



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη χρήση
τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών
Συστημάτων Πληροφοριών.**

Η περίπτωση της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας

Μάριος Σούρλας

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας με τη χρήση
τεχνικών της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών
Συστημάτων Πληροφοριών.**

Η περίπτωση της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας

Μάριος Σούρλας

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ΗΗ/ΜΜ/ΕΤΟΣ

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Αν. Καθηγητής..... (Υπογραφή)

Κωνσταντίνος Αθανασσάς, Επικ. Καθηγητής..... (Υπογραφή)

Παρασκευάς Τσαγγαράτος, ΕΔΙΠ (Υπογραφή)

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2021

Copyright © Μάριος Σούλας, 2021

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Στην οικογένειά μου...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	i
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	v
Περίληψη	ix
Abstract.....	xi
Εισαγωγή	xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ – ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	17
1.1 Οι φυσικές καταστροφές και οι κατηγορίες τους	17
1.2 Πλημμυρικά φαινόμενα	18
1.3 Κατηγοριοποίηση πλημμυρών	19
1.4 Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της.....	23
1.4.1 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις πλημμύρες	23
1.4.2 Σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	24
1.4.3 Το σενάριο A1B από την Ε.Μ.Ε.Κ.Α.	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	29
2.1 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών	29
2.1.1 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών στο έδαφος.....	29
2.1.2 Αλλαγές στα αβιοτικά χαρακτηριστικά	30
2.1.3 Επίδραση στην εδαφική βιοποικιλότητα	31
2.1.4 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών στον άνθρωπο	32
2.2 Οι πλημμύρες στον ελληνικό χώρο	34
2.2.1 Ιδιαιτερότητες του ελληνικού χώρου.....	34
2.2.2 Το πλημμυρικό πρόβλημα στον Ελληνικό χώρο	35
2.2.3 Στατιστικά στοιχεία του ελληνικού χώρου	38
2.2.3.1 Χρονική κατανομή και θάνατοι	38

2.2.3.2 Χωρική κατανομή των πλημμυρών	43
2.3 Η πλημμύρα της Κορίνθου το 1997	44
2.4 Η πλημμύρα της Μάνδρας το 2017	47
2.5 Διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων – Μέτρα πρόληψης	49
2.5.1 Τεχνικές αντιμετώπισης.....	50
2.6 Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ	
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	59
3.1 Στάδια – Βήματα λειτουργίας ενός ΓΣΠ	60
3.2 Χρήσεις και εφαρμογές των ΓΣΠ.....	62
3.2.1 Ευρύτερη χρήση και εφαρμογή των ΓΣΠ.....	62
3.2.2 Διαχείριση των υδατικών πόρων με ΓΣΠ.....	63
3.3 Πλημμυρική επιδεκτικότητα και επικινδυνότητα	66
3.3.1 Πλημμυρική επιδεκτικότητα	66
3.3.2 Πλημμυρική επικινδυνότητα	66
3.4 Εφαρμογές Γ.Σ.Π. στα πλημμυρικά φαινόμενα	68
3.5 Τηλεπισκόπηση	69
3.5.1 Ενεργητική και Παθητική τηλεπισκόπηση.....	70
3.5.2 Εφαρμογή τηλεπισκόπησης στην πρόβλεψη πλημμυρικών φαινομένων.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	75
4.1 Α' Στάδιο - Προετοιμασία και επεξεργασία δεδομένων.	75
4.1.1 Συλλογή δεδομένων.....	75
4.1.2 Διαμόρφωση των Θ.Ε.Π. και των σχετικών κλάσεων-κατηγοριών.	78
4.1.3 Βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παραμέτρου με βάση την επίδραση τους στην πλημμυρική επιδεκτικότητα.....	78
4.1.4 Διαμόρφωση των βάσεων εκπαίδευσης και ελέγχου-επαλήθευσης.....	79
4.2 Β' στάδιο - Στάδιο εφαρμογής και επαλήθευσης του μοντέλου	80

4.2.1 Επιμέρους φάση εφαρμογής της μεθόδου Λογιστικής Παλινδρόμησης:	80
4.2.2 Επιμέρους φάση δημιουργίας χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας	81
4.2.3 Επιμέρους φάση εκτίμησης της προγνωστικής τους απόδοσης.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	85
5.1 Οριοθέτηση της περιοχής	85
5.2 Γεωλογία της περιοχής	86
5.3 Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας.....	89
5.4 Χρήσεις γης.....	105
5.5 Υδρογεωλογική επισκόπηση – κατάταξη γεωλογικών σχηματισμών	109
5.6 Κατείσδυση.....	111
5.7 Κίνηση υπόγειου νερού	112
5.8 Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης.....	113
5.9 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ).....	118
5.9.1 Υψηλή ζώνη π. Ασωπού GR02RAK0002	119
5.9.2 Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο GR02RAK0006	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	123
6.1 Ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα στην περιοχή μελέτης	123
6.1.1 Υψόμετρο.....	123
6.1.2 Κλίση Εδάφους – Μορφολογία	123
6.1.3 Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο	124
6.1.4 Εδαφικό μέσο.....	124
6.1.5 Ρυθμός κατείσδυσης	124
6.1.6 Καμπυλότητα	124
6.1.7 Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας.....	124
6.1.8 Χάρτης επιλεγμένων σημείων υποσυνόλων Εκπαίδευσης - Ελέγχου	128

6.2 Δημιουργία χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με το μοντέλο fsi_expert_model	130
6.3 Δημιουργία χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με το μοντέλο fsi_logistic_model	132
6.4 Χωρικές αναλύσεις	136
6.4.1 Στατιστικά στοιχεία των υδρολογικών λεκανών της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το μοντέλο fsi_logistic_model.....	137
6.5 Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλων επιδεκτικότητας	142
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	147
7.1 Σχολιασμός και σύγκριση των δύο μοντέλων	148
7.2 Πλημμυρικά επεισόδια στην περιοχή έρευνας και σχολιασμός του προγνωστικού μοντέλου	152
7.3 Θέματα που προσφέρονται για περαιτέρω έρευνα	157
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	159

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. **Εικόνα 1.1** (α): Ηφαιστειακή έκρηξη - Mauna Ulu 1969, (β): Κατολίσθηση - Τέμπη 2009, (γ): Σεισμός – Νεπάλ 2015, (δ): Πλημμύρα – Δυτική Αττική 2017 (<http://www.elekkas.gr/index.php/en/>)
2. **Εικόνα 1.2** Μετακίνηση ογκολίθου διαμέτρου 6 μέτρων (Lekkas E., et al., 2019).
3. **Εικόνα 1.3** Μετακίνηση ογκολίθων εντός του ρέματος, μετά από κατολίσθηση στα πρανή της κοίτης του ρ. Πίκας στην Κινέτα και φαινόμενα διάβρωσης εκτός του υδρογραφικού δικτύου (Lekkas E., et al., 2019).
4. **Εικόνα 1.4** Βλάβες του οδικού δικτύου στην Παλαιά εθνική οδό Αθηνών Κορίνθου (ΠΕ-ΟΑΚ) στη γέφυρα του ρέματος Πίκας στην Κινέτα, όπως διαμορφώθηκε μετά την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου (Lekkas E., et al., 2019)
5. **Εικόνα 1.5** Παραδείγματα οριοθέτησης της πλημμύρας στην Μάνδρα Αττικής τον Νοέμβριο του 2017. (M. Diakakis, et al., 2018. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece
6. **Εικόνα 1.6** Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 1990-1999 σε mm/3h. Οι αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου. (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. - Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών)
7. **Εικόνα 1.7** Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2090-2099 και 1990-1999 σε mm/3h. Οι αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου. (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. - Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών)
8. **Εικόνα 1.8** Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14 * D^{0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049, 2090-2099 και 1990-1999.
9. **Εικόνα 1.9** Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 23,163 * D^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049, 2090-2099 και 1990-1999.
10. **Εικόνα 2.1&2.2** Πλημμυρισμένη οδός Νέας Περάμου – Μάνδρας στις 15/11/2017 (Lekkas E., et al., 2017)
11. **Εικόνα 2.3** Ρύπανση που καταλήγει στην παράκτια ζώνη Ελευσίνας (Lekkas E., et al., 2017)
12. **Εικόνα 2.4** Numbers of disasters per type 1998-2017 (UNISDR and CRED (2018) report: Economic Losses, Poverty & Disasters (1998 - 2017))

13. **Εικόνα 2.5** Number of deaths per disaster type 1998-2017 (UNISDR and CRED (2018) report: Economic Losses, Poverty & Disasters (1998 - 2017))
14. **Εικόνα 2.6** Κατανομή πλημμυρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο (πηγή: ΥΠΕΚΑ)
15. **Εικόνα 2.7&2.8** Σκηνές από την πλημμύρα της Εύβοιας – Αύγουστος 2020 (Lekkas E., et al., 2020).
16. **Εικόνα 2.9** Κατανομή των θανάτων στον Ελληνικό χώρο, εκφρασμένη ως αριθμός γεγονότων ανά περιφερειακή ενότητα για την περίοδο 1880-2010. (Διακάκης 2012)
17. **Εικόνα 2.10** Οι θέσεις των πλημμυρών του καταλόγου στον Ελληνικό χώρο (1880-2010) (Διακάκης 2012).
18. **Εικόνα 2.11** Κατανομή των πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο, εκφρασμένη ως αριθμός γεγονότων ανά δήμο για την περίοδο 1880-2010. (Διακάκης 2012)
19. **Εικόνα 2.12** Χωρική πυκνότητα των πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο σε συμβάντα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (km^2). (Διακάκης 2012)
20. **Εικόνες 2.13, 2.14, 2.15(α), 2.15(β)** Καταστροφές στην Κόρινθο από την πλημμύρα στις 13/1/1997
21. **Εικόνα 2.16(α)** Νέα Πέραμος – Εθνική οδός, 15/11/2017 (Lekkas E., et al., 2017)
22. **Εικόνα 2.16(β)** Πλημμυρισμένη οδός στην Μάνδρα Αττικής 15/11/2017
23. **Εικόνα 2.17** Άποψη της γέφυρας του Αφρατίου στην οποία σημειώνεται λόγω διάβρωσης των πρανών γύρω από το ακρόβαθρο (τυπική εικόνα επιπτώσεων σε γέφυρες από την πλημμύρα) (Lekkas E., et al., 2020)
24. **Εικόνα 2.18** Μέτρα πρόληψης – διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων (Τσαγγαράτος Π., 2018)
25. **Εικόνα 2.19** Διατομή χωμάτινων φραγμάτων (a: ομογενές φράγμα, b και c: «ζωνικά» φράγματα) (Μάρης, Φ - Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα)
26. **Εικόνα 2.20** Δημιουργία πλημμυρικών επιφανειών (Vischer und Huber, 1985).
27. **Εικόνα 2.21** Τύποι επιπτώσεων στις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου. (Λέκκας Ε., et al., Πανελλήνιο Συνέδριο)
28. **Εικόνα 3.1** Χάρτες επικινδυνότητας της κοιλάδας του Κοιλιάρη για κάθε παράγοντα (Kourgialas and Karatzas 2011)
29. **Εικόνα 3.2** Τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της κοιλάδας του Κοιλιάρη (Kourgialas and Karatzas 2011)
30. **Εικόνα 3.3** Παθητικός αισθητήρας τηλεπισκόπησης

31. **Εικόνα 3.4** Ενεργητικός αισθητήρας τηλεπισκόπησης
32. **Εικόνα 5.1** Χάρτης περιοχής έρευνας
33. **Εικόνα 5.2** Λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης (Μουντράκης, 1985)
34. **Εικόνα 5.3** Χάρτης γεωλογίας περιοχής μελέτης
35. **Εικόνα 5.4** Βαθμονομημένος χάρτης υψομέτρου περιοχής μελέτης
36. **Εικόνα 5.5** Βαθμονομημένος χάρτης λεκανών απορροής περιοχής μελέτης
37. **Εικόνα 5.6** Βαθμονομημένος χάρτης σκιασμένου αναγλύφου περιοχής μελέτης
38. **Εικόνα 5.7** Βαθμονομημένος χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης
39. **Εικόνα 5.8** Βαθμονομημένος χάρτης διευθύνσεων περιοχής μελέτης
40. **Εικόνα 5.9** Βαθμονομημένος χάρτης υδρογραφικού δικτύου
41. **Εικόνα 5.10** Καμπυλότητα προφίλ (Profile curvature)
42. **Εικόνα 5.11** Καμπυλότητα κάτοψης (Planform curvature)
43. **Εικόνα 5.12** Πρότυπη καμπυλότητα (Standard Curvature)
44. **Εικόνα 5.13** Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας προφίλ (Profile curvature)
45. **Εικόνα 5.14** Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας κάτοψης (Planform curvature)
46. **Εικόνα 5.15** Βαθμονομημένος χάρτης πρότυπης καμπυλότητας (Standard curvature)
47. **Εικόνα 5.16** Κατανομή των χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossart et al., 2000) στην περιοχή έρευνας
48. **Εικόνα 5.17** Βαθμονομημένος χάρτης κατανομής χρήσεων γης
49. **Εικόνα 5.18** Χάρτης θέσης των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής έρευνας
50. **Εικόνα 5.19** Βαθμονομημένος χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης περιοχής μελέτης
51. **Εικόνα 5.20** Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στο ΥΔ Βόρειας Πελοποννήσου
52. **Εικόνα 5.21** Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο GR02RAK0006
53. **Εικόνα 6.1** Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας κάτοψης

54. **Εικόνα 6.2** Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας προφίλ
55. **Εικόνα 6.3** Βαθμονομημένος χάρτης κλίσεων
56. **Εικόνα 6.4** Βαθμονομημένος χάρτης υψομέτρου
57. **Εικόνα 6.5** Βαθμονομημένος χάρτης εδαφικού τύπου
58. **Εικόνα 6.6** Βαθμονομημένος χάρτης κατείδυσης
59. **Εικόνα 6.7** Βαθμονομημένος χάρτης τοπικού δείκτη υγρασίας
60. **Εικόνα 6.8** Βαθμονομημένος χάρτης υδρογραφικού δικτύου
61. **Εικόνα 6.1.8** Χάρτης επιλεγμένων σημείων υποσυνόλων Εκπαίδευσης – Ελέγχου
62. **Εικόνα 6.9** Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας περιοχής μελέτης (κατά Expert)
63. **Εικόνα 6.10** Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας περιοχής μελέτης (Logistic Regression)
64. **Εικόνα 6.11** Βαθμονομημένος χάρτης τομής χαρτών Expert – Logistic Regression
65. **Εικόνα 6.12** Ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας περιοχής μελέτη
66. **Εικόνα 7.1** Κατανομή καιρικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο (πηγή: <https://www.meteo.gr/>)
67. **Εικόνα 7.2** Οριοθέτηση του δρόμου Άσσου – Σπαθοβουνίου
68. **Εικόνα 7.3** Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής Αγίου Βασιλείου
69. **Εικόνα 7.4** Οριοθέτηση δρόμου Γκα Αθικίων-Αλαμάνου
70. **Εικόνα 7.5** Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής στο Σολομό
71. **Εικόνα 7.6** Οριοθέτηση περιοχής με βλάβες στο οδικό δίκτυο Σπαθοβουνίου – Μαγού – Κουταλά
72. **Εικόνα 7.8** Πλημμυρισμένα αμπέλια στην περιοχή της Νεμέας (https://notospress.gr/upload_files/news/2020-04-06_2761_nemea.jpg)
73. **Εικόνα 7.9** Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής στη Νεμέα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1. **Σχήμα 2.1** Χρονική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Diakakis et al. 2012).
2. **Σχήμα 2.2** Αριθμός συμβάντων και ανθρώπινες απώλειες (Diakakis et al. 2012).
3. **Σχήμα 2.3** Αριθμός πλημμυρών ανά έτος για την περίοδο 1980-2002 στην Ελλάδα (Στάθης 2004, μπλε γραμμή, Ματάκου 2009 - κόκκινη γραμμή). (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. 2011)
4. **Σχήμα 2.4** Ετήσια κατανομή της συχνότητας των πλημμυρών στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2002 (Στάθης 2004 - μπλε σειρά), και για την περίοδο 1987-2008 (Ματάκου 2009 - κόκκινη σειρά). (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. 2011)
5. **Σχήμα 2.5** Κατανομή πλημμυρών κατά μήνα (Διακάκης 2012)
6. **Σχήμα 3.1** Γενικές κατηγορίες προσεγγίσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται τα λογισμικά GIS για τη μελέτη του πλημμυρικού κινδύνου. (Διακάκης 2012)
7. **Σχήμα 6.1** Train ROC μεθόδου Expert
8. **Σχήμα 6.2** Test ROC μεθόδου Expert
9. **Σχήμα 6.3** Train ROC μεθόδου Logistic Regression
10. **Σχήμα 6.4** Test ROC μεθόδου Logistic Regression

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. **Πίνακας 1.1:** Ταξινόμηση Πλημμυρικών φαινομένων (Διακάκης 2012).
2. **Πίνακας 1.2** Μεταβολές στο μέσο ύψος βροχής 3 ωρών μεταξύ της περιόδου ελέγχου και των περιόδων 2040-2049 και 2090-2099.
3. **Πίνακας 4.1** Πίνακας Σύγχυσης, Confusion Matrix
4. **Πίνακας 4.1.2** Πίνακας Σύγχυσης
5. **Πίνακας 5.1** Κατηγοριοποίηση των λεκανών της περιοχής με βάση την εξέλιξη της κατεύθυνσης ροής (Zelilidis 2000)
6. **Πίνακας 5.2** Τιμές μορφομετρικών παραμέτρων για τις λεκάνες της περιοχής έρευνας
7. **Πίνακας 5.3** Κατανομή των χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossart et al., 2000) στην περιοχή έρευνας (Αντωνάκος 2012)
8. **Πίνακας 5.4** Αντιστοίχιση κωδικών περιοχής με είδη χρήσεων γης

9. **Πίνακας 5.5** Κατηγορίες και υποκατηγορίες των υδρογεωλογικών τύπων
10. **Πίνακας 5.6** Κατάταξη των σχηματισμών της περιοχής
11. **Πίνακας 5.7** Συντελεστές κατεισδυσης για τους γεωλογικούς σχηματισμούς (Αντωνάκος 2012)
12. **Πίνακας 5.8** Κλιματικά δεδομένα του σταθμού Κορίνθου (1960-1981).
13. **Πίνακας 5.9** Μέσα μηνιαία ύψη βροχής του σταθμού Κορίνθου (1960-1981).
14. **Πίνακας 5.10** Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής έρευνας
15. **Πίνακας 5.11** Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης ανά υψόμετρο
16. **Πίνακας 5.12** Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου
17. **Πίνακας 6.1** Παράμετροι και συντελεστές βαρύτητας
18. **Πίνακας 6.1.2** Συντελεστές βαρύτητας
19. **Πίνακας 6.4.1 (α)** Ποσοστό έκτασης λεκανών απορροής
20. **Πίνακας 6.4.1 (β)** Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ασωπού
21. **Πίνακας 6.4.1 (γ)** Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη της Ποταμιάς
22. **Πίνακας 6.4.1 (δ)** Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ραχιάννη
23. **Πίνακας 6.4.1 (ε)** Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ζαπάντη
24. **Πίνακας 6.4.. (στ)** Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη Λίτσα
25. **Πίνακας 6.4.1 (ζ)** Σχετική πυκνότητα κάθε λεκάνης ως προς τη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας
26. **Πίνακας 6.2** Πίνακας σύγκρισης μοντέλου expert για το υποσύνολο εκπαίδευσης
27. **Πίνακας 6.3** Πίνακας σύγκρισης μοντέλου expert για το υποσύνολο ελέγχου
28. **Πίνακας 6.4** Αποτελέσματα μοντέλου expert για το υποσύνολο εκπαίδευσης
29. **Πίνακας 6.5** Αποτελέσματα μοντέλου expert για το υποσύνολο ελέγχου

30. **Πίνακας 6.6** Πίνακας σύγκρισης μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο εκπαίδευσης
31. **Πίνακας 6.7** Πίνακας σύγκρισης μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο ελέγχου
32. **Πίνακας 6.8** Αποτελέσματα μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο εκπαίδευσης
33. **Πίνακας 6.9** Αποτελέσματα μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο ελέγχου
34. **Πίνακας 7.1** Αποτελέσματα μεθόδου Expert – Logistic

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάνοντας συνδυαστική χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και μεθόδου Λογιστικής Παλινδρόμησης (Logistic Regression), επίσης διαμορφώθηκε το αντίστοιχο προγνωστικό μοντέλο με χρήση της γνώσης των ειδικών. Η εφαρμογή της μεθοδολογικής προσέγγισης έγινε στην ΒΑ περιοχή του Νομού Κορινθίας. Οι οκτώ παράμετροι που λήφθηκαν υπόψιν για την εκτίμηση είναι το υψόμετρο, η τοπογραφία, ο τοπικός δείκτης υγρασίας, το εδαφικό μέσο, το υδρογραφικό δίκτυο, ο ρυθμός κατεΐσδυσης, η καμπυλότητα κατά την διεύθυνση της κλίσης, και η καμπυλότητα κάθετα στην διεύθυνση της κλίσης. Οι παράμετροι βαθμονομήθηκαν σε κοινή κλίμακα και μέσω του προγράμματος (ΓΣΠ) ArcMap 10.3 διαμορφώθηκαν τα αντίστοιχα Θεματικά Επίπεδα Πληροφορίας (Θ.Ε.Π.) για την κάθε μία. Το μοντέλο που στηρίχθηκε στη γνώση των ειδικών (*fsi_expert_model*) προέκυψε από την άθροιση των οκτώ παραμέτρων μέσω κατάλληλων χωρικών διεργασιών δίνοντας ως τελικό αποτέλεσμα το ενιαίο ΘΕΠ που αποτέλεσε τον χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου κάθε παράμετρος θεωρήθηκε ότι συμμετέχει με την ίδια βαρύτητα. Στη συνέχεια κάνοντας χρήση και κατάλληλη εφαρμογή ρουτίνων κώδικα (στη γλώσσα R) εφαρμόστηκε το μοντέλο που στηρίχθηκε στη μέθοδο της Λογιστικής Παλινδρόμησης (*fsi_logistic_model*) όπου πραγματοποιήθηκαν μία σειρά διεργασιών που περιέλαβε την εκπαίδευση και επαλήθευση των στοιχείων προς εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Τα στοιχεία που επιλέχθηκαν για την επίτευξη της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν σημεία της περιοχής μελέτης που εμφάνισαν εκδήλωση και αντίστοιχα μη εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου. Για την διατήρηση της ισορροπίας της βάσης δεδομένων και για την επίτευξη όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων τα σημεία που επιλέχθηκαν ήταν ισάριθμα. Παράλληλα δημιουργήθηκε ένα ενιαίο Θ.Ε.Π. που συνδυάζει όλα τα προηγούμενα Θ.Ε.Π., χρησιμοποιώντας το εκπαιδευμένο σύνολο τιμών. Και για τα δυο μοντέλα, το τελικό αρχείο που δημιουργήθηκε αποτέλεσε τον χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας, ο οποίος διαμορφώθηκε σε πέντε βαθμίδες (πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέτριας, υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας). Στο κεφάλαιο «Αποτελέσματα» της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται ο χάρτης τομής των δύο επιμέρους χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας και σχολιάζεται η αποτελεσματικότητα των δύο διαφορετικών μεθόδων. Η εκτίμηση αυτή έγινε μέσω της αποτύπωσης των σχετικών πυκνοτήτων κάθε μεθόδου για τα σημεία πλημμυρικού συμβάντος, μέσω των καμπυλών Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δέκτη (ROC) και του πίνακα σύγχυσης. Όπως διαπιστώθηκε τα καλύτερα

αποτελέσματα προέκυψαν σε ότι αφορά τις προγνωστικές καμπύλες ROC από την μέθοδο της Λογιστικής Παλινδρόμησης ενώ διαπιστώθηκε ότι το μοντέλο και συγκεκριμένα για τις τρεις τεχνικές εκτίμησης έδωσε τα ακόλουθα: για την αθροιστική σχετική πυκνότητα των ζωνών υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας: 87.89%, για τη ROC καμπύλη: 0.932, για την ακρίβεια εκτίμησης: 86.49%. Το τελικό προϊόν θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από τους τοπικούς και κρατικούς φορείς για τη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων, διότι αποτυπώνει την επικινδυνότητα των θέσεων χάρη στην οποία μπορούν να γίνουν έργα παρέμβασης.

Λέξεις - Κλειδιά: πλημμύρες, πλημμυρική επιδεκτικότητα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τηλεπισκόπηση, Λογιστική Παλινδρόμηση

Abstract

The present dissertation aims to assess flood susceptibility by making a combined use of Geographic Information Systems (GIS) and Logistic Regression method, additionally, the knowledge of experts was used to form the corresponding forecasting model. The application of the methodological approach took place in the NE area of the Prefecture of Corinth. The eight parameters taken into account for the assessment are the following: altitude, topography, local moisture index, soil medium, hydrographic network, penetration rate, slope direction curvature, and curvature perpendicular to the slope direction. The parameters were calibrated on a common scale (with the Sum Ranking method) and through the program (GIS) ArcMap 10.3 the respective raster files were formed for each one. Then by using and applying code routines (in R language) following a number of processes that include training and verifying data in order to assess flood susceptibility. The data selected to achieve this process were points in the study area that showed occurrence and non-occurrence of flooding, respectively. In order to maintain the balance of the database and to achieve the most reliable results possible, the points selected were equal. At the same time, a single raster file was created, which combines all the previous rasters, using the trained set of values. The last file constitutes the flood susceptibility map, which was formulated in five tiers (very low, low, moderate, high and very high susceptibility). The corresponding model based on the knowledge of experts was carried out with the Sum Ranking method, giving as a final result the single raster that was the flood susceptibility map of the expert. During the application of this method, each parameter was considered to participate with the same importance. In the chapter "Results" of the dissertation, the intersection map of the two sub-flood susceptibility maps is presented as well as comments on the effectiveness of the two different methods. This estimation was made by recording the relative densities of each method for the flood event points, through the Receiver operating characteristic (ROC) curves and the confusion matrix. As it was found, the best results were obtained from the method of Logistic Regression and specifically for the three estimation techniques, indicates the following: for the relative density of the high and very high susceptibility zones: 87.89%, for the ROC curve: 0.932, for estimation accuracy: 86.49%. The final product could be used by local and state agencies to manage floods, because it reflects the danger of the sites thanks to which intervention projects can be done.

Keywords: flood, flood susceptibility, Geographic Information Systems (GIS), Remote sensing, Logistic Regression

Εισαγωγή

Τα πλημμυρικά φαινόμενα ανήκουν στην κατηγορία των υδρογεωλογικών καταστροφών και τα τελευταία χρόνια βρίσκονται στην υψηλότερη θέση της παγκόσμιας κλίμακας φυσικών καταστροφών. Ο ανθρωπογενής παράγοντας και η κλιματική αλλαγή παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση ενός πλημμυρικού συμβάντος. Οι διαφοροποιήσεις στα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων που επηρεάζουν την ποσότητα και την κατανομή τους, έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην εκδήλωση και εξέλιξη των πλημμυρών. Από την πλευρά της ανθρώπινης παρέμβασης, μερικές από τις αιτίες αύξησης των πλημμυρικών καταστροφών είναι η μείωση της διατομής της κοίτης των ρεμάτων, η ανεξέλεγκτη δόμηση, η καταστροφή των δασών από πυρκαγιές κ.α. Όπως θα δούμε παρακάτω οι πλημμύρες διαχωρίζονται σε κατηγορίες, με πιο συνηθισμένη την κατηγορία των «αιφνίδιων» (flash floods). Η συγκεκριμένη κατηγορία προκαλείται ξαφνικά μετά από έντονη βροχόπτωση μικρής διάρκειας και είναι ικανή να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές.

Στο πλαίσιο της παρούσης διπλωματικής εργασίας (ΔΕ) αξιοποιώντας επίγεια και δορυφορικά δεδομένα και κάνοντας χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) δημιουργήθηκαν χάρτες πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Αυτό αποτέλεσε και τον κύριο σκοπό της ΔΕ. Η περιοχή που μελετήθηκε βρίσκεται στο ΒΑ τμήμα της Πελοποννήσου και πιο συγκεκριμένα στο νομό Κορινθίας. Μέσω των χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας γίνεται χωρική αποτύπωση της πιθανότητας εκδήλωσης ενός πλημμυρικού συμβάντος, χωρίς όμως να παρέχονται πληροφορίες για την χρονική εκδήλωση ή το μέγεθος των επιπτώσεών του.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε περιλάμβανε αρχικώς την κατάλληλη διαμόρφωση των χωρικών δεδομένων λαμβάνοντας υπόψη την διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία και την απόδοση συντελεστών βαρύτητας στις διαμορφούμενες κλάσεις των παραμέτρων. Στη συνέχεια διαμορφώθηκαν τα κατάλληλα υποσύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου και εφαρμόστηκαν επί αυτών δυο προγνωστικά μοντέλα. Το πρώτο αφορούσε την αξιοποίηση των δεδομένων όπως αρχικώς διαμορφώθηκαν, χωρίς περαιτέρω στατιστική επεξεργασία που αποτέλεσε τη μέθοδο του Ειδικού (fsi_expert_model) και το δεύτερο αφορούσε την εφαρμογή της μεθόδου Λογιστικής Παλινδρόμησης (fsi_logistic_model).

Ένας ακόμα στόχος της ΔΕ ήταν ο σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα δύο μοντέλα, η εύρεση του αποτελεσματικότερου καθώς και η σύγκριση των περιοχών που παρουσιάζουν πολύ υψηλή επιδεκτικότητα με την ήδη οριοθετημένη περιοχή Ζωνών

Δυνητικού Κινδύνου Πλημμύρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας που διαμορφώθηκε σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ για τις πλημμύρες. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι έγινε παρατήρηση για το αν ο συνδυασμός των δύο μοντέλων ενισχύει την μελέτη και απόδοση ορθών αποτελεσμάτων.

Συνοψίζοντας, λύση απέναντι στο θέμα των πλημμυρών αποτελεί η καλύτερη προετοιμασία της κοινωνίας για την αντιμετώπιση του φαινομένου, μέσω διαθέσιμων πρακτικών όπως είναι η δημιουργία χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας και επικινδυνότητας που αποσκοπούν στην οριοθέτηση των σχετικών περιοχών. Η γνώση που αποκτάται μέσω της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορεί να αξιοποιηθεί από τους αρμόδιους τοπικούς και κρατικούς φορείς συμβάλλοντας στην επιλογή κατάλληλων αντιπλημμυρικών πρακτικών και έργων παρέμβασης.

Ακολουθούν συνοπτικά τα περιεχόμενα του κάθε κεφαλαίου:

1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ – ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ:

Το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση φυσικών καταστροφών και πλημμυρικών φαινομένων, την επίδραση της κλιματικής αλλαγής και γενικές πληροφορίες για τις πλημμύρες.

2 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ:

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι επιπτώσεις των πλημμυρών δίνοντας έμφαση σε στατιστικά στοιχεία του ελληνικού χώρου και τέλος γίνεται αναφορά στη διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων.

3 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ:

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των ΓΣΠ και της Τηλεπισκόπησης καθώς και αναφορά στην πλημμυρική επιδεκτικότητα και επικινδυνότητα.

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ:

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή της μεθοδολογικής προσέγγισης που εφαρμόστηκε.

5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ:

Στο πέμπτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται αναφορά στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της και τέλος στις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμυρών (ΖΔΥΚΠ).

6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την περιγραφή των αποτελεσμάτων των δύο μοντέλων που εφαρμόστηκαν καθώς και την ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα.

7 ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται σχολιασμός και σύγκριση των δύο μοντέλων, αναφορά σε πλημμυρικά επεισόδια προς επαλήθευση του προγνωστικού μοντέλου και τέλος προτείνονται προτάσεις βελτίωσης της αλληλεπίδρασης των ΓΣΠ με άλλα μοντέλα εκτίμησης.

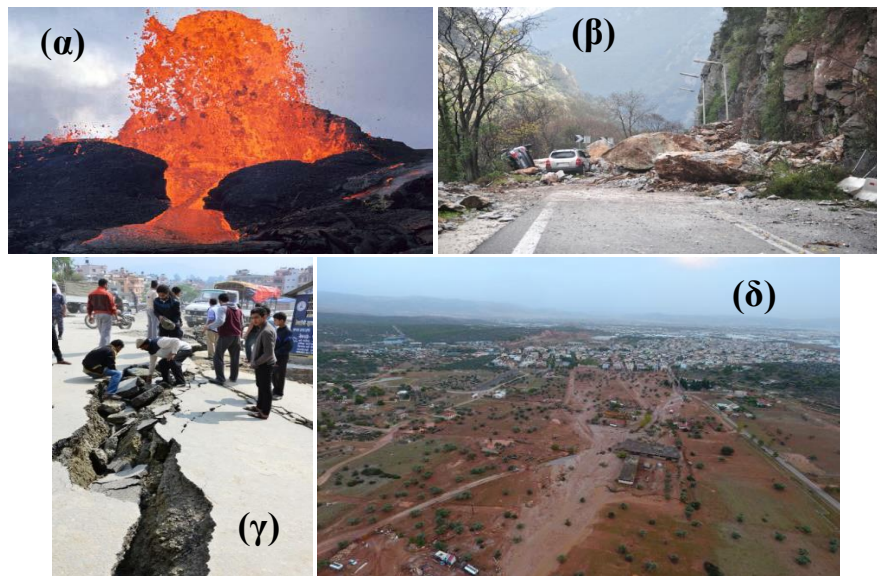
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ – ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

1.1 Οι φυσικές καταστροφές και οι κατηγορίες τους

Παρόλο που ζούμε σε μια εποχή όπου ο άνθρωπος φαίνεται να έχει το πάνω χέρι στον πλανήτη, η φύση είναι πάντα παρόν και μας υπενθυμίζει τη δύναμη της. Δύναμη η οποία γίνεται αντιληπτή μέσω της εκδήλωσης φυσικών φαινομένων όπως είναι οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι πλημμύρες, οι κατολισθήσεις. Η εκδήλωση των φυσικών αυτών φαινομένων οφείλεται σε πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ διεργασιών που συμβαίνουν στη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα.

Τα φυσικά αυτά φαινόμενα, χαρακτηρίζονται ακραία όταν η εκδήλωση τους είναι ικανή να αποτελέσει απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη ύπαρξη. Συνεπώς οι συνέπειες τέτοιων φαινομένων μπορούν να χαρακτηριστούν ως φυσικές καταστροφές. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Βάση Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών, οι φυσικές καταστροφές διαχωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες (**Εικόνα 1.1**):

- Βιολογικές
- Γεωφυσικές
- Κλιματολογικές
- Υδρογεωλογικές
- Μετεωρολογικές



Εικόνα 1.1 (α): Ηφαιστειακή έκρηξη – Mauna Ulu 1969, (β): Κατολίσθηση – Τέμπη 2009, (γ): Σεισμός – Νεπάλ 2015, (δ): Πλημμύρα – Δυτική Αττική 2017 (www.elekkas.gr)

1.2 Πλημμυρικά φαινόμενα

Τα πλημμυρικά φαινόμενα ανήκουν στις υδρογεωλογικές καταστροφές και συμβαίνουν όταν ένα φυσικό ή τεχνητό σύστημα αποστράγγισης δεν είναι ικανό να αποβάλλει τον όγκο νερού που συγκεντρώνεται. Συνήθως αυτή η ανεπιθύμητη συγκέντρωση μπορεί να γίνει εξαιτίας φυσικών παραγόντων όπως βροχοπτώσεις, υπερχειλίση ποταμού, εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές, αλλά και εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης όπως η κατάρρευση ενός τεχνητού έργου, η αυθαίρετη κτίση οικισμάτων και το μπάζωμα ρεμάτων.



Εικόνα 1.2 Μετακίνηση ογκολίθου διαμέτρου 6 μέτρων (Lekkas E., et al., 2019).

Εικόνα 1.3 Μετακίνηση ογκολίθων εντός του ρεματός, μετά από κατολίσθηση στα πρανή της κοίτης του ρ. Πίκας στην Κινέτα και φαινόμενα διάβρωσης εκτός του υδρογραφικού δικτύου (Lekkas E., et al., 2019).





Εικόνα 1.4 Βλάβες του οδικού δικτύου στην Παλαιά εθνική οδό Αθηνών Κορίνθου (ΠΕΟΑΚ) στη γέφυρα του ρέματος Πίκας στην Κινέτα, όπως διαμορφώθηκε μετά την εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου (Lekkas E., et al., 2019).

1.3 Κατηγοριοποίηση πλημμυρών

Ανάλογα με την προέλευση του πλημμυρικού νερού, οι πλημμύρες μπορούν να διακριθούν σε ποτάμιες, παράκτιες (παλιρροϊκές) ή λιμναίες. Κρίνοντας από τη χρονική διάρκεια και την διάδευση του πλημμυρικού συμβάντος χωρίζονται σε αργές και αιφνίδιες, ενώ σε αστικές ή υπαίθριου χώρου, πλημμύρες πεδίου χαρακτηρίζονται ανάλογα με την χωρική τους εμφάνιση. Λόγω της ιδιόμορφης γεωμορφολογίας της Ελλάδας, οι ξαφνικές πλημμύρες έχοντας ως κύριο χαρακτηριστικό τους τον ταχύ ρυθμό εξέλιξης, είναι το πιο συνηθισμένο είδος πλημμύρας στη χώρα. Κατά βάση, τα πλημμυρικά φαινόμενα μπορούν να διακριθούν στους παρακάτω κύριους τύπους:

- **Ποτάμιες πλημμύρες.** Οι ποτάμιες πλημμύρες, έχουν ως κύρια αίτια την εκδήλωση βροχοπτώσεων μακράς διάρκειας ή εξαιτίας του λιώσιμου όγκων χιονιού και πάγου, ή την πιθανή αστοχία τεχνικών έργων με τα πλημμυρικά ύδατα να καταλαμβάνουν παρακείμενα στους ποταμούς πλημμυρικά πεδία. Η εκδήλωση των ποτάμιων πλημμυρών οφείλονται κυρίως σε κλιματολογικούς, λιθολογικούς, μορφολογικούς παράγοντες, αλλά και στην διαρκώς αυξανόμενη ανθρώπινη παρέμβαση στις λεκάνες απορροής.
- **Αιφνίδιες – ξαφνικές πλημμύρες.** Οι αιφνίδιες-ξαφνικές πλημμύρες προκαλούνται μετά από έντονη βροχόπτωση, μικρής διάρκειας, οι οποίες εξαιτίας της εκδήλωσής

τους μπορούν να προκαλέσουν έντονη διάβρωση και απώλεια εδάφους και μεγάλες καταστροφές λόγω της ορμής που συνοδεύει τα πλημμυρικά ύδατα.

- **Αστικές πλημμύρες.** Οι αστικές πλημμύρες, εκδηλώνονται είτε από αστοχία τεχνικών έργων, είτε από έντονη βροχόπτωση και λαμβάνει χώρα εντός του οικιστικού ιστού προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές σε κατασκευές και υποδομές.
- **Παράκτιες πλημμύρες.** Οι παράκτιες πλημμύρες, εκδηλώνονται από την εισροή της θάλασσας στην ακτή, είτε μετά από έντονη βροχόπτωση κατά την διάρκεια των οποίων, πλημμυρικά ύδατα συγκεντρώνονται παράκτια προκαλώντας επιπλέον υποχώρηση της ακτής, ενώ εντοπίζονται και φαινόμενα υποβάθμισης του εδάφους και των υδάτων.
- **Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων.** Μία από τις χαρακτηριστικές ιδιότητες των χειμάρρων είναι οι αιφνίδιες, έντονες, μικρής διάρκειας πλημμύρες. (Διευθέτηση ορεινών υδάτων Ι, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων)

Τύποι πλημμυρικών φαινομένων	Πιθανά αίτια εκδήλωσης
Ποτάμιες πλημμύρες	Βροχόπτωση μεγάλης διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικού έργου
Αιφνίδιες πλημμύρες	Έντονη βροχόπτωση, μικρής διάρκειας
Αστικές πλημμύρες	Αστοχία τεχνικού έργου, έντονη βροχόπτωση
Παράκτιες πλημμύρες	Υψηλές παλίρροιες, έντονη βροχόπτωση
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών
Πλημμύρες λιμνών	Ταχεία αύξηση υδατικών αποθεμάτων
Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου	Αστοχία φράγματος, καναλιού κ.α. τεχνικών έργων
Πλημμύρες που συνδέονται με υπεδαφικό νερό	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα

Πίνακας 1.1 Ταξινόμηση Πλημμυρικών φαινομένων (Διακάκης 2012)

Σύμφωνα με τον Διακάκη (Διακάκης 2012) υπάρχουν διάφοροι ορισμοί και ταξινομήσεις σχετικά με τους τύπους πλημμυρικών φαινομένων. Οι ταξινομήσεις αυτές είναι ενδεικτικές, καθώς τα διαφορετικά αίτια αλλά και η έλλειψη μετρήσιμων κριτηρίων δυσκολεύουν την αντικειμενική κατάταξη των πλημμυρών σε κατηγορίες.

Σύμφωνα με τον Παπανικολάου και τον Διακάκη (2011), οι αιφνίδιες πλημμύρες στη Μεσόγειο είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος πλημμύρας γιατί ευνοείται από την γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις κλιματικές αλλαγές. Σε περίπτωση μιας αιφνίδιας πλημμύρας, η έντονη βροχόπτωση είναι σημαντική αιτία κατολίσθησης και μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες καταστροφές. Οι αιφνίδιες πλημμύρες που συμβαίνουν ξαφνικά και τις περισσότερες φορές με ελάχιστη προειδοποίηση είναι και οι πιο επικίνδυνες (Kourgialas et al., 2012). Οι βροχοπτώσεις είναι από τα πιο απρόβλεπτα στοιχεία του υδρολογικού κύκλου, για αυτό και η απόκτηση ενός αξιόπιστου συστήματος πρόβλεψης είναι ένα αρκετά δύσκολο ζήτημα (French et al., 1992). Η αιφνίδια πλημμύρα είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών που συνδέονται με ραγδαίες βροχοπτώσεις και μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα (WMONo 1072, 2011). Η ένταση και η διάρκεια της βροχόπτωσης, η τοπογραφία του εδάφους, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών και η αστικοποίηση είναι μερικοί από τους παράγοντες που ευθύνονται για την εκδήλωση μιας ξαφνικής πλημμύρας. Οι αιφνίδιες πλημμύρες λαμβάνουν χώρα σε μικρό χρονικό διάστημα και έχουν σαν αποτέλεσμα ταχεία ανύψωση νερού, το οποίο μπορεί στο πέραςμα του να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε κτήρια, γέφυρες να παρασύρει αυτοκίνητα, να ξεριζώσει δέντρα κλπ, (Καυκαλά, 2014). Σύμφωνα με τους Golian et al., 2010, τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του κινδύνου που προκαλούν οι πλημμύρες εστιάζει στην πρόγνωση (flood forecasting), την έγκαιρη προειδοποίηση, τον σχεδιασμό των χρήσεων γης και την αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες.

Σύμφωνα με τον Λέκκα (2000) και τον Στάθη (2004) έχει παρατηρηθεί δραματική αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων κατά τις τελευταίες δεκαετίες στα όρια οικιστικών περιοχών. Αυτό οφείλεται στον περιορισμό της κοίτης των ρεμάτων, στον φραγμό των κοιτών, στη μείωση των δασικών εκτάσεων εξαιτίας των πυρκαγιών και στη μείωση της κατεΐσδυσης εντός του αστικού περιβάλλοντος.

Είναι εξίσου σημαντικό να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων μπορεί να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα στην ομαλή ανάπτυξη των πληγέντων περιοχών. Η απόθεση μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προκαλέσει μέχρι και φαινόμενα μόλυνσης/ρύπανσης, αφού διευκολύνεται η κυκλοφορία

λυμάτων, βαρέων μετάλλων και άλλων μολυσματικών ουσιών μέσω των πλημμυρικών υδάτων. Σύμφωνα με τον Βαχαβίωλο (2011) οι περιοχές που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις πλημμύρες είναι συνήθως:

- Κλειστές υδρολογικές λεκάνες με μεγάλες κλίσεις και αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς
- Πεδιάδες που αποστραγγίζονται από ποταμούς με μικρή παροχетеυτικότητα
- Αστικές περιοχές όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα αλλάζει τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά



Εικόνα 1.5 Παραδείγματα οριοθέτησης της πλημμύρας στην Μάνδρα Αττικής τον Νοέμβριο του 2017. (M. Diakakis, et al., 2018. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω το φαινόμενο των πλημμυρών αποτελεί αντικείμενο μελέτης απασχολώντας τους ειδικούς για αρκετά χρόνια, καθώς όπως προαναφέρθηκε, η χώρα μας λόγω των ιδιαίτερων γεωμορφολογικών συνθηκών είναι εξαιρετικά επιρρεπής σε αυτό. Η δημιουργία ενός αξιόπιστου συστήματος πρόβλεψης είναι αναγκαία για την πρόληψη και αντιμετώπιση των πλημμυρικών συμβάντων που πλήττουν συχνά τον ελληνικό χώρο. Η δραματική αύξηση των πλημμυρών στα όρια των οικιστικών περιοχών καλεί τους τοπικούς και κρατικούς φορείς να κινητοποιηθούν άμεσα, διότι εντός των οικιστικών ορίων οι επιπτώσεις είναι πιο σοβαρές και η αποκατάσταση των πλημμυρισμένων εδαφών γίνεται με μεγάλη δυσκολία.

1.4 Η κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της

Ως κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η αλλαγή του κλίματος εξαιτίας της ανθρωπογενούς παρέμβασης. Η παρέμβαση της ανθρώπινης δραστηριότητας έχει σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον αλλά και στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να αλλάζει παγκοσμίως την σύνθεσή της. Σύμφωνα με τη Σύμβαση πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή (UNFCCC, 1992), σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους παρατηρήθηκε ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να θεωρηθεί ως μία επιπλέον παράμετρος στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος.

Στις σημαντικότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εντάσσονται η άνοδος στάθμης της θάλασσας, η εκδήλωση ακραίων επεισοδίων βροχόπτωσης και η ύπαρξη λιγότερο ψυχρών ημερών. Παράλληλα αναμένεται μείωση του όγκου των βροχοπτώσεων, αύξηση των θερμών ημερών και ευνοϊκότερες συνθήκες για την εκδήλωση πυρκαγιών.

1.4.1 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις πλημμύρες

Μαζί με την αύξηση των επεισοδίων βροχόπτωσης αναμένεται και διαφοροποίηση των ποσοτήτων, των εντάσεων αλλά και της χρονικής και χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων. Το φαινόμενο των πλημμυρών είναι άμεσα εξαρτώμενο από την ποσότητα και την ποιότητα των βροχοπτώσεων. Για αυτό και η διαφοροποίηση στα χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση και εξέλιξη των πλημμυρών.

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση του Ευρωπαϊκού Ελεγκτικού Συνεδρίου (EEE, 2018) η συχνότητα των πλημμυρικών συμβάντων στην Ευρώπη έχει ενταθεί από το 1985 και έπειτα. Τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί υπερδιπλάσιες αιφνίδιες πλημμύρες μεσαίας έως μεγάλης έντασης σε σχέση με τα τέλη της δεκαετίας του '80 και την Ευρώπη να βιώνει εντονότερες βροχοπτώσεις και καταιγίδες καθώς και άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος αναφέρει την επιδείνωση συνολικά των συνέπειων από τις πλημμύρες ποταμών, τις πλημμύρες από βροχή και τις παράκτιες πλημμύρες στην Ευρώπη, εξαιτίας της αύξησης της έντασης και της συχνότητας των πλημμυρών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Οι κλιματικές τάσεις που παρατηρήθηκαν και οι μελλοντικές προβλέψεις για το κλίμα καταδεικνύουν σημαντικές περιφερειακές διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων στην Ευρώπη με αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης στη Βόρεια Ευρώπη.

Σύμφωνα με την πλειονότητα των κλιματικών μοντέλων, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να αυξηθεί η ένταση των βροχοπτώσεων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η σημαντική αύξηση της συχνότητας των αιφνίδιων πλημμυρών σε όλη την Ευρώπη είναι ένα από τα αποτελέσματα των πολύ έντονων βροχοπτώσεων.

Σε ότι αφορά την στάθμη της θάλασσας δεν θα ανέλθει ομοιόμορφα, ωστόσο στην μεγάλη πλειονότητα των ακτογραμμών είναι πιθανό να παρατηρηθεί, μέχρι το τέλος του αιώνα, άνοδος της στάθμης της θάλασσας μεγαλύτερη των 30 εκατοστών σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005 και σύμφωνα με το σενάριο αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1.8 °C της IPCC. Στο σενάριο υψηλών εκπομπών που προβλέπει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.7°C μέχρι το τέλος του αιώνα σε σύγκριση με την περίοδο 1986-2005, η άνοδος ενδέχεται να φτάσει τα 45 με 82 εκατοστά. Επισημαίνεται ότι φαινόμενα, όπως η παράκτια διάβρωση, οι καταιγίδες στη θάλασσα, και οι άνεμοι που ωθούν τις παλίρροιες προς την ξηρά, αυξάνουν τον κίνδυνο πλημμύρας στις παράκτιες περιοχές (Τσαγγαράτος 2018).

1.4.2 Σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Στα πλαίσια της μελέτης των προβλεπόμενων ανθρωπογενών κλιματικών αλλαγών, βασικός παράγων των προσομοιώσεων του μελλοντικού κλίματος είναι η εξέλιξη των συγκεντρώσεων στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου. Η ακριβής πρόβλεψη του ρυθμού εξέλιξης των εκπομπών των αερίων δεν είναι εφικτή, για αυτό και δημιουργήθηκαν σχετικά σενάρια. Στο Κέντρο Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ) έχουν αναπτυχθεί βάσεις δεδομένων και προσομοιώσεων μοντέλων με βάσει τα σενάρια εκπομπών A2, A1B, B2 και B1.

Πιο συγκεκριμένα το Σενάριο A1B αναφέρεται σε ραγδαία οικονομική ανάπτυξη και ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας με παράλληλη διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών. Αφορά τη χρήση ορυκτών καυσίμων και εναλλακτικών πηγών ενέργειας ενώ σημειώνεται ότι οι χρήσεις γης θα παρουσιάσουν μικρές αλλαγές. Η αύξηση του πληθυσμού αναμένεται να είναι ραγδαία έως το έτος 2050 και στη συνέχεια θα ακολουθήσει σταδιακή μείωση. Προβλέπεται έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα έως και τα 720 ppm, το 2100. (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. Σενάρια ανθρωπογενούς παρέμβασης στην κλιματική αλλαγή και τα προγράμματα Prudence και Ensembles. Τράπεζα της Ελλάδος 2011)

1.4.3 Το σενάριο A1B από την Ε.Μ.Ε.Κ.Α.

Σε μελέτη που εκπονήθηκε το 2011 από την Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής αλλαγής, χρηματοδοτούμενη από την Εθνική Τράπεζα Ελλάδος, μελετήθηκε η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην εκδήλωση πλημμυρών στην ελληνική επικράτεια. Με εφαρμογή του προγνωστικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας (GCM) ECHAMS για το σενάριο A1B προέκυψαν τα κλιματικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν από την Επιτροπή για την εξέταση της επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο καθεστώς εκδήλωσης πλημμυρών.

Με αυτό τον τρόπο εκτιμήθηκε η μεταβολή στο καθεστώς των έντονων βροχοπτώσεων και η συσχετιζόμενη αλλαγή που θα προκαλέσει στις απορροές των υδρογραφικών δικτύων. Αρχικά υπολογίσθηκε η μεταβολή των εντάσεων 3 ωρών περιόδου επαναφοράς πενταετίας σε όλη την Ελληνική επικράτεια συγκρίνοντας την περίοδο 1990-1999 (περίοδο ελέγχου) με τις περιόδους 2040-2049 και 2090-2099 αλλά και 1960-1990 με 2070-2100. Σκοπός ήταν να αναγνωρισθούν οι περιοχές όπου υπάρχει τάση μείωσης ή αύξησης στην ένταση των κατακρημνισμάτων καθώς και η έκταση των όποιων διαφοροποιήσεων.

Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα όρια έντασης βροχόπτωσης (thresholds), η υπέρβαση των οποίων ενισχύει σημαντικά την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών (Cannon 2005). Στην παρούσα μελέτη εξετάσθηκε η διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης των ορίων αυτών μεταξύ των υπό μελέτη περιόδων.

Το πρώτο όριο που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία ήταν το όριο για την περιοχή της Καλιφόρνια (Cannon 2005):

$$I = 14 \times D^{-0.5}$$

όπου I είναι η ένταση της βροχόπτωσης σε mm/h και D η διάρκεια σε ώρες.

Το δεύτερο όριο που χρησιμοποιήθηκε δίνεται από την παρακάτω σχέση, όπως αυτή προέκυψε από την εξέταση καταιγίδων και πλημμυρών στην περιοχή της βορειοανατολικής Αττικής (Διακάκης, υπό δημοσίευση)

$$I = 23.163 \times D^{-0.502}$$

αντίστοιχα I είναι η ένταση της βροχόπτωσης σε mm/h και D η διάρκεια σε ώρες.

