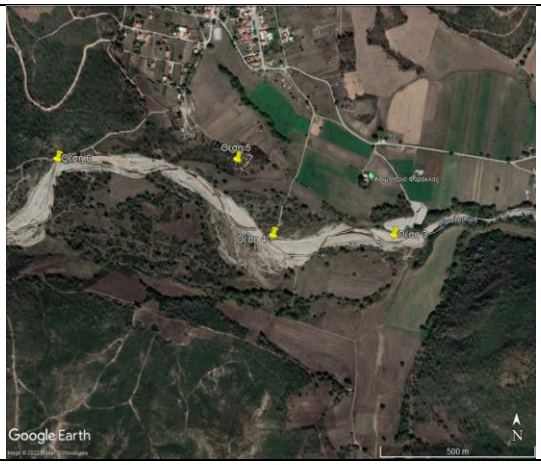
Εικόνα 12.1 Landmark 1

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 2</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'00"N</td></tr>
<tr><td>23°24'23"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>448292,48412112
4292613,4996715</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.2 Landmark 2

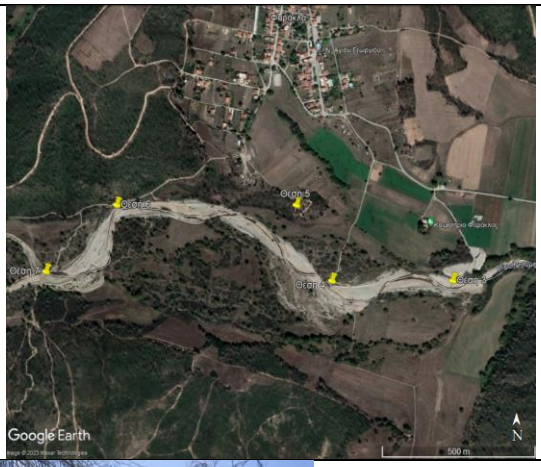
Name	Landmark 3	
Coordinates	38°46'59"N	
	23°23'53"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	447568,47548165	
	4292587,4059006	
Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλαγές		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.3 Landmark 3

Name	Landmark 4	
Coordinates	38°46'59"N	
	23°23'36"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	447158,31632233	
	4292590,1155395	
Notes: : Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.4 Landmark 4

Name	Landmark 5
Coordinates	38°47'07"N
	23°23'31"E
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	447039,32061134
	4292837,5139173
Notes: Λόφος κοντά στο ποτάμι	



29.4.2023

Εικόνα 12.5 Landmark 5

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 6</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'07"N</td></tr>
<tr><td>23°23'06"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446436,16530411
4292841,5463686</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.6 Landmark 6

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 7</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'00"N</td></tr>
<tr><td>23°22'56"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446193,44549748
4292627,3985305</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλαγές</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

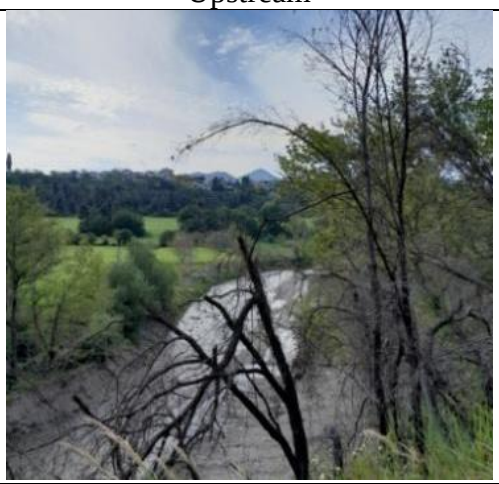
Εικόνα 12.7 Landmark 7

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 8</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'03"N</td></tr>
<tr><td>23°22'43"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>445880,42421008</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: 11/9-Πεσμένο δέντρο: δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση στο ορόσημο</td><td>4292721,9978979</td></tr>
<tr><td colspan="2">Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td colspan="4"> </td></tr>
<tr><td colspan="4">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.8 Landmark 8

Name	Landmark 9	
Coordinates	38°47'26"N 23°25'29"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	449889,89706435 4293404,7682185	
Notes: Ορόσημο κοντά στον ποταμό		
29.4.2023		

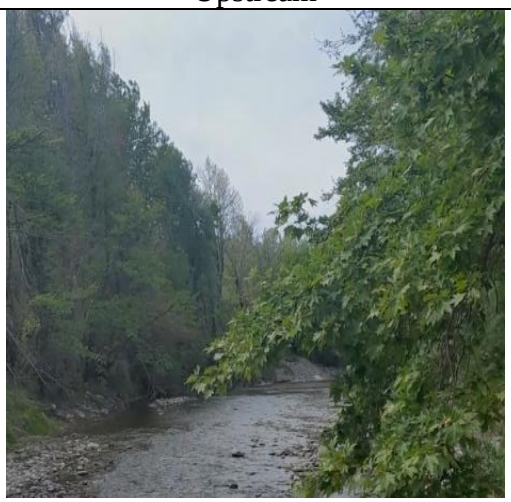
Εικόνα 12.9 Landmark 9

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 10</td><td rowspan="4"> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°48'37"N</td></tr>
<tr><td>23°22'35"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>445707,17113211
4295620,8418867</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου/κατολίσθηση</td></tr>
<tr><td colspan="2">Downstream</td><td>Upstream</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">29.4.2023</td><td>29.4.2023</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">11.11.2023</td><td>11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.10 Landmark 10

Name	Landmark 11	
Coordinates	38°48'14"N	
	23°22'35"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	445702,33528394	
	4294911,8703228	
Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλαγές		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.11 Landmark 11

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 12</td><td rowspan="4"> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°48'50"N</td></tr>
<tr><td>23°22'26"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>445492,85537959
4296023,0487593</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.12 Landmark 12

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 13</td><td rowspan="4"> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°49'15"N</td></tr>
<tr><td>23°22'53"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446149,21875529
4296789,2373994</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου/κατολίσθηση</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.13 Landmark 13

Name	Landmark 14	
Coordinates	38°49'15"N	
	23°22'43"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	445908,07608114	
	4296790,8731805	
Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλοιώσεις όπως η κοίτη του ποταμού / νέες υποδομές.		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.14 Landmark 14

Name	Landmark 15	
Coordinates	38°49'44"N	
	23°23'01"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	446348,16162438	
	4297681,8575034	
Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλαγές		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

