



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ &  
ΠΕΡΙΦ. ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ  
Π.Μ.Σ. ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Πολυκριτηρική Ανάλυση σε περιβάλλον  
GIS για την χαρτογράφηση της  
πλημμύρας στην Βόρεια Ελλάδα**

**Επιμέλεια  
Χατζηδάκη Αναστασία**

**Επιβλέπων:  
Γεώργιος Ν. Φώτης**

**ΒΟΛΟΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2013**

## Περίληψη

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα και αποτελούν μια αρκετά συνηθισμένη μορφή φυσικών καταστροφών. Οι κυριότερες αιτίες που συμβάλουν στην επικινδυνότητα της πλημμύρας είναι οι αλλαγές στη χρήση γης, οι υδρομορφολογικές αλλοιώσεις, οι κλιματικές αλλαγές και άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Τα τελευταία χρόνια, η συχνότητα και κυρίως η ένταση των πλημμυρών έχουν αυξηθεί σε σχέση με το παρελθόν, με καταστροφικά αποτελέσματα αφού έχουν χαθεί αρκετές ανθρώπινες ζωές και έχουν καταγραφεί σημαντικές υλικές και οικονομικές ζημιές.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και υπολογίστηκε η επικινδυνότητα πλημμύρας στην Βόρεια Ελλάδα, με πολυκριτηριακή ανάλυση σε λογισμικό GIS. Έγινε αναζήτηση, σύγκριση και επιλογή μεθόδων χαρτογράφησης επικινδυνότητας πλημμύρας στις υδρολογικές λεκάνες της υπό μελέτη περιοχής ώστε να δημιουργηθούν χάρτες επικινδυνότητας του φαινομένου αυτού. Δύο μέθοδοι μελετήθηκαν για την εκτίμηση των επικινδύνων περιοχών της Βόρειας Ελλάδας. Στην πρώτη μεθοδολογία, οι έξι παράγοντες που συντελούν στην πλημμυρογένεση είναι η συσσώρευση ροής, η κλίση, οι χρήσεις γης, η ένταση των βροχοπτώσεων, η γεωλογία και το υψόμετρο της λεκάνης απορροής. Στην συνέχεια κάθε παράγοντας πλημμύρας πολλαπλασιάστηκε με έναν συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με την συμβολή του στην επικινδυνότητα της πλημμύρας και ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας προέκυψε από την αλγεβρική άθροιση όλων των ανωτέρω θεματικών επιπέδων. Στην δεύτερη μεθοδολογία, χρησιμοποιήθηκε ένα σύνολο χαρτών με χωρική απεικόνιση των κριτηρίων αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας. Τα κριτήρια αυτά είναι η τοπογραφία, η βλάστηση, το δίκτυο αποστράγγισης, η διερχόμενη πλημμύρα και η βροχόπτωση. Αυτά ομαδοποιούνται, τυποποιούνται και σταθμίζονται. Στην συνέχεια οι χάρτες κριτηρίων πολλαπλασιάζονται με το ειδικό βάρος το οποίο συμβάλλει στην επικινδυνότητα της πλημμύρας. Επιπλέον, οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας της λεκάνης του Έβρου χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ακρίβειας των 2 μεθόδων μέσω της δημιουργίας χαρτών πλημμυρικής έκτασης με χρήση δορυφορικών εικόνων για την πλημμύρα του 2003. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η επικινδυνότητα της πλημμύρας παρουσιάζεται κυρίως σε περιοχές με εναλλαγή υψόμετρων και σε περιοχές που βρίσκονται κοντά στην θαλάσσια ζώνη, στα υδάτινα σώματα και εντός πόλεων και οικισμών.

Επίσης εκτιμήθηκε ο ρόλος της κάθε μιας από τις προαναφερθείσες παραμέτρους στο φαινόμενο εκδήλωσης της πλημμύρας μέσω ανάλυσης ευαισθησίας και σύγκρισης των αποτελεσμάτων για διαφορετικές περιόδους που εκφράστηκαν μέσω αλλαγών στις χρήσεις γης και στην βροχόπτωση.

Πλημμύρα, Επικινδυνότητα πλημμύρας, Πολυκριτηριακή ανάλυση

## Abstract

Floods are natural phenomena and constitute a common form of natural disasters. The main causes that contribute to the flooding risk are land use changes, hydromorphological alterations, climate changes and other human interference. In recent years, the frequency and especially the intensity of floods have increased compared to the past, with disastrous results since several human lives have been lost and significant physical and economic damages have been recorded. In this Msc Thesis, a GIS-based multicriteria flood risk assessment methodology was developed and applied in order to map the flood risk in Northern Greece. In this approach, two methods of flood hazard mapping were applied at the under study hydrological basins, and compared in order to create flood hazard maps. In the first method, the six factors contributing to the flood risk are the flow accumulation, slope, land use, intensity of rainfall, geology and elevation. Then, each factor is multiplied with a weighting factor depending on its contribution to the flood risk. Within second method, a set of maps is used, representing spatially the flood risk assessment criteria. These criteria are the topography, vegetation, drainage network, flood and precipitation. Subsequently, these are being grouped, standardized, and weighted. Then, the output maps are multiplied with the specific weight that contributes to the flooding risk. Moreover, the flood hazard maps of Evros basin were assessed concerning their accuracy and validity through the usage of satellite imagery and techniques related to Geographic Information Systems and Remote Sensing. The results of the study showed that the flood risk occurs mainly in areas with high slope and elevation and in areas close to the sea zone of water districts.

Risk assessment and validation of flood disasters are difficult problems in the natural disaster field. This Msc Thesis validates and compares the results of two assessment methods to find an optimal assessment according to the proportion of validation data in the higher and highest risk zones.

Flood, flood assessment, multicriteria analysis

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b> .....	<b>12</b>
1.1 Γενικά .....	13
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	14
1.2.1 Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και Παγκόσμιο επίπεδο .....	14
1.2.2 Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα .....	15
1.3 Βιβλιογραφική αναφορά πλημμυρικής επικινδυνότητας .....	17
1.4 Σκοπός – Αντικείμενο.....	20
1.5 Πρωτότυπα σημεία.....	20
1.6 Δομή Μεταπτυχιακής Εργασίας.....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ</b> .....	<b>22</b>
2.1 Ορισμός.....	23
2.2 Η Οδηγία 2007/60 .....	23
2.3 Μέθοδοι – Τεχνικές – Τεχνολογία.....	24
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>27</b>
3.1 Πρώτη Μεθοδολογία.....	29
3.1.1 Παράγοντες επικινδυνότητας πλημμύρας .....	29
3.2 Δεύτερη Μεθοδολογία .....	31
3.2.1 Χωρική Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων .....	31
3.2.2 Κανόνες Τυποποίησης.....	32
3.2.3 Δείκτες Επικινδυνότητας.....	33
3.3 Επικύρωση Μεθοδολογίας.....	34
3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας.....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>36</b>
4.1 Περιοχή μελέτης .....	37
4.2 Δεδομένα .....	38
4.3 Πρώτη Μεθοδολογία.....	39
4.4 Δεύτερη Μεθοδολογία .....	43
4.5 Αποτελέσματα .....	45
4.5.1 Πρώτη Μεθοδολογία.....	45
4.5.2 Δεύτερη Μεθοδολογία .....	46
4.6 Επικύρωση Μεθοδολογίας .....	47
4.7 Πρώτη Μεθοδολογία.....	51

4.7.1.α Υδατικό Διαμέρισμα 09.....	51
4.7.1.β Χρήση Corine 2009.....	54
4.7.2 Υδατικό Διαμέρισμα 10.....	58
4.7.3 Υδατικό Διαμέρισμα 11.....	64
4.7.4 Υδατικό Διαμέρισμα 12.....	70
4.8 Ανάλυση Ευαισθησίας.....	75
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>86</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>90</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ 1<sup>ΗΣ</sup> ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....</b>	<b>95</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ 2<sup>ΗΣ</sup> ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....</b>	<b>110</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ ΠΟΤΑΜΙΑ ΚΑΙ ΛΙΜΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....</b>	<b>114</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.</b> Απώλειες ανθρώπινων ζώων από πλημμύρες στην Ελλάδα την περίοδο 1896-1994 .....	16
<b>Πίνακας 2.</b> Πρότυπα για την διαίρεση κύριων ρευμάτων .....	34
<b>Πίνακας 3.</b> Μετεωρολογικοί σταθμοί Βόρειας Ελλάδας.....	39
<b>Πίνακας 4.</b> Δείκτες ΜΦΙ για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Βόρειας Ελλάδας.....	40
<b>Πίνακας 5.</b> Βαθμονομηση και βάρος αξιολόγησης των παραγόντων που επηρεάζουν τις περιοχές με κίνδυνο πλημμύρας.....	42
<b>Πίνακας 6.</b> Δείκτες επικινδυνότητας και οι συντελεστές βαρύτητας τους.....	44
<b>Πίνακας 7.</b> Επικύρωση Πρώτης Μεθοδολογίας.....	50
<b>Πίνακας 8.</b> Επικύρωση Δεύτερης Μεθοδολογίας.....	50
<b>Πίνακας 9.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	54
<b>Πίνακας 10.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	57
<b>Πίνακας 11.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	60
<b>Πίνακας 12.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	62
<b>Πίνακας 13.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης .....	66
<b>Πίνακας 14.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης .....	68
<b>Πίνακας 15.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	71
<b>Πίνακας 16.</b> Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης.....	72
<b>Πίνακας 17.</b> Στατιστικά στοιχεία ανάλυσης ευαισθησίας.....	83

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.</b> Διάγραμμα φάσεων εφαρμοσμένης μεθοδολογίας .....	28
<b>Σχήμα 2.</b> Αναπαράσταση παραγόντων κινδύνου πλημμύρας πρώτης μεθοδολογίας.....	30
<b>Σχήμα 3.</b> Αναπαράσταση των κριτηρίων αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας δευτερης μεθοδολογίας.....	32

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.</b> Περιοχή μελέτης και μετεωρολογικοί σταθμοί.....	38
<b>Εικόνα 2.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 με corine 2009.....	45
<b>Εικόνα 3.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας δεύτερης μεθοδολογίας.....	46
<b>Εικόνα 4.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της νοτιοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 1.....	47
<b>Εικόνα 5.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της νοτιοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 2.....	48
<b>Εικόνα 6.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της βορειοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 1.....	48
<b>Εικόνα 7.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της βορειοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 2.....	49
<b>Εικόνα 8.</b> Χάρτης Επικινδυνότητας Πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004.....	52
<b>Εικόνα 9.</b> Χάρτης Επικινδυνότητας Πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.....	53
<b>Εικόνα 10.</b> Εικόνα της επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004.....	55
<b>Εικόνα 11.</b> Χάρτης Επικινδυνότητας πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 και corine 2009.....	55
<b>Εικόνα 12.</b> Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 και corine 2009.....	56
<b>Εικόνα 13.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 και corine 2009.....	57
<b>Εικόνα 14.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004.....	58
<b>Εικόνα 15.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.....	59
<b>Εικόνα 16.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004.....	59
<b>Εικόνα 17.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 και corine 2009.....	61
<b>Εικόνα 18.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 και corine 2009.....	62
<b>Εικόνα 19.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-	



2004 και corine 2009.....	63
<b>Εικόνα 20.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004.....	64
<b>Εικόνα 21.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.....	65
<b>Εικόνα 22.</b> Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004.....	65
<b>Εικόνα 23.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 με corine 2009.....	67
<b>Εικόνα 24.</b> Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 με corine 2009.....	68
<b>Εικόνα 25.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 με corine 2009.....	69
<b>Εικόνα 26.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για χρονική περίοδο 1970-2004.....	70
<b>Εικόνα 27.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.....	72
<b>Εικόνα 28.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004.....	73
<b>Εικόνα 29.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 με corine 2009.....	73
<b>Εικόνα 30.</b> Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 με corine 2009.....	74
<b>Εικόνα 31.</b> Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής της επικινδυνότητας με βάση τον δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 09.....	75
<b>Εικόνα 32.</b> Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 10.....	76
<b>Εικόνα 33.</b> Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 11.....	77
<b>Εικόνα 34.</b> Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 12.....	78
<b>Εικόνα 35.</b> Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη mfi δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμερισμα 09.....	79
<b>Εικόνα 36.</b> Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη mfi δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμερισμα 10.....	80
<b>Εικόνα 37.</b> Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη mfi δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμερισμα 11.....	81

<b>Εικόνα 38.</b> Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη $\mu\phi\iota$ δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμερίσμα 12.....	82
<b>Εικόνα 39.</b> Χάρτης συσσώρευσης ροής στη Βόρεια Ελλάδα.....	96
<b>Εικόνα 40.</b> Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 09.....	97
<b>Εικόνα 41.</b> Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 10.....	97
<b>Εικόνα 42.</b> Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 11.....	98
<b>Εικόνα 43.</b> Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 12.....	98
<b>Εικόνα 44.</b> Χάρτης κλίσης Βόρειας Ελλάδας.....	99
<b>Εικόνα 45.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 09.....	100
<b>Εικόνα 46.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 10.....	100
<b>Εικόνα 47.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 11.....	101
<b>Εικόνα 48.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 12.....	101
<b>Εικόνα 49.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 09.....	102
<b>Εικόνα 50.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 10.....	102
<b>Εικόνα 51.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 11.....	103
<b>Εικόνα 52.</b> Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 12.....	103
<b>Εικόνα 53.</b> Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα απο 1970-2004.....	104
<b>Εικόνα 54.</b> Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα απο 1985-1995.....	104
<b>Εικόνα 55.</b> Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα απο 1994-2004.....	105
<b>Εικόνα 56.</b> Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 09.....	106
<b>Εικόνα 57.</b> Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 10.....	106
<b>Εικόνα 58.</b> Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 11.....	107
<b>Εικόνα 59.</b> Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 12.....	107
<b>Εικόνα 60.</b> Χάρτης Υψομέτρου Υδατικού Διαμερίσματος 09.....	108
<b>Εικόνα 61.</b> Χάρτης Υψομέτρου Υδατικού Διαμερίσματος 10.....	108
<b>Εικόνα 62.</b> Χάρτης Υψομέτρου Υδατικού Διαμερίσματος 11.....	109
<b>Εικόνα 63.</b> Χάρτης Υψομέτρου Υδατικού Διαμερίσματος 12.....	109
<b>Εικόνα 64.</b> Χάρτης Υψομέτρου Υδατικού διαμερίσματος 12.....	111
<b>Εικόνα 65.</b> Χάρτης δείκτη φυτοκάλυψης (NDVI) υδατικού διαμερίσματος 12.....	112
<b>Εικόνα 66.</b> Χάρτης δικτύου αποστράγγισης υδατικού διαμερίσματος 12.....	112
<b>Εικόνα 67.</b> Χάρτης διερχόμενης πλημμύρας υδατικού διαμερίσματος 12.....	113
<b>Εικόνα 68.</b> Χάρτης έντασης βροχόπτωσης υδατικού διαμερίσματος 12.....	113
<b>Εικόνα 69.</b> Ποτάμια και λίμνες περιοχής μελέτης.....	114

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά οφείλω να ευχαριστήσω τον καθήγητή μου Γεώργιο Ν. Φώτη για την καθοδήγηση της εργασίας μου και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε καθώς και τον δρ Στέλιο Τσομπάνογλου για την βοήθεια που μου παρείχε.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Ηλία Δημητρίου και τους συνεργάτες του από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.) για την πολύτιμη βοήθεια του και την άψογη συνεργασία μας. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην φίλη μου Βάσω Μαρκογιάννη για την βοήθεια της στο τελικό στάδιο της εργασίας μου.

Επίσης ευχαριστώ πολύ τους φίλους μου Γιάννα, Ντίνα και Αλέξανδρο που ήταν δίπλα μου σε αυτήν την προσπάθεια.

Τέλος, να ευχαριστώ σε μεγάλο βαθμό την οικογένεια μου για την υπομονή και την στήριξη τους καθόλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.



# **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

### 1.1 Γενικά

Από τη δεκαετία του '90 (που ονομάστηκε δεκαετία για τις φυσικές καταστροφές σε παγκόσμιο επίπεδο), η γνώση μας και η μελέτη για τους κινδύνους έχουν αναπτυχθεί ραγδαία, δυστυχώς όμως όχι τόσο ραγδαία όσο η ικανότητά μας να μειώνουμε τις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών (Smith, 1996). Επομένως, ο θάνατος και οι ζημιές από μεγάλες καταστροφές συνεχίζουν να αυξάνονται. Στην αρχή της τρίτης χιλιετίας, έχει συνειδητοποιηθεί πως οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι όχι μόνο υπάρχουν παράλληλα με τις αλλαγές σε παγκόσμιο επίπεδο αλλά είναι αναπόσπαστο κομμάτι αυτών των αλλαγών. Πράγματι, έχουν παρατηρηθεί πολλές τάσεις - εξάντληση των διαθεσίμων, στήριξη στην τεχνολογία, παγκοσμιοποίηση- που σήμερα συμβάλουν στην αύξηση των καταστροφών και έχουν αντίκτυπο στους ανθρώπους και στο περιβάλλον στο οποίο ζουν σε διεθνές επίπεδο, χωρίς αυτό να έχει καμία σχέση με το επίπεδο ανάπτυξης στο οποίο βρίσκεται κάθε χώρα. Όλοι είναι αποδέκτες των φυσικών κινδύνων ασχέτως με το βαθμό της οικονομικής ή οποιασδήποτε άλλης ανάπτυξης έχουν επιτύχει.

Οι πλημμύρες που αποτελούν μια κατηγορία φυσικών φαινομένων είναι η παροδική κατακλιση μιας περιοχής από ύδατα κυρίως λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων, ισχυρών καταιγίδων, χιονοπτώσεων αλλά και από την άνοδο της στάθμης των ποταμών. Πέραν όμως των παραπάνω αιτιών είναι δυνατόν να προκληθούν πλημμύρες λόγω των σεισμών, κατάρρευσης τεχνητών και φυσικών φραγμάτων, κατολισθήσεων κ.α. (Learn Hazards, 2008). Ο πλημμυρικός κίνδυνος στηρίζεται στην αλληλεξάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης αυτού του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρωπότητα.

Οι πλημμύρες αποτελούν την δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά από τις δασικές πυρκαγιές, είναι αναμενόμενες και εκδηλώνονται είτε ως βραδείας εξέλιξης (ετήσιες πλημμύρες), οι οποίες δεν προκαλούν μεγάλες καταστροφές, είτε ως ξαφνικά γεγονότα (flashfloods), που έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις ανθρώπινες κοινωνίες που πλήττουν (Lekkas, 2009).

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται λόγω της πλημμυρας ποικίλουν ανάλογα με την ένταση και την διάρκεια των βροχοπτώσεων, την τοπογραφία της περιοχής, το έδαφος, την φυτοκάλυψη, την αστικοποίηση, την πολεοδομική υποδομή και άλλων

αιτιών. Έχει παρατηρηθεί ότι σε περιοχές έντονα αστικοποιημένες, οι πλημμύρες γίνονται ολοένα πιο συχνές και με μεγαλύτερη έκταση, εξαιτίας της αδιαπερατότητας του εδάφους και της κακής κατασκευής ή λειτουργίας των δικτύων (Tucci, 2007). Για τον λόγο αυτό, μόνο η κατάλληλη ανάπτυξη, εφαρμογή και υποστήριξη αντιπλημμυρικών μέτρων προστασίας καθώς και ο κατάλληλος χειρισμός τους, μπορούν να λύσουν τα προβλήματα που έχουν προκύψει στις περιοχές αυτές, ενώ ταυτόχρονα απαιτείται και η άμεση ανάπτυξη και η υποστήριξη δράσεων (Schultz, 2006)

## *1.2 Ιστορική Αναδρομή.*

### *1.2.1 Το πλημμυρικό καθεστώς σε Ευρωπαϊκό Επίπεδο και Παγκόσμιο Επίπεδο.*

Από τα βάθη των αιώνων, ο άνθρωπος βρίσκεται στο έλεος των φυσικών καταστροφών. Η Ευρώπη βεβαίως δεν είναι εκτεθειμένη στους φονικούς τυφώνες που πλήττουν τακτικά άλλες περιοχές του πλανήτη. Ωστόσο δεν βρίσκεται εκτός κινδύνου από πλευράς καταστροφών μεγάλης κλίμακας. Η Βόρεια Ευρώπη πλήττεται από πλήθος καταιγίδων: συγκεκριμένα κάθε χρόνο 100 κυκλώνες πλήττουν τα βρετανικά νησιά. Οι κακοκαιρίες αυτές συνοδεύονται κάποτε από νεροποντές που προκαλούν σοβαρές πλημμύρες. Οι ακτές της Βόρειας Θάλασσας και της Βαλτικής Θάλασσας είναι ιδιαίτερα ευάλωτες, όπως άλλωστε και ορισμένες ενδότερες ζώνες. Το 1953 έσπασαν στην Ολλανδία τα προστατευτικά φράγματα, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσει μεγάλο μέρος της χώρας και να χαθούν 1.800 άνθρωποι. Ως αποτέλεσμα ασυνήθων σε διάρκεια και ύψος βροχοπτώσεων, έχει σημειωθεί θεαματική και καταστρεπτική άνοδος των υδάτων σε πολλές λεκάνες απορροής ποταμών της Ευρώπης. Χαρακτηριστική είναι η ακατάσχετη άνοδος της στάθμης των υδάτων τον χειμώνα 1994-1995, η οποία έπληξε την Ιταλία, τη Γερμανία, το Βέλγιο, τη Γαλλία και τις Κάτω Χώρες. Το καλοκαίρι του 1997, η υπερχειλίση του ποταμού Oder έπληξε πολύ σοβαρά την Κεντρική Ευρώπη. (Μιμίκου, 2004). Επιπροσθέτως, κατά το διάστημα 1998-2004 σημειώθηκαν στην Ευρώπη 100 σοβαρές καταστροφικές πλημμύρες (συμπεριλαμβανομένων και των καταστροφικών στον Δούναβη και τον Έλβα το καλοκαίρι του 2002). Οι πλημμύρες αυτές κόστισαν στην Ευρώπη 700 ανθρώπινες ζωές, μισό εκατομμύριο άστεγους καθώς και 25 δις ευρώ.

### *1.2.2. Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα*

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με έντονο ανάγλυφο (ορογραφία) και αναπτυγμένη ακτογραμμή. Τα κλιματικά της στοιχεία που σχετίζονται με τις πλημμύρες παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα εξαιτίας των προηγούμενων χαρακτηριστικών της.

Η οροσειρά της Πίνδου που διασχίζει τη χώρα από βορειοδυτικά προς νότια παίζει σημαντικό ρόλο στις διαδικασίες βροχόπτωσης και απορροής στην Ελλάδα. Η μέση ετήσια βροχόπτωση υπερβαίνει τα 1800 mm στις ορεινές περιοχές της δυτικής Ελλάδας ενώ στις ανατολικές περιοχές της χώρας η τιμή αυτή μπορεί να μειωθεί ακόμη και στα 400mm.

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα οφείλονται συνήθως στις έντονες βροχοπτώσεις. Οι περισσότερες έντονες βροχοπτώσεις παράγονται από το πέρασμα χαμηλών βαρομετρικών, που συνήθως συνοδεύονται από ψυχρά μέτωπα και καταφθάνουν από τα δυτικά, νοτιοδυτικά ή βορειοδυτικά (Μιμίκου, 2004).

Άλλοι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στη γένεση πλημμυρών είναι η πυκνή δόμηση σε συνδυασμό με την έλλειψη πρασίνου, η μείωση των δασικών εκτάσεων και η αστικοποίηση. Επιπλέον, η αποδάσωση και η διάβρωση του εδάφους ενισχύουν την καταστροφική δύναμη των πλημμυρών.

Είναι πολύ σημαντικό να σημειωθεί ότι παρόλο που η Ελλάδα δεν έχει γνωρίσει σημαντικές καταστροφές λόγω πλημμυρών, όπως οι άλλες χώρες της Ευρώπης, τα θύματα σε ανθρώπινες ζωές στην Ελλάδα που οφείλονται σε πλημμυρικά γεγονότα είναι πολύ περισσότερα σε σχέση με τα θύματα λόγω σεισμών, παρόλο που η Ελλάδα είναι μια από τις κατεξοχήν σεισμογενείς χώρες. Ο πίνακας 1 που ακολουθεί παρουσιάζει τις συνολικές απώλειες ανθρώπινων ζωών από πλημμύρες στην Ελλάδα (Πάνου Ε, 2008).