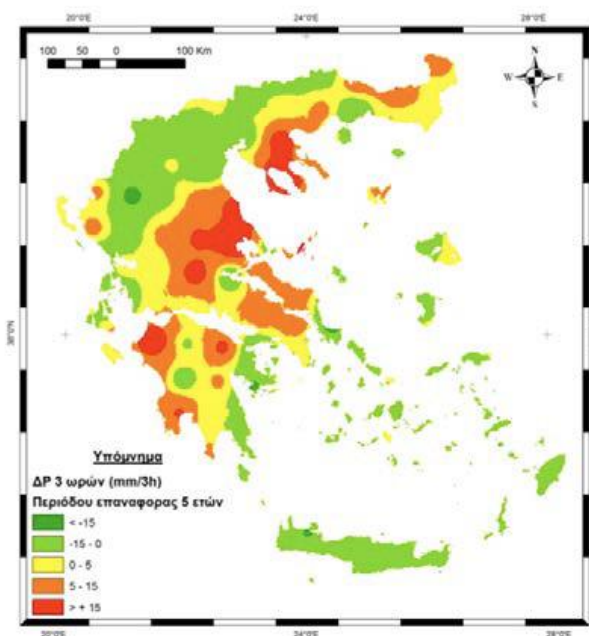
Για τα δύο συγκεκριμένα όρια που μελετήθηκαν παρατηρήθηκε ότι αποδίδουν παραπλήσιες τιμές για καταιγίδες διάρκειας από 1 έως 24 ώρες. Επίσης διαπιστώθηκε ότι το μέγεθος της υδρογεωλογικής λεκάνης αποτελεί έναν περιορισμό της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, αφού

σε πολύ εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα η ένταση δεν αποτελεί τόσο κρίσιμο παράγοντα στην εκδήλωση πλημμυρών. Συνεπώς οι υδρολογικές λεκάνες μικρού και μεσαίου μεγέθους είναι καθοριστικός παράγοντας στην εκδήλωση πλημμυρών σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία. Για να έχουμε σαφή αποτελέσματα και να εντοπισθούν οι περιοχές όπου εμφανίζεται διαφοροποίηση στο καθεστώς της έντασης των κατακρημνισμάτων υπολογίστηκε σε όλη την ελληνική επικράτεια η διαφορά μεταξύ των βροχοπτώσεων περιόδου επαναφοράς 5 ετών.

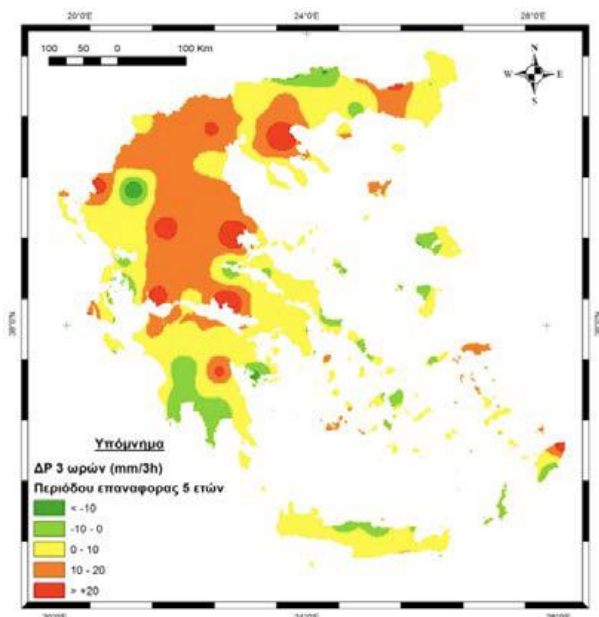
Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η ραγδιότητα (υπολογισμένη σε εντάσεις 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών) θα αυξηθεί κατά μέσο όρο στην επικράτεια, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1.2).

Περίοδος	Συνολικό ύψος βροχής 3 ωρών σε mm (μέση τιμή για όλη την επικράτεια)	Μέση διαφορά σε σχέση με την περίοδο ελέγχου	Τυπική απόκλιση
1990-1999	34,6		7,2
2040-2049	36,68	+ 5,7%	9,4
2090-2099	42,9	+ 23,9 %	8,9

Πίνακας 1.2 Μεταβολές στο μέσο ύψος βροχής 3 ωρών μεταξύ της περιόδου ελέγχου και των περιόδων 2040-2049 και 2090-2099.



Εικόνα 1.6 Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2040-2049 και 1990-1999 σε mm/3h. Οι αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου. (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. - Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών)

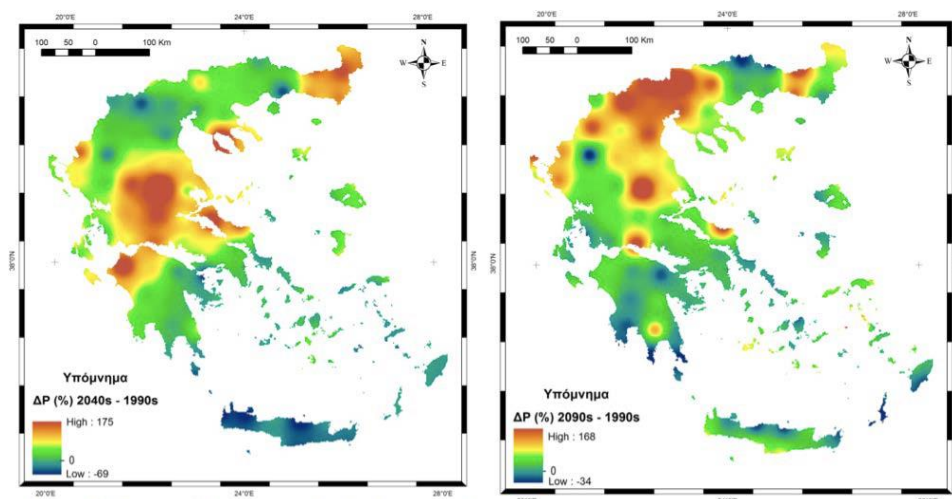


Εικόνα 1.7 Διαφορά στην βροχόπτωση 3 ωρών περιόδου επαναφοράς 5 ετών μεταξύ των περιόδων 2090-2099 και 1990-1999 σε mm/3h. Οι αρνητικές τιμές δείχνουν πτώση σε σχέση με την περίοδο ελέγχου. (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. - Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών)

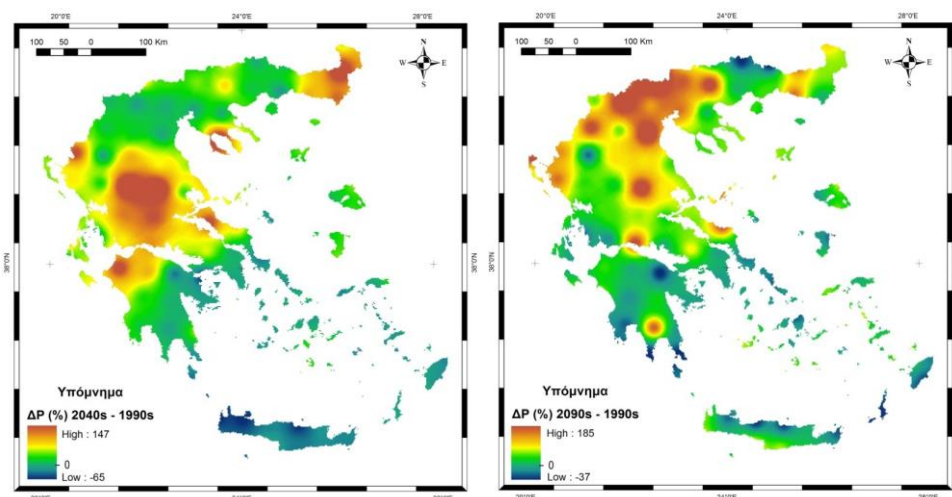
Παράλληλα με τη μέση αύξηση της έντασης προκύπτει ότι θα αυξηθεί και η μεταβλητότητα. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η ραγδικότητα την περίοδο 2040-2049 αναμένεται να μειωθεί στην δυτική και κεντρική Μακεδονία, στη νησιωτική Ελλάδα (με μεγαλύτερες τιμές στην Κρήτη), και στην ανατολική και νότια Πελοπόννησο. Για το διάστημα 2090-2099 οι περιοχές μείωσης περιορίζονται στη νότια και κεντρική Πελοπόννησο, στη βόρεια Κρήτη και την Κάρπαθο και ορισμένες θέσεις στη Μακεδονία.

Σε ότι αφορά στην υπέρβαση ορίων βροχόπτωσης που οδηγούν σε αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας βρέθηκε οριακή αλλαγή για την περίοδο 2040-2049 και σημαντική αύξηση της πιθανότητας υπέρβασης τους για την περίοδο 2090-2099. Από τη χωρική ανάλυση προκύπτει ότι την περίοδο 2040-2049 (σενάριο A1B) το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου θα παρουσιασθεί στην Θεσσαλία, την Στερεά Ελλάδα (εκτός της Αττικής), στη βορειοδυτική Πελοπόννησο, τη Θράκη και την βόρεια Εύβοια.

Κατά το ίδιο διάστημα παρουσιάζεται μείωση της πιθανότητας στην Κρήτη και τα Δωδεκάνησα. Την περίοδο 2090-2099 (σενάριο A1B) το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης αναμένεται να παρουσιασθεί στην δυτική και κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία την κεντρική Εύβοια και τμήματα της Στερεάς Ελλάδας και της Θράκης, ενώ αναμένεται μείωση στα Δωδεκάνησα, τμήματα της νότιας Πελοποννήσου, της βόρειας Κρήτης και των Κυκλάδων.



Εικόνα 1.8 Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 14 * D^{-0.5}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049, 2090-2099 και 1990-1999.



Εικόνα 1.9 Διαφορά στην πιθανότητα υπέρβασης του ορίου βροχόπτωσης πέρα από το οποίο προκύπτει αυξημένος κίνδυνος πλημμύρας. Ο χάρτης βασίζεται στο όριο $I = 23,163 * D^{-0.502}$ και αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ των περιόδων 2040-2049, 2090-2099 και 1990-1999.

Σύμφωνα με τους Katz και Brown (1992) οι αλλαγές στην μεταβλητότητα του παράγοντα της βροχόπτωσης μπορούν να οδηγήσουν σε εκτεταμένες διαφοροποιήσεις σε ότι αφορά την πιθανότητα εκδήλωσης ακραίων γεγονότων.

Η εξάρτηση αυτή των πλημμυρικών φαινομένων από την βροχόπτωση και τα χαρακτηριστικά της καθιστά το καθεστώς εκδήλωσής τους ευάλωτο σε μια πιθανή αλλαγή των κλιματικών παραμέτρων. Το εύρος, το πρόσημο καθώς και η κατανομή της επίδρασης μιας ενδεχόμενης κλιματικής αλλαγής είναι σημαντικό να εξετασθούν ώστε να αποτυπωθούν οι επικείμενες αλλαγές στο καθεστώς εκδήλωσης των πλημμυρών και του συσχετιζόμενου κινδύνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

2.1 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών

Οι πλημμύρες και κυρίως τα ακραία περιστατικά εκδήλωσής τους, προκαλούν σοβαρές και εμφανείς συνέπειες που περιλαμβάνουν απώλειες παραγωγής, καταστροφές περιουσιών και υποδομών αλλά ακόμα και απώλειες ανθρώπινων ζώων. Πολλές είναι επίσης και οι επιπτώσεις, οι οποίες δεν είναι άμεσα εμφανείς αλλά έχουν τεράστια συσχέτιση με την ποιότητα και την παραγωγικότητα των πληγέντων εδαφών, που αποτελούν ένα βασικό συστατικό των χερσαίων οικοσυστημάτων.



Εικόνα 2.1&2.2 Πλημμυρισμένη οδός Νέας Περάμου – Μάνδρας στις 15/11/2017
(Lekkas E., et al., 2017)

2.1.1 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών στο έδαφος

Τα εδάφη των εκτάσεων που πλημμυρίζουν αποτελούν το μέσο που διασυνδέει τα υδάτινα με τα χερσαία συστήματα, μέσω του οποίου ανταλλάσσονται αβιοτικά και βιοτικά συστατικά, που επηρεάζουν έντονα την ποιότητα και επομένως την παραγωγικότητα τους, η αποκατάσταση των οποίων δεν είναι μια εύκολη υπόθεση.

Στα συστατικά που μεταφέρονται με το νερό της πλημμύρας στα εδάφη περιλαμβάνονται στερεά υλικά (ιζήματα), θρεπτικά στοιχεία και ρύποι (Εικόνα 2.3) που είναι διαλυμένα στο νερό ή συνδέονται με τα στερεά υλικά, καθώς και οργανικός άνθρακας. Επίσης με το νερό μεταφέρονται στα εδάφη ζωικοί οργανισμοί, όπως υδρόβια έντομα, αμφίβια κ.ά.

Η προσθήκη των υλικών αυτών στα εδάφη επηρεάζει τόσο τα αβιοτικά τους χαρακτηριστικά όσο και την εδαφική βιοποικιλότητα, αλλάζοντας σημαντικά τη συμπεριφορά τους και εν

τέλει την γονιμότητα και παραγωγικότητά τους. Οι αλλαγές αυτές και οι συνέπειές τους αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω (Τσαντήλας, 2020).

2.1.2 Αλλαγές στα αβιοτικά χαρακτηριστικά

Ένα εδαφικό χαρακτηριστικό που συνδέεται στενά με τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες που συμβαίνουν στα εδάφη είναι το δυναμικό οξειδοαναγωγής, το οποίο με απλά λόγια υποδηλώνει την παρουσία ή απουσία διαλυμένου οξυγόνου στο νερό. Όταν τα εδάφη είναι κορεσμένα με νερό, το δυναμικό οξειδοαναγωγής μειώνεται και το οξυγόνο καταναλώνεται πολύ γρήγορα από τους μικροοργανισμούς, μεταβάλλοντας το μεταβολισμό τους από αερόβιο σε αναερόβιο. Αυτές οι μεταβολές επηρεάζουν έντονα τους βιογεωχημικούς κύκλους με πολύ σημαντικές επιπτώσεις στις μορφές και τη συμπεριφορά βασικών στοιχείων των εδαφών, όπως σιδήρου, φωσφόρου, άνθρακα και αζώτου, που συνδέονται με τη δυνατότητα απορρόφησης τους από τα φυτά και τελικά την παραγωγικότητά τους. Παράλληλα προκαλούν εκπομπή στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίου του αζώτου και μεθανίου, τα οποία είναι τα κύρια αέρια του θερμοκηπίου. Με απλά λόγια στα πλημμυρισμένα εδάφη, στα οποία το δυναμικό οξειδοαναγωγής μειώνεται, απελευθερώνεται φωσφόρος από τα οξείδια του σιδήρου, στα οποία είναι συνδεδεμένος. Αντίθετα όταν τα εδάφη ξηραίνονται, οπότε το δυναμικό οξειδοαναγωγής αυξάνεται, απελευθερώνεται φωσφόρος από τις οργανικές ενώσεις που οξειδώνονται. Σε ό,τι αφορά τον άνθρακα, στα πλημμυρισμένα εδάφη μειώνεται αφ' ενός η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα, η οποία όμως αυξάνεται, όταν τα εδάφη ξηραθούν. Αντίθετα στα πλημμυρισμένα εδάφη αυξάνεται η εκπομπή μεθανίου, το οποίο είναι ένα από τα πιο δραστικά αέρια του θερμοκηπίου. Από την άλλη πλευρά, το άζωτο που είναι το πιο βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών. Σε συνθήκες πλημμύρας ευνοείται ο σχηματισμός της αμμωνιακής του μορφής η οποία συγκρατείται ισχυρότερα στα στερεά συστατικά του εδάφους μειώνοντας την έκπλυση νιτρικών ιόντων. Παράλληλα αυξάνεται η ποσότητα μονοξειδίου του αζώτου, το οποίο επίσης είναι αέριο του θερμοκηπίου και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Σημαντική επίδραση στις εδαφικές ιδιότητες έχει όμως και η μεταφορά και απόθεση στα πλημμυρισμένα εδάφη στερεών υλικών (ιζημάτων), τα οποία επηρεάζουν τις φυσικές ιδιότητές τους, όπως την κοκκομετρική τους σύσταση, την ικανότητα διήθησης του νερού, τη δομή τους και τον αερισμό τους. Τα στερεά υλικά που αποτίθενται στα εδάφη με τις πλημμύρες, ανάλογα με το μέγεθός τους, κατηγοριοποιούνται σε άργιλο (διάμετρος <0,002 mm),

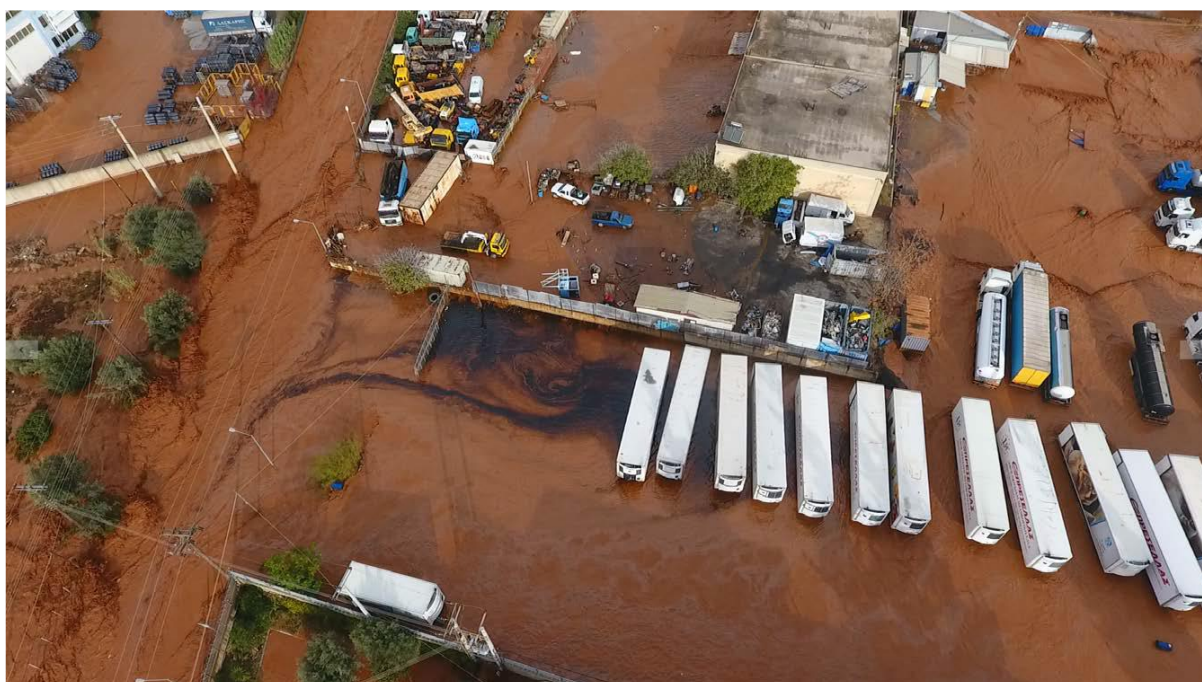
ιλύ (διάμετρος 0,002-0,05 mm) και άμμο (0,05-2 mm). Αυτές οι τρεις κατηγορίες αποτελούν τη λεπτή γη, η οποία επηρεάζει σημαντικά τις φυσικές και χημικές ιδιότητες των εδαφών. Υλικά μεγαλύτερης διαμέτρου των 2 mm θεωρούνται χαλίκια και πέτρες. Ο γενικός κανόνας είναι ότι όσο πιο μακριά μεταφέρεται το νερό της πλημμύρας τόσο πιο λεπτόκοκκα είναι τα υλικά που μεταφέρει και αποθέτει. Όταν τα υλικά αυτά έχουν το μέγεθος της αργίλου, η γονιμότητα των εδαφών στις περιοχές αυτές γενικά ενισχύεται. Όταν όμως η διάμετρος των υλικών που αποτίθενται έχει τις διαστάσεις της ιλύος, οι φυσικές ιδιότητες του εδάφους χειροτερεύουν, διότι μειώνεται η ικανότητα διήθησης του νερού με σημαντικές επιπτώσεις στις λειτουργίες του. Στερεά υλικά με διαστάσεις άμμου κάνουν το έδαφος πιο χονδρόκοκκο, με μεγαλύτερη ικανότητα διήθησης του νερού, αλλά πιο άγονο. Τέλος στερεά υλικά με διαστάσεις μεγαλύτερες των 2 mm που διαχωρίζουν τη λεπτή γη ανάλογα με το μέγεθός τους, μπορεί να δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στις καλλιεργητικές εργασίες, όπως όργωμα κ.λπ. και πρέπει να απομακρύνονται πριν καλλιεργηθούν εκ νέου τα εδάφη.

Παράλληλα όμως τα στερεά αυτά υλικά περιέχουν και μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες τοξικών ουσιών, όπως τα βαρέα μέταλλα, αρσενικό, μόλυβδο, νικέλιο, χρώμιο, ψευδάργυρο, χαλκό κ.ά. και οργανικούς ρύπους, όπως πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Σχετικές έρευνες αναφέρουν ότι η ρύπανση με βαρέα μέταλλα σε πολλές περιπτώσεις φθάνει σε επίπεδα που αποκλείουν τα εδάφη αυτά από γεωργική χρήση. Επίσης ανάλογες έρευνες έδειξαν ότι το γάλα από ζώα που εκτρέφονταν σε λιβάδια τα οποία πλημμυρίστηκαν με νερά με αυξημένες συγκεντρώσεις φυτοφαρμάκων είχε αυξημένες συγκεντρώσεις των πολύ τοξικών ουσιών όπως οι διοξίνες και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (Τσαντήλας, 2020).

2.1.3 Επίδραση στην εδαφική βιοποικιλότητα

Τα εδάφη δεν είναι άθροισμα ανόργανων υλικών, αλλά φιλοξενούν τεράστιο αριθμό ζωικών οργανισμών με μέγεθος από μερικά εκατομμυριοστά μέχρι πολλά εκατοστά του μέτρου. Έχουν καταγραφεί μέχρι σήμερα στα εδάφη τουλάχιστον 10.000 είδη βακτηρίων, εκατοντάδες είδη μυκήτων, εκατοντάδες είδη πρωτόζωων και νηματωδών, αλλά και μεγαλύτερα, όπως γαιοσκώληκες, μυρμήγκια, ερπετά, θηλαστικά κ.ά. Μεγάλης έκτασης πλημμύρες επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στους ζωικούς οργανισμούς που ενδιαιτούν στα εδάφη. Όλοι αυτοί οι οργανισμοί μαζί με τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς που συνιστούν τη βιοποικιλότητα, επηρεάζουν καθοριστικά τη λειτουργία των οικοσυστημάτων, από την οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η ανθρώπινη ζωή και ευημερία.

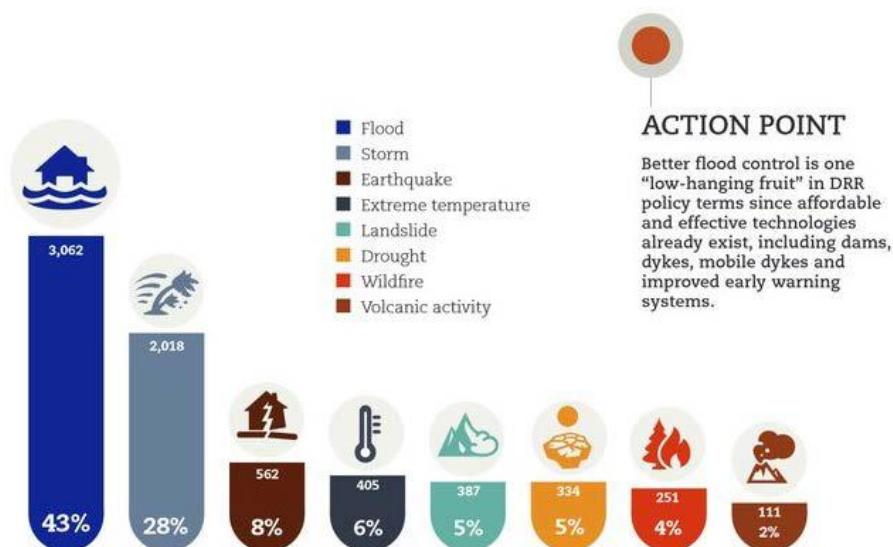
Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι οι έντονες με ακραία χαρακτηριστικά πλημμύρες, εκτός από τις ορατές καταστροφές (απώλεια ανθρώπινων ζώων, απώλεια εσοδειών και καταστροφές περιουσιών και υποδομών), προκαλούν και μια σειρά σημαντικών αρνητικών μεταβολών στην ποιότητα των εδαφών και την παραγωγικότητά τους, η επαναφορά των οποίων στην επιθυμητή κατάσταση είναι μια αργή διαδικασία. Επομένως για τον καθορισμό των αποζημιώσεων προς τους πληγέντες, η πολιτεία, εκτός από τις άμεσες μετρήσιμες επιπτώσεις, πρέπει να λαμβάνει υπόψη της και τις μακροπρόθεσμες ζημιές στην ποιότητα και παραγωγικότητα των εδαφών, οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν οικονομικά (Τσαντήλας, 2020).



Εικόνα 2.3 Ρύπανση που καταλήγει στην παράκτια ζώνη Ελευσίνας (Lekkas E., et al., 2017)

2.1.4 Οι επιπτώσεις των πλημμυρών στον άνθρωπο

Τα τελευταία 20 χρόνια οι πλημμύρες βρίσκονται στην υψηλότερη θέση στην παγκόσμια κλίμακα φυσικών καταστροφών σύμφωνα με έρευνα του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Εκτιμάται ότι το 70% των φυσικών καταστροφών αποτελείται από πλημμύρες και καταγίδες (**Εικόνα 2.4**). Δυστυχώς πάνω από 140.000 άνθρωποι έχουν χάσει τη ζωή τους και αρκετοί έχουν πληγεί οικονομικά εξαιτίας των συγκεκριμένων φυσικών καταστροφών (**Εικόνα 2.5**).

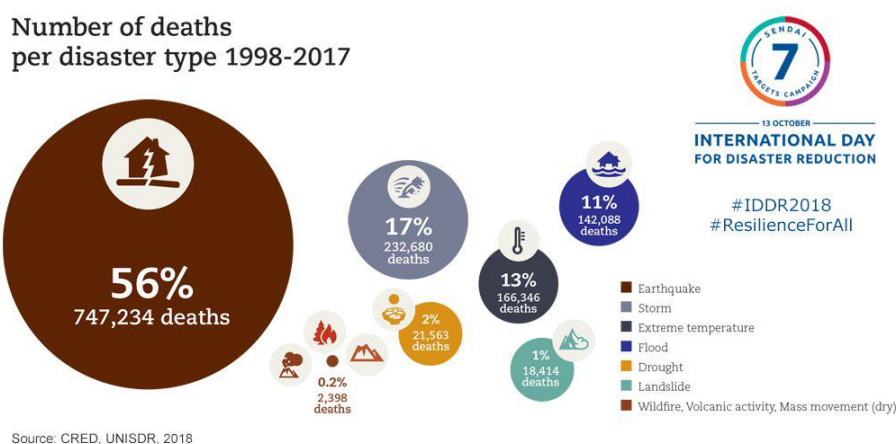


ACTION POINT

Better flood control is one "low-hanging fruit" in DRR policy terms since affordable and effective technologies already exist, including dams, dykes, mobile dykes and improved early warning systems.

Εικόνα 2.4 Numbers of disasters per type 1998-2017 (UNISDR and CRED (2018) report: Economic Losses, Poverty & Disasters (1998 - 2017))

Η έκθεση του πληθυσμού, των υποδομών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε κίνδυνο αυξάνεται συνεχώς, με αποτέλεσμα ο αριθμός και οι επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων να αυξάνεται δραματικά. Η αύξηση αυτή αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση για τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας τόσο σε ότι αφορά την πρόληψη όσο και την διαχείριση και αποκατάσταση καταστροφικών γεγονότων. Η σημασία της δε, αυξάνεται ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με την οποία, η συχνότητα των καταιγίδων υψηλής έντασης αναμένεται να αυξηθεί, δημιουργώντας ένα ακόμα στοιχείο που επιβαρύνει τον μελλοντικό κίνδυνο. (Λέκκας Ε., et al., 2014)



Source: CRED, UNISDR, 2018

Εικόνα 2.5 Number of deaths per disaster type 1998-2017 (UNISDR and CRED (2018) report: Economic Losses, Poverty & Disasters (1998 - 2017))

Στην Ελλάδα εκτιμάται ότι έχουν εκδηλωθεί 562 πλημμυρικά συμβάντα για την περίοδο 1880 – 2010 (συμπεριλαμβάνονται τέσσερις επιπλέον πλημμύρες το 1715,1805,1833 και 1879) και ο αριθμός των θυμάτων ανέρχεται στα 586. Το ποσοστό θανάτων που σημειώθηκε είναι 17.8% αφού μόνο οι 98 πλημμύρες ήταν θανατηφόρες. Πιο συγκεκριμένα ο μέσος αριθμός θυμάτων ανά έτος (1880-2010) είναι 4,51 ενώ ο μέσος αριθμός θανάτων 1,07. (Διακάκης 2012)

2.2 Οι πλημμύρες στον ελληνικό χώρο

2.2.1 Ιδιαιτερότητες του ελληνικού χώρου

Τα χαρακτηριστικά της περιοχής που μελετάται και το είδος του προβλήματος είναι εκείνα που καθορίζουν τις στρατηγικές εκτίμησης του κινδύνου αλλά και την ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων. Στον Ελληνικό χώρο, αλλά και γενικότερα στο Μεσογειακό, παρατηρούνται συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες σε ότι αφορά κυρίως τα κλιματικά, γεωτεκτονικά, πληθυσμιακά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής (Gaume et al. 2009, Díez-Herrero et al. 2009, Llasat et al. 2010a, Llasat et al. 2010b). Για το λόγο αυτό το καθεστώς κινδύνου θεωρείται ιδιαίτερο και οι στρατηγικές και οι τεχνικές μελέτης του επιβάλλεται να λαμβάνουν υπόψη τις ιδιαιτερότητες αυτές (Martini and Loat 2007):

- **Το γεωτεκτονικό καθεστώς:** Η τεκτονική δράση του ελληνικού χώρου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαντικών μορφολογικών κλίσεων, την εναλλαγή λιθολογιών κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου και τον σχηματισμό μορφολογικών ασυνεχειών. Οι παραπάνω παράγοντες συμβάλλουν στην επιτάχυνση των υδάτων αλλά και στην υποβοήθηση και μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων του εδαφικού υλικού. Επιπρόσθετα, η δημιουργία νέου αναγλύφου ευνοεί την επικράτηση μικρού μεγέθους υδρολογικών λεκανών και τη δημιουργία ορεινών χειμάρρων, χαρακτηριστικά που συνδέονται συνήθως με την εκδήλωση αιφνίδιων πλημμυρών.
- **Κλίμα:** Το ιδιαίτερο κλίμα της Μεσογείου οδηγεί συχνά στην εκδήλωση πλημμυρών εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων μικρής διάρκειας (Bull et al. 2004, Lana et al. 2004, Genoves et al 2006, Martini and Loat 2007, Gaume et al. 2009). Τόσο το κλίμα όσο και το γεωτεκτονικό καθεστώς είναι υπεύθυνα για τις υδρογεωλογικές λεκάνες μικρού έως μεσαίου μεγέθους αλλά και για τον μικρό χρόνο απόκρισης (Wilson 1990). Το γεγονός αυτό οδηγεί, αφενός στην δυσκολία χρήσης μεθόδων που βασίζονται στη στατιστική ανάλυση των απορροών και αφετέρου στην ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε θέσεις

ενεργών πλημμυρικών πεδίων, όπου όμως λόγω της σπανιότητας με την οποία δραστηριοποιούνται δημιουργούν μια ψεύτικη αίσθηση ασφάλειας. Το καθεστώς αυτό οδηγεί σε ραγδαία αύξηση της τρωτότητας, καθώς σημαντικές δραστηριότητες εγκαθίστανται σε περιοχές κινδύνου.

- **Πληθυσμιακή πυκνότητα:** Η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα σε σχέση με περιοχές, όπως η Βόρεια και η Νότια Αμερική, δημιουργεί αυξημένη πίεση για εγκατάσταση ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές υψηλού πλημμυρικού κινδύνου. Αυτό εκδηλώνεται κυρίως κατά μήκος της ακτογραμμής, καθώς υπάρχουν σημαντικά οικονομικά κίνητρα λόγω του τουρισμού (Llasat et al 2010a). Είναι σύνηθες φαινόμενο η ανάπτυξη αυτή να βρίσκεται σε περιοχές επιρρεπείς σε πλημμύρες ή ακόμα να δυσχεραίνει την ομαλή απορροή τμημάτων του υδρογραφικού δικτύου (Diakakis et al. 2011c).
- **Έλλειψη συστηματικών ενόργανων δεδομένων:** Τα ενόργανα υδρολογικά δεδομένα (όπως παροχές και στάθμες) τόσο στον ελληνικό όσο και γενικότερα στο Μεσογειακό χώρο παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις (Llasat et al. 2010b, Diakakis 2010). Συγκεκριμένα, το εύρος των χρονοσειρών στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ιδιαίτερα περιορισμένο με αποτέλεσμα να μην είναι επαρκές για στατιστική ανάλυση. Επιπρόσθετα, το βήμα καταγραφής των οργάνων είναι σε πολλές περιπτώσεις ακατάλληλο για ανάλυση της έντασης και των μεταβολών της βροχόπτωσης. Τέλος, λόγω της φύσης των πλημμυρών σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται καταστροφή του εξοπλισμού ή απώλεια μετρήσεων κατά τη διάρκεια πλημμυρικών παροχών (Martini and Loat 2007). (Διακάκης 2012)

2.2.2 Το πλημμυρικό πρόβλημα στον Ελληνικό χώρο

Σύμφωνα με τους Downton και Pielke (2001) και τους Golian et al. (2010), για τις περισσότερες ζημιές που επιφέρουν οι φυσικές καταστροφές αλλά και για την έκθεση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας σε κίνδυνο ευθύνονται οι πλημμύρες. Το ένα τρίτο των εκτιμώμενων ζημιών από φυσικές καταστροφές παγκοσμίως, προκαλείται από πλημμυρικά φαινόμενα (Pilon 2004). Σύμφωνα με την Munich Re (2002), οι πλημμύρες αντιστοιχούν στο 26% των καταστροφών μεγάλης κλίμακας μεταξύ 1950-2002, στο 8% των θανάτων και στο 27% του οικονομικού κόστους που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές στην ίδια περίοδο.

Η πρόγνωση πλημμυρών, η έγκαιρη προειδοποίηση, ο σχεδιασμός των χρήσεων γης και η αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες είναι προσεγγίσεις όπου τα τελευταία χρόνια αποσκοπούν στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου. Παράλληλα τα δομικά και μηχανικά μέτρα (φράγματα, κανάλια και άλλα) έχουν περιβληθεί από σκεπτικισμό λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών τους μειονεκτημάτων (Golian et al 2010).

Εξαιτίας των επιπτώσεων των πλημμυρών τόσο από οικονομική άποψη όσο και από πλευράς κόστους ανθρώπινων ζώων, οι πλημμύρες στην Ελλάδα κατέχουν μια σημαντική θέση στις κατηγορίες των φυσικών καταστροφών.

Οι ιδιαίτερες συνθήκες που καταγράφονται στο χώρο της Μεσογείου παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση πλημμυρών, εξαιτίας της επίδρασης του κλίματος, των ιδιαίτερων γεωλογικών, γεωμορφολογικών και κοινωνικο-οικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Χαρακτηριστικό φαινόμενο του Μεσογειακού κλίματος είναι η εκδήλωση έντονων βροχοπτώσεων κατά τους φθινοπωρινούς μήνες. Οι αιφνίδιες πλημμύρες έχουν κατά βάση πρωταγωνιστικό ρόλο στην εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων, για αυτό και αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά καταστροφικά φαινόμενα.

Στην Ελλάδα παρατηρείται ένας σημαντικός αριθμός πλημμυρικών γεγονότων κυρίως στην Ανατολική και Βόρεια Ελλάδα, με εμφάνιση στις πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές (Εικόνα 2.3). Τα πεδινά τμήματα του ποταμού Έβρου, οι πεδιάδες της Ξάνθης- Κομοτηνής, η πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα, η πεδιάδα της Κατερίνης και η πεδιάδα της Θεσσαλίας, τα Χανιά της Κρήτης και η Ρόδος, παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο αριθμό συμβάντων ανά θέση.

Στη Δυτική Ελλάδα, πλημμύρες καταγράφονται κυρίως στο νησί της Κέρκυρας, στην κλειστή λεκάνη των Ιωαννίνων, στα πεδινά τμήματα του ποταμού Καλαμά και των ποταμών Αχέροντα, Λούρου και Αράχθου. Ωστόσο, η μεγαλύτερη συχνότητα πλημμυρικών συμβάντων καταγράφεται στο λεκανοπέδιο Αττικής (Τσαγγαράτος 2018).



Εικόνα 2.6 Κατανομή πλημμυρικών φαινομένων στον Ελλαδικό χώρο (πηγή: ΥΠΕΚΑ)

Σχετικά με την χρονική περίοδο στην οποία εκδηλώνονται έχουν παρατηρηθεί διαφορές μεταξύ των περιφερειών του Ανατολικού τμήματος της χώρας και του Δυτικού και Κεντρικού. Τον Ιανουάριο παρατηρούμε περισσότερες πλημμύρες στις Ανατολικές περιφέρειες, ενώ στις Δυτικές και Κεντρικές περιφέρειες οι πλημμύρες εκδηλώνονται κατά προτεραιότητα τον Νοέμβριο, κατόπιν τον Οκτώβριο και τον Ιανουάριο.



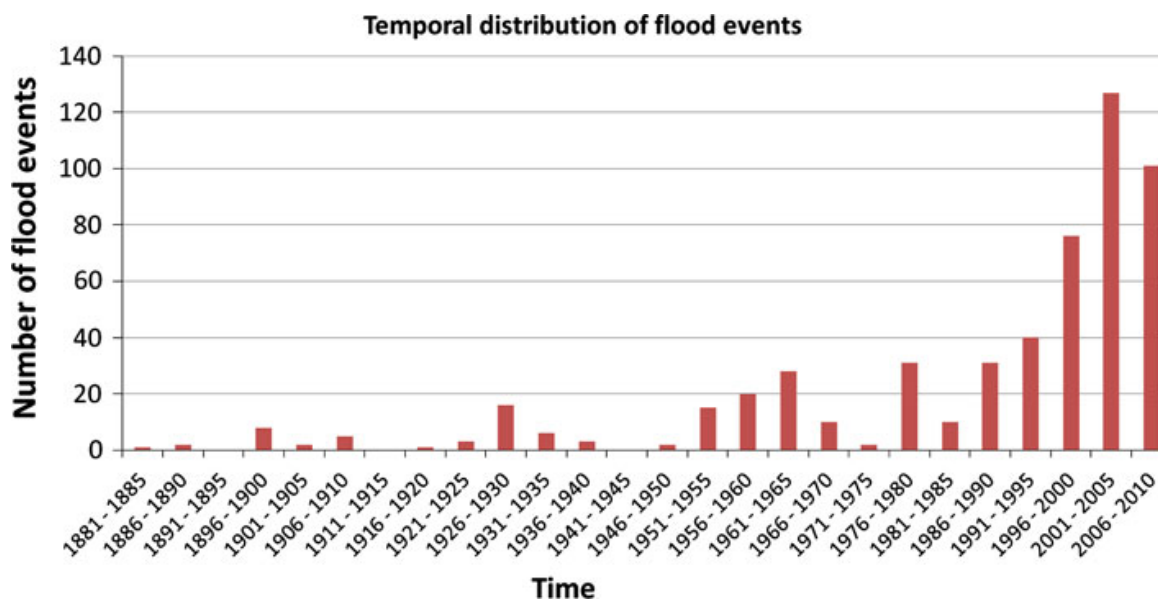
Εικόνα 2.7&2.8 Σκηνές από την πλημμύρα της Εύβοιας – Αύγουστος 2020

(Lekkas E., et al., 2020).

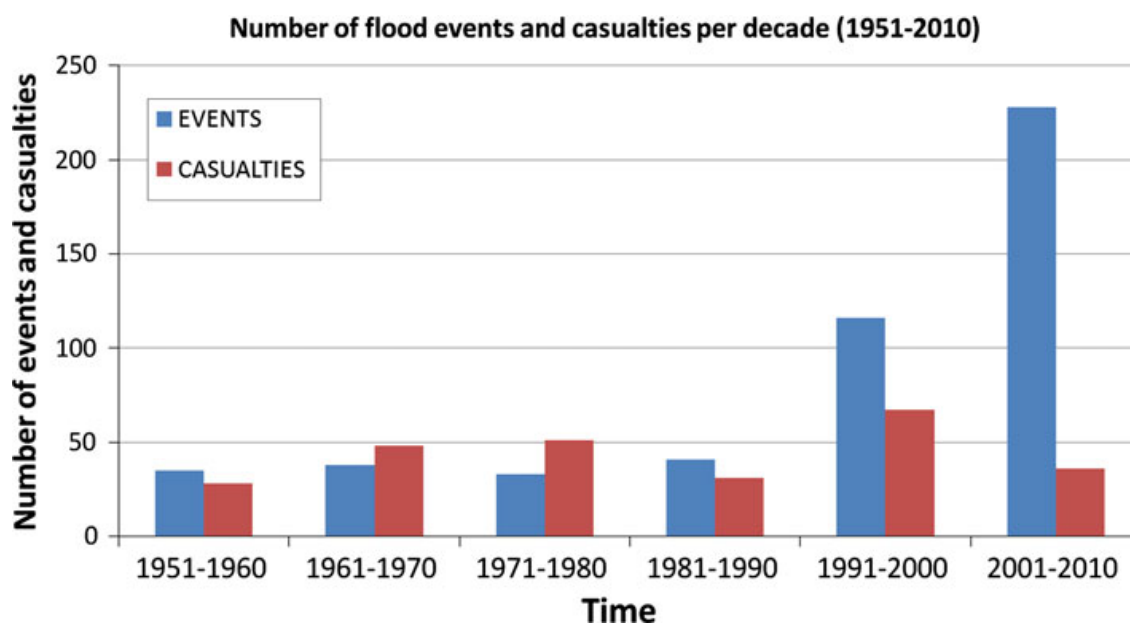
2.2.3 Στατιστικά στοιχεία του ελληνικού χώρου

2.2.3.1 Χρονική κατανομή και θάνατοι

Σύμφωνα με την χρονική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων του Διακάκη (Diakakis et al. 2012), τα τελευταία 100 χρόνια καταγράφεται σχετική αύξηση των πλημμυρικών επεισοδίων (Σχήμα 2.1). Παρά την αύξηση των επεισοδίων, ιδιαίτερα μετά το 1986, δεν παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση και στον αριθμό των θυμάτων (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.1 Χρονική κατανομή πλημμυρικών συμβάντων (Diakakis et al. 2012).



Σχήμα 2.2 Αριθμός συμβάντων και ανθρώπινες απώλειες (Diakakis et al. 2012).

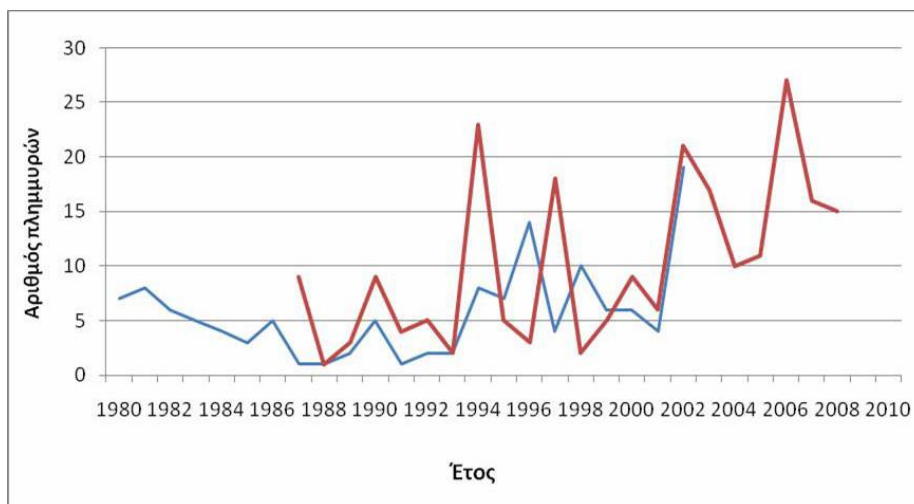
Σύμφωνα με τους Diakakis et al. (2012), η αύξηση του πληθυσμού και συνεπώς η κατάληψη – κατοίκηση περιοχών επιδεκτικών σε πλημμυρικό κίνδυνο, ήταν ο σημαντικότερος παράγοντας που συνέβαλλε στην αύξηση των πλημμυρών στα οικιστικά όρια περιοχών. Η ανθρώπινη παρέμβαση στις υδρογεωλογικές διεργασίες έχει συμβάλει στο μέγιστο στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Κύριες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην Ελλάδα είναι: ο περιορισμός και φραγμός της κοίτης των υδατορευμάτων, η καταστροφή των δασικών εκτάσεων που βρίσκονται προς τα ανάντη στη λεκάνη απορροής από πυρκαγιές και αποψίλωση, η μείωση της κατείδυσης και η παράλληλη αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω κάλυψης της επιφάνειας της λεκάνης, εξαιτίας της αστικοποίησης και τέλος η αστοχία στη χωροθέτηση και λειτουργία αντιπλημμυρικών έργων.

Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των πλημμυρών στην Ελλάδα είναι ότι παρουσιάζουν μεγάλες απορροές, ενώ παρουσιάζονται εκτεταμένα φαινόμενα διάβρωσης και μεταφοράς εδαφικού υλικού τα οποία δημιουργούν επιπρόσθετους κινδύνους όπως λασπορροές και κατολισθήσεις. Στην ιδιαιτερότητα αυτή συμβάλει το ιδιαίτερο γεωτεκτονικό καθεστώς, οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και ιδιαίτερα η λιθολογική διαστρωμάτωση (Τσαγγαράτος, 2018).

Μεταξύ 1887 και 1994 η Ελλάδα θρήνησε 216 ανθρώπους, όπως αναφέρουν οι Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου (1995). Οι πλημμύρες εκτός από ανθρώπινες απώλειες, έχουν σοβαρές επιπτώσεις και στην οικονομία αφού επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την γεωργία, την κτηνοτροφία, τις ανθρώπινες περιουσίες και φυσικά τις υποδομές (οδικό δίκτυο, τεχνικά έργα). Η συστηματική καταγραφή των απορροών των υδατορευμάτων δυστυχώς δεν είναι εφικτή λόγω έλλειψης ενόργανων δεδομένων.

Μεταξύ 1980 και 2002, παρατηρήθηκε από τον Στάθη (2004) πως 114 από τις 150 πλημμύρες που σημειώθηκαν, έλαβαν χώρα σε εφήμερα χειμαρρικά ρεύματα που διέρχονται από οικιστικές περιοχές. Τα υπόλοιπα πλημμυρικά γεγονότα συνέβησαν σε πιο εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα όπως ο Σπερχειός, ο Έβρος ή ο Πηνειός.

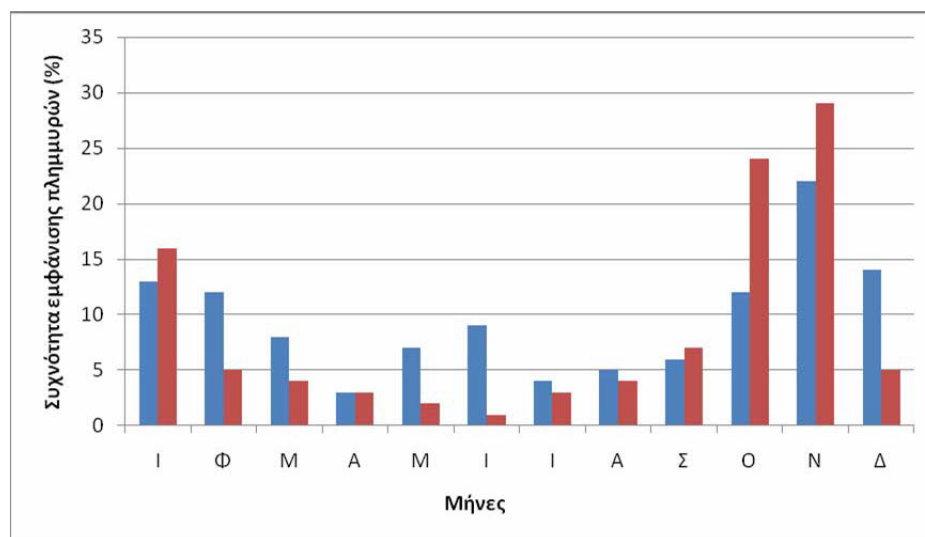
Τα στατιστικά στοιχεία των πλημμυρικών συμβάντων που εκδηλώθηκαν την περίοδο 1980-2008, επεξεργάστηκαν και αξιοποιήθηκαν από τους (Stathis 2004, Ματάκου 2009) και παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.3
Αριθμός πλημμυρών ανά έτος για την περίοδο 1980-2002 στην Ελλάδα (Στάθης 2004, μπλε γραμμή, Ματάκου 2009 - κόκκινη γραμμή). (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. 2011)

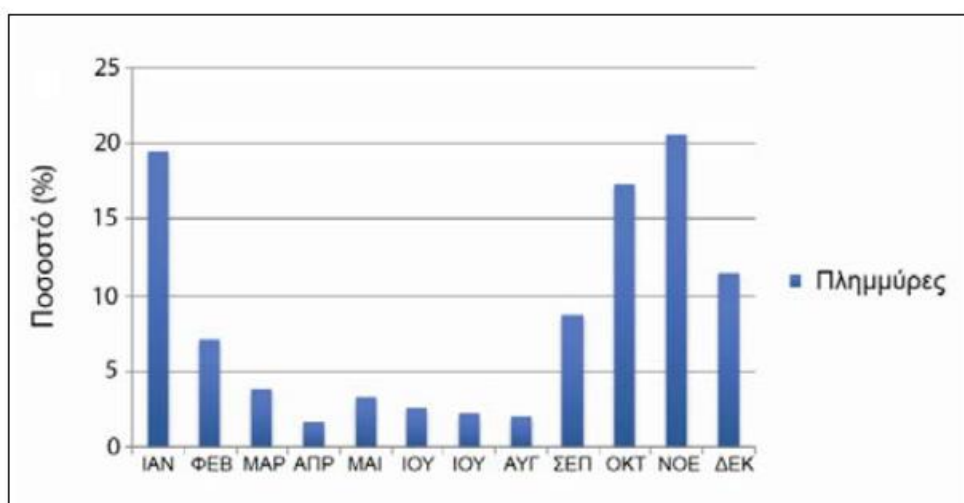
Όπως είναι φανερό στο **Σχήμα 2.3**, ιδιαίτερα κατά την περίοδο 1993-1995 και 1997-1998, εμφανίζονται μεγάλες αποκλίσεις στα αποτελέσματα του Στάθης (2004) και της Ματάκου (2009). Αυτό θα μπορούσε να οφείλεται σε μη πλήρη καταγραφή δεδομένων από τους ερευνητές λόγω της έλλειψης στοιχείων. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, υπάρχει ολοένα και καλύτερη ενημέρωση, συνεπώς περιεκτικότερη καταγραφή και αύξηση των δεδομένων.

Η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων πανελλαδικά, όπως φαίνεται και παρακάτω παρουσιάζεται τον μήνα Νοέμβριο.



Σχήμα 2.4 Ετήσια κατανομή της συχνότητας των πλημμυρών στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2002 (Στάθης 2004 - μπλε σειρά), και για την περίοδο 1987-2008 (Ματάκου 2009 - κόκκινη σειρά). (Ε.Μ.Ε.Κ.Α. 2011)

Με βάση την ανάλυση δεδομένων του Διακάκη (Διακάκης 2012) το μεγαλύτερο ποσοστό πλημμυρών εκδηλώνεται το Φθινόπωρο (46.6%), αμέσως μετά το Χειμώνα (38%), την Άνοιξη (8.7%) και το Καλοκαίρι (6.7%). Η κατανομή συμβάντων κατά μήνα του Διακάκη έδειξε ότι ο Νοέμβρης είναι ο πρώτος μήνας σε συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων με ποσοστό 20.6% (Σχήμα 2.5). Έπειτα ακολουθεί ο Ιανουάριος με 19.5% και όχι ο Οκτώβρης όπως έδειξαν οι στατιστικές μελέτες του Στάθη (Στάθης 2004) και της Ματάκου (2009) (Σχήμα 2.4).



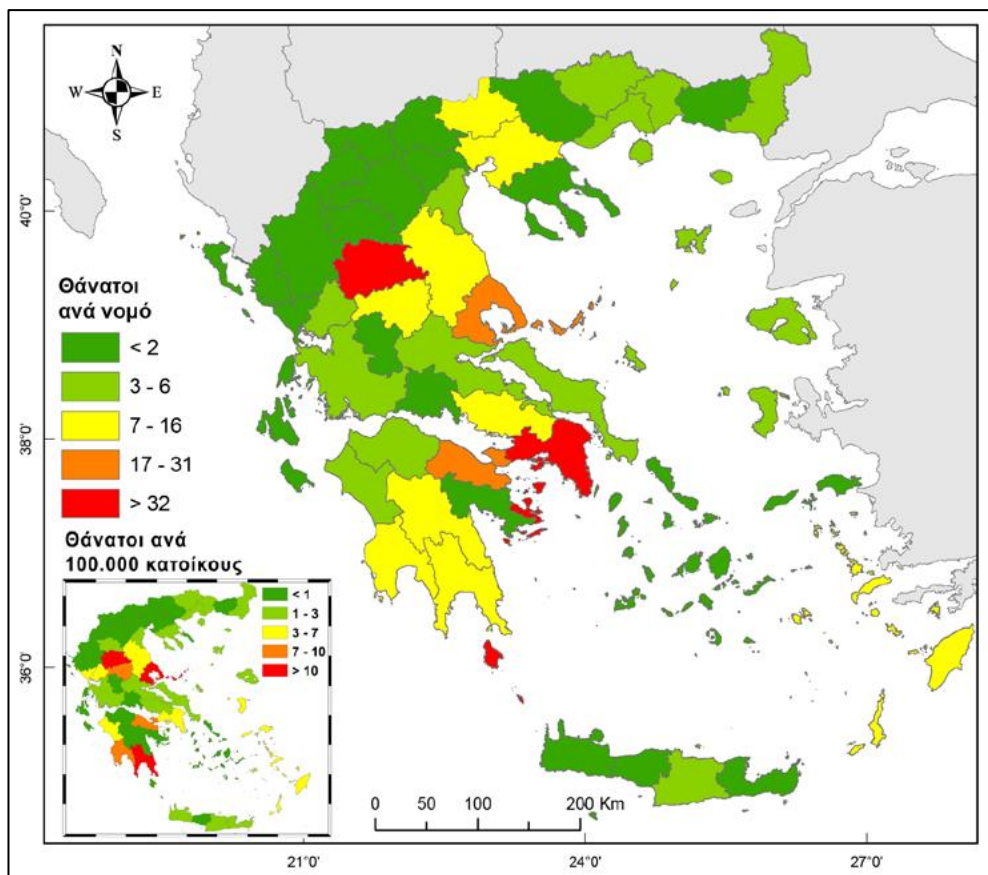
Σχήμα 2.5
Κατανομή
πλημμυρών
κατά μήνα
(Διακάκης
2012)

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάλογα με την γεωγραφική τοποθεσία της κάθε Περιφέρειας. Για παράδειγμα στα 132 συμβάντα, ο μήνας με τις περισσότερες πλημμύρες για τις ανατολικές περιφέρειες ήταν ο Ιανουάριος (32%), αντίθετα με τις κεντρικές και δυτικές περιφέρειες όπου εκεί κυριαρχεί ο Νοέμβριος (23%), με τον Ιανουάριο (16%) να εμφανίζεται τρίτος μετά τον Οκτώβριο (18%). Παρόμοιες διαφοροποιήσεις προέκυψαν για τις περιφέρειες βορά-νότου.