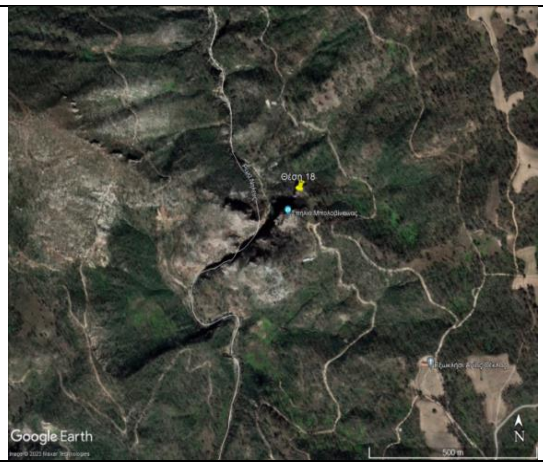
Εικόνα 12.15 Landmark 15

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 16</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°48'25"N</td></tr>
<tr><td>23°27'07"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>452264,98819047
4295208,9063405</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες αλλοιώσεις καθώς η κοίτη του ποταμού προστατεύεται από υποδομές.</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.16 Landmark 16

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 17</td><td rowspan="3"> </td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°50'13"N</td></tr>
<tr><td>23°22'50"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446088,99533681
4298577,5746008</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Δεν υπάρχει πρόσβαση στην κοίτη του ποταμού</td></tr>
<tr><td colspan="2">Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.17 Landmark 17

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 18</td><td rowspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°51'29"N</td></tr>
<tr><td>23°22'56"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>446249,49145963
4300919,3000177</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Δεν υπάρχει πρόσβαση στην κοίτη του ποταμού</td></tr>
<tr><td colspan="2">Downstream</td><td>Upstream</td></tr>
<tr><td colspan="2"> </td><td> </td></tr>
<tr><td colspan="2">29.4.2023</td><td>29.4.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.18 Landmark 18

Name	Landmark 19	
Coordinates	38°48'36"N 23°28'13"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	453858,79796172 4295538,5963718	
Notes: Κατάντη συμβολή μεταξύ Νηλέα Κηρέα. Μετά από αυτό το σημείο ο ποταμός αλλάζει όνομα και ονομάζεται Βουδούρος		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.19 Landmark 19

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 20</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°48'07"N</td></tr>
<tr><td>23°26'49"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>451827,49242389
4294656,6751993</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Μη αξιοσημείωτες αλλαγές</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.20 Landmark 20

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark 21</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°47'52"N</td></tr>
<tr><td>23°26'26"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>451269,89154031
4294197,6799047</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>29.4.2023</td><td colspan="2">29.4.2023</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.21 Landmark 21

Name	Landmark 22	
Coordinates	38°47'39"N	
	23°25'54"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	450495,49802462	
	4293801,7185473	
Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.22 Landmark 22

Name	Landmark 23	
Coordinates	38°47'37"N	
	23°25'26"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	449819,6600203	
	4293744,2949471	
Notes: Σημειώνονται σημαντικές αλλοιώσεις του τοπίου		
Downstream		Upstream
29.4.2023		29.4.2023
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.23 Landmark 23

Name	Landmark A	
Coordinates	38°49'48"N	
	23°27'58"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	453509.989580076	
	4297760.08998513	
Notes: Ποταμός Βουδουρός		
Downstream		Upstream
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.24 Landmark A

<table>
<tr><td>Name</td><td>Landmark B</td><td rowspan="4">
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Coordinates</td><td>38°48'29"N</td></tr>
<tr><td>23°28'13"E</td></tr>
<tr><td>Coordinates ΕΓΣΑ ‘87</td><td>453857.543200798
4295322.82668214</td></tr>
<tr><td colspan="2">Notes: Ποταμός Βουδουρός</td></tr>
<tr><td>Downstream</td><td colspan="2">Upstream</td></tr>
<tr><td> </td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td>11.11.2023</td><td colspan="2">11.11.2023</td></tr>
</table>

Εικόνα 12.25 Landmark B

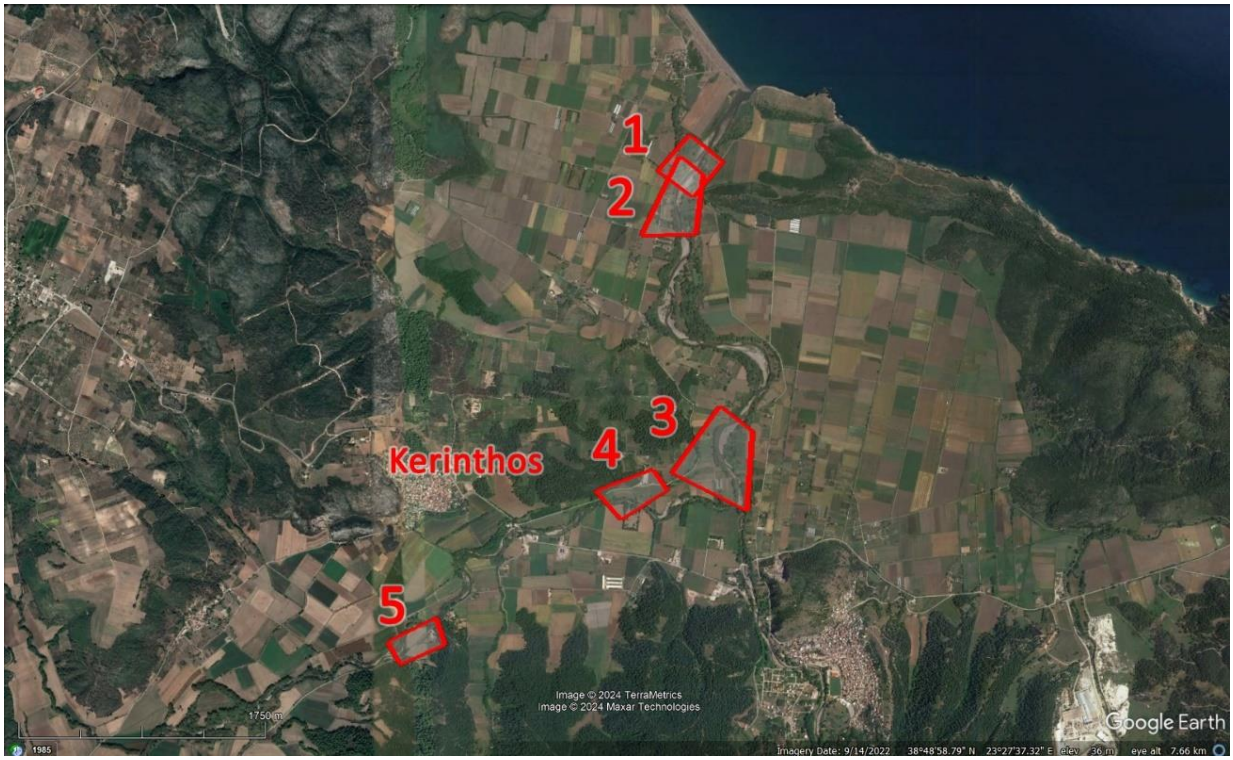
Name	Landmark C	
Coordinates	38°48'29"N	
	23°28'08"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	455907.612612412	
	4295311.2132054	
Notes: Ποταμός Βουδουρός		
Downstream		Upstream
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.26 Landmark C