Ημερομηνία	Απώλεια ζώων
14 Νοεμβρίου 1896, Κηφισσός	61
23 Νοεμβρίου 1925, Αθήνα	8
26 Οκτωβρίου 1930, Αθήνα	2
17 Οκτωβρίου 1933, Αθήνα-Πειραιάς	1
2 Δεκεμβρίου 1933, Πειραιάς	2
22 Νοεμβρίου 1934, Αθήνα-Πειραιάς	6
5 Νοεμβρίου 1936, Πειραιάς	2
29 Οκτωβρίου 1938, Αθήνα	1
5-6 Νοεμβρίου 1961, Αθήνα	40
2 Νοεμβρίου 1977, Αθήνα	38
27 Οκτωβρίου 1980, Αθήνα	7
15 Ιανουαρίου 1989, Αθήνα	9
5 Οκτωβρίου 1989, Αθήνα	1
21-22 Οκτωβρίου 1994, Αθήνα	1
17-22 Φεβρουαρίου 2005, Έβρος	-
16 Φεβρουαρίου 2010, Έβρος	-

Πίνακας 1: Απώλειες ανθρώπινων ζώων από πλημμύρες στην Ελλάδα την περίοδο 1896-1994



### *1.3 Βιβλιογραφική αναφορά πλημμυρικής επικινδυνότητας.*

Σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιούνται μετεωρολογικές, υδρομετεωρολογικές και υδρολογικές μέθοδοι που είναι βασισμένοι στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ-GIS). Ακολουθώς γίνονται κάποιες ενδεικτικές αναφορές παραδειγμάτων κατά τα οποία χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο Arc GIS για την εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Στις Κάτω Χώρες (Γαλλία, Βέλγιο και Ολλανδία), σημειώθηκε μία μεγάλη πλημμύρα τον Δεκεμβρίου του 1993 και οι μέθοδοι GIS εφαρμόστηκαν στο ποτάμι Meuse. Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήταν η λήψη απόφασης για την πρόβλεψη των επιπτώσεων που πιθανών θα είχε η στρατηγική αντιμετώπισης της πλημμύρας. Το μοντέλο που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον GIS έχοντας ως δεδομένα εισόδου υδρολογικές παραμέτρους, εφαρμόστηκε με επιτυχία και είχε σαν αποτέλεσμα να υπολογιστούν οι επιδράσεις των πιθανών στρατηγικών που είναι εφικτό να εφαρμοστούν για τον ποταμό Meuse.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, οι Georgakakos et al., (1997) εκτίμησαν χωρικά το ενδεχόμενο ξαφνικών πλημμυρών για μεγάλες περιοχές μέσω μεθοδολογίας για τον καθορισμό του ενδεχομένου ξαφνικής πλημμύρας στις μικρές λεκάνες μεταξύ μεγάλων γεωγραφικά εκτάσεων. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιήθηκε για να συνδυάσει τα ψηφιακά χωρικά δεδομένα με τα δεδομένα τηλεπισκόπισης.

Το 1999 ο Okoduwa εφάρμοσε το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για να προβλέψει την αστική πλημμύρα στην πόλη του Μπενίν της Νιγηρίας. Με συνδυασμό του υδραυλικού μοντέλου HEC-1 και του λογισμικού πακέτου GIS, κατάφερε να αξιολογήσει ποσοτικά την μεταβολή των χρήσεων γης και την επίδραση που έχει στην πλημμύρα.

Ο ποταμός Mulde στη Γερμανία, τον Αύγουστο του 2002, επηρεάστηκε σε πολύ μεγάλο βαθμό από πλημμύρες. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε κίνητρο για τους Meyer et al (2008), οι οποίοι εξέτασαν έναν τρόπο προσέγγισης, που μπορεί να προσφέρει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση και απεικόνιση τόσο των οικονομικών όσο και των περιβαλλοντικών και των κοινωνικών κινδύνων πλημμύρας στη συγκεκριμένη περιοχή. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας επιλέχθηκαν για την πιλοτική περιοχή του Ποταμού Mulde η διαζευκτική προσέγγιση και η προσέγγιση MAUT. Οι παράγοντες που συντέλεσαν σε αυτές τις προσεγγίσεις ήταν οικονομικοί, περιβαλλοντικοί και

κοινωνικοί. Η βάση για την αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας στην υπό μελέτη περιοχή είναι ο καθορισμός του κινδύνου, ο οποίος εκφράζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Κίνδυνος} = \text{Πιθανότητα} * \text{Συνέπεια}$$

Το αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης κινδύνου για κάθε παράγοντα βασισμένο στην GIS μέθοδο.

Επιπρόσθετα, οι Weiguo et al., (2008) υιοθετούν την ασαφή συνθετική αξιολόγηση (FSE-Fuzzy Sunthetic Evaluation) για να καθορίσουν τον κίνδυνο καταστροφής από πλημμύρες στην περιοχή της Μαλαισίας. Η μέθοδος FSE διαχωρίζει τα δεδομένα σε αρκετές κατηγορίες σύμφωνα με προκαθορισμένα ποιοτικά κριτήρια. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται η πιθανή ασάφεια. Η FSE, έπειτα, συνθέτει και αξιολογεί αρκετά επιμέρους συστατικά μιας διαδικασίας, ως ένα σύνολο.

Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη είναι η τριήμερη βροχόπτωση, η φυτοκάλυψη, το δίκτυο αποχέτευσης, το υψόμετρο, ο πληθυσμός και η κοινωνική συμπεριφορά του. Ο κίνδυνος καταστροφής πλημμύρας διαχωρίζεται σε πέντε τμήματα: τη ζώνη κατώτατου κινδύνου, τη ζώνη χαμηλού κινδύνου, τη ζώνη μέσου κινδύνου, τη ζώνη υψηλού κινδύνου και τη ζώνη μεγίστου κινδύνου. Το πεδίο τιμών μπορεί να αποκτηθεί μέσω των στατιστικών της σταθερής απόκλισης και της μέσης τιμής από κάθε χαρτογραφημένο επίπεδο ψηφιοπλέγματος. Επίπεδα από raster data εφαρμόζονται ως δείκτες κινδύνου της πλημμυρικής καταστροφής, και επομένως καθιερώνει ένα ιεραρχικό σύστημα δεικτών αξιολόγησης κινδύνων πλημμυρικής καταστροφής, βασισμένο στην διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης (AHP). Επιπλέον επιλέχθηκαν τρεις διαφορετικές συνθετικές μέθοδοι αξιολόγησης ασάφειας (Ολοκληρωμένη Αξιολόγηση Ασάφειας, Απλή Ταξινόμηση Ασάφειας και Μέθοδος Ομοιότητας Ασάφειας). Η σύγκριση και τεκμηρίωση αυτών των τριών μεθόδων επιφέρει την κατάλληλη ενιαία αξιολόγηση κινδύνου ασάφειας της πλημμυρικής καταστροφής.

Οι πόλεις Yerba Buena και Tucuman στην Αργεντινή επηρεάστηκαν από διάφορα πλημμυρικά γεγονότα τα τελευταία χρόνια προκαλώντας εκατοντάδες ανθρώπους να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε μεγάλη πρόκληση από τους Fernandex et al., (2010), οι οποίοι επιχείρησαν να προσεγγίσουν την επικινδυνότητα πλημμύρας στις συγκεκριμένες πόλεις. Τα βήματα που

ακολουθήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη περιλαμβάνουν τη χρήση βασικών δεδομένων, τον χειρισμό τους μέσω GIS, την πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων και το μοντέλο ανάλυσης αβεβαιότητας.

Για την βασική χαρτογράφηση χρησιμοποιήθηκαν τρεις βασικές πηγές πληροφοριών όπως ένας λεπτομερής ψηφιακός ισούψης χάρτης, δεδομένα γεώτρησης και μία αεροφωτογραφία ολόκληρης της περιοχής σε κλίμακα 1:10.000. Από αυτές τις τρεις διαφορετικές πηγές πληροφοριών προέκυψαν πέντε διαφορετικοί χάρτες πρόβλεψης, δηλαδή το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, η κλίση, η απόσταση από κανάλια εκκένωσης, το φρεατικό βάθος και χρήσεις γης. Το επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός του βάθους και των τιμών βαθμονόμησης των επιπέδων και των τάξεων κάθε επιπέδου, αντιστοίχως. Ο καθορισμός και η ανάλυση των τιμών βάθους/τάξης πραγματοποιήθηκαν μέσω της εφαρμογής της μεθόδου Διαδικασίας Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP). Για την ανάλυση της αβεβαιότητας που σχετίζεται με το αποτέλεσμα του μοντέλου, εφαρμόστηκε μία γενική διαδικασία. Αυτή η διαδικασία περιελάμβανε την ανάλυση της αβεβαιότητας μέσω διαδόσεως σφαλμάτων, χρησιμοποιώντας την μέθοδο Taylor, και την ανάλυση της ευαισθησίας χρησιμοποιώντας την προσομοίωση Monte Carlo, ούτως ώστε να καθοριστεί η πιθανότητα των αλλαγών στην σειρά ταξινόμησης, εξαιτίας σφαλμάτων που σχετίζονται με τους παράγοντες εισόδου. Τέλος, οι γειτονικές περιοχές με ιστορικές καταγραφές γεγονότων πλημμύρας χαρτογραφήθηκαν πάνω στον τελικό χάρτη διαίρεσης σε ζώνες, ούτως ώστε να ελεγχθεί η ακρίβεια του.

Οι Islam Abou El-Magd et al (2010) κατασκεύασαν ένα υδρολογικό μοντέλο το οποίο παρουσίασε την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην υδρολογική λεκάνη του Abu Dabbab, στην Αίγυπτο. Η περιοχή μελέτης αποτελεί μια ξηρή περιοχή, όπου το φαινόμενο της βροχόπτωσης παρατηρείται κατά μέσο όρο 3-5 φορές το χρόνο.

Τα δεδομένα εισόδου αυτής της μεθοδολογίας ήταν κλιματολογικά δεδομένα βροχοπτώσεων διάρκειας τριών ωρών, τα οποία αποκτήθηκαν από το δορυφόρο TRMM (Αποστολή Παρακολούθησης Τροπικών Βροχοπτώσεων) και το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (DEM), από το οποίο υπολογίστηκαν τόσο οι τοπογραφικές παραμέτρους (όπως οι κλίσεις, το μήκος και το σχήμα των κλίσεων), όσο και οι υδρολογικές (όπως η κατεύθυνση ροής, η συσσώρευση ροής, η σκιαγράφηση της λεκάνης απορροής, τα δίκτυα ροής και το μήκος ροής). Συνεπώς, τόσο η συσσώρευση ροής όσο και το μήκος της ροής χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή της επιφανειακής απορροής. Επιπλέον, το αναπτυγμένο υδρολογικό μοντέλο για το Abu

Dabbaħ βασιλίζεται σε τρεις κύριους παράγοντες, στην παραγωγή ροής και τη δρομολόγηση του καναλιού ροής, στην υδροδυναμική της ροής, που περιλαμβάνει βάθη μέγιστης ροής σε συγκεκριμένες διατομές κατά μήκος του κυρίου καναλιού στα ανώτερα, μεσαία και τα πιο κατώτατα μέρη του βασικού καναλιού και στην ένταση χειμάρου, δηλαδή στην ενέργεια που είναι διαθέσιμη για την μεταφορά μιας μάζας νερού και των ιζημάτων του. Οι παραπάνω παράγοντες συντέλεσαν στην δημιουργία ενός υδρολογικού μοντέλου που παρέχει εκτιμήσεις σχετικά με την ποσότητα της επιφανειακής απορροής, καθώς και το μέγεθος της πλημμύρας.

#### *1.4 Σκοπός – Αντικείμενο*

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εκτίμηση του κινδύνου της πλημμύρας στην Βόρεια Ελλάδα, με πολυκριτηριακή ανάλυση σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (ΓΣΠ-GIS).

Απώτερος σκοπός είναι η διερεύνηση σχετικών μεθοδολογιών διεθνώς ώστε να βρεθεί η βέλτιστη προσέγγιση που μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα στα Ελληνικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, οι επιμέρους στόχοι της παρούσας εργασίας σχετίζονται με τη:

- Χαρτογράφηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στη Βόρεια Ελλάδα, μέσω της εφαρμογής δύο μεθοδολογιών και αξιολόγηση της ακρίβειας και αξιοπιστίας τους μέσω της χρήσης δορυφορικών εικόνων.
- Ανάλυση ευαισθησίας για να διαπιστωθεί η σημαντικότητα των αλλαγών χρήσεων γης και μετεωρολογικών παραμέτρων στην πλημμυρική επικινδυνότητα καθώς και αξιολόγηση του βαθμού επηρεασμού κάθε μιας από τις συνιστώσες που συνεισφέρουν στο φαινόμενο της πλημμύρας.

#### *1.5 Πρωτότυπα σημεία.*

Η πρωτοτυπία της παρούσας διπλωματικής εργασίας στηρίζεται στην εφαρμογή, σύγκριση και αξιολόγηση δύο μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης στον Ελλαδικό χώρο με απώτερο σκοπό την εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας ειδικότερα στην περιοχή της Βόρειας Ελλάδας. Επιπρόσθετα, η επικύρωση των αποτελεσμάτων τους μέσω τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης για την χαρτογράφηση των πλημμυρικών περιοχών προσδίδει στην εργασία εγκυρότητα

αποτελεσμάτων και ένα βαθμό καινοτομίας.

Ιδιαίτερο σημείο της εργασίας αποτελεί η διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας, έτσι ώστε να διαπιστωθεί ποιος και κατά πόσο από τους εμπλεκόμενους παράγοντες επιδρούν περισσότερο στη μεταβολή της επικινδυνότητας πλημμύρας

#### *1.6 Δομή Μεταπτυχιακής εργασίας*

Τα κεφάλαια που περιλαμβάνονται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελούν ξεχωριστά βήματα της σύνθετης έρευνας που ακολούθησε.

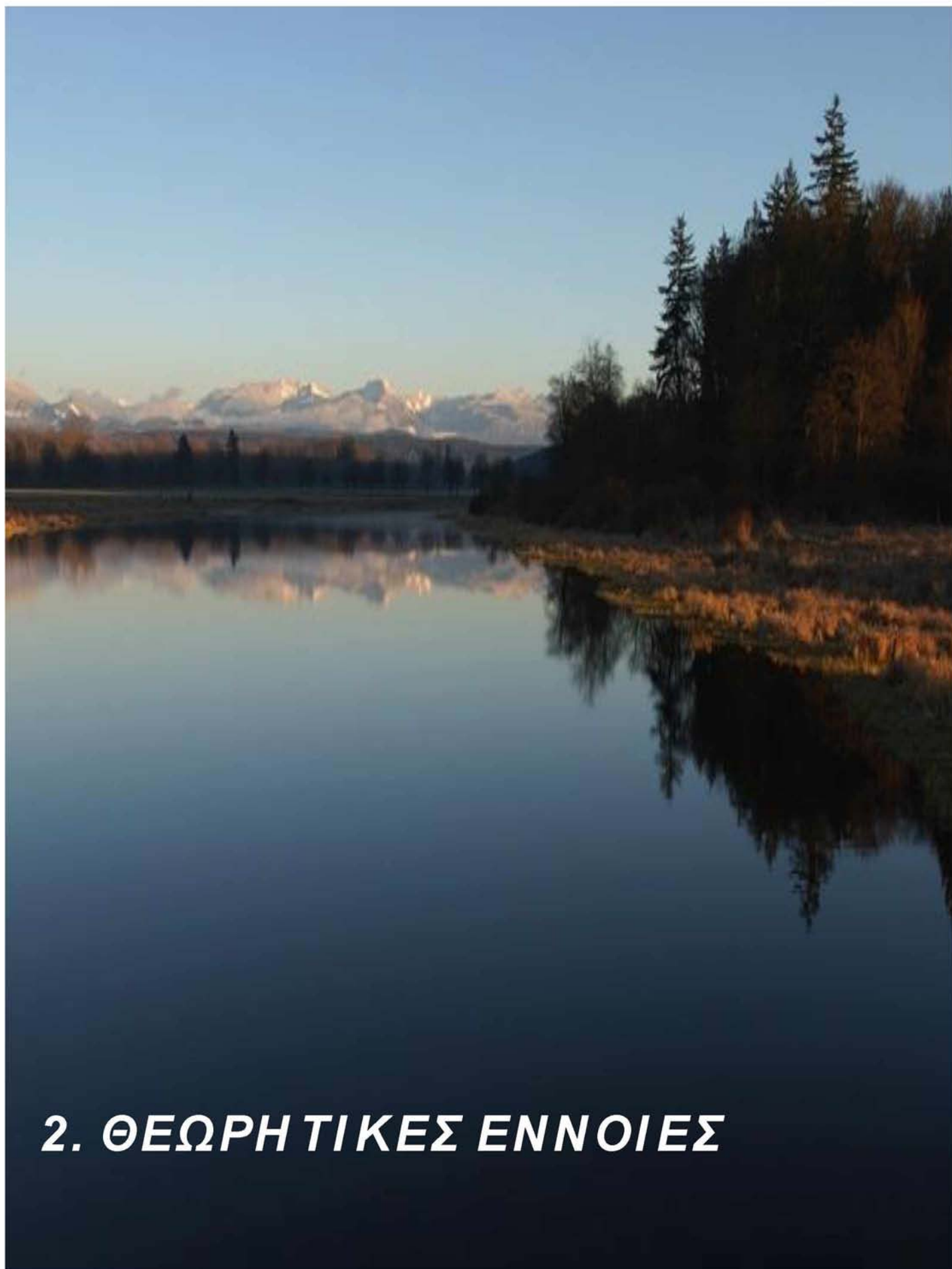
Στα πρώτα δύο κεφάλαια ορίζονται το φαινόμενο της πλημμύρας και οι αιτίες που το προκαλούν. Επιπλέον, διεξάγεται ιστορική αναδρομή και γίνεται σύντομη αναφορά σε άλλες μεθοδολογίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Τέλος, εξετάζεται ο σκοπός και οι επιμέρους στόχοι της εργασίας.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει αναλυτικά τις δύο μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Στην πρώτη μεθοδολογία, παρατίθενται οι έξι παράγοντες και τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα για την διεξαγωγή των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας. Επιπλέον, περιγράφονται τα σενάρια της ανάλυσης ευαισθησίας κατά την οποία μεταβάλλεται η τιμή μιας και μόνο παραμέτρου διατηρώντας όλες τις άλλες σταθερές ώστε να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα. Στην δεύτερη μεθοδολογία παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε παράγοντας που συμβάλει στην πολυκριτηριακή ανάλυση όπως επίσης τα εργαλεία που συνέβαλαν στην εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας. Επιπροσθέτως, αναλύονται λεπτομερώς τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την διεξαγωγή των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η περιοχή μελέτης της εργασίας και παρατίθενται η εφαρμογή και τα αποτελέσματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης παράλληλα με την περιγραφή των χαρτών ως προϊόντα της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Επιπλέον, αξιολογήθηκε η ακρίβεια και αξιοπιστία των δύο μεθοδολογιών στην περιοχή του Έβρου με την χρήση δορυφορικών εικόνων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται σε περιληπτική μορφή η περιγραφή των μεθόδων, τα προβλήματα που προέκυψαν κατά τη διεξαγωγή της ανάλυσης,

συνοπτικά τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτά.



## **2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ**

## 2.1 Ορισμός

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε (2007/60/ΕΚ) για την διαχείριση των πλημμυρών, ως «πλημμύρα» ορίζεται η προσωρινή κάλυψη του εδάφους από νερό το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από αυτό. Σε αυτές τις προσωρινές καλύψεις εδάφους περιλαμβάνονται οι πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρους, εφήμερα ρέματα της Μεσογείου και πλημμύρες από την θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, εξαιρούνται όμως οι πλημμύρες από συστήματα αποχέυσης. Ως «πλημμυρική επικινδυνότητα» ορίζεται ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα η πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών επιπτώσεων για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές επιπτώσεις που συνδέονται με αυτήν την πλημμύρα. Είναι εφικτό οι επιπτώσεις της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε μια περιοχή να ορισθούν ποσοτικά, αν αποτελούν μετρήσιμα μεγέθη (οικονομικής φύσεως, ανθρώπινες απώλειες) ή ποιοτικά μέσω κατάταξης σε κλίμακες, αν δεν είναι εφικτό να προσδιοριστούν (π.χ. κοινωνικό – οικονομικής ή πολιτιστικής φύσεως). (Pistrika, 2007).

Ο όρος επικινδυνότητα περιλαμβάνει την έννοια του κινδύνου και της τρωτότητας. Ο κίνδυνος αναφέρεται σε φαινόμενα ή καταστάσεις που ενέχουν κινδύνους όπως το φυσικό φαινόμενο της πλημμύρας. Η τρωτότητα περιλαμβάνει το πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο. Συμπερασματικά, η τρωτότητα εξαρτάται από την ένταση του κινδύνου και από τα χαρακτηριστικά του συστήματος.

## 2.2 Η Οδηγία 2007/60

Οι καταστροφικές πλημμύρες στο διάστημα 1998-2002 συνιστούν την κύρια αιτία της ανάληψης πρωτοβουλίας από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τις πλημμύρες. Αντιδρώντας στις πλημμύρες του 2003, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε το 2004 την διαχείριση του κινδύνου πλημμυρών για την βελτίωση της προστασίας από τις πλημμύρες, στην οποία επισημάνθηκε η ανάγκη να θεσπισθεί κοινοτική νομοθεσία για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Αυτό που βοήθησε στην προώθηση για ψήφιση της νέας Οδηγίας ήταν η έξαρση της έντασης και της συχνότητας των πλημμυρών στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια. Κατά την περίοδο 2003 μέχρι 2007 συνέβησαν στην Ευρώπη 120 ακόμη μεγάλες



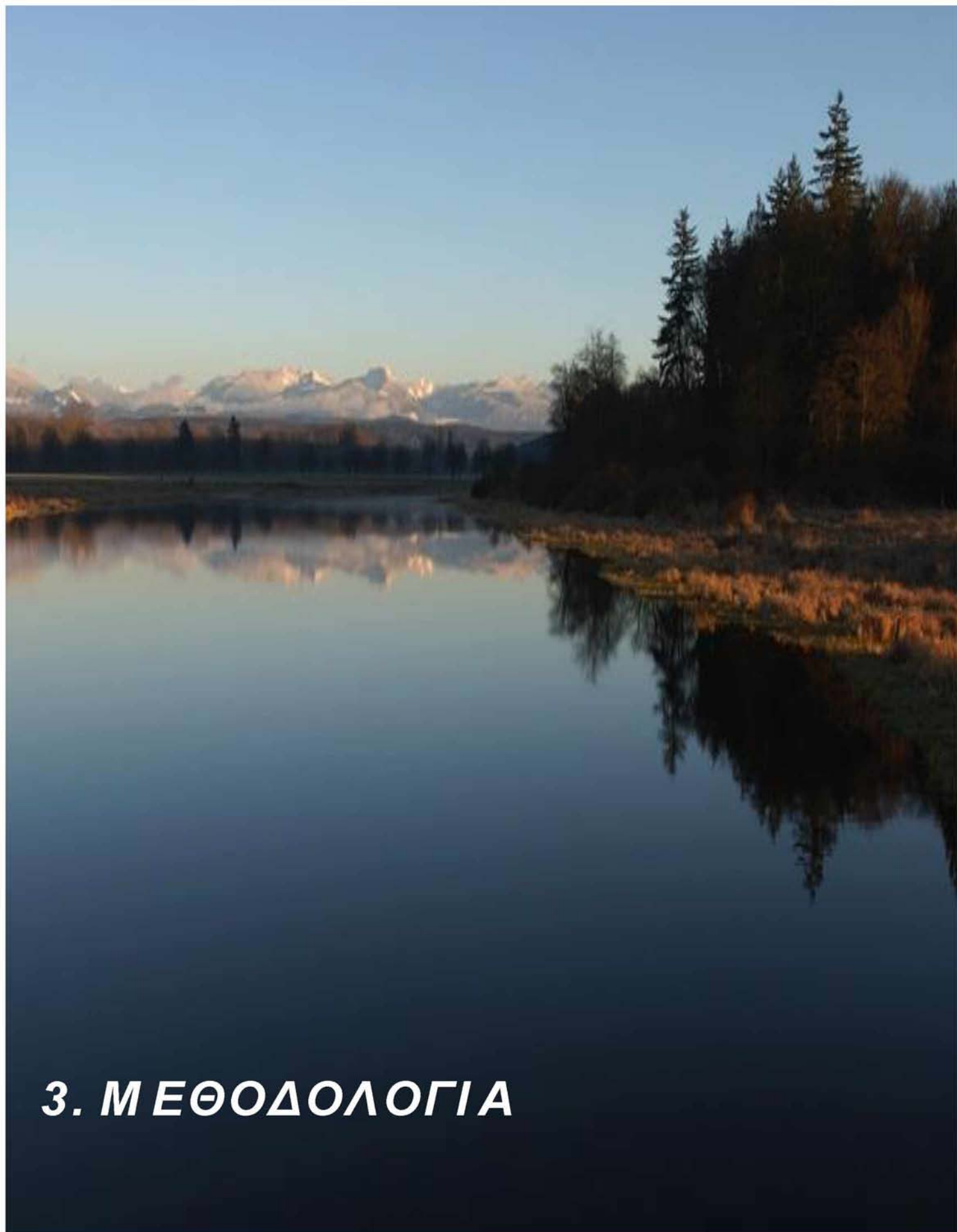
πλημμύρες προκαλώντας τον θάνατο 345 ανθρώπων και οικονομικές ζημιές 12 δις ευρώ. Αυτό που κατανοήθηκε στην Ευρώπη είναι ότι οι μεγάλες πλημμύρες είναι συχνότερες και πιο καταστροφικές. Με τις αναμενόμενες κλιματικές αλλαγές εκτιμάται ότι οι συνθήκες θα γίνουν ακόμα δυσμενέστερες με περισσότερες πλημμύρες και ακόμα μεγαλύτερες καταστροφές (ΙΣΤΑΜΕ, 2006).