Η διαθεσιμότητα ενόργανων στοιχείων για τις πλημμυρικές απορροές είναι σχετικά περιορισμένη στον Ελληνικό χώρο αλλά και γενικά στον Ευρωπαϊκό νότο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται υδραυλικές και υδρολογικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των υδρολογικών παραμέτρων.

Ο συνδυασμός του ιστορικού πλημμυρών και των ανωτέρων οδηγεί στην ανάγκη για εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και ανάπτυξη νέων δράσεων για τη μείωσή του και το μετριασμό των επιπτώσεων (Λέκκας, 2010).

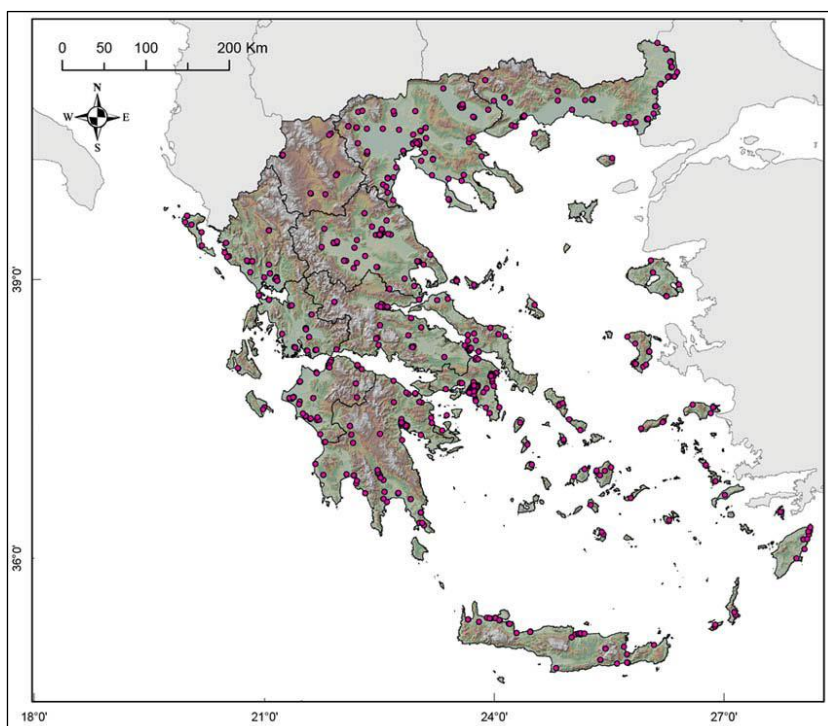
Παρακάτω απεικονίζεται ο χάρτης χωρικής κατανομής των θανάτων στον ελληνικό χώρο, του Διακάκη (Διακάκης 2012) (Εικόνα 2.9). Για την περιοχή έρευνας διαπιστώνεται ότι μαζί με τον νομό Μαγνησίας αποτελούν τους νομούς όπου έχουν καταγραφεί σημαντικός αριθμός θανάτων.



Εικόνα 2.9 Κατανομή των θανάτων στον Ελληνικό χώρο, εκφρασμένη ως αριθμός γεγονότων ανά περιφερειακή ενότητα για την περίοδο 1880-2010. (Διακάκης 2012)

Σύμφωνα με τον ίδιο, τα αστικά κέντρα και οι νομοί που τα φιλοξενούν (Αττικής, Τρικάλων, Μαγνησίας, Κορινθίας) παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ποσοστά θανάτων. Από την άλλη πλευρά, οι ορεινές περιοχές, κυρίως οι νομοί της δυτικής Μακεδονίας, Ηπείρου και Κρήτης, παρουσιάζουν τον μικρότερο αριθμό θυμάτων.

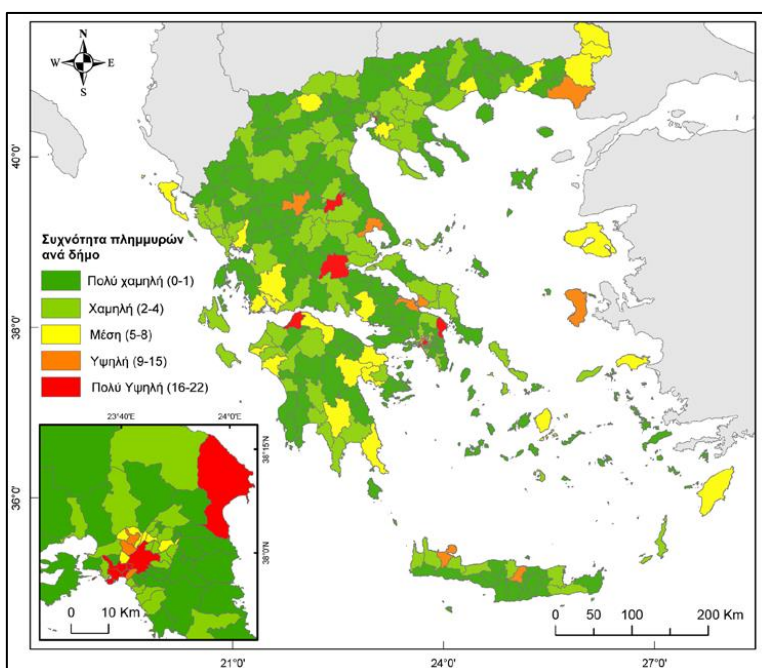
2.2.3.2 Χωρική κατανομή των πλημμυρών



Εικόνα 2.10 Οι θέσεις των πλημμυρών του καταλόγου στον Ελληνικό χώρο (1880-2010) (Διακάκης 2012).

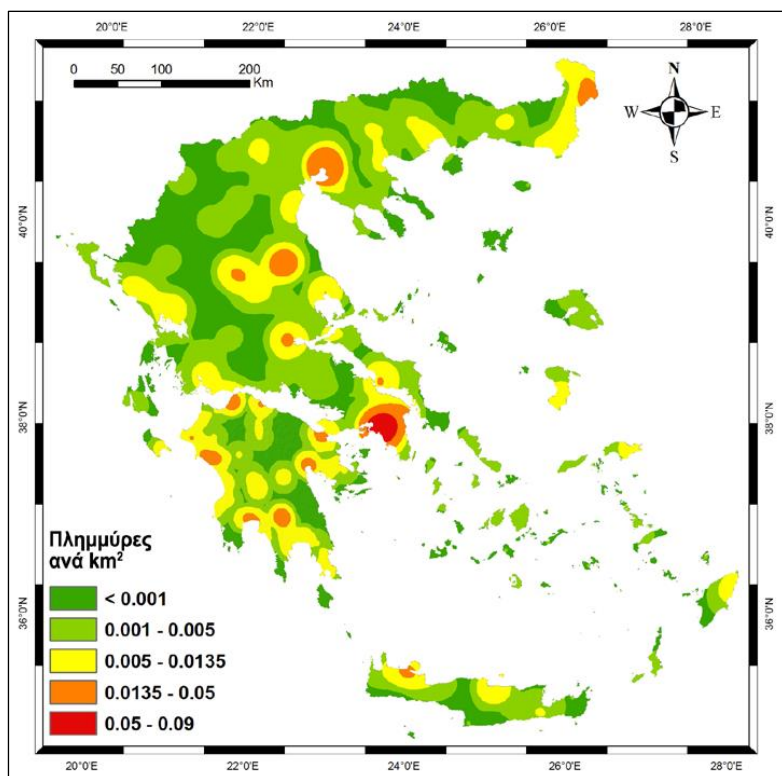
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες πλημμυρικής κατανομής κατά δήμους (Εικόνα 2.11) και χωρικής πυκνότητας των πλημμυρών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (Εικόνα 2.12) (Διακάκης 2012).

Με βάση την συχνότητα των πλημμυρικών συμβάντων, οι δήμοι χωρίζονται σε πολύ υψηλής, υψηλής, μέσης, χαμηλής και πολύ χαμηλής συχνότητας. Από τον χάρτη κατανομής των πλημμυρών, παρατηρείται ότι πολλοί δήμοι της Αττικής βρίσκονται σε περιοχές υψηλής



συχνότητας και ότι η περιοχή μελέτης μας (η οποία αναλύεται στο Κεφ 4) κυμαίνεται από πολύ χαμηλής έως μέσης συχνότητας.

Εικόνα 2.11 Κατανομή των πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο, εκφρασμένη ως αριθμός γεγονότων ανά δήμο για την περίοδο 1880-2010. (Διακάκης 2012)



Εικόνα 2.12 Χωρική πυκνότητα των πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο σε συμβάντα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (km²). (Διακάκης 2012)

2.3 Η πλημμύρα της Κορίνθου το 1997

Μία από τις μεγαλύτερες καταστροφές της νεότερης ιστορίας στην πόλη της Κορίνθου ήταν το πλημμυρικό συμβάν του 1997. Πιο συγκεκριμένα στις 11-13 Ιανουαρίου του 1997 η λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηριά Κορίνθου, αλλά και η ευρύτερη περιοχή, επλήγησαν από ισχυρή καταιγίδα που προξένησε έντονα πλημμυρικά φαινόμενα με υλικές καταστροφές και ανθρώπινα θύματα. Η καταστροφές αποδόθηκαν τόσο στην ισχυρή βροχόπτωση και την αντίστοιχη απορροή, όσο και στις ανθρώπινες παρεμβάσεις στο χώρο δράσης του χειμάρρου. Η βροχή που δημιούργησε την πλημμύρα είχε μεγάλη γεωγραφική μεταβλητότητα στη λεκάνη και το συνολικό ύψος κατά τη διάρκεια των 43 ωρών κυμάνθηκε γεωγραφικά από 123 mm μέχρι 358 mm. Το μεγαλύτερο ύψος δέχθηκε η κεντρική ζώνη της λεκάνης κατά μήκος των τελευταίων 2/3 της κούτης του χειμάρρου. Το ύψος πλημμυρικής απορροής και η παροχή αιχμής εκτιμήθηκαν σε 114,3 mm και 618,5 m³/s αντίστοιχα, ενώ ο σταθμικός μέσος όρος του ύψους βροχής σε 201 mm. Αξίζει να σημειωθεί ότι την 10/1/1997 η ΕΜΥ είχε εκδώσει έκτακτο δελτίο πρόγνωσης της ισχυρής βροχόπτωσης που δέχθηκε η Κόρινθος και άλλες περιοχές της χώρας για εκείνες τις ημερομηνίες, καθώς και ότι εξαιτίας της απουσίας βροχομετρικών σταθμών στην περιοχή της συγκεκριμένης λεκάνης, οι επιστημονικές έρευνες που ακολούθησαν αξιοποίησαν και συνδύασαν τα δεδομένα των

γύρω σταθμών, όπως Βέλου, Σπαθοβουνίου, Κλένιας, Νεμέας και Ξυλοκάστρου (Μπαλούτσος Γ. et al., (2000)). Τέλος η πλειοψηφία των εκτιμήσεων που έγιναν συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η περίοδος επαναφοράς της πλημμύρας του Ιανουαρίου 1997 ήταν της τάξης των 100 ετών. (Koutsoyiannis D. and Lazaridis L., (1998)).





Εικόνες 2.13, 2.14, 2.15(α), 2.15(β)
Καταστροφές στην Κόρινθο από την πλημμύρα στις 13/1/1997

2.4 Η πλημμύρα της Μάνδρας το 2017

Η πιο καταστροφική πλημμύρα που σημειώθηκε ποτέ στην Ιστορία της Δυτικής Αττικής έλαβε χώρα στις 15 Νοεμβρίου του 2017, στην ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας. Πρόκειται για την τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στην Αττική με βάση τον αριθμό των νεκρών που προκλήθηκε από μια τόσο ισχυρή βροχόπτωση, η οποία συνοδεύτηκε και από χαλάζι. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Lekkas E., et al. (2017), στις 14-16 Νοεμβρίου 2017 εξαιτίας της έντονης αστάθειας στην ανώτερη ατμόσφαιρα προκλήθηκαν βροχές και καταιγίδες σε μεγάλο μέρος της χώρας. Η περιοχή της Μάνδρας επηρεάστηκε από καταιγίδες τις πρώτες πρωινές ώρες τις 15^{ης} και μέχρι το μεσημέρι της ίδιας ημέρας. Μελετώντας μετεωρολογικά και δορυφορικά δεδομένα εντοπίστηκε ανατροφοδότηση καταιγίδων γύρω από το όρος Πατήρας, η οποία προκάλεσε ξαφνική πλημμύρα (flash flood) στις υδρολογικές λεκάνες της περιοχής και συγκεκριμένα ρεμάτων που απορρέουν στην πεδιάδα της Νέας Περάμου και την πεδινή περιοχή της Μάνδρας και της ΒΠΠΕ Μάνδρας. Εξαιτίας των χειμάρρων όπου ενεργοποίησαν τα αλλουβιακά ριπίδια προκλήθηκαν πλημμύρες με μεγάλη ποσότητες φερτών υλικών. Οι περιοχές όπου κατακλύστηκαν από ύδατα βρίσκονται πάνω στους γεωλογικούς σχηματισμούς των ριπιδίων. Εξαιτίας της ανάπτυξης οικισμών κάθετα στη ροή του νερού και πάνω στα αλλουβιακά ριπίδια αποκόπηκε η ομαλή αποστράγγιση των υδάτων προς τη θάλασσα με αποτέλεσμα τα ύδατα να πλημμυρίσουν τους οικισμούς. Εκτιμάται ότι η έκταση των πλημμυρών ενισχύθηκε ως προς το πλάτος λόγω της ανάπτυξης οδικών και σιδηροδρομικών αξόνων κάθετα στη ροή. Τα μπάζωμένα ρέματα και η απουσία αντιπλημμυρικών έργων έφεραν νερά, λάσπες και οικοδομικά υλικά μέσα στον οικισμό, δημιουργώντας μία άνευ προηγουμένου κατάσταση στην περιοχή.



Εικόνα 2.17 Άποψη της γέφυρας του Αφρατίου στην οποία σημειώνεται λόγω διάβρωσης των πρανών γύρω από το ακρόβαθρο (τυπική εικόνα επιπτώσεων σε γέφυρες από την πλημμύρα) (Lekkas E., et al., 2020).

Οι αυτοψίες στην περιοχή της Μάνδρας, εντόπισαν 1064 καταστροφές κτιρίων, εκ των οποίων τα 794 είναι κατοικίες, τα 126 είναι επαγγελματικοί χώροι, τα 8 είναι δημόσια κτίρια και τα υπόλοιπα 136 αποθήκες και υπόγεια. Στις περιοχές των Μεγάρων και στη Νέα Πέραμο η αυτοψία έδειξε 448 καταστροφές κτιρίων, με τα 228 είναι κατοικίες, τα 38 επαγγελματικοί χώροι, με τα 6 να είναι δημόσια κτίρια και τα εναπομείναντα 123, να είναι αποθήκες και υπόγεια. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη πλημμύρα ήταν από τις πιο θανατηφόρες στερώντας τη ζωή από 24 ανθρώπους.



Εικόνα 2.16(α) Νέα Πέραμος – Εθνική οδός, 15/11/2017 (Lekkas E., et al., 2017)



Εικόνα 2.16(β) Πλημμυρισμένη οδός στην Μάνδρα Αττικής 15/11/2017

2.5 Διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων – Μέτρα πρόληψης

Η επιτυχής διαχείριση, αντιμετώπιση αλλά και πρόληψη ενός πλημμυρικού φαινομένου προϋποθέτει σοβαρή μελέτη με ακρίβεια και εξέταση πολλών διαφορετικών παραμέτρων. Τα μέτρα που θα επιλεγθούν για την αντιμετώπιση ενός πλημμυρικού φαινομένου, μπορούν να διαχωριστούν σε μέτρα πρόληψης, αποτροπής και μετρίασης. Πρέπει να ληφθούν υπόψιν αν τα έργα που πρόκειται να υλοποιηθούν θα είναι δομικά ή μη, ο υδρολογικός σχεδιασμός, ο χωροταξικός σχεδιασμός των έργων και των μέτρων προστασίας. Στην περίπτωση όπου το μέτρο θα είναι δομικό η διαστασολόγηση των τεχνικών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Για την δημιουργία ενός δομικού έργου πρέπει να έχει προμελετηθεί η συμβατότητα του με άλλα έργα και η πρόβλεψη της αντίδρασής του σε σχέση με κάποιο μελλοντικό.

Η επιλογή του κατάλληλου έργου και η μελέτη του χωροταξικού και υδρολογικού σχεδιασμού είναι οι προϋποθέσεις μιας επιτυχούς εφαρμογής αντιπλημμυρικών μέτρων. Συνήθη έργα είναι η κατασκευή αναχωμάτων, το δίκτυο ομβρίων, ο υπερχειλιστής, οι εκτροπές ποταμών και έργα στα παράκτια προάστια. Η μελέτη του χωροταξικού σχεδιασμού περιλαμβάνει την χωροθέτηση ανάντη, την συμβατότητα έργων και την θεώρηση έργων σε επίπεδο λεκάνης. Η εξέταση του υδρολογικού σχεδιασμού προϋποθέτει την επιμέρους ανάλυση των κριτηρίων σχεδιασμού, της περιόδου επαναφοράς και της αποδεκτής αστοχίας.

Σκοπός ενός κατασκευαστικού έργου είναι κυρίως η αποθήκευση νερού καθώς και η αύξηση της ικανότητας μεταφοράς του. Δεδομένου ότι οι κατασκευές είναι τρωτές στις πλημμύρες θα πρέπει να συνοδεύονται και από άλλα μη κατασκευαστικά μέτρα.

Η παρέμβαση και εφαρμογή δομικών – κατασκευαστικών έργων ως τρόπος διαχείρισης των πλημμυρών επιφέρει αλλαγές στα χαρακτηριστικά ενός καναλιού του ποταμού. Τέτοιες αλλαγές προκαλούνται από την πρακτική της ευθυγράμμισης της κοίτης, τον εγκιβωτισμό της κοίτης, την κατασκευή προστατευτικών αναχωμάτων, φραγμάτων και άλλων τεχνικών έργων που επηρεάζουν τον έλεγχο της ποτάμιας ροής. Οι κυματοθραύστες αποτελούν κατασκευαστικό μέτρο στις παράκτιες περιοχές και η δράση τους μειώνει την ενέργεια των εισερχόμενων κυμάτων και παλιρροιών.

Τα δομικά μέτρα δεν έχουν μόνο τοπικές επιπτώσεις, αλλά μπορούν να επηρεάζουν το υδατόρευμα και τις παρόχθιες περιοχές ανάντη και κατόντη των παρεμβάσεων. Μερικά από τα κυριότερα μέτρα περιλαμβάνονται στην **Εικόνα 2.18** που ακολουθεί.

- Αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες στα ανάντη της λεκάνης.
- Ενίσχυση πρανών και περιοχών μεγάλων κλίσεων.
- Αναχώματα και προστατευτικοί τοίχοι .
- Λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι και στις χαμηλές περιοχές.
- Δίκτυα ομβρίων.
- Εκτροπές ποταμών.
- Παράκτια προστασία.
- Αύξηση της παροχетеυτικότητας των ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη των διατομών.
- Εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι.
- Υπερχειλιστές σε ταμιευτήρες.

Εικόνα 2.18 Μέτρα πρόληψης – διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων
(Τσαγγαράτος Π., 2018)

2.5.1 Τεχνικές αντιμετώπισης

Τεχνικές αντιμετώπισης των επιπτώσεων ενός πλυμμηρικού συμβάντος είναι η ανάσχεση της πλημμύρας, η περεταίρω διοχέτευση – διόδευση της πλημμύρας και η εφαρμογή μέτρων στις περιοχές που πλημμυρίζουν.

- **Ανάσχεση πλημμύρας**

Σύμφωνα με την ανάσχεση της πλημμύρας στη λεκάνη απορροής ενός ποταμού, το πλημμυρικό κύμα μετριάζεται τόσο, ώστε να μην υπερχειλίζουν οι όχθες στις επικίνδυνες περιοχές. Διοχετεύοντας την πλημμύρα μέσω προστατευτικών αναχωμάτων προς μία δεξαμενή ανάσχεσης μπορεί να επιτευχθεί η ανάσχεση του πλημμυρικού συμβάντος. Με τη βοήθεια διορθώσεων και ανοικτών αγωγών αποφόρτισης πετυχαίνεται η αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας του υδατορέματος.

Ταμιευτήρες ανάσχεσης πλημμυρών:

Η λεκάνη ή αλλιώς ταμιευτήρας είναι χαρακτηριστικό τεχνικό έργο για την ανάσχεση μιας πλημμύρας ενώ το ανάχωμα εφαρμόζεται για τη διοχέτευσή της. Οι ταμιευτήρες ανάσχεσης είναι τεχνητές λίμνες με τα αντίστοιχα φράγματα, οι οποίες είναι τόσο αποτελεσματικότερες, όσο μεγαλύτερες είναι και όσο πλησιέστερα βρίσκονται στην περιοχή υπό προστασία. Διακρίνονται σε μικρούς, μεσαίους και μεγάλους, ανάλογα με το μέγεθος.

Η διαστασολόγηση των ταμιευτήρων ανάσχεσης συνδέεται άμεσα με τα παρακάτω υδρολογικά μεγέθη:

- Την παροχή αιχμής ή την μέγιστη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή.
- Τον όγκο του πλημμυρικού κύματος πάνω από μία ορισμένη οριακή τιμή.

Η παροχή αιχμής ή η μέγιστη στάθμη του νερού μέσα στη δεξαμενή παίζει καθοριστικό ρόλο για την διαστασολόγηση της διάταξης της αποφόρτισης της πλημμύρας (υπερχειλιστής).

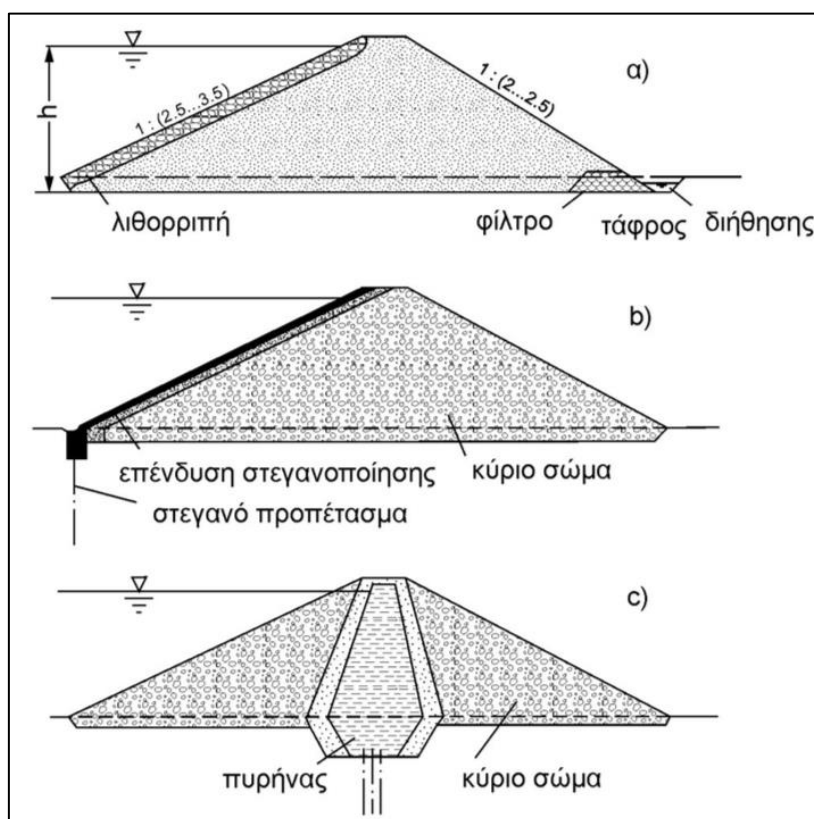
Ο όγκος του πλημμυρικού κύματος πάνω από μια ορισμένη οριακή τιμή χρησιμεύει στον καθορισμό του όγκου του χώρου, ο οποίος προβλέπεται για την προσωρινή υποδοχή της πλημμύρας.

Η ανωτέρω αναφερθείσα οριακή τιμή όγκου νερού αντιστοιχεί σε μια απορροή στο υδατόρευμα κατάντη της δεξαμενής, χωρίς πρόκληση ζημιών.

Κατασκευαστική διαμόρφωση φραγμάτων:

Τα φράγματα, σε δεξαμενές ανάσχεσης πλημμυρών, είναι κατά κανόνα χωμάτινα. Ως δομικά υλικά χρησιμοποιούνται τόσο συνεκτικά εδάφη όσο και μη συνεκτικά.

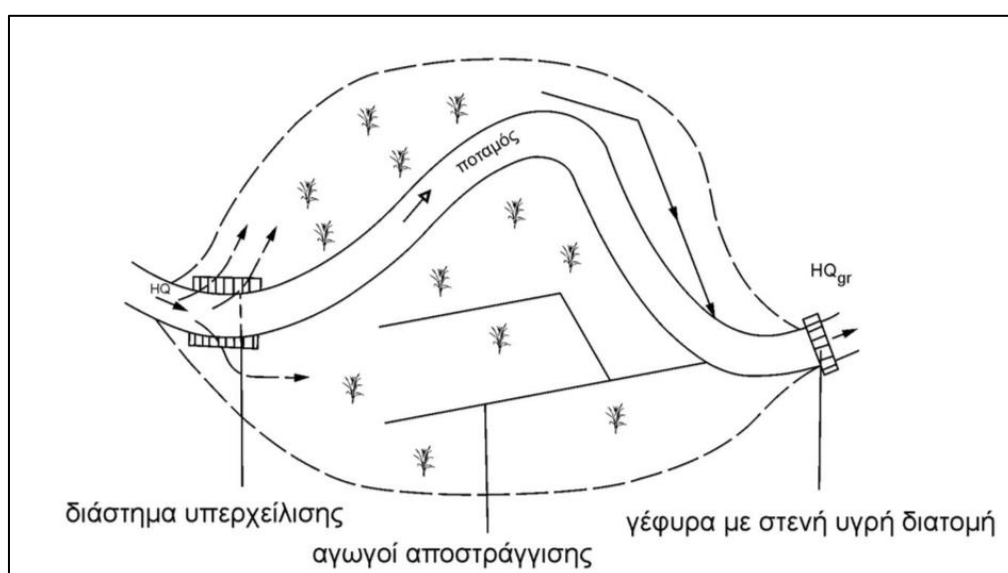
Τα μη συνεκτικά υλικά (άμμος, χαλίκια και λίθοι) χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κύριου σώματος του φράγματος, ενώ για τη στεγανότητά του χρησιμοποιούνται συνεκτικά.



Εικόνα 2.19 Διατομή χωμάτινων φραγμάτων (a: ομογενές φράγμα, b και c: «ζωνικά» φράγματα) (Μάρης, Φ - Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα)

Για την προστασία μιας περιοχής εκτεθειμένης στον κίνδυνο πλημμύρας, μπορούν επίσης, να δημιουργηθούν νέες πλημμυρικές επιφάνειες ανάντη, σε μη σημαντικές τοποθεσίες (**Εικόνα 2.20**). Η δημιουργία των εν λόγω επιφανειών δύναται να επιτευχθεί π.χ. ως εξής:

- με την κατασκευή μιας γέφυρας, στο κατάντη άκρο της θεωρούμενης πλημμυρικής επιφάνειας, με στενή υγρή διατομή, ώστε να επιβραδύνεται η εκροή του πλημμυρικού κύματος,
- με την κατασκευή εσωτερικών καναλιών, π.χ. αποστραγγιστικών αγωγών, συνδεδεμένων με το κύριο υδατόρευμα της θεωρούμενης επιφάνειας,
- με υπερχείλιση ορισμένων τμημάτων της όχθης, προστατευμένων, όμως, από τη διάβρωση.



Εικόνα 2.20 Δημιουργία πλημμυρικών επιφανειών (Vischer und Huber, 1985).

• Διοχεύτωση πλημμύρας

Αναχώματα κατασκευάζονται, όταν η στάθμη του νερού, σε περίπτωση πλημμυρών, βρίσκεται υψηλότερα από τις υπό προστασία επιφάνειες. Εκτός των αναχωμάτων διαμορφώνονται και ειδικές κατασκευές, οι πλημμυρικές τάφροι, οι οποίες δέχονται ένα μέρος της πλημμυρικής απορροής, όταν η στάθμη του νερού στο θεωρούμενο υδατόρευμα υπερβεί μια ορισμένη τιμή.

Τα αναχώματα περιορίζουν την φυσική συγκράτηση της πλημμύρας και αυξάνουν την πλημμυρική απορροή στο υδατόρευμα κατάντη των αναχωμάτων, έτσι πετυχαίνουν την

ταχύτερη απορροή των πλημμυρικών κυμάτων. Η μείωση του εμπλουτισμού του υπόγειου υδροφορέα καθώς και η αύξηση της καταπόνησης των πρανών και της κοίτης λόγω της αυξημένης ταχύτητας ροής στη στενή πλημμυρική διατομή, είναι μερικές από τις συνέπειες των αναχωμάτων,

Τα αναχώματα διακρίνονται στις επιμέρους κατηγορίες αναλόγα με τον σκοπό που εξυπηρετούν (Μάρης, Φ - Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα).

- Κλειστά αναχώματα
- Ανοικτά αναχώματα
- Αναχώματα συγκράτησης
- Καθοδηγητικά αναχώματα
- Εσωτερικά αναχώματα
- Αναχώματα με μορφή δακτυλίου
- Αναχώματα πηγών
- Αναχώματα «ύπνου»

Επιπρόσθετα, για την μετρίαση της ποσότητας της επιφανειακής απορροής, ενδεικτική είναι η κατασκευή καναλιών εκτροπής και τεχνικών υδραυλικών διευθετήσεων στις περιοχές όπου αναμένονται μεγάλες ποσότητες επιφανειακής απορροής, η κατασκευή αναβαθμών και εκγάρσεων τάφρων καθώς και η διαμόρφωση ηπιότερων κλίσεων ώστε να επιτευχθεί η αύξηση της διηθητικής ικανότητας του εδάφους.

Σε ότι αφορά τα μέτρα που εφαρμόζονται για μείωση της ταχύτητας απορροής, πραγματοποιείται διευθέτηση της κοίτης μέσω της μείωσης της κλίσης του υδατορέματος με την κατασκευή μικρών διαδοχικών φραγμάτων και η τοποθέτηση λιθοπληρωμένων συρματοκιβωτίων για την προστασία της όχθης.

Σε ότι αφορά τα μη κατασκευαστικά-δομικά μέτρα διακρίνονται: η διατήρηση και επέκταση των δασικών εκτάσεων στις ορεινές περιοχές της λεκάνης απορροής και η εφαρμογή μέτρων ανάσχεσης της ταχύτητας και μείωση της ποσότητας των υδάτων και φερτών υλών, η διατήρηση των υγροτόπων και η αύξηση των πλημμυρικών πεδίων καθώς και η προσαρμογή των χρήσεων των πλημμυρικών πεδίων στη πιθανότητα καταστροφής, η διατήρηση των μαιάνδρων των ποταμών και των φυσικών συνδέσεων τους με τις πλημμυρικές περιοχές.

Ακόμα, ως αναγκαία μη δομικά μέτρα, αναφέρονται ο έλεγχος και η συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων στις αστικές περιοχές, η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης

πρόγνωσης καταγίδων και μοντέλων βροχής-απορροής, καθώς και συστημάτων έγκαιρης ειδοποίησης του κοινού και η εφαρμογή μηχανισμών διαρκούς ενημέρωσης του κοινού. (Τσαγγαράτος Π., 2018)



Εικόνα 2.21 Τύποι επιπτώσεων στις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου.

(Λέκκας Ε., et al., 2014)

2.6 Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας

Ο βασικός στόχος της Οδηγίας 2007/60/EK είναι να βοηθήσει τα Κράτη Μέλη στην πρόληψη, τον περιορισμό και την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου. Η Οδηγία ενσωματώθηκε στην Ελληνική νομοθεσία με την ΚΥΑ 31822/1542/Ε103/2010 (Φ.Ε.Κ. 1108/Β'/2010) «Αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2007/60/EK «για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007».

Σύμφωνα με την συγκεκριμένη οδηγία, οι παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων και των αρνητικών τους επιπτώσεων είναι:

- Οι ανθρώπινες δραστηριότητες που σχετίζονται με την ανάπτυξη ανθρώπινων οικισμών και άλλων περιουσιακών στοιχείων εντός των πλημμυρικών περιοχών.
- Η μείωση της φυσικής ικανότητας του εδάφους όσον αφορά την κατακράτηση υδάτων λόγω αλλαγών στη χρήση γης.
- Η αλλαγή του κλίματος

Διατυπώνεται με σαφήνεια ότι οι πλημμύρες ως φυσικά φαινόμενα είναι δύσκολο να προληφθούν.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω κινδύνων, η ΕΕ στην οδηγία του 2007 πρότεινε λύσεις πρόληψης, προστασίας και ετοιμότητας έναντι των πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής. Μία σειρά μέτρων που ευνοούν την αντιμετώπιση πλημμύρας σε επίπεδο λεκάνης είναι ο περιορισμός της απορροής, επιβραδύνοντας έτσι την ροή των ποταμών με αποτέλεσμα οι πλημμύρες να επεκτείνονται σε φυσική και γεωργική γη, προστατεύοντας τα ευάλωτα περιουσιακά στοιχεία χωρίς να επιβαρύνουν τις πλημμύρες κατάντη.

Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/EK η διαδικασία διαχείρισης και αξιολόγησης του κινδύνου πλημμυρών υλοποιείται σε τρία στάδια:

1ο στάδιο: Περιλαμβάνει την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας για τις λεκάνες απορροής ποταμών προσδιορίζοντας τις περιοχές για τις οποίες συμπεραίνεται ότι υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα και τον προσδιορισμό των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

Οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας οριοθετούνται συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των περιοχών όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα και των περιοχών με δυνητικά σημαντικές συνέπειες από μελλοντικές πλημμύρες, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις αναφορές των περιφερειακών φορέων και τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες. Συγκεκριμένα, οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας προσδιορίστηκαν από την γεωγραφική τομή:

- των περιοχών με δυνητικά σημαντικές συνέπειες από μελλοντικές πλημμύρες
- των περιοχών που είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα.

Για να οριστούν οι δυνητικές αρνητικές συνέπειες των μελλοντικών πλημμυρών, θεωρήθηκε ότι οι περιοχές όπου είναι πιθανό να υπάρξουν αρνητικές συνέπειες είναι αυτές που περιέχουν: οι πόλεις και οικισμούς, βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες, γεωργικές εκτάσεις με σημαντική οικονομική αξία, παραγωγικές μονάδες που ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση, προστατευόμενες περιοχές, μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, υποδομές (οδικό, σιδηροδρομικό δίκτυο, λιμάνια, αεροδρόμια, νοσοκομεία, μεγάλα φράγματα). Ως περιοχές όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα ορίστηκαν αυτές που ικανοποιούν έναν τουλάχιστον από τους δύο παρακάτω περιορισμούς, βρίσκονται σε θέσεις προσχωματικών αποθέσεων και βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μικρότερη από 2%.

2ο στάδιο: Κατάρτιση Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας στις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας και που αποτυπώνονται οι δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με διαφορετικά σενάρια πλημμύρας.

Για κάθε σενάριο υπολογίζεται η έκταση που κατακλύζεται, το βάθος νερού και αναλόγως η ταχύτητα ή η παροχή υδάτων. Οι χάρτες επικινδυνότητας περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες για κάθε σενάριο πλημμύρας, όπως ο αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν, ο τύπος οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή, οι εγκαταστάσεις και οι πηγές ρύπανσης.

3ο στάδιο: Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, τα οποία θεωρούνται ως στρατηγικού χαρακτήρα με σκοπό την εδραίωση κοινής πολιτικής και συντονισμένης δράσης για την αντιμετώπιση των κινδύνων πλημμύρας. Καταρτίζονται σε επίπεδο Περιοχής Λεκάνης Απορροής Ποταμού ώστε να υπάρχει ενιαία δράση σε όλη την έκταση των ρεμάτων στις περιοχές που υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα.

Εξετάζουν την αποκατάσταση των πλημμυρικών περιοχών και παρέχουν τις ενδεδειγμένες λύσεις, με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τις ανάγκες και τις προτεραιότητες της περιοχής για τη μείωση των ζημιών που προκαλούνται από τις πλημμύρες στην υγεία και τη ζωή των ανθρώπων, στο περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, τις οικονομικές δραστηριότητες και τις υποδομές.

Στην σχετική Ευρωπαϊκή οδηγία τα κατασκευαστικά και μη-κατασκευαστικά μέτρα χαρακτηρίζονται ως γκρίζες και πράσινες υποδομές. Οι συμβατικές λύσεις προστασίας περιλαμβάνουν φράγματα, αναχώματα, κανάλια, και μέτρα προστασίας από κύματα θυέλλης. Εξαιτίας του ότι συνήθως κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, οι εν λόγω τεχνικές ονομάζονται γκρίζες υποδομές. Οι πλημμυρικές περιοχές, οι υγρότοποι και η διαμόρφωση των μαιάνδρων των ποταμών παρουσιάζονται ως πράσινες υποδομές που μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις από τις πλημμύρες. Οι πράσινες και γκρίζες υποδομές μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά για την επίλυση προβλημάτων πλημμυρών σε κλίμακα λεκάνης απορροής ποταμού (Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2007, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), γνωστά ευρέως και ως G.I.S. Geographic Information Systems, είναι συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Τα ψηφιακά αυτά συστήματα είναι ικανά να ενσωματώσουν, αποθηκεύσουν, προσαρμόσουν, αναλύσουν και παρουσιάσουν γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Μέσω ενός ΓΣΠ μας δίνεται η δυνατότητα αποτύπωσης μιας περίληψης του πραγματικού κόσμου. Αυτό πετυχαίνεται μέσω ερωτήσεων χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα, αναλύοντας τα χωρικά δεδομένα και προβάλλοντάς τα είτε αναλογικά μέσω εκτύπωσης, είτε ψηφιακά μέσω αρχείων χωρικών δεδομένων και διαδραστικών χαρτών στο διαδίκτυο.

Η αποτύπωση χωρικών δεδομένων σε γεωγραφικό, χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων είναι μία δυνατότητα των συστημάτων GIS και CAD. Βασικό χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα, όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Σημαντική δυνατότητα ενός συστήματος GIS είναι ο συνδιασμός της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με το σχεσιακό μοντέλο είτε με το αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων. Στο πρώτο τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και έπειτα συσχετίζονται με τα χωρικά, ενώ στο δεύτερο τα δύο είδη δεδομένων συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορούν να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση.

Τα τελευταία χρόνια το αντικειμενοστραφές μοντέλο χρησιμοποιείται πιο συχνά σε εφαρμογές GIS αφού υπερτερεί σε δυνατότητες από το σχεσιακό μοντέλο. Παρέχει ευκολότερη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

3.1 Στάδια – Βήματα λειτουργίας ενός ΓΣΠ

Αναλυτικότερα ένα ΓΣΠ, ως σύστημα, αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

1. Εισαγωγή

Το τμήμα που είναι υπεύθυνο για τροφοδότηση του συστήματος με δεδομένα. Αυτά πρέπει να είναι σε ψηφιακή δομή και συνήθως προκύπτουν με ψηφιοποίηση αναλογικών δεδομένων (π.χ. τυπωμένοι χάρτες) ή με τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων με τη χρήση ψηφιακών μεθόδων αποτύπωσης χώρου (αποτύπωση με GPS, Τηλεπισκόπηση). Αυτό το στάδιο αφορά τόσο τη γεωγραφική όσο και την περιγραφική διάσταση των δεδομένων.

2. Επεξεργασία

Τα δεδομένα πρέπει να υποστούν εκείνη την επεξεργασία που τα καθιστά κατάλληλα για παραπέρα ανάλυση και χρήση. Αυτό μπορεί να αφορά την ορθή απόδοση του συστήματος συντεταγμένων, την δημιουργία σχέσεων μεταξύ των δεδομένων, τη διόρθωση σφαλμάτων, την μετάβαση από μια δομή σε μια άλλη.

3. Ανάλυση

Ο χρήστης - αναλυτής θέτει ερωτήσεις σύμφωνα με την δυνατότητα των ίδιων των δεδομένων. Οι ερωτήσεις μπορεί να είναι του τύπου: Πώς απεικονίζεται η περιοχή ενδιαφέροντος; Πού βρίσκεται το Α; Που βρίσκεται το Α σε σχέση με το Β; Πόσο από το Α υπάρχει στην περιοχή Γ κλπ.

4. Απόδοση

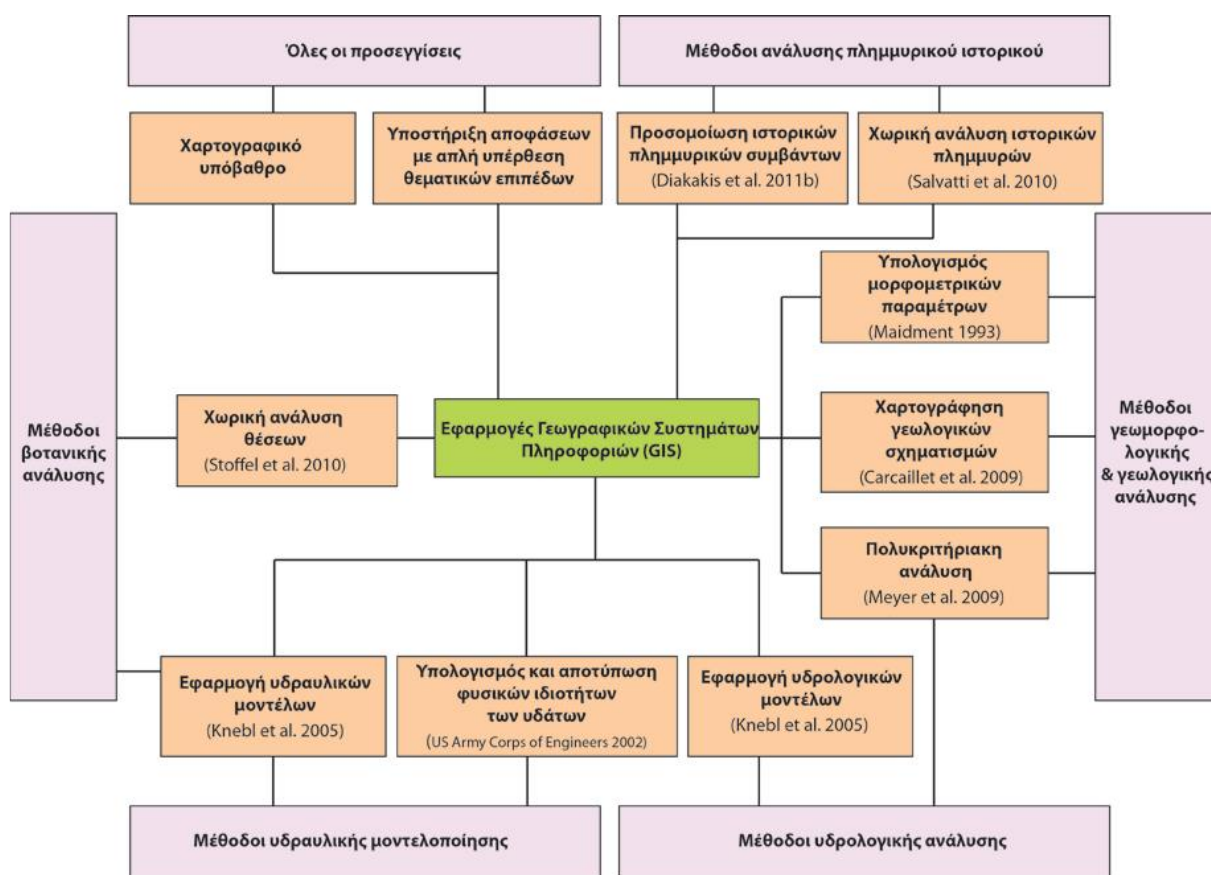
Η απόδοση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης γίνεται σε αναλογικά μέσα με την οργάνωση της εκτύπωσης χαρτογραφικών προϊόντων ή με την απόδοση σε ψηφιακές πλατφόρμες είτε με τη χρήση του Διαδικτύου, μέσω διαδραστικών χαρτών (Web-based GIS), είτε μέσω εσωτερικών δικτύων οργανισμών μέσω εφαρμογών που υποστηρίζουν πολλαπλούς χρήστες με διακριτούς ρόλους (Enterprise GIS).

5. Έλεγχος

Κάθε σύστημα οφείλει να έχει μηχανισμούς ανάδρασης (feedback), ώστε να εξασφαλίζεται η ορθότητα και ακρίβεια των πληροφοριών. Αυτό μπορεί να γίνεται μέσω λογισμικού με διαδικασίες κανόνων επικύρωσης, με διαδικασίες ελέγχου ακρίβειας συντεταγμένων και

γενικότερα με διαδικασίες ποιοτικών και ποσοτικών ελέγχων ανάλογα με τη φύση των δεδομένων. (Αντωνάκος 2012)

Γενικότερα τα λογισμικά GIS επιτρέπουν την γρήγορη, αυτοματοποιημένη και ακριβή χωρική ανάλυση, αλλά ταυτόχρονα αποτελούν βάση για άλλες υποστηρικτικές λειτουργίες, όπως: η ακριβής χωρική αποτύπωση, η παραγωγή χαρτών και η πολυκριτηριακή ανάλυση (multicriteria analysis). Παράλληλα, αποτελούν το υπόβαθρο για την εκτέλεση υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων και την γεωμορφολογική ανάλυση. Η σημαντική ανάπτυξή τους τα τελευταία χρόνια τα έχει καταστήσει απαραίτητο εργαλείο για την ανάλυση του κινδύνου πλημμυρών. Πολλές από τις εφαρμογές που έχουν αναπτυχθεί για τη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου απαιτούν ως προϋπόθεση για τη λειτουργία τους τη χρήση λογισμικού GIS ως υποβάθρου. Αναλυτικότερα η χρήση των λογισμικών GIS περιλαμβάνει μια σειρά από κατηγορίες που παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Γενικές κατηγορίες προσεγγίσεων στις οποίες χρησιμοποιούνται τα λογισμικά GIS για τη μελέτη του πλημμυρικού κινδύνου. (Διακάκης 2012)

Για την εκτίμηση της τρωτότητας του υπόγειου υδροφορέα έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο μεθόδων που εφαρμόζονται στα ΓΣΠ και μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες γενικότερες κατηγορίες:

- Στατιστικές μέθοδοι (statistical methods)
- Μέθοδοι προσομοίωσης (simulating models)
- Μέθοδοι βαθμονόμησης (rating methods).

Περιλαμβάνουν μεθόδους επικάλυψης και δεικτών (overlay and index methods) και υβριδικές μεθόδους (hybrid methods), οι οποίες δύναται να συνδυάζουν μεθόδους δεικτών με στατιστικές μεθόδους

Κάθε κατηγορία μεθόδων διαφοροποιείται τόσο ως προς τα δεδομένα εισαγωγής, απαραίτητα για τη λειτουργία της, όσο και ως προς τα αποτελέσματα και τα εξαγόμενα στοιχεία που παράγονται από αυτή. Αντίστοιχα κάθε μία έχει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της (National Research Council, 1993).

3.2 Χρήσεις και εφαρμογές των ΓΣΠ

Ανάλογα με τον επιδιωκόμενο στόχο τα ΓΣΠ καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους. Μέσα από τα παρακάτω παραδείγματα γίνεται αναφορά στις δυνατότητες και στα αποτελέσματα που μπορούν να επιτευχθούν με την κατάλληλη εφαρμογή ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών.

3.2.1 Ευρύτερη χρήση και εφαρμογή των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ βρίσκουν εφαρμογή στην σύγχρονη διαχείριση των φυσικών πόρων μιας περιοχής χαρτογραφίζοντας πλήρως τις χρήσεις γης, τις αλλαγές που σημειώνονται και όλους τους φυσικούς και ανθρωπογενείς πόρους. Με την εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων υπολογίζονται τόσο η χωρητική δυναμικότητα ενός οικοσυστήματος όσο και οι αντίστοιχες απαιτήσεις της κοινωνίας. Αξιοσημείωτο είναι ότι αυτή η εισαγωγή και επεξεργασία μπορεί να γίνεται καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, αποτυπώνοντας πλήρως τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και απεικονίζοντας άμεσα τα τμήματα της περιοχής που εμφανίζουν οποιαδήποτε μεταβολή ζήτησης.

Οι εφαρμογές των ΓΣΠ έχουν εξελιχθεί τόσο ώστε μπορούν να χρησιμοποιούνται στον ευρύτερο κλάδο της υγείας και της ιατρικής. Σήμερα τα ΓΠΣ χρησιμοποιούνται εκτεταμένα ιδιαίτερα στο χώρο της επιδημιολογίας, προσπαθώντας να αναγνωρίσουν μοτίβα περιοχών πιθανής εκδήλωσης επιδημιών καθώς και τους λόγους έξαρσης αυτών (Clarke, McLafferty, and Tempalski 1996). Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαρτογράφηση περιοχών όπου εκδηλώνονται συγκεκριμένες ασθένειες όπως έκανε ο Hjalmars και οι συνεργάτες του μελετώντας την παιδική λευχαιμία στη Σουηδία και εντοπίζοντας περιοχές όπου σημειώνονταν υψηλά ποσοστά (Hjalmars et al. 1996). Άλλη εφαρμογή στην ιατρική βρίσκουν συσχετίζοντας συγκεκριμένες ασθένειες με συγκεκριμένα αίτια όπως π.χ. η εκδήλωση καρκίνου σε συνδυασμού με την αέρια ρύπανση της περιοχής μελέτης (Poulstrup and Hansen 2004).

Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται επίσης σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη σωστή ανάπτυξη οδικών δικτύων καθώς και συντήρηση των ήδη προ υπαρχόντων χρησιμοποιώντας δεδομένα όπως είναι η κίνηση των οχημάτων, το είδος των οχημάτων, ο συνολικός πληθυσμός που εξυπηρετείται, ο σκοπός της μετακίνησης (π.χ. εργασία, αναψυχή) καθώς και ένα πλήθος άλλων παραγόντων (Jenelius, Petersen, and Mattsson 2006). Με συνδιαστική εφαρμογή τα συστήματα αυτά είναι ικανά να λειτουργήσουν ακόμη και ως εργαλεία πρόβλεψης. Η εκτίμηση κινδύνου και μακροπρόθεσμων ζημιών από φυσικά φαινόμενα χάρη στα συστήματα GIS έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη για τον ασφαλιστικό κλάδο αφού αυτές οι πρακτικές επιτυγχάνουν να εξοικονομούν μεγάλα ποσά στις εταιρίες. Τα τελευταία χρόνια είναι εμφανής η αύξηση της χρήσης των ΓΣΠ στον κλάδο της τηλεπικοινωνίας, όπου εκεί περιλαμβάνονται εφαρμογές όπως σχεδίαση εκπομπών σήματος, γεωγραφικός προσδιορισμός των πύργων εκπομπής και της ποιότητας του σήματος και εφαρμογές που στοχεύουν στην αύξηση του καταναλωτικού κοινού (Fry 1999). Έχει παρατηρηθεί ότι οι νέες επενδύσεις σε υπάρχοντα δίκτυα τηλεπικοινωνιών γίνονται με κριτήριο την αύξηση του πελατολογίου και όχι την βελτίωση των ήδη παρεχόμενων υπηρεσιών.

3.2.2 Διαχείριση των υδατικών πόρων με ΓΣΠ

Ο ορισμός της διαχείρισης των υδατικών πόρων στην Ελλάδα δόθηκε με το Ν.1739/87 (Άρθρο 1) σύμφωνα με τον οποίο νοείται το σύστημα των μέτρων και δραστηριοτήτων, που είναι απαραίτητα για την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό για κάθε χρήση, και κατά κύριο λόγο:

1. Η διευθέτηση της φυσικής προσφοράς του νερού, σε σχέση με τη ζήτησή του, σε περιοχές που υπάρχει έλλειψη ή προβλέπεται περιοδική ή οριστική εξάντλησή του
2. Η πρόνοια για την πρόληψη απωλειών νερού και για την κατά το δυνατό αξιοποίηση πλεονασμάτων που μπορεί να προκαλέσουν ζημιές ή βλάβες εξαιτίας πλημμυρών ή άλλων αιτιών
3. Η αντιμετώπιση των σημερινών ή μελλοντικών ανοιγμάτων ανάμεσα στην προσφορά και στη ζήτηση του νερού
4. Η αποφυγή ή εξομάλυνση των συγκρούσεων ανάμεσα σε όμοιες ή ανταγωνιστικές χρήσεις.
5. Ο προσανατολισμός της ζήτησης στις χρήσεις νερού, στις οποίες αποβλέπουν τα προγράμματα ανάπτυξης της χώρας.
6. Η διατήρηση της υψηλότερης δυνατής ποιότητας νερού σε σχέση με την κατά προορισμό χρήση του
7. Ο συντονισμός των δραστηριοτήτων έρευνας, αξιοποίησης, χρήσης και προστασίας των υδατικών πόρων

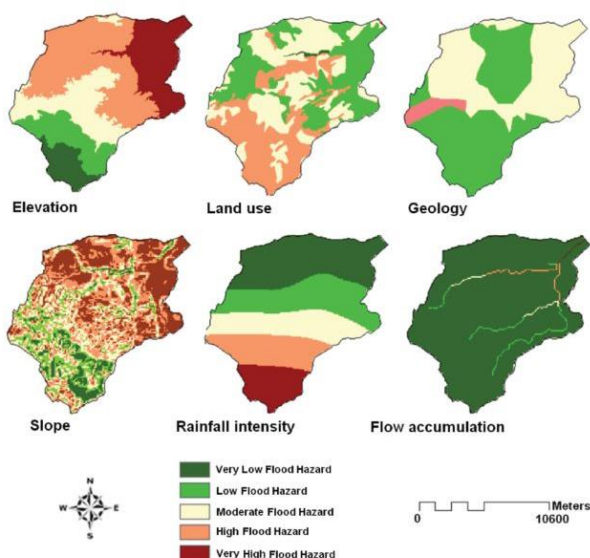
Για όλα τα παραπάνω σημαντική βοήθεια προσφέρουν τα ΓΣΠ καθώς μπορούν να προσφέρουν μία χωρική διάσταση σε μια τυπική βάση δεδομένων με στοιχεία για τους υδατικούς πόρους μια περιοχής αποδίδοντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα του κόσμου. Αυτό επιτυγχάνεται συνδυάζοντας διάφορους κοινωνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες που σχετίζονται με τις χωρικές οντότητες ενός προβλήματος υδατικών πόρων και καθιστώντας τους διαθέσιμους για χρήση σε μια διαδικασία λήψης αποφάσεων (McKinney and Cai 2002).