Name	Landmark D	
Coordinates	38°48'29"N	
	23°27'26"E	
Coordinates ΕΓΣΑ ‘87	452723.974246426	
	4295329.47558376	
Notes: Ποταμός Βουδουρός		
Downstream		Upstream
11.11.2023		11.11.2023

Εικόνα 12.27 Landmark D

12.3 Αυτοψίες Drone



Εικόνα 12.28 Επιλεγμένες περιοχές μοντελοποίησης της κοίτης του ποταμού κοντά στο χωριό Κήρινθος στη Βόρεια Εύβοια

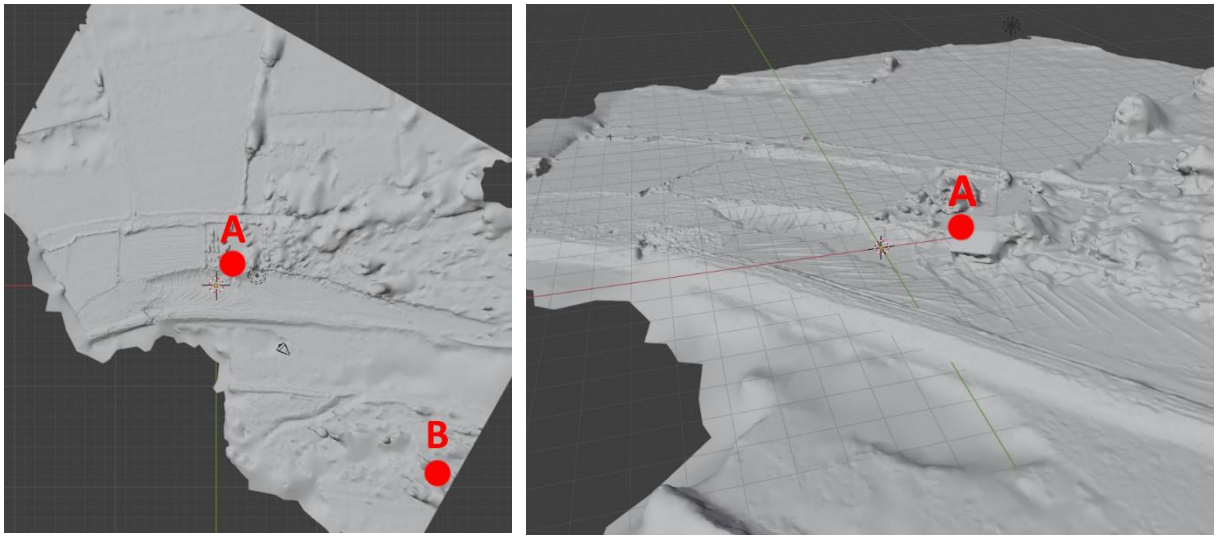
12.3.1 Θέση 1

(a) (b)

Εικόνα 12.29 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°49'45.80" N, 23°27'54.15" E; Β: 38°49'48.71" N, 23°28'3.58" E, Ημερομηνία: 6.1.2021

(a) (b)

Εικόνα 12.30 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=5435be7497554d318ed4ec43bf46d4a4 Ημερομηνία: 2.5.2024



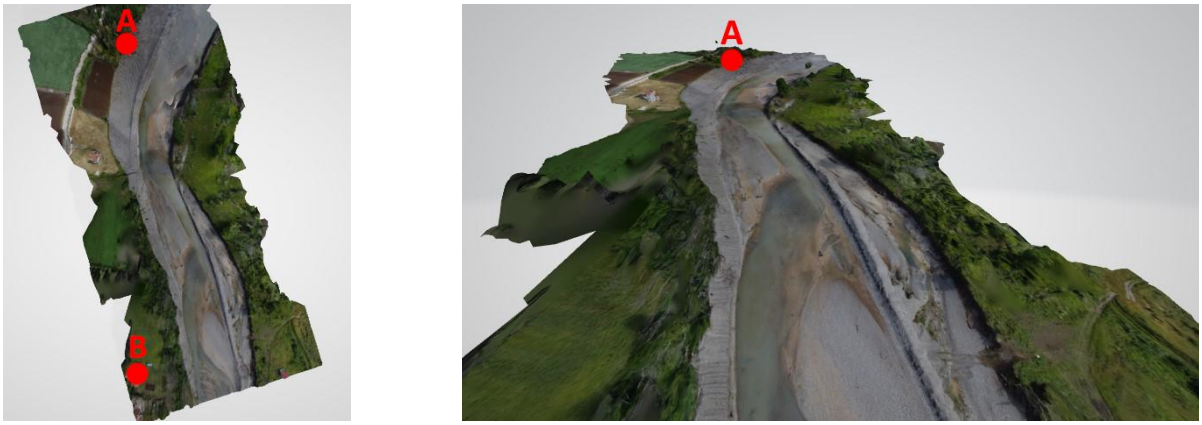
(a) (b)

Εικόνα 12.31 Το σύνθετο 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

12.3.2 Θέση 2

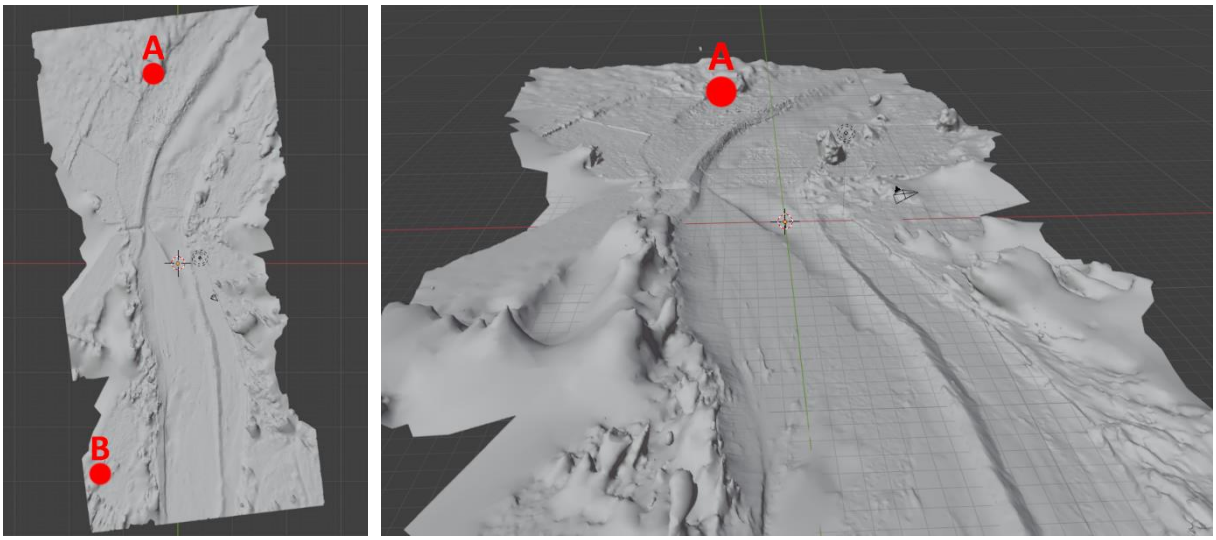
(a) (b)