Η Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις πλημμύρες (Οδηγία 2007/60) μπήκε σε εφαρμογή το Νοέμβριο του 2007. Η Οδηγία αποτελεί συμπλήρωμα της Οδηγίας πλαισίου 2000/60 (η οποία μεριμνά όχι μόνο την καλή ποιότητα των υδάτων αλλά και τα ποσοτικά τους χαρακτηριστικά), και έχει στόχο τη μείωση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Οδηγία αναφέρεται σε όλα τα είδη πλημμύρων (ποταμών, λιμνών, απότομων πλημμύρων, αστικών και παράκτιων πλημμύρων) και απαιτεί από τις χώρες μέλη να αντιμετωπίσουν το θέμα των πλημμύρων με τη μεθοδολογία της εκτίμησης της πλημμυρικής διακινδύνευσης και της διαχείρισης της. Συγκεκριμένα, *«Η Οδηγία αναφέρεται στην σχέση Κινδύνου-Τρωτότητας-Διακινδύνευσης με ένα ορθολογικό τρόπο που καταλήγει στην αξιολόγηση του πραγματικού κινδύνου δηλαδή της διακινδύνευσης και τελικά τη διαχείρισή του με οργανωμένα εκ των προτέρων σχέδια. Δηλαδή η Οδηγία προτρέπει τις χώρες μέλη να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις για τα διάφορα σενάρια κινδύνου να αναδείξουν τις περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο (είτε από πλευράς πιθανότητας είτε από την πλευρά διακυβέματος) και να εκπονήσουν σχέδια προληπτικού σχεδιασμού ώστε να περιορισθούν οι απώλειες και οι πάσης φύσεως ζημιές»* (Τσακίρης Π., 2009).

### 2.3 Μέθοδοι- Τεχνικές- Τεχνολογία

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ο βασικός στόχος ήταν η εκτίμηση και η παραγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας στην ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Ελλάδας. Η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Arc GIS 10.1 και συγκεκριμένα του Arc Map. Το Arc GIS είναι εξειδικευμένα Πληροφοριακά Συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την γεωγραφική ανάλυση και χαρτογραφική απόδοση μίας πληθώρας χωρικά ή χωροχρονικά κατανεμημένων φαινομένων, γεγονότων και δραστηριοτήτων που κινούνται από τις κοινωνικές επιστήμες μέχρι τις επιστήμες του φυσικού περιβάλλοντος και από την δημόσια διοίκηση μέχρι την διαχείριση του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Αξίζει επιπλέον να αναφέρουμε ότι ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών είναι μία οργανωμένη συλλογή μηχανικών υπολογιστικών

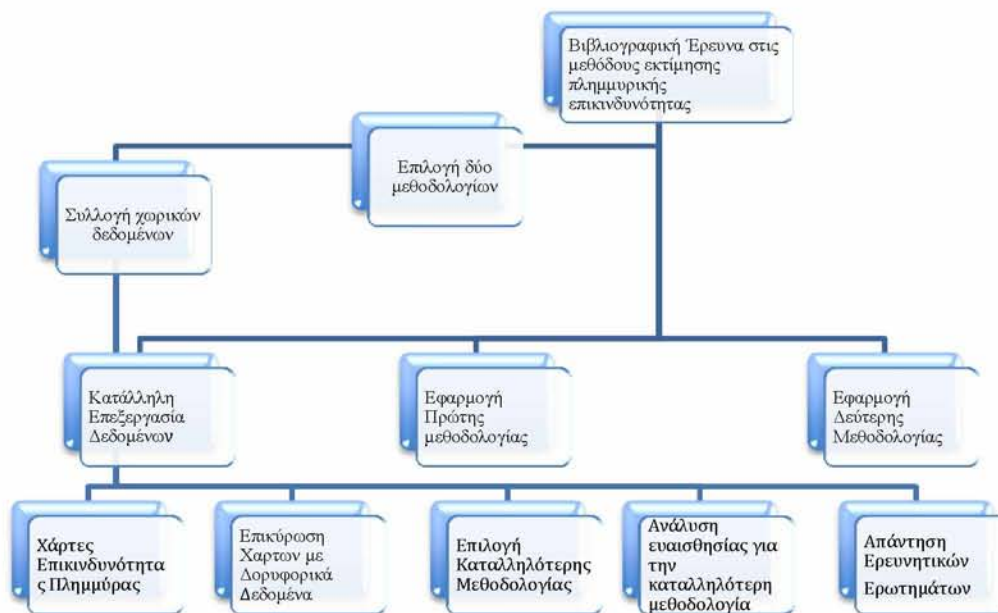
συστημάτων (hardware), λογισμικών συστημάτων (software), χωρικών δεδομένων και ανθρώπινου δυναμικού, με σκοπό τη συλλογή, καταχώρηση, ενημέρωση, διαχείριση, ανάλυση και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά στο γεωγραφικό περιβάλλον (Φώτης Γ., 2010). Συγκεκριμένα, την πρώτη φάση της εργασίας αποτελεί η εισαγωγή των δεδομένων σε περιβάλλον GIS με σκοπό την κατάλληλη επεξεργασία τους ώστε να είναι δυνατή η πολυκριτηριακή ανάλυση. Μέσω της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε από το λογισμικό πακέτο προέκυψαν οι τελικοί χάρτες εκτίμησης της επικινδυνότητας στην Βόρεια Ελλάδα.



## **3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα και αποτελούν μια συνηθισμένη μορφή φυσικών καταστροφών. Οι κυριότερες αιτίες που συμβάλουν στην επικινδυνότητα της πλημμύρας είναι οι αλλαγές στη χρήση γης, οι υδρομορφολογικές αλλοιώσεις, οι κλιματικές αλλαγές και άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Τα τελευταία χρόνια η συχνότητα και κυρίως η ένταση των πλημμυρών έχουν αυξηθεί σε σχέση με το παρελθόν, με καταστροφικά αποτελέσματα αφού έχουν χαθεί αρκετές ανθρώπινες ζωές και έχουν καταγραφεί σημαντικές υλικές και οικονομικές ζημιές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η συνολική πρόληψη των πλημμυρών δεν είναι εφικτή, ενώ η αξιολόγηση και η διαχείριση των μελλοντικών πλημμυρών μπορεί να πραγματοποιηθεί.

Η συγκεκριμένη εργασία παρουσίασε μια προσπάθεια εκτίμησης της επικινδυνότητας του πλημμυρικού φαινομένου. Για την εκπόνηση της μελέτης εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες βασιζόμενες στην πολυκριτηριακή ανάλυση ώστε να βρεθεί η βέλτιστη προσέγγιση χρησιμοποιώντας στα Ελληνικά και διεθνή δεδομένα. Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την υλοποίησή της παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διάγραμμα φάσεων εφαρμοσμένης μεθοδολογίας

Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των δύο μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία.

### 3.1 Πρώτη Μεθοδολογία

Σύμφωνα με την πρώτη μεθοδολογία, ο χάρτης της επικινδυνότητας πλημμύρας αποδόθηκε μέσω της διεξαγωγής της πολυκριτηριακής ανάλυσης συνδυάζοντας παράλληλα σύγχρονες τεχνικές μεθόδους. Στην συγκεκριμένη μεθοδολογία, οι έξι παράγοντες που μελετήθηκαν και παράλληλα συνέβαλλαν στην ανάπτυξη των πλημμυρών ήταν η συσσώρευση ροής, η κλίση, οι χρήσεις γης, η ένταση των βροχοπτώσεων, η γεωλογία και η τοπογραφία της λεκάνης απορροής.

#### 3.1.1 Παράγοντες επικινδυνότητας πλημμύρας

Οι παράγοντες επικινδυνότητας πλημμύρας χωρίστηκαν στην κατηγορία των αριθμητικών και των μη αριθμητικών παραγόντων (Σχήμα 2). Στους αριθμητικούς παράγοντες συγκαταλέκθηκαν η συσσώρευση ροής, η κλίση, η βροχόπτωση και το υψόμετρο, ενώ οι μη αριθμητικοί ήταν η γεωλογία και οι χρήσεις γης.

Η *συσσώρευση ροής* (συσσώρευση ροής: η έκταση της λεκάνης απορροής που έρεε σε ένα μοναδιαίο σημείο και χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό κάποιων υδρολογικών μεταβλητών και αυξάνοταν συνεχώς προς το κατάντη τμήμα της λεκάνης και πλησίον του υδρογραφικού δικτύου (Schäuble et al., 2008).

Ο *χάρτης της κλίσης* δημιουργήθηκε με την χρήση του ψηφιακού μοντελού εδάφους (Digital Elevation Model). Οι τοπογραφικές παράμετροι της κλίσης και του υψομέτρου ήταν αντιστρόφως ανάλογες με την εμφάνιση των πλημμυρών (Kwak&Kondoh, 2008) και ιδιαίτερα σε μικρές λεκάνες απορροής ποταμών.

Η *ένταση των βροχοπτώσεων* και οι *συνθήκες υγρασίας* του εδάφους ήταν οι πιο σημαντικές παράμετροι στην παραγωγή των πλημμυρών (Camarasa Belmonte & Segura Beltran, 2001). Οι συνθήκες υγρασίας του εδάφους σχετίστηκαν άμεσα με την χρήση της γης καθώς και την κάλυψη της βλάστησης που έλεξαν τόσο την ποσότητα όσο και το χρόνο που κάνει η βροχόπτωση να φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Επιπλέον, η *γεωλογία* έπαιξε καταλυτικό ρόλο στην παραγωγή της απορροής. Για παράδειγμα, μια δομή καρστικού σχηματισμού μείωνε την επιφανειακή απορροή (Svoboda, 1991).

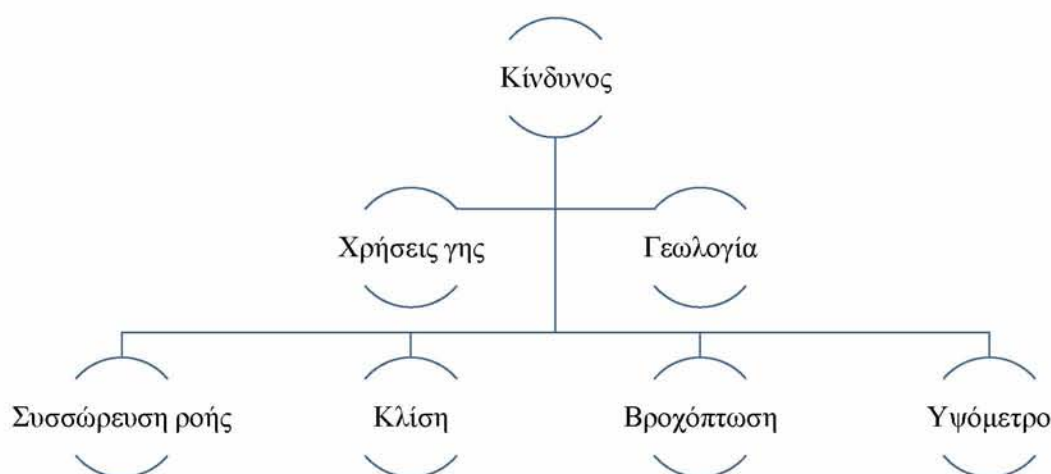
Η ένταση της βροχόπτωσης υπολογίστηκε με τη χρήση του δείκτη έντασης βροχόπτωσης (MFI), ο οποίος εξέφρασε το άθροισμα της μέσης μηνιαίας έντασης βροχόπτωσης σε ένα σταθμό (Morgan, 2005):

$$MFI = \sum \frac{p^2}{P}$$

όπου MFI: ο δείκτης έντασης βροχόπτωσης,

p: η μέση μηνιαία βροχόπτωση, και

P: η μέση ετήσια βροχόπτωση



Σχήμα 2: Αναπαράσταση παραγόντων κινδύνου πλημμύρας πρώτης μεθοδολογίας

Τέλος, ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας της περιοχής μελέτης, δημιουργήθηκε από την αλγεβρική πρόσθεση των raster αρχείων για κάθε σταθμισμένο συντελεστή.

$$S = \sum w_i x_i$$

όπου S: δείκτης επικινδυνότητας ,

w<sub>i</sub>: βάρος παράγοντα i, και

x<sub>i</sub>: ποσοστό παράγοντα i.

Οι παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν με βάση τη βαρύτητά τους στον κίνδυνο πλημμύρας και τη βιβλιογραφία (Eimers et al, 2000, Yahaya et al, 2010). Η ανωτέρω προσέγγιση (πολυκριτηριακή ανάλυση σε GIS) απέφυγε την πολυπλοκότητα της χωρικής μοντελοποίησης, βελτιώνοντας έτσι τη χρησιμότητα του χάρτη επικινδυνότητας για τη λήψη αποφάσεων (Zerger, 2002).

### 3.2 Δεύτερη Μεθοδολογία

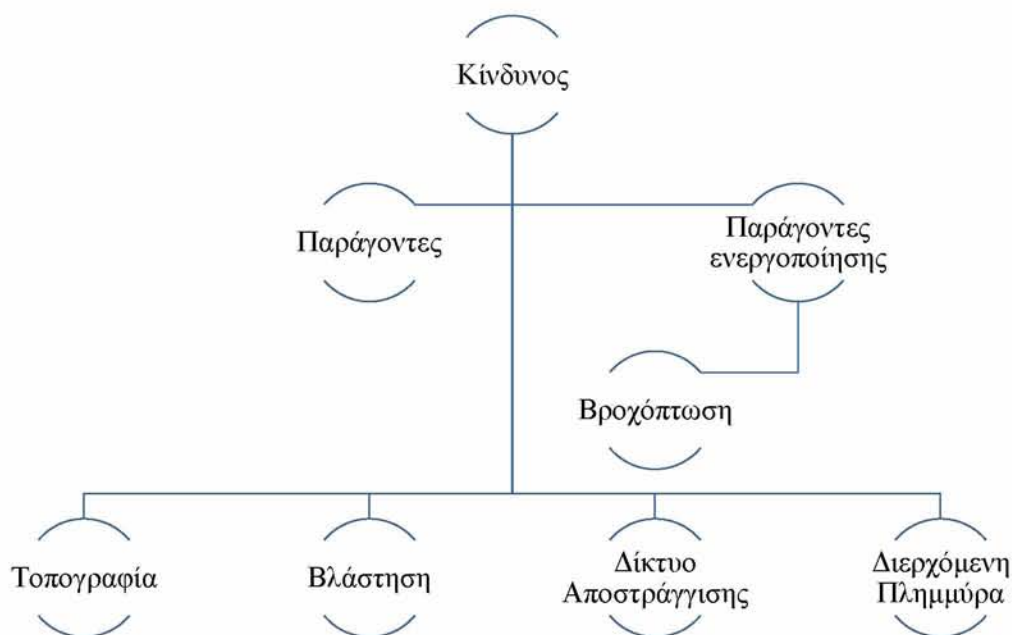
#### 3.2.1 Χωρική Ανάλυση Πολλαπλών Κριτηρίων (SMCA)

Η ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων ήταν ένα πλαίσιο για την κατάταξη ή βαθμολόγηση της συνολικής απόδοσης των επιλογών απόφασης έναντι πολλαπλών στόχων. Η ισχύς της τεχνικής είχε την ικανότητα να συνδυάζει πληροφορίες από διάφορα επιστημονικά πεδία. Η εφαρμογή SMCA βοήθησε και καθοδήγησε τους χρήστες να κάνουν ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων με χωροταξικό τρόπο. Τα δεδομένα εισόδου ήταν ένα σύνολο χαρτών με χωρική αναπαράσταση των κριτηρίων. Αυτά ομαδοποιήθηκαν, τυποποιήθηκαν και σταθμίστηκαν. Το αποτέλεσμα ήταν ένας ή περισσότεροι «σύνθετοι χάρτες δείκτες», που δηλώνουν την υλοποίηση των εισερχομένων. Το τελικό προϊόν [«σύνθετοι χάρτες δείκτες»] είχε, για κάθε κελί, ένα αποτέλεσμα που αποτέλεσε ένα εύρος με βάση το ειδικό βάρος. Η συνολική βαθμολογία των επιδόσεων για κάθε επιλογή,  $u_i$ , υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (Hajkowicz and Collins, 2007):

$$u_i = \sum_{j=1}^m v_{i,j} w_j$$

Εδώ τα βάρη ( $w_j$ ) ήταν μη αρνητικά και προστίθενται μέχρι το 1, και το  $v_{i,j}$  ήταν μια μετατρέπομενη βαθμολογία επίδοσης για το  $x_{i,j}$  με κλίμακα από το 0 έως το 1, όπου το 1 αντιπροσώπευσε την καλύτερη επίδοση.

Σε αυτή την μελέτη, η σχηματική αναπαράσταση των κριτηρίων αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας δίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Αναπαράσταση των κριτηρίων αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας δευτερης μεθοδολογίας

### 3.2.2 Κανόνες Τυποποίησης

Για να είναι αποτελεσματική η εφαρμογή της SMCA, τα δεδομένα εισόδου τυποποιήθηκαν από τις αρχικές τους τιμές σε τιμές που κυμάνθηκαν από το 0 έως το 1. Οι δείκτες είχαν διαφορετικές κλίμακες μέτρησης και οι σχέσεις τους με τον κίνδυνο πλημμύρας ήταν επίσης διαφορετικές. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά τα στοιχεία, εφαρμόστηκαν διαφορετικές μέθοδοι τυποποίησης στους δείκτες.

Για τους χάρτες τυποποίησης τιμών, χρησιμοποιήθηκαν εξισώσεις για την μετατροπή των πραγματικών τιμών του χάρτη σε τιμές μεταξύ 0 και 1. Η διαδικασία τυποποίησης ήταν διαφορετική μεταξύ ενός θετικού δείκτη που είχε θετική συσχέτιση με τον κίνδυνο πλημμύρας και ενός αρνητικού δείκτη που είχε αρνητική συσχέτιση με τον κίνδυνο πλημμύρας. Ως προς τον θετικό δείκτη, χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη μέθοδος (Εξ. 1), ενώ η μέγιστη μέθοδος (Εξ. 2) εφαρμόστηκε στον αρνητικό δείκτη (Mao 2001).

$$V_{is} = \frac{X_i - X_{i \min}}{X_{i \max} - X_{i \min}} \quad (1)$$

$$V_{is} = \frac{X_{i \max} - X_i}{X_{i \max} - X_{i \min}} \quad (2)$$



Για τον δείκτη  $i$ , το  $v_{is}$  ήταν μια τιμή τυποποίησης, το  $x_i$  ήταν η αρχική τιμή,  $x_{imax}$  ήταν η μέγιστη τιμή και  $x_{imin}$  ήταν η ελάχιστη τιμή.

### 3.2.3 Δείκτες Επικινδυνότητας

Οι δείκτες επικινδυνότητας χωρίστηκαν σε δυο ομάδες: τους υποθετικούς δείκτες και τους δείκτες πρόκλησης. Αυτοί οι δείκτες παρουσιάζονται ένας προς ένα.

*Δείκτης Τοπογραφίας.* Προς το παρόν, υπάρχουν δυο προσεγγίσεις για την ποσοτικοποίηση της τοπογραφικής διακύμανσης χρησιμοποιώντας την κλίση και την τυπική απόκλιση του υψομέτρου εντός ορισμένων ορίων (Correia et al. 1998, Werner 2004). Η κλίση, που χρησιμοποιήθηκε ευρέως, υποδηλώνει ένα βαθμό διακύμανσης του υψομέτρου σε γειτονικά πλέγματα (He et al. 2002, Tang and Zhu 2005). Παρόλα αυτά, ο κίνδυνος πλημμύρας επηρεάστηκε από την αλλαγή στο έδαφος σε ορισμένο εύρος, χωρίς να περιοριστεί στα γειτονικά πλέγματα. Επομένως, η τυπική απόκλιση του υψομέτρου σε πλέγματα 5\*5 επιλέχθηκε ως τοπογραφικός δείκτης (Wan et al, 1999, Zhou et al, 2000).

Γενικά, οι ψηφιοποιημένες ισουψείς και τα σημειακά ύψη ήταν με τυχαίο ή ακανόνιστο τρόπο. Η μέθοδος DEM χρησιμοποίησε ακανόνιστα τοποθετημένα δεδομένα για να ενταχθούν στο κανονικό πλέγμα μέσω μιας τεχνικής επαναδειγματοληψίας.

*Δείκτης Κάλυψης Βλάστησης.* Η κάλυψη της βλάστησης χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης με σκοπό να αντικατοπτρίσει την ικανότητα αντίστασης των συγκεκριμένων περιοχών στον κίνδυνο πλημμύρας.

*Δείκτης Δικτύου Αποστράγγισης.* Τα διαφορετικά επίπεδα των ποταμών επηρέασαν τον κίνδυνο πλημμύρας. Αυτή η διαφορά λήφθηκε υπόψη στην αξιολόγηση της επικινδυνότητας των πλημμυρών. Με βάση τις πρακτικές καταστάσεις πλημμύρας με την πάροδο των χρόνων, δυο μέθοδοι – η ρυθμιστική ανάλυση και η πυκνότητα αποστράγγισης – χρησιμοποιήθηκαν για να αξιολογηθεί η επίδραση των διαφορετικών επιπέδων των ποταμών στην επικινδυνότητα των πλημμυρών. Η πρώτη εφαρμόστηκε στα κύρια ποτάμια, ενώ η δεύτερη εφαρμόστηκε σε άλλους τύπους ποταμών. Η ρυθμιστική ανάλυση δημιουργήθηκε με βάση τη μεθοδολογία «απόσταση από το κέντρο του ποταμού». Ως εκ τούτου, δυο επίπεδα ρύθμισης δημιουργήθηκαν σε καθορισμένη απόσταση από τα κύρια ρεύματα. Για κάθε επίπεδο ρύθμισης ορίστηκε μια τιμή για την επίδραση στην επικινδυνότητα των πλημμυρών (Πίνακας 2). Επομένως, ένας σύνθετος ρυθμιστικός χάρτης λήφθηκε για την

ακόλουθη εφαρμογή.

Πίνακας 2 :Πρότυπα για την διαίρεση κύριων ρευμάτων

Επίπεδο ρυθμιστών	Απόσταση απο τα ποτάμια	Αξία
1	0 ~ 4	0.9
2	4 ~ 8	0.8
Καμμία ρύθμιση		0.5

*Δείκτης Διερχόμενης Πλημμύρας.* Ο συγκεκριμένος δείκτης, ο οποίος υπολογίστηκε από την απόσταση των πλημμυρισμένων περιοχών από τα κοντινά ποτάμια, χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσει την επίδραση της διερχόμενης πλημμύρας.

*Παράγοντες Ενεργοποίησης.* Υψηλή βροχόπτωση σε σύντομο χρονικό διάστημα ήταν ο πιο σημαντικός παράγοντας πρόκλησης πλημμύρας. Σε αυτή τη μελέτη, δυο παράγοντες βροχόπτωσης λήφθηκαν υπόψη: η ετήσια μέση μέγιστη βροχόπτωση στις 72h και η μέση ετήσια συχνότητα καταιγίδας. Ο υπολογισμός της συχνότητας καταιγίδας έγινε με τη μέθοδο της σειράς κατάταξης (Tang and Zhu 2005). Ο συνολικός αριθμός καταιγίδων από το 1994 έως το 2004 για τους ίδιους μετεωρολογικούς σταθμούς της πρώτης μεθοδολογίας συλλέχθηκε για να υπολογιστεί η μέση ετήσια συχνότητα καταιγίδας.

### 3.3 Επικύρωση Μεθοδολογίας

Η επικύρωση αποτέλεσε έναν τρόπο για να εκτιμηθεί η ακρίβεια του κινδύνου από τις πλημμύρες με τη χρήση άλλων αξιόπιστων στοιχείων, τα οποία παρουσίασαν τον υψηλότερο κίνδυνο και τις υψηλότερες ζώνες του. Με αυτήν την μέθοδο ταυτοποιήθηκε αν η υπό μελέτη πλημμυρισμένη περιοχή βρισκόταν στον υψηλότερο βαθμό κινδύνου και στις υψηλότερες ζώνες του. Το ποσοστό της επικύρωσης δεδομένων υπολογίστηκε στα ανώτερα και στις ανώτατες ζώνες κινδύνου. Πιο συγκεκριμένα, αξιόπιστα στοιχεία για την επιβεβαίωση των πλημμυρισμένων περιοχών μπορούν να αποτελέσουν ήδη χαρτογραφημένες πλημμυρισμένες περιοχές στο παρελθόν, ιστορικά καταγεγραμμένα πλημμυρικά φαινόμενα στην υπό μελέτη περιοχή, δορυφορικές εικόνες και αεροφωτογραφίες υψηλής χωρικής ανάλυσης. Συμπερασματικά, η ολοκληρωμένη αξιολόγηση και η εμπειριστατωμένη ακρίβεια της πλημμυρικής επικινδυνότητας όταν επικυρωθεί μπορεί να αποτελέσει την καλύτερη

δυνατή μέθοδο για την εκτίμηση της.

#### *3.4 Ανάλυση Ευαισθησίας.*

Μετά την επικύρωση των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας των δύο μεθοδολογιών ακολούθηθηκε η ανάλυση ευαισθησίας για την καταλληλότερη μέθοδο. Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί μια μέθοδο με την οποία συμπεραίνουμε ποιές από τις παραμέτρους της πολυκριτηριακής ανάλυσης ασκούν μικρότερη ή μεγαλύτερη επιρροή στα τελικά αποτελέσματα. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους, είτε μεταβάλλοντας την τιμή μιας και μόνο παραμέτρου διατηρώντας όλες τις άλλες σταθερές ώστε να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα είτε μεταβάλλοντας ταυτόχρονα πολλές παραμέτρους. Συγκεκριμένα, στη παρούσα εργασία εξετάστηκαν τρεις διαφορετικοί δείκτες έντασης βροχοπτώσεων (MFI) για διαφορετικές χρονικές περιόδους, ενσωματώνοντας σταθερά τους άλλους σταθμισμένους συντελεστές. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση ευαισθησίας και για τις χρήσεις γης δύο διαφορετικών περιόδων για τις τρεις περιόδους του δείκτη Mfi.