Συγκεκριμένα με τις δυνατότητες και εφαρμογές που έχουν τα ΓΣΠ μπορούν να επιτύχουν τα κάτωθι:

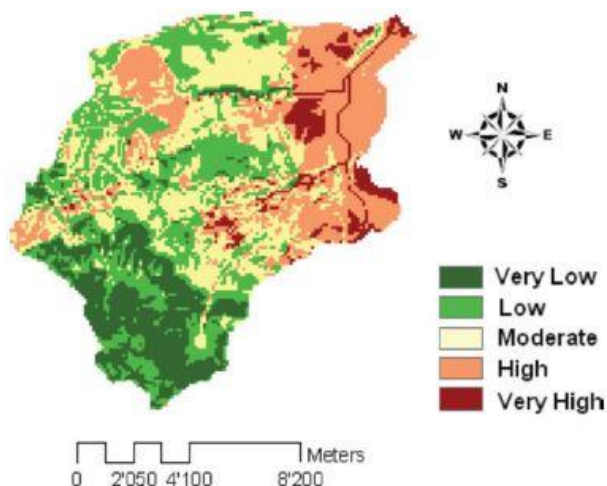
- Να προβλέψουν τις ανάγκες σε νερό οικιστικών περιοχών αξιοποιώντας διάφορες παραμέτρους (π.χ. ώρα, μέρα, τοποθεσία κ.α.) και να αναπτύξουν ένα υποστηρικτικό σύστημα αποφάσεων για χρήση από τις Αρμόδιες Αρχές ώστε να μη δημιουργείται πρόβλημα κατά την παροχή νερού όλες τις περιόδους του χρόνου (Jayarathna et al. 2017).
- Να προτείνουν στρατηγικές αντιμετώπισης και διαχείρισης πλημμυρών καθώς και να προσδιορίσουν το πιθανό εύρος των πληγέντων περιοχών μέσω ενός τελικού χάρτη επικινδυνότητας, όπως έγινε και στην μελέτη του Κουργιαλά και Καρατζά το

2011 (**Εικόνα 3.1 & Εικόνα 3.2**). Στη συγκεκριμένη μελέτη της κοιλάδας του ποταμού Κοιλιαρή στα Χανιά, με κατάλληλη εφαρμογή των ΓΣΠ και συνδυάζοντας συγκεκριμένες μεταβλητές όπως το υψόμετρο, η γεωλογία, η κλίση πρανών και άλλες, αποτυπώθηκε ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας. Στις κάτωθι εικόνες απεικονίζονται οι τελικοί χάρτες για κάθε παράγοντα καθώς και ο τελικός χάρτη επικινδυνότητας λόγω πλημμύρας.

- Να βοηθήσουν στον καθορισμό της ποιότητας νερού σε μια περιοχή και ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα εισαγωγής, όπως ρυπαντές, σημεία ρύπανσης κ.α. να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τις δράσεις που πρέπει να γίνουν ώστε να επανέλθει η ποιότητα του νερού σε αποδεκτά όρια (Assaf and Saadeh 2008). (Καραμπάσης Μ., 2018)



Εικόνα 3.1 Χάρτες επικινδυνότητας της κοιλάδας του Κοιλιαρή για κάθε παράγοντα (Kourgialas and Karatzas 2011)



Εικόνα 3.2 Τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας της κοιλάδας του Κοιλιαρή (Kourgialas and Karatzas 2011)

3.3 Πλημμυρική επιδεκτικότητα και επικινδυνότητα

3.3.1 Πλημμυρική επιδεκτικότητα

Η πλημμυρική επιδεκτικότητα μιας περιοχής εκφράζεται μέσω ενός ποιοτικού ή ποσοτικού προσδιορισμού, καταδεικνύοντας το πόσο επιδεκτική είναι η περιοχή στην εκδήλωση ενός πλημμυρικού συμβάντος. Ο χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας αποτυπώνει χωρικά την κατανομή της επιδεκτικότητας, διαβαθμίζοντας την σε κατηγορίες με ποιοτικούς χαρακτηρισμούς, όπως υψηλή, μέση ή χαμηλή επιδεκτικότητα και απαντούν στο ερώτημα του πού είναι πιθανό να εκδηλωθεί ένα πλημμυρικό συμβάν. Η πλημμυρική επιδεκτικότητα δεν παρέχει πληροφορίες για την χρονική εκδήλωση ενός πλημμυρικού συμβάντος, ή το μέγεθος των επιπτώσεων που θα επιφέρει. Η εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας βασίζεται στην επίδραση των μεταβλητών που αποτελούν την αιτία της εκδήλωσης και όχι την αφορμή της εκδήλωσης. Η δημιουργία χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας στηρίζεται στην υιοθέτηση δυο βασικών παραδοχών:

- τα πλημμυρικά συμβάντα που εκδηλώθηκαν κατά το παρελθόν, αποτελούν δεδομένα για την πρόβλεψη μελλοντικών εκδηλώσεων
- η εκδήλωση πλημμυρικών συμβάντων επηρεάζεται από τις ίδιες γεωλογικές, γεωμορφολογικές, υδρογεωλογικές, υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες.

Χρησιμοποιούνται χωρικά χαρακτηριστικά, από προγενέστερα πλημμυρικά συμβάντα, για την εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς της περιοχής ως προς την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών.

Βασική αρχή των χαρτών επιδεκτικότητας είναι ο καθορισμός των συσχετίσεων μεταξύ των πλημμυρών και της τοπογραφίας, της γεωλογίας, της υδρολογίας και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της προς έρευνας περιοχής αφήνοντας έξω από την ανάλυση την χρονική διάσταση του φαινομένου (Τσαγγαράτος 2018).

3.3.2 Πλημμυρική επικινδυνότητα

Για τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων, έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από διαφορετικές τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται ανάλογα με τον τύπο των πλημμυρών, την διαθεσιμότητα των δεδομένων αλλά και τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Παρουσιάζονται έξι κύριες κατηγορίες (Διακάκης, 2012):

1. Μέθοδοι ανάλυσης γεωμορφολογικών και γεωλογικών παραμέτρων, οι οποίες αναλύουν τα μορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και αποσκοπούν στον χωρικό και ποσοτικό προσδιορισμό του κινδύνου.
2. Μέθοδοι ανάλυσης του πλημμυρικού ιστορικού, οι οποίες αξιοποιούν τα ιστορικά δεδομένα με σκοπό να εκτιμήσουν την συχνότητα των πλημμυρών και να εκτιμήσουν τη χωρική, χρονική και εποχική κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων.
3. Μέθοδοι υδρολογικής ανάλυσης, οι οποίες χρησιμοποιούν αλγόριθμους για την περιγραφή των υδρογεωλογικών διεργασιών που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή.
4. Μέθοδοι υδραυλικής μοντελοποίησης, οι οποίες χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις για την κίνηση των υδάτων και αποσκοπούν στην εκτίμηση της χωρικής τους εξάπλωση, και των φυσικών ιδιοτήτων της ροής.
5. Μέθοδοι ανάλυσης δεικτών στη βλάστηση, οι οποίες αναλύουν τα χαρακτηριστικά των φυτών για τον προσδιορισμό του χρόνου εκδήλωσης και των φυσικών χαρακτηριστικών παλαιότερων πλημμυρών.
6. Μέθοδοι ανάλυσης βροχομετρικών χαρακτηριστικών, οι οποίες αναλύουν τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων, που αποσκοπούν στον προσδιορισμό των υδρομετεωρολογικών συνθηκών κατά τις οποίες ο κίνδυνος είναι αυξημένος.

Κατά την εφαρμογή των μεθόδων υδρολογικής ανάλυσης καθορίζεται για δεδομένο επεισόδιο βροχής πόσο νερό θα αποτελέσει απορροή. Οι μέθοδοι υδραυλικής ανάλυσης λαμβάνει υπόψη την ποσότητα του νερού και της γεωμετρίας της λεκάνης απορροής καθώς και της κοίτης και καθορίζει το βάθος και την ταχύτητα του νερού καθώς και ποια περιοχή θα πλημμυρίσει.

3.4 Εφαρμογές Γ.Σ.Π. στα πλημμυρικά φαινόμενα

Έως το 1999 η αξιοποίηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και η εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την μελέτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας ήταν σπάνια (Σταμέλλου 2017). Το 1999 οι Correia et al. (1999) αναγνώρισαν τα Γ.Σ.Π. ως ένα σημαντικό μέσο για ενσωμάτωση και ανάλυση δεδομένων από διαφορετικές πηγές και αποτύπωσαν σε χάρτη τον πλημμυρικό κίνδυνο βάσει διαφορετικών σεναρίων αστικής εξάπλωσης.

Οι Schumann et al. (2000) ανέπτυξαν μια μεθοδολογία βασισμένη στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για μοντελοποίηση βροχόπτωσης – απορροής.

Μια επισκόπηση των αλλαγών σχετικά με την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε ποτάμια της Σκωτίας παρουσιάστηκε από τους Black and Burns (2000). Εκεί αναλύθηκαν εκ νέου οι καταγραφές των πλημμυρών σε συνδυασμό με την πάροδο του χρόνου.

Ο Zerger (2002) ανέφερε την σημασία των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη και ότι είναι αναγκαία η σύνδεση της χωρικής ανάλυσης με τη λήψη αποφάσεων στον πραγματικό κόσμο, κατευθύνοντας έτσι τις έρευνες σε συγκεκριμένα αποτελέσματα και όχι μόνο στην επίλυση τεχνικών ζητημάτων.

Για τον υπολογισμό της χωρικής κατανομής της απορροής και του μέσου χρόνου ροής στις λεκάνες των ποταμών, οι Liu et al. (2003) έκαναν χρήση του μοντέλου τους βροχόπτωσης – απορροής αξιοποιώντας παραμέτρους όπως κλίσεις, χρήσεις γης, γεωλογία κ.α. Αποτέλεσμα της μελέτης τους ήταν η παροχή χρήσιμων πληροφοριών των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στις λεκάνες απορροής προωθώντας με αυτόν τον τρόπο την διαχείριση του κινδύνου πλημμυρας.

Οι Dewan et al. (2007) δημιούργησαν χάρτες πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Dhaka στο Μπαγκλαντές, με τη βοήθεια επεξεργασμένων δεδομένων μεγάλου ιστορικού πλημμυρικού γεγονότος το 1998 και λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της κάλυψης γης, του υψόμετρου και της γεωμορφολογίας της περιοχής.

Ο Aldescu (2008) δημιούργησε χάρτες κινδύνου πλημμύρας με αφορμή τα σοβαρά πλημμυρικά συμβάντα του 2000, 2005 και 2006 στη Ρουμανία για να υποστηρίξει ειδικούς στη διαχείριση και τον μετριασμό των πλημμυρών.

Οι Wang et al. (2011) μελέτησαν με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης την εκτίμηση της πλημμυρικής τρωτότητας.

Η Καντιλιώτη (2009) κάνοντας χρήση Αναλυτικής Ιεράρχησης, Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και της μεθόδου Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού αποδίδει τους συντελεστές βαρύτητας των επιλεγμένων κριτηρίων και με αυτόν τρόπο δημιουργεί χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας για το λεκανοπέδιο Αττικής.

Οι Κουργιαλάς και Καρατζάς (2011) οριοθέτησαν τις περιοχές που παρουσιάζουν κίνδυνο πλημμύρας, χρησιμοποιώντας χωρικούς και κλιματικούς παράγοντες.

Ο Φιλιάδης (2016) χρησιμοποίησε υδρολογικά, γεωλογικά και χρήσεων γης στοιχεία που σχετίζονται με την εμφάνιση του φαινομένου της πλημμύρας και τα επεξεργάστηκε μέσω Γ.Σ.Π. Με τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης απέσπασε τα βάρη των επιλεγμένων παραγόντων και με τη Σταθμισμένη Ανάλυση δημιούργησε 4 κατηγορίες πλημμυρικού κινδύνου με την μέθοδο “Natural Breaks”.

3.5 Τηλεπισκόπηση

Με τον όρο «τηλεπισκόπηση» ορίζεται η επιστήμη απόκτησης πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια της Γης από απόσταση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ανίχνευσης και καταγραφής, ανάκλησης ή εκπομπής ενέργειας, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν η επεξεργασία, ανάλυση και εφαρμογή των δεδομένων που συλλέχθηκαν. Η διαδικασία της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει αλληλεπίδραση μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των στόχων ενδιαφέροντος. Στα πλαίσια της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνεται επίσης η ανίχνευση της εκπεμπόμενης ενέργειας και των μη-απεικόνισης αισθητήρων (Ποϊραζίδης Κ. et al., 2013).

Η μεθοδολογική προσέγγιση της τηλεπισκόπησης μπορεί να αναφερθεί συνοπτικά μέσω των ακόλουθων επτά στοιχείων, τα οποία συμμετέχουν στη χρήση των συστημάτων απεικόνισης.

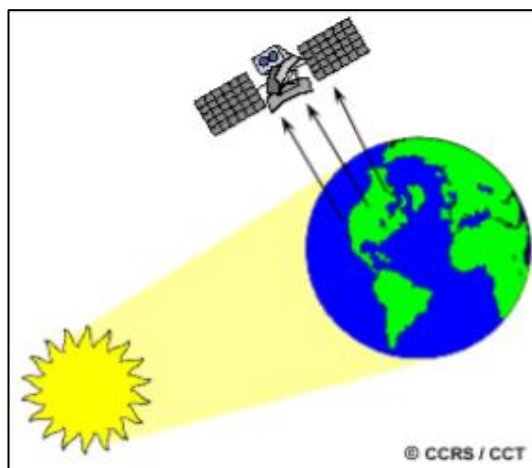
- Πηγή Ενέργειας ή Φωτισμού: Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η ύπαρξη πηγής ενέργειας που φωτίζει ή παρέχει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια προς το στόχο του ενδιαφέροντος.
- Ακτινοβολία και Ατμόσφαιρα: Κατά τη πορεία της ακτινοβολίας από τη πηγή προς το στόχο γίνονται αλληλεπιδράσεις με το ατμοσφαιρικό φάσμα. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να λάβει χώρα και δεύτερη φορά ως η ενέργεια που ταξιδεύει από τον στόχο για τον αισθητήρα.
- Αλληλεπίδραση με τον Στόχο: Η αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας εξαρτάται άμεσα τόσο από τις ιδιότητες του μέσου στο οποίο προσπίπτει, όσο και από την ίδια.

- Καταγραφή της Ενέργειας από τον Αισθητήρα: Σε απόσταση από τον στόχο τοποθετείται αισθητήρας συλλογής και καταγραφής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Η Μετάδοση, Υποδοχή, και Επεξεργασία: Η ενέργεια καταγεγραμμένη από τον αισθητήρα διαβιβάζεται στο σταθμό λήψης και επεξεργασίας, όπου τα δεδομένα επεξεργάζονται ώστε να αποδίδονται ως εικόνα (έντυπη ή / και ψηφιακή).
- Ερμηνεία και Ανάλυση: Η επεξεργασμένη εικόνα ερμηνεύεται, οπτικά, ψηφιακά ή ηλεκτρονικά, για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με το στόχο που είχε “φωτιστεί”.
- Εφαρμογή: Το τελικό στάδιο της επεξεργασίας της τηλεπισκόπησης επιτυγχάνεται όταν οι πληροφορίες που έχουν αποτυπωθεί από τον στόχο μπορούν να εφαρμοστούν κατάλληλα αποσκοπώντας στην καλύτερη κατανόηση του. Έτσι αποκαλύπτονται κάποιες νέες πληροφορίες ή βοήθειες για επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος

3.5.1 Ενεργητική και Παθητική τηλεπισκόπηση

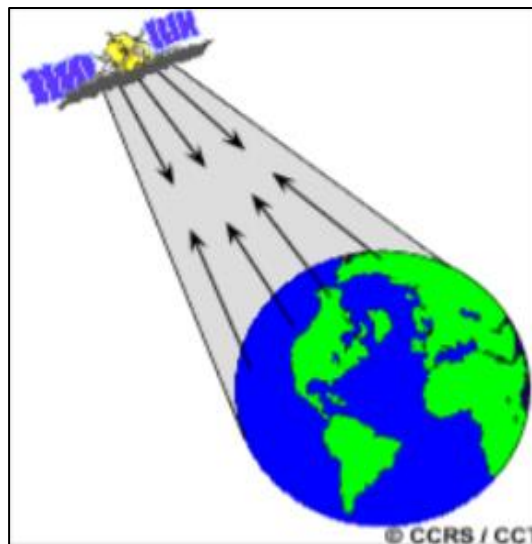
Η ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται μία φυσική μορφή ακτινοβολίας που μπορεί να αξιοποιηθεί με τη μέθοδο της τηλεπισκόπησης. Η ηλιακή ενέργεια στα ορατά μήκη κύματος ανακλάται, ενώ στα θερμικά υπέρυθρα απορροφάται και επανεκπέμπεται.

Τα συστήματα τηλεπισκόπησης τα οποία μετρούν την ενέργεια που είναι φυσικά διαθέσιμη, ονομάζονται παθητικοί αισθητήρες (**Εικόνα 3.3**) και βρίσκουν μοναδική εφαρμογή στην ανίχνευση της φυσικής ακτινοβολίας. Για όλη την ανακλώμενη ενέργεια, αυτό μπορεί να λάβει χώρα μόνο κατά τη διάρκεια του χρόνου όπου ο ήλιος φωτίζει τη Γη. Δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια διαθέσιμη από τον ήλιο τη νύχτα. Η ενέργεια που εκπέμπεται φυσικά (όπως το θερμικό υπέρυθρο) μπορεί να ανιχνευθεί ημέρα ή νύχτα, αν η ποσότητα ενέργειας είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καταγράφεται.



Εικόνα 3.3 Παθητικός αισθητήρας τηλεπισκόπησης

Οι ενεργητικοί αισθητήρες (**Εικόνα 3.4**) παρέχουν τις δικές τους πηγές ενέργειας για φωτισμό. Ο αισθητήρας εκπέμπει ακτινοβολία η οποία κατευθύνεται προς τον στόχο που πρέπει να διερευνηθεί. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο αυτό ανιχνεύεται και μετράται από τον αισθητήρα. Τα πλεονεκτήματα των ενεργητικών αισθητήρων περιλαμβάνουν τη δυνατότητα λήψης μετρήσεων ανά πάσα στιγμή, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή την εποχή. Οι ενεργητικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέταση μηκών κυμάτων που δεν παρέχονται επαρκώς από τον ήλιο, όπως τα μικροκύματα, ή για τον καλύτερο έλεγχο του τρόπου φωτισμού του στόχου. Ωστόσο, τα ενεργά συστήματα απαιτούν την παραγωγή μιας αρκετά μεγάλης ποσότητας ενέργειας για να φωτίζει επαρκώς τους στόχους. Μερικά παραδείγματα ενεργών αισθητήρων είναι ένα αισθητήρας φωτισμού λέιζερ και ένα ραντάρ συνθετικής οπής (SAR)⁶. (Ποϊραζίδης Κ. et al., 2013)



Εικόνα 3.4 Ενεργητικός αισθητήρας τηλεπισκόπησης

3.5.2 Εφαρμογή τηλεπισκόπησης στην πρόβλεψη πλημμυρικών φαινομένων

Με χρήση ενεργητικών ή παθητικών αισθητήρων από το διάστημα είναι εφικτό να επιτευχθεί ο προσδιορισμός της υγρασίας του εδάφους. Η υγρασία είναι μια βασική μεταβλητή σε σχέση με το νερό και τους φυσικούς κινδύνους, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών και των κατολισθήσεων. Η ακριβής εκτίμηση των χωρικών και χρονικών διακυμάνσεων της υγρασίας του εδάφους είναι κρίσιμης σημασίας για πολλές περιβαλλοντικές μελέτες. Συγκεκριμένα, υψηλής ανάλυσης παρατηρήσεις της υγρασίας του εδάφους και του τοπίου καθώς και της διαδικασίας ψύξης/απόψυξης του νερού οδηγεί σε βελτίωση των προβλέψεων των πλημμυρών, ειδικά για τις μεσαίες και μεγάλες λεκάνες απορροής στις οποίες εμφανίζεται και όπου οι καταστροφικές επιπτώσεις από τις πλημμύρες είναι συχνές. Η επιφανειακή κατάσταση υγρασίας του εδάφους είναι το κλειδί για την εκτίμηση του νερού της βροχής και συγκεκριμένα σε νερό που υφίσταται διήθηση και σε νερό απορροής· ως εκ τούτου, είναι

ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια των πληροφοριών που χρησιμοποιείται στα μοντέλα για την πρόβλεψη πλημμυρών (Παρχαρίδης Ι., 2015)

Σύγκριση πολυχρονικών εικόνων

Η ικανότητα συλλογής εικόνων της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της Γης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία εφαρμογής δεδομένων τηλεπισκόπησης. Η «πολυχρονική πληροφορία» αποκτάται από την ερμηνεία των εικόνων που λαμβάνονται στην ίδια περιοχή, αλλά σε διαφορετικούς χρόνους, οι οποίοι εξαρτώνται από το φαινόμενο που μελετάται. Η διαφορά του χρόνου μεταξύ των εικόνων επιλέγεται έτσι ώστε να είμαστε σε θέση να παρακολουθούμε ορισμένα δυναμικά γεγονότα. Η παρακολούθηση αλλαγών κάλυψης γης ή ανάπτυξης σε αστικές περιοχές απαιτεί εικόνες από διαφορετικές χρονικές περιόδους. Για τη μελέτη της πλημμυρικής επιδεκτικότητας, οι πολυχρονικές εικόνες που επιλέγονται είναι με διαφορά μερικών ημερών. Από την άλλη αξίζει να σημειωθεί ότι «αργά» γεγονότα όπως η τήξη των πάγων ή η αναγέννηση ενός δάσους απαιτούν χρονική διαφορά λήψης πολυχρονικών εικόνων υπολογισμένη σε έτη. Αυτού του τύπου εφαρμογή απαιτεί επίσης τη συνεκτικότητα σε συνθήκες φωτισμού (ηλιακή γωνία ή ραντάρ γεωμετρικής απεικόνισης) για τη παροχή συνεπών και συγκρίσιμων αποτελεσμάτων ταξινόμησης.

Με την απεικόνιση σε συνεχή βάση σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είμαστε σε θέση να παρακολουθούμε τις αλλαγές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της Γης. Ο παράγοντας του χρόνου στην απεικόνιση είναι σημαντικός όταν:

- επίμονα σύννεφα προκαλούν περιορισμένη προβολή της επιφάνειας της Γης (συχνά συμβαίνει στις τροπικές περιοχές)
- όταν πρέπει να απεικονιστούν βραχυπρόθεσμα φαινόμενα όπως πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδες, κλπ.
- απαιτούνται πολύ-χρονικές συγκρίσεις (π.χ. εξάπλωση μιας δασικής ασθένειας από το ένα έτος στο επόμενο)
- η μεταβαλλόμενη εμφάνιση ενός χαρακτηριστικού κατά τη πάροδο του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την διάκριση του από συγγενικά παρόμοια χαρακτηριστικά (σιτάρι / αραβόσιτο)

Εφαρμογή τηλεπισκόπησης Video

Μία λιγότερη κοινή εφαρμογή τηλεπισκόπησης σε επιστημονικά πλαίσια είναι μέσω της καταγραφής βίντεο. Οι πληροφορίες που συλλέγονται δεν θεωρούνται ολοκληρωμένες, ωστόσο χρησιμεύουν ως μια εισαγωγή στις εναλλακτικές πηγές απεικόνισης. Παρόλο που οι βίντεο-κάμερες έχουν χωρική ανάλυση με λιγότερη λεπτομέρεια σε σχέση με την παραδοσιακή φωτογραφία ή την ψηφιακή απεικόνιση, παρέχουν ένα χρήσιμο μέσο για την απόκτηση έγκαιρης και ανέξοδης συλλογής δεδομένων καθώς και εικόνες σχολιασμένες φωνητικά. Η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης μέσω video είναι ικανή να καταγράψει πλημμυρικά φαινόμενα συμβάλλοντας στη διαχείριση των φυσικών καταστροφών καθώς και στον έλεγχο των περιβαλλοντικών κινδύνων. Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση ακτινοβολίας και εγγραφή σε βίντεο στο ορατό, στο εγγύς-υπέρυθρο και ενίοτε στα μέσα-υπέρυθρα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα δεδομένα εικόνας καταγράφονται σε κασέτα και μπορούν να προβληθούν αμέσως (Ποϊραζίδης Κ. et al., 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της ΔΕ βασίστηκε σε μεθόδους βαθμονόμησης και στατιστικές μεθόδους. Συγκεκριμένα για το πρώτο μοντέλο, με βάση την ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία βαθμονομήθηκαν οι κλάσεις των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν και στην συνέχεια με την χρήση κατάλληλης χωρικής διεργασίας αποτυπώθηκε η πλημμυρική επιδεκτικότητα. Για το δεύτερο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης (Logistic Regression) όπου υπολογιστήκαν οι συντελεστές της κάθε παραμέτρου και που στην συνέχεια μέσω της ίδιας χωρικής διεργασίας, αποτυπώθηκε και σε αυτή την περίπτωση η πλημμυρική επιδεκτικότητα. Επιπρόσθετα έγινε σύγκριση των δύο μοντέλων με σκοπό τη διαπίστωση της αποτελεσματικότητάς τους, ενώ με βάση τα αποτελέσματα αποτυπώθηκε η τομή, η περιοχή ταύτισης των δύο μοντέλων.

Σε ότι αφορά την μεθοδολογική προσέγγιση, δύναται να χωριστεί σε 2 διακριτά στάδια, τα οποία επιμερίζονται σε επιπλέον φάσεις: α) το στάδιο προετοιμασίας και επεξεργασίας των δεδομένων και β) το στάδιο εφαρμογής και επαλήθευσης του μοντέλου.

4.1 Α' Στάδιο - Προετοιμασία και επεξεργασία δεδομένων.

Στο Α' στάδιο, διακρίνονται τέσσερις επιμέρους φάσεις:

1. Συλλογή δεδομένων
2. Διαμόρφωση των θεματικών επιπέδων πληροφορίας (Θ.Ε.Π.) και των σχετικών κλάσεων-κατηγοριών
3. Βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παραμέτρου με βάση την επίδραση τους στην πλημμυρική επιδεκτικότητα (expert knowledge – γνώση ειδικού)
4. Διαμόρφωση των βάσεων εκπαίδευσης και ελέγχου-επαλήθευσης

4.1.1 Συλλογή δεδομένων

Περιλαμβάνει την συλλογή κάθε είδους πληροφορίας σχετικής με την περιοχή έρευνας, γεωλογία, τεκτονική, σεισμική δραστηριότητα, γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, κλιματικά δεδομένα, πλημμυρικά φαινόμενα, κ.α.. Πηγές πληροφόρησης σε ότι αφορά τα χαρτογραφικά δεδομένα αποτέλεσαν: το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε) και οι εξής γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 (Νεμέας και Κορίνθου), ο διαδικτυακός ιστοτόπος, <http://download.geofabrik.de/>, από τον οποίον πάρθηκαν δεδομένα για τη χωρική διασπορά του οδικού δικτύου, ο διαδικτυακός ιστοτόπος,

<http://www.opendem.info/>, ο οποίος παρέχει δεδομένα ισοΰψων καμπυλών ανά 30 μέτρα μέσω των οποίων είναι εφικτή η δημιουργία Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους και το Ελληνικό Κτηματολόγιο για την παροχή δεδομένων χρήσης γης.

Για τα δεδομένα των πλημμυρών αξιοποιήθηκαν προηγούμενες, ιστορικές πλημμύρες (7 σημειακές αναφορές), η μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (Σ.Δ.Κ.Π. – Υδατικού διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου 2017) που αφορά τη συμμόρφωση της χώρας στην Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ (100 σημειακές αναφορές), καθώς και αποτελέσματα της επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων περιόδου 2015-2017 για την περιοχή έρευνας (NASA GSFC Flood Mapping Project) (16 σημειακές αναφορές).

Συγκεκριμένα, η σχετική μελέτη του υπουργείου οριοθετεί για την περιοχή έρευνας ζώνη δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας, περιγραφή της οποίας ακολουθεί, από την οποία με τη χρήση χωρικών εργαλείων της πλατφόρμας ArcGIS (Extract Random Points), δημιουργήθηκαν 100 σημεία τυχαίας κατανομής εντός των ζωνών αυτών (ESRI, 2013).

Προσδιορισμός Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ)

Για τον προσδιορισμό των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, στο άρθρο 5 παρ. 1 της Οδηγίας 2007/60 ΕΚ ορίζεται ότι: «Βάσει της προκαταρκτικής αξιολόγησης των κινδύνων πλημμύρας κατά το άρθρο 4, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή μονάδα διαχείρισης του άρθρου 3 παρ.2 β ή τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που βρίσκεται εντός του εδάφους τους, τα κράτη μέλη προσδιορίζουν τις περιοχές για τις οποίες συμπεραίνουν ότι υπάρχουν δυνητικοί σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή ότι είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα». Για κάθε Υδατικό Διαμέρισμα οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (APSF) ορίστηκαν συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των περιοχών όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα και των περιοχών με δυνητικά σημαντικές συνέπειες από μελλοντικές πλημμύρες, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις αναφορές των περιφερειακών φορέων και τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες.

Οι περιοχές όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα ορίστηκαν αυτές που ικανοποιούν έναν τουλάχιστον από τους δύο παρακάτω περιορισμούς:

- Βρίσκονται σε θέσεις προσχωματικών αποθέσεων
- Βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μικρότερη από 2%

Για την επιλογή των προσχωματικών περιοχών χρησιμοποιήθηκαν οι υδρολιθολογικοί χάρτες από τα Σχέδια Διαχείρισης του πρώην ΥΠ.ΑΝ. (νυν ΥΠ.ΑΝ.ΑΝ.Υ.ΜΕ.ΔΙ) [«Ανάπτυξη

Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων σε 13 Υδατικά Διαμερίσματα της Χώρας», ΥΠ.ΑΝ. 2008]. Για την επιλογή των περιοχών με κλίσεις μικρότερες από 2% χρησιμοποιήθηκαν τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (Digital Elevation Models, DEM) της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (ΕΤΥΜΠ) που διαθέτει η ΕΓΥ.

Προσδιορισμός δεδομένων που συλλέχθηκαν από δορυφορικές εικόνες

Το Εργαστήριο Υδρολογίας της NASA Goddard διαθέτει σχετική πλατφόρμα για την σχεδόν σε πραγματικό χρόνο απεικόνιση σε παγκόσμιο χάρτη πλημμυρικών συμβάντων χρησιμοποιώντας τους διαθέσιμους πόρους δορυφορικών δεδομένων του οργάνου MODIS, των δορυφόρων Terra και Aqua. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι καταγράφουν όλη την έκταση της γήινης επιφάνειας το πολύ δύο φορές την ημέρα, με γεωμετρική διακριτική ικανότητα που ξεκινά στα 250m και φτάνει έως το 1km. Οι δέκτες MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχουν μετρήσεις με υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα σε 36 διαφορετικά κανάλια, δηλαδή σε 36 διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Πέρα από τα ορατά κανάλια (μπλε, πράσινο, κόκκινο) τα οποία δίνουν τη δυνατότητα για σύνθεση φυσικών έγχρωμων τηλεσκοπικών απεικονίσεων, υπάρχουν κανάλια στο υπέρυθρο φάσμα, μέσω των οποίων γίνεται ανίχνευση και καταγραφή της βλάστησης καθώς και υδάτινων όγκων. Παράλληλα υπάρχουν στο θερμικό υπέρυθρο με τα οποία γίνεται καταγραφή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης, της ατμόσφαιράς της και των ωκεανών (Α. Τζώτσος, Δ. Αργιαλάς - Σύγχρονες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση, καταγραφή, αποτίμηση πυρκαγιών και προστασία των πληγέντων περιοχών). Για την ανίχνευση των υδάτινων όγκων ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα κανάλια 1, 2 και 7. Τα διαθέσιμα προϊόντα αφορούν την παγκόσμια κάλυψη σε καθημερινή βάση σε ανάλυση περίπου 250m. Διαθέτει τα δεδομένα σε μορφή, εικόνας, geotiff και αρχείων shapefile.

Στην παρούσα ΔΕ χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα shapefile τις περιόδου 09/2016-12/2018, όπου αποτυπώνονται 16 σημειακές αναφορές. Τελικά το σύνολο των δεδομένων που αφορούν πλημμυρικά συμβάντα, έφτασε τον αριθμό των 123.

4.1.2 Διαμόρφωση των Θ.Ε.Π. και των σχετικών κλάσεων-κατηγοριών.

Σε αυτήν την επιμέρους φάση, με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, διαμορφώνονται τα Θεματικά Επίπεδα Πληροφορίας (Θ.Ε.Π.) που αφορούν τις μεταβλητές – παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία των μοντέλων. Επιπλέον στην φάση αυτή θα δημιουργηθούν οι σχετικές κλάσεις-κατηγορίες για κάθε επιμέρους Θ.Ε.Π.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αξιοποιηθούν δεδομένα που αφορούν την γεωλογία, το υδρογραφικό δίκτυο, το υψόμετρο, την κλίση του εδάφους, την καμπυλότητα κατά την διεύθυνση της κλίσης, την καμπυλότητα κάθετα στην διεύθυνση της κλίσης, τον τοπογραφικό δείκτη υγρασίας και τον ρυθμό κατεΐσδυσης.

Σε ότι αφορά τα υπόλοιπα Θ.Ε.Π., διαμορφώνονται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και την χρήση χωρικών συναρτήσεων που βρίσκονται εντός της λειτουργίας Surface, του εργαλείου Spatial Analyst Tool. Συγκεκριμένα, δημιουργούνται: το Θ.Ε.Π. των μορφολογικών κλίσεων από την υπορουτίνα Slope, το Θ.Ε.Π. της καμπυλότητας κατά της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων καθώς και το Θ.Ε.Π. της καμπυλότητας κάθετα στη διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων, από την υπορουτίνα Curvature. Τέλος, ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, εκτιμάται από την υπορουτίνα Compound Topographic Index, της λειτουργίας Temperature and Moisture, του εργαλείου Geomorphometry and Gradient Metrics (ESRI, 2013).

Σε κάθε περίπτωση, η διαμόρφωση των κλάσεων - κατηγοριών γίνεται είτε με την χρήση χωρικών μεθόδων κατηγοριοποίησης, όπως είναι η μέθοδος των φυσικών διαστημάτων-ορίων, Natural Breaks, είτε λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της περιοχής έρευνας και τη δημιουργία κλάσεων που έχουν φυσικό νόημα. Για την δημιουργία των νέων αρχείων raster γίνεται χρήση της υπορουτίνας Reclassify, της λειτουργίας Reclass που βρίσκεται εντός του εργαλείου Spatial Analysis Tools (ESRI, 2013).

4.1.3 Βαθμονόμηση των κλάσεων κάθε παραμέτρου με βάση την επίδραση τους στην πλημμυρική επιδεκτικότητα

Για τη βαθμονόμηση των νέων αρχείων raster έγινε διαμόρφωση με βάση την επιρροή τους στην πλημμυρική επιδεκτικότητα (βιβλιογραφική επισκόπηση). Έγινε απλή κατάταξη των κλάσεων με βάση μια αριθμητική κλίμακα που ξεκινά από την μονάδα και αυξάνεται κατά μια μονάδα μέχρι το πέρας των κλάσεων. Στην συνέχεια οι τιμές που προέκυψαν

κανονικοποιήθηκαν και οι νέες τιμές έχουν εύρος από 0.1 έως 0.9, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

$$\left(\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}\right) * (x_{newmax} - x_{newmin}) + (x_{newmin})$$

Οι μεγαλύτερες τιμές αποτυπώνουν και μεγαλύτερη επιρροή.

4.1.4 Διαμόρφωση των βάσεων εκπαίδευσης και ελέγχου-επαλήθευσης

Στην επιμέρους αυτή φάση, δημιουργείται και το αρχείο όπου καταχωρούνται οι θέσεις καταγεγραμμένων πλημμυρικών συμβάντων (που δηλώνονται με το αναγνωριστικό “1”) καθώς επίσης και θέσεων όπου θεωρούνται θέσεις με μικρή πιθανότητα πλημμύρας (που δηλώνονται με το αναγνωριστικό “0”). Ο αριθμός των περιοχών που έχουν μικρή πιθανότητα πλημμύρας ισούται με τον αριθμό των καταγεγραμμένων πλημμυρικών συμβάντων, για την αποφυγή φαινομένων μεγαλύτερης επιρροής ενός αποτελέσματος έναντι του άλλου κατά την διαδικασία εκπαίδευσης του μοντέλου.

Για τη διαμόρφωση των δύο υποσυνόλων εκπαίδευσης (training) – ελέγχου (test) έγινε μέσω της λειτουργίας SubSet Features του εργαλείου Geostatistical analysis, διαμορφώθηκαν δηλαδή ένα αρχείο training με το 70% των συνολικών δεδομένων και το υπόλοιπο για την επαλήθευση – test. (ESRI, 2013)

Με τη χρήση της υπορουτίνας, Extract Multi Values to Points, που βρίσκεται εντός του εργαλείου Spatial Analyst Tools και της λειτουργίας Extraction, προκύπτει ένα νέο αρχείο καταγραφής πλημμυρικών συμβάντων αλλά και θέσεων μικρής πιθανότητας πλημμύρας με επιρόσθετες πληροφορίες που αφορούν όλα τα Θ.Ε.Π., Το πλήθος των δεδομένων που θα απαρτίζουν τα δυο υποσύνολα καθορίζεται από τον χρήστη και η επιλογή επιτυγχάνεται μέσα από την εκτέλεση σχετικού αλγορίθμου που εξασφαλίζει την τυχαιότητα της επιλογής. Στην συνέχεια τα αρχεία αυτά εξάγονται με την μορφή πίνακα dBase Table, όπου με την βοήθεια του λογισμικού EXCEL, μετατρέπονται σε αρχείο comma-separated values (csv), ώστε να είναι εφικτή η εισαγωγή τους στο Rstudio (για την εύρεση των συντελεστών βαρύτητας μοντέλου της Λογιστικής Παλινδρόμησης) για την περαιτέρω ανάλυση.

4.2 Β' στάδιο - Στάδιο εφαρμογής και επαλήθευσης του μοντέλου

Στο Β' στάδιο, διακρίνονται 3 επιμέρους φάσεις:

1. Η φάση της εφαρμογής της μεθόδου λογιστικής παλινδρόμησης και της εκτίμησης των σχετικών συντελεστών για κάθε παράμετρο
2. Η φάση της δημιουργίας των χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας και
3. Η φάση της επαλήθευσης της προγνωστικής απόδοσης μέσα από την χρήση καμπυλών ROC και την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας των πλημμυρικών συμβάντων σε σχέση με τις ζώνες πλημμυρικής επιδεκτικότητας.

4.2.1 Επιμέρους φάση εφαρμογής της μεθόδου Λογιστικής Παλινδρόμησης:

Η εκτίμηση των συντελεστών των κλάσεων κάθε παραμέτρου, πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου Logistic Regression.

Η Λογιστική Παλινδρόμηση αποτελεί μια μέθοδο πολύ-παραγοντικής στατιστικής ανάλυσης, όπου χρησιμοποιείται ένα σύνολο ανεξάρτητων μεταβλητών (dependent variable) για να διερευνηθεί μια εξαρτημένη μεταβλητή (independent variable). Βασίζεται στην αρχή της ανάλυσης του προβλήματος όπου το αποτέλεσμα υπολογίζεται από παραμέτρους που αποτελούν δίτιμες μεταβλητές που μπορούν να λάβουν τιμές όπως 0 και 1 ή σωστό και λάθος (Menard, 1995). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κατηγορηματική (ναι ή όχι, παρουσία ή απουσία) και η ανεξάρτητη μπορεί να είναι κατηγορηματική, αριθμητική ή και τα δύο (Agresti, 2003). Στην περίπτωση μελέτης της πλημμυρικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής, ο στόχος της Λογιστικής Παλινδρόμησης είναι η πρόβλεψη της ύπαρξης ή μη ενός τέτοιου συμβάντος.

Γενικά, περιλαμβάνει την προσπάθεια προσαρμογής της εξαρτημένης μεταβλητής χρησιμοποιώντας μια εξίσωση της μορφής:

$$Y = \text{Logit}(p) = \ln(p/1 - p) = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

όπου, p είναι η πιθανότητα η εξαρτημένη μεταβλητή Y να ισούται με τη μονάδα και C_0 , C_1 , C_n είναι οι συντελεστές βαρύτητας που αντιπροσωπεύουν την επιρροή της ανεξάρτητης μεταβλητής στην διαφοροποίηση της εξαρτημένης Y .

Το αρχείο csv που αφορά το αρχείο εκπαίδευσης, εισάγεται στο RStudio, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης της γλώσσας προγραμματισμού R) για την ανάπτυξη του μοντέλου της Λογιστικής Παλινδρόμησης. Για την υλοποίηση του μοντέλου εκτελείται η εντολή:

glm(formula, family = "", data = ""), όπου

formula	είναι στην μορφή: αποτέλεσμα ~ προγνωστική μεταβλητή_1 + προγνωστική μεταβλητή_2 + ... + κλπ.
data =	προσδιορίζει τη βάση δεδομένων εκπαίδευσης
family =	binomial(link='logit')

Για την προβολή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται η παρακάτω εντολή:

summary () αναλυτική προβολή των αποτελεσμάτων

Πιο συγκεκριμένα η παραπάνω εξίσωση στο πλαίσιο της ΔΕ, διαμορφώθηκε ως εξής:

- **modelLR <-glm(flood~., family=binomial(link='logit'), data=all_train)**
- **summary(modelLR)**, στο (Rstudio)

4.2.2 Επιμέρους φάση δημιουργίας χαρτών πλημμυρικής επιδεκτικότητας

Στην επιμέρους αυτή φάση, δημιουργείται ο χάρτης της πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Προκύπτει από την επίλυση της σχετικής εξίσωσης αξιοποιώντας τα σχετικά αρχεία (raster) με την χρήση της υπορουτίνας Raster Calculator.

Σε ότι αφορά τον υπολογισμό της πλημμυρικής επιδεκτικότητας για το μοντέλο fsi_expert_model γίνεται αλγεβρική χωρική πρόσθεση των επιμέρους παραμέτρων με την βοήθεια της υπορουτίνας Raster Calculator του εργαλείου Map Algebra (Spatial Analyst Tools), ενώ για το μοντέλο fsi_logistic_model, προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα του γινομένου των συντελεστών που προέκυψαν από την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης και των παραμέτρων, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$FSI = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_j w_{ij}$$

όπου, FSI: ο δείκτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας,

W_j , ο συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου j που προέκυψε από την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης,

w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i της παραμέτρου j που προέκυψε από την γνώση των ειδικών,

n : ο αριθμός των παραμέτρων,

m : ο αριθμός των κλάσεων κάθε παραμέτρου i .

Ο τελικός χάρτης ζωνοποιείται σε πέντε κατηγορίες με εφαρμογή της μεθόδου ταξινόμησης των φυσικών διαστημάτων-ορίων και την χρήση της υπορουτίνας Reclassify, της λειτουργίας Reclass που βρίσκεται εντός του εργαλείου Spatial Analysis Tools, για την διακριτή παρουσίαση της διαβάθμισης της περιοχής σε σχέση με τον δείκτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Συγκεκριμένα διαμορφώνεται, από την χαμηλότερη στην υψηλότερη κατηγορία οι ακόλουθες ζώνες: πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας, χαμηλής επιδεκτικότητας, μέτριας επιδεκτικότητας, υψηλής επιδεκτικότητας και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

4.2.3 Επιμέρους φάση εκτίμησης της προγνωστικής τους απόδοσης.

Στην επιμέρους αυτή φάση εκτιμάται η χωρική προγνωστική απόδοση του μοντέλου με την χρήση των Καμπυλών Λειτουργικού Χαρακτηριστικού Δείκτη (Receiver Operating Characteristic, ROC), της εκτίμησης της σχετικής πυκνότητας των πλημμυρικών συμβάντων σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν οι ζώνες πλημμυρικής επιδεκτικότητας καθώς και των πινάκων σύγχυσης.

Για την πρώτη εκτίμηση που έχει να κάνει με την χωρική απόδοση του μοντέλου, θα αξιοποιηθούν η βάση εκπαίδευσης καθώς και η βάση ελέγχου-επαλήθευσης. Αξιοποιώντας την βάση εκπαίδευσης, εκτιμάται η απόδοση του μοντέλου να μαθαίνει, ενώ αξιοποιώντας την βάση ελέγχου-εκπαίδευσης εκτιμάται η προγνωστική απόδοση του μοντέλου.

Μέσω της δεύτερης εκτίμησης, της σχετικής πυκνότητας πλημμυρικών συμβάντων σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν οι ζώνες πλημμυρικής επιδεκτικότητας, καθορίζεται η ποιότητα του μοντέλου.

Για την εκτίμηση της απόδοσης του μοντέλου πρόβλεψης, διαμορφώνεται ένας πίνακας σύγχυσης, *confusion matrix*, που περιέχει πληροφορίες σχετικά με την πραγματική και την

προβλεπόμενη ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε από τα μοντέλα και αφορούσε τις καταγραφές του υποσυνόλου ελέγχου, **Test set (Πίνακας 4.1)**.

		Προβλεπόμενη Κατάσταση	
		Ασταθές	Σταθερό
Πραγματική Κατάσταση	Ασταθές	Αληθώς θετικό (TP)	Ψευδώς αρνητικό (FN)
	Σταθερό	Ψευδώς θετικό (FP)	Αληθώς αρνητικό (TN)

Πίνακας 4.1 Πίνακας Σύγχυσης, Confusion Matrix.

Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
Αληθώς θετικό (<i>True Positive TP</i>):	το συμβάν εκτιμάται ότι ανήκει στην κατηγορία C _j και πράγματι ανήκει σε αυτήν
Ψευδώς θετικό (<i>False Positive FP</i>):	το συμβάν εκτιμάται ότι ανήκει στην κατηγορία C _j ενώ στην πραγματικότητα δεν ανήκει σε αυτήν
Αληθώς αρνητικό (<i>True Negative TN</i>):	το συμβάν εκτιμάται ότι δεν ανήκει στην κατηγορία C _j και πράγματι δεν ανήκει σε αυτήν
Ψευδώς αρνητικό (<i>False Negative FN</i>):	το συμβάν εκτιμάται ότι δεν ανήκει στην κατηγορία C _j ενώ στην πραγματικότητα ανήκει σε αυτήν

Πίνακας 4.1.2 Πίνακας Σύγχυσης

Η αξιολόγηση του μοντέλου μάθησης και πρόβλεψης, γίνεται χρησιμοποιώντας μετρικές σχέσεις, όπως είναι η ακρίβεια, η *accuracy*, η οποία προκύπτει από τις τέσσερις (4) καταστάσεις όπου μπορεί να βρεθεί μια παρατήρηση.

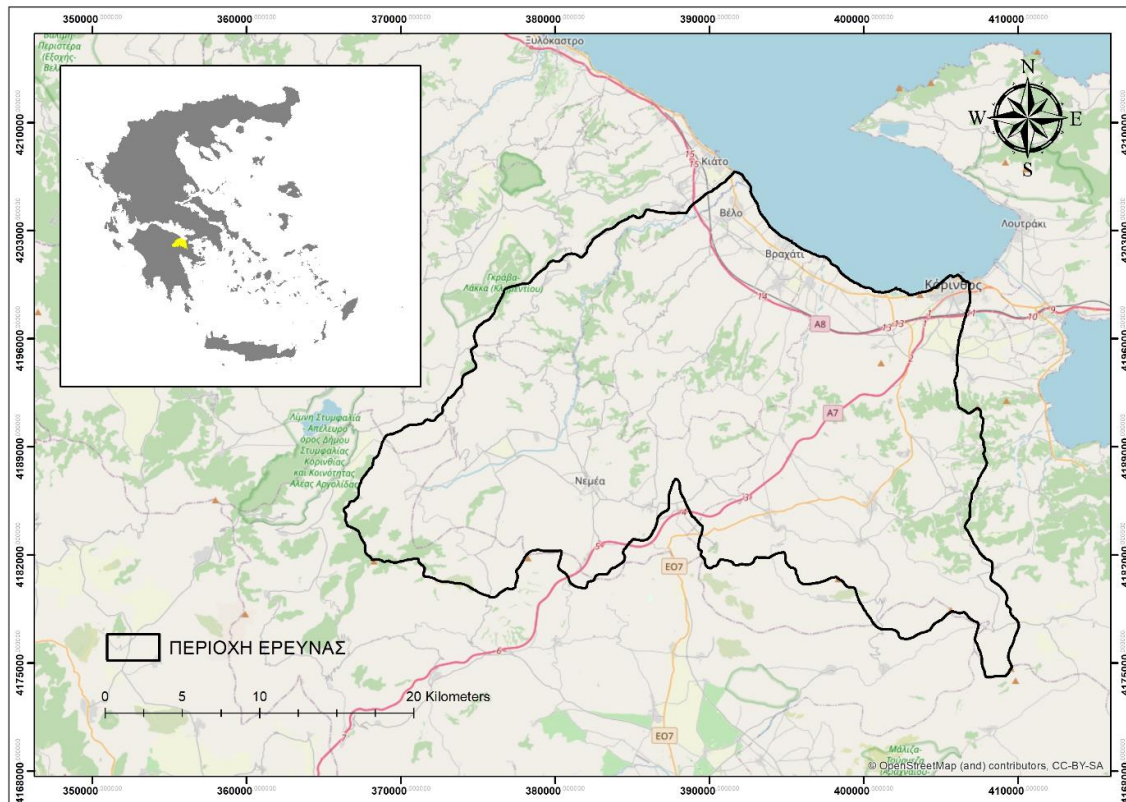
$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Οριοθέτηση της περιοχής

Η περιοχή που μελετήθηκε, εντοπίζεται στο ΒΑ τμήμα του νομού Κορινθίας και τα ανατολικά όριά της είναι από τον Ισθμό της Κορίνθου, τον Σαρωνικό κόλπο, έως και τον υδροκρίτη του χειμάρρου Ξεριά. Νότια και δυτικά η περιοχή οριοθετείται από τις υπόλοιπες υδρογεωλογικές λεκάνες ενώ βόρεια από τον Κορινθιακό κόλπο (**Εικόνα 5.1**).

Γεωγραφικά η περιοχή χωροθετήθηκε με βάση τα γεωλογικά, υδρολογικά και υδρογεωλογικά κριτήρια του εδάφους. Στο τμήμα της Κορινθίας που μελετήθηκε εντοπίζονται τρεις μεγάλες πεδιάδες, η παραθαλάσσια περιοχή μεταξύ Κορίνθου και Κιάτου, η περιοχή Αγίου Βασιλείου – Σπαθοβουνίου και η πεδινή περιοχή της Νεμέας. Το υπόλοιπο τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από λοφώδη-ημιορεινά πρηνή με μέτριες κλίσεις και σχετικά ομαλές απολήξεις κορυφογραμμών. Σύμφωνα με τον Αντωνάκο το 2012, το ανάγλυφο της περιοχής αλλάζει σημαντικά στο ΝΔ και ΝΑ άκρο. Εκεί παρατηρείται ορεινό ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις πρηνών και βαθιές χαραδρώσεις, λόγω των ανθρακικών σχηματισμών του προνεογενούς υποβάθρου.



Εικόνα 5.1 Χάρτης περιοχής έρευνας

5.2 Γεωλογία της περιοχής

Οι σχηματισμοί που φαίνεται να κυριαρχούν στην περιοχή όπου μελετήθηκε είναι του Προ-νεογενούς υποβάθρου αλλά και μεταλπικοί, χερσαίοι, λιμνοθαλάσσιοι και θαλάσσιοι.