Εικόνα 12.32 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°49'45.80" N, 23°27'54.15" E; Β: 38°49'35.00" N, 23°27'52.81" E; Ημερομηνία: 6.1.2021



(a) (b)

Εικόνα 12.33 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=a559f676f45149a88dc4b797f5311181 Ημερομηνία: 2.5.2024



(a) (b)

Εικόνα 12.34 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

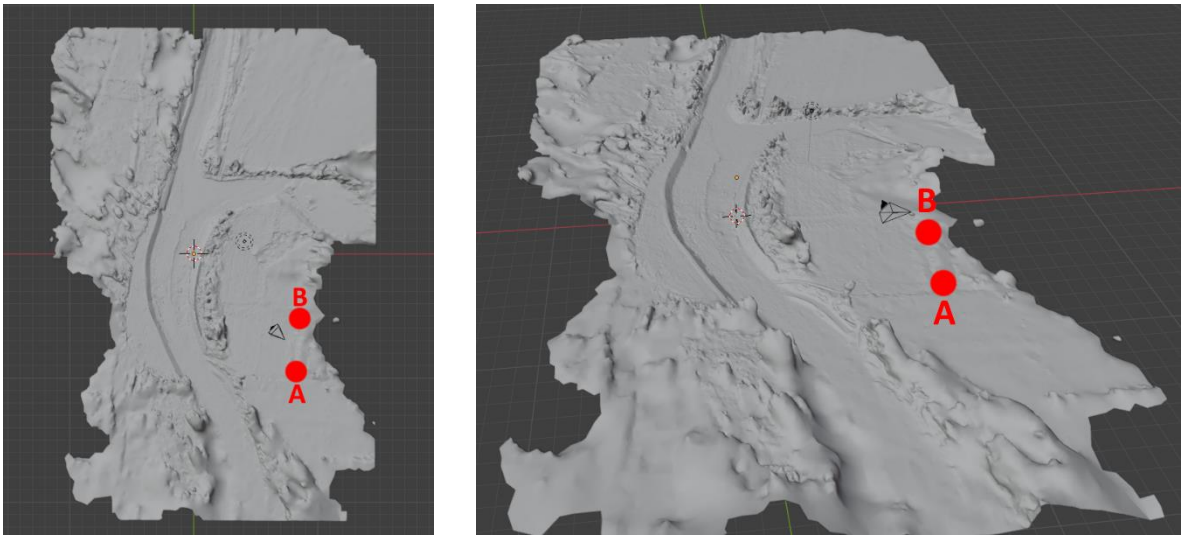
12.3.3 Θέση 3

(a) (b)

Εικόνα 12.35 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°48'29.11" N, 23°27'41.11" E; Β: 38°48'34.16" N, 23°28'7.73" E; Ημερομηνία: 6.1.2022

(a) (b)

Εικόνα 12.36 Το συνθετικό 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JlH&serialize=cfb1e22de2754f88b22d7174e3f4e453 Ημερομηνία: 2.5.2024



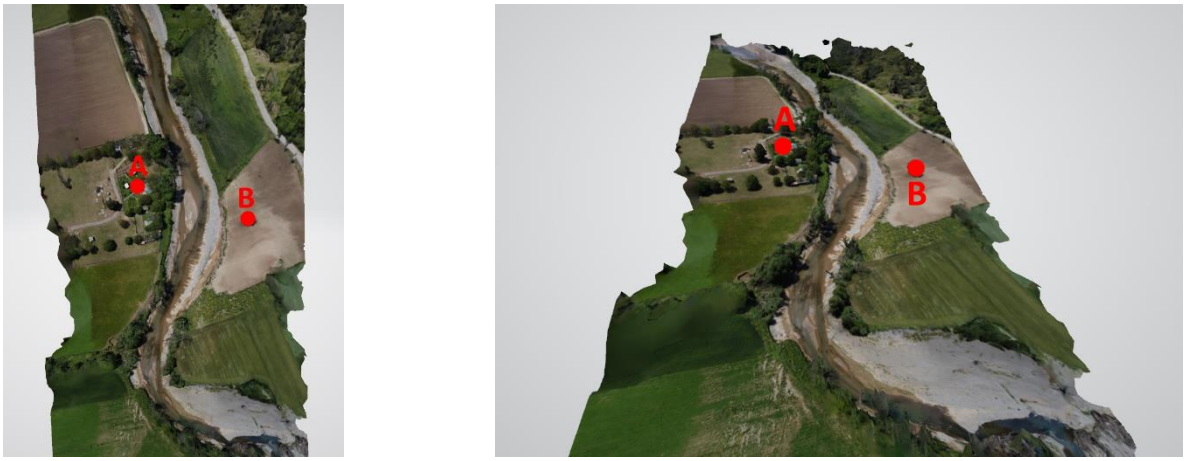
(a) (b)

Εικόνα 12.37 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

12.3.4 Θέση 4

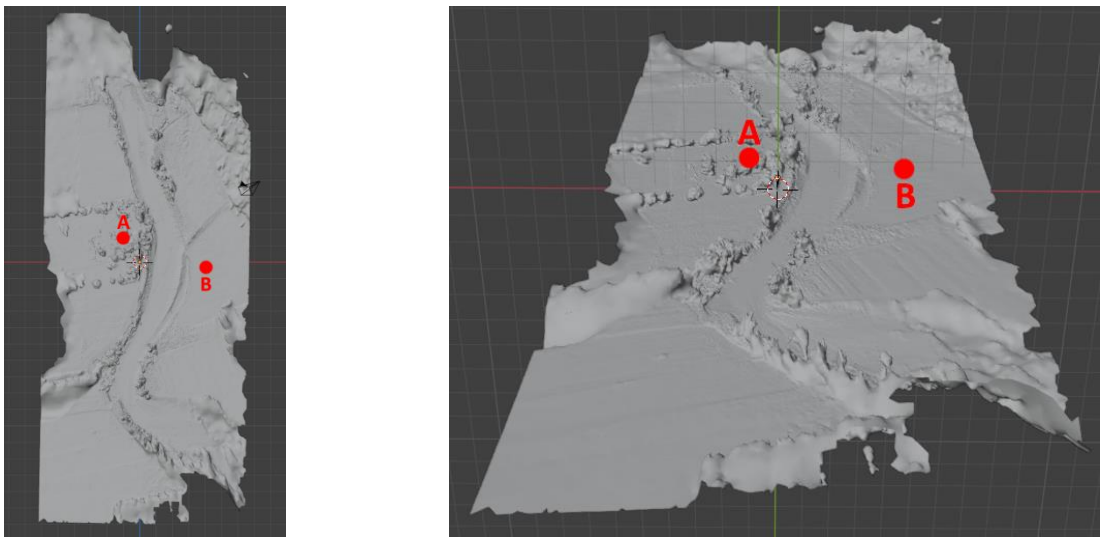
(a) (b)