## **4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

#### 4.1 Περιοχή μελέτης

Η υπό μελέτη περιοχή υπάγεται διοικητικά στις περιφέρειες Κεντρικής Μακεδονίας και Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Η Βόρεια Ελλάδα (Εικόνα 1) χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο ως ορεινή, ενώ τα υψηλότερα όρη που συναντώνται σε αυτή είναι συνήθως απολήξεις μεγάλων ορεινών όγκων εκτός των ελληνικών συνόρων. Από τα πιο σημαντικά όρη της ευρύτερης περιοχής μελέτης είναι η Ανατολική Ροδόπη (υψόμετρο 1.510 m), η Δυτική Ροδόπη (υψόμετρο 1.814 m), το Φαλακρό όρος (υψόμετρο 2.230 m), τα όρη Λεκάνης (υψόμετρο 1.298 m), το όρος Ορβήλος (υψόμετρο 2.212 m), το όρος Βροντούς (υψόμετρο 1.849 m), το όρος Μενοίκιο (υψόμετρο 1.963 m), το όρος Κερκίνη (υψόμετρο 2.031 m) και το όρος Βερτίσκος (υψόμετρο 1.103 m).

Παράλληλα, στην βόρεια Ελλάδα ανάμεσα στις μεγάλες οροσειρές εντοπίζονται πολλές και εύφορες πεδιάδες κατά μήκος των σημαντικότερων ποταμών της. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι οι πεδιάδες της Δράμας, της Χρυσούπολης στην περιοχή του ποταμού Νέστου, του Στρυμόνα και του Κιλκίς στην περιοχή των ποταμών Γαλλικός και Αξιός. Από τους μεγαλύτερους ποταμούς της βόρειας Ελλάδας οι σημαντικότεροι είναι ο Νέστος (μήκος 143 km εντός ελληνικού εδάφους), ο Στρυμόνας (μήκος 104 km εντός ελληνικού εδάφους), ο παραπόταμος του Στρυμόνας Αγγίτης και ο Γαλλικός ποταμός (μήκος 73 km).

Πολλές τέλος είναι οι λίμνες που συναντώνται στην Βόρεια Ελλάδα. Οι σημαντικότερες από αυτές στην ευρύτερη περιοχή μελέτης είναι η λίμνη Κερκίνης, που σχηματίζεται στο ρου του Στρυμόνα, και η Βιστωνίδα.

Αναφορικά με το μορφολογικό ανάγλυφο των υπό μελέτη λεκανών απορροής, η ταξινόμησή του μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση το σύστημα του Dikau (1989). Σύμφωνα με αυτό, μία περιοχή διαχωρίζεται στα παρακάτω τμήματα με βάση το υψόμετρο:

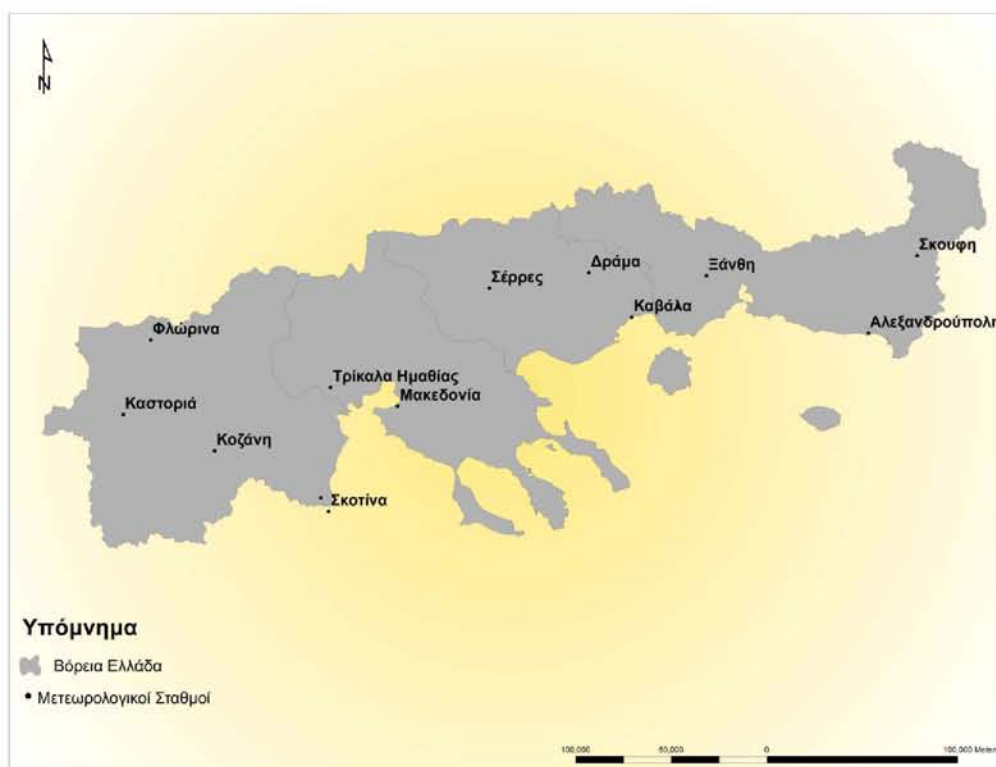
- < 150 m: πεδινές περιοχές
- 150 - 600 m: λοφώδεις περιοχές.
- 600 - 900 m: ημιορεινές περιοχές, με βουνά και ψηλούς λόφους.
- > 900 m: ορεινές περιοχές.

Ο Έβρος γνωστός και ως Μαρίτσα, είναι ο δεύτερος σε μέγεθος ποταμός της Ανατολικής Ευρώπης και χαρακτηρίζεται για τις φερτές ύλες που μεταφέρει και αποθέτει ανάμεσα στην Αλεξανδρούπολη και στην Αίνο. Το συνολικό μήκος του

ποταμού είναι 528 km, από τα οποία τα 310 km ανήκουν στην Βουλγαρία, ενώ 218 km καθορίζουν τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και την Τουρκία. Η συνολική λεκάνη απορροής του ποταμού έχει επιφάνεια 53.000 km<sup>2</sup> και συχνά παρουσιάζει σημαντικές πλημμύρες που επηρεάζουν κυρίως το μέσο και κάτω ρου του ποταμού.

#### 4.2 Δεδομένα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων και συγκεκριμένα βροχοπτώσεων (ύψος νετού, χρονολογία) από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για κάθε μετεωρολογικό σταθμό της Βόρειας Ελλάδας, από την χρονική περίοδο 1970-2004. (Πίνακας 3 - Εικόνα 1). Τα εν λόγω δεδομένα επεξεργάστηκαν κατάλληλα εφόσον αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες για την εφαρμογή των δύο μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης της επικινδυνότητας πλημμύρας



Εικόνα 1: Περιοχή μελέτης και μετεωρολογικοί σταθμοί

Πίνακας 3: Μετεωρολογικοί σταθμοί Βόρειας Ελλάδας

ΣΤΑΘΜΟΣ	x	y	MFI 1970-2004
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	658605.5333	4523526.738	73.85
ΔΡΑΜΑ	512437.1226	4555133.82	64.75
ΚΑΒΑΛΑ	534924.6566	4531925.033	43.64
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	268649.425	4480855.485	76.94
ΚΟΖΑΝΗ	316372.5744	4461838.008	57.25
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	412312.4336	4485331.336	58.97
ΞΑΝΘΗ	573991.1707	4553648.71	179.38
ΣΕΡΡΕΣ	460309.7342	4547064.107	57.61
ΣΚΟΤΙΝΑ	376102.8313	4430142.354	83.17
ΣΟΥΦΛΙ	684292.7679	4564117.213	99.2
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΕΙΑΣ	377166.077	4495078.972	79.33
ΦΛΩΡΙΝΑ	282901.9304	4519978.19	77.96
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	558736.979	4536856.957	66.45

Όσον αφορά την πρώτη μεθοδολογία, τα δεδομένα εισόδου αποτέλεσαν η γεωλογία, οι χρήσεις γης και το DEM (Digital Elevation Model) της Βόρειας Ελλάδας τα οποία αποκτήθηκαν από το Ινστιτούτο Θαλάσσιων Βιολογικών Πόρων και Εσωτερικών Υδάτων του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

Για την δημιουργία των θεματικών χαρτών που συνδυαζόμενοι αποτέλεσαν τον χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arc GIS Desktop 10.1. Μέσω του εργαλείου αυτού δημιουργήθηκαν οι παράγοντες της κλίσης και της συσσώρευσης ροής και για την δεύτερη μεθοδολογία η πυκνότητα του Δικτύου Αποστράγγισης και της Διερχόμενης Πλημμύρας. Τέλος, ο Δείκτης Κάλυψης Βλάστησης αποδόθηκε με την χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalised Difference Vegetation Index).

#### 4.3 Πρώτη Μεθοδολογία

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας στη Βόρεια Ελλάδα πραγματοποιήθηκε με βάση τη μεθοδολογία των Kourgialas&Karatzas (2011). Ακολουθώντας την προαναφερθείσα μεθοδολογία και τον πίνακα 7, οι θεματικοί χάρτες των έξι βασικών παραγόντων (συσσώρευση ροής, κλίση, βροχόπτωση, γεωλογία, χρήσεις γης, υψόμετρο) μετασχηματίστηκαν και μετατράπηκαν σε χάρτες raster μορφής.

Ο χάρτης συσσώρευσης ροής, παράχθηκε χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο flow-direction σε συνδυασμό με το εργαλείο flow accumulation του πακέτου ArcHydro. Αυτός ο χάρτης είναι πολύ σημαντικός, δεδομένου ότι προσδιορίζει τις περιοχές όπου

εμφανίζεται η συγκέντρωση του νερού.

Ο *χάρτης της κλίσης* δημιουργήθηκε με την χρήση του ψηφιακού μοντελού εδάφους (DEM) και το αντίστοιχο εργαλείο του ArcGis 10.1 (Spatial Analyst Tools).

Οι *χρήσεις γης* μετασχηματίστηκαν σε μορφή raster για δύο χρονικές περιόδους. Για την χρονική περίοδο 2000, χρησιμοποιήθηκε το σύστημα Corine Land Cover 2000 ενώ για την χρονική περίοδο 2009 παρήχθησαν από την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων Ιουνίου και Ιουλίου 2009 Landsat 5 της υπό μελέτη περιοχής μέσω του λογισμικού πακέτου ENVI 4.7. Οι δορυφορικές εικόνες υποβλήθηκαν σε επεξεργασία ραδιομετρικής και ατμοσφαιρικής διόρθωσης πριν την περαιτέρω τους χρήση. Οι παραγόμενοι χάρτες επιβεβαιώθηκαν μέσω της σύγκρισης τους με αεροφωτογραφίες και το σύστημα Corine Land Cover 2000.

Για τον προσδιορισμό της έντασης της βροχής, συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Βόρειας Ελλάδας για την χρονική περίοδο 1970-2004. Η *βροχόπτωση* υπολογίστηκε από τον δείκτη Mfi για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (1970-2004, 1985-1995 και 1994-2004). Οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να φανεί η επίδραση των αλλαγών στην βροχόπτωση πάνω στην πλημμυρική επικινδυνότητα. Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τους δείκτες για μετεωρολογικό σταθμό της Βόρειας Ελλάδας.

Πίνακας 4: Δείκτες MFI για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Βόρειας Ελλάδας

ΣΤΑΘΜΟΣ	MFI 1970-2004	MFI 1985-1995	MFI 1994-2004
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	73.85	70.49	75.04
ΔΡΑΜΑ	64.75	63.47	63.4
ΚΑΒΑΛΑ	43.64	60.66	25.82
ΚΑΣΤΟΡΙΑ	76.94	91.99	68.69
ΚΟΖΑΝΗ	57.25	57.23	50.35
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	58.97	58.31	59.05
ΞΑΝΘΗ	179.38	136.93	102.37
ΣΕΡΡΕΣ	57.61	56.14	63.01
ΣΚΟΤΙΝΑ	83.17	42.45	125.32
ΣΟΥΦΛΙ	99.2	95.38	95.09
ΤΡΙΚΑΛΑ ΗΜΑΘΕΙΑΣ	79.33	71.69	86.49
ΦΛΩΡΙΝΑ	77.96	78.51	86.54
ΧΡΥΣΟΥΠΟΛΗ	66.45	54.27	71.89



Οι παράγοντες της γεωλογίας και του υψομέτρου αποκτήθηκαν από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε και δεν υποβλήθηκαν σε καμμία περαιτέρω επεξεργασία.

Στον κάθε χάρτη αποτυπώθηκε κάθε παράγοντας πλημμύρας με ένα δεδομένο συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με την συνεισφορά του στην επικινδυνότητα της πλημμύρας (πίνακας 5). Έτσι για κάθε αριθμητικό παράγοντα (συσσώρευση ροής, κλίση, ένταση βροχόπτωσης, υψόμετρο) δημιουργήθηκαν οι εξής 4 διαφορετικές κλάσεις κινδύνου με βάση μέθοδο Jenk's Natural Breaks: υψηλή, μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή.

Στην περίπτωση των μη-αριθμητικών παραγόντων (γεωλογία, χρήσεις γης), η ταξινόμηση εξαρτήθηκε κυρίως από την επίδραση του παράγοντα στην διαδικασία της πλημμύρας. Για παράδειγμα, για τον παράγοντα γεωλογία, ένας καρστικός σχηματισμός δείχνει ένα πολύ χαμηλό κίνδυνο πλημμύρας. Στην περίπτωση του παράγοντα των χρήσεων γης, η περιορισμένη κάλυψη γης υποδηλώνει πολύ υψηλό κίνδυνο πλημμύρας.

Χατζηδάκη Αναστασία – Εφαρμογή & Αποτελέσματα

a / a	Παράγοντες	Κλάσεις	Επικινδυνότητα Πλημμύρας	Βάρος Παράγοντα (w)	Ποσοστό (x)	(w*x)	Συνολικό βάρος	Συνολικό ποσοστό βάρους (%)
1	Συσσώρευση Ροής	4,644,140-2,333,539	Πολύ Υψηλή	10	2	20	52	14.6%
		668,033 - 1,198,798	Υψηλή	8		16		
		356,894 - 668,033	Μέτρια	5		10		
		100,662 - 356,894	Χαμηλή	2		4		
		0 - 100,662	Πολύ Χαμηλή	1		2		
2	Κλίση	0 - 3.0	Πολύ Υψηλή	10	1.5	15	39	11.0%
		3.0 - 7.6	Υψηλή	8		12		
		7.6 - 13.6	Μέτρια	5		7.5		
		13.6 - 21.2	Χαμηλή	2		3		
		21.2 - 78	Πολύ Χαμηλή	1		1.5		
3	ΧρήσειςΓης	Θαλάσσιες Ζώνες	Πολύ Υψηλή	10	4.5	45	117	32.9%
		Βοσκοτόπια-Θάμνοι	Υψηλή	8		36		
		Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις	Μέτρια	5		22.5		
		ΆλλεςΓεωργικές Εκτάσεις	Χαμηλή	2		9		
		Μικτές Δασικές Εκτάσεις	Πολύ Χαμηλή	1		4.5		
4	Ένταση Βροχόπτωσης (MFI)	179 - 98.9	Πολύ Υψηλή	10	1.5	15	39	11.0%
		66.2 - 75.3	Υψηλή	8		12		
		58.9 - 66.2	Μέτρια	5		7.5		
		52.8 - 58.9	Χαμηλή	2		3		
		46.1 - 52.8	Πολύ Χαμηλή	1		1.5		
5	Γεωλογία	Τεταρτογενή Ιζήματα	Πολύ Υψηλή-Υψηλή	9	2	18	31	8.7%
		Νεογενή Ιζήματα	Μέτρια	5		10		
		Βραχώδεις Σηματομοί	Χαμηλή-Πολύ Χαμηλή	1.5		3		
6	Υψόμετρο(m)	0 - 261.7	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	21.9%
		261.7 - 557.4	Υψηλή	8		24		
		557.4 - 944.2	Μέτρια	5		15		
		944.2 - 1,399.3	Χαμηλή	2		6		
		1,399.3 - 2880	Πολύ Χαμηλή	1		3		
<b>Σύνολο</b>							356	100.0%

Πίνακας 5: Βαθμολογηση και βάρος αξιολόγησης των παραγόντων που επηρεάζουν τις περιοχές με κίνδυνο πλημμύρας

#### 4.4 Δεύτερη Μεθοδολογία

Η δεύτερη προσπάθεια προσέγγισης της εκτίμησης της επικινδυνότητας του πλημμυρικού φαινομένου στη Βόρεια Ελλάδα πραγματοποιήθηκε με βάση τη μεθοδολογία των Wang Y. et al (2011). Μετά την επιλογή των δεικτών και την τυποποίησή τους, η επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο ArcGIS 10.1.

Για τον δείκτη τοπογραφίας, τα ψηφιακά δεδομένα υψομέτρου χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης του υψομέτρου σε πλέγματα 5\*5 χρησιμοποιώντας την εξίσωση στατιστικής Neighborhood Statistics στα Spatial Analyst Tools στο πρόγραμμα ArcGIS 10.1.

Ο υπολογισμός της βλάστησης στην υπό μελέτη περιοχή αποδόθηκε με την χρήση του κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης NDVI (Normalised Difference Vegetation Index), ο οποίος υπολογίστηκε με την βοήθεια δορυφορικών εικόνων μέσω της εφαρμογής του αντίστοιχου αλγορίθμου του πακέτου ENVI 4.7. Ο δείκτης αποστράγγισης υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την συνάρτηση Line Density (Silverman, 1986) στα Spatial Analyst Tools του λογισμικού πακέτου ArcGIS 10.1. Στους σύνθετους ρυθμιστές και το επίπεδο πυκνότητας αποστράγγισης ανατέθηκαν βάρη 0.681 και 0.319, αντίστοιχα, που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο FAHP, και στη συνέχεια επικαλύφθηκαν.

Ο δείκτης διερχόμενης πλημμύρας είναι η απόσταση της πλημμυρισμένης περιοχής από τα ποτάμια της Βόρειας Ελλάδας και υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την συνάρτηση Distance (Straight Line) στα Spatial Analyst Tools με το ArcGIS 10.1.

Για την ετήσια μέση μέγιστη βροχόπτωση στις 72h και τη μέση ετήσια συχνότητα καταιγίδας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος χωρικής παρεμβολής spline (Toraichi et al., 1988). Επιπλέον, ο παράγοντας της ετήσιας μέσης μέγιστης βροχόπτωσης στις 72h και ο παράγοντας της συχνότητας καταιγίδας σταθμίστηκαν ως 0.688 και 0.312, αντίστοιχα (πίνακας 6).

Ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας προέκυψε με την αλγεβρική πρόσθεση όλων των παραπάνω σταθμισμένων δεικτών. Ένας συντελεστής βαρύτητας αποτυπώθηκε σε κάθε δείκτη ανάλογα με την συνεισφορά του στην επικινδυνότητα της πλημμύρας. Τα βάρη του κάθε δείκτη κυμάνθηκαν από 0.277 έως 0.687 (πίνακας 5). Όσο πιο κοντά είναι αυτοί οι αριθμοί στο 1, τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα πλημμύρας εντοπίστηκε.

Επιπροσθέτως, ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας ήταν απαραίτητο να διαιρέθει σε διαφορετικές κατηγορίες. Σε αυτή τη μελέτη, πέντε κατηγορίες κινδύνου πλημμύρας παρουσιάστηκαν με τη χρήση της μεθόδου της τυπικής αποκλίσεως, πολύ χαμηλή, χαμηλή, μεσαία, υψηλή και πολύ υψηλή.

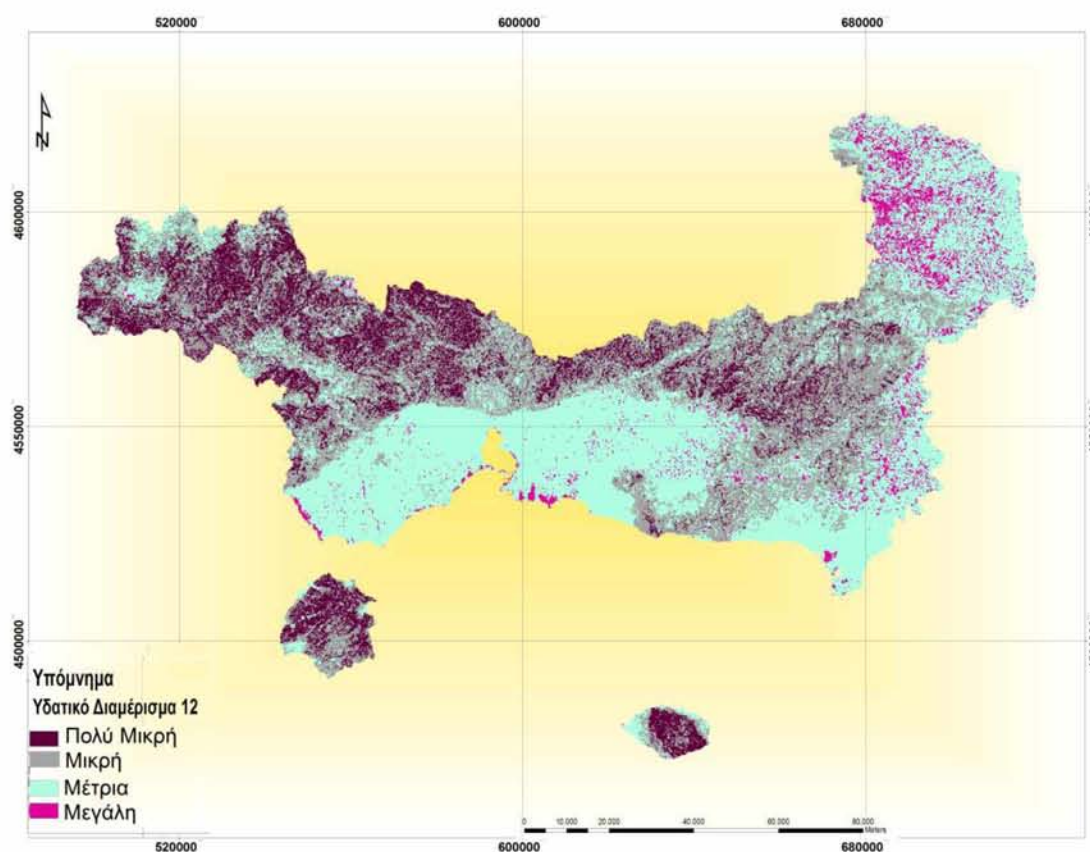
Πίνακας 6: Δείκτες επικινδυνότητας και οι συντελεστές βαρύτητας τους

Δείκτες επικινδυνότητας	Υποθετικοί	Πρόκλησης
Τοπογραφία	0.244	
Βλάστηση	0.129	
Δίκτυο	0.269	
Διερχομενη Πλημμύρα	0.237	
Βροχόπτωση σε 72 ώρες		0.688
Συχνότητα Βροχόπτωσης		0.312

#### 4.5 Αποτελέσματα

##### 4.5.1 Πρώτη Μεθοδολογία

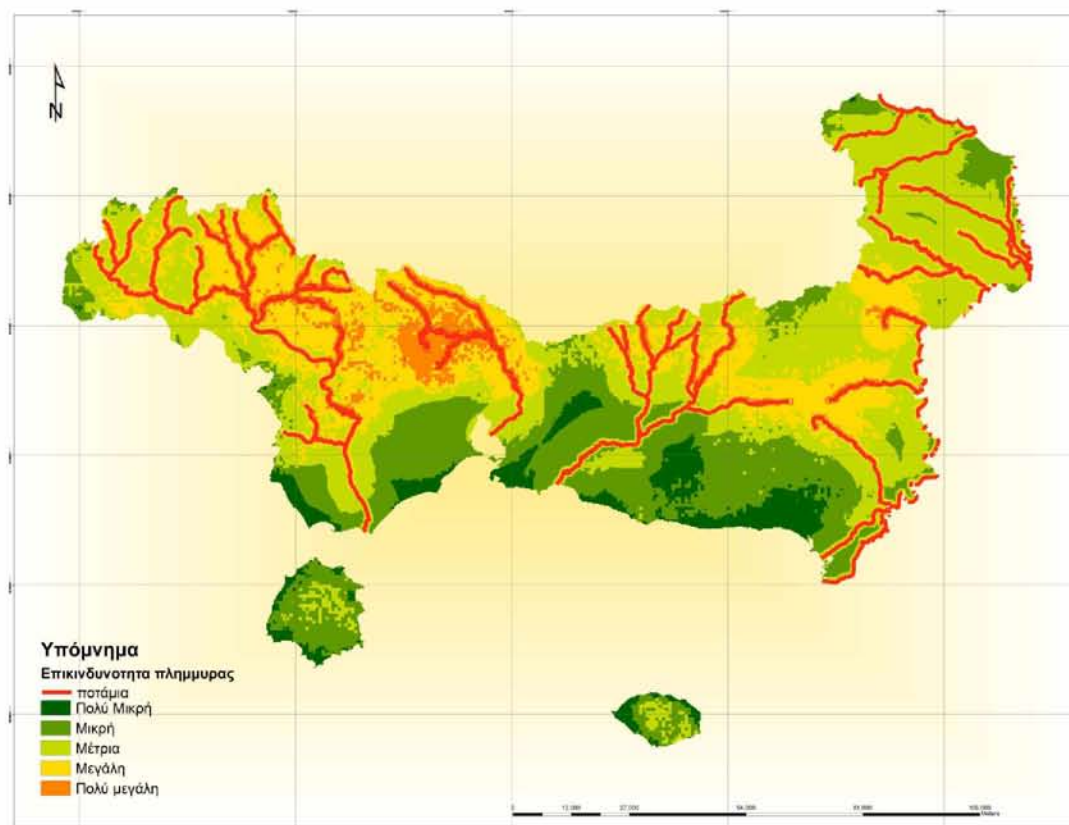
Στον παρακάτω χάρτη (Εικόνα 2) παρουσιάζεται η επικινδυνότητα της πλημμύρας η οποία είναι μέτρια στις περιοχές με χαμηλό υψόμετρο εδάφους και κλίση. Στα βορειανατολικά του διαμερίσματος 12 αυξάνεται ο κίνδυνος του φαινομένου ειδικά πλησίον υδάτινων σωμάτων και οικισμών. Επιπροσθέτως, μείωση του κινδύνου σημειώνεται στα νότια, δυτικά και βορειοδυτικά της περιοχής λόγω μεγάλου υψομέτρου και κλίσεων που δεν επιτρέπουν την εκδήλωση πλημμύρας. Επίσης, η φυσική βλάστηση που υπάρχει στα ορεινά κομμάτια προστατεύει την περιοχή από εκδήλωση πλημμύρας.