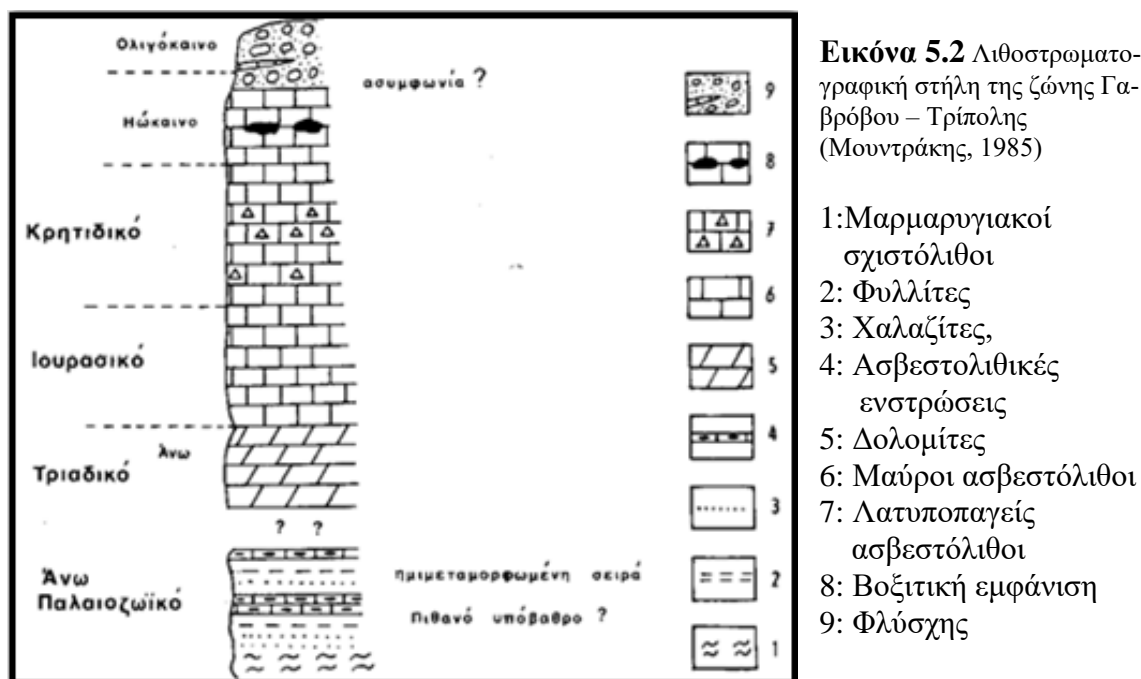
Οι διακριτές ζώνες στις οποίες χωρίζεται η περιοχή μελέτης είναι:

- Ζώνη Τριπόλεως
- Ζώνη Ωλονού - Πίνδου
- Υποπελαγονική Ζώνη
- Τεκτονική ζώνη Προνεογενούς υποβάθρου

Παρακάτω αναλύονται οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σε καθεμία από τις παραπάνω ζώνες:

Ζώνη Τριπόλεως

Στην ζώνη αυτή κυριαρχούν ανθρακικά ιζήματα και φλύσχης (**Εικόνα 5.2**). Το πάχος των ανθρακικών ιζημάτων υπερβαίνει τα 1000μ. Η χάραξη των ορίων είναι δύσκολη εξαιτίας της έλλειψης απολιθωματοφόρων οριζόντων, οι οποία μάλιστα καταστρέφονται συχνά.



Ακολουθούν οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες της ζώνης από κάτω προς τα πάνω.

- Μέσο – Άνω Τριαδικοί σχηματισμοί:

Δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι με πάχος από λίγα έως και εκατοντάδες μέτρα. Είναι ιζήματα ρηγής θάλασσας και αποτελούν τη βάση της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης. Η επαφή των σχηματισμών αυτών με το υπόβαθρό τους φαίνεται να είναι κατά κανόνα τεκτονισμένη, παρόλο που σε κάποιες θέσεις είναι σύμφωνη ή σε άλλες οι σχηματισμοί βρίσκονται με ασυμφωνία επίκλισης στα υποκείμενά τους στρώματα.

- Ιουρασικοί σχηματισμοί:

Στρώματα πάχους από 500 έως και περισσότερα από 1000 μέτρα, αποτελούμενα από νηριτικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστόλιθων

- Κρητιδικοί σχηματισμοί:

Ανθρακικά ιζήματα ρηγής θάλασσας, πάχους από 450 έως και περισσότερα από 1000 μέτρα. Στα ανώτερα στρώματα συχνά συναντώνται λατυποπαγείς – κλαστικοί ασβεστολιθικοί ορίζοντες, που πρέπει να αποδοθούν σε τεκτονική διαταραχή της περιοχής κατά το διάστημα αυτό.

- Παλαιοκαινικοί – Άνω Ηωκαινικοί σχηματισμοί:

Αποτελούν το ανώτερο τμήμα της ανθρακικής σειράς της ζώνης Γαβρόβου – Τρίπολης, είναι ιζήματα ρηγής θάλασσας, πάχους περίπου 300 μέτρα.

- Ιζήματα Φλύσχη:

Ο φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης παρουσιάζει συχνές λιθοφασικές αλλαγές, τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και κατά την οριζόντια. Σε κάποιες περιπτώσεις, αρχίζει με κροκαλοπαγή και χονδρόκοκκους ψαμμίτες που εξελίσσονται προς τα πάνω σε ψαμμίτες και αργιλικούς σχιστόλιθους, ενώ σε άλλες περιπτώσεις διαχωρίζεται σε δύο διαφορετικά λιθοφασικά τμήματα.

Ζώνη Ωλονού – Πίνδου

- Άνω Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι:

Ασβεστόλιθοι διαφόρων αποχρώσεων κυρίως σε τόνους λευκού, κίτρινου και ερυθρού. Είναι σημαντικά πτυχωμένοι και το σχήμα τους μπορεί να είναι πλακώδες έως λεπτοστρωματώδες με στρώσεις πυριτόλιθων. Στα μεσαία και στα ανώτερα τμήματα συναντώνται

παρεμβολές μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων και διαφόρων αποχρώσεων μάργες. Η εναλλαγή των μαργών με τους ασβεστόλιθους προσφέρει στεγανοποίηση των στρωμάτων.

- Φλύσσης:

Αποτελείται κυρίως από ψαμμίτες και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους ή μάργες με χαρακτηριστικό ένα ερυθροϊώδες χρώμα. Το πάχος του μαζί με τα στρώματα μετάβασης κυμαίνεται από 500μ έως και 1000μ.

Υποπελαγονική Ζώνη

Ο όρος Υποπελαγονική δόθηκε για να επισημανθεί η στενή σύνδεσή της με την Πελαγονική ζώνη. Τα πετρώματα του υποβάθρου που συναντώνται κυρίως, είναι γνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, αμφιβολίτες και παρεμβολές μαρμάρων.

Ο κυριότερος σχηματισμός της Υποπελαγονικής ζώνης είναι η σχιστοκερατολιθική διάπλαση, η οποία συνίσταται από λεπτόκοκκα ιζήματα δηλαδή κόκκινους, πράσινους, μαύρους αργιλικούς σχιστόλιθους, ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, μάργες, λεπτόκοκκους ψαμμίτες, πηλίτες, αργιλοπηλίτες, παρεμβολές λεπτόκοκκων πελαγικών ασβεστόλιθων. (Αντωνάκος 2012). Συχνά εντός της συναντώνται παρεμβολές από οφειολιθικά σώματα διαφόρων διαστάσεων και έτσι ονομάζεται «σχιστοκερατολιθική με οφειόλιθους διάπλαση».

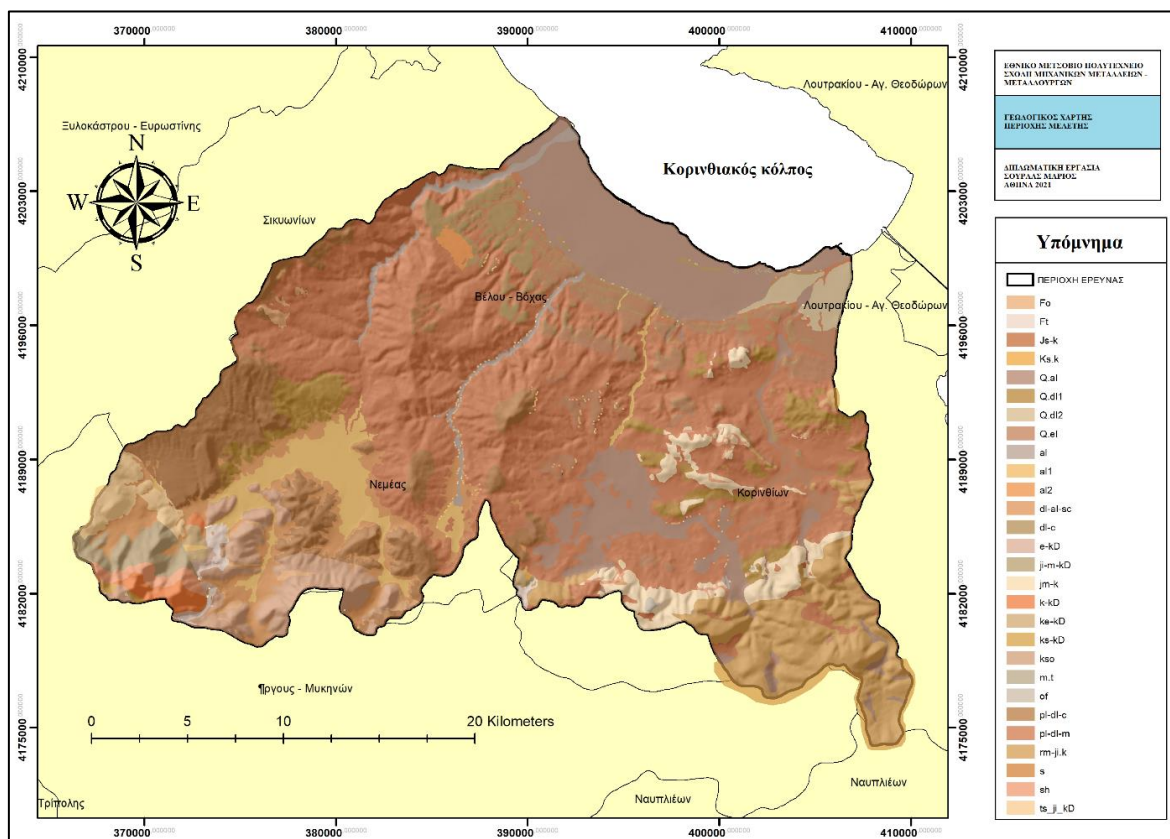
Οι οφειόλιθοι της περιοχής έρευνας βρίσκονται τεκτονικά τοποθετημένοι πάνω σε ανθρακικά πετρώματα που ονομάζονται πελαγικοί ή νηριτικοί ασβεστόλιθοι. Οι ασβεστόλιθοι του Ιουρασικού που συναντώνται, είναι κυρίως μαύροι και στο χρώμα της τέφρας. Το σχήμα τους είναι πλακώδες και συχνά εναλλάσσονται με αλληπάλληλες ενστρώσεις κερατολίθων, πηλιτών και πυριτικών μαργών.

Τεκτονική Προνεογενούς υποβάθρου

Για την ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης σύμφωνα με τον Αντωνάκο 2012, οι σχηματισμοί εμφανίζονται πτυχωμένοι σε ανοιχτές πτυχές με άξονες γενικής διεύθυνσης. Χαρακτηριστικές δομές αντικλίνων παρατηρούνται στους σχηματισμούς του φλύσση, στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας.

Για την ζώνη Ωλονού – Πίνδου τα ιζήματα είναι έντονα πτυχωμένα και λεπιωμένα λόγω της πλαστικότητας που τα χαρακτηρίζει. Η πλαστικότητα είναι αποτέλεσμα του σχετικά μικρού πάχους ενώ η λεπίωση οφείλεται στην ύπαρξη επίπεδων εσωτερικών ολισθήσεων. Οι άξονες των πτυχώσεων, όπως και τα μέτωπα των επωθήσεων μεταξύ των λεπίων, έχουν διεύθυνση

ΒΔ-ΝΑ. Παρά τις έντονες πτυχώσεις, οι σχηματισμοί της Υποελαγωνικής ζώνης δεν εμφανίζουν την λεπιοειδή δομή της ζώνης της Πίνδου, ενώ οι μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες με διεύθυνση Α-Δ είναι το κυριότερο τεκτονικό τους χαρακτηριστικό. (Αντωνάκος 2012)



Εικόνα 5.3 Χάρτης γεωλογίας περιοχής μελέτης

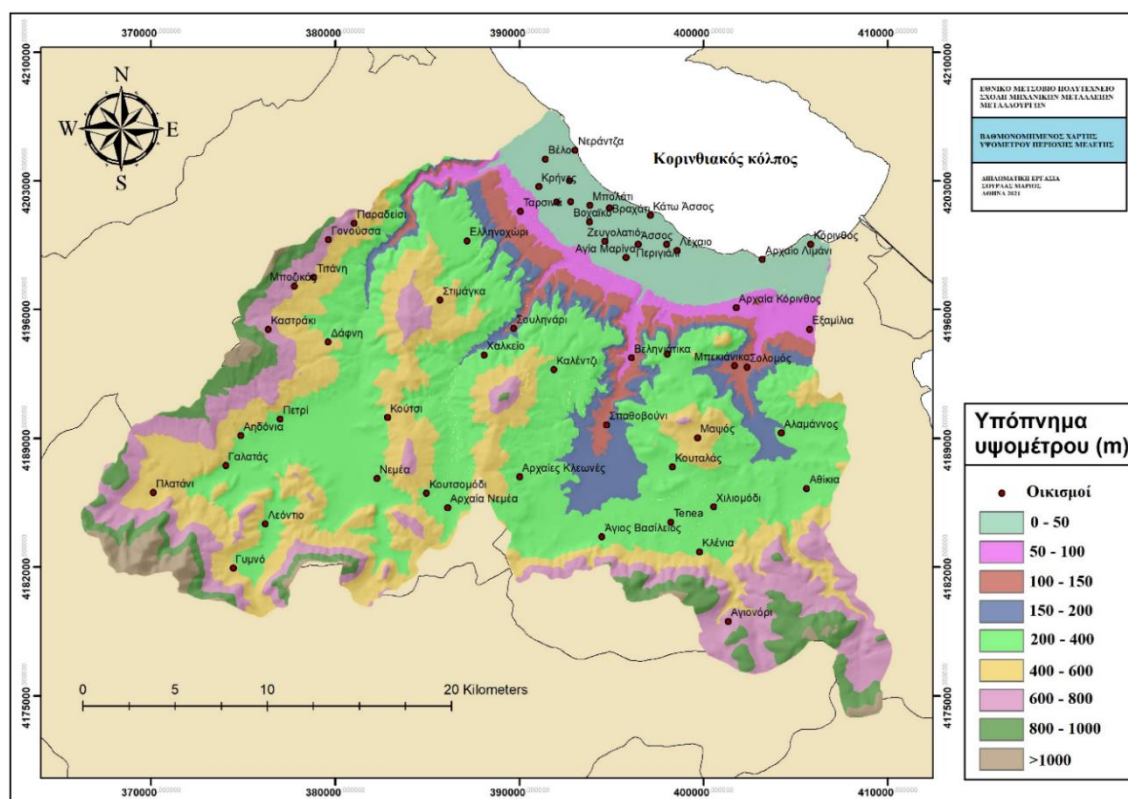
5.3 Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής έρευνας

Το ανάγλυφο της περιοχής χαρακτηρίζεται σχετικά ήπιο στο μεγαλύτερο εύρος του, με εξαίρεση της νότιας παρυφής της αλλά και συγκεκριμένες τοπογραφικές εξάρσεις όπως της Ακροκορίνθου, του Κουταλά-Μαπού και των Ονείων. Σύμφωνα με τον Αντωνάκο (2012) οι εξάρσεις αυτές οφείλονται στην αποκάλυψη του προνεογενούς υποβάθρου λόγω τεκτονικής. Λόγω της ποτάμιας και αιολικής διαβρωτικής δράσης ορισμένα πρηνή του σχηματισμού των μαργών έχουν αποκτήσει σχεδόν κατακόρυφη κλίση. Ο χαρακτηρισμός του αναγλύφου ως «ήπιο» από τον Αντωνάκο προκύπτει από τη σύγκριση του μέσου υψομέτρου και της κλίσης που ανέρχονται στα 376μ και 20,7% (11,2 μοίρες) αντίστοιχα, με αντίστοιχες τιμές για άλλες περιοχές με παρεμφερή χαρακτηριστικά όπως η ΒΑ Αχαΐα.

Η γεωμορφολογική εικόνα μιας περιοχής είναι συνδυασμός πολλών παραμέτρων, σημαντικότερες εκ των οποίων είναι:

- Η γεωλογία
- Η τεκτονική
- Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά
- Οι χρήσεις γης

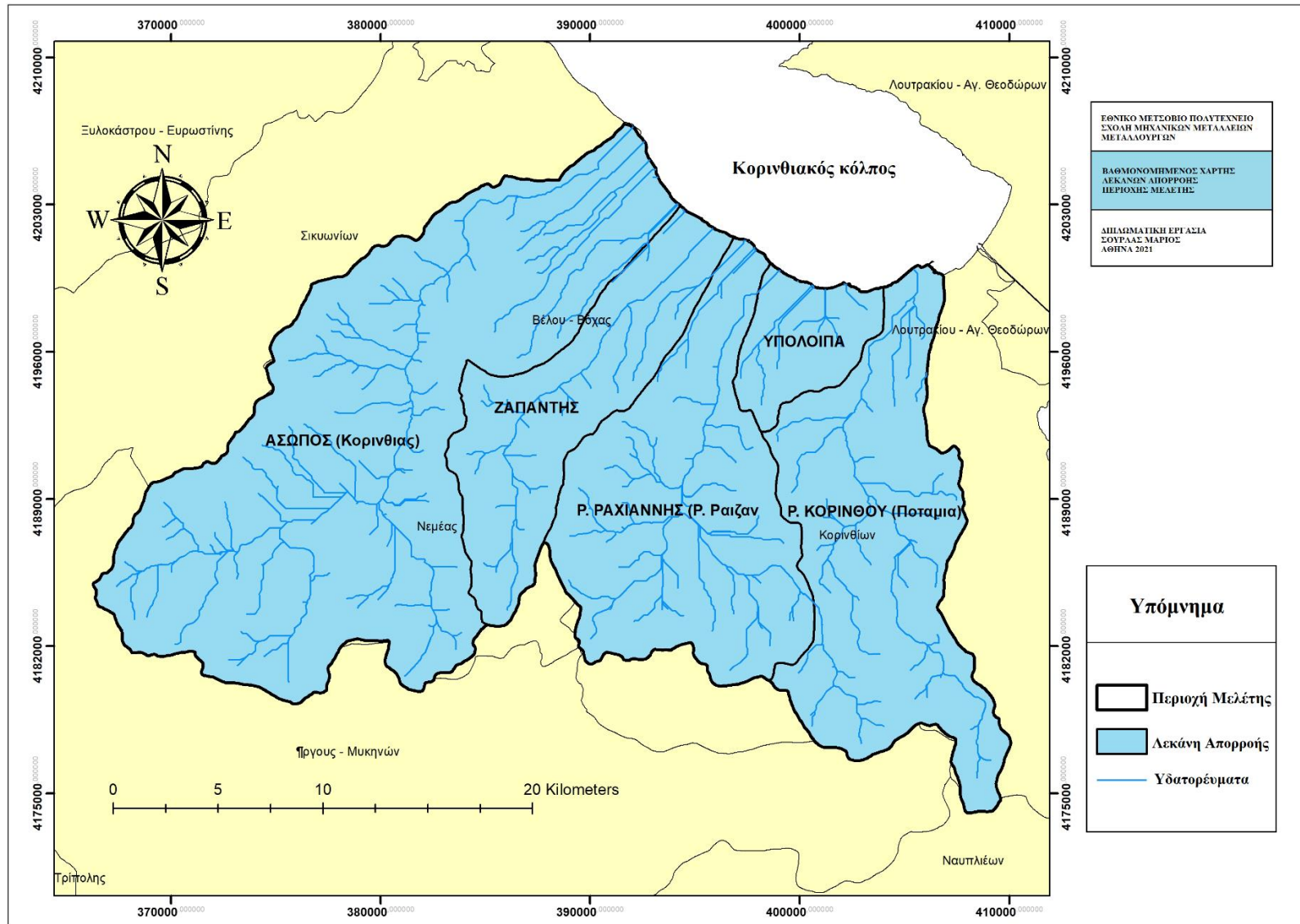
Στην περιοχή που μελετήθηκε η τεκτονική δραστηριότητα κυριαρχεί στην διαμόρφωση της γεωμορφολογίας. Πιο συγκεκριμένα, η ισοστατική ανύψωση που υφίσταται το νότιο τμήμα της κορινθιακής τάφρου και η συνακόλουθη δημιουργία και δράση των κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και των κάθετων ρηγμάτων μετασχηματισμού σε αυτά, έχουν επιδράσει στην διαμόρφωση του αναγλύφου και στην ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου (Αντωνάκος 2012).



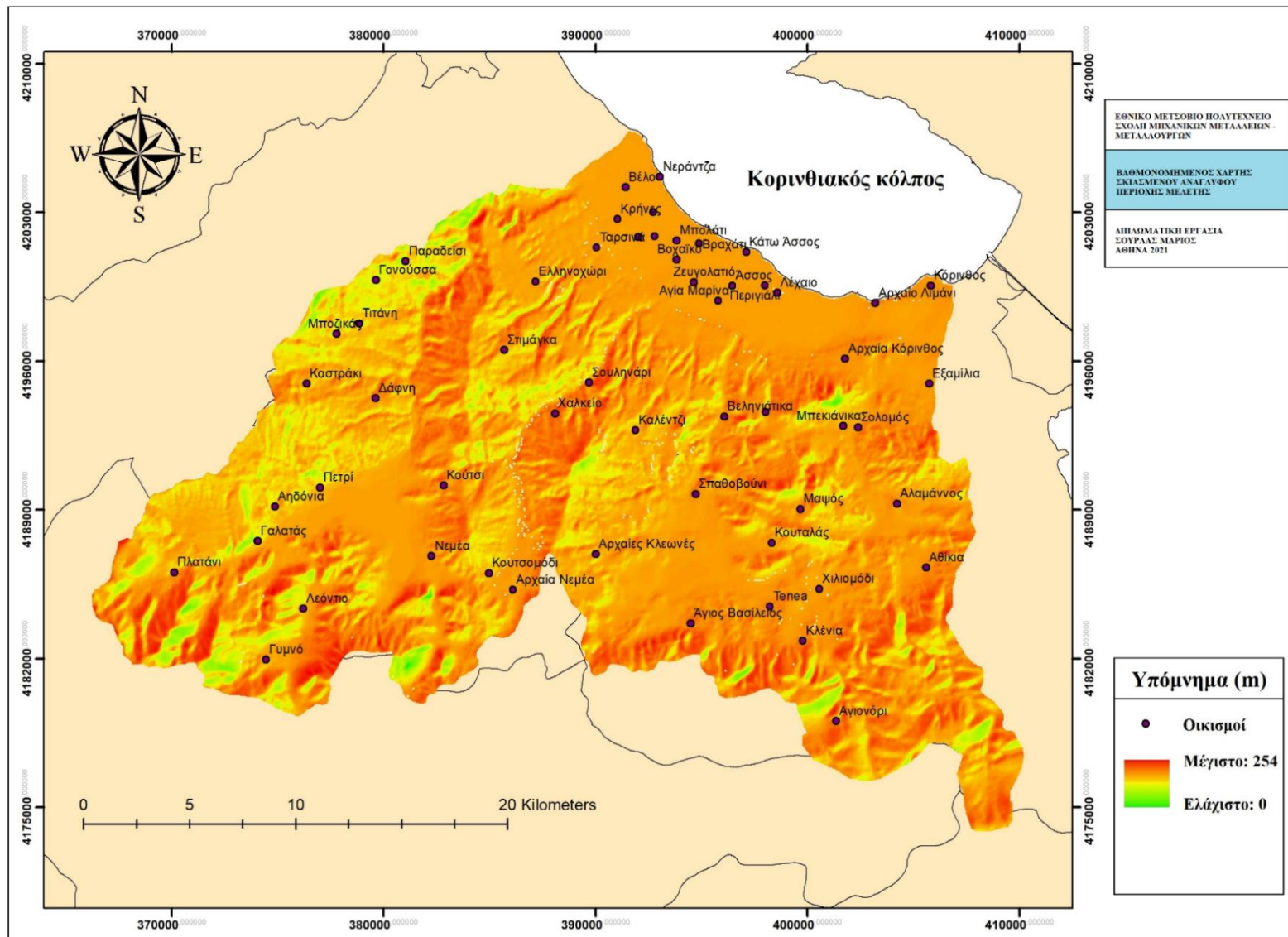
Εικόνα 5.4 Χάρτης υψομέτρου περιοχής μελέτης

Σύμφωνα με τον Zelilidis (2000) το νότιο τμήμα της Κορινθιακής τάφρου έχει ανυψωθεί σημαντικά σε ένα εύρος που κυμαίνεται από 600 έως και 1700 μέτρα ενώ συνεχίζει να ανυψώνεται κατά 0,3mm/έτος (Dia, Cohen, and Jackson 1997)

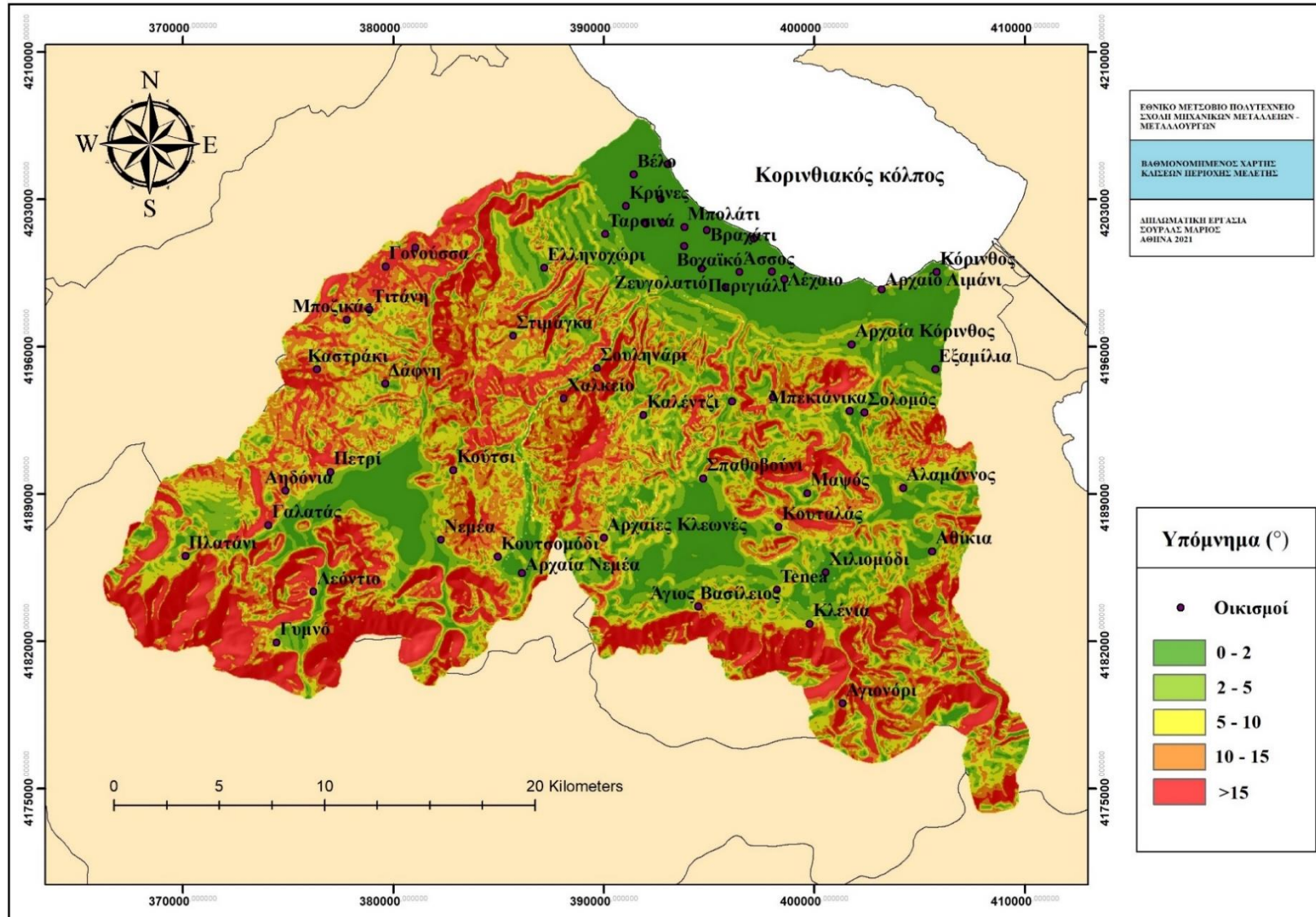
Η κύρια γεωμορφολογική ενότητα μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μορφομετρική ανάλυση μιας περιοχής είναι η λεκάνη απορροής ποταμού ή υδρολογική λεκάνη. Η ευρύτερη περιοχή έρευνας περιλαμβάνει 7 κύριες και 5 δευτερεύουσες λεκάνες απορροής (μεσολεκάνες περιοχές) οι οποίες παρουσιάζονται στον χάρτη λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας.



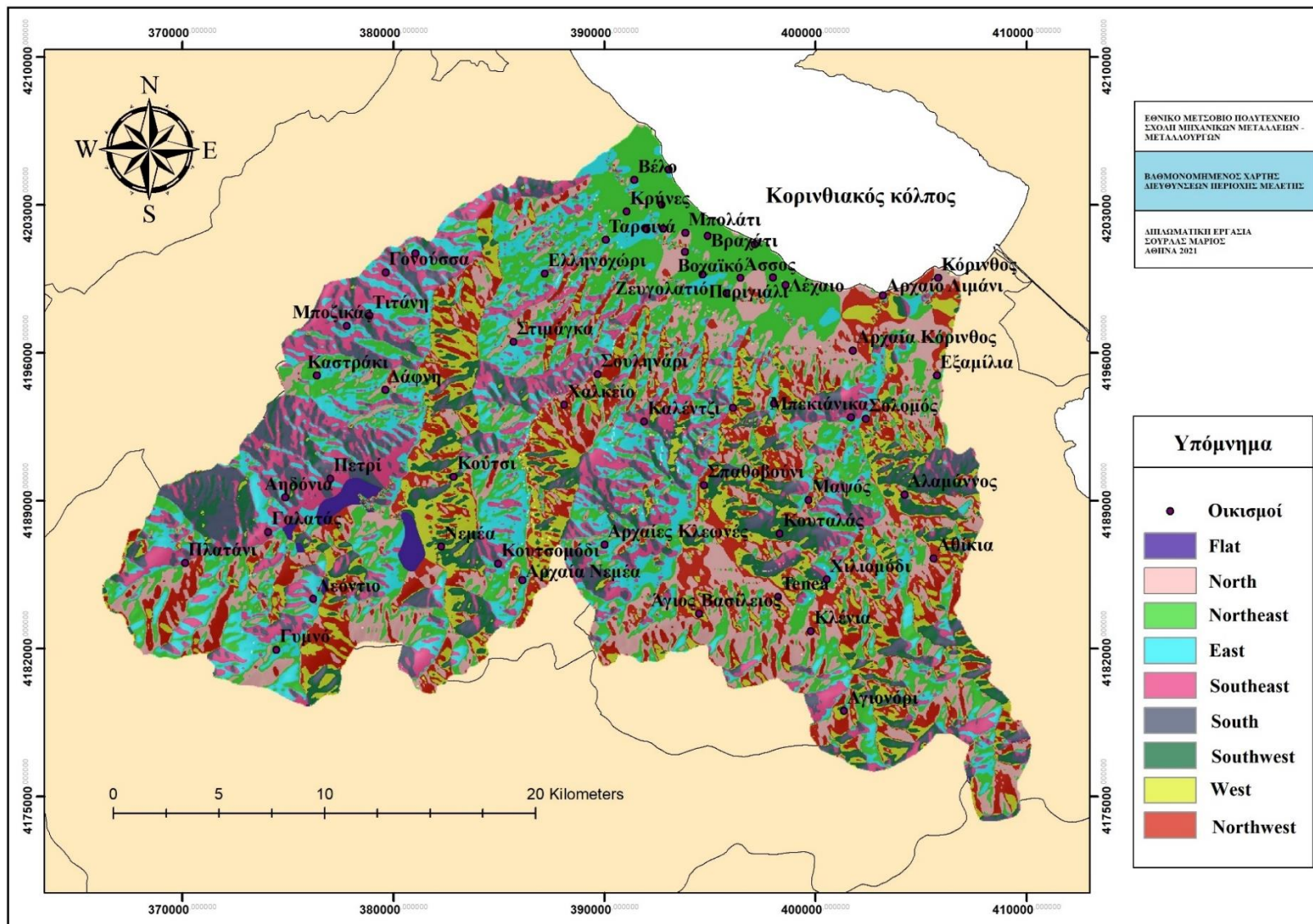
Εικόνα 5.5 Χάρτης λεκανών απορροής περιοχής μελέτης



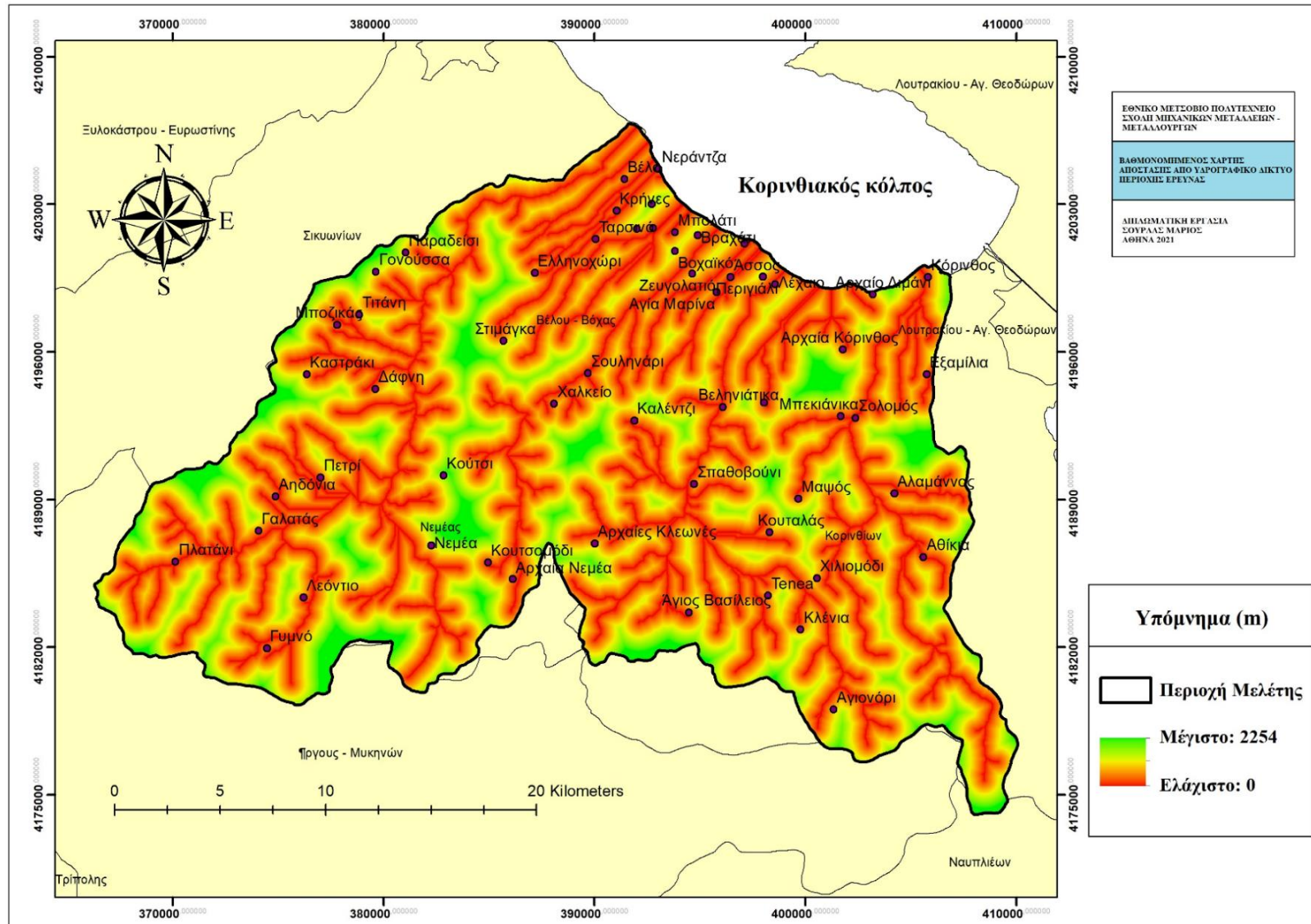
Εικόνα 5.6 Βαθμονομημένος χάρτης σκιασμένου αναγλύφου περιοχής μελέτης



Εικόνα 5.7 Βαθμονομημένος χάρτης κλίσεων περιοχής μελέτης



Εικόνα 5.8 Βαθμονομημένος χάρτης διευθύνσεων περιοχής μελέτης



Εικόνα 5.9 Χάρτης απόστασης από το υδρογραφικού δίκτυο

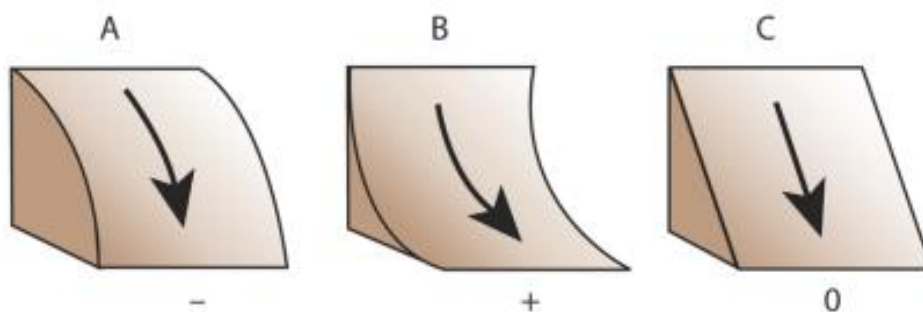
Καμπυλότητα (Curvature)

Στο πλαίσιο μελέτης της περιοχής, μελετήθηκε η καμπυλότητα της επιφάνειάς της. Πιο συγκεκριμένα η καμπυλότητα μιας περιοχής εκφράζει το σχήμα ή την καμπυλότητα της κλίσης. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούμε να αναγνωρίσουμε που ένα μέρος της επιφάνειας είναι κοίλο ή κυρτό. Στην υπόθεσή μας, χρησιμεύει για να αποσπάσουμε πληροφορίες για την κατανομή του νερού στη γη αλλά και τη ροή του.

Όπως θα δούμε παρακάτω ο τύπος της καμπυλότητας αναδεικνύει διαφορετικές πτυχές του σχήματος της πλαγιάς, υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τύποι καμπυλότητας:

- Προφίλ (Profile)

Η συγκεκριμένη καμπυλότητα είναι παράλληλη με την κλίση και υποδηλώνει τη μέγιστη κατεύθυνσή της. Επηρεάζει την επιτάχυνση και την επιβράδυνση της ροής κατά μήκος της επιφάνειας. Οι αρνητικές τιμές (A) δείχνουν ότι η επιφάνεια είναι κυρτή προς τα πάνω, τότε η ροή επιβραδύνεται. Αντίστοιχα στις θετικές τιμές (B), η ροή επιταχύνεται και τότε η επιφάνεια είναι κοίλη προς τα πάνω. Η τιμή του μηδέν δείχνει ότι η επιφάνεια είναι γραμμική (C) (Εικόνα 5.10).

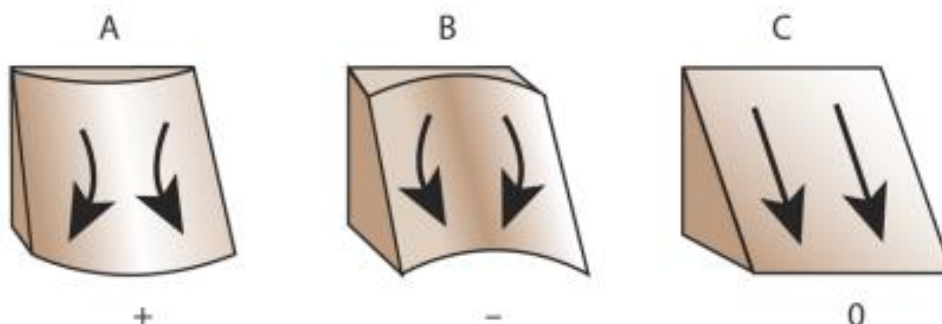


Εικόνα 5.10 Καμπυλότητα προφίλ (Profile curvature)

- Κάτοψη (Planform)

Η καμπυλότητα Planform είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της μέγιστης κλίσης. Αυτός ο τύπος καμπυλότητας σχετίζεται με τη σύγκλιση και την απόκλιση της ροής σε μια επιφάνεια. Στην περίπτωση των θετικών τιμών (A) η επιφάνεια είναι πλευρικά κυρτή ενώ αντίστοιχα

στις αρνητικές τιμές (B) η επιφάνεια είναι πλευρικά κοίλη. Η τιμή του μηδέν δείχνει ότι η επιφάνεια είναι γραμμική (C) (Εικόνα 5.11).

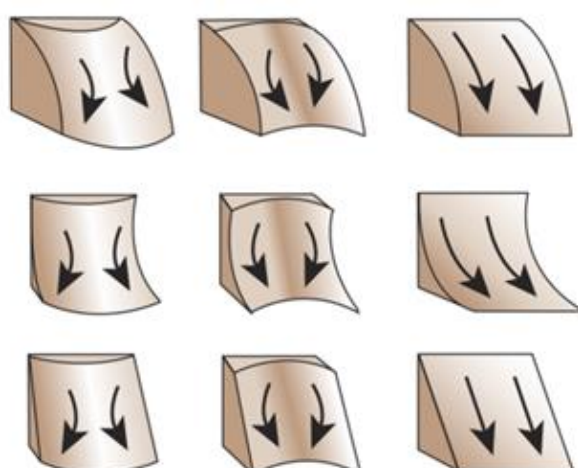


Εικόνα 5.11 Καμπυλότητα κάτοψης (Planform curvature)

- Πρότυπη καμπυλότητα (Standard Curvature)

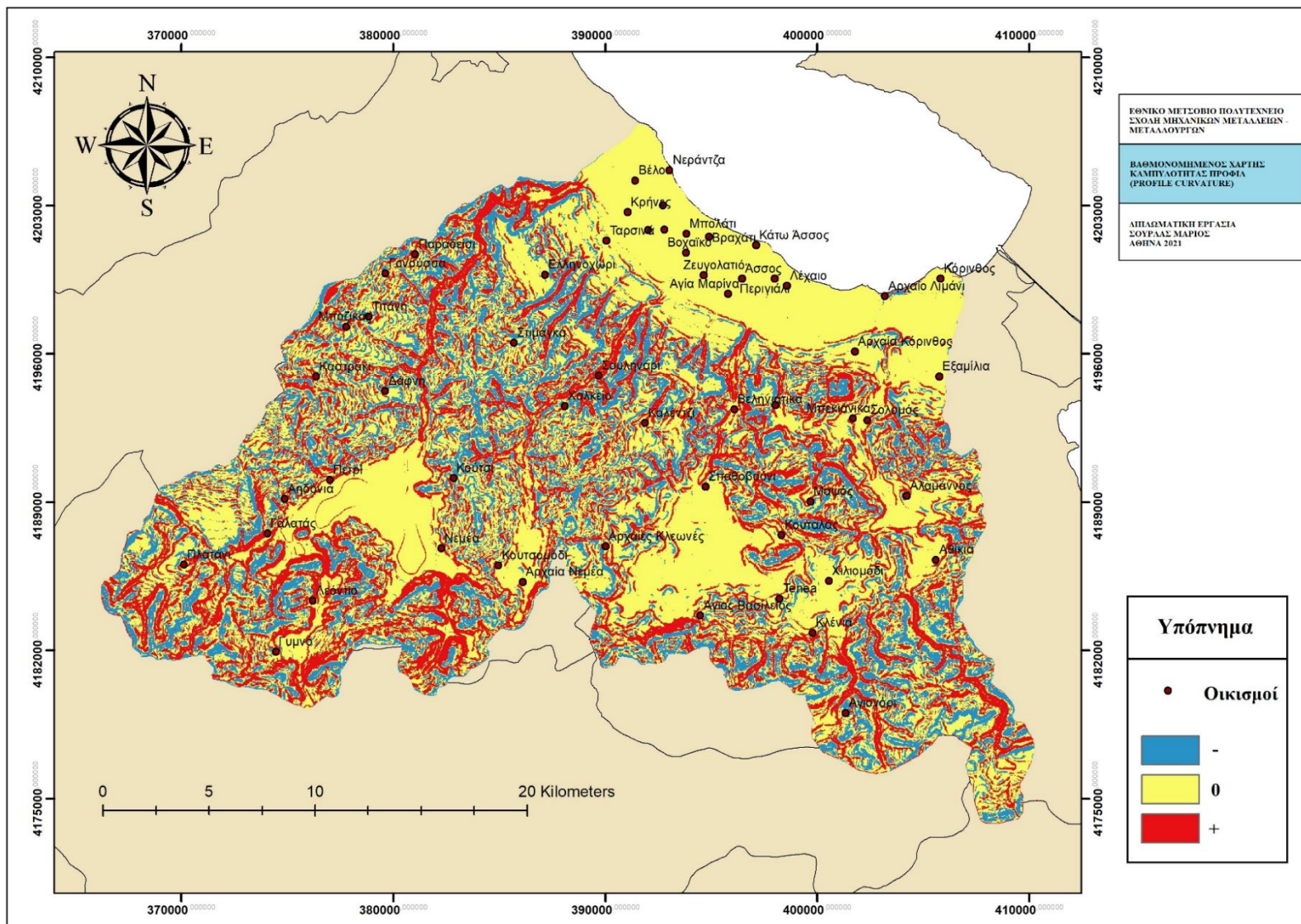
Η τυπική καμπυλότητα (Εικόνα 5.12) συνδυάζει και τους δύο παραπάνω τύπους με σκοπό την καλύτερη κατανόηση της ροής. Η καμπυλότητα του προφίλ επηρεάζει την επιτάχυνση και την επιβράδυνση της ροής επομένως, επηρεάζει τη διάβρωση και την απόθεση. Η καμπυλότητα της κάτοψης επηρεάζει τη σύγκλιση και την απόκλιση της ροής.

Στην παρακάτω εικόνα οι στήλες δείχνουν τις καμπύλες κάτοψης και οι σειρές δείχνουν την καμπύλη προφίλ. Οι στήλες κάτοψης είναι θετικές, αρνητικές και 0 — πηγαίνοντας από αριστερά προς τα δεξιά. Οι καμπύλες προφίλ είναι αρνητικές, θετικές και 0 — από πάνω προς τα κάτω.

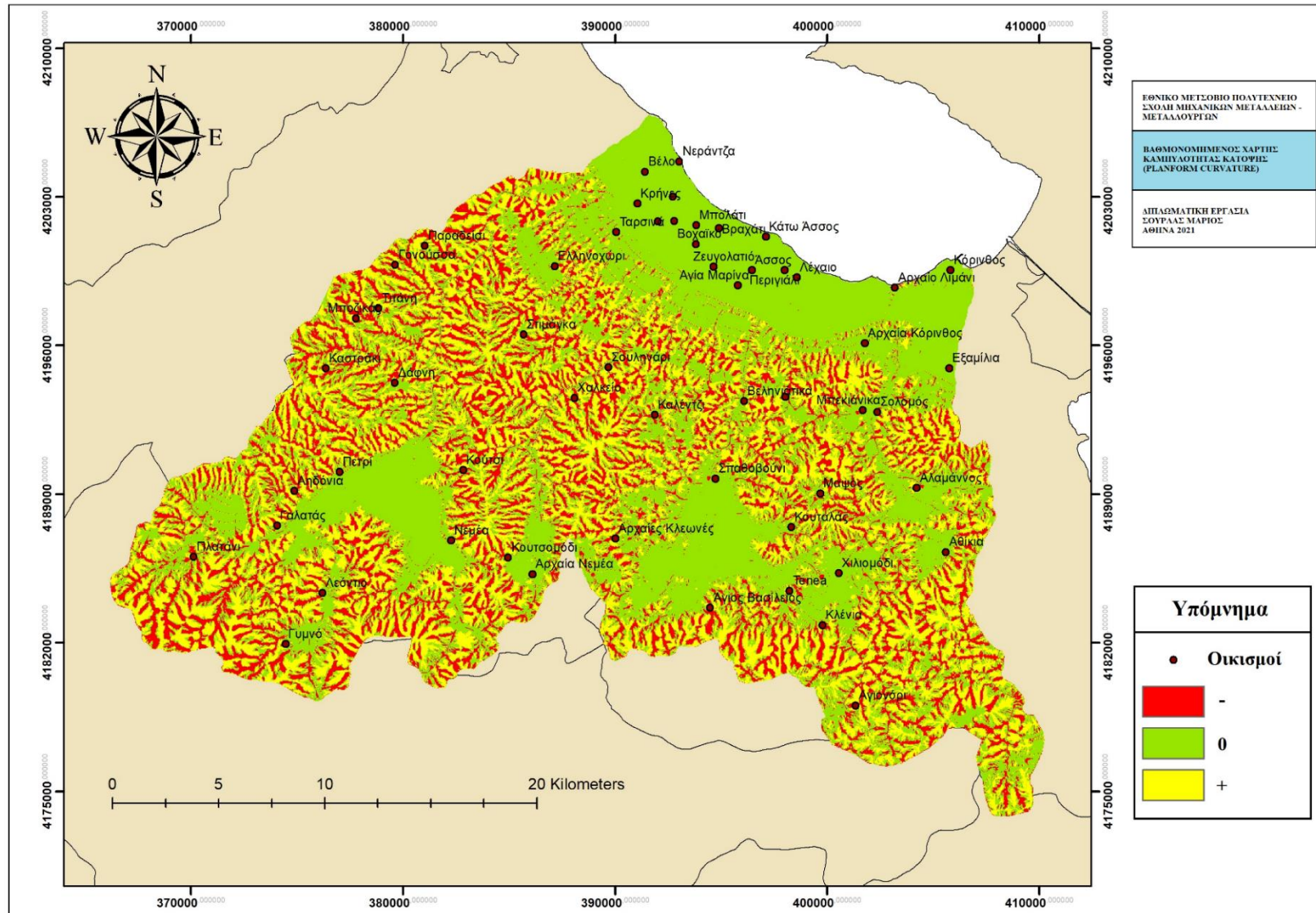


Εικόνα 5.12 Πρότυπη καμπυλότητα (Standard Curvature)

Ακολουθούν οι χάρτες καμπυλότητας που σχηματίστηκαν.



Εικόνα 5.13 Χάρτης καμπυλότητας προφίλ (Profile curvature)



Εικόνα 5.14 Χάρτης καμπυλότητας κάτοψης (Planform curvature)

Το υδρογραφικό δίκτυο των λεκανών απορροής της περιοχής μας (**Εικόνα 5.5**), σύμφωνα με τον Αντωνάκο (2012) δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε λόγω της δράσης των κανονικών ΔΒΔ-ΑΝΑ ρηγμάτων και των κάθετων σε αυτά ρηγμάτων μετασχηματισμού. Οι κύριοι κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου εντοπίζονται πάνω ή παράλληλα στα ρήγματα μετασχηματισμού, ενώ εξαιτίας των τεκτονικών τάφρων και κεράτων που δημιουργήθηκαν από τα ρήγματα ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης, η κύρια ροή των ποταμών φράζεται δημιουργώντας αποκομμένους και αντεστραμμένους κλάδους ποταμών.

Οι ποταμοί της ευρύτερης περιοχής της βόρειας Πελοποννήσου κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τις μεταβολές στην κατεύθυνση ροής του κύριου ρεύματος εξαιτίας της δράσης των κανονικών ρηγμάτων. (Segeer and Alexander (1993) και Zelilidis (2000))

- Πρότεροι ή πρόδρομοι (antecedent): έχουν διατηρήσει την ίδια κατεύθυνση ροής καθ' όλη τη διάρκεια ύπαρξής τους
- Αποκατεστημένοι (re-established): έχουν υποστεί τουλάχιστον μία μεταβολή στην κατεύθυνση ροής τους και έχουν επανακάμψει στην αρχική κατεύθυνση ροής
- Πολλαπλού ιστορικού (multistory): εκείνοι που έχουν διασπαστεί σε δύο τμήματα, ένα που έχει διατηρήσει την αρχική ροή και ένα αντεστραμμένο
- Νεαροί (juvenile): εκείνοι με μικρής έκτασης λεκάνη απορροής και υψηλή διαβρωτική δράση

Στον **Πίνακα 5.1** ακολουθεί η κατηγοριοποίηση των επτά κύριων λεκανών απορροής της περιοχής έρευνας σύμφωνα με εξέλιξη της κατεύθυνσης ροής των κύριων κλάδων του υδρογραφικού τους δικτύου σύμφωνα με τον Zelilidis, (2000).

Λεκάνη απορροής	Κατηγοριοποίηση (Zelilidis, 2000)	Αντεστραμμένο τμήμα
Ασωπός	Πολλαπλού ιστορικού (multistory)	Ίναχος
Ράχιανη	Πολλαπλού ιστορικού (multistory)	Ίναχος
Ξεριάς(Ποταμιά)	Αποκατεστημένος (re- established)	
Ζαπάντης	Πολλαπλού ιστορικού (multistory)	Ίναχος
Ελλισών	Πολλαπλού ιστορικού (multistory)	Σούτενη
Σέλιανδρος	Πολλαπλού ιστορικού (multistory)	Ρέθις
Κυρίλλου	Νεαρός (juvenile)	

Πίνακας 5.1 Κατηγοριοποίηση των λεκανών της περιοχής με βάση την εξέλιξη της κατεύθυνσης ροής (Zelilidis 2000)

Σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση, οι ποταμοί Ασωπός, Ράχιανη και Ζαπάντης χαρακτηρίζονται ως πολλαπλού ιστορικού αφού παρατηρείται ότι παρόλο που ρέουν σύμφωνα με την αρχική τους κατεύθυνση, ένα μεγάλο τμήμα τους εκβάλλει στον Αργολικό κόλπο μέσω του ποταμού Ίναχου. Ομοίως οι ποταμοί Ελλισώνας και Σέλιανδρος είναι πολλαπλού ιστορικού με αντεστραμμένα τμήματα τους ποταμούς Σούτενη και Ρέθις. Ο ποταμός Κυρίλλου είναι «νεαρός», ενώ ο Ξεριάς «αποκατεστημένος».

Για την ποσοτικοποίηση της γεωμορφολογικής δομής και την πρόβλεψη της υδρογεωλογικής απόκρισης μιας λεκάνης απορροής μελετήθηκε από τον Αντωνάκο και άλλους ερευνητές, η μορφομετρική ανάλυση των λεκανών απορροής (**Πίνακας 5.2**). Ως μορφομετρική ανάλυση νοείται ο υπολογισμός ή η καταγραφή των διαφόρων χαρακτηριστικών του αναγλύφου και της γεωμετρίας της λεκάνης απορροής και του υδρογραφικού δικτύου που αναπτύσσεται εντός αυτής καθώς και η διερεύνηση των μεταξύ τους συσχετισμών. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα με τα αποτελέσματα της μορφομετρικής ανάλυσης των λεκανών απορροής όπως υπολογίστηκαν από τον Αντωνάκο.