Εικόνα 12.38 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°48'29.11" N, 23°27'41.11" E; Β: 38°48'32.33" N, 23°27'44.16" E; Ημερομηνία: 6.1.2022



(a) (b)

Εικόνα 12.39 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=6ec9e0ae6c64498aab0ad8608c38c928 Ημερομηνία: 2.5.2024



(a) (b)

Εικόνα 12.40 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

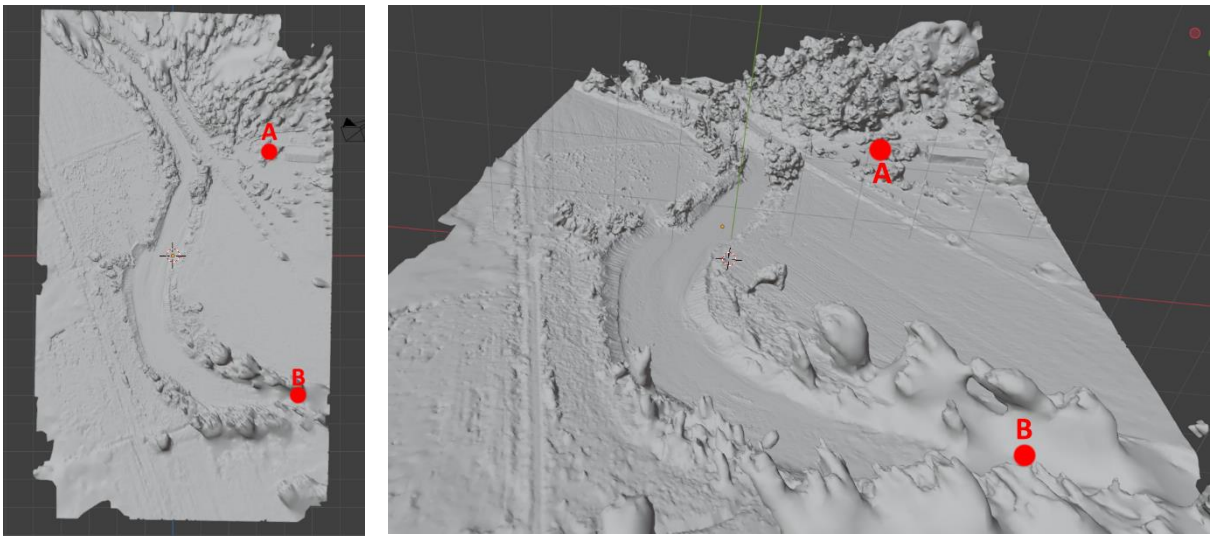
12.3.5 Θέση 5

(a) (b)

Εικόνα 12.41 Η περιοχή μελέτης στο Google Earth [1] (α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Ορόσημα: Α: 38°47'59.84" N, 23°26'42.23" E; Β: 38°47'57.14" N, 23°26'33.39" E; Ημερομηνία: 29.8.2020

(a) (b)

Εικόνα 12.42 Το 3D μοντέλο στο obj viewer. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=38e750bc887f4872aaa64e1d22102c6c Ημερομηνία: 2.5.2024



(a) (b)

Εικόνα 12.43 Το 3D μοντέλο στο αρχείο obj στο λογισμικό Blender. α) οριζόντια όψη· β) γωνιακή όψη.

12.4 Κώδικας Υλοποίησης

12.4.1 Κώδικας Linux (NASA link to netCDF)

```
#/bin/bash

username="**********"
password="**********"

while IFS= read -r url; do
    wget --user="$username" --password="$password" "$url"
done < urls.txt
```

12.4.2 Κώδικας Python

NASA link to netCDF

```
 -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Thu May 30 14:08:39 2024
@author: IMETA5
"""
import requests
# Read URLs from the file
with open ("C:\\Users\\IMETA5\\Downloads\\trialnetCDF.txt", 'r') as
filefromNASA:
    urls_pdf = filefromNASA.readlines()
    urls = urls_pdf[2:]

# Download each URL with HTTP authentication
for url in urls:
    url = url.strip()
    if url:
        result = requests.get(url)
        if result.status_code == 200:

            # Find the position of the last backslash in the url
            last_backslash_pos = url.rfind('/')
            # Find the position of the question mark
            question_mark_pos = url.find('?')
            # this is the name of the file to write
            url2save = url[last_backslash_pos + 1:question_mark_pos]
            #'your_file_string_goes_here'
            filename = f"C:\\Users\\IMETA5\\Downloads\\{url2save}"
            with open(filename, 'wb') as f:
                f.write(result.content)
                f.close()
            print(f"Downloaded: {filename}")
        else:
            print(f"Failed to download {url}, Status Code:
{result.status_code}")
```

Combined netCDF dataset

```
from google.colab import drive
import xarray as xr
import glob
import os
drive.mount('/content/drive', force_remount=True)
directory = '/content/drive/MyDrive/nasa'
file_paths = glob.glob(directory + '*.NC4')
print("Found files:", file_paths)
datasets = [xr.open_dataset(file_path) for file_path in
file_paths]
!pip install cftime
# Verify the directory exists
if not os.path.exists(directory):
    raise ValueError(f"The directory {directory} does not
exist.")

# Print the directory contents
print("Directory contents:", os.listdir(directory))

# Find all NetCDF4 files in the directory
file_paths = glob.glob(os.path.join(directory, '*.NC4'))

# Print file paths to verify
print("Found files:", file_paths)

# Ensure that we found some files
if not file_paths:
    raise ValueError("No NetCDF4 files found in the specified
directory.")

# Load all NetCDF4 files into xarray datasets with
decode_times=False
datasets = []
for file_path in file_paths:
    try:
        print(f"Trying to load file: {file_path}")
        ds = xr.open_dataset(file_path, decode_times=False)
        datasets.append(ds)
        print(f"Loaded dataset from {file_path}")
    except Exception as e:
        print(f"Error loading {file_path}: {e}")

# Ensure that some datasets were successfully loaded
if not datasets:
    raise ValueError("No datasets were successfully loaded.")

# Concatenate datasets along the time dimension
combined_dataset = xr.concat(datasets, dim='time')
```