Εικόνα 2: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 με corine 2009

#### 4.5.2 Δεύτερη Μεθοδολογία

Στην δεύτερη μεθοδολογία, χρησιμοποιήθηκαν οι πέντε παράγοντες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη.

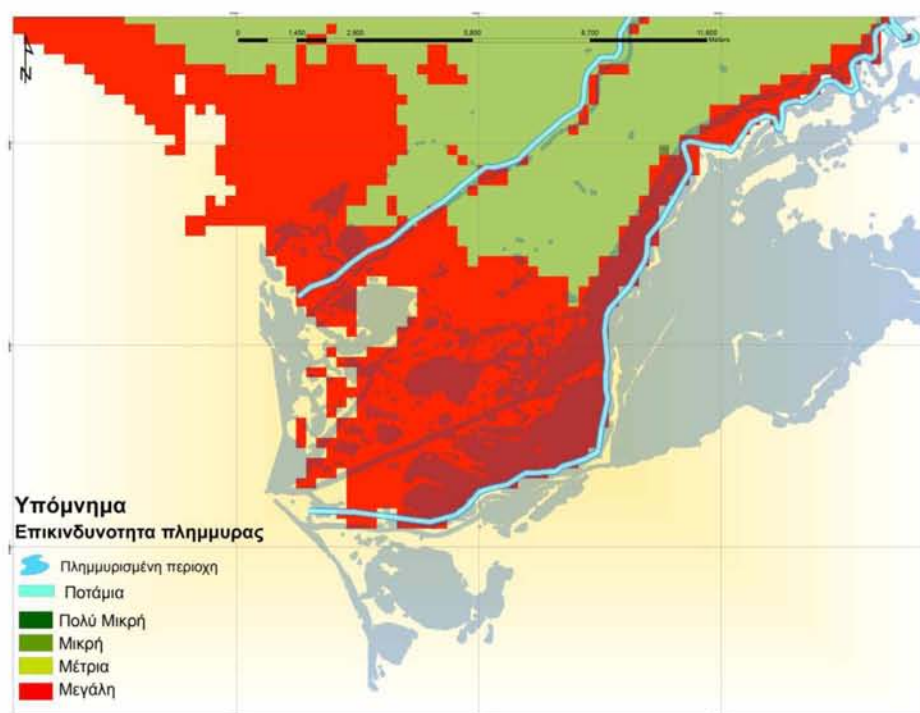


Εικόνα 3: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας δεύτερης μεθοδολογίας.

Σύμφωνα με τον παραπάνω χάρτη (Εικόνα 3), παρατηρείται υψηλή επικινδυνότητα στα βόρεια του υδατικού διαμερίσματος ενώ χαμηλή και πολύ χαμηλη επικινδυνότητα εντοπίζεται στο νότιο τμήμα της περιοχής. Συγκρίνοντας τις δύο μεθοδολογίες μεταξύ τους παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Ο βαθμός κινδύνου στον χάρτη με δείκτη Mfi 1970-2004 και corine 2009 (Εικόνα 2) παρουσιάζεται υψηλός στα νοτιοανατολικά και βορειοανατολικά της υπό μελέτη περιοχής σε αντίθεση με τον βαθμό κινδύνου της δεύτερης μεθοδολογίας (Εικόνα 3), που σημειώνεται μικρός στά ίδια τμήματα του υδατικού διαμερίσματος 12. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα που προέκυψε, θα ακολουθήσει η επικύρωση των δύο μεθοδολογιών και η επιλογή της καταλληλότερης για την διεξαγωγή της χαρτογράφησης επικινδυνότητας της πλημμύρας.

#### 4.6 Επικύρωση Μεθοδολογίας.

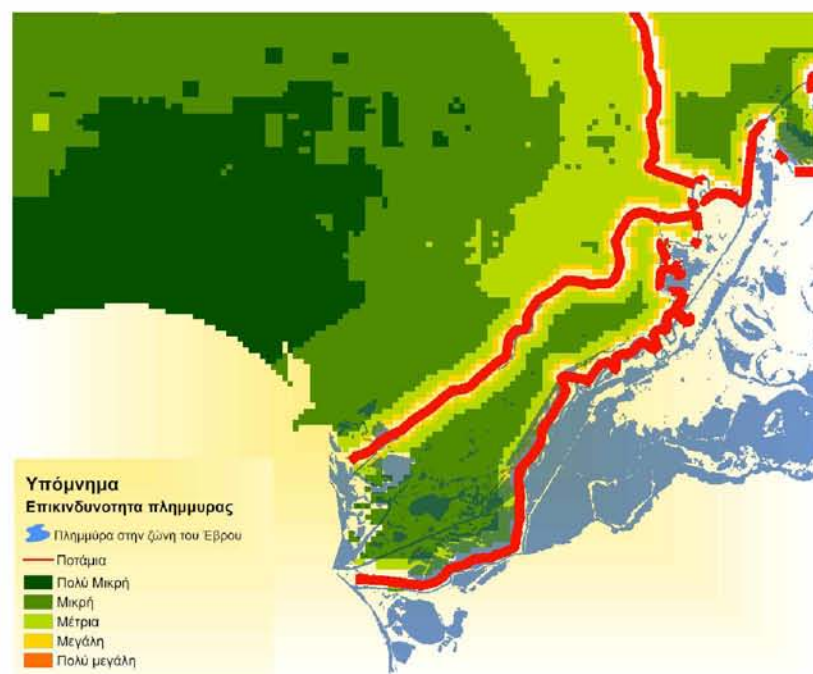
Για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δύο μεθόδων πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αντίστοιχων χαρτών επικινδυνότητας της πλημμύρας με τις πλημμυρισμένες εκτάσεις που παρατηρήθηκαν στο γεγονός του 2003 όπως προέκυψαν από την επεξεργασία μίας δορυφορικής εικόνας Landsat 5 της ημερομηνίας 03/03/2003 χωρίς νεφοκάλυψη και θυελλώδεις συνθήκες. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση της εικόνας σε δύο κλάσεις, νερό και γη. Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι η παραγωγή του χάρτη των πλημμυρισμένων περιοχών στην παρόχθια ζώνη του Έβρου ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε για να επικυρώσει τα αποτελέσματα των δύο μεθοδολογιών του κινδύνου πλημμύρας στην εν λόγω περιοχή.



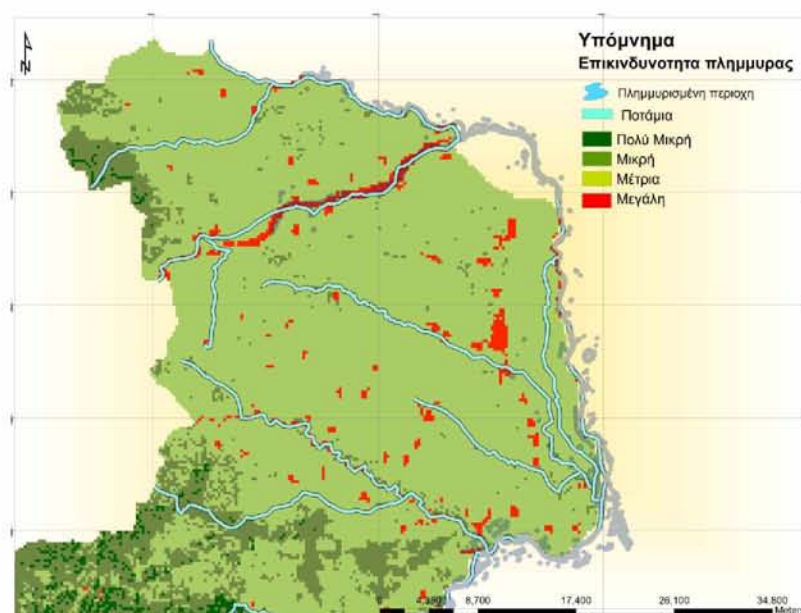
Εικόνα 4: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της νοτιοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 1.

Στον χάρτη του νοτιοανατολικού τμήματος του Έβρου (πλησίον εκβολών) της πρώτης μεθοδολογίας ( Εικόνα 4) παρατηρούνται περιοχές με υψηλή επικινδυνότητα της πλημμύρας σε αντίθεση με τον χάρτη της νοτιοανατολικής περιοχής του Έβρου της δεύτερης μεθόδου (Εικόνα 5), όπου ο κίνδυνος σημειώνεται σχετικά μικρός. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στην βορειοανατολική πλευρά της περιοχής ιδιαίτερα στον χάρτη κατά την πρώτη μεθοδολογία, (Εικόνα 6) όπου η επικινδυνότητα

σημειώνεται μεγάλη σε κοντινή απόσταση από τον ποταμό Έβρο ενώ στον αντίστοιχο χάρτη της 2<sup>ης</sup> μεθοδολογίας η επικινδυνότητα είναι αισθητά χαμηλότερη στην ίδια περιοχή (Εικόνα 7).



Εικόνα 5: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της νοτιοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 2.



Εικόνα 6: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της βορειοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 1.





Εικόνα 7: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας και οι πλημμυρισμένες περιοχές της βόρειοανατολικής περιοχής Έβρου-μεθοδολογία 2.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χαρτών επικύρωσης της πρώτης (Εικόνα 4,Εικόνα 6) και της δεύτερης μεθοδολογίας (Εικόνα 5,Εικόνα 7) αλλά ιδιαίτερα του πίνακα 7 και του πίνακα 8, διαπιστώνεται ότι η καταλληλότερη μεθοδολογία για την επικινδυνότητα της πλημμύρας είναι η πρώτη, η οποία συμβαδίζει με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας (πλημμυρικές εκτάσεις).

Ο πίνακας 7 παρουσιάζει τον επιμερισμό της επικινδυνότητας της πλημμύρας για τις πλημμυρικές εκτάσεις του 2003, των οποίων το 77.57% χαρακτηρίζεται από υψηλό κίνδυνο πλημμύρας και το 22.15% εμφανίζει μέτρια επικινδυνότητα. Αντίθετα, σύμφωνα με τη δεύτερη μεθοδολογία (Πίνακας 8), μια πολύ μικρή έκταση (0.40%) χαρακτηρίζεται από υψηλή επικινδυνότητα ενώ το 71% των πλημμυρισμένων εκτάσεων του 2003 χαρακτηρίζονται σαν μικρής πλημμυρικής επικινδυνότητας, γεγονός που υποδεικνύει ότι η δεύτερη μεθοδολογία δεν εκφράζει σωστά την πραγματική επικινδυνότητα της περιοχής.

Πίνακας 7: Επικύρωση Πρώτης Μεθοδολογίας

Βαθμός κινδύνου	Έκταση (τ.μ)	Ποσοστό Επικινδυνότητας (%)
<b>low</b>	70443.55	0.28
<b>moderate</b>	5605792.63	22.15
<b>high</b>	19632799.51	77.57

Πίνακας 8: Επικύρωση Δεύτερης Μεθοδολογίας

Βαθμός κινδύνου	Έκταση (τ.μ)	Ποσοστό Επικινδυνότητας (%)
<b>low</b>	11549580.89	71.44
<b>moderate</b>	4552769.844	28.16
<b>high</b>	64183.57685	0.40

Τα λάθη (αποκλίσεις από την πραγματική πλημμυρική επικινδυνότητα) που παρατηρούνται και στην 1<sup>η</sup> μεθοδολογία μπορεί να οφείλονται σε μεγάλο αριθμό αιτιών. Κατ' αρχήν, η ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ενδέχεται να μην είναι υψηλή για όλες τις παραμέτρους (π.χ βροχή, τοπογραφία, γεωλογία, χρήσεις γης, βλάστηση, κτλ), ενώ και οι συντελεστές βαρύτητας των παραμέτρων που δημιουργήθηκαν βασίζονται σε άλλες περιβαλλοντικές και υδρογεωλογικές συνθήκες μπορεί να μην είναι οι καταλληλότεροι για τις συγκεκριμένες συνθήκες της Β. Ελλάδας.

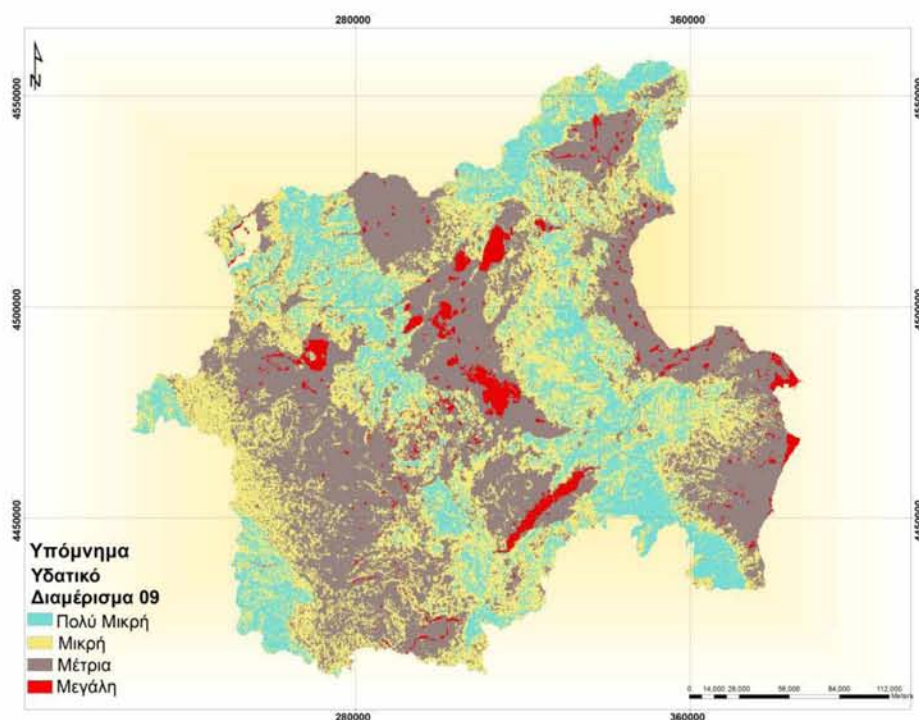
#### *4.7 Πρώτη Μεθοδολογία*

Οι έξι παράγοντες που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας και στη συνέχεια παράχθηκε ο εκάστοτε χάρτης. Η επίδραση του κάθε παράγοντα χαρτογραφείται σε τέσσερα διαφορετικά επίπεδα κινδύνου τα οποία και είναι η υψηλή, μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα.

Προκειμένου να διαπιστωθεί η επίδραση των αλλαγών χρήσεων γης στην επικινδυνότητα πλημμύρας δημιουργήθηκε αρχικά ο εν λόγω χάρτης με χρήση των χρήσεων γης από το CORINE 2000 και έπειτα ξαναδημιουργήθηκε ο ίδιος χάρτης αλλάζοντας τις χρήσεις γης με αυτές που προέκυψαν από την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας Landsat του 2009. Η ίδια πρακτική ακολουθήθηκε και με τον δείκτη MFI (ένταση βροχόπτωσης).

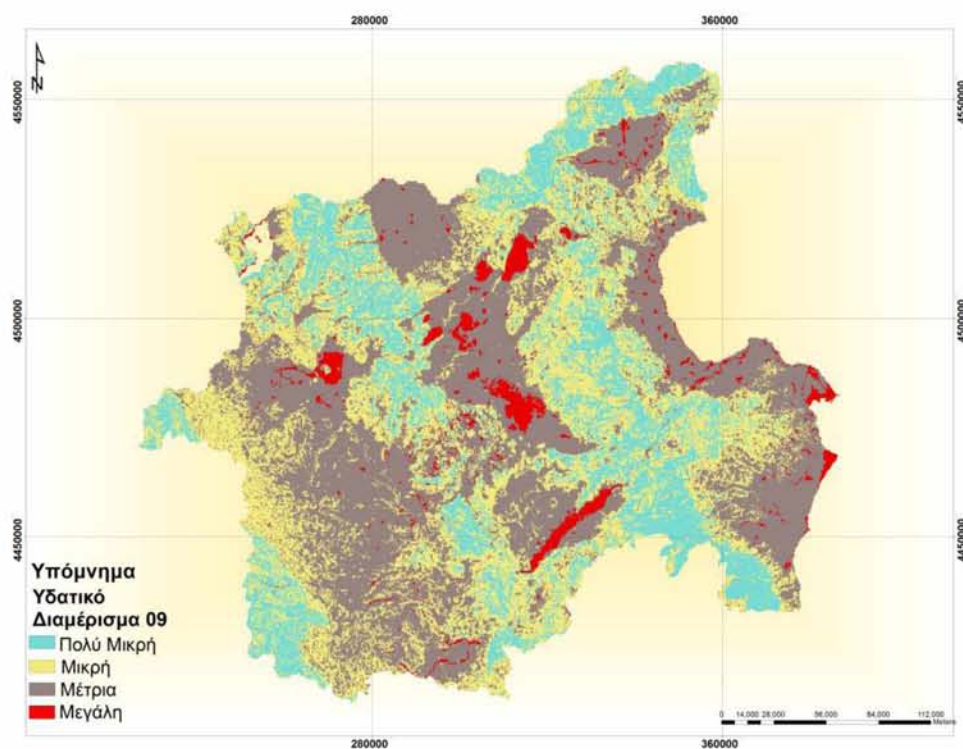
##### *4.7.1.α. Υδατικό Διαμέρισμα 09*

Στον χάρτη που ακολουθεί απεικονίζεται η επικινδυνότητα της πλημμύρας στο υδατικό διαμέρισμα 09 της Βόρειας Ελλάδας με βάση τον δείκτη MFI για την περίοδο 1970-2004.

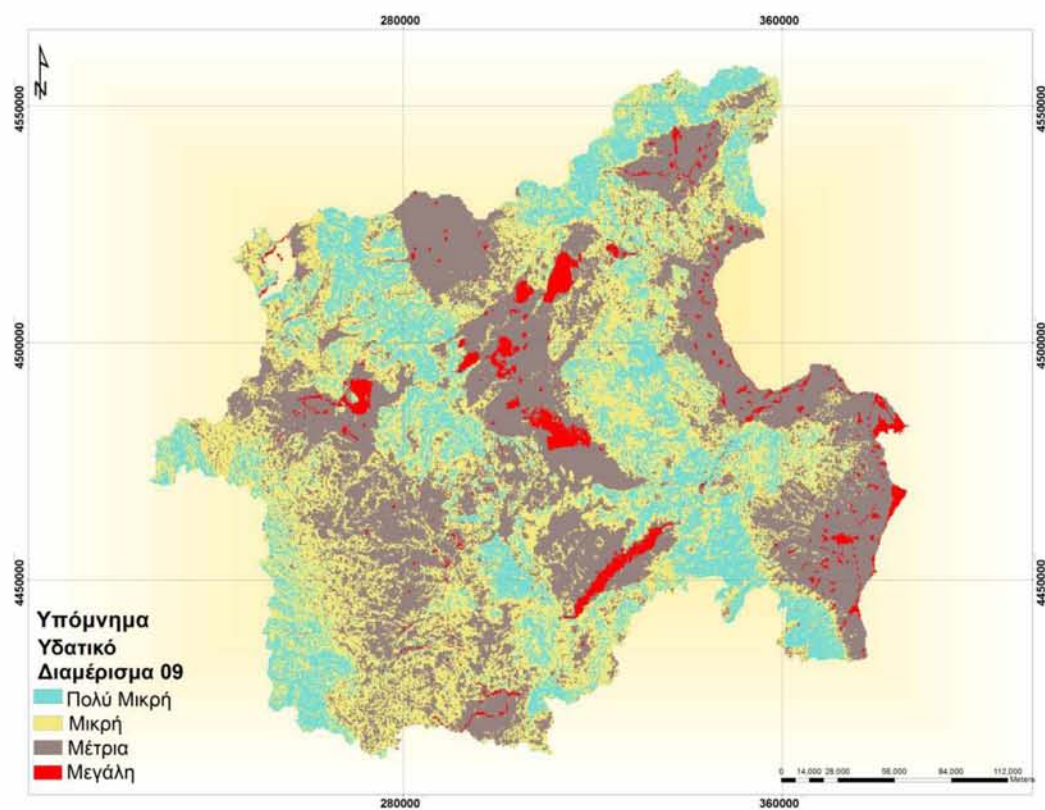


Εικόνα 8: Χάρτης Επικινδυνότητας Πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004

Στον παραπάνω χάρτη (Εικόνα 8) παρατηρείται υψηλή και μέτρια επικινδυνότητα πλημμύρας στο κεντρικό και στο ανατολικό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος. Στα νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά τμήματα του διαμερίσματος παρουσιάζεται μικρή και πολύ μικρή επικινδυνότητα. Με βάση τα αποτελέσματα, οι περιοχές που βρίσκονται στην ημιορεινή και πεδινή ζώνη, κοντά σε υδάτινα σώματα (λίμνες και ποτάμια) καθώς και οικισμοί παρουσιάζουν την υψηλότερη πλημμυρική επικινδυνότητα. Το ορεινά τμήματα των λεκανών απορροής με την ομοιόμορφα μεγάλη κλίση παρουσιάζουν μικρή και πολύ μικρή επικινδυνότητα. Επιπρόσθετα, οι περιοχές με υψηλό κίνδυνο πλημμύρας συμπίπτουν με τις αντίστοιχες που καλύπτονται, από γεωλογικής σκοπιάς, από τεταρτογενή ιζήματα τα οποία βρίσκονται συνήθως στις πεδινές εκτάσεις. Στη συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν τον πλημμυρικό κίνδυνο με δείκτη MFI 1985-1995 και 1994-2004 για το υδατικό διαμέρισμα 09.



Εικόνα 9: Χάρτης Επικινδυνότητας Πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995



Εικόνα 10: Εικόνα της επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004

Στους παραπάνω χάρτες (Εικόνα 9) και (Εικόνα 10) παρατηρείται μικρή διαφορά στο βαθμό κινδύνου της πλημμύρας, η οποία οφείλεται αποκλειστικά στη διαφορά έντασης της βροχόπτωσης μεταξύ των δεκατιών 1985-1995 και 1994-2004. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1994-2004 (Εικόνα 10) στα ανατολικά διαπιστώνεται αύξηση του κινδύνου της πλημμύρας από μέτρια σε μεγάλη, ενώ δεν θα πρέπει να παραλειφθεί η επέκταση του φαινομένου στη νότια ζώνη, η οποία και χαρακτηρίζεται από μέτρια επικινδυνότητα ενώ στην δεκαετία 1985-1995 (Εικόνα 9) χαρακτηρίζονταν σαν μικρή.

Πίνακας 9: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση(τ.μ.) MFI 1985-1995 / Corine 2000	Έκταση(τ.μ.)MFI 1994-2004/ Corine 2000	% Μεταβολή
Υψηλή	434.312.500	418.312.500	-3.68
Μέτρια	5.517.312.500	5.177.000.000	-6.17
Χαμηλή	4.655.312.500	4.867.312.500	4.55
Πολύ χαμηλή	2.569.562.500	2.713.875.000	5.62

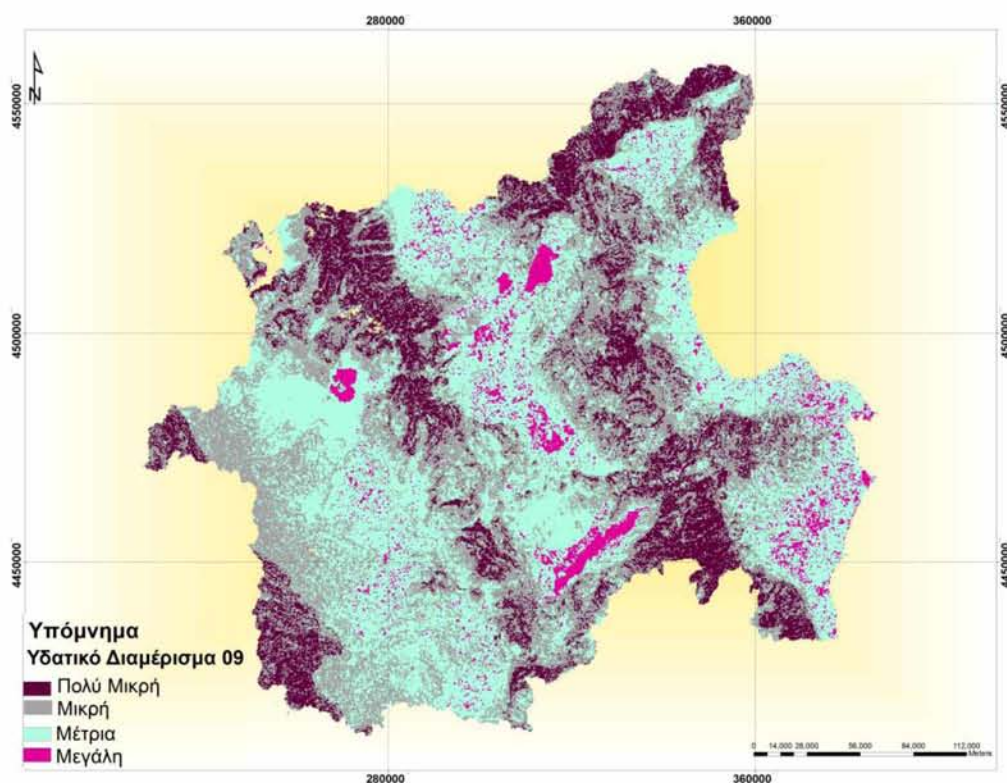
Παρόλα αυτά, οι εκτάσεις στις οποίες αυξήθηκε η επικινδυνότητα δεν είναι πολύ μεγάλες (πίνακας 9) διότι και η μεταβολή της έντασης της βροχόπτωσης από την μια δεκαετία στην άλλη δεν ξεπερνά το 5% (υψηλότερο MFI στην περίοδο 1994-2004). Συγκεκριμένα, η έκταση για τον πολύ χαμηλό και χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας μεταξύ των δύο υπό μελέτη δεκατιών αυξήθηκε κατά 5.62% και 4.55% αντίστοιχα ενώ για την μέτρια και υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζεται αρνητική μεταβολή της έκτασης με ποσοστά -6.17% και -3.68% αντίστοιχα (πίνακας 10). Οι μεταβολές αυτές (σε κάποια τμήματα του υδατικού διαμερίσματος παρατηρείται αύξηση της επικινδυνότητας ενώ σε άλλα μείωση) οφείλονται στην διαφοροποίηση της χωρικής κατανομής των μεταβολών του δείκτη MFI (σε άλλα τμήματα της περιοχής μελέτης αυξήθηκε ο δείκτης κατά την περίοδο 1985 – 2004 και σε άλλα τμήματα μειώθηκε).