Κεφάλαιο 5 Στοιχεία Περιοχής Έρευνας

Λεκάνη ⁷	Εκταση (Km)	Περίμετρος (m)	Μέγιστο ανάγλυφο (Hb)	Μέσο υψόμετρο (m)	Υψόμετρο 50 %	Υψόμετρο μέγιστης συχνότητας (m)	Μέγιστο μήκος λεκάνης (Lmax)	Μέγιστο πλάτος λεκάνης (Dmax)	Συνολικός αριθμός κλάδων (ΣΝ)	Συνολικό μήκος κλάδων (ΣL)	Μέγιστο μήκος κύριου κλάδου (L _{tm})	Μέση κλίση κύριου ρεύματος (μοίρες) (S _{rm})
Ασωπός	277,5	97.401	1.6	511	360	350	31.2	17.75	702	539.591	45.55	3,51
Ραχιάνη	177,3	66.368	1.06	287	270	250	21.4	13.5	516	328.556	26.49	4,00
Ξεριάς	168,5	80.407	1.12	406	330	250	23.7	10.63	452	284.886	28.138	3,98
Ζαπαντής	73,0	54.979	845	334	340	50	21.17	6.68	40	186.86	25.556	3,30
Χαικαλή Περιστεριώνα	30,2	26.055	560	92	185	50	7.3	4.77	58	57.447	13.666	4,10
Λίτσα	27,6	28.563	686	203	60	50	12.26	2.89	49	34.795	7.794	8,80
Φύλιζα	26,0	33.261	980	536	260	50	12.19	4.39	36	41.388	3.109	7,48
Ρέμα Βέλου	14,1	21.95	480	159	145	50	9.78	1.98	27	31.404	9.653	4,97

Λεκάνη	Μέση κλίση κύριου ρεύματος (μοίρες) (S _{bm})	Υδρογραφική πυκνότητα (RD)	Υδρογραφική συχνότητα (R _w)	Συντελεστής τραχύτητας (R _o)	Συντελεστής διακλάδωσης (R _β)	Συντελεστής μήκους (RL)	Λόγος αναγλύφου (Rh)	Δείκτης αναγλύφου (Rr)	Συντελεστής κυκλικότητας (C.R.)	Συντελεστής επιμήκυνσης (Re)	Μέγεθος λεκάνης (αριθμός κλάδων 1 ^{ης} τάξης)	Συντελεστής μορφής (Rf)
Ασωπός	14,4	1,9	2,5	3,11	3,6	2,1	0,0030	0,05	0,37	0,60	510	8.894
Ραχιάνη	9,5	1,9	2,9	1,96	4,6	1,8	0,0032	0,05	0,51	0,70	382	8.285
Ξεριάς	11,0	1,7	2,7	1,89	4,3	1,7	0,0039	0,05	0,33	0,62	341	7.110
Ζαπαντής	12,8	2,6	4,7	2,17	4,4	1,9	0,0045	0,04	0,30	0,46	248	3.446
Χαικαλή Περιστεριώνα	5,8	1,9	1,9	1,07	3,5	2,3	0,0097	0,08	0,56	0,85	41	4.130
Λίτσα	8,1	1,3	1,8	0,87	3,3	1,7	0,0197	0,06	0,42	0,48	34	2.249
Φύλιζα	5	1,6	1,4	1,56	5,5	1,3	0,0237	0,08	0,30	0,47	28	2.133
Ρέμα Βέλου	4,9	2,2	1,9	1,07	2,6	1,8	0,0153	0,05	0,37	0,43	17	1.443

Πίνακας 5.2 Τιμές μορφομετρικών παραμέτρων για τις λεκάνες της περιοχής έρευνας (Καραμπάσης 2018)

5.4 Χρήσεις γης

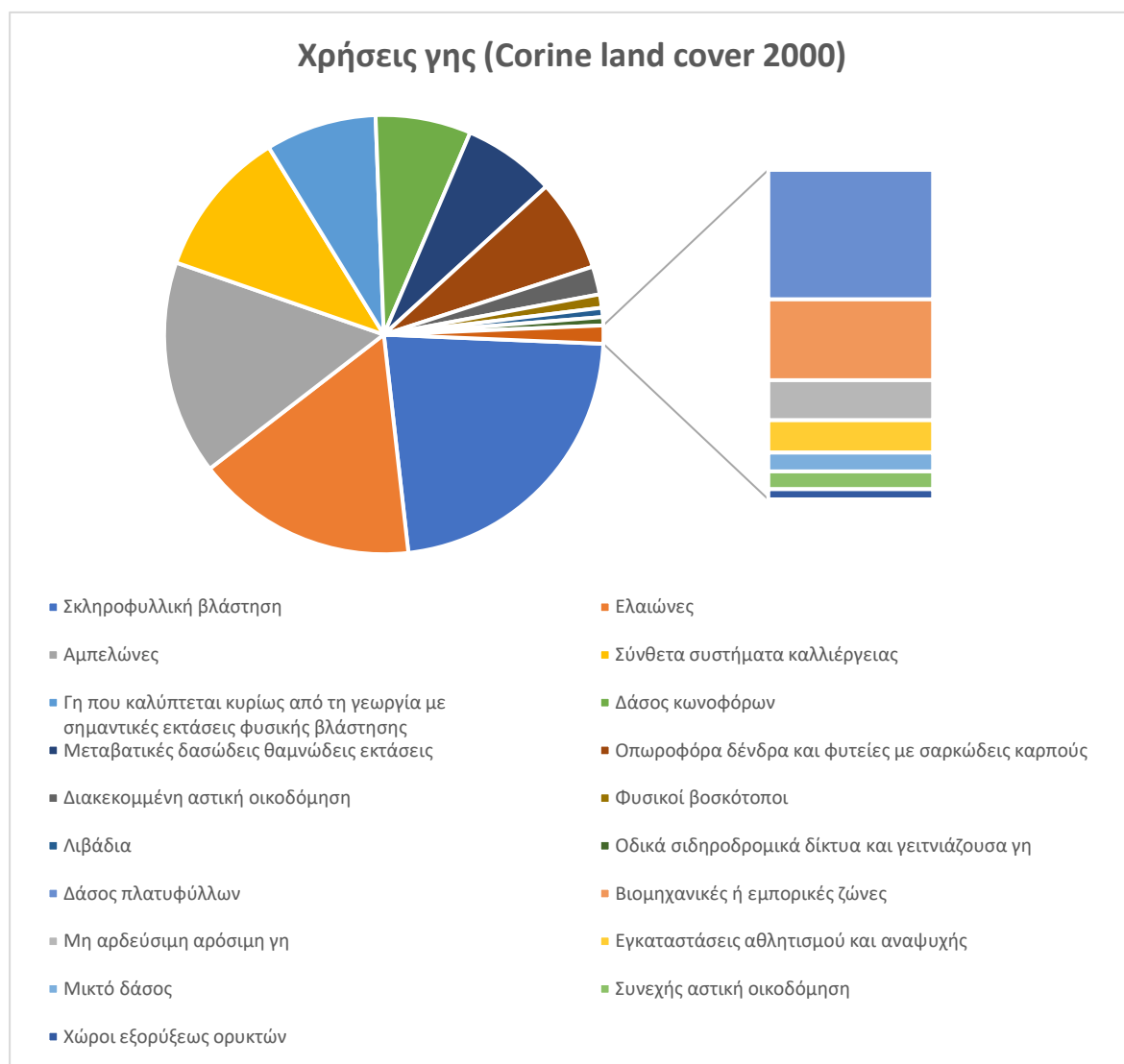
Όπως παρατηρήθηκε και από τον Αντωνάκο (2012) ο πρωτογενής αλλά κυρίως ο δευτερογενής τομέας της περιοχής φαίνεται να κυριαρχεί σε σχέση με τον μέσο όρο της επικράτειας. Από εκεί συμπεραίνουμε ότι ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει σημαντικό ρόλο στην περιβαλλοντική καταπόνηση και ενδεχομένως πολλές φορές στην εκδήλωση πλημμυρών. Οι περιοχές που σημειώνονται υψηλές τιμές ΑΕΠ των δύο αυτών τομέων είναι κυρίως οι πεδινές παράκτιες περιοχές και οι πεδινές περιοχές των εσωτερικών λεκανών Νεμέας, Αγίου Βασιλείου και Χιλιομοδίου.

Στον **Πίνακα 5.3** παρουσιάζεται η κατανομή των χρήσεων γης από την μελέτη του Αντωνάκου (Αντωνάκος 2012), όπου ο υπολογισμός της προέκυψε από το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossard, Feranec, and Otahel 2000).

Χρήση γης (Corine land cover 2000)	Έκταση (Km ²)	Ποσοστό (%)
Σκληροφυλλική βλάστηση	203,509	22,545
Ελαιώνες	147,457	16,336
Αμπελώνες	142,358	15,771
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	98,539	10,916
Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	73,721	8,167
Δάσος κωνοφόρων	63,475	7,032
Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	61,361	6,798
Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	61,068	6,765
Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	18,630	2,064
Φυσικοί βοσκότοποι	8,909	0,987
Λιβάδια	6,112	0,677
Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	5,505	0,610
Δάσος πλατυφύλλων	4,726	0,524
Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	2,956	0,327
Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	1,458	0,162
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	1,179	0,131
Μικτό δάσος	0,687	0,076
Συνεχής αστική οικοδόμηση	0,654	0,072
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	0,370	0,041
ΣΥΝΟΛΟ	902,672	100,000

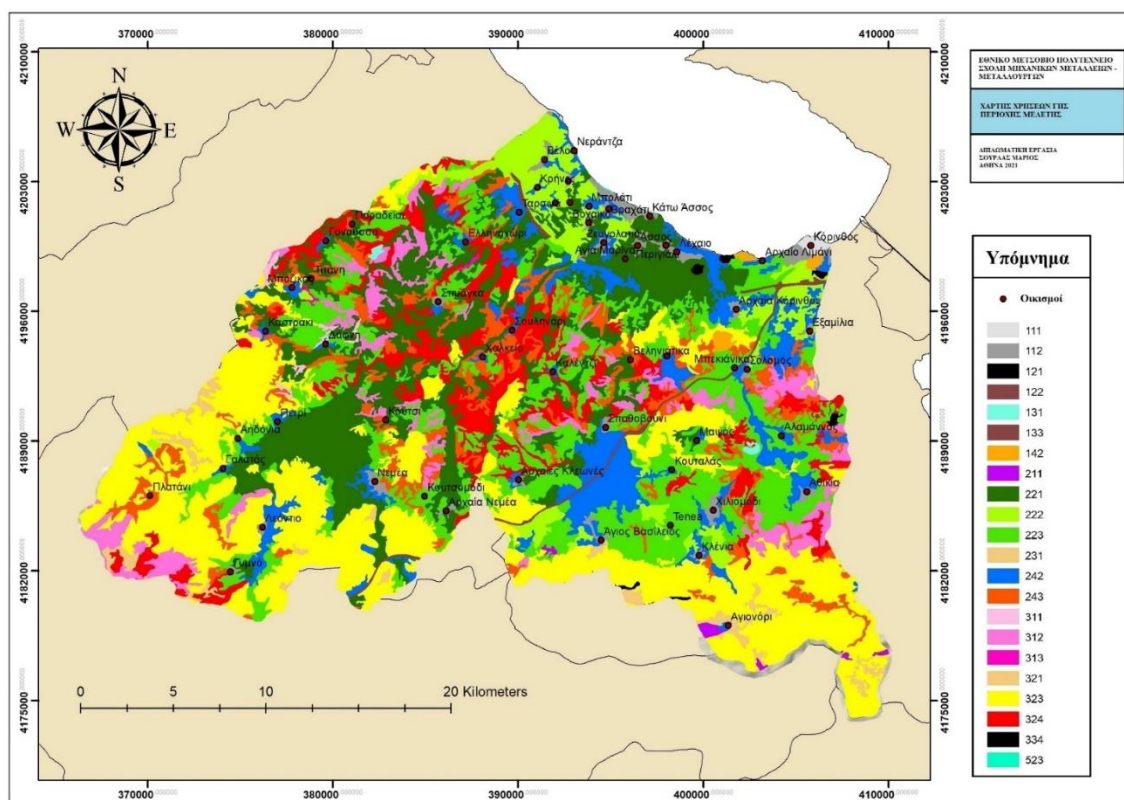
Πίνακας 5.3 Κατανομή των χρήσεων γης σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover, 2000 (Bossart et al., 2000) στην περιοχή έρευνας (Αντωνάκος 2012)

Αξίζει να σχολιαστεί ότι παρόλο που η συνεχής αστική οικοδόμηση καταλαμβάνει έκταση ίση με 0,064 km² και ποσοστό μόλις 0,072% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας, είναι στο επίκεντρο της επικινδυνότητας διότι εκεί φαίνεται να κατοικεί και το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού. Η περιοχή φημίζεται για τις ελιές και το κρασί και αυτό εν μέρει δικαιολογείται καθώς τα μεγαλύτερα ποσοστά εκτάσεων μετά την σκληροφυλλική βλάστηση, φαίνεται να καταλαμβάνουν οι ελαιώνες (16,336%) και οι αμπελώνες (15,771%). Η ανάπτυξη των καλλιεργειών στην περιοχή έρευνας προβλέπεται να επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στους υδατικούς πόρους, τόσο εξαιτίας των αυξημένων αρδευτικών αναγκών όσο και εξαιτίας της διάχυτης ρύπανσης που καταλήγει στους υδατικούς πόρους από τις καλλιεργητικές πρακτικές (λιπάσματα, φυτοφάρμακα).



Εικόνα 5.16 Κατανομή των χρήσεων γης στην περιοχή έρευνας

Μέσω προσεγγιστικών υπολογισμών προέκυψε ότι οι μεγαλύτερες υδρευτικές ανάγκες παρουσιάζονται στις Δημοτικές Κοινότητες των πεδινών παράκτιων περιοχών. Αναλυτικότερα οι συνολικές υδρευτικές ανάγκες της περιοχής ανέρχονται σε 12×10^6 m³/έτος, με την Κόρινθο να βρίσκεται στην πρώτη θέση με $3,5 \times 10^6$ m³/έτος και το Κιάτο να ακολουθεί με $1,1 \times 10^6$ m³/έτος. Επιπλέον οι εντονότερες αρδευτικές ανάγκες της περιοχής παρουσιάζονται στην παράκτια περιοχή Κορίνθου – Εξαμιλίων και Κιάτου – Βέλου. Συνολικά καταναλώνονται ετησίως περίπου 165×10^6 m³ νερού, γεγονός που καθιστά την άρδευση τον μεγαλύτερο καταναλωτή της περιοχής (Αντωνάκος 2012).



Εικόνα 5.17 Χάρτης κατανομής χρήσεων γης

Ακολουθεί πίνακας με την αντιστοίχιση των κωδικών του χάρτη χρήσεων γης.

Κωδικός περιοχής	Είδος χρήσης γης
111	Συνεχής αστική δόμηση
112	Διακεκομμένη αστική δόμηση
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
122	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
133	Χώροι οικοδόμησης
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
221	Αμπελώνες
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
223	Ελαιώνες
231	Λιβάδια
242	Σύνθετες καλλιέργειες
243	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης
311	Δάσος πλατύφυλλων
312	Δάσος κωνοφόρων
313	Μικτό δάσος
321	Φυσικοί βοσκότοποι
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
523	Θάλασσες και ωκεανοί

Πίνακας 5.4 Αντιστοίχιση κωδικών περιοχής με είδη χρήσεων γης

5.5 Υδρογεωλογική επισκόπηση – κατάταξη γεωλογικών σχηματισμών

Η υδρογεωλογική κατάταξη των σχηματισμών της περιοχής μας βασίζεται στον συνδυασμό των υδρολιθολογικών και υδραυλικών της χαρακτηριστικών. Σύμφωνα με το πρότυπο της Διεθνούς Ένωσης Υδρογεωλόγων (Struckmeier and Margat, 1995; Nikas et al., 2010) ακολουθεί συνοπτικά ο **Πίνακας 5.5** με τις κατηγορίες και υποκατηγορίες των υδρογεωλογικών τύπων.

		A	B
1	Πορώδεις (κυρίως μη συνεκτικοί) σχηματισμοί	Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
2	Συνεκτικοί (κυρίως ανθρακικοί) σχηματισμοί με δευτερογενή περατότητα	Εκτεταμένοι και με υψηλή απόδοση υδροφόροι	Τοπικοί και μικρού πάχους υδροφόροι με υψηλή απόδοση ή εκτεταμένοι αλλά μέτριας απόδοσης υδροφόροι
3	Πορώδεις και συνεκτικοί σχηματισμοί με περιορισμένη ή μη συγκέντρωση υπόγειων υδάτων – Γενικά άνευ πρακτικής σημασίας	Τοπικής σημασίας υπόγεια νερά κυρίως σε ζώνες διάρρηξης και αποσάθρωσης συνεκτικών σχηματισμών	Υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί

Πίνακας 5.5 Κατηγορίες και υποκατηγορίες των υδρογεωλογικών τύπων

Η κατάταξη των σχηματισμών της περιοχής (**Πίνακας 5.6**), έγινε από τον Αντωνάκο (Αντωνάκος 2012) με βάση το πρότυπο Διεθνούς Ενώσεως Υδρογεωλόγων και ακολουθώντας τις παραπάνω περιγραφές. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία	Γεωλογικός σχηματισμός	Χαρακτηριστικά
1A	Σύγχρονες αλουβιακές αποθέσεις πεδινών περιοχών	Το πάχος των αποθέσεων κυμαίνεται από 10 έως 30 μέτρα και αποτελούνται κυρίως από άμμους, κροκάλες λατύπες και λεπτομερή αργιλοαμμώδη-πηλοαμμώδη υλικά. Είναι κυρίως υδροπερατές αποθέσεις μέσα στις οποίες εμφανίζεται η κύρια υδροφορία της πεδινής ζώνης
	Σύγχρονες αποθέσεις κοίτης	Αποτελούνται από αδρομερή υλικά όπως κροκάλες και λατύπες. Είναι υδροπερατές αποθέσεις με υδραυλικές παραμέτρους ακόμα και μεγαλύτερες από τις αλουβιακές. Μέσω αυτών διακινούνται σημαντικές ποσότητες νερού οι οποίες τροφοδοτούν το υδροφόρο σύστημα με υπόγειες πλευρικές αποθέσεις.
1B	Τυρρήνιες αναβαθμίδες	Εμφανίζονται επιφανειακά με πάχος από 20 έως 40 μέτρα. Βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία με την πεδινή ζώνη και μαζί με τις αλουβιακές αποθέσεις δημιουργούν ενιαία υδροφορία
	Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων	Υδροπερατές αποθέσεις μικρού πάχους και φρεάτια υδροφορία. Αποτελούν ζώνη τροφοδοσίας αφού με τις αποθέσεις χειμάρρων και τα αλουβιακά υλικά της πεδινής ζώνης αναπτύσσουν ενιαία υδροφορία.
2A	Ασβεστόλιθοι της Υποπελαγονικής ζώνης, Γαβρόβου – Τριπόλεως και της Ωλονού - Πίνδου	Καρστικοί σχηματισμοί με πάχος έως και 400 μέτρα. Καταλαμβάνουν μικρό τμήμα στο ΝΔ άκρο της περιοχής και έτσι η περιορίζονται στην πλευρική τροφοδοσία που παρέχουν στους παρακείμενους σχηματισμούς των κροκαλοπαγών. Οι σχηματισμοί της Υποπελαγονικής ζώνης παρουσιάζουν υφαλμύριση εξαιτίας του Σαρωνικού κόλπου.
3A	Φλύσχης	Θεωρείται πρακτικά στεγανός
3B	Μάργες	Υδροστεγανές με εξαίρεση εντός κοκκόδων ενστρώσεων όπως ψαμμίτες, ψηφιτοπαγών και κροκαλοπαγών που ευνοούν την τοπική υδροφορία.
	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση	Υδροστεγανοί σχηματισμοί με μικρές υδροφορίες σε περιοχές όπου αναπτύσσονται ψαμμίτες, κερατόλιθοι, θρυμματισμένοι οφιόλιθοι και σε ζώνες εξαλλοίωσης.

Πίνακας 5.6 Κατάταξη των σχηματισμών της περιοχής

5.6 Κατείσδυση

Με τον όρο κατείσδυση χαρακτηρίζεται το τμήμα των κατακρημνισμάτων και της απορροής, που εξαιτίας της βαρύτητας κινείται προς το υπέδαφος καταλήγοντας στους υδροφόρους ορίζοντες και συνενώνεται με τα υπόγεια νερά. Η κατείσδυση μετρείται με τον συντελεστή κατείσδυσης, δηλαδή το ποσοστό του νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχόπτωση. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται είναι η γεωμορφολογία του εδάφους, η κλίση των πρανών, η συχνότητα και η ένταση των βροχοπτώσεων, η χλωρίδα της περιοχής κ.α.

Όπως αποτυπώνεται και στον πίνακα που ακολουθεί, οι γεωλογικοί σχηματισμοί των μαργών, των ιζημάτων φλύσχη και του δεύτερου φλύσχη έχουν τους μικρότερους συντελεστές κατείσδυσης, με τιμές 3% για τις μάργες και 7% για τους άλλους δύο σχηματισμούς. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι οι συγκεκριμένοι γεωλογικοί σχηματισμοί δεν επιτρέπουν στο νερό να κατεισδύσει με ευκολία, έχοντας ως αποτέλεσμα να κατακρατούν ποσότητες νερού και να λιμνάζουν, ευνοώντας έτσι τις συνθήκες εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Από την άλλη πλευρά οι ασβεστόλιθοι της Ζώνης Τριπόλεως έχουν τον μεγαλύτερο συντελεστή κατείσδυσης (52%) και διευκολύνουν τη ροή του νερού.

Ακολουθούν αναλυτικά οι συντελεστές κατείσδυσης (**Πίνακας 5.7**) των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τον Αντωνάκο (Αντωνάκος 2012).

Ενότητα	Γεωλογικός σχηματισμός	Συντελεστής κατείδυσης (%)
Μεταλλικοί σχηματισμοί	Σύγχρονες αποθέσεις κοίτης	18
	Σύγχρονοι παράκτιοι σχηματισμοί	21
	Παλαιοί και νέοι κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα	21
	Σύγχρονες αλουβιακές αποθέσεις πεδινών περιοχών	18
	Ερυθρά αργιλομιγής άμμος	14
	Ελουβιακός μανδύας	18
	Τυρρήνιες αναβαθμίδες	12
	Καλάβρια κροκαλοπαγή δελταϊκών ριπιδίων τύπου Gilbert	14
	Καλάβρια κροκαλοπαγή αλουβιακών ριπιδίων	18
	Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι	30
	Μάργες	3
Ζώνη Υποελαγονική	Ασβεστόλιθοι Ιουρασικού	52
	Σχιστοκερατολιθική διάπλαση και οφειόλιθοι	5
	Τριαδικά ιζήματα	52
Ζώνη Πίνδου	Δεύτερος φλύσχη	7
	Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι	47
Ζώνη Τριπόλεως	Ιζήματα φλύσχη	7
	Παλαιοκαινικοί – Άνω Ηώκαινικοί ασβεστόλιθοι	52
	Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι	52
	Μέσο - Άνω Τριαδικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες	52

Πίνακας 5.7 Συντελεστές κατείδυσης για τους γεωλογικούς σχηματισμούς
(Αντωνάκος 2012)

5.7 Κίνηση υπόγειου νερού

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην κίνηση του υπόγειου νερού από τις περιοχές τροφοδοσίας προς τις περιοχές εκφόρτισης είναι η τοπογραφία και τα επιφανειακά στρώματα νερού. Παρατηρείται ότι η πιεζομετρική επιφάνεια είναι συνεχής όταν η υδροφορία αναπτύσσεται ομοιόμορφα σε ένα ενιαίο μέσο.

Σύμφωνα με τον Αντωνάκο (Αντωνάκος 2012) στην περιοχή έρευνας, εντός των Πλειοκαινικών μαργών, αναπτύσσεται υπό πίεση υδροφορία χαμηλής δυναμικότητας που όμως η στάθμη της διαφοροποιείται αισθητά από εκείνη των όμορων ελεύθερων υδροφοριών με αποτέλεσμα να δυσχεραίνει την ενιαία απεικόνιση του πιεζομετρικού χάρτη.

5.8 Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής μελέτης

Από το μετεωρολογικό σταθμό που λειτούργησε την περίοδο 1960 - 1981 στην Κόρινθο υπό την ευθύνη της ΕΜΥ προέκυψαν τα κλιματικά δεδομένα που δίνονται στους ακόλουθους πίνακες (Πίνακας 5.8&Πίνακας 5.9). Γενικά το κλίμα της περιοχής μοιάζει πολύ με αυτό της Αθήνας (Κουτσογιάννης Δ. και Λαζαρίδης Λ. (1998)).

Μέση ετήσια θερμοκρασία	17,8°C
Μέση ετήσια σχετική υγρασία	68%
Μέση νέφωση	3,8 / 10
Άνεμοι που επικρατούν	Βόρειοι, Βορειοδυτικοί
Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών καταιγίδων	8,4 ημέρες
Μέσο ετήσιο ύψος βροχής	423,1 mm
Μέγιστο καταγραμμένο ετήσιο ύψος βροχής	707,6 mm
Μέσο ύψος μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων	51,7 mm
Μέγιστο καταγραμμένο ύψος ημερήσιας βροχόπτωσης	120,2 mm

Πίνακας 5.8 Κλιματικά δεδομένα του σταθμού Κορίνθου (1960-1981)

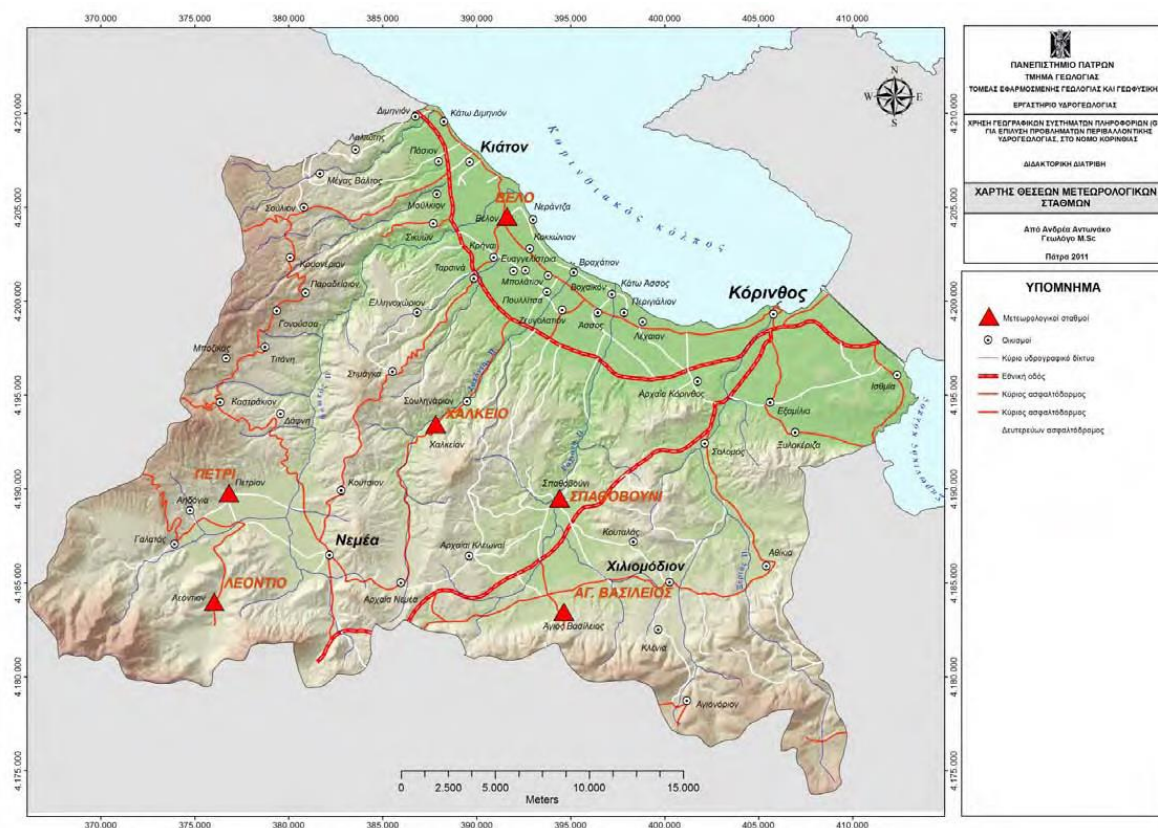
Μήνες	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
Μέση τιμή (mm)	61,5	47,2	35,9	24,3	21,2	10,2	5,9	3,5	18,8	64,1	51,8	78,7	423,1

Πίνακας 5.9 Μέσα μηνιαία ύψη βροχής του σταθμού Κορίνθου (1960-1981)

Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές μηνιαίας βροχόπτωσης, που συλλέχτηκαν από τον Αντωνάκο (Αντωνάκος 2012). Τα υψόμετρα των σταθμών κυμαίνονται από 20 m έως 340 m και εκτός από τον σταθμό του Βέλου (ΕΜΥ), οι υπόλοιποι ανήκουν στην αρμοδιότητα του ΥΠΕΧΩΔΕ. Η περίοδος λειτουργίας των σταθμών ήταν από το 1975 έως το 2003 με εξαίρεση το Λεόντιο (2002) και το Βέλο (2004).

Σταθμοί	Υψόμετρο	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Μέση Ετήσια
Πετρίο	310	102,3	72,8	78,6	41,9	27,9	14,8	7,6	16,9	14,6	54,8	93,2	85,2	612
Λεόντιο	340	97,0	80,1	75,6	50,8	31,5	13,5	8,9	17,8	16,4	69,0	113,1	109,2	688
Χαλκείο	230	85,3	65,8	71,5	36,2	24,1	9,2	5,3	10,9	14,0	54,0	83,3	92,9	541
Βέλο	20	77,1	48,3	57,5	26,2	27,0	4,8	4,9	15,3	21,5	37,2	87,1	64,5	470
Σπαθοβούνι	130	51,0	47,8	48,3	30,2	16,2	14,5	5,7	10,9	16,5	56,1	68,4	64,1	440
Αγ.Βασίλειος	280	71,8	46,0	55,4	30,7	11,8	18,1	2,2	9,2	9,9	47,5	48,0	63,9	388
Μέσος		80,75	60,13	64,48	36,00	23,08	12,00	5,80	14,00	15,48	53,1	82,2	80,00	523

Πίνακας 5.10 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής έρευνας



Εικόνα 5.18 Χάρτης θέσης των μετεωρολογικών σταθμών της περιοχής έρευνας

Η μεγαλύτερη τιμή μέσης βροχόπτωσης είναι 688 mm και καταγράφεται στον μετεωρολογικό σταθμό του Λεοντίου. Το ορεινό χωριό της Κορινθίας βρίσκεται στα 340 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, συνεπώς εκεί βρίσκεται ο υψηλότερος μετεωρολογικός σταθμός του πίνακά μας. Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης μιας περιοχής είναι το υψόμετρο της επιφάνειας του εδάφους. Σύμφωνα με τον William C. Spreen (Spreen 1947) η έκθεση του σταθμού στις αέριες μάζες, ο προσανατολισμός και η υψομετρική διαφορά μεταξύ σταθμού και υψηλότερου σημείου από τον σταθμό σε ακτίνα 5 μιλίων κ.α. είναι παράγοντας δευτερεύουσας σημασίας. Λαμβάνοντας υπόψιν μόνο το υψόμετρο, η σχέση που συνδέει το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και το υψόμετρο της περιοχής είναι μία εξίσωση πρώτου βαθμού της μορφής $y = ax + b$, με ανεξάρτητη μεταβλητή το απόλυτο υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών και εξαρτημένη μεταβλητή το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης. Η σχέση αυτή ονομάζεται εξίσωση της βροχοβαθμίδας και για την περιοχή έρευνας διαμορφώνεται ως εξής: $y = 0.587 \cdot x + 411,7$. Προκύπτει ότι ανά 100 m υψομετρικής διαφοράς, το ύψος βροχόπτωσης αυξάνεται κατά 58,6 mm, καθώς και ότι το μέσο ετήσιο ύψος στο επίπεδο της θάλασσας είναι 411,7 mm (Αντωνάκος 2012).

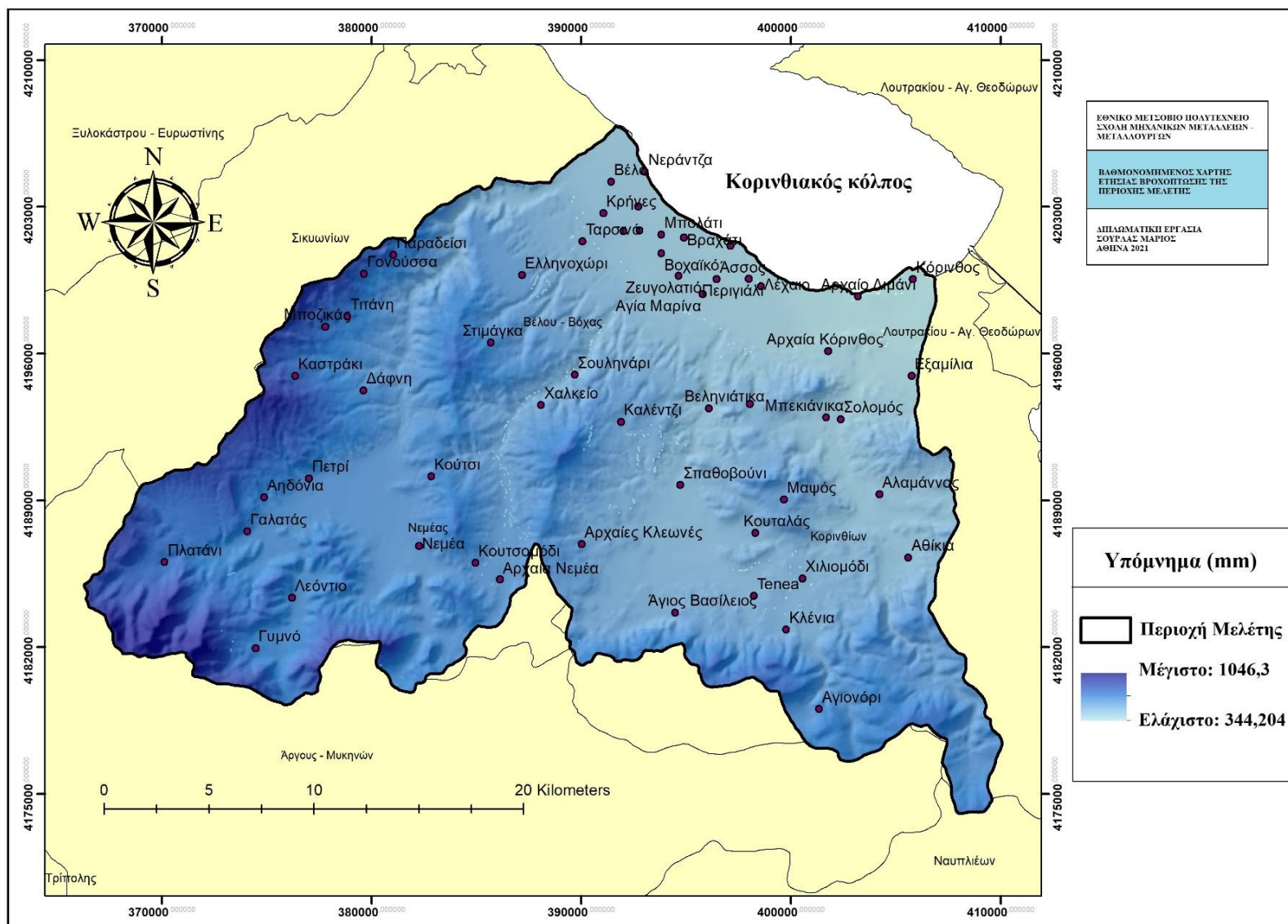
Ο μήνας με τη μεγαλύτερη μέση τιμή βροχόπτωσης είναι ο Νοέμβριος (82,2 mm) και ακολουθούν ο Ιανουάριος (80,75 mm) και ο Δεκέμβριος (80 mm). Ενώ οι μήνες με τα μικρότερα ετήσια ύψη βροχόπτωσης είναι ο Ιούλιος (5,80 mm) και ο Ιούνιος (12 mm). Παρατηρείται εμφανώς μεγάλη διακύμανση των τιμών όσον αφορά την εποχιακή κατανομή και φαίνεται ότι κατά την χειμερινή περίοδο συγκεντρώνεται το 55% του ετήσιου ύψους, ενώ κατά την εαρινή μόλις το 10%.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας, αξιοποιώντας και συνδυάζοντας τα υψομετρικά και τα βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης, η μέση τιμή βροχόπτωσης σημειώνεται 557 mm. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούν οι μέγιστες, ελάχιστες και μέσες τιμές βροχόπτωσης για τις παρακάτω υψομετρικές κατηγορίες (**Πίνακας 5.11**).

Υψόμετρο (m)	Ελάχιστη Τιμή (mm)	Μέση Τιμή (mm)	Μέγιστη Τιμή (mm)
< 200	344	428	544
200 έως 600	414	559	740
> 600	536	710	1046

Πίνακας 5.11 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης ανά υψόμετρο

Ακολουθεί ο βαθμονομημένος χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης της περιοχής μελέτης (**Εικόνα 5.19**). Είναι εμφανές ότι οι πεδινές περιοχές εμφανίζουν τις μικρότερες τιμές βροχόπτωσης.



Εικόνα 5.19 Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης περιοχής μελέτης

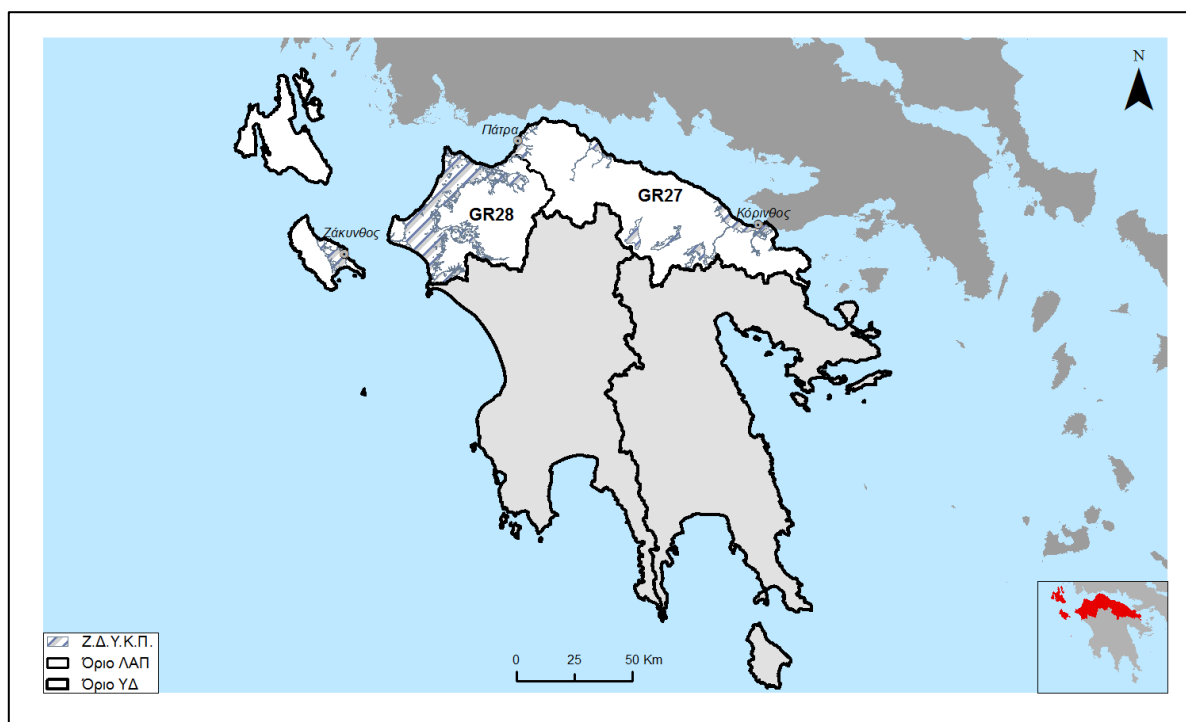
5.9 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ)

Σύμφωνα με την αντίστοιχη μελέτη του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ορίστηκαν από τη γεωγραφική τομή των περιοχών με δυνητικά σημαντικές συνέπειες από μελλοντικές πλημμύρες καθώς και των περιοχών που είναι πιθανό να σημειωθεί πλημμύρα, λαμβάνοντας επίσης υπόψη τις αναφορές των περιφερειακών φορέων και τις σημαντικές ιστορικές πλημμύρες.

Οι περιοχές όπου είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα ορίστηκαν αυτές που ικανοποιούν έναν τουλάχιστον από τους δύο παρακάτω περιορισμούς:

- Βρίσκονται σε θέσεις προσχωματικών αποθέσεων
- Βρίσκονται σε έδαφος με κλίση μικρότερη από 2%

Στο Υδατικό Διαμέρισμα της Βόρειας Πελοποννήσου ορίστηκαν 8 περιοχές που χαρακτηρίζονται ως ΖΔΥΚΠ και φαίνονται στην **Εικόνα 5.20** που ακολουθεί.



Εικόνα 5.20 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στο ΥΔ Βόρειας Πελοποννήσου

Σύμφωνα με την μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, στο Υδατικό Διαμέρισμα της Βόρειας Πελοποννήσου ορίστηκαν 8 περιοχές που χαρακτηρίζονται ως ΖΔΥΚΠ και στις οποίες θα επικεντρωθεί ο καθορισμός των υδάτινων σωμάτων και των λεκανών απορροής καθώς και η ανάλυση των χαρακτηριστικών τους και των μηχανισμών πλημμύρας. Στον ακόλουθο πίνακα (**Πίνακας 5.12**) εμφανίζονται οι ΖΔΥΚΠ του GR02 ανά Λεκάνη Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) (ΥΠΠΕΝ, 2017).

A/A	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (km ²)	ΛΑΠ	Ποσοστό ΛΑΠ
1	Πεδινή περιοχή οικισμών Λουτρών Ωραίας Ελένης	GR02RAK0001	3.28	GR27	0.1%
2	Υψηλή ζώνη π. Ασωπού	GR02RAK0002	38.48	GR27	1.0%
3	Χαμηλά Ζακύνθου	GR02RAK0003	76.07	GR45	18.7%
4	Χαμηλή ζώνη λεκάνης λίμνης Στυμφαλίας	GR02RAK0004	28.66	GR27	0.8%
5	Χαμηλή ζώνη λεκάνης τεχνητής λίμνης Φενεού	GR02RAK0005	38.95	GR27	1.1%
6	Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο	GR02RAK0006	120.42	GR27	3.3%
7	Χαμηλή ζώνη π. Σελινούντα	GR02RAK0007	33.72	GR27	0.9%
8	Πεδινή ζώνη λεκανών απορροής Πείρου - Βέργα - Πηνειού -Γλαύκου	GR02RAK0008	887.55	GR28	36.5%

Πίνακας 5.12 Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου

Αξίζει να αναφερθούμε στην Υψηλή ζώνη π. Ασωπού και στη Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο αφού η περιοχή μελέτης μας οριοθετείται εντός των δύο ζωνών.

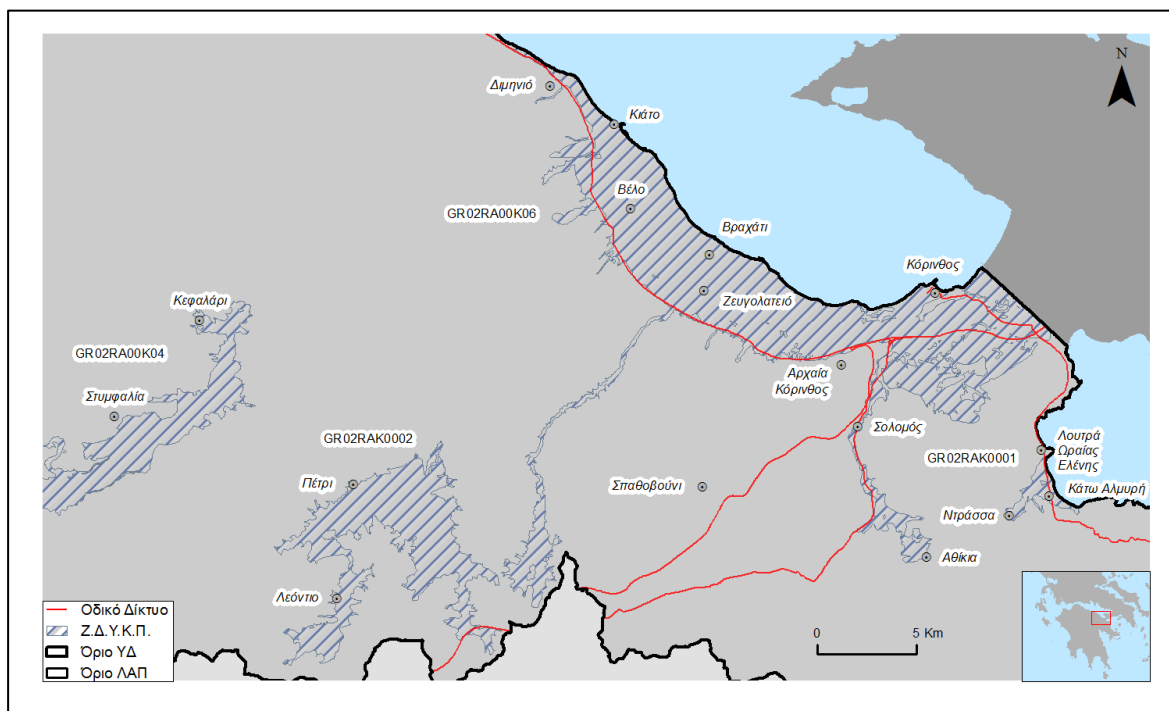
5.9.1 Υψηλή ζώνη π. Ασωπού GR02RAK0002

Η περιοχή έχει έκταση 38.48 km². Περιλαμβάνει ημιορεινές περιοχές των Ν. Κορινθίας και Αργολίδας εκατέρωθεν του π. Ασωπού. Οι περιοχές που συμπεριλαμβάνονται στην ΖΔΥΚΠ είναι κυρίως καλλιεργήσιμες εκτάσεις με σημαντικότερο τον κάμπο της Νεμέας. Τα υδατορεύματα που καταλήγουν στην περιοχή είναι ο Ασωπός Ποταμός και οι συμβάλλοντες κλάδοι του. Οι σημαντικότεροι οικισμοί είναι η Νεμέα, το Λεόντιο, το Γυμνό, ο Γαλατάς και το Πέτρι.

Το μέσο υψόμετρο είναι 26.4 μέτρα και η μέση κλίση 7.2%. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα χαρακτηριστικά των υψομέτρων και κλίσεων (ΥΠΠΕΝ, 2017).

5.9.2 Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο GR02RAK0006

Η περιοχή έχει έκταση 120.02 km² (Εικόνα 5.21). Εκτείνεται κατά μήκος του Κορινθιακού Κόλπου από τη Διώρυγα της Κορίνθου μέχρι το Μελίσσι. Το πλάτος της είναι μεταβαλλόμενο από λίγες εκατοντάδες μέτρα μέχρι 4 km στην περιοχή του Βραχατίου και του Ζευγολατιού. Επίσης περιλαμβάνει μια μεγάλη έκταση που οριοθετείται από τα Ίσθμια, την Ποσειδωνία την Κόρινθο, και τα Εξαμίλια. Τέλος περιλαμβάνει ζώνες μεταβαλλόμενου πλάτους εκατέρωθεν των ρεμάτων Ξηριάς (Κορίνθου) και Ζαπάντης. Η περιοχή δέχεται τις απορροές αρκετών «παράλληλων» μεταξύ τους ρεμάτων που ξεκινάνε από τα ορεινά του ν. Κορινθίας και εκβάλλουν στον Κορινθιακό κόλπο. Τα κυριότερα υδατορεύματα που καταλήγουν στη ΖΔΥΚΠ είναι το ρ. Ξηριάς, το ρ. Ραϊζάνη, το ρ. Ζαραζάνη, το ρ Κουτίνα το ρ. Ζαπάντης, το Ρ. Γουργουρώτη, το ρ. Χαϊκάλη, το ρ. Περιστερώνα, το ρ. Φίλιζας, ο π. Ασωπός, το ρ. Ελισσών, το ρ. Κυρίλου και το ρ. Σελιάνδρος.



Εικόνα 5.21 Χαμηλή ζώνη ρεμάτων παραλίας Β. Πελοποννήσου από το Κιάτο έως την Κόρινθο GR02RAK0006

Η περιοχή – ιδιαίτερα κατάντη του αυτοκινητοδρόμου Κορίνθου - Πατρών αντιμετωπίζει ιδιαίτερο πρόβλημα με τις πλημμύρες λόγω του επίπεδου αναγλύφου. Επιπλέον πολλά από τα ρέματα της περιοχής (Ζαραζάνη Κούτινα, Γουργουρώτη, Χαϊκάλη, Βαρελά, Φίλιζας) δεν

διαθέτουν κατάντη αποδέκτες και εκφυλίζονται σε πλήρως πλανώμενη απορροή που εκβάλλει στα καναλέττα των αρδευτικών δικτύων ή διαχέεται στις καλλιέργειες. Η κατασκευή του αυτοκινητοδρόμου έχει συμβάλλει στην αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων με έργα αποχέτευσης όπως εκτροπές και τμηματικές διευθετήσεις ρεμάτων, αν και τα περισσότερα έργα σχεδιάστηκαν με γνώμονα την ασφάλεια της οδού και όχι την συνολική επίλυση του προβλήματος στην περιοχή.

Οι περιοχές που συμπεριλαμβάνονται στην ΖΔΥΚΠ είναι κατά κύριο λόγο αγροτικές εκτάσεις με μέσο υψόμετρο τα 59μ και μέση κλίση της 5% (ΥΠΕΝ, 2017). Επιπλέον υπάρχουν πολλοί παραθαλάσσιοι οικισμοί στους οποίους εντοπίζεται αυξημένη τουριστική δραστηριότητα. Οι σημαντικότεροι οικισμοί είναι η Κόρινθος, τα Εξαμίλια, το Λέχαιο, ο Άσσος, το Ζευγολατειό, το Βοχαϊκό, το Βραχάτι, το Μπολάτι, το Κοκκώνι, το Βέλο, η Νεράτζα, το Κιάτο, το Κάτω Διμηνιό και το Μελίσσι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου που ακολουθήθηκε κατά την εκπόνηση της ΔΕ.

6.1 Ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα στην περιοχή μελέτης

Οι παράμετροι που συνέβαλαν στη διαμόρφωση του τελικού μοντέλου πλημμυρικής επιδεκτικότητας της περιοχής μελέτης είναι το υψόμετρο, η μορφολογική κλίση, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, η καμπυλότητα κατά την διεύθυνση της κλίσης, η καμπυλότητα κάθετα στην διεύθυνση της κλίσης, ο ρυθμός κατείσδυσης και ο εδαφικός τύπος.

6.1.1 Υψόμετρο

Το υψόμετρο παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αποτύπωση του φαινομένου της πλημμύρας. Η εναλλαγή του υψομέτρου είναι σημαντική, καθώς με αυτόν τον τρόπο οριοθετείται καλύτερα η πλημμυρισμένη περιοχή. Οι υψηλές τιμές του υψομέτρου που αντιπροσωπεύουν κυρίως ορεινούς όγκους παρουσιάζουν χαμηλή επιδεκτικότητα, ενώ οι χαμηλές τιμές που αντιπροσωπεύουν κυρίως πεδιάδες παρουσιάζουν υψηλή επιδεκτικότητα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε διάκριση των υψομέτρων της περιοχής σε εννέα κατηγορίες και σημειώθηκε ότι η πιο επιδεκτική σε πλημμυρικά φαινόμενα ήταν η υψομετρική περιοχή 0 m – 50 m που περιλαμβάνει τις παράκτιες πεδινές περιοχές.

6.1.2 Κλίση Εδάφους – Μορφολογία

Η μορφολογία της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στην επιφανειακή απορροή αφού επηρεάζει άμεσα την κατεύθυνση, την ποσότητά της καθώς και την ροή της βροχόπτωσης. Εξίσου σημαντική επίδραση έχει στην διάρκεια της χερσαίας και υπόγειας ροής. Όπως επιβεβαιώθηκε από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, οι περιοχές με μεγάλες κλίσεις δεν επιτρέπουν την συσσώρευση υδάτων ενώ οι περιοχές με μικρές κλίσεις είναι ιδιαίτερα επιδεκτικές σε πλημμύρα. Πιο συγκεκριμένα οι παράκτιες πεδινές περιοχές της περιοχής μελέτης μας ανήκουν στην ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

6.1.3 Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο

Οι περιοχές κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζουν μεγάλη επιδεκτικότητα, που επιβεβαιώνει το γεγονός ότι η βασικότερη αιτία έναρξης πλημμυρικών φαινομένων είναι η υπερχείλιση ποταμών. Σημειώνεται ότι η πλημμύρα εντοπίζεται στην κοίτη και έπειτα επεκτείνεται στη γύρω περιοχή.

6.1.4 Εδαφικό μέσο

Ανάλογα με την εδαφική κάλυψη πάνω από τους γεωλογικούς σχηματισμούς δόθηκαν και οι αντίστοιχες τιμές βαρύτητας για κάθε διαφορετικό εδαφικό μέσο που συναντάται. Στην περιοχή εντοπίζονται Άργιλος, Αμμούχος Αργιλούχος πηλός και Αργιλούχος πηλός, με τις περιοχές όπου αναπτύσσεται εδαφικό κάλυμα πλούσιο σε άργιλο να θεωρούνται οι περισσότερο επιδεκτικές σε πλημμυρικά φαινόμενα.

6.1.5 Ρυθμός κατείσδυσης

Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι ιδιαίτερα σημαντική διότι υποδηλώνει το ποσοστό των υδάτων που κατείσδύει λαμβάνοντας υπόψη και την μέση ετήσια βροχόπτωση. Οι περιοχές με μικρή κατείσδυση ανήκουν στην υψηλή ζώνη πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Για τη δημιουργία του κατάλληλου Θ.Ε.Π. αξιοποιήθηκαν γεωλογικά δεδομένα καθώς και δεδομένα της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης.