NetCDF to CSV

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

!pip install netCDF4

import os
import numpy as np
from netCDF4 import Dataset

data_directory = '/content/drive/MyDrive/nasa'

for file_name in os.listdir(data_directory):
    if file_name.endswith('.NC4'):
        # Open the NetCDF file
        with Dataset(os.path.join(data_directory, file_name), 'r') as
nc_file:
            # Extract precipitation data
            precipitation_data =
nc_file.variables['HQprecipitation'][:].filled(np.nan)  # Assuming
'precipitationCal' is the variable name

            # Flatten the precipitation data array
            flattened_data = precipitation_data.flatten()

            # Save data to CSV file
            csv_file_name = os.path.splitext(file_name)[0] + '.csv'  #
Change the extension to .csv
            csv_file_path = os.path.join(data_directory, csv_file_name)
            np.savetxt(csv_file_path, flattened_data, delimiter=',')

            print(f"CSV file saved: {csv_file_path}")

# Download the CSV file to local machine
            files.download(csv_file_path)
```

13 Αναφορές

1. Moraiti K., Sigourou S., Dimitriadis P., Ioannidis R., Benekos I., Iliopoulou T, et al. Documenting the Changing Floodplain of Nileas Basin in North Euboea (Greece) before and after Storms Daniel and Elias. Rural and Regional Development 2024, 2, 10013. Διαθέσιμο online: https://doi.org/10.35534/rrd.2024.10013 (accessed on 30 October 2024)

2. Sargentis G-F, Moraiti K, Benekos I, Ioannidis R, Mamassis N. Fast-Track Documentation of the Alterations on the Landscape, before and after a Natural Hazard—Case Study: North Euboea Greece before and after Storms Daniel and Elias. Rural and Regional Development 2024, 2, 10016. Διαθέσιμο online: https://doi.org/10.70322/rrd.2024.10016 (accessed on 30 October 2024)

3. Moraiti K, Sigourou S, Kougia M, Sargentis G-F, Koutsoyiannis D. On-site inspection in monitoring of water flow for the calibration of hydraulic models and the statistical analysis of the hydraulic output. Case study: The river Nileas in North Euboea Greece, before and after the storm Elias in September 2023, Διαθέσιμο online: https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU24/EGU24-5186.html (accessed on 30 October 2024)

4. Πλημμύρες-ΥΠΕΝ, Διαθέσιμο online: https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/plimmyres/ (accessed on 30 October 2024)

5. Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά-ΥΠΕΝ, Διαθέσιμο online: https://ypen.gov.gr/perivallon/ydatikoi-poroi/odigia-plaisio-gia-ta-nera/ (accessed on 30 October 2024)

6. Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, Διαθέσιμο online: https://floods.ypeka.gr/

7. Εύβοια, Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CF%8D%CE%B2%CE%BF%CE%B9%CE%B1 (accessed on 30 October 2024)

8. Σχέδια Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, Διαθέσιμο online: https://wfdver.ypeka.gr/el/project/consultation-el07-13-2revision-draft-manag-plans-gr-v01/ (accessed on 12 October 2024)

9 Google. Google Earth Pro, Version 7.3.3.7786; Map Publisher: Washington, DC, USA, 2021. (accessed on 12 April 2024)

10. Δήμος Μαντουδίου–Λίμνης–Αγίας Άννας, Διαθέσιμο online : https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%AE%CE%BC%CE%BF%CF%82_%CE%9C%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%85%CE%B4%CE%AF%CE%BF%CF%85%E2%80%93%CE%9B%CE%AF%CE%BC%CE%BD%CE%B7%CF%82%E2%80%93%CE%91%CE%B3%CE%AF%CE%B1%CF%82_%CE%86%CE%BD%CE%BD%CE%B1%CF%82 (accessed on 12 April 2024)

11. Αποτελέσματα Απογραφής Πληθυσμού - Κατοικιών 2021, Διαθέσιμο online: https://www.statistics.gr/2021-census-res-pop-results (accessed on 12 April 2024)

12. Περιφέρειες, Περιφερειακές Ενότητες, Δήμοι Καλλικράτη και πληθυσμός, Διαθέσιμο online: https://www.kallikratis.org/perifereies-perifereiakes-enotites-dimoi-kallikrati-kai-plithysmos/ (accessed on 12 April 2024)

13. Πίνακες χρήσεων γης, Διαθέσιμο online: https://geodata.gov.gr/dataset/khreseis-ges-1999-2000/resource/6a61ded3-b5d9-4653-8b1a-ccd6c411d6ed (accessed on 12 April 2024)

14. CORINE Land Cover 2012 (vector/raster 100 m), Europe, 6-yearly, Διαθέσιμο online: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc-2012 (accessed on 16 April 2024)

15. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΥΒΟΙΑΣ, ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ, Διαθέσιμο online: https://ejournals.epublishing.ekt.gr/index.php/geographies/article/view/33267(accessed on 16 April 2024)

16. Μέττος Α., Ροντογιάννη Θ., Παπαδάκης Γ., Πάσχος Π., Γεωργίου Χ., (1991). Νέα δεδομένα στη γεωλογία των Νεογενών αποθέσεων της Β. Εύβοιας. Γεωλογική Εταιρεία. Αθήνα.

17. Κλίμα της Ελλάδας, Διαθέσιμο online: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%95%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82 (accessed on 16 April 2024)

18. Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων , Διαθέσιμο online: https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%a0%cf%81%ce%bf%ce%ba%cf%8c%cf%80%ce%b9%ce%bf%ce%bd_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_254584 (access on 30 September 2024)

19. Ζαχάρη Α. Ο φυσικός κίνδυνος των δασικών πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας. Περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνέπειες. Μελέτη περίπτωσης: Η πυρκαγιά στη Β. Εύβοια το καλοκαίρι του 2021. Available at: https://ir.lib.uth.gr/xmlui/bitstream/handle/11615/82705/28080.pdf?sequence=4 (access on 30 September 2024)

20. Koutsoyiannis, D., Iliopoulou, T., Koukouvinos, A., Malamos, N., Mamassis, N., Dimitriadis, P., et al. (2023a). Technical Report, Production of maps with updated parameters of the ombrian curves at country level (impementation of the EU Directive 2007/60/EC in Greece). Available at: https://www.itia.ntua.gr/en/docinfo/2273/ (access on 30 September 2024)

21. Sargentis G.-F., Mamassis N., Kitsou O and Koutsoyiannis D. (2024) The role of technology in the water–energy–food nexus. A case study: Kerinthos, North Euboea, doi: https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1343344 (access on 30 October 2024)

22. Τσιακίρης Ρ. Ο ρόλος των πολιτών, των τοπικών κοινοτήτων και του κράτους στην προστασία των δασών. Available at: https://gr.boell.org/el/2024/03/21/o-rolos-ton-politon-ton-topikon-koinotiton-kai-toy-kratoys-stin-prostasia-ton-dason (access on 10 May 2024)