Ωστόσο, στο κεντρικό τμήμα του διαμερίσματος 09 κατά την δεκαετία 1994-2004 (Εικόνα 10) παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση του κινδύνου απο μεγάλο σε μέτριο. Την ίδια δεκαετία, ελάττωση του φαινομένου παρατηρείται στα δυτικά και βορειοδυτικά της υπό μελέτη περιοχής, κάτι που οφείλεται στις υψηλότερες τιμές που παρουσίαζε ο δείκτης αυτός στους μετεωρολογικούς σταθμούς της συγκεκριμένης

περιοχής το 1985-1995 (σταθμοί Καστοριά, Τρίκαλα Ημαθίας).

#### 4.7.1.β Χρήση corine 2009

Στο συγκεκριμένο στάδιο για την δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας χρησιμοποιήθηκαν οι χρήσεις γης που προέκυψαν μέσω της επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων του έτους 2009.

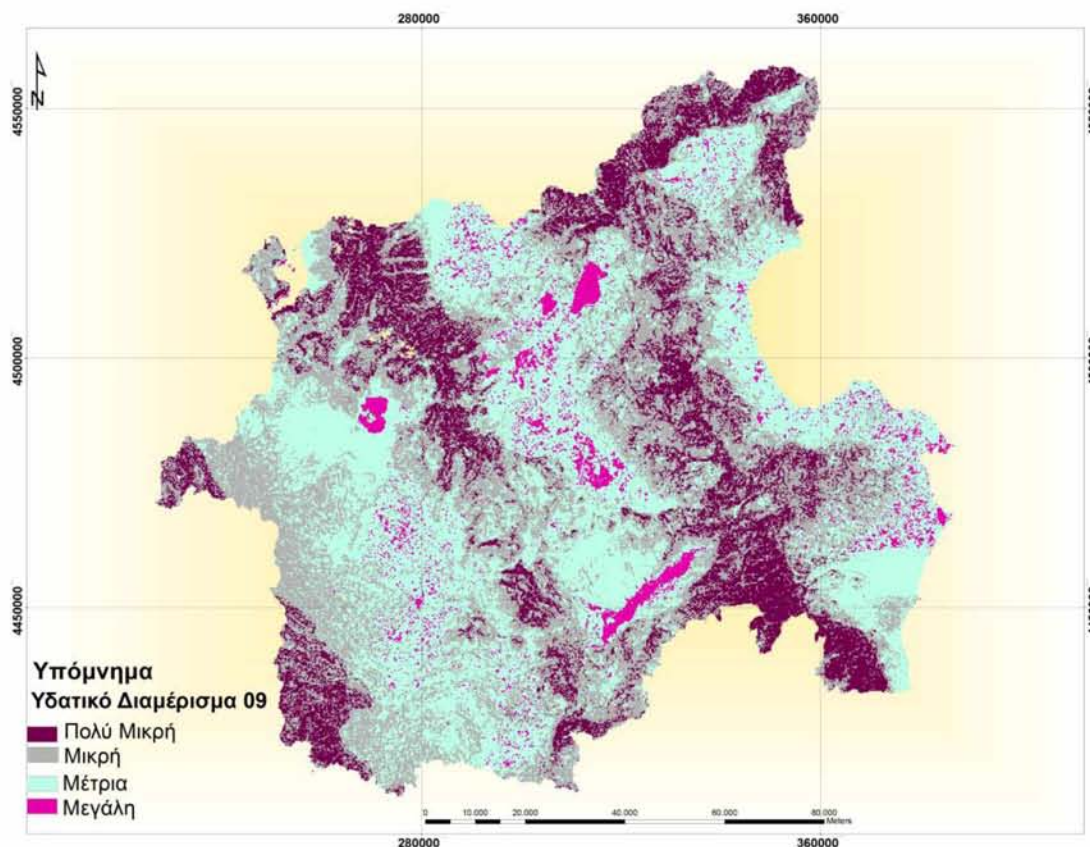


Εικόνα 11: Χάρτης Επικινδυνότητας πλημμύρας με βάση το δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 και corine 2009.

Στον παραπάνω χάρτη (Εικόνα 11) παρατηρείται μέτρια επικινδυνότητα στο νότιο, κεντρικό, και δυτικό τμήμα της περιοχής. Σε σύγκριση με τον χάρτη της Εικόνα 8, ο οποίος χρησιμοποιεί το corine του 2000, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές. Μικρή ελάττωση κινδύνου χαρτογραφείται τόσο στα νότια όσο στα δυτικά του διαμερίσματος λόγω της περιορισμένης αύξησης της καλλιεργήσιμης γης αλλά και των δασικών εκτάσεων, αντίστοιχα. Σημαντική είναι η μείωση του κινδύνου πλημμύρας στο κέντρο της υπό μελέτη περιοχής η οποία αποτελείται από ορυχεία λιγνίτη (που στον χάρτη Corine 2000 εμφανίζονται ως βοσκότοποι και θαμνώδεις εκτάσεις, Εικόνα 45, Παράτημα Ι) και που προφανώς αποκαταστάθηκαν εν μέρει

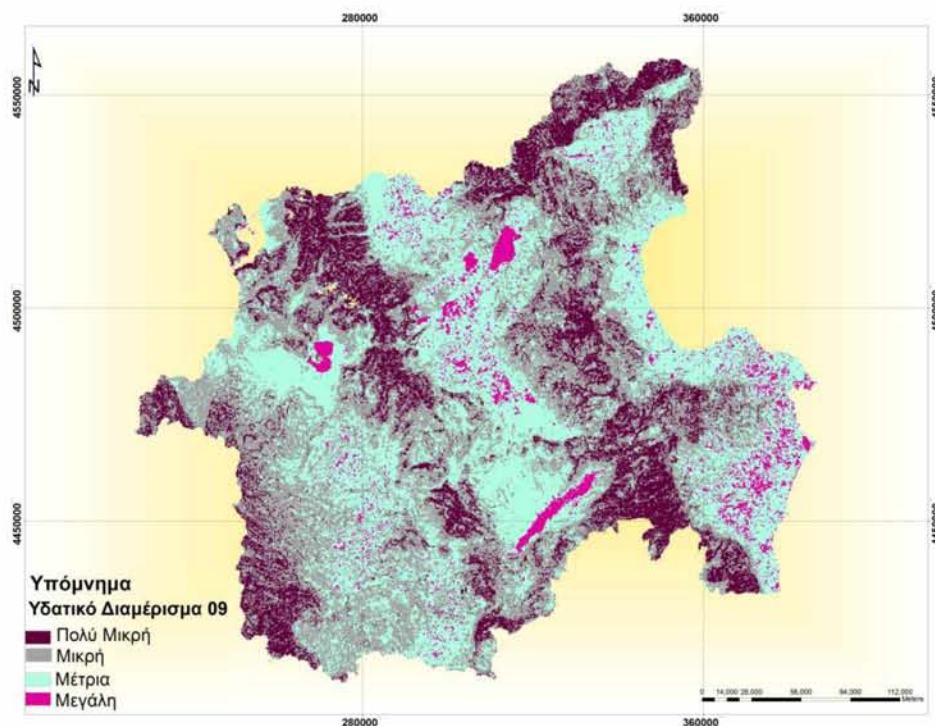
κατά την περίοδο 1985 – 2004 (Εικόνα 49 , Παράρτημα Ι) . Ωστόσο στο νότιο τμήμα του διαμερίσματος παρατηρείται αύξηση του κινδύνου, πλησίον της τεχνητής λίμνης Πολυφύτου ο οποίος ενδέχεται να οφείλεται στην ελάττωση της καλλιεργήσιμης γης.

Ακολουθεί ο σχολιασμός για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 09.



Εικόνα 12: Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 και corine 2009.





Εικόνα 13: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 και corine 2009.

Ο χάρτης της Εικόνα 12 και της Εικόνα 13 απεικονίζει την επικινδυνότητα της πλημμύρας σύμφωνα με τις χρήσεις γης του 2009 για τις δύο υπό μελέτη δεκαετίες. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των χαρτών παρατηρείται μεγάλη μείωση του κινδύνου από μεγάλο (Εικόνα 12) σε μέτριο (Εικόνα 13) πλησίον της λίμνης Πολυφύτου (νότια) καθώς και στο κεντρικό τμήμα της περιοχής (λιγνιτορυχεία), γεγονός που οφείλεται στην μείωση του δείκτη MFI στις περιοχές αυτές. Στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής υπάρχει αύξηση της επικινδυνότητας από μέτρια σε μεγάλη αφού στο τμήμα αυτό ο δείκτης MFI αυξάνεται. Συνολικά για την περιοχή του υδατικού διαμερίσματος 09 παρατηρούνται τα κάτωθι αποτελέσματα:

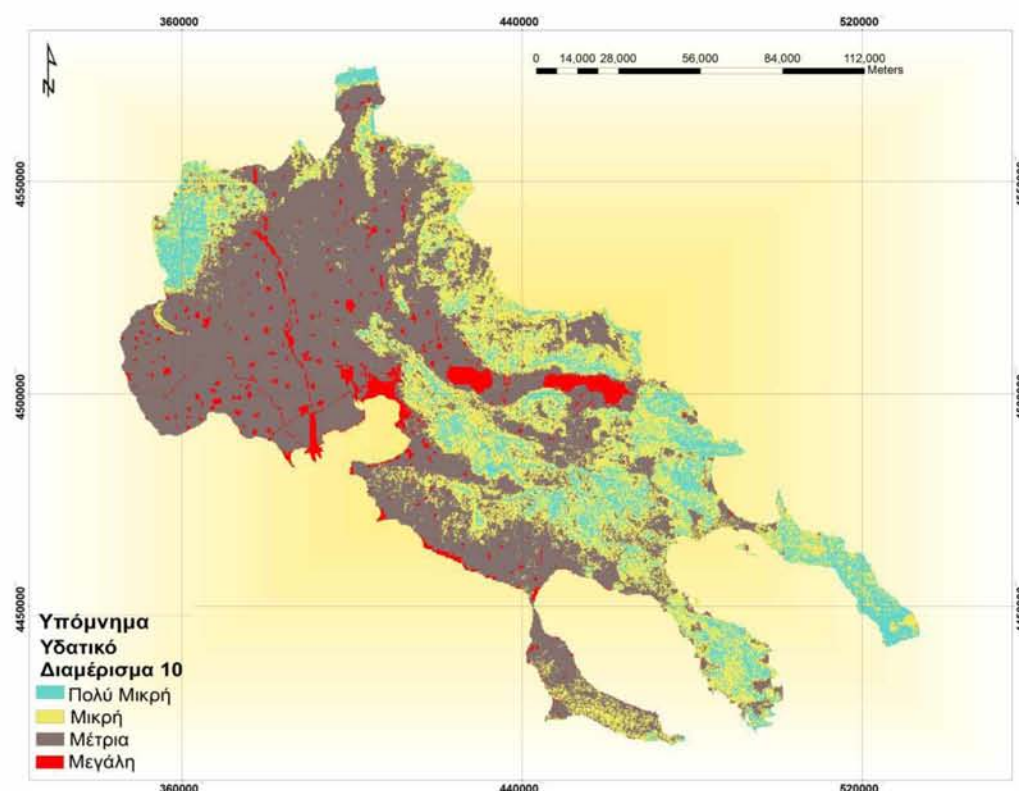
Πίνακας 10: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση (τ.μ.) MFI 1974-2004 /Corine 2000	Έκταση(τ.μ.) MFI 1974-2004/Corine 2009	% Μεταβολή
Υψηλή	454687500	677062500	48.91
Μέτρια	5721062500	5318937500	-7.03
Χαμηλή	4553125000	4868625000	6.93
Πολύ χαμηλή	2447625000	2304375000	-5.85

Σύμφωνα με τον πίνακα 10 η μεταβολή της έκτασης της επικινδυνότητας ως προς τις χρήσεις γης παρουσιάζεται θετική κατά 48.91% στον υψηλό βαθμό επικινδυνότητας και 6.93% στον χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας γεγονός που οφείλεται στην αντικατάσταση της καλλιεργήσιμης γης με θαμνώδης εκτάσεις. Ωστόσο η μέτρια και η πολύ χαμηλή επικινδυνότητα χαρακτηρίζεται από μείωση της έκτασης κατά 7.03% και 5.85% αντίστοιχα .

#### 4.7.2 Υδατικό Διαμέρισμα 10

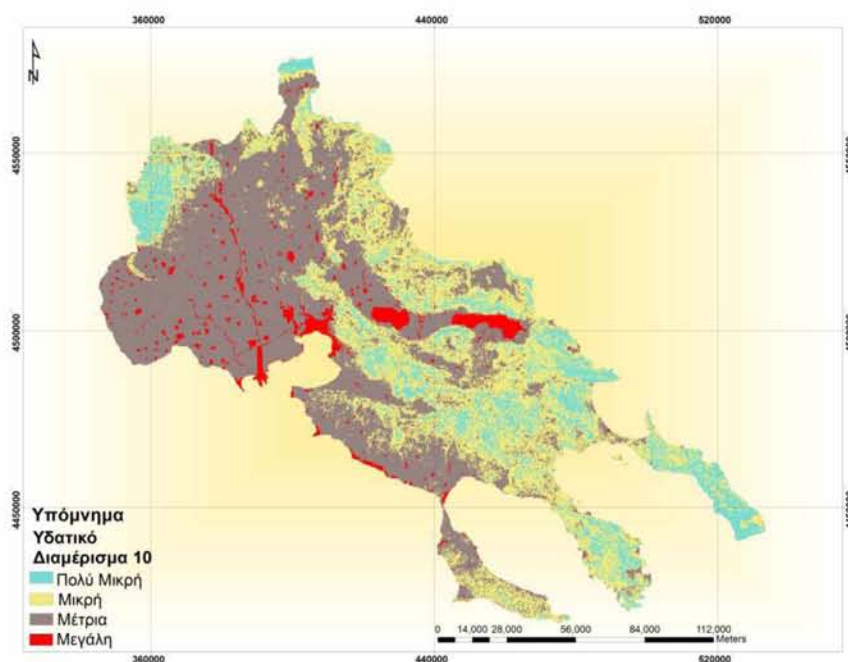
Μέτριος διακρίνεται ο πλημμυρικός κίνδυνος για το υδατικό διαμέρισμα 10, ιδιαίτερα στο δυτικό τμήμα αυτού. Επιπλέον, η δυτική παράκτια ζώνη του διαμερίσματος χαρακτηρίζεται από μεγάλο κίνδυνο στα τμήματα του που περιλαμβάνουν οικιστικές περιοχές και υδάτινα σώματα (δέλτα Αξιού, λίμνες Κορώνεια και Βόλβη, κτλ).



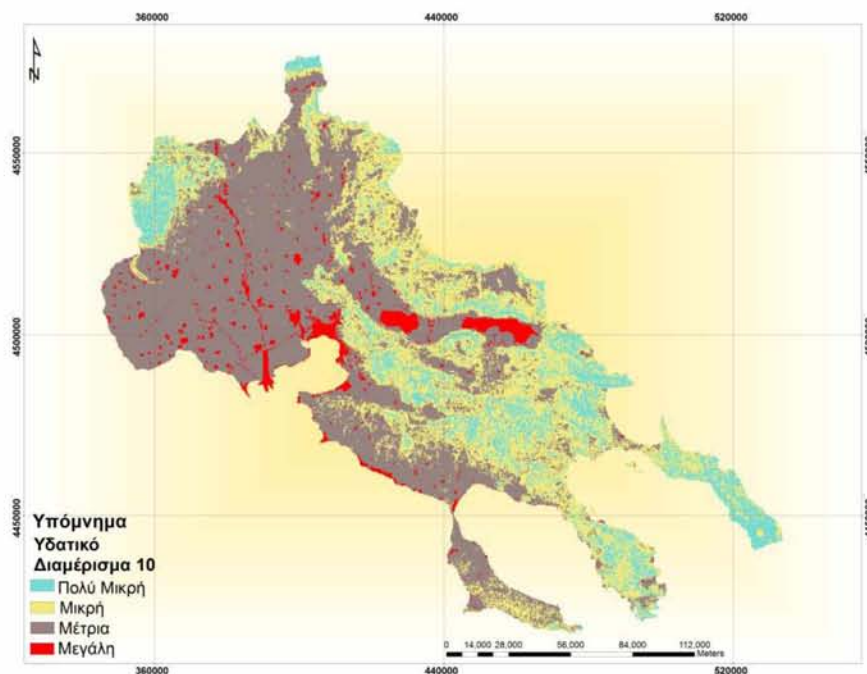
Εικόνα 14: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004.

Επιπροσθέτως, στην ανατολική παράκτια ζώνη η επικινδυνότητα παρουσιάζεται πολύ μικρή και σε ορισμένα σημεία μικρή (ειδικά στην χερσόνησο του Αγίου Όρους). Τα αποτελέσματα αυτά συμπίπτουν με τη μεγάλη κλίση και υψόμετρο του εδάφους αλλά και με τις περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση. Στη συνέχεια ακολουθούν οι

χάρτες για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 για το υδατικό διαμέρισμα 10.



Εικόνα 15: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.



Εικόνα 16: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004

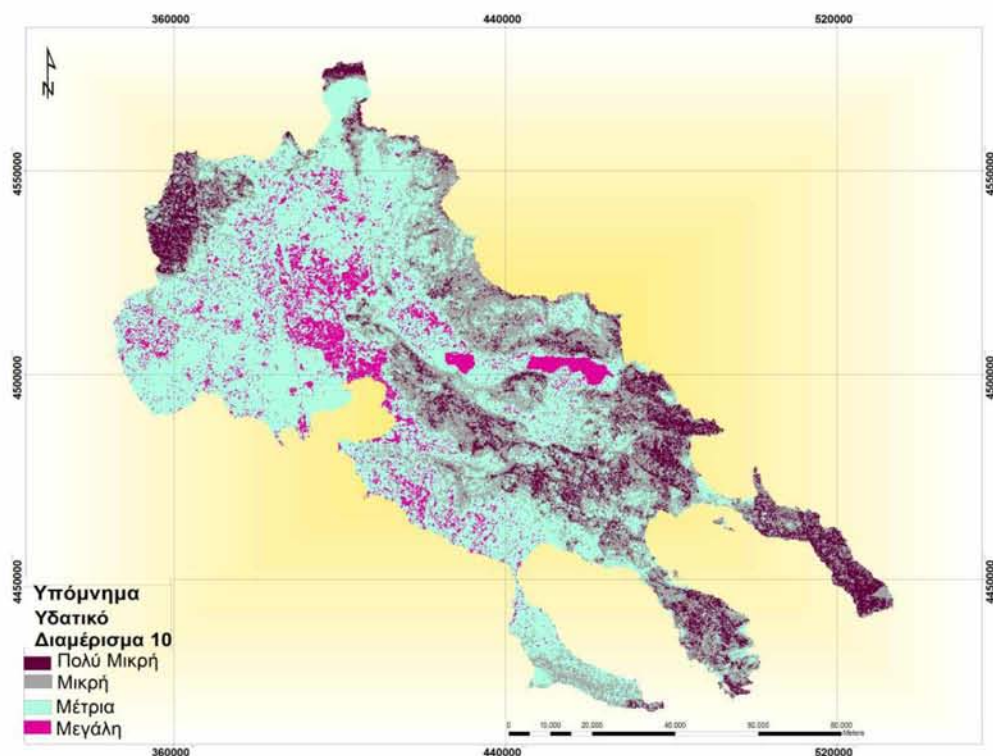
Πολύ μικρές διαφορές διακρίνονται ανάμεσα στις δύο δεκαετίες που μελετώνται. Οι χάρτες με Mfi 1985-1995 (Εικόνα 15) και με Mfi 1994-2004 (Εικόνα 16) απεικονίζουν περίπου παρόμοια επίπεδα επικινδυνότητας της πλημμύρας με την μόνη διαφορά ότι στα δυτικά και νότια του διαμερίσματος εντοπίζεται μεγαλύτερος κίνδυνος κατά την δεκαετία 1994-2004 σε σύγκριση με αυτή των ετών 1985-1995. Ο παράγοντας που είναι υπεύθυνος για την συγκεκριμένη αύξηση είναι ο δείκτης Mfi για τον μετεωρολογικό σταθμό της Μακεδονίας ο οποίος είναι μεγαλύτερος από αυτόν της δεκαετίας 1985-1995 (κατά 1,5% περίπου).

Πίνακας 11: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση(τ.μ.) MFI 1985-1995 / Corine 2000	Έκταση(τ.μ.) MFI 1994-2004 / Corine 2000	% Μεταβολή
Υψηλή	408375000	423250000	3.64
Μέτρια	4999187500	5145437500	2.93
Χαμηλή	3323562500	3169062500	-4.65
Πολύ χαμηλή	1296375000	1289750000	-0.51

Ο πίνακας 11 αποδίδει την μεταβολή της έκτασης για την δεκαετία 1985-1995 και 1994-2004. Η αύξηση της έκτασης της επικινδυνότητας δεν παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονη στον βαθμό με υψηλή και μέτρια επικινδυνότητα (3.64% και 2.93% αντίστοιχα). Υπευθυνος για το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι ο δείκτης Mfi ο οποίος χαρακτηρίζεται από μικρή αύξηση στο υδατικό διαμέρισμα 10 κατά την δεκαετία 1994-2004. Επιπλέον, για τον πολύ χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας η μεταβολή της έκτασης μεταξύ των δύο δεκαετιών χαρακτηρίζεται σχεδόν μηδενική (-0.51%), ενώ για την χαμηλή επικινδυνότητα το ποσοστό μεταβολής της έκτασης είναι -4.65%.

Η Εικόνα 17 που παρουσιάζει τον χάρτη για το υδατικό διαμέρισμα 10, προέκυψε έχοντας ως παράγοντα χαρτογράφησης του κινδύνου, το corine του 2009.



Εικόνα 17: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 και corine 2009.

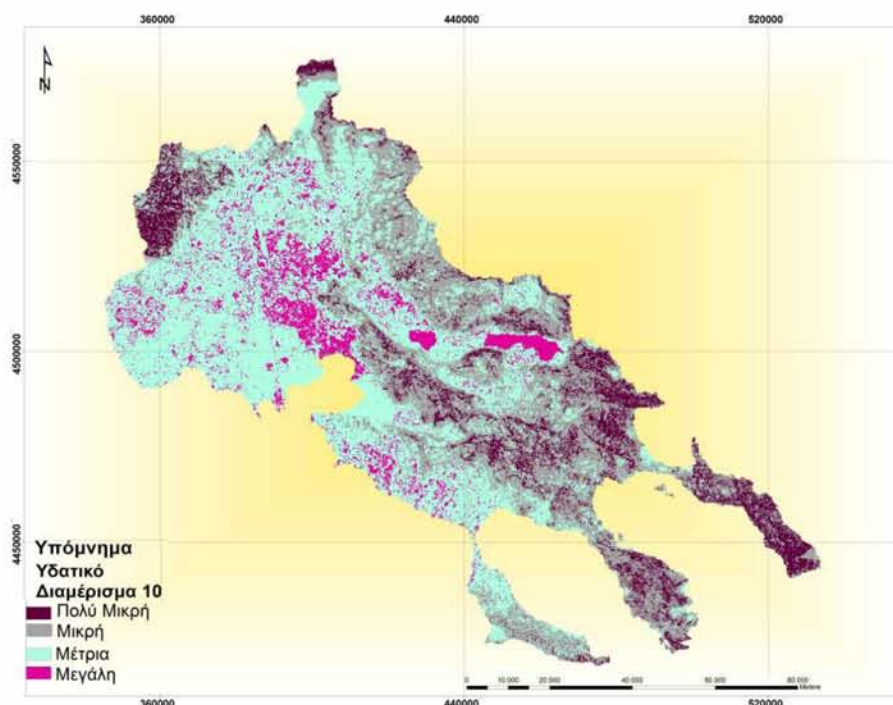
Βάση των αποτελεσμάτων παρατηρείται αύξηση του κινδύνου πλημμύρας, σε σύγκριση με τον χάρτη της Εικόνα 14, στα κεντρικά και δυτικά της περιοχής εξαιτίας της αλλαγής της κυρίαρχης χρήσης γης από καλλιέργειες σε θαμνότοπους και χέρσα γη (πλησίον της πόλης της Θεσσαλονίκης). Η ίδια τάση παρατηρείται και στην ευρύτερη περιοχή της Επανομής.