6.1.6 Καμπυλότητα

Οι δύο κατηγορίες καμπυλότητας που λήφθηκαν υπόψιν (Προφίλ – Κάτοψης) είναι σημαντικές για την τελική εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας, διότι μας βοηθούν να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε λεπτομερώς την κίνηση των υδάτων. Πιο συγκεκριμένα η καμπυλότητα του προφίλ επηρεάζει σημαντικά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση της ροής επομένως, επηρεάζει τη διάβρωση και την απόθεση, ενώ η καμπυλότητα της κάτοψης επηρεάζει τη σύγκλιση και την απόκλιση της ροής. Τόσο η καμπυλότητα κατά την διεύθυνση κλίσης, όσο και η καμπυλότητα κάθετα στην διεύθυνση κλίσης κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις κατηγορίες όπου δόθηκαν και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας όπως φαίνεται στον πίνακα 6.1 και στις σχετικές εικόνες (**Εικόνα 5.10 & Εικόνα 5.11**)

6.1.7 Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας

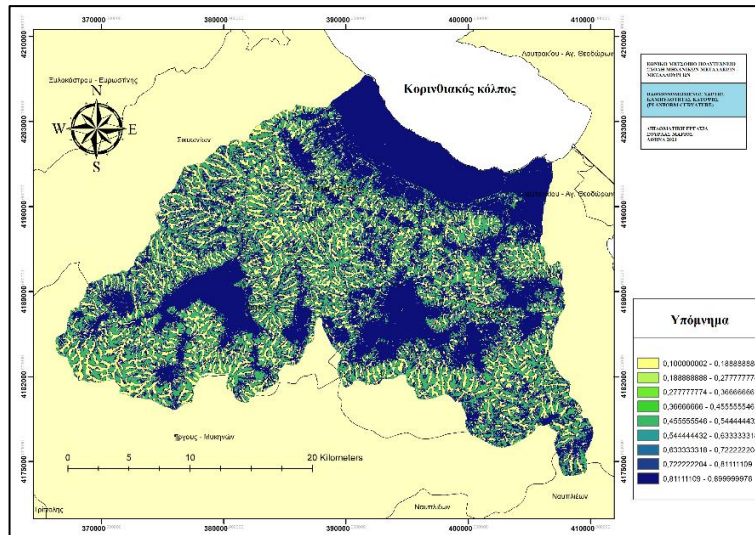
Ο τοπογραφικός δείκτης υγρασίας (Beven και Kirkby, 1979) χαρακτηρίζει την επίδραση της τοπογραφίας στις υδρολογικές διεργασίες, και κυρίως μπορεί να αποτελέσει δείκτη μέσω

του οποίου μπορεί να προσδιοριστεί η έκταση των ζωνών κορεσμού του εδάφους, που δημιουργούνται εξαιτίας της απορροής. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποτύπωση της χωρικής κατανομής της υγρασίας, και των πιθανών περιοχών όπου εξαιτίας της τοπογραφίας αποτελούν χώρους στάσιμων υδάτων.

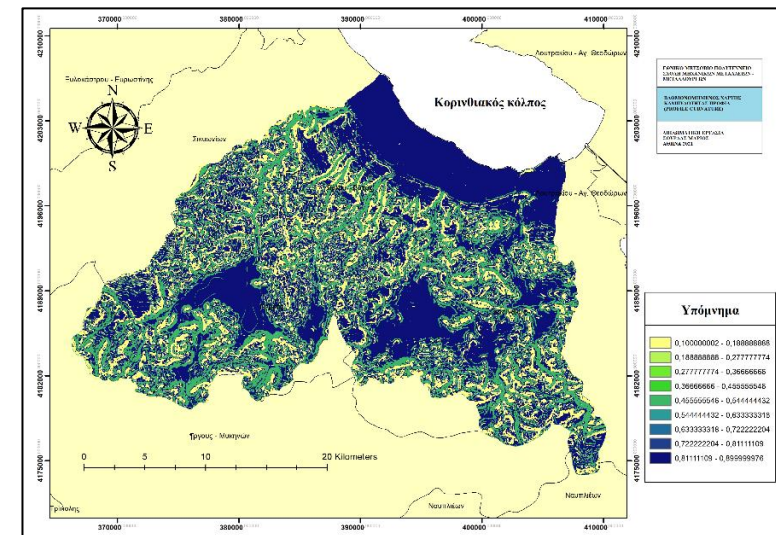
Έπειτα από κατάλληλη διαμόρφωση των προαναφερθέντων θεματικών επιπέδων πληροφοριών κι αφού δόθηκαν σε αυτά οι αντίστοιχοι συντελεστές (Πίνακας 6.1) που προέκυψαν από την εφαρμογή του μοντέλου της λογιστικής παλινδρόμησης, πραγματοποιήθηκε υπέρθεση των χαρτών (Εικόνα 6.1 – Εικόνα 6.8) με σκοπό να προκύψει το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, δηλαδή η παραγωγή του χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας.

Υψόμετρο (Elevation)		Τοπικός Δείκτης Υγρασίας (Twi)		Κατείσδυση (Recharge)		Εδαφικός Τύπος (Soil Media)	
Κύμανση (m)	Βαθμός	Κύμανση	Βαθμός	Κύμανση (mm)	Βαθμός	Εδαφικός τύπος	Βαθμός
0-50	0,9	<8.6	0,1	0-50	0,9	Άργιλος	0,9
50-100	0,8	8,7-12,0	0,5	50-100	0,8	Αργιλόχος Πηλός	0,63333
100-150	0,7	>12.1	0,9	100-180	0,6	Αμμώχος αργ. πηλός	0,1
150-200	0,6			180-250	0,3		
200-400	0,5			250+	0,1		
400-600	0,4						
600-800	0,3						
800-1000	0,2						
>1000	0,1						
Τοπογραφία (Topography)		Καμπυλότητα προφίλ (Profile curvature)		Καμπυλότητα κάτοψης (Planform curvature)		Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	
Κύμανση (°)	Βαθμός	Κύμανση	Βαθμός	Κύμανση	Βαθμός	Κύμανση (m)	Βαθμός
0-2	0,9	< -0,05	0,1	< -0,05	0,1	<50	0,9
2-5	0,7	-0,05 - +0,05	0,9	-0,05 - +0,05	0,9	51-100	0,63333
5-10	0,5	>+0,05	0,5	>+0,05	0,5	100-150	0,3667
10-15	0,3					> 151	0,1
>15	0,1						

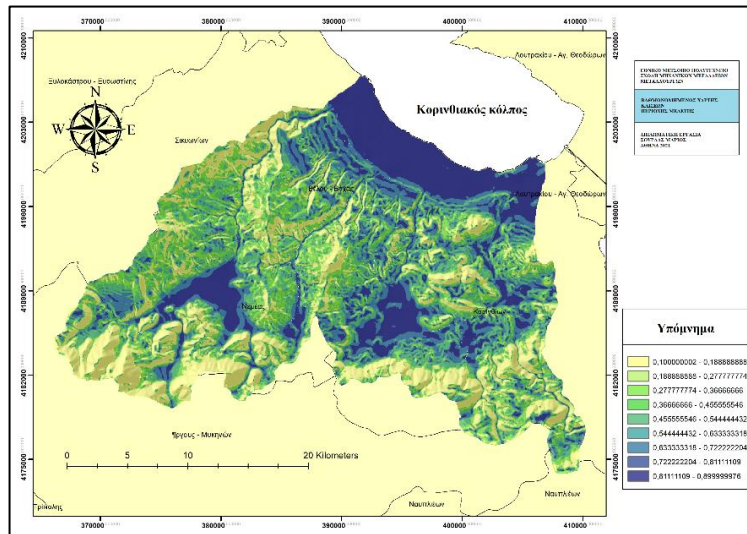
Πίνακας 6.1 Παράμετροι και συντελεστές βαρύτητας



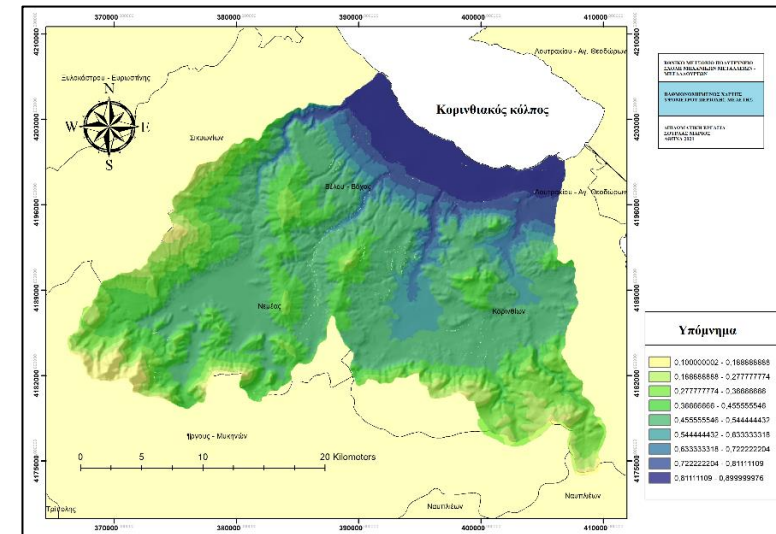
Εικόνα 6.1 Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας κάτοψης



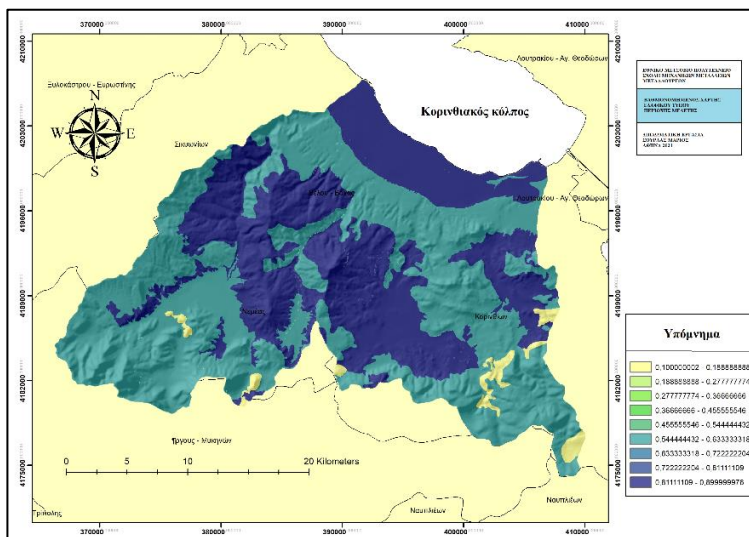
Εικόνα 6.2 Βαθμονομημένος χάρτης καμπυλότητας προφίλ



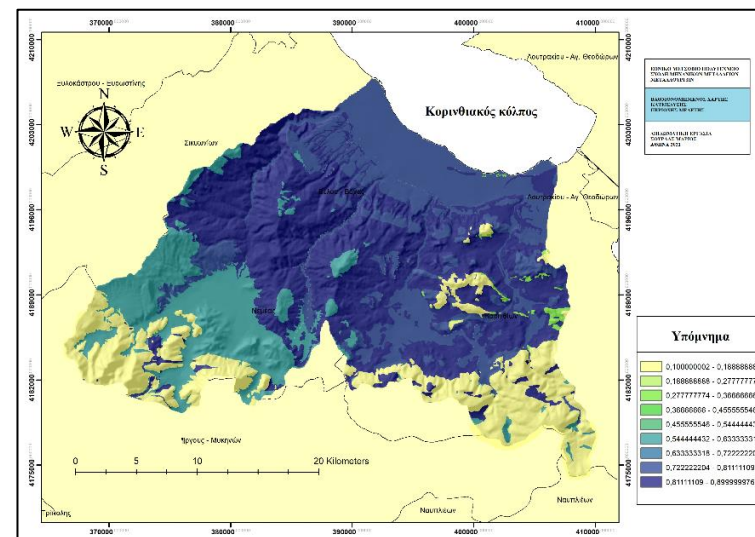
Εικόνα 6.3 Βαθμονομημένος χάρτης κλίσεων



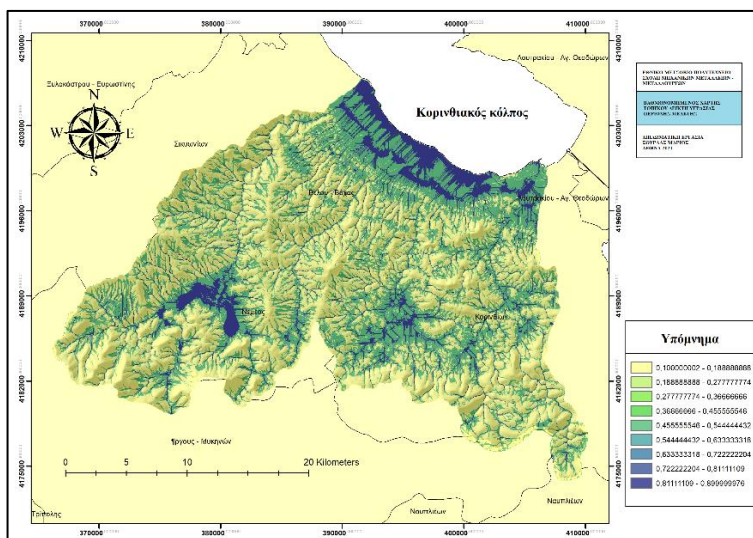
Εικόνα 6.4 Βαθμονομημένος χάρτης υψομέτρου



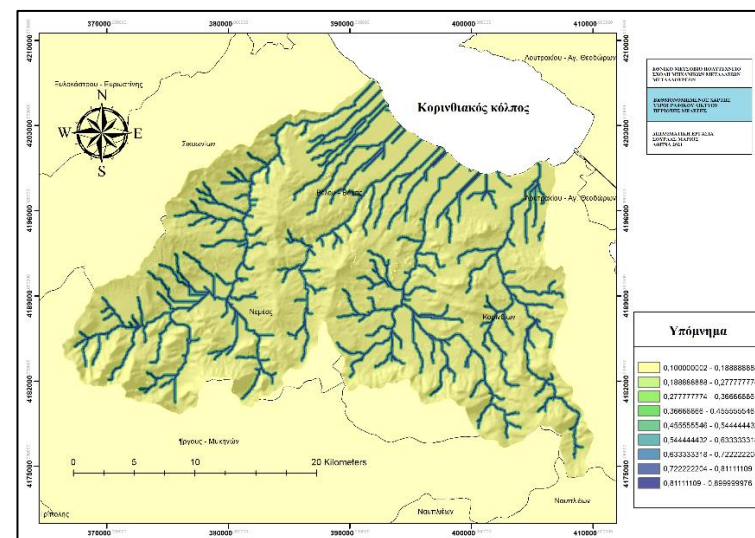
Εικόνα 6.5 Βαθμονομημένος χάρτης εδαφικού τύπου



Εικόνα 6.6 Βαθμονομημένος χάρτης κατεΐσδσης



Εικόνα 6.7 Βαθμονομημένος χάρτης τοπικού δείκτη υγρασίας

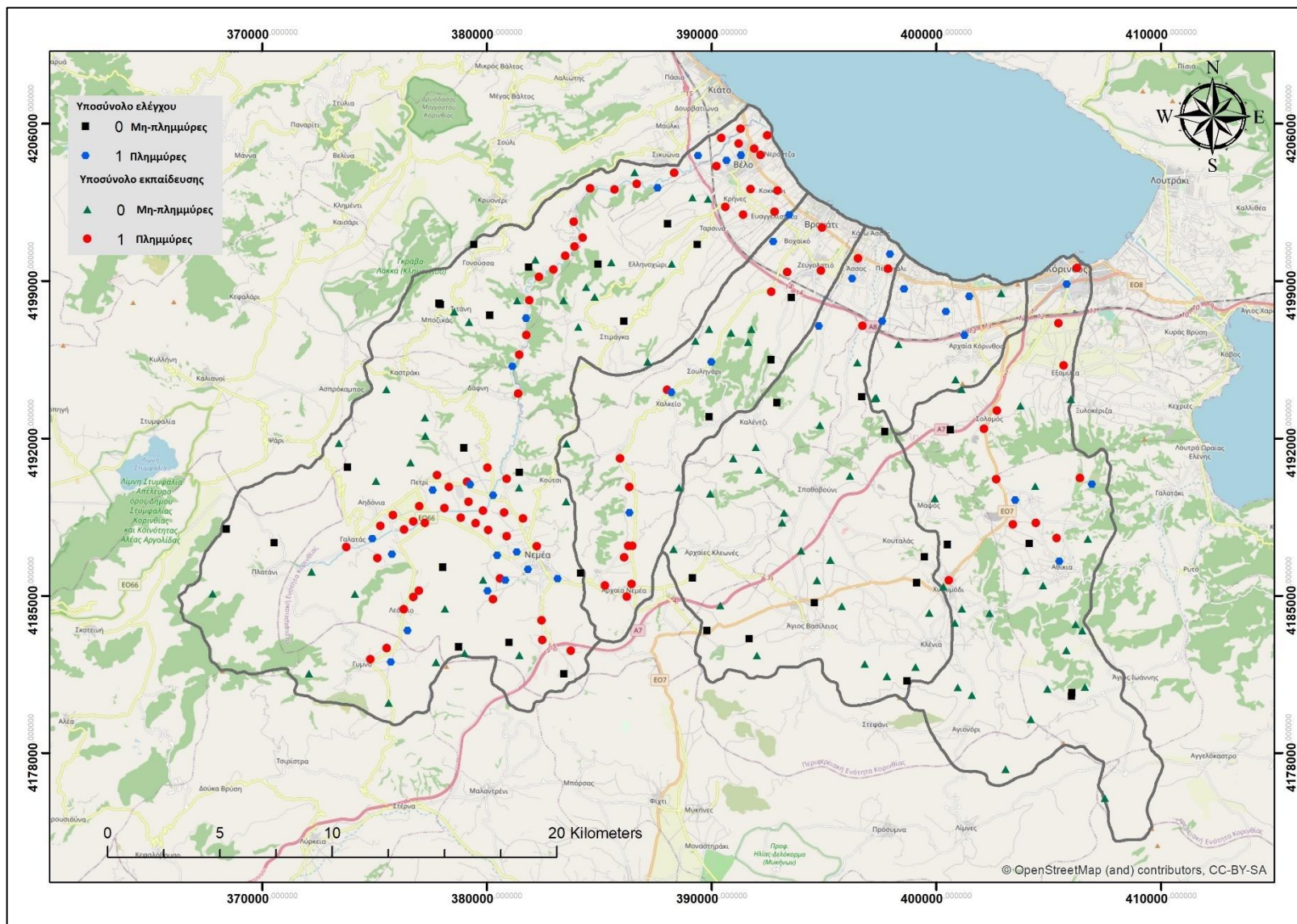


Εικόνα 6.8 Βαθμονομημένος χάρτης υδρογραφικού δικτύου

6.1.8 Χάρτης επιλεγμένων σημείων υποσυνόλων Εκπαίδευσης - Ελέγχου

Στον χάρτη που ακολουθεί (Εικόνα 6.1.8) απεικονίζονται όλα τα σημεία που επιλέχθηκαν για την εφαρμογή των δύο μοντέλων. Το σύνολο της βάσης δεδομένων αποτελείται από 123 θέσεις πλημμυρικών συμβάντων, οι οποίες αντλήθηκαν από διαφορετικές πηγές. Πιο συγκεκριμένα στα δεδομένα αυτά περιλαμβάνονται 7 σημειακές αναφορές από ιστορικές πλημμύρες, 100 τυχαίες σημειακές αναφορές που αντλήθηκαν από την ΖΔΥΚΠ της αντίστοιχης μελέτης του ΥΠΕΝ και τέλος 16 σημειακές αναφορές από επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες της περιόδου 2015-2017. Μέσω κατάλληλης επεξεργασίας τα σημεία χωρίστηκαν σε υποσύνολα εκπαίδευσης και ελέγχου.

Το 70% των συνολικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για το υποσύνολο εκπαίδευσης ενώ το υπόλοιπο 30% για το υποσύνολο ελέγχου. Όπως παρουσιάζεται στο υπόμνημα του χάρτη και για τα δύο υποσύνολα, με το αναγνωριστικό “1” θεωρούνται οι θέσεις πλημμυρικού συμβάντος ενώ με το αναγνωριστικό “0” θεωρούνται οι θέσεις με μικρή πιθανότητα πλημμύρας.



Εικόνα 6.1.8 Χάρτης επιλεγμένων σημείων υποσυνόλων Εκπαίδευσης - Ελέγχου

6.2 Δημιουργία χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με το μοντέλο fsi_expert_model

Όπως αναφέρεται και στο σχετικό κεφάλαιο της μεθοδολογίας ο υπολογισμός της πλημμυρικής επιδεκτικότητας για το μοντέλο fsi_expert_model γίνεται με την αλγεβρική χωρική πρόσθεση των επιμέρους παραμέτρων με την βοήθεια της υπορουτίνας Raster Calculator του εργαλείου Map Algebra (Spatial Analyst Tools), σύμφωνα με την εξίσωση:

$$FSI = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ij}$$

όπου, FSI: ο δείκτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας,

w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i της παραμέτρου j που προέκυψε από την γνώση των ειδικών,

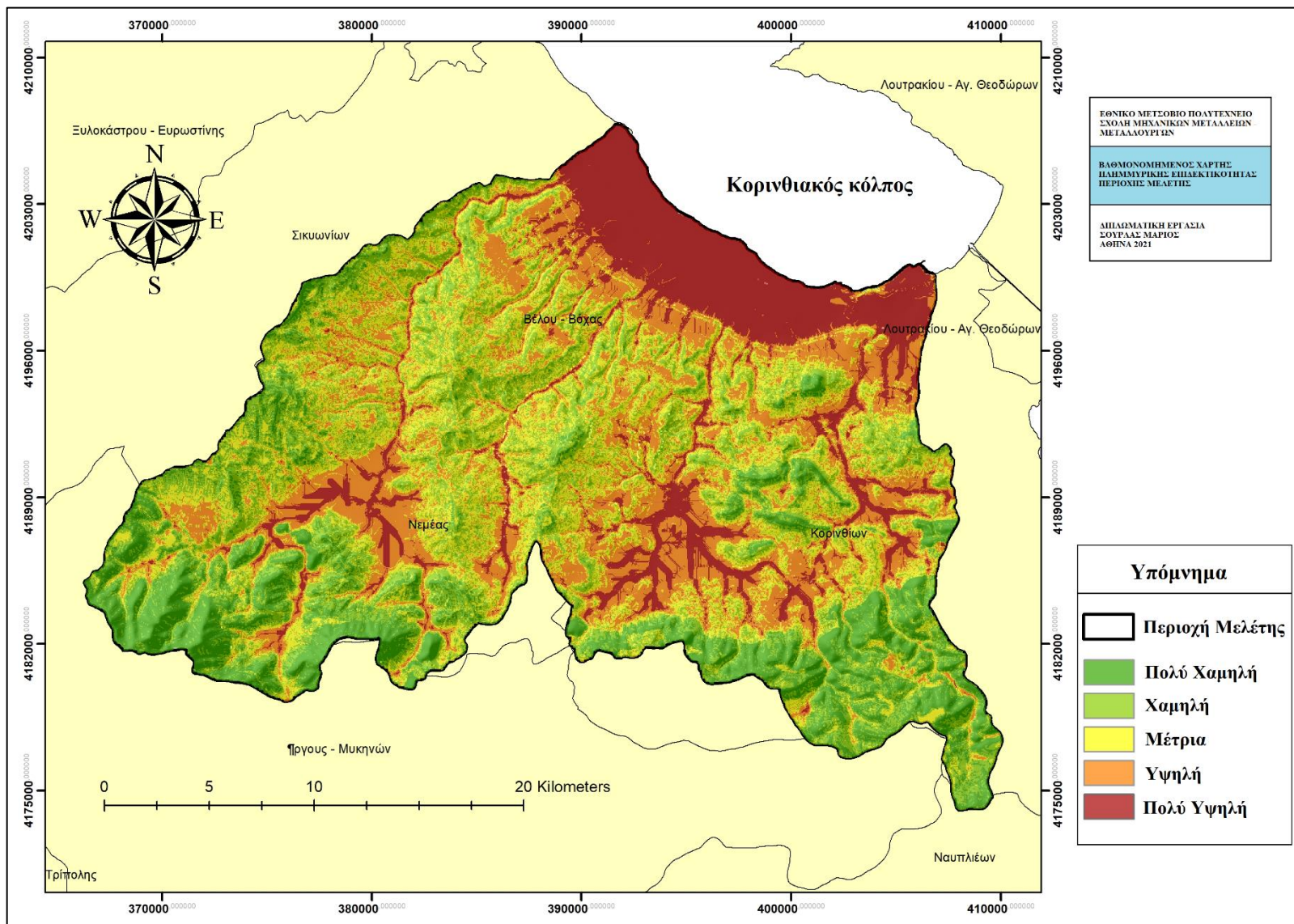
n : ο αριθμός των παραμέτρων,

m : ο αριθμός των κλάσεων κάθε παραμέτρου i .

Ο χάρτης που προκύπτει διαμορφώνεται με την χρήση της μεθόδου ταξινόμησης Natural Breaks (ESRI, 2013) σε πέντε ζώνες διαβαθμισμένης πλημμυρικής επιδεκτικότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή, πολύ υψηλή) (**Εικόνα 6.9**).

Η ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα καταλαμβάνει το 14,91% της περιοχής έρευνας (εντοπίζονται 44 πλημμυρικά φαινόμενα), η ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας το 21,54%, η μεσαία ζώνη το 24,43%, η χαμηλή ζώνη το 24,54% και η πολύ χαμηλή ζώνη το 14,58%.

Από την οπτική εξέταση του χάρτη (**Εικόνα 6.9**) διαπιστώνεται ότι η χωρική κατανομή της ζώνης πολύ υψηλή πλημμυρική επιδεκτικότητα ακολουθεί την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και καταλαμβάνει την πεδινή – παράκτια περιοχή. Για περιοχές με υψόμετρο κάτω από τα 200 μέτρα, που καταλαμβάνουν το 22,75%, το 49,49% ανήκει στην ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Αντίστοιχα, για περιοχές που απέχουν 100 μέτρα από το υδρογραφικό δίκτυο, οι οποίες καταλαμβάνουν το 15,38% της περιοχής έρευνας, το 50,36% ανήκει στην ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα.



Εικόνα 6.9 Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας περιοχής μελέτης (κατά Expert)

6.3 Δημιουργία χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας σύμφωνα με το μοντέλο `fsi_logistic_model`

Οι συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν από την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης διακρίνονται στον **Πίνακα 6.1.2**. Από τις τιμές των συντελεστών διαφαίνεται ότι την μεγαλύτερη επιρροή έχουν με σειρά, η μορφολογική κλίση, το υψόμετρο και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο ενώ την μικρότερη επιρροή η παράμετρος του εμπλουτισμού. Η αρνητική τιμή σε έναν συντελεστή δηλώνει ότι, διατηρώντας σταθερούς όλους τους άλλους προγνωστικούς παράγοντες τότε, ο λόγος πιθανής έκβασης (odd ratio) πλημμυρικού συμβάντος για την ύπαρξη μιας στοιχειώδους μονάδας της παραμέτρου που εξετάζεται είναι κατά ένα ποσοστό χαμηλότερη. Δηλαδή, στην περίπτωση της παραμέτρου του εμπλουτισμού, ο λογαριθμικός λόγος πιθανής έκβασης μειώνεται κατά 2.7182 μονάδες ή ο λόγος πιθανής έκβασης είναι μειωμένος κατά 7% ($\exp(-2.7182)$). Γεγονός που δηλώνει στην ουσία την μικρότερη επιρροή που έχει η παράμετρος σε σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Coefficients:											
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)							
(Intercept)	-7.1529	2.0133	-3.553	0.000381	***						
ele_lk	5.8351	2.0454	2.853	0.004334	**						
slope_lk	7.4511	1.8481	4.032	5.53e-05	***						
plan_lk	-0.9718	1.1592	-0.838	0.401846							
prof_lk	2.0393	1.3586	1.501	0.133350							
twi_lk	0.6447	1.1355	0.568	0.570162							
soil_lk	-0.7588	2.0680	-0.367	0.713658							
rcharg_lk	-2.7182	1.7835	-1.524	0.127494							
river_lk	2.5544	0.7966	3.207	0.001343	**						

Sig-											
nif. codes:	0	'***'	0.001	'**'	0.01	'*'	0.05	'.'	0.1	' '	1

Παράμετροι	Συντελεστές βαρύτητας
Κλίσεις	7,4511
Υψόμετρο	5,8351
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	2,5544
Καμπυλότητα Profile	2,0393
Τοπικός Δείκτης Υγρασίας	0,6447
Εδαφικός τύπος	-0,7588
Καμπυλότητα Planform	-0,9718
Ρυθμός κατεΐσδυσης	-2,7182

Πίνακας 6.1.2 Συντελεστές βαρύτητας παραμέτρων

Ο αντίστοιχος υπολογισμός της πλημμυρικής επιδεκτικότητας για το μοντέλο *fsi_logistic_model* γίνεται με την αλγεβρική χωρική πρόσθεση του γινομένου των συντελεστών βαρύτητας που προέκυψαν από την χρήση της λογιστικής παλινδρόμησης με τις επιμέρους μεταβλητές με την βοήθεια της υπορουτίνας Raster Calculator του εργαλείου Map Algebra (Spatial Analyst Tools), σύμφωνα με την εξίσωση:

$$FSI = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m W_j w_{ij}$$

όπου, FSI: ο δείκτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας,

W_j , ο συντελεστής βαρύτητας της παραμέτρου j που προέκυψε από την μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης,

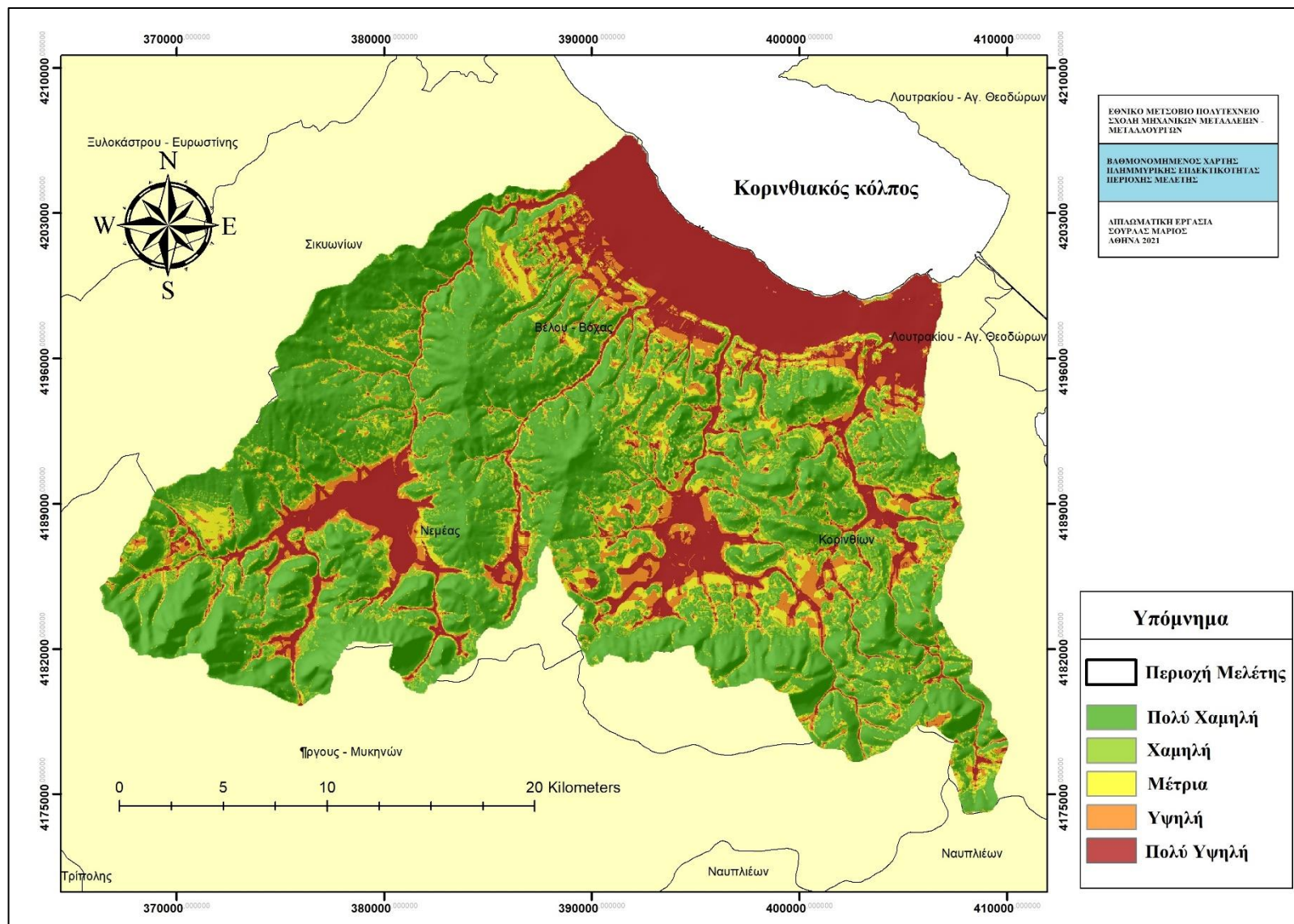
w_{ij} : ο συντελεστής βαρύτητας της κλάσης i της παραμέτρου j που προέκυψε από την γνώση των ειδικών,

n : ο αριθμός των παραμέτρων,

m : ο αριθμός των κλάσεων κάθε παραμέτρου i .

Ο χάρτης της πλημμυρικής επιδεκτικότητας που προκύπτει διαμορφώνεται σε πέντε ζώνες διαβαθμισμένης πλημμυρικής επιδεκτικότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή), χρησιμοποιώντας την μέθοδο ταξινόμησης Natural Breaks (ESRI, 2013) (**Εικόνα 6.10**). Διαπιστώθηκε ότι η ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας καταλαμβάνει το 15,72% της περιοχής έρευνας, στην οποία εντοπίζονται 53 πλημμυρικά φαινόμενα, η ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας το 8,32%, η μεσαία ζώνη το 8,67%, η χαμηλή ζώνη το 14,32% και η πολύ χαμηλή ζώνη το 52,98%.

Και σε αυτή την περίπτωση η χωρική κατανομή της ζώνης πολύ υψηλή πλημμυρική επιδεκτικότητα ακολουθεί την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου και απλώνεται κυρίως στην πεδινή, παράκτια περιοχή. Σημειώνεται ότι στις περιοχές με υψόμετρο κάτω από τα 200 μέτρα, το 51.51% ανήκει στην ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα. Και στις περιοχές που απέχουν 100 μέτρα από το υδρογραφικό δίκτυο, το μεγαλύτερο ποσοστό (51.20%) καταλαμβάνει η ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητας.



Εικόνα 6.10 Βαθμονομημένος χάρτης πλημμυρικής επιδεκτικότητας περιοχής μελέτης (Logistic Regression)

6.4 Χωρικές αναλύσεις

Στο πλαίσιο της ΔΕ και λαμβάνοντας υπόψη τους δυο παραγόμενους χάρτες καθώς και την Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας που έχει οριοθετηθεί από το ΥΠΕΚΑ, βρέθηκαν τα παρακάτω:

Η πλειονότητα των πλημμυρικών συμβάντων εντοπίζεται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά; υψόμετρο μεταξύ 200 και 400μ, με κλίσεις κάτω από 2 μοίρες, σε απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο μεγαλύτερη των 200μ, που καλύπτονται από εδαφικό τύπο που χαρακτηρίζεται από αργιλικούς σχηματισμούς. Σε ότι αφορά της χρήσης γης η πλειονότητα των πλημμυρικών συμβάντων εντοπίζεται σε αμπελώνες (Corine Code 221).

Για το μοντέλο *fsi_expert_model*, η ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα εντοπίζεται σε περιοχές όπου χαρακτηρίζονται ως προς τη χρήση γης ως αμπελώνες με ποσοστό 29.97%, ως χώροι με οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς (24.00%) και ως σύνθετες καλλιέργειες 20.35%. Ένα 9.10% της συνολικής επιφάνειας που καλύπτει η ζώνη πολύ υψηλή επιδεκτικότητα καλύπτει τεχνητές επιφάνειες (συνεχής αστική δόμηση, διακεκομμένη αστική δόμηση, βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, χώροι εξορύξεως ορυκτών, χώροι οικοδόμησης, εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής). Διευκρινίζεται ωστόσο ότι συνολικά το 46.68% των τεχνητών επιφανειών καλύπτεται από ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

Σε ότι αφορά το μοντέλο *fsi_logistic_model*, η αντίστοιχη εκτίμηση για την κάλυψη της ζώνης πολύ υψηλή επιδεκτικότητα έδειξε ότι και εδώ ως προς της χρήσης γης καταλαμβάνει τις ίδιες κατηγορίες με διαφορετικά ποσά (31.66%, 22.69% και 18.06%). Παρόμοιο αποτέλεσμα είχαμε και σε ότι αφορά τις τεχνητές επιφάνειες, ποσοστό 9.07%, ενώ συνολικά το 48.84% των τεχνητών επιφανειών καλύπτεται από ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

Σε μεγάλο ποσοστό (36.12%), τα δυο μοντέλα χαρακτήρισαν με την ίδια διαβάθμιση ως προς την πλημμυρική επιδεκτικότητα τμήματα της περιοχής μελέτης (**Εικόνα 6.11**). Ως ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας χαρακτηρίζεται και από τα δυο μοντέλα το 12.53% της συνολικής περιοχής μελέτης (**Εικόνα 6.12**), μικρότερο ποσοστό σε σχέση με το 15.72% και το 14.50% των *fsi_expert_model* και *fsi_logistic_model* αντίστοιχα.

Σε ότι αφορά το μοντέλο *fsi_expert_model*, εντός των ορίων της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, η οποία καταλαμβάνει το 16.28% της συνολικής επιφάνειας της

περιοχής μελέτης, το 61.00% της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, το 27.33% υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας, το 9.42% μέτριας επιδεκτικότητας, το 2.10% χαμηλής επιδεκτικότητας και το 0.16% πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας. Από την σχετική χωρική ανάλυση, υπολογίστηκε ότι ένα ποσοστό της τάξης του 5.78% της ζώνης πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας δεν εντοπίζεται εντός της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

Σε ότι αφορά το μοντέλο *fsi_logistic_model*, εντός των ορίων της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, το 66.97% της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, το 14.50% υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας, το 9.52% μέτριας επιδεκτικότητας, το 5.00% χαμηλής επιδεκτικότητας και το 4.00% πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας. Επίσης, σημειώνεται ότι ένα ποσοστό της τάξης του 4.81% της ζώνης πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας δεν εντοπίζεται εντός της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

6.4.1 Στατιστικά στοιχεία των υδρολογικών λεκανών της περιοχής μελέτης σύμφωνα με το μοντέλο *fsi_logistic_model*

Στον Πίνακα 6.4.1 (α) δίνεται η έκταση της κάθε λεκάνης απορροής της περιοχής μας σε σχέση με τη συνολική έκταση που μελετήθηκε. Όπως αποτυπώνεται η μεγαλύτερη λεκάνη απορροής της περιοχής μας είναι εκείνη του Ασωπού με ποσοστό 42,80%.

Λεκάνη απορροής	Ποσοστό (%) ως προς τη συνολική έκταση
Ζαπάντης	12,18
Ποταμιά	20,53
Ραχιάννης	20,09
Ασωπός	42,80
Λίτσα	4,40

Πίνακας 6.4.1 (α) Ποσοστό έκτασης λεκανών απορροής

Στη συνέχεια ακολουθούν τα ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας της κάθε κλάσης για καθεμία υδρολογική λεκάνη.

Υδρολογική λεκάνη απορροής Ασωπού	
Πλημμυρική Επιδεκτικότητα	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	61,74
Χαμηλή	11,37
Μέτρια	7,26
Υψηλή	6,74
Πολύ Υψηλή	12,88

Πίνακας 6.4.1 (β) Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ασωπού

Υδρολογική λεκάνη απορροής Ποταμιάς	
Πλημμυρική Επιδεκτικότητα	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	50,75
Χαμηλή	17,54
Μέτρια	9,28
Υψηλή	8,84
Πολύ Υψηλή	13,59

Πίνακας 6.4.1 (γ) Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη της Ποταμιάς

Υδρολογική λεκάνη απορροής Ραχιάννη	
Πλημμυρική Επιδεκτικότητα	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	43,83
Χαμηλή	19,17
Μέτρια	11,71
Υψηλή	11,11
Πολύ Υψηλή	14,17

Πίνακας 6.4.1 (δ) Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ραχιάννη

Υδρολογική λεκάνη απορροής Ζαπάντη	
Πλημμυρική Επιδεκτικότητα	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	53,36
Χαμηλή	11,88
Μέτρια	8,26
Υψηλή	6,59
Πολύ Υψηλή	19,91

Πίνακας 6.4.1 (ε) Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη του Ζαπάντη

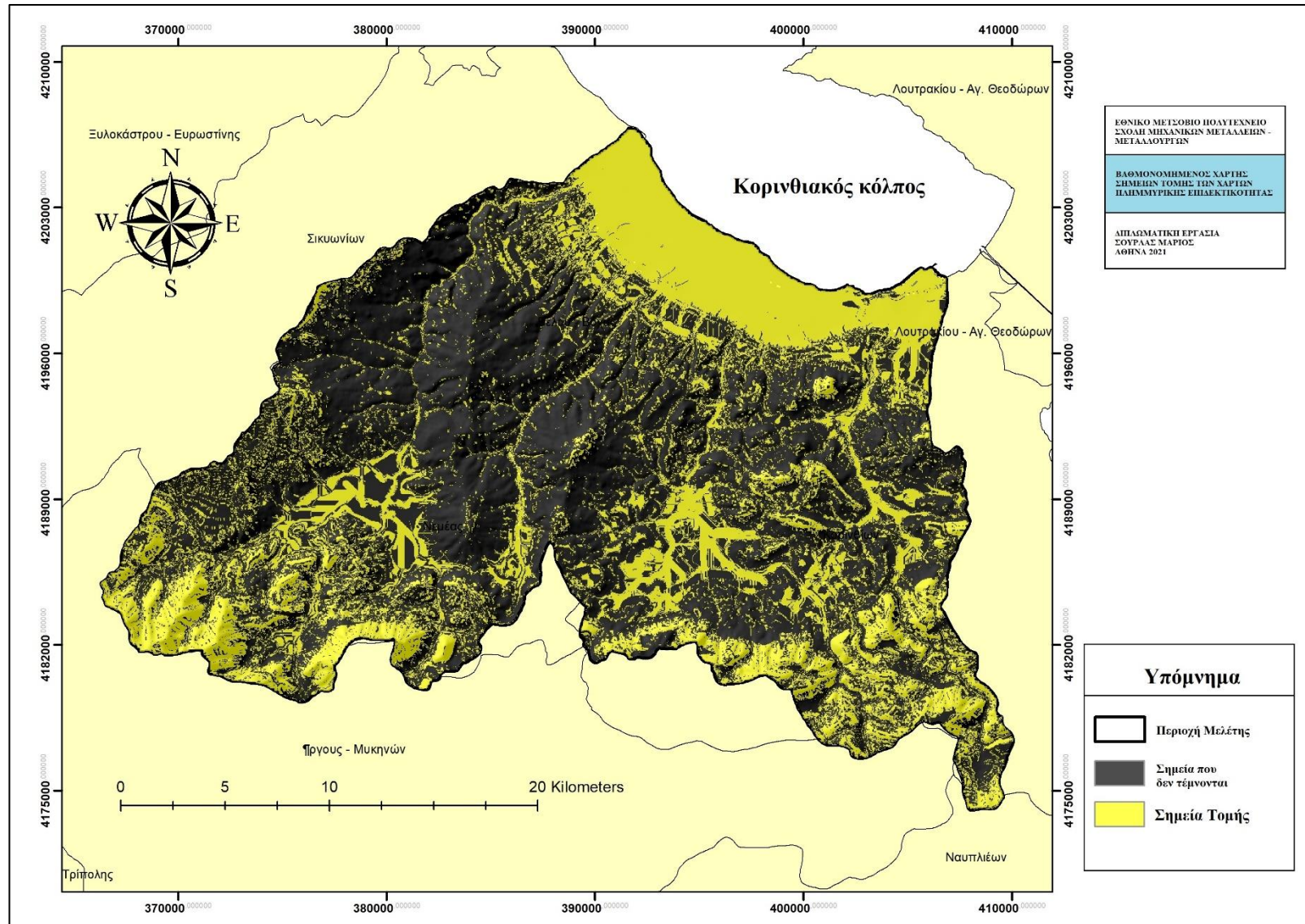
Υδρολογική λεκάνη απορροής Λίτσα	
Πλημμυρική Επιδεκτικότητα	Ποσοστό (%)
Πολύ Χαμηλή	18,73
Χαμηλή	12,60
Μέτρια	6,65
Υψηλή	13,29
Πολύ Υψηλή	48,74

Πίνακας 6.4.1 (στ) Ποσοστά πλημμυρικής επιδεκτικότητας κάθε κατηγορίας για την υδρολογική λεκάνη Λίτσα

Στον **Πίνακα 6.4.1 (ζ)** που ακολουθεί παραθέτονται τα ποσοστά της σχετικής πυκνότητας λαμβάνοντας υπόψιν το ποσοστό που καταλαμβάνει κάθε υδρολογική λεκάνη στην συνολική έκταση και το ποσοστό της πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.

Λεκάνη απορροής	Σχετική Πυκνότητα
Ζαπάντης	18,25%
Ποταμιά	12,43%
Ραχιάννης	12,99%
Λίτσα	44,51%
Ασωπός	11,81%

Πίνακας 6.4.1 (ζ) Σχετική πυκνότητα κάθε λεκάνης ως προς τη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας



Εικόνα 6.11 Βαθμονομημένος χάρτης τομής χαρτών Expert – Logistic Regression

6.5 Έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλων επιδεκτικότητας

Στην φάση αυτή, πραγματοποιήθηκε η επαλήθευση της απόδοσης μάθησης αλλά και της προγνωστικής απόδοσης μέσα από τη χρήση των καμπύλων ROC (Receiver Operating Characteristic Curves) και την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας των πλημμυρικών συμβάντων, σε σχέση με την πλημμυρική επιδεκτικότητα καθώς και των σχετικών δεικτών ακρίβειας των πινάκων σύγχυσης.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου προσδιορισμού των καμπυλών ROC, υπολογίζεται ο λόγος του εμβαδού της περιοχής που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη, AUC (Area Under Curve) προς το εμβαδό ολόκληρου του διαγράμματος. Η καμπύλη απεικονίζει την συνδιαστική επιρροή των στατιστικών δεικτών sensitivity και specificity. Ο όρος sensitivity (True Positive rate) προσδιορίζει το ποσοστό των πλημμυρών που έχουν χαρακτηριστεί σωστά ως πλημμύρες, ενώ ο όρος specificity (True Negative rate) προσδιορίζει το ποσοστό των περιοχών που θεωρούνται ασφαλή και που σωστά έχουν χαρακτηριστεί ως μη-πλημμυρικές περιοχές.

Όσο πιο υψηλό είναι το ποσοστό της καμπύλης, τόσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός των πλημμυρών που έχουν ταξινομηθεί σωστά στις ζώνες υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, και άρα τόσο πιο ακριβή είναι τα αποτελέσματα του μοντέλου. Μια τιμή AUC που κυμαίνεται γύρω στο 0.5 χαρακτηρίζεται ως τυχαία προσαρμογή ενώ τιμές κοντά στο 1 χαρακτηρίζουν μοντέλα με τέλεια προσαρμογή.

Στο πλαίσιο της ΔΕ, η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε τέσσερις (4) φορές, και αφορούσαν τα υποσύνολα δεδομένων εκπαίδευσης και ελέγχου και για τα δυο μοντέλα, expert και logistic regression.

Για το μοντέλο fsi_expert_model και το υποσύνολο εκπαίδευσης η περιοχή κάτω από την καμπύλη έχει εμβαδό 0.884 (**Σχήμα 6.1, Πίνακας 6.4**). Σε ότι αφορά την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας για το μοντέλο fsi_expert_model διαπιστώθηκε ότι από το σύνολο των 86 πλημμυρικών συμβάντων οι 78 ταξινομήθηκαν σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Η αθροιστική σχετική πυκνότητα των περιοχών αυτών φτάνει το ποσοστό των 92.74%. Μέσω της εκτίμησης του σχετικού πίνακα σύγχυσης (**Πίνακας 6.2**), υπολογίστηκε και η ακρίβεια του μοντέλου που φτάνει το 76.16%.

		Προβλεπόμενη Κατάσταση	
		Ασταθές	Σταθερό
Πραγματική Κατάσταση	Ασταθές	Αληθώς θετικό (81)	Ψευδώς αρνητικό (37)
	Σταθερό	Ψευδώς θετικό (6)	Αληθώς αρνητικό (50)

Πίνακας 6.2 Πίνακας σύγχυσης μοντέλου expert για το υποσύνολο εκπαίδευσης

Για το υποσύνολο ελέγχου και που δίνει την προγνωστική απόδοση του μοντέλου, διαπιστώθηκε ότι η περιοχή κάτω από την καμπύλη έχει εμβαδό 0.926 (**Σχήμα 6.2, Πίνακας 6.5**). Σε ότι αφορά την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας για το μοντέλο fsi_expert-model διαπιστώθηκε ότι από το σύνολο των 37 πλημμυρικών συμβάντων οι 34 ταξινομήθηκαν σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Η αθροιστική σχετική πυκνότητα των περιοχών αυτών φτάνει το ποσοστό των 94.53%. Μέσω της εκτίμησης του σχετικού πίνακα σύγχυσης (**Πίνακας 6.3**), υπολογίστηκε και η ακρίβεια του μοντέλου που φτάνει το 81.08%.

		Προβλεπόμενη Κατάσταση	
		Ασταθές	Σταθερό
Πραγματική Κατάσταση	Ασταθές	Αληθώς θετικό (35)	Ψευδώς αρνητικό (12)
	Σταθερό	Ψευδώς θετικό (2)	Αληθώς αρνητικό (25)

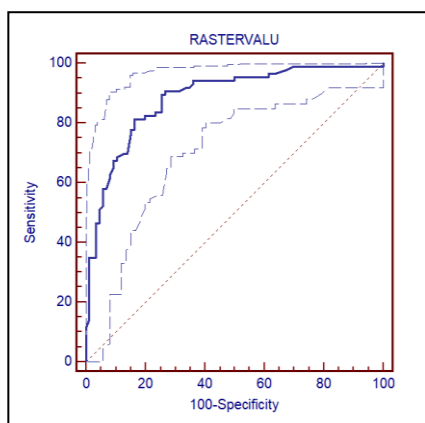
Πίνακας 6.3 Πίνακας σύγχυσης μοντέλου expert για το υποσύνολο ελέγχου

```
train_roc_expert1
Area under the ROC curve (AUC) 0,884
Standard Error a 0,0259
95% Confidence Interval b 0,826 to 0,928
z statistic 14,805
Significance level P (Area=0.5) 0,0001
```

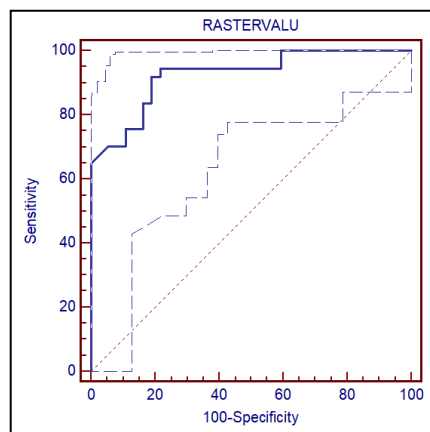
```
test_roc_expert1
Area under the ROC curve (AUC) 0,926
Standard Error a 0,0293
95% Confidence Interval b 0,841 to 0,974
z statistic 14,556
Significance level P (Area=0.5) 0,0001
```

Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα μοντέλου expert για το υποσύνολο εκπαίδευσης

Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα μοντέλου expert για το υποσύνολο ελέγχου



Σχήμα 6.1 Train ROC μεθόδου expert



Σχήμα 6.2 Test ROC μεθόδου expert

Για το μοντέλο `fsi_logistic_model` και το υποσύνολο εκπαίδευσης η περιοχή κάτω από την καμπύλη έχει εμβαδό 0.928 (Σχήμα 6.3, Πίνακας 6.8). Σε ότι αφορά την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας για το μοντέλο Logistic διαπιστώθηκε ότι από το σύνολο των 86 πλημμυρικών συμβάντων οι 72 ταξινομήθηκαν σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Η αθροιστική σχετική πυκνότητα των περιοχών αυτών φτάνει το ποσοστό των 82.95%. Μέσω της εκτίμησης του σχετικού πίνακα σύγκρισης (Πίνακας 6.6), υπολογίστηκε και η ακρίβεια του μοντέλου που φτάνει μοντέλου που φτάνει το 86.05%.

Προβλεπόμενη Κατάσταση

		Ασταθές	Σταθερό
Πραγματική Κατάσταση	Ασταθές	Αληθώς θετικό (76)	Ψευδώς αρνητικό (14)
	Σταθερό	Ψευδώς θετικό (10)	Αληθώς αρνητικό (72)

Πίνακας 6.6 Πίνακας σύγκρισης μοντέλου Logistic Regression
για το υποσύνολο εκπαίδευσης

Για το υποσύνολο ελέγχου και που δίνει την προγνωστική απόδοση του μοντέλου, διαπιστώθηκε ότι η περιοχή κάτω από την καμπύλη έχει εμβαδό 0.932 (Σχήμα 6.4, Πίνακας 6.9). Σε ότι αφορά την εκτίμηση της σχετικής πυκνότητας για το μοντέλο expert διαπιστώθηκε ότι από το σύνολο των 37 πλημμυρικών συμβάντων οι 32 ταξινομήθηκαν σε περιοχές υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Η αθροιστική σχετική πυκνότητα των περιοχών

αυτών φτάνει το ποσοστό των 87.89%. Μέσω της εκτίμησης του σχετικού πίνακα σύγχυσης (Πίνακας 6.7), υπολογίστηκε και η ακρίβεια του μοντέλου που φτάνει το 86.49%.