23. Sargentis G.-F., Ioannidis R., Bairaktaris I.,Frangedaki E., Dimitriadis P., Iliopoulou T., Koutsoyiannis D. and Lagaros N.(2022). Wildfires vs. Sustainable Forest Partitioning. Conservation. doi: https://doi.org/10.3390/conservation2010013 (access on 30 October 2024)

24. Ocasio-Morales R. G., Tsopelas P., Harrington T. C. Origin of Ceratocystis platani on Native Platanus orientalis in Greece and Its Impact on Natural Forests. The American Phytopathological Society (APS). 2007 doi: https://doi.org/10.1094/PDIS-91-7-0901 (access on 30 October 2024)

25. Ferguson, R. (2007), Flow resistance equations for gravel- and boulder-bed streams, Water Resour. Res., 43, W05427, doi:10.1029/2006WR005422 (access on 30 October 2024)

26. Devitt, L., Neal, J., Coxon, G. et al. Flood hazard potential reveals global floodplain settlement patterns. Nat Commun 14, 2801 (2023). https://doi.org/10.1038/s41467-023-38297-9 (accessed on 01 October 2024)

27. Jeger M., Bragard C., Chatzivassiliou E., Dehnen-Schmutz K., Gilioli G., Jaques Miret J.-A., MacLeod A., Navajas Navarro M, Niere B., Parnell S., Potting R., Rafoss T., Urek G., Van Bruggen A., Van der Werf W., West J., Winter S., Santini A., Tsopelas P., Vloutoglou I., Pautasso M., and Rossi V. Risk assessment and reduction options for Ceratocystis platani in the EU EFSA Panel on Plant Health (PLH). 2016 https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4640 (accessed on 01 October 2024)

28. Dimitriadis, P.; Kougia, M.; Sargentis, G.-F.; Iliopoulou, T.; Mamasis, N.; Koutsoyiannis, D.: Violent land terrain alterations and their impacts on water management; Case study: North Euboea, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-13318, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-13318, 2023.

29. Portmann R., González-Alemán J., Sprenger M., Wernli H. How an uncertain short-wave perturbation on the North Atlantic wave guide affects the forecast of an intense Mediterranean cyclone (Medicane Zorbas) DOI: https://doi.org/10.5194/wcd-1-597-2020 ((accessed on 10 May 2024).

30. Cyclone Zorbas, https://en.wikipedia.org/wiki/Cyclone_Zorbas (accessed on 12 April 2024).

31. Προβλήματα από τη βροχή στη Βόρεια Εύβοια -Υπερχείλισε ο Κηρέας, κλειστός ο δρόμος στο Μαντούδι https://www.iefimerida.gr/ellada/problimata-apo-tin-brohi-stin-boreia-eyboia (accessed on 12 April 2024).

32. IMERG Precipitation Extractor (IPE) Available at: https://cartoviews.users.earthengine.app/view/ipe (accessed on 24 May 2024)

33. Contribution of deep convection on the intensification of Mediterranean cyclones. Available online: https://www.researchgate.net/publication/349682974_Contribution_of_deep_convection_on_the_intensification_of_Mediterranean_cyclones (accessed on 12 April 2024).

34. Neary D.-G., Gottfried G.-J., Ffolliott P.-F. Post-wildfire watershed flood responses
January 2003, Available at: https://www.researchgate.net/publication/228510172

35. Evelpidou, N., Tzouxanioti, M., Gavalas, T., Spyrou, E., Saitis, G., Petropoulos, A., Karkani, A.

Assessment of Fire Effects on Surface Runoff Erosion Susceptibility: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece. Land 2022, 11, 21. https://doi.org/10.3390/land11010021

36. Sargentis, G.-F., Iliopoulou, T., Sigourou, S., Dimitriadis, P., Koutsoyiannis, D. Evolution of Clustering Quantified by a Stochastic Method—Case Studies on Natural and Human Social Structures. Sustainability 2020, 12, 7972. https://doi.org/10.3390/su12197972

37. Historical Digital Archive. Alteregomedia (in Greek). Available online: http://premiumarchives.alteregomedia.org/

38. Κακοκαιρία Ντάνιελ, Available at: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B1%CE%BA%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%AF%CE%B1_%CE%9D%CF%84%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%B5%CE%BB (accessed on 14 May 2024)

39. Sargentis, G.-F., Kougia, M., Ioannidis, R., Benekos, I., Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., Koukouvinos, A., Dimitrakopoulou, D., Mamassis, N., Tsouni, A., Sigourou, S., Pagana, V., Frangedaki, E., Lagaros, N. D., Kontoes, C., Koutsoyiannis, D. The Technological Evolution in Flood Risk Estimation, ADDOPTML2024, OPTARCH2024, and OPT-ii2024, Irbid - Jordan, Jordan, 1st-4th October 2024.

40. Κακοκαιρία Daniel: Γιατί είναι η πιο καταστροφική που έχουμε βιώσει , Available at: https://www.kathimerini.gr/life/environment/562603828/kakokairia-daniel-giati-einai-i-pio-katastrofiki-poy-echoyme-viosei/ (accessed on 14 May 2024)

41. Κακοκαιρία Elias: Δραματική η κατάσταση στην Εύβοια - Εικόνες απόλυτης καταστροφής, Available at: https://www.cnn.gr/ellada/story/384064/kakokairia-elias-dramatiki-i-katastasi-stin-eyvoia-eikones-apolytis-katastrofis (accessed on 14 May 2024)

42. Tara Subramaniam, Chris Liakos (2023). Greece hit by several months of rain in a day, just weeks after storm killed 17. CNN. Available at: https://edition.cnn.com/2023/09/28/europe/greece-storm-elias-intl-scn-hnk/index.html (accessed on 14 May 2024)

43. Sigourou, S., Tsouni, A., Pagana, V., Dimitriadis, P., Sargentis, G.-F., Ioannidis, R., Chardavellas, E., Dimitrakopoulou, D., Mamasis, N., Koutsoyiannis, D., and Kontoes, C. Flood risk assessment in the most heavily urbanized area of Greece, the case study of Kifissos river basin in Athens., EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-13202, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-13202, 2024. (accessed on 30 October 2024)

44. Sargentis, G.-F.; Meletopoulos, I. T.; Iliopoulou, T.; Dimitriadis, P.; Chardavellas, E.; Dimitrakopoulou, D.; Siganou, A.; Markantonis, D.; Moraiti, K.; Kouros, K.; Nikolinakou, M.; Koutsoyiannis, D. Modelling water needs; from past to present. Case study: The Municipality of Western Mani, IAHS-AISH Scientific Assembly 2022, Montpellier, France, 29 May–3 Jun 2022, IAHS2022-400, 2022. (accessed on 30 October 2024)

45. Moraiti, K.; Markantonis, D.; Nikolinakou, M.; Siganou, A.; Sargentis, G.-F.; Iliopoulou, T.;

Dimitriadis, P.; Meletopoulos, I. T.; Mamassis, N.; Koutsoyiannis, D. Optimizing water infrastructure solutions for small-scale distributed settlements – Case study at the Municipality of Western Mani, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-3055, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-3055, 2022. (accessed on 30 October 2024)