Πίνακας 12: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

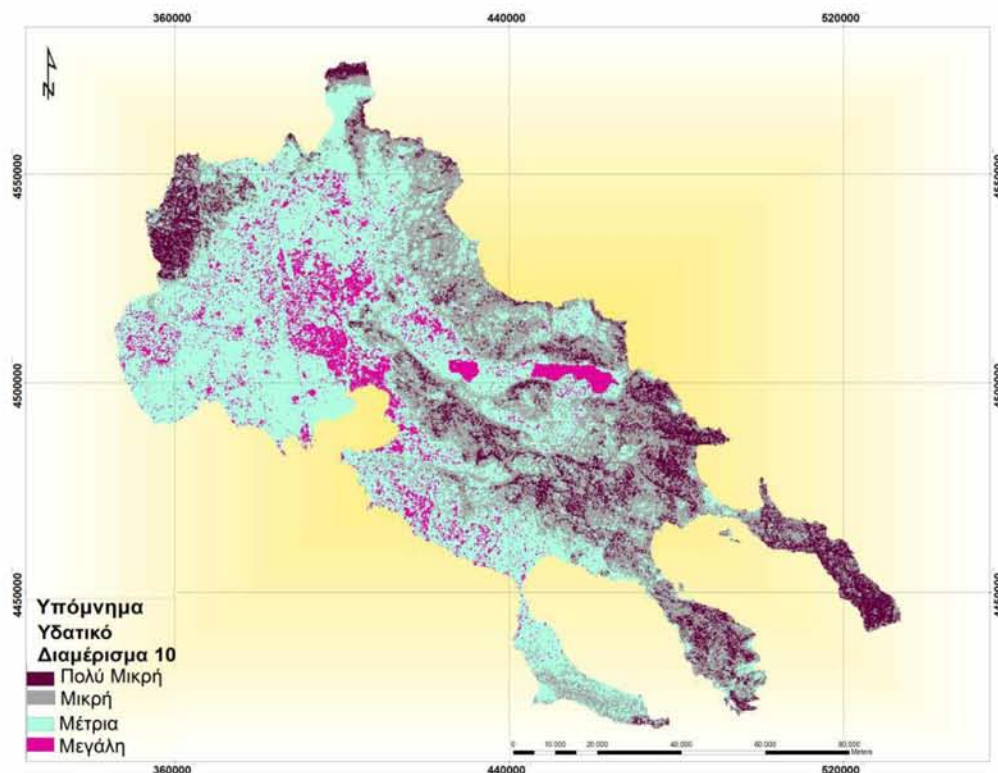
Επικινδυνότητα	Έκταση (τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2000	Έκταση (τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2009	% Μεταβολή
Υψηλή	420500000	950312500	0.55
Μέτρια	5506750000	5170625000	-6.10
Χαμηλή	2832375000	2772437500	-2.12
Πολύ χαμηλή	1267875000	1141937500	-9.93

Στον πίνακα 12 παρατηρείται η αύξηση της έκτασης του υψηλού βαθμού κινδύνου κατά 0.55% η οποία οφείλεται αποκλειστικά στην αντικατάσταση της καλλιεργίσιμης γης με θαμνώδεις εκτάσεις κατά την χρονική περίοδο 2000-2009. Για την μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή επικινδυνότητα η μεταβολή της έκτασης χαρακτηρίζεται αρνητική και πολύ μικρή με ποσοστά -6.10%, 2.12% και 9.93% αντίστοιχα.

Στην συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες και ο σχολιασμός για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 10.



Εικόνα 18: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 και corine 2009.



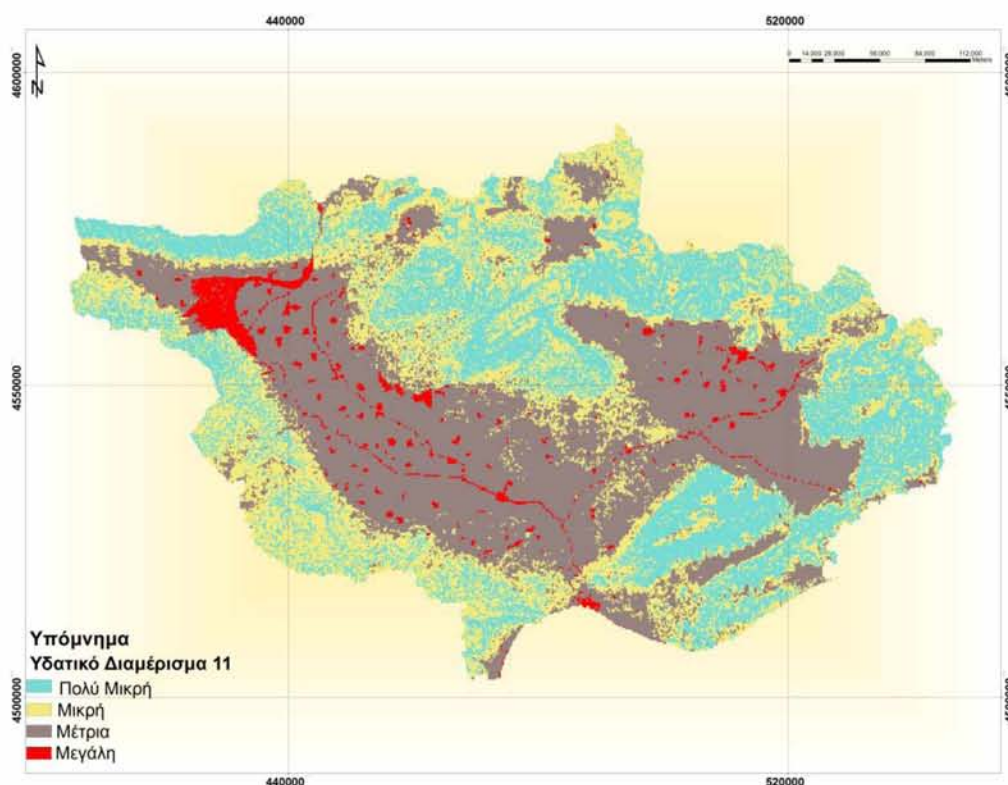
Εικόνα 19: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 και corine 2009.

Σύμφωνα με τους χάρτες με δείκτη Mfi 1985-1995 με χρήσεις γης 2009 (Εικόνα 18) και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 (Εικόνα 19) παρατηρείται ότι ο κίνδυνος πλημμύρας εντοπίζεται στα δυτικά και στην παράκτια ζώνη του διαμερίσματος παρουσιάζοντας μικρή αλλαγή. Από τις Εικόνες 46 και 50 (Παράρτημα Ι) διαπιστώνεται η μεταβολή της χρήσης γης από αγροτική και καλλιεργήσιμη σε θάμνους και χέρσα γη, η οποία δικαιολογεί την αύξηση του κινδύνου στην συγκεκριμένη περιοχή.

Παρόλα αυτά, η συνολική εικόνα της επικινδυνότητας πλημμύρας δεν μεταβάλεται σημαντικά αφού και η ένταση της βροχόπτωσης (δείκτης MFI) δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη μεταβολή μεταξύ των 2 μελετούμενων δεκαετιών.

#### 4.7.3 Υδατικό Διαμέρισμα 11.

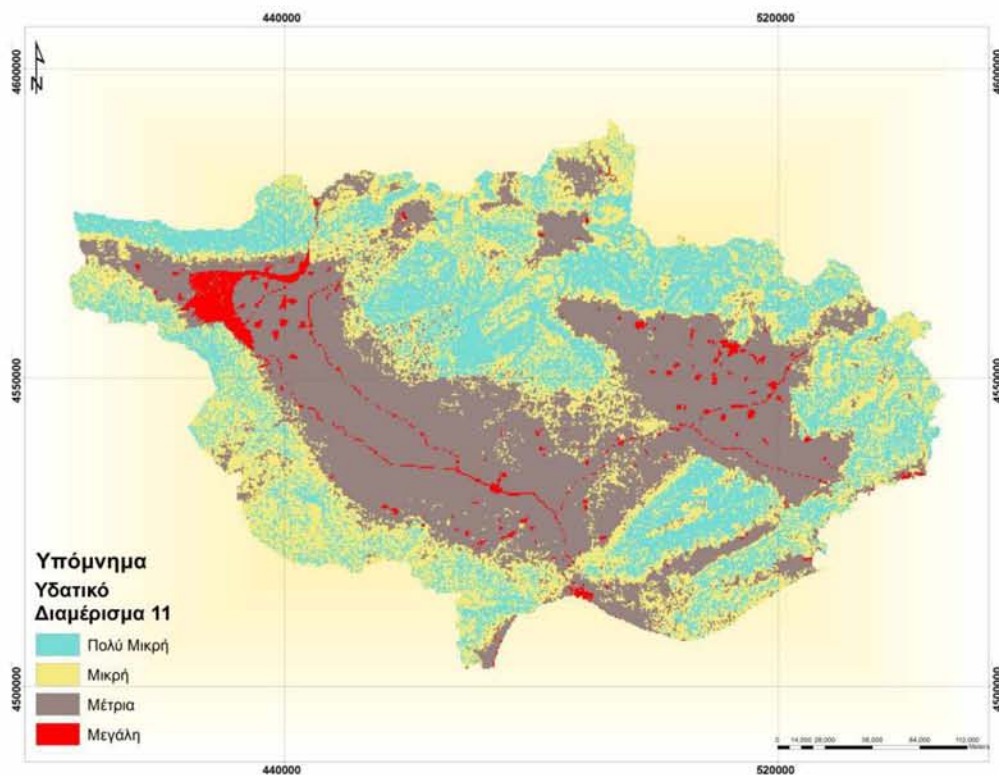
Από μεγάλη και μέτρια επικινδυνότητα χαρακτηρίζονται τα κεντρικά σημεία του παρακάτω χάρτη (Εικόνα 20) όπου απαντώνται πεδινές εκτάσεις, οικισμοί και υδάτινα σώματα. Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από γεωργικές εκτάσεις και βοσκοτόπια, ενώ απο γεωλογικής άποψης από τεταρτογενή ιζήματα. Η λίμνη Κερκίνη παρουσιάζει υψηλή επικινδυνότητα καθώς επίσης και κάποια τμήματα της πεδιάδας του ποταμού Στρυμώνα. Η υπόλοιπη περιοχή, η οποία αποτελείται απο μικτές δασικές εκτάσεις, βραχώδεις σχηματισμούς και σημαντική κλίση εδάφους χαρακτηρίζεται από μικρό και πολύ μικρό κίνδυνο πλημμύρας (τα ορεινά τμήματα της λεκάνης με την φυσική βλάστηση).



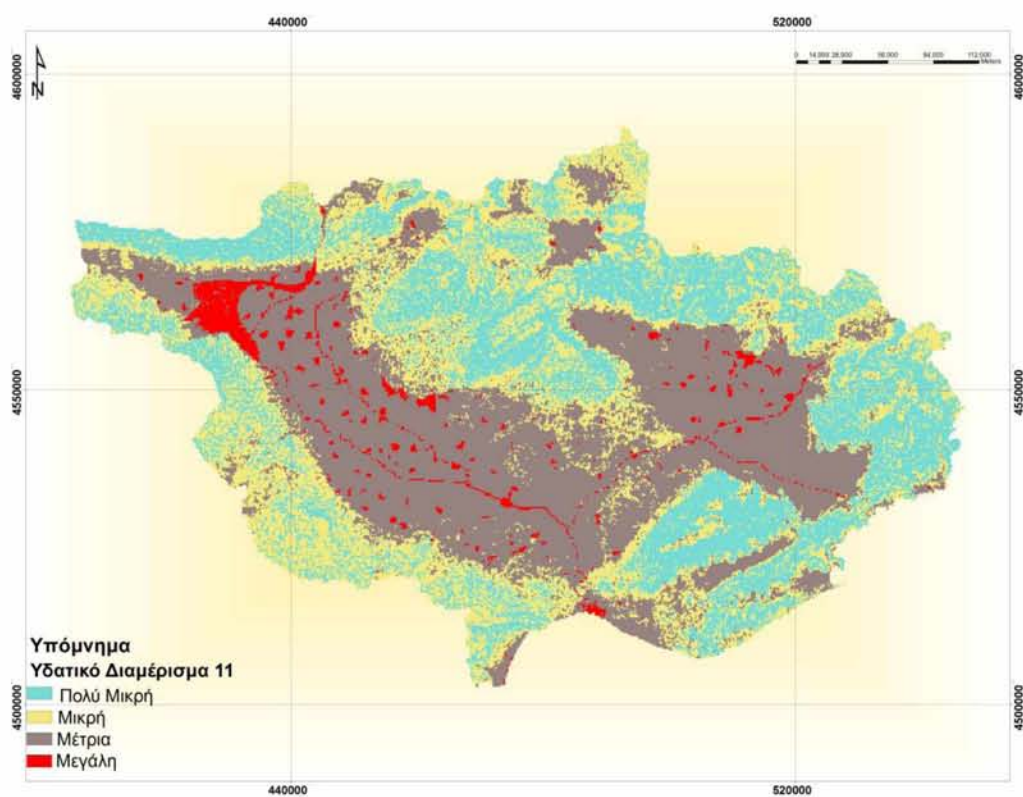
Εικόνα 20: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004.

Στην συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 για το υδατικό διαμέρισμα 11.





Εικόνα 21: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995.



Εικόνα 22: Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004

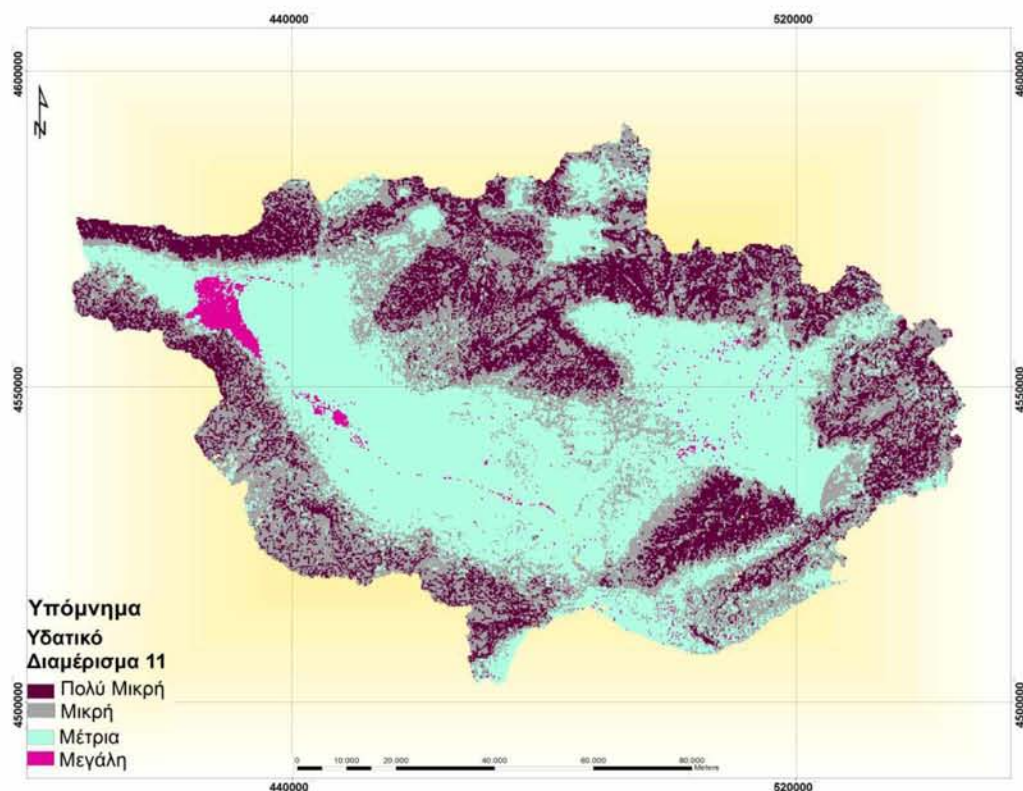
Συγκρίνοντας τον χάρτη με δείκτη Mfi 1985-1995 (Εικόνα 21) και τον χάρτη με δείκτη Mfi 1994-2004 (Εικόνα 22) παρατηρείται αύξηση του κινδύνου πλημμυρογένεσης στα σημεία που διατρέχαν μέτριο ή μεγάλο κίνδυνο κατά την δεκαετία 85-95 στο κεντρικό και δυτικό τμήμα της περιοχής (πεδιάδα Στρυμόνα). Συγκεκριμένα, κατά την δεκαετία 1994-2004 αυξήθηκε ο δείκτης MFI για το υδατικό διαμέρισμα 11 κατά περίπου 18% και αυτό οδήγησε σε μια αντίστοιχη αύξηση της επικινδυνότητας.

Πίνακας 13: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση(τ.μ.) MFI 1985-1995 / Corine	Έκταση(τ.μ.) MFI 1994-2004 / Corine	% Μεταβολή
Υψηλή	186812500	213875000	14.49
Μέτρια	2903375000	2850750000	-1.81
Χαμηλή	2256500000	2156687500	-4.42
Πολύ χαμηλή	1915000000	2040375000	6.55

Ο πίνακας 13 παρουσιάζει την αύξηση της έκτασης στον υψηλό βαθμό επικινδυνότητας κατά 14.49% και στον πολύ χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας κατά 6.55%. Η συγκεκριμένη μεταβολή οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση του δείκτη Mfi κατά την δεκαετία 1994-2004 στον μετεωρολογικό σταθμό των Σερρών (Εικόνα 1). Για τον μέτριο και χαμηλό βαθμό παρατηρήθηκε μικρή μείωση στην έκταση της επικινδυνότητας με ποσοστό -1.81% και -4.42% αντίστοιχα.

Στην συνέχεια, ακολουθούν οι χάρτες του κινδύνου πλημμύρας για τις δεκαετίες με Mfi 1970-2004, 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 11.



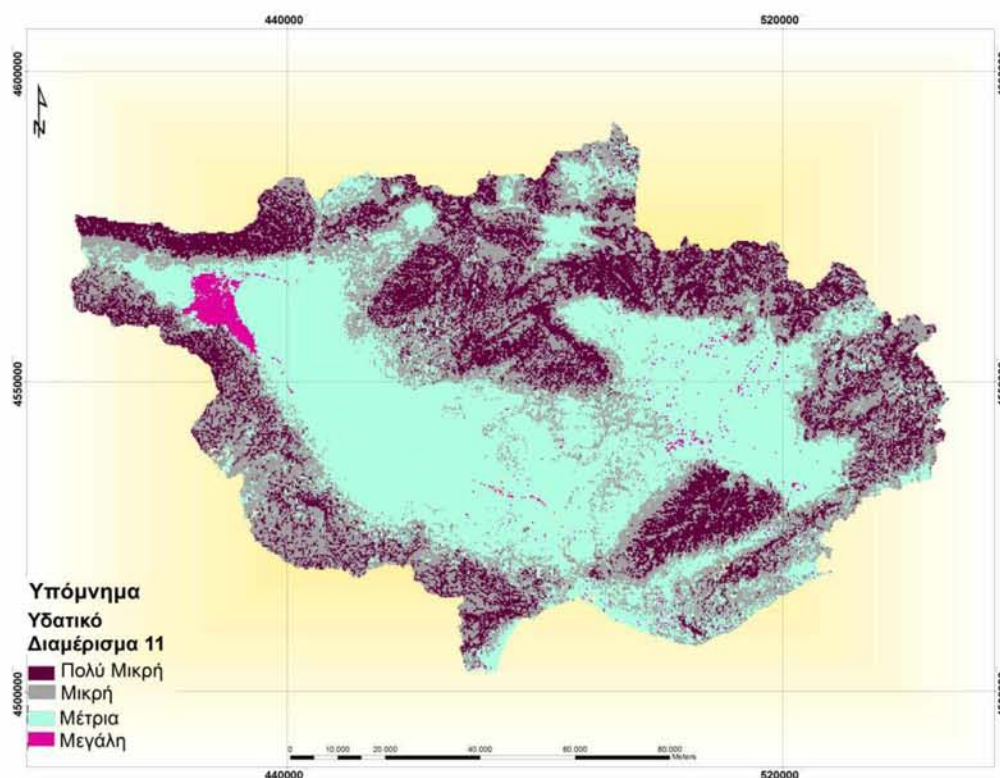
Εικόνα 23: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1970-2004 με corine 2009.

Στο υδατικό διαμέρισμα 11 εντοπίζεται μεγάλη επικινδυνότητα κοντά σε υδάτινα σώματα (Εικόνα 23). Η υπόλοιπη περιοχή χαρακτηρίζεται κυρίως από μέτρια επικινδυνότητα του φαινομένου ενώ εκεί όπου το υψόμετρο και η κλίση του εδάφους παρουσιάζει μεγάλες τιμές το πλημμυρικό φαινόμενο παρουσιάζεται πολύ μικρού ή μικρού επιπέδου. Έχοντας αντικαταστήσει τον παράγοντα των χρήσεων γης του 2000 με τον πιο πρόσφατο παρατηρούνται αλλαγές στην επικινδυνότητα της πλημμύρας (Εικόνα 20, Εικόνα 23) Η ελάττωση του φαινομένου είναι εμφανής ιδιαίτερα στα βορειοδυτικά της περιοχής όπου η έκταση της λίμνης Κερκίνης φαίνεται να έχει συρρικνωθεί και να έχει αντικατασταθεί από θαμνότοπους και αγροτική γη. Επιπλέον μείωση διακρίνεται στα ανατολικά γεγονός που οφείλεται στην σταδιακή αντικατάσταση των καλλιεργειών από θαμνότοπους και χέρσα γη. Ωστόσο, η μείωση του κινδύνου της πλημμυρογένεσης αποδίδεται σε αυτό το υδατικό διαμέρισμα στα ανατολικά της περιοχής και στην αύξηση των μικτών δασικών εκτάσεων.

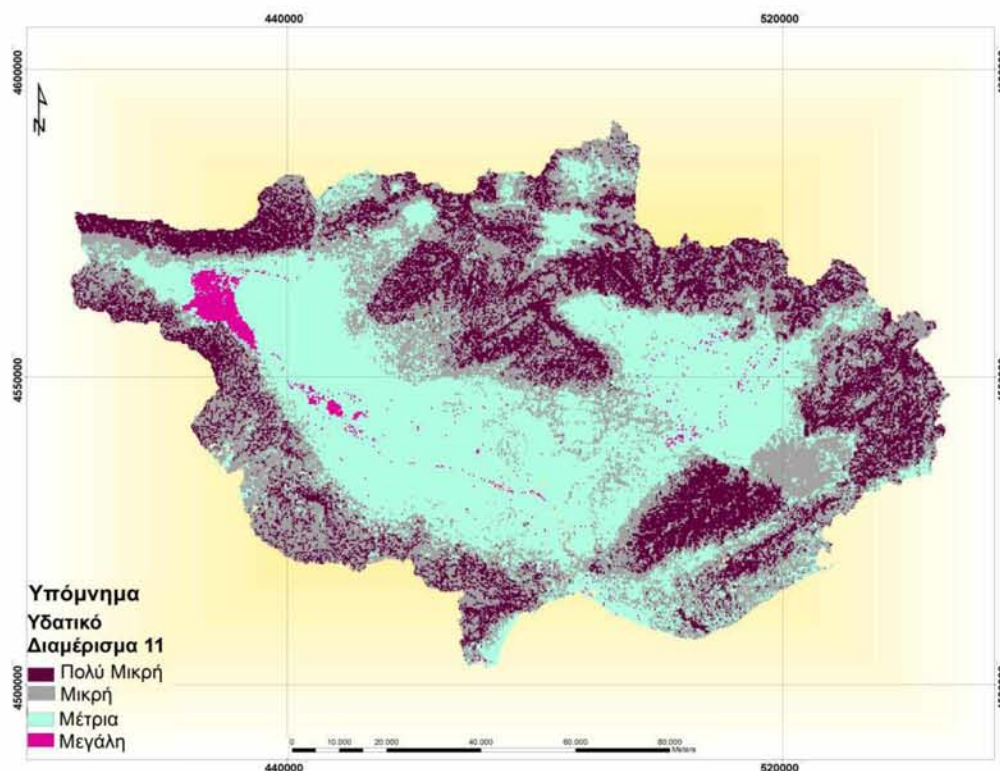
Πίνακας 14: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση(τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2000	Έκταση(τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2009	% Μεταβολή
Υψηλή	198562500	108062500	-45.58
Μέτρια	2964187500	3081625000	3.96
Χαμηλή	2189937500	2454187500	12.07
Πολύ χαμηλή	1909000000	1607625000	-15.79

Η μεγάλη μείωση του βαθμού επικινδυνότητας όσον αφορά τις αλλαγές χρήσεων γης διαπιστώνεται και από τον πίνακα 14. Η έκταση υψηλού και του πολύ χαμηλού βαθμού επικινδυνότητας μειώθηκε με ποσοστό -45.58% και -15,79% αντίστοιχα κατά την δεκαετία 1994-2004 λόγω αντικατάστασης της θαλάσσιας ζώνης με αγροτική έκταση και θαμνότοπους. Αντίθετα την ίδια δεκαετία, η έκταση επικινδυνότητας αυξήθηκε με πολύ μικρό ποσοστό 3.96% και 12.07%, για τον μέτριο και χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας.