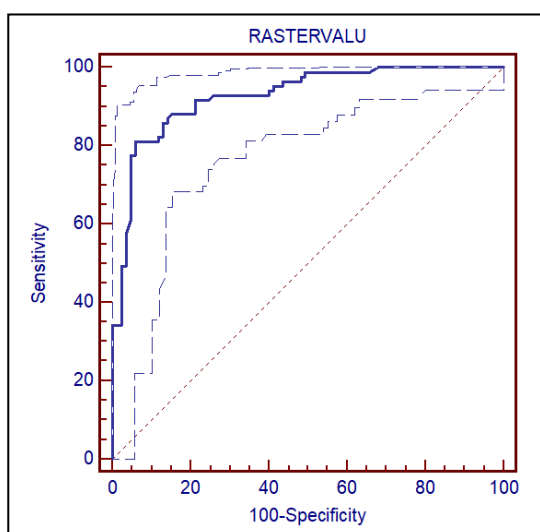
		Προβλεπόμενη Κατάσταση	
		Ασταθές	Σταθερό
Πραγματική Κατάσταση	Ασταθές	Αληθώς θετικό (33)	Ψευδώς αρνητικό (6)
	Σταθερό	Ψευδώς θετικό (4)	Αληθώς αρνητικό (31)

Πίνακας 6.7 Πίνακας σύγχυσης μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο ελέγχου

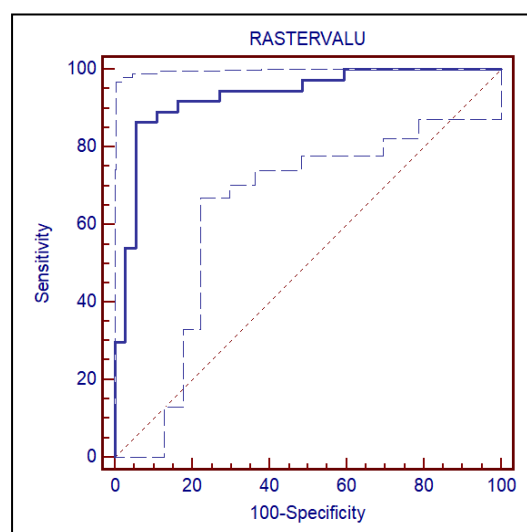
<p>Train</p> <p>Area under the ROC curve (AUC) 0,928 Standard Error a 0,0194 95% Confidence Interval b 0,879 to 0,962 z statistic 22,058 Significance level P (Area=0.5) 0,0001</p>
<p>test_roc_log1</p> <p>Area under the ROC curve (AUC) 0,932 Standard Error a 0,0302 95% Confidence Interval b 0,849 to 0,977 z statistic 14,284 Significance level P (Area=0.5) 0,0001</p>

Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο εκπαίδευσης

Πίνακας 6.9 Αποτελέσματα μοντέλου Logistic Regression για το υποσύνολο ελέγχου



Σχήμα 6.3 Train ROC μεθόδου Logistic Regression



Σχήμα 6.4 Test ROC μεθόδου Logistic Regression

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βασικό αντικείμενο της παρούσας ΔΕ αποτέλεσε η εκτίμηση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής με την χρήση μεθόδων που αξιοποιούν την γνώση των ειδικών αλλά και μεθόδων που επεξεργάζονται και αναλύουν δεδομένα. Ειδικότερα, ως προς τη χρήση μεθόδων που αξιοποιούν την γνώση των ειδικών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος βαθμονόμησης Rating, ενώ για την δεύτερη περίπτωση η μέθοδος της Λογιστικής Παλινδρόμησης.

Ως περιοχή εφαρμογής της αναπτυχθείσας μεθοδολογίας επιλέχθηκε τμήμα του νομού Κορινθίου και συγκεκριμένα η περιοχή που απαρτίζεται από τις υδρολογικές λεκάνες απορροής Ασωπού, Ζαπάντη, Ραχιάννη, Ποταμιάς και Λίτσα. Οι χάρτες που παράχθηκαν από την εφαρμογή των δυο μοντέλων, σε μια κλίμακα πέντε ζωνών διαβαθμισμένης επιδεκτικότητας (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή επιδεκτικότητα) συγκρίθηκαν με βάση την προγνωστική τους ικανότητα.

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της ΔΕ περιείχε 123 θέσεις πλημμυρικών συμβάντων, οι οποίες αντλήθηκαν από διάφορες πηγές. Συγκεκριμένα τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν προέρχονται από προηγούμενες καταγεγραμμένες περιπτώσεις, την ανάλυση δορυφορικών δεδομένων (χρονικής περιόδου 2016-2018) και την Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας όπως έχει οριστεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.

Σε ότι αφορά τώρα την πλημμυρική επιδεκτικότητα στις οικιστικές περιοχές, αυτή θεωρείται σημαντικότερη και μεγαλύτερου βαθμού, συγκριτικά με τις μεγάλες πεδινές εκτάσεις. Πολυάριθμα είναι τα παραδείγματα πόλεων που επλήγησαν από καταστροφικές πλημμύρες προκαλώντας αρκετά θύματα.

Κύριες αιτίες αύξησης των πλημμυρικών καταστροφών στις αστικές περιοχές είναι:

- Η μείωση της διατομής της κοίτης των ρεμάτων, στις οικιστικές περιοχές εξαιτίας της ανεξέλεγκτης δόμησης, ή ακόμα και η επικάλυψή τους από τη ρίψη αδρανών υλικών καθώς και την αυθαίρετη κατασκευή τεχνικών έργων.
- Η καταστροφή των δασών από τις πυρκαγιές, όπως επίσης και την αποψίλωση.
- Η μείωση της κατείδυσης και η αύξηση της επιφανειακής απορροής συνέπεια της κάλυψης στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής λόγω ενδεχόμενης αστικοποίησης.
- Η άστοχη κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων που δεν είναι συμβατά με το περιβάλλον.

7.1 Σχολιασμός και σύγκριση των δύο μοντέλων

Ως προς τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν, και οι οποίες επιλέχθηκαν μετά από σχετική βιβλιογραφική αναζήτηση, αυτές αφορούσαν: το υψόμετρο, την μορφολογική κλίση, τον εδαφικό τύπο, τον τοπογραφικό δείκτη υγρασίας, την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, την κάθετη καμπυλότητα Profile Curvature, την καμπυλότητα Planform Curvature, τον εμπλουτισμό (συνδυασμό κατεΐσδυσης και ποσού βροχόπτωσης).

Όπως σημειώθηκε στα αποτελέσματα, η πλειοψηφία των περιοχών στις οποίες εντοπίζονται πλημμυρικά συμβάντα έχουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά:

- Υψόμετρο από 200m έως 400m
- Κλίσεις μικρότερες από 2°
- Απόσταση υδρογραφικού δικτύου μεγαλύτερη από 200m
- Σχηματισμοί με μεγάλο ποσοστό αργίλου

Η πλειονότητα των πλημμυρών εντοπίζεται σε αμπελώνες. Πιο αναλυτικά για τη μέθοδο του *fsi_expert_model* σημειώνεται ότι το 29.97% της ζώνης πολύ υψηλής επιδεκτικότητας ανήκει σε περιοχές με αμπελώνες ενώ το 9.10% σε τεχνητές επιφάνειες. Τα αντίστοιχα ποσοστά για τη μέθοδο Logistic είναι 31.66% και 9.07%. Ωστόσο σημειώνεται ότι κατά το *fsi_expert_model* το 46.68% των τεχνητών επιφανειών ανήκει στη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, ενώ κατά το *fsi_logistic_model* το ποσοστό αυτό αντιστοιχεί σε 48.84%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα σημεία πλημμυρών που επιλέχθηκαν βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 200 μέτρων από το υδρογραφικό δίκτυο, αυτό προέκυψε λόγω της δειγματοληψίας και δεν σημαίνει ότι δεν εκδηλώνονται πλημμυρικά συμβάντα σε κοντινότερες θέσεις. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, οι περιοχές κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο είναι εξαιρετικά επιδεκτικές σε πλημμυρικά φαινόμενα καθώς η παράμετρος της απόστασης ήταν από τις πιο σημαντικές για την εφαρμογή των μοντέλων Expert – Logistic.

Από τα αποτελέσματα των προγνωστικών μοντέλων που προέκυψαν, γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα για πρόληψη από τυχόν πλημμυρικά φαινόμενα, καθώς σχεδόν η μισή έκταση των τεχνητών επιφανειών βρίσκεται στη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Οι τεχνητές επιφάνειες περιλαμβάνουν εκτάσεις με συνεχή και διακεκομμένη αστική δόμηση, βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες, οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα κ.α. συνεπώς η εκδήλωση ενός πλημμυρικού συμβάντος μπορεί να επιφέρει μεγάλες καταστροφές και παράλληλα να θέσει

σε κίνδυνο τις ζωές πολλών ανθρώπων. Από την άλλη πλευρά, και για τα δύο μοντέλα, οι αμπελώνες, τα οπωροφόρα δένδρα και οι φυτείες με σαρκώδεις καρπούς καταλαμβάνουν και αυτά μεγάλο ποσοστό της ζώνης πολύ υψηλής επιδεκτικότητας. Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 5, οι αμπελώνες και οι ελαιώνες καταλαμβάνουν σημαντικές εκτάσεις γης και αποτελούν σημαντικό οικονομικό καρπό της περιοχής, συνεπώς οι πλημμυρικές καταστροφές εντός των ζωνών πολύ υψηλής επιδεκτικότητας είναι ικανές να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομία της περιοχής.

Τα δύο μοντέλα σύμφωνα με τις επαληθεύσεις έδωσαν αξιόλογα αποτελέσματα και έγκυρες προβλέψεις. Αξίζει να σχολιαστεί ότι σε μεγάλο ποσοστό (36.12%), τα δύο μοντέλα χαρακτήρισαν τμήματα της περιοχής μελέτης με την ίδια διαβάθμιση. Σχετικά με τη ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, το μοντέλο *fsi_expert_model* υπέδειξε ότι το 15.72% της περιοχής μελέτης ανήκει σε αυτή, ενώ το *fsi_logistic_model* υπέδειξε μικρότερο ποσοστό, και συγκεκριμένα 14.50%. Συνολικά και τα δύο μοντέλα χαρακτήρισαν το 12.53% της περιοχής μελέτης ως ζώνη υψηλής επιδεκτικότητας.

Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται η κοινή αποτύπωση των αποτελεσμάτων των δύο μεθόδων για τα υποσύνολα εκπαίδευσης και επαλήθευσης.

	Expert		Logistic	
	Υποσύνολο Εκπαίδευσης	Υποσύνολο Ελέγχου	Υποσύνολο Εκπαίδευσης	Υποσύνολο Ελέγχου
Εμβαδόν καμπύλης ROC	0,884	0,926	0,928	0,932
Αθροιστική Σχετική Πυκνότητα (%)	92,74	94,53	82,95	87,89
Εκτίμηση ακρίβειας (%)	76,16	81,08	86,05	86,49

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μεθόδου Expert - Logistic

Έπειτα από ανάγνωση και μελέτη του **Πίνακα 7.1**, αξίζει να σχολιαστεί ότι και για τα δύο υποσύνολα του μοντέλου Logistic, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις ROC καμπύλες και την εκτίμηση ακρίβειας είναι καλύτερα. Σχετικά με την Αθροιστική Σχετική Συχνότητα η μέθοδος του Expert έδωσε ορθότερα αποτελέσματα και για τα δύο υποσύνολα. Αξίζει να

σημειωθεί ότι τα δύο μοντέλα και για τις τρεις παραπάνω μεθόδους επαλήθευσης φέρουν παραπλήσιες τιμές, με χαρακτηριστικό παράδειγμα το εμβαδό καμπύλης ROC, όπου για το υποσυνόλου Ελέγχου για το *fsi_expert_model* είχε την τιμή 0,926 ενώ για το *fsi_logistic_model* 0,932. Από τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για την αποτελεσματικότερη και πιο αξιόπιστη απεικόνιση της πλημμυρικής επιδεκτικότητας μιας περιοχής είναι προτιμότερο να γίνεται συνδυαστική χρήση των δύο τεχνικών.

Σύμφωνα με το μοντέλο του *fsi_expert_model*, εντός των ορίων της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΥΠΕΝ), σημειώνεται ότι το 88,33% ανήκει στις δύο σημαντικότερες κατηγορίες πλημμυρικής επιδεκτικότητας (υψηλή, πολύ υψηλή). Το αντίστοιχο ποσοστό για το μοντέλο *fsi_logistic_model* είναι 81,47%.

Το μοντέλο πρόγνωσης *fsi_logistic_model* που εφαρμόστηκε στην περιοχή έρευνας υπέδειξε ότι το 52,98% της περιοχής ανήκει στην ζώνη πολύ χαμηλής επιδεκτικότητας σε αντίθεση με τον *fsi_expert_model* που στην ίδια κατηγορία χαρακτήρισε μόλις το 14,58% της περιοχής.

Αξιοσημείωτο σχολιασμού είναι το γεγονός ότι υπολογίστηκαν ποσοστά της ζώνης πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας και των δύο χαρτών, όπου δεν εντοπίζεται εντός των ορίων της Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας του ΥΠΕΝ. Συγκεκριμένα εκτός της οριοθετημένης περιοχής από το Υπουργείο βρίσκεται το 5.78% για την πρόγνωση του *fsi_expert_model* και το 4.81% για την πρόγνωση του *fsi_logistic_model*. Με άλλα λόγια, με βάση τα αποτελέσματα των τελικών χαρτών των δύο μεθόδων, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η μελέτη του ΥΠΕΝ για τις ΖΔΥΚΠ δεν συμπεριλαμβάνει όλες τις περιοχές πλημμυρικής επιδεκτικότητας, της περιοχής μελέτης. Σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα προγνωστικά μοντέλα που εφαρμόστηκαν κατέληξαν σε διαχωρισμό της περιοχής σε πέντε βαθμίδες επιδεκτικότητας (πολύ χαμηλής, χαμηλής, μέτριας, υψηλής, πολύ υψηλής), συνεπώς απέδωσαν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Συνοψίζοντας και συνδυάζοντας τα αποτελέσματα που σχολιάστηκαν καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι για την πλήρη και αποτελεσματική αποτύπωση ενός χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας απαιτείται ο συνδυασμός μεθόδου βαθμονόμησης (στηριζόμενη στην γνώση του ειδικού) και Στατιστικών μεθόδων. Η γνώση που αποκτάται από την παρούσα διπλωματική εργασία είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί από αρμόδιους και κρατικούς φορείς με στόχο την έγκαιρη πρόληψη από πλημμυρικά φαινόμενα μέσω επιλογής των κατάλληλων αντιπλημμυρικών πρακτικών.

Σχολιασμός αποτελεσμάτων Ενότητας 6.4.1

Από τα αποτελέσματα της **Ενότητας 6.4.1** παρατηρούμε ότι η υδρολογική λεκάνη απορροής Ασωπού καταλαμβάνει την μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης μας, αγγίζοντας το ποσοστό 42,8%, ενώ ακολουθούν οι λεκάνες Ξηριά-Ποταμιά και Ραχιάννη.

Το μεγαλύτερο ποσοστό πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας σε σχέση με την έκταση της λεκάνης, το κατέχει η υδρολογική λεκάνη «Λίτσα» και είναι 48,74%, η οποία όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 6.4.1 (α)** είναι η μικρότερη λεκάνη της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια ακολουθούν οι λεκάνες Ζαπάντη και Ραχιάννη με ποσοστά πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας 19,91% και 14,17% αντίστοιχα.

Συνδυάζοντας την τελευταία κλάση πλημμυρικής επιδεκτικότητας με το ποσοστό που καταλαμβάνει η λεκάνη ως προς την συνολική έκταση της περιοχής μελέτης διαμορφώθηκε ο **Πίνακα 6.4.1 (ζ)**. Από τη μελέτη του πίνακα που προαναφέρθηκε συμπεραίνουμε ότι η πιο επιδεκτική σε πλημμύρες σε σχέση με τη συνολική περιοχή μελέτης είναι η υδρολογική λεκάνη Λίτσα με σχετική πυκνότητα 44,11%, ακολουθούν η λεκάνη Ζαπάντη (18.25%), η λεκάνη Ραχιάννη (12.99%), η λεκάνη Ξηριά-Ποταμιά (12.43%) και η λεκάνη Ασωπού (11.81%).

Γενικά όσο μικρότερη και όσο κυκλικότερη είναι μια λεκάνη απορροής τόσο μειώνεται ο χρόνος εμφάνισης της αναμενόμενης μέγιστης απορροής και αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης αιφνίδιων πλημμυρών (Patton and Baker, 1976; Smith and Stopp 1978; Zavoianu 1985). Σύμφωνα με τον Αντωνάκο (2012), οι μέγιστες αναμενόμενες πλημμυρικές απορροές κυμαίνονται για την λεκάνη Ασωπού μεταξύ 158 και 797 m³/sec για την λεκάνη Ραχιάννη μεταξύ 115 και 746 m³/sec, για την λεκάνη Ξηριά – Ποταμιά μεταξύ 115 και 901 m³/sec και για την λεκάνη Ζαπάντη μεταξύ 53 και 394 m³/sec και την λεκάνη Λίτσα μεταξύ 9 και 160 m³/sec, ενώ για τους χρόνους συγκέντρωσης έδωσε τις ακόλουθες εκτιμήσεις: Ασωπού 46min, Ραχιάννη 29min, Ξηριά 30min, Ζαπάντη 40min και Λίτσα 8min.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η λεκάνη Ξηριά-Ποταμιά, η οποία εμφανίζει τις μεγαλύτερες παροχές και σχετικά μικρό χρόνο συγκέντρωσης αλλά και σημαντική έκταση η οποία εντάσσεται στην ζώνη πολύ υψηλή πλημμυρική επιδεκτικότητα, θεωρείται η πιο ευάλωτη στην περίπτωση ενός πλημμυρικού φαινομένου, ακολουθούμενη από τη λεκάνη Ραχιάννη. Το ρέμα Ποταμιά, της λεκάνης Ξηριά-Ποταμιά, διασχίζει την πόλη της Κορίνθου και στο παρελθόν έχει δημιουργήσει πλημμυρικά φαινόμενα και για την αντιμετώπιση των προβλημάτων έχει κατασκευαστεί αγωγός για διευθέτηση του ρέματος σε μήκος περίπου 13

km από την εκβολή του (ΥΠΠΕΝ, 2017). Η λεκάνη Λίτσα συνδυάζει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να την κατατάξουν στην πρώτη θέση ως προς την επικινδυνότητα, παρουσιάζει όμως μικρή πλημμυρική παροχή. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι δεν θα παρουσιαστούν προβλήματα, αλλά το μέγεθος αυτών θα είναι περιορισμένο (χρονικά και σε ένταση) σε σχέση με τις υπόλοιπες λεκάνες.

7.2 Πλημμυρικά επεισόδια στην περιοχή έρευνας και σχολιασμός του προγνωστικού μοντέλου

Προς επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας του μοντέλου της λογιστικής παλινδρόμησης, διενεργήθηκε αναζήτηση στο διαδίκτυο για πλημμυρικά συμβάντα (2018- έως σήμερα). Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της αναζήτησης προέκυψαν περιοχές με έντονα προβλήματα. Στις επόμενες παραγράφους γίνεται αποτύπωση του τελικού χάρτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας στις θέσεις αυτές όπου διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα αυτών βρίσκονται στην ζώνη υψηλής και πολύ υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας.

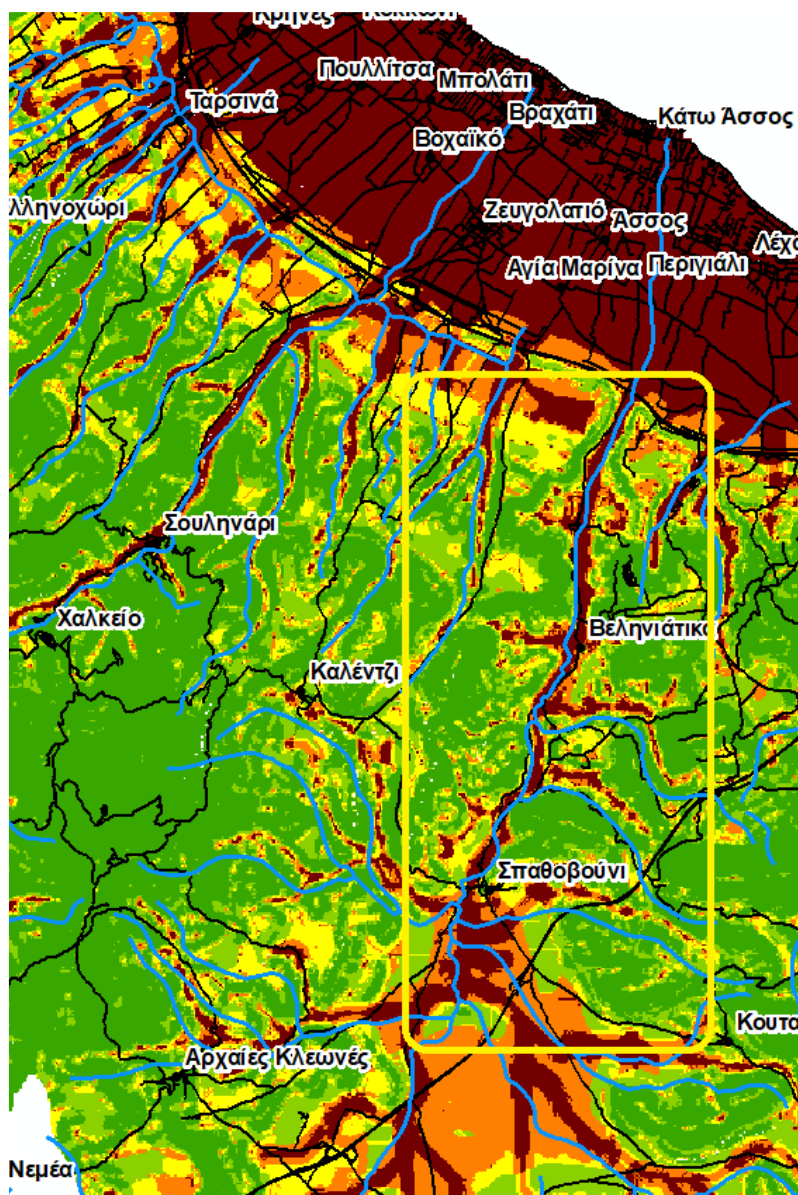
Στις 29 Σεπτεμβρίου 2018 σημειώθηκε πλημμύρα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Η εκδήλωση του συγκεκριμένου πλημμυρικού συμβάντος οφείλεται στον κυκλώνα «Ζορμπάς». Συγκεκριμένα το Σάββατο (29/9/2018) ήταν η πρώτη ημέρα ισχυρών φαινομένων στη χώρα μας. Ο κυκλώνας ξεκίνησε σταδιακά να επηρεάζει τα νοτιοδυτικά τμήματα της χώρας αφήνοντας στο τέλος της ημέρας από 50 mm έως 175 mm σε Πελοπόννησο, Στερεά Ελλάδα, Εύβοια και νότια Θεσσαλία. Την Κυριακή (30/9/2018) το σύστημα παρέμεινε σχεδόν στάσιμο κινούμενο ιδιαίτερος αργά, συνεχίζοντας να επηρεάζει την ανατολική Στερεά και την Εύβοια. Ωστόσο βροχές δεν έλειψαν στο σύνολο της χώρας. Και πάλι πολλές περιοχές σε ανατολική Στερεά, Εύβοια και νότια Θεσσαλία ξεπέρασαν τα 100 mm μέσα στην ημέρα. Ενώ μεγάλα ύψη βροχής δέχτηκαν και οι Κυκλάδες (έως και >40 mm). Παρόμοια η κατάσταση και στις βόρειες Σποράδες. Σχεδόν όλος ο Δήμος Κορινθίων έχει πληγεί ανεπανόρθωτα σε υποδομές, κτιριακές εγκαταστάσεις και εξοπλισμό σπιτιών και επιχειρήσεων.

Τα σοβαρότερα προβλήματα εντοπίζονται στον Κάτω Άσσο, τα Λουτρά Ωραίας Ελένης, την Αλμυρή και το Κατακάλι (εκτός ορίων περιοχής έρευνας). Το αγροτικό οδικό δίκτυο υπέστη πολύ μεγάλες καταστροφές στο σύνολο των δημοτικών και τοπικών κοινοτήτων.

Ειδικότερα:

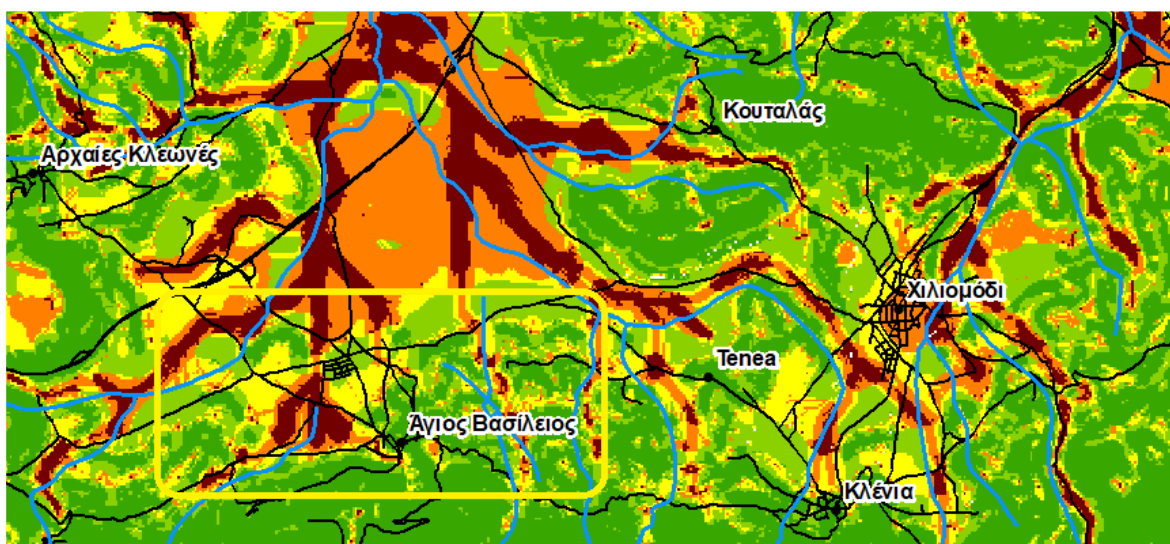
- Στον Κάτω Άσσο καταστράφηκε το ποδοσφαιρικό γήπεδο, το παραλιακό πάρκο με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις, τα γήπεδα τένις καθώς επίσης αρκετά σπίτια και

καταστήματα της παραλίας, γύρω από τον χείμαρρο, έχουν πλημμυρίσει και έχουν υποστεί σημαντικότερες ζημιές. Ο δρόμος Άσσοσ-Βεληγιάτικα-Σπαθοβούνι παρουσίασε σοβαρά προβλήματα προσβασιμότητας, όπου μεγάλα τμήματα είχαν πλημμυρίσει. Στον χάρτη της **Εικόνας 7.2** οριοθετείται η πλημμυρισμένη περιοχή που ενώνει το Σπαθοβούνι, τα Βεληγιάτικα και τον Άσσο. Όπως παρατηρούμε ο δρόμος που ενώνει τα τρία χωριά βρίσκεται παράλληλα με το υδρογραφικό δίκτυο εντός της ζώνης πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.



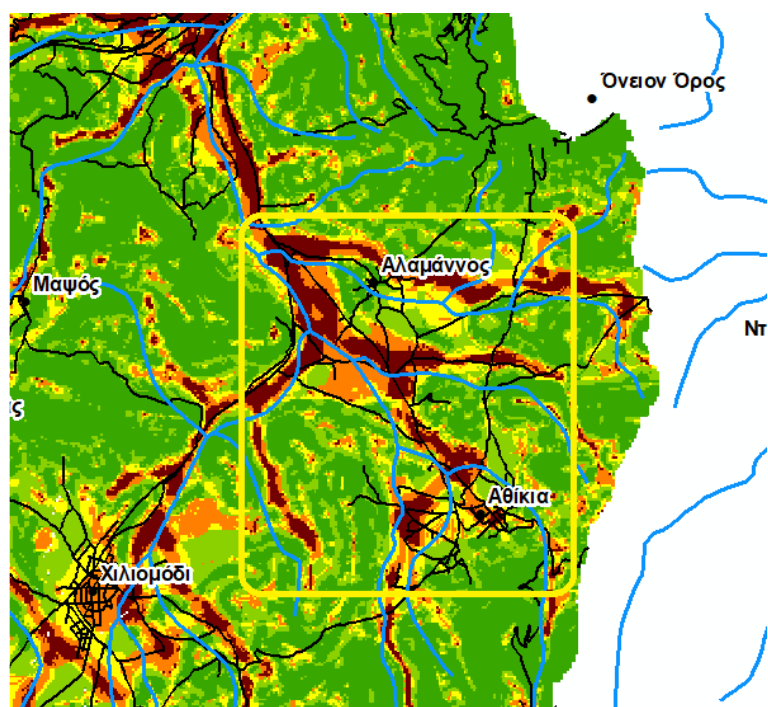
Εικόνα 7.2 Οριοθέτηση του δρόμου Άσσοσ – Σπαθοβουνίου

- Στον Άγιο Βασίλειο (Χάνια) πλημμυρισμένα σπίτια και καταστήματα από το γνωστό θέμα του ρέματος που δεν έχει διέξοδο, χωρίς λύση για αρκετά χρόνια. Στην **Εικόνα 7.3** οριοθετείται η πλημμυρισμένη περιοχή του Αγίου Βασιλείου, όπως φαίνεται ανήκει και αυτή σε ζώνη υψηλής – πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.



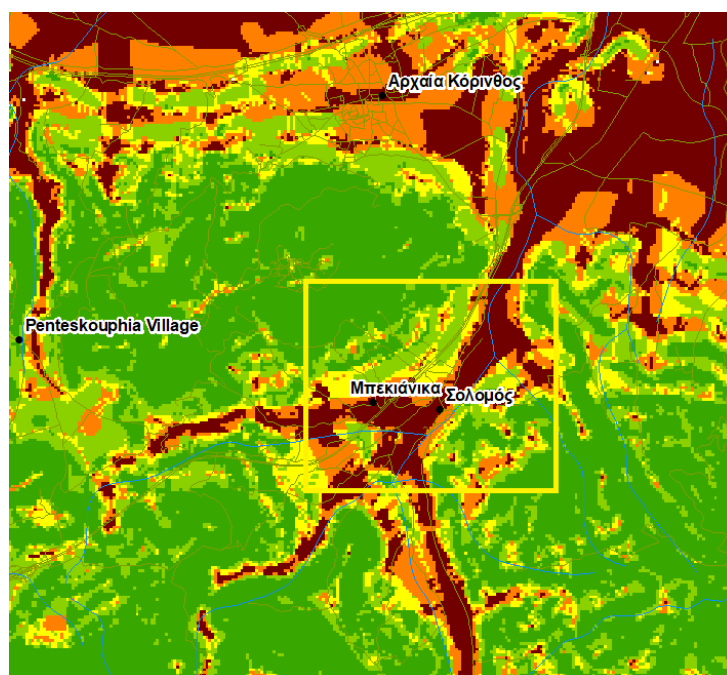
Εικόνα 7.3 Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής Αγίου Βασιλείου

- Η περιοχή Γκα Αθικίων στην Εθνική οδό Κορίνθου-Άργους για άλλη μία φορά, παρά τα σημαντικά κονδύλια που έχουν διατεθεί, πλημμύρισε και τουλάχιστον 4 αυτοκίνητα ακινητοποιήθηκαν μέσα στα νερά, χωρίς ευτυχώς αυτή τη φορά να θρηνήσουμε θύματα. Ο δρόμος Γκα Αθικίων-Αλαμάνου αδιάβατος για τα φορτηγά και τα λεωφορεία με κατολίσθηση μέρους του δρόμου, ενώ η πλημμύρα γκρέμισε μάντρες και κτίσματα στο χωριό. Στην **Εικόνα 7.4** βλέπουμε την πλημμυρισμένη περιοχή Γκα Αθικίων – Αλαμάνου, η οποία βρίσκεται εντός της ζώνης πολύ υψηλής επιδεκτικότητας καθώς και ότι ο δρόμος που συνδέει τις περιοχές είναι οδοστρωμένος παράλληλα με το υδρογραφικό δίκτυο.



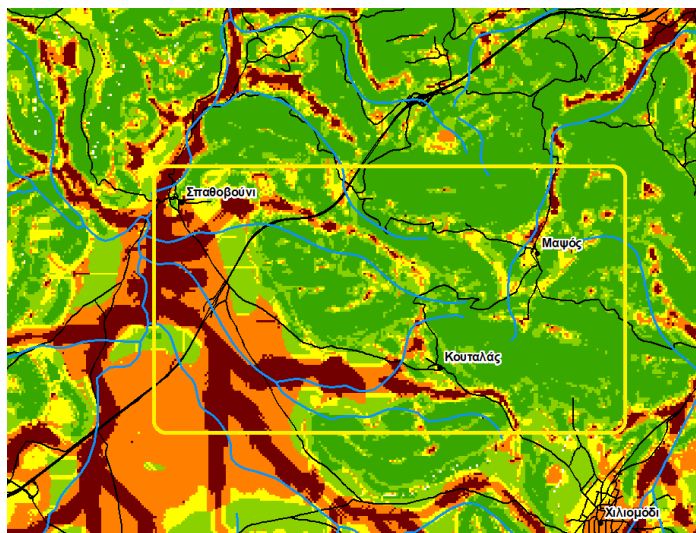
Εικόνα 7.4 Οριοθέτηση δρόμου Γκα Αθικίων-Αλαμάνου

- Στο Σολομό το γήπεδο ποδοσφαίρου έχει καταστραφεί πλήρως. Το ίδιο και οι γύρω αδιάβατοι αγροτικοί δρόμοι. Η οριοθετημένη περιοχή της εικόνας ανήκει στο χωριό του Σολομού. Για ακόμα μία φορά το προγνωστικό μοντέλο επιβεβαιώνεται αφού η πλημμυρισμένη περιοχή βρίσκεται εντός των ζωνών υψηλής – πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.



Εικόνα 7.5 Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής στο Σολομό

- Προβλήματα και στους δρόμους Κουταλά, Μαψού και Σπαθοβουνίου. Στην **Εικόνα 7.6** αποτυπώνεται το οδικό δίκτυο της περιοχής Κουταλά, Μαψού και Σπαθοβουνίου. Η πρόβλεψη του μοντέλου είναι ακριβής καθώς η οριοθετημένη περιοχή βρίσκεται εντός των ζωνών υψηλής πλημμυρικής επιδεκτικότητας και οι δρόμοι που υπέστησαν βλάβες είναι σχηματισμένοι παράλληλα και κατά προέκταση του υδρογραφικού δικτύου.

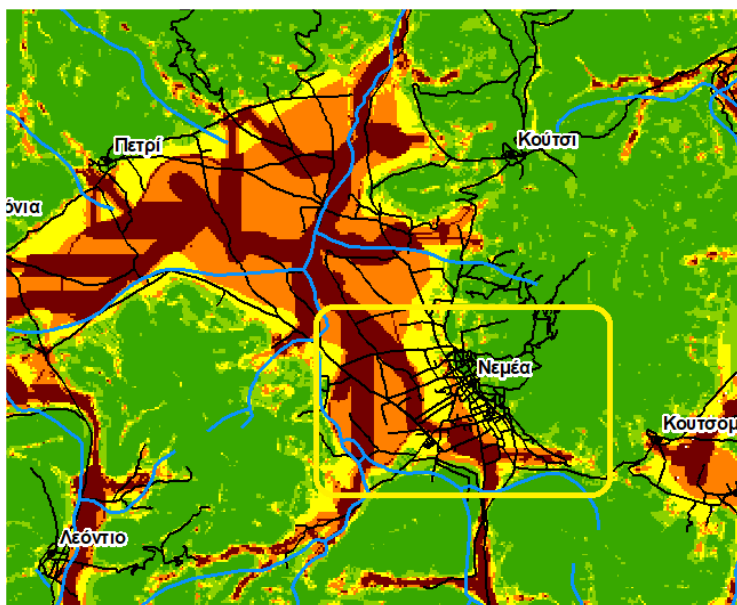


Εικόνα 7.6 Οριοθέτηση περιοχής με βλάβες στο οδικό δίκτυο Σπαθοβουνίου – Μαψού – Κουταλά

Μελετώντας ένα πιο πρόσφατο συμβάν που έλαβε χώρα στις 6 Απριλίου 2020, καταγράφηκαν καταστροφές στο οδικό δίκτυο, σε αμπέλια (**Εικόνα 7.8**) και άλλες καλλιέργειες εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων στην Νεμέα. Η ευρύτερη περιοχή της Νεμέας όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 7.9** έχει τρεις διαβαθμίσεις πλημμυρικής επιδεκτικότητας. Κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου συναντάται η ζώνη πολύ υψηλής επιδεκτικότητας, ενώ όσο απομακρυνόμαστε από αυτό οι κλάσεις αλλάζουν σε υψηλή και μέτρια επιδεκτικότητα.

Εικόνα 7.8 Πλημμυρισμένα αμπέλια στην περιοχή της Νεμέας
(<https://notospres.gr>)





Εικόνα 7.9 Οριοθέτηση πλημμυρισμένης περιοχής στη Νεμέα

Από τις εικόνες που προηγήθηκαν επιβεβαιώνεται η ακρίβεια του προγνωστικού μοντέλου της Λογιστικής Παλινδρόμησης. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την πλημμυρική επιδεκτικότητα και όπως φάνηκε πρωταγωνίστησαν στα πλημμυρικά συμβάντα που προηγήθηκαν είναι το υψόμετρο, οι κλίσεις του εδάφους και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο.

7.3 Θέματα που προσφέρονται για περαιτέρω έρευνα

Για την περαιτέρω έρευνα θεμάτων σχετικών με την προσέγγιση της παρούσης διπλωματικής εργασίας, θα ήταν χρήσιμη η διαμόρφωση μιας πληρέστατης βάσης δεδομένων σχετικών με πλημμυρικά φαινόμενα, μέσω της οποίας θα παρέχεται η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης ενημέρωσης, καθώς και η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μέσου αλληλεπίδρασης μεταξύ Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και των στατιστικών μεθόδων.

Επιτυγχάνοντας την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μέσου αλληλεπίδρασης, ο χρήστης θα μπορεί να μεταβιβάζει εύκολα δεδομένα και πληροφορίες σε διαφορετικό μοντέλο εκτίμησης, κάνοντας χρήση των ΓΣΠ στο υπόβαθρο. Επιπρόσθετα προτείνεται η περαιτέρω διερεύνηση της εφαρμογής ή συνεργασίας με συστήματα τρισδιάστατων μοντέλων απεικόνισης της πραγματικότητας (Γεωεπιστημονικών Πληροφοριακών Συστημάτων) τα οποία προσφέρουν τη δυνατότητα δυναμικής διαχείρισης στο χρήστη και παρέχουν γρήγορη και ικανοποιητική απεικόνιση.

Τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας υπέδειξαν ότι το κλίμα και το είδος του αναγλύφου μορφολογίας είναι παράγοντες βαρύνουσας σημασίας ως προς την εκδήλωση

πλημμυρικών φαινομένων. Για την ελαχιστοποίηση του ποσοστού σφαλμάτων ως προς την εκτίμηση των συντελεστών βαρύτητας είναι αναγκαία η μελέτη και ανάπτυξη επιπρόσθετων εφαρμογών. Η εξάλειψη των σφαλμάτων είναι καθοριστική για την αποτελεσματική ολοκλήρωση μιας έρευνας και μπορεί να καθορίσει τον τρόπο και το μέσο πρόληψης ή αντιμετώπισης ενός πλημμυρικού φαινομένου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Aldescu G (2008) The necessity of flood risk maps on Timiș river IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 4, IOP Publishing
2. Assaf, Hamed, and Mark Saadeh. 2008. “Assessing Water Quality Management Options in the Upper Litani Basin, Lebanon, Using an Integrated GIS-Based Decision Support System.” *Environmental Modelling and Software* 23(10–11): 1327–37.
3. Beven, K., Kirkby, M., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24 (1).
4. Black A., Burns J (2002) Re-assessing the flood risk in Scotland *Sci. Total Environ.*, 294 (1), pp. 169-184
5. Bossard, M., J. Feranec, and J. Otahel. 2000. “The Revised and Supplemented Corine Land Cover Nomenclature.” (38): 110.
6. Correia Francisco Nunes, Maria Da Graça Saraiva, Fernando Nunes Da Silva, Isabel Ramos (1999) Floodplain management in urban developing areas. Part I. Urban Growth Scenarios and land-use controls *Water Resour. Manag.*, 13 (1), pp. 1-21, 10.1023/A:1008097403587(ISSN 09204741)
7. Clarke, Keith C., Sara L. McLafferty, and Barbara J. Tempalski. 1996. “On Epidemiology and Geographic Information Systems: A Review and Discussion of Future Directions.” *Emerging Infectious Diseases* 2(2): 85–92.
8. Dewan A., Monirul Islam M., Kumamoto T., Nishigaki M. (2007) Evaluating flood hazard for land-use planning in greater Dhaka of Bangladesh using remote sensing and GIS techniques *Water Resour. Manag.*, 21 (9), pp. 1601-1612, 10.1007/s11269-006-9116-1(ISSN 09204741)
9. Dia, A N, A S Cohen, and J A Jackson. 1997. “Rates of Uplift Investigated through 230 Th Dating in the Gulf of Corinth & Greece /.” *Chemical Geology* 138: 171–84.
10. Diakakis M (2010) Flood history analysis and its contribution to flood hazard assessment. The case of Marathonas in Greece. *Bull GeolSoc of Greece* 43(3):1323-1334.
11. Diakakis M, Foumelis M, Gouliotis L, Lekkas E (2011c) Preliminary flood hazard and risk assessment in Western Athens metropolitan area. In: Lambrakis N, Stournaras G, Katsanou K (Eds) *Advances in the Research of Aquatic Environment*, vol.1:147-154, Springer.
12. Diakakis M., et al., 2018. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece
13. Downton, MW., Pielke, RAJR. (2001) Discretion without accountability: politics, flood damage, and climate. *Nat Hazards Rev* 2(4):157–166

14. ESRI, 2013. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
15. Fry, Carolyn. 1999. “GIS in Telecommunications.” *Geographic information systems : principles, Techniques, applications and Management 2*: 819–26.
16. Gaume E, Bain V, Bernardara P, Newinger, O, Barbuc M, Bateman A, Blaskovicova L, Bloschl G, Borga M, Dumitrescu A, Daliakopoulos I, Garcia J, Irimescu A, Kohnova S, Koutroulis A, Marchi L, Mtreata S, Medina V, Preciso E, Sempere-Torres D, Stancalie G, Szolgay J, Tsanis I, Velasco D, Viglione A, (2009). A compilation of data on European flash floods. *J Hydrol* 367, 1–2, 70–78
17. Gaume E, Bain V, Bernardara P, Newinger, O, Barbuc M, Bateman A, Blaskovicova L, Bloschl G, Borga M, Dumitrescu A, Daliakopoulos I, Garcia J, Irimescu A, Kohnova S, Koutroulis A, Marchi L, Mtreata S, Medina V, Preciso E, Sempere-Torres D, Stancalie G, Szolgay J, Tsanis I, Velasco D, Viglione A (2009) A compilation of data on European flash floods. *J Hydrol* 367, 1–2, 70–78.
18. Genoves A, Campins J, Jansa A (2006) Intense storms in the Mediterranean: A first description from the ERA-40 perspective. *Advances in Geosciences*, 7, 163–168.
19. Golian, S., Saghafian, B., Maknoon, R. (2010) Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. *Water Resour Manage*, doi: 10.1007/s11269-010-9619-7
20. Hjalmars, U, M Kulldorff, G Gustafsson, and N Nagarwalla. 1996. “Childhood Leukaemia in Sweden: Using GIS and a Spatial Scan Statistic for Cluster Detection.” *Stat Med* 15(7–9): 707–15.
21. IPCC, Climate Change, 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller(eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
22. Jayarathna, Lasinidu et al. 2017. “A GIS Based Spatial Decision Support System for Analysing Residential Water Demand: A Case Study in Australia.” *Sustainable Cities and Society* 32: 67–77.
23. Jenelius, Erik, Tom Petersen, and Lars Göran Mattsson. 2006. “Importance and Exposure in Road Network Vulnerability Analysis.” *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 40(7): 537–60.
24. Koutsoyiannis D. and Lazaridis L., 1998. Flood study, Engineering report of the Korinthos sewer system, Study of the Xerias creek, Introductory part, Commissioner: Ministry of Environment, Planning and Public Works, Contractor: Ydroexigiantiki
25. Kourgialas, Nektarios N., and George P. Karatzas. 2011. “Flood Management and a GIS Modelling Method to Assess Flood-Hazard Areas—a Case Study.” *Hydrological Sciences Journal* 56(2): 212–25.

26. Lana, X., Martínez, M. D., Serra, C. & Burgueno, A. (2004). Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia Northeastern Spain, 1950–2000. *International Journal of Climatology*, 24, 613–641.
27. Lekkas, E., Diakakis, M., Andreadakis, E., Spyrou, N-I., Gogou, M., Katsetsiadou, K-N., Speis, F., Georgakopoulos, A. (2017). Flash Flood in West Attica (Mandra, NeaPeramos) November 15, 2017. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crisis Management Strategies*, 5, ISSN 2653-9454.
28. Lekkas, E., Spyrou N-I., Filis, Ch., Diakakis, M., Vassilakis, E., Katsetsiadou A-N., Milios D., Arianoutsou, M., Faragitakis, G.P., Christopoulou, A., Antoniou, V. (2019). The November 25, 2019 Kineta (Western Attica) Flood. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, 14, ISSN 2653-9454.
29. Lekkas, E., Spyrou N-I., Kotsi E., Filis, Ch., Diakakis, M., Lagouvardos K., Cartalis C., Kotroni V., Dafis S., Vassilakis, E., Mavrakou Th., Parcharidis I., Sartabakos P., Gogou M-E., Katsetsiadou A-N., Karagiannidis A., Barsaki V. Karavias A., Bafi D., Gougoustamos I. (2020). The August 9, 2020 Evia (Central Greece) Flood. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, 19, ISSN 2653-9454.
30. Liu Y., Gebremeskel S., De Smedt F., Hoffmann L., Pfister L. (2003) A diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modeling. *J. Hydrol.*, 283 (1–4) pp. 91-106, 10.1016/S0022-1694(03)00242-7 (ISSN 00221694)
31. Llasat M.C., Llasat-Botija M., Prat M.A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K., Nicolaidis K., (2010b) High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.* 23, 47–55.
32. Llasat MC, Llasat-Botija M, Rodriguez A Lindbergh S (2010a) Flash floods in Catalonia: a recurrent situation. *AdvGeosci*, 26, 105-111.
33. Martini F, Loat R (2007) Handbook on good practices for flood mapping in Europe. Paris/Bern: European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP).
34. McKinney, Daene C., and Ximing Cai. 2002. “Linking GIS and Water Resources Management Models: An Object-Oriented Method.” *Environmental Modelling and Software* 17(5): 413–25.
35. Munich, Re. (2002) Topics, an annual review of natural catastrophes. Munich Reinsurance Company Publications, Munich
36. Nikas K., Antonakos A., Kallergis G., and Kounis G. (2010). International Hydrogeological Map of Europe: Sheet D6 “Athina”. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 2010, Proceedings of the 12th International Congress Patras. XLIII, No 4: p. 1821-1830
37. Patton, P. C., and V. R. Baker (1976), Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls, *Water Resour. Res.*, 12, 941– 952.

38. Pilon, P.J. (2004) Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Palais des Nations, Ch 1211 Geneva, Switzerland
39. Poulstrup, Arne, and H. L. Hansen. 2004. "Use of GIS and Exposure Modeling as Tools in a Study of Cancer Incidence in a Population Exposed to Airborne Dioxin." *Environmental Health Perspectives* 112(9): 1032–36.
40. Schumann R. Funke, G.A. Schultz (2000) Application of a geographic information system for conceptual rainfall–runoff modeling. *J. Hydrol.*, 240 (1–2) (2000), pp. 45-61, 10.1016/S0022-1694(00)00312-7(ISSN 00221694)
41. Seger, M., Alexander, J. (1993). Distribution of Plio-Pleistocene and modern coarse grained deltas south of the Gulf of Corinth, Greece. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.* 20, 37-48
42. Smith, D. L. and Stopp P. (1978). *The river basin: An introduction to the study of hydrology.* Cambridge University Press (Cambridge Eng. and New York), p. 120
43. Stathis D (2004) Extreme rainfall-events and flood-genesis in Greece, In: 7PGC/HGS: 1-8, Oct 2004.
44. Spreen, W. (1947). Determination of the effect of topography upon precipitation. *Amer. Geoph. Union* 28, 285-290.
45. Struckmeier, Wilhelm, and Jean Margat. 1995. *17 A Guide and a Standard Legend International Association of Hydrogeologists A Guide and a Standard Legend.* Hannover.
46. Vischer, D. & Huber, A. (1985). *Wasserbau.* 4. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
47. Wang Y., Li Z., Tang Z, Zeng G. (2011) A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resour. Manag.*, 25 (13), pp. 3465-3484, 10.1007/s11269-011-9866-2(ISSN 09204741)
48. Wilson EM (1990) *Engineering Hydrology.* 4th Edition. London: MacMillan Press Ltd.
49. Zavoianu, I. (1985). "Morphometry of Drainage Basins." *Developments in Water Science*, v. 20. Elsevier, Amsterdam, 238 p.
50. Zelilidis, Avraam. 2000. 35 *Geomorphology Drainage Evolution in a Rifted Basin, Corinth Graben, Greece.*
51. Zerger A. (2002) Examining GIS decision utility for natural hazard risk modelling. *Environ. Model. Softw.*, 17 (3), pp. 287-294, 10.1016/S1364-8152(01)00071-8(ISSN 13648152)
52. Αντωνάκος, Α. (2012) "Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) Για Επίλυση Προβλημάτων Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας Στο Νομό Κορινθίας."

- Πανεπιστήμιο Πατρών Σχολή Θετικών Επιστημών Τμήμα Γεωλογίας Εργαστήριο Υδρογεωλογίας.
53. Βαχαβιώλος Θ., 2011. Διπλωματική Εργασία, Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60
54. Διακάκης, Μ. (2012) - Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης
55. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011. Μεταβολές στην ένταση και την κατανομή των φυσικών καταστροφών. Τράπεζα της Ελλάδος.
56. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, 2011. Σενάρια ανθρωπογενούς παρέμβασης στην κλιματική αλλαγή και τα προγράμματα Prudence και Ensembles. Τράπεζα της Ελλάδος
57. Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συμβούλιο, ΕΕΣ, 2018. Οδηγία για τις πλημμύρες, πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίησης.
58. Καραμπάσης Μ., (2018) (Εκτίμηση του κινδύνου ρύπανσης των υπόγειων υδατων (τρωτοτητα) με εφαρμογή μεθόδων χωρικής ανάλυσης. Η περίπτωση της ΒΑ περιοχής του νομού Κορινθίας
59. Κανκαλά Ε., 2014. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Διερεύνηση με χρήση νέων τεχνολογιών των μεταβολών της δασικής κάλυψης περιοχών της ΒΔ Ελλάδας και πιθανές συνέπειες τους στις υποδομές των περιοχών αυτών
60. Κουτσογιάννης Δ. και Λαζαρίδης Λ. (1998) Οριστική Μελέτη Αποχέτευσης Κορίνθου - Μελέτη Χειμάρρου Ξηριά - Υδρολογική Μελέτη Πλημμυρών, Αθήνα
61. Κουτσόπουλος, Κ. (2002): Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
62. Λέκκας Ε., Διακάκης Μ., Κρούσταλλη Μ. (2014). Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την συστηματική καταγραφή των επιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων. Η περίπτωση της πλημμύρας της Ρόδου. - Πανελλήνιο Συνέδριο «Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών - Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας»
63. Λέκκας, Ε. (2000) Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Β' Έκδοση. Access Pre-Press, Αθήνα.
64. Λέκκας, Ε. (2010) Επιχειρησιακή οργάνωση των Δήμων του ΑΣΔΑ για την Πολιτική Προστασία & την Αντιμετώπιση Φυσικών & Περιβαλλοντικών Κινδύνων. Α' Φάση: Δράσεις Μείωσης Πλημμυρικού Κινδύνου. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα

65. Μάρης, Φ., Αναπλ. Καθηγητής ΤΠΜ. «Ποτάμια Υδραυλική και Τεχνικά Έργα» [5.22.YXY., EXY.]. - 11ο Κεφάλαιο Τεχνικά έργα διευθέτησης <https://eclass.duth.gr/courses/ENG110/>. Πρόσβαση 20 Οκτωβρίου 2020
66. Ματάκου, Ε. (2009) Καταγραφή και αποτύπωση σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.) των υπαρχόντων στοιχείων των σεισμών, πλημμυρών και πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Σχολή Θετικών Επιστημών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος
67. Μπαλούτσος Γ., Κουτσογιάννης Δ., Οικονόμου Α., Καλλίρης Π. (2000) Διερεύνηση της απόκρισης της λεκάνης απορροής Ξηριά Κορίνθου στην καταιγίδα της 11-13 Ιανουαρίου 1997 με τη μέθοδο SCS
68. Νικολαΐδου, Μ., Χατζηχρίστου, Ε. (1995) Καταγραφή και αποτίμηση των καταστροφών από πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
69. Οδηγία 2007/60/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2007, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας
70. Παρχαρίδης Ι. (2015) Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές
71. Ποϊραζίδης Κ., Βούλγαρης Μ. Δ., Κεφαλάς Γ., Λορίλια Ρ. Σ. (2013) Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης. Εργαστήριο Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Οικολογίας
72. Σταμέλλου Ευαγγελία. 2017. Μελέτη πλημμυρικής επιδεκτικότητας στη λεκάνη απορροής του Ερασίνου ποταμού Αττικής και ανάλυση μελλοντικών σεναρίων
73. Τζώτσος Α., Δ. Αργιαλάς. Σύγχρονες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση, καταγραφή, αποτίμηση πυρκαγιών και προστασία των πληγέντων περιοχών
74. Τσαγγαράτος Π., 2018. Φυσικά καταστροφικά φαινόμενα υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής. Πλημμυρικά Φαινόμενα
75. Τσαντήλας Χ., 2020. «Οι αόρατες επιπτώσεις των πλημμυρών στην ποιότητα και παραγωγικότητα των εδαφών» <https://www.enainstitute.org>. Πρόσβαση 14 Οκτωβρίου 2020
76. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2017) Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Βόρειας Πελοποννήσου
77. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/raster-functions/curvature-function.htm>. Πρόσβαση 12 Νοεμβρίου 2020