46. Blender Online Community. (2023). Blender - a 3D modelling and rendering package (Version 3.5). Blender Foundation. https://www.blender.org (accessed on 30 October 2024)

47. Διαθέσιμο online: https://www.kiriengine.app/share/ShareModel?code=NT4JIH&serialize=38e750bc887f4872aaa64e1d22102c6c(accessed on 30 October 2024)

48. Sargentis, G.-F., Ioannidis, R., Kougia, M., Benekos, I., Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., Koukouvinos, A., Dimitrakopoulou, D., Mamassis, N., Tsouni, A., Sigourou, S., Pagana, V., Frangedaki, E., Lagaros, N. D., Kontoes, C., Koutsoyiannis, D. Do Floods Attack Cities or Cities Invade Flood plains, ADDOPTML2024, OPTARCH2024, and OPT-ii2024, Irbid - Jordan, Jordan, 1st-4th Oktober 2024.

49. Ν.Π.Δ.Δ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, ΕΠΨΣ 2007-13, ΕΠΑΝΕΚ2014-20

50. Esri. (2019). ArcGIS Desktop: Release 10.7.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

51.Σημειώσεις μαθήματος «Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών»,8ου εξαμήνου, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ

52. IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM https://gpm.nasa.gov/data/imerg(accessed on 30 October 2024)

53. Available at: https://www.hec.usace.army.mil/ (accessed on August 20, 2024)

54. Available at: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/ (accessed on August 20, 2024)

55. Garcia M., Juan A. and Bedient P. (2020) Integrating Reservoir Operations and Flood Modeling with HEC-RAS 2D doi: https://doi.org/10.3390/w12082259

56. How to Generate Earthdata Prerequisite Files Available at: https://disc.gsfc.nasa.gov/information/howto?title=How%20to%20Generate%20Earthdata%20Prerequisite%20Files (accessed on October 23, 2024)

57. IMERG Precipitation Extractor Available at: https://cartoviews.users.earthengine.app/view/ipe (accessed on August 20, 2024)

58. Koutsoyiannis D., Iliopoulou T., Koukouvinos A., Malamos N., Mamassis N., Dimitriadis P., Tepetidis N., Markantonis D. (2024). Μοντελοποίηση ακραίων βροχοπτώσεων για τον σχεδιασμό υδραυλικών έργων και φραγμάτων: Η νέα μεθοδολογία και η εφαρμογή της στην ελληνική επικράτεια. DOI: 10.13140/RG.2.2.24009.35689

59. U.S. Army Corps of Engineers, "HEC-RAS River Analysis System, Version 6.5," Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers, 2023. [Online]. Available:

https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

60. Coordinate Systems Worldwide Available at: https://epsg.io/ (accessed on August 21, 2024)

61. Markantonis, D.; Dimitriadis, P.; Sargentis, G.-F.; Iliopoulou, T.; Mamassis, N.; Koutsoyiannis, D. Estimating the risk of large investments using Hurst-Kolmogorov dynamics in interest rates, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-14416, https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-14416 , 2023. (accessed on August 16, 2024)

62. Chan Y. K., Koo V. C. (2008) AN INTRODUCTION TO SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR)

63. CARL A. WILEY (1985) Synthetic Aperture Radars

64. Berens Patrick (2006) Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR) Available at: https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA470686 (accessed on August 16, 2024)

65. Sentinel-1 Available at: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-1 (accessed on August 16, 2024)

66. https://scihub.copernicus.eu/ (accessed on August 16, 2024)

67. https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/ (accessed on August 16, 2024)

68. Webinar 7 - Flood Mapping with Sentinel 1 data, Available at: https://www.youtube.com/watch?v=j-vKceC6cRw&t=2680s (accessed on August 16, 2024)

69. Copernicus Open Access Hub. https://scihub.copernicus.eu/ (accessed on August 16, 2024)

70. Copernicus. E.O Browser. https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/ (accessed on August 16, 2024)

71. Κουτσογιάννης Δ., Σχεδιασμός Αστικών Δικτύων Αποχέτευσης (2011) Available at: doi:10.13140/RG.2.1.2169.1125 (accessed on August 28, 2024)

72. Κουτσογιάννης Δ., Ηλιοπούλου Θ., Κουκουβίνος Α., Μαλάμος Ν., Μαμάσης Ν., Δημητριάδης Π., Τεπετίδης Ν., και Μαρκαντώνης Δ., Τεχνική Έκθεση, Παραγωγή χαρτών με τις επικαιροποιημένες παραμέτρους των όμβριων καμπυλών σε επίπεδο χώρας (εφαρμογή της Οδηγίας ΕΕ 2007/60/ΕΚ στην Ελλάδα), Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2023. https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/2273/

73. García R. (2005) Analysis of Manning coefficient for small-depth flows on vegetated beds DOI: 10.1002/hyp.5820

74. Nalbantis, I., & Lymperopoulos, S. (2012). Assessment of flood frequency after forest fires in small ungauged basins based on uncertain measurements. *Hydrological Sciences Journal*, *57*(1), 52–72. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.637041

75. 1η ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΣΧΕΔΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κρήτης (EL13)

76. Manning's n Values https://www.fsl.orst.edu/geowater/FX3/help/8_Hydraulic_Reference/Mannings_n_Tables.htm

77. Jaafar, H. H. & Ahmad, F. GCN250, global curve number datasets for hydrologic modeling and design. figshare, https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7756202 (2019)

78. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK (1996) Predictingsoil erosion by water. A guide to conservation planning with therevised universal soil loss equation (RUSLE). Agric. Handbook703. US Govt Print Office, Washington, DC
*(*PDF) Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Available from: https://www.researchgate.net/publication/226711254_Soil_erosion_prediction_using_the_Revised_Universal_Soil_Loss_Equation_RUSLE_in_a_GIS_framework_Chania_Northwestern_Crete_Greece [accessed Oct 11 2024].
79. Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών
80. Erosion by water https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/erosion
81. Philip J. Noske, Petter Nyman, Patrick N.J. Lane, Francis K. Rengers, Gary J. Sheridan, Changes in soil erosion caused by wildfire: A conceptual biogeographic model,Geomorphology,Volume 459,2024,109272,ISSN 0169-555X, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109272 .
82. Balasubramanian A. Soil Erosion – Causes and Effects
83. Vanoni, V.A., 1975, Sedimentation Engineering, in Manuals and Reports on Engineering Practices, ASCE, New York