Εικόνα 24: Χάρτης επικινδυνότητα πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 με corine 2009



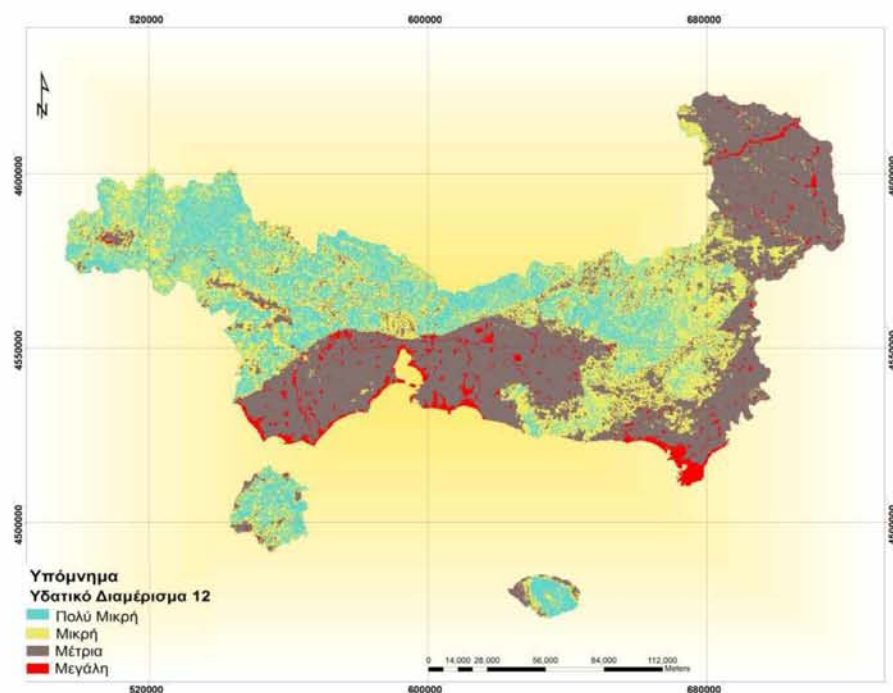
Εικόνα 25: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 με corine 2009

Ο χάρτης με δείκτη Mfi 1985-1995 και corine 2009 (Εικόνα 24) και ο χάρτης με δείκτη Mfi 1994-2004 και corine 2009 (Εικόνα 25) απεικονίζουν την διαφοροποίηση του πλημμυρικού φαινομένου με παράγοντες τον δείκτη Mfi των δύο υπό μελέτη δεκατιών καθώς και τις χρήσεις γης του 2009. Βάση των αποτελεσμάτων προκύπτει μείωση του κινδύνου στα ανατολικά του υδατικού διαμερίσματος λόγω ελάττωσης του δείκτη Mfi στον σταθμό της Καβάλας (κατά 130%) κατά την δεκαετία 1994-2004. Ωστόσο δεν θα πρέπει να παραλειφθεί η εμφάνιση μεγάλου κινδύνου που εντοπίστηκε στο κεντρικό σημείο της υπό μελέτη περιοχής κατά την τελευταία δεκαετία (Εικόνα 25).

Όσον αφορά την δεκαετία 1994-2004, η μεταβολή των χρήσεων γης είχε ως αποτέλεσμα αξιοσημείωτη εξασθένηση του κινδύνου λόγω της εμφάνισης μικτών δασικών εκτάσεων και της αντικατάστασης των καλλιεργειών από χέρσα γη. Στα ανατολικά του διαμερίσματος παρατηρείται επίσης η άμβλυση της πλημμυρογένεσης από μικρό σε πολύ μικρό επίπεδο επικινδυνότητας.

#### 4.7.4 Υδατικό διαμέρισμα 12

Στο νότιο, πεδινό τμήμα του υδατικού διαμερίσματος 12 παρατηρείται η επικινδυνότητα πλημμύρας να κατέχει την μεγάλη και μέτρια κατηγορία του φαινομένου (Εικόνα 26).



Εικόνα 26: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για χρονική περίοδο 1970-2004.

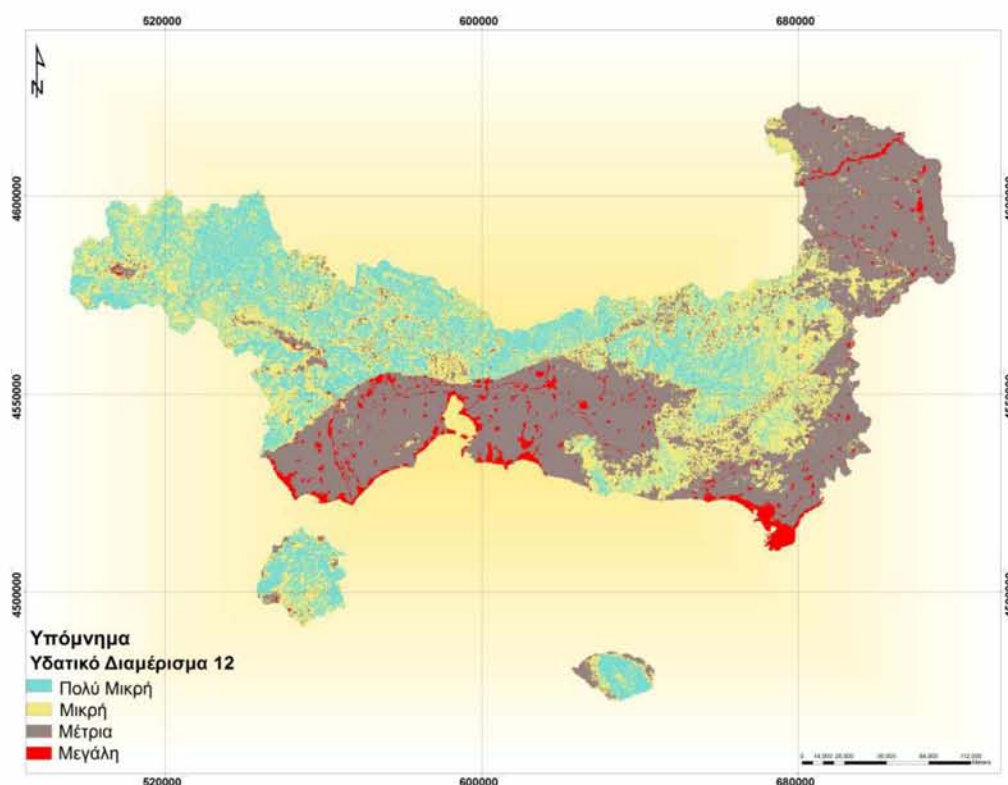
Ιδιαίτερα πλησίον υδάτινων σωμάτων ο κίνδυνος είναι πολύ έντονος. Με βάση τα αποτελέσματα, η επικινδυνότητα είναι πιο έντονη στο νότιο τμήμα του διαμερίσματος εξαιτίας του πεδινού αναγλύφου με κύρια χρήση γης τις καλλιέργειες και απο γεωλογικής άποψης κυριαρχούμενη από τεταρτογενή ιζήματα. Πολύ υψηλή είναι η επικινδυνότητα πλημμύρας στο Δέλτα του Έβρου, στις παράκτιες λιμνοθάλασσες και στους οικισμούς που βρίσκονται κοντά σε υδάτινα σώματα.

Πίνακας 15: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση(τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2000	Έκταση(τ.μ.) MFI 1974-2004 / Corine 2009	% Μεταβολή
Υψηλή	406875000	592562500	45.64
Μέτρια	4631187500	4954875000	6.99
Χαμηλή	3287500000	3584750000	9.04
Πολύ χαμηλή	2682187500	1858500000	-30.71

Ο πίνακας 15 παρουσιάζει την μεταβολή της έκτασης της επικινδυνότητας με βάση τις χρήσεις γης. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 15 αλλά και από τις Εικόνα 2 και Εικόνα 26 η έκταση της επικινδυνότητας έχει αυξηθεί κατά 45.64% για τον υψηλό βαθμό της και κατά 6.99% και 9.04% για τον μέτριο και χαμηλό βαθμό της. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αλλαγή των χρήσεων γης κατά την διάρκεια 2000-2009. Ωστόσο, η ελάττωση της έκτασης του πολύ χαμηλού βαθμού κινδύνου κατέχει υψηλό ποσοστό (-30,71%) γεγονός που οφείλεται στην αντικατάσταση των θαμνών με καλλιεργήσιμη γη.

Στην συνέχεια ακολουθούν οι χάρτες για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 για το υδατικό διαμέρισμα 12.



Εικόνα 27: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995

Στο υδατικό διαμέρισμα 12 δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές κατά την διάρκεια των δύο δεκαετιών (Εικόνα 27, Εικόνα 28). Μία αξιοσημείωτη διαφοροποίηση διακρίνεται στο νοτιοδυτικό και στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται μια μικρή αύξηση του κινδύνου η οποία οφείλεται στην μεγαλύτερη ένταση βροχόπτωσης (δείκτη MFI) κατά την διάρκεια της δεκαετίας 1994-2004 στην περιοχή της Χρυσούπολης (κατά 25% περίπου).

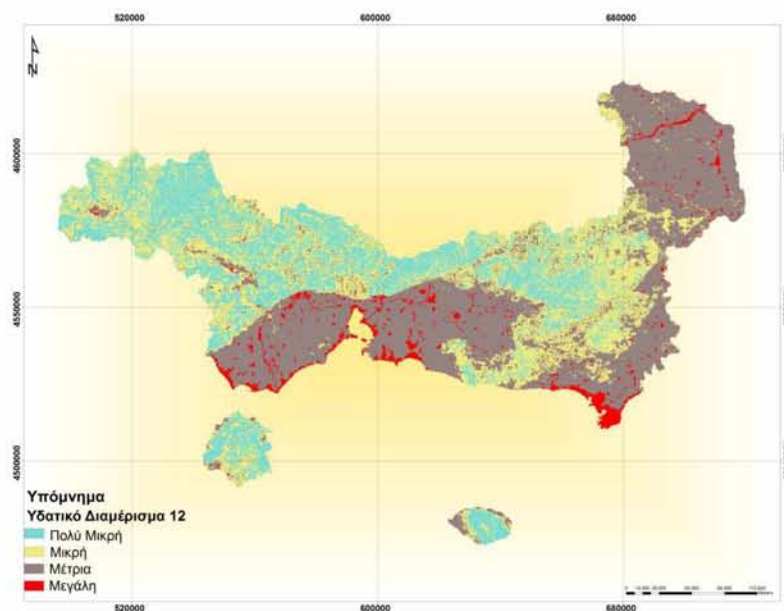
Πίνακας 16: Ποσοστιαία Μεταβολή της Έκτασης

Επικινδυνότητα	Έκταση (τ.μ.) MFI 1985-1995 / Corine 2000	Έκταση MFI (τ.μ.) 1994-2004 / Corine 2000	% Μεταβολή
Υψηλή	400000000	400187500	0.05
Μέτρια	4628937500	4563562500	-1.41
Χαμηλή	3293312500	3323562500	0.92
Πολύ χαμηλή	2685500000	2720437500	1.30

Ο πίνακας 16 αποδίδει την μεταβολή της έκτασης της επικινδυνότητας μεταξύ των δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004. Τα ποσοστά της έκτασης του κινδύνου δεν

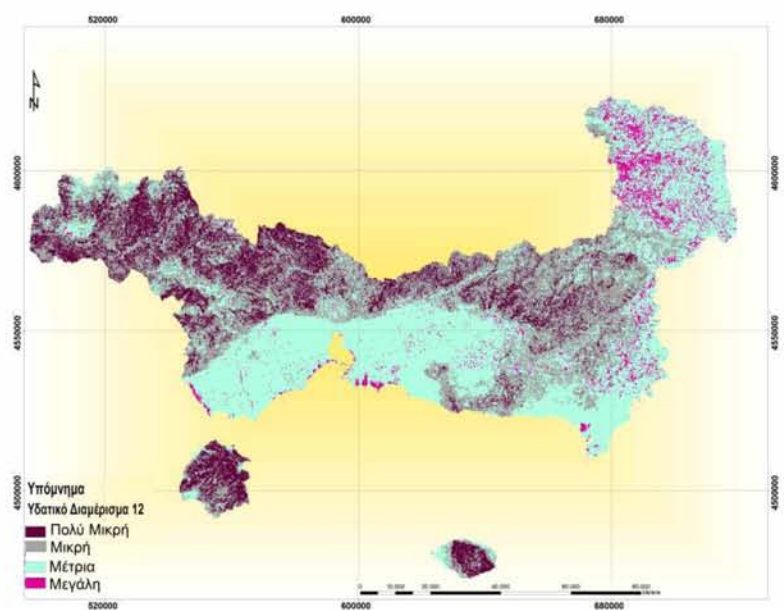


παρατηρούνται ιδιαίτερα αυξημένα τόσο στον υψηλό όσο στον χαμηλό και πολύ χαμηλό βαθμό επικινδυνότητας (0.05%, 0.92% και 1.30% αντίστοιχα). Το γεγονός αυτό οφείλεται αποκλειστικά στην αύξηση του δείκτη Mfi στο χρονικό διάστημα 1994-2004 στο μετεωρολογικό σταθμό της Αλεξανδρούπολης.



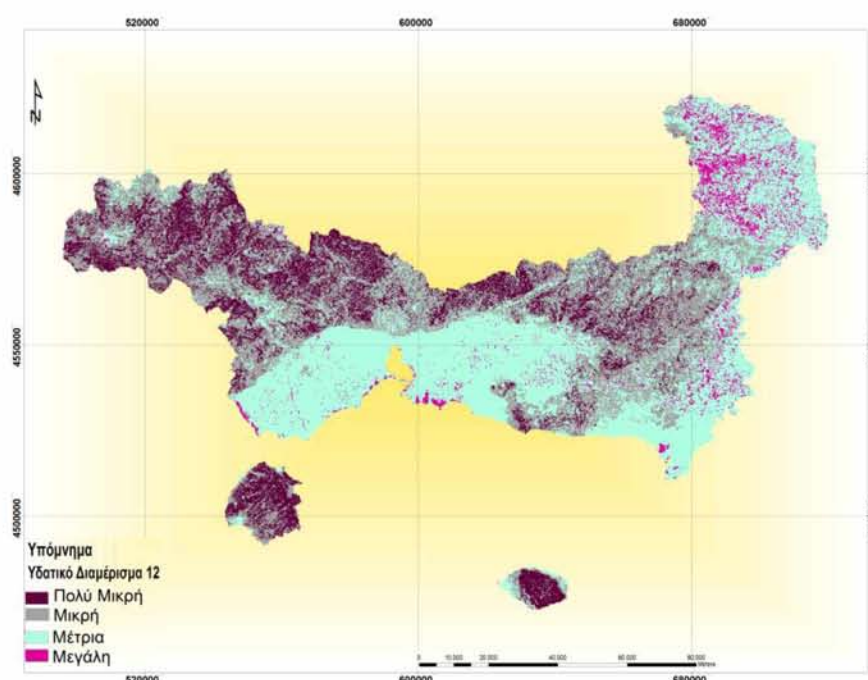
Εικόνα 28: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004

Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι χάρτες για τις δεκαετίες με Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με την χρήση του παράγοντα corine της χρονολογίας του 2009.



Εικόνα 29: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1985-1995 με corine 2009

Πολύ μικρές διαφορές διακρίνονται ανάμεσα στις δύο υπό μελέτη δεκαετίες. Ο χάρτης με δείκτη Mfi για την χρονική περίοδο 1985-1995 με corine 2009 (Εικόνα 29) και ο χάρτης με δείκτη Mfi για την χρονική περίοδο 1994-2004 με corine 2009 (Εικόνα 30) απεικονίζουν περίπου παρόμοια επίπεδα επικινδυνότητας της πλημμύρας γεγονός που υποδεικνύει ότι η ένταση της βροχοπτώσης παρέμεινε περίπου σταθερή στο συγκεκριμένο τμήμα κάτι που προκύπτει και από τον δείκτη MFI των σταθμών Αλεξανδρούπολης, Σουφλίου και Ξάνθης (μεταβολή κατά μέσο όρο μικρότερη από 10%).



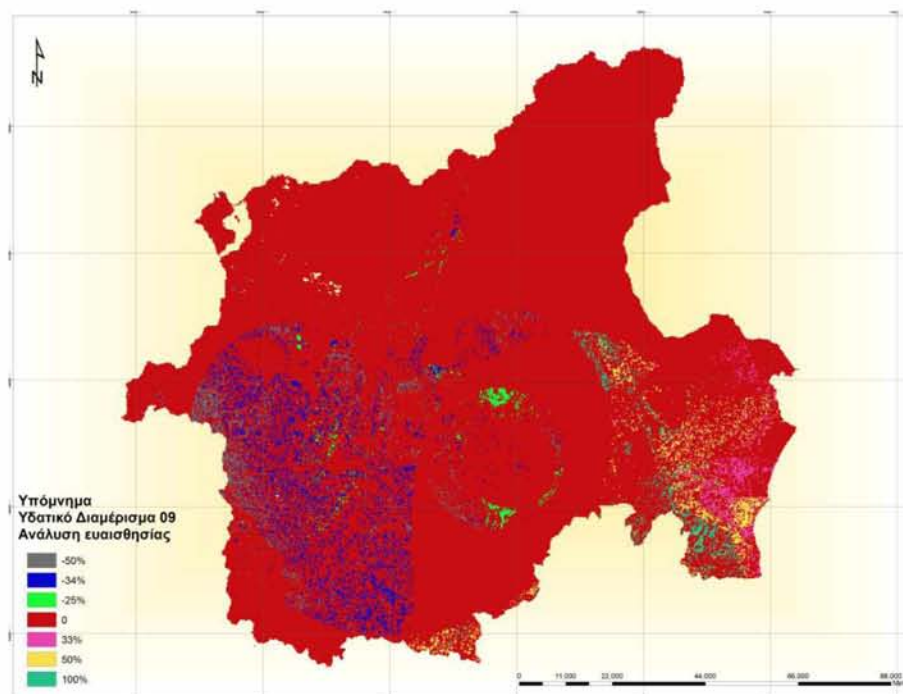
Εικόνα 30: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας με δείκτη MFI για την χρονική περίοδο 1994-2004 με corine 2009.

Συγκρίνοντας τον χάρτη με Mfi 1994-2004 και corine 2000 (Εικόνα 28) με τον χάρτη με Mfi 1994-2004 και corine 2009 (Εικόνα 30) παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στην επικινδυνότητα της πλημμύρας. Αισθητή μείωση του κινδύνου εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά και κεντρικά του διαμερίσματος 12, η οποία συνοδεύεται από την αύξηση μικτών δασικών εκτάσεων και την εγκατάληψη καλλιεργούμενων εκτάσεων. Ωστόσο, στα βορειανατολικά του διαμερίσματος σημειώνεται σημαντική αύξηση της επικινδυνότητας λόγω της αντικατάστασης της φυσικής βλάστησης από αγροτική γη και θαμνότοπους.

#### 4.8 Ανάλυση Ευαισθησίας

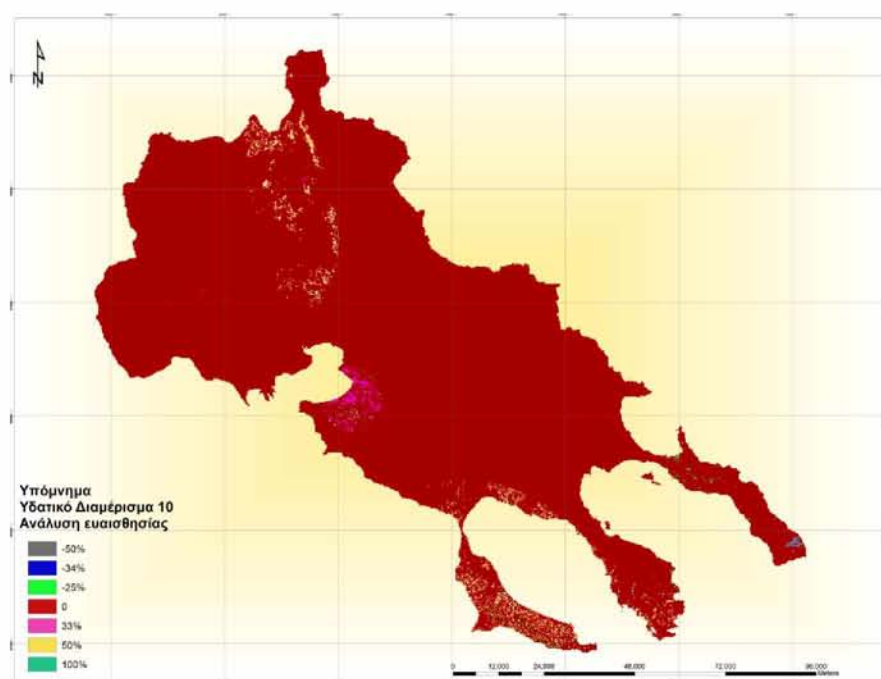
Στο αυτό το σημείο θα εντοπιστούν οι παράμετροι της πολυκριτηριακής ανάλυσης που ασκούν μικρότερη ή μεγαλύτερη επιρροή στην επικινδυνότητα της πλημμύρας. Η συγκεκριμένη ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιείται μεταβάλλοντας μία παράμετρο διατηρώντας όλες τις άλλες σταθερές ώστε να παρατηρηθούν διαφοροποιήσεις στα τελικά αποτελέσματα.

Στην πρώτη περίπτωση υπολογίστηκε το ποσοστό αλλαγής της επικινδυνότητας πλημμύρας με την χρήση του δείκτη Mfi 1994-2004 και χρήσεις γης 2009 (Εικόνες 13,19,25,30) σε σχέση με τον δείκτη 1985-1995 με χρήσεις γης 2009 (Εικόνες 12,18,24,29) για κάθε υδατικό διαμέρισμα. Στην δεύτερη περίπτωση υπολογίστηκε το ποσοστό μεταβολής της επικινδυνότητας με την χρήση του δείκτη Mfi 1994-2004 και χρήσεις γης 2009 (Εικόνες 13,19,25,30) σε σχέση με τον δείκτη 1985-1995 με χρήσεις γης 2000 (Εικόνες 10,16,22,28) για κάθε υδατικό διαμέρισμα. Οι χάρτες και ο πίνακας που ακολουθούν παρουσιάζουν τα ποσοστά μεταβολής της βροχόπτωσης στις δεκαετίες 1985-1995 και 1994-2004 με παράγοντα τις χρήσεις γης του έτους 2009 (περίπτωση 1) και των χρήσεων γης στην χρονική περίοδο 2000 και 2009 με δείκτη Mfi δεκαετίας 1994-2004 (περίπτωση 2).



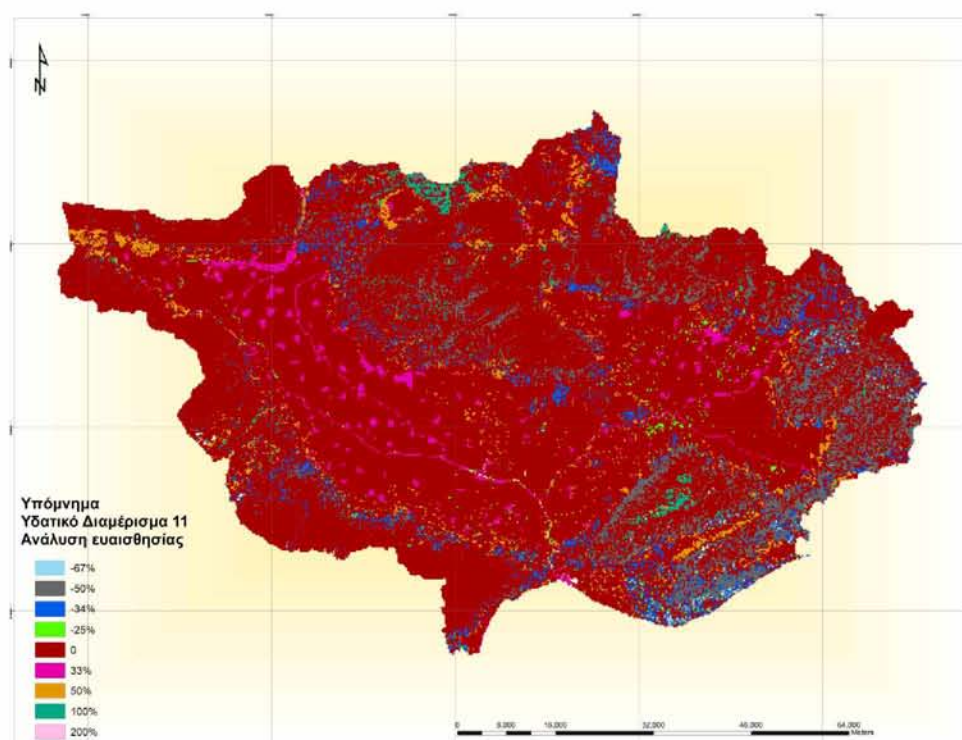
Εικόνα 31: Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής της επικινδυνότητας με βάση τον δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 09.

Η επικινδυνότητα πλημμύρας στην περίπτωση 1 (δείκτης Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009) για το υδατικό διαμέρισμα 09 (Εικόνα 31) δεν παρουσιάζει σημαντικές μεταβολές με εξαίρεση το δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα όπου παρουσιάζονται περιοχές με μείωση επικινδυνότητας πάνω από 30% (δυτικά) και περιοχές με αντίστοιχη αύξηση της επικινδυνότητας (νοτιοανατολικά). Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στην χωρική διαφοροποίηση του δείκτη MFI κατά τις 2 εξεταζόμενες δεκαετίες σε συνδυασμό με χρήσεις γης που ευνοούν ή μη την εκδήλωση πλημμύρας. Για παράδειγμα, στις περιοχές που παρατηρείται αύξηση του δείκτη MFI η πλημμυρική επικινδυνότητα αυξάνεται αναλογικά περισσότερο σε χρήσεις γης όπως τα υδάτινα σώματα και οι οικισμοί από ότι σε περιοχές με χρήσεις γης καλλιέργειες, θαμνότοποι και φυσική βλάστηση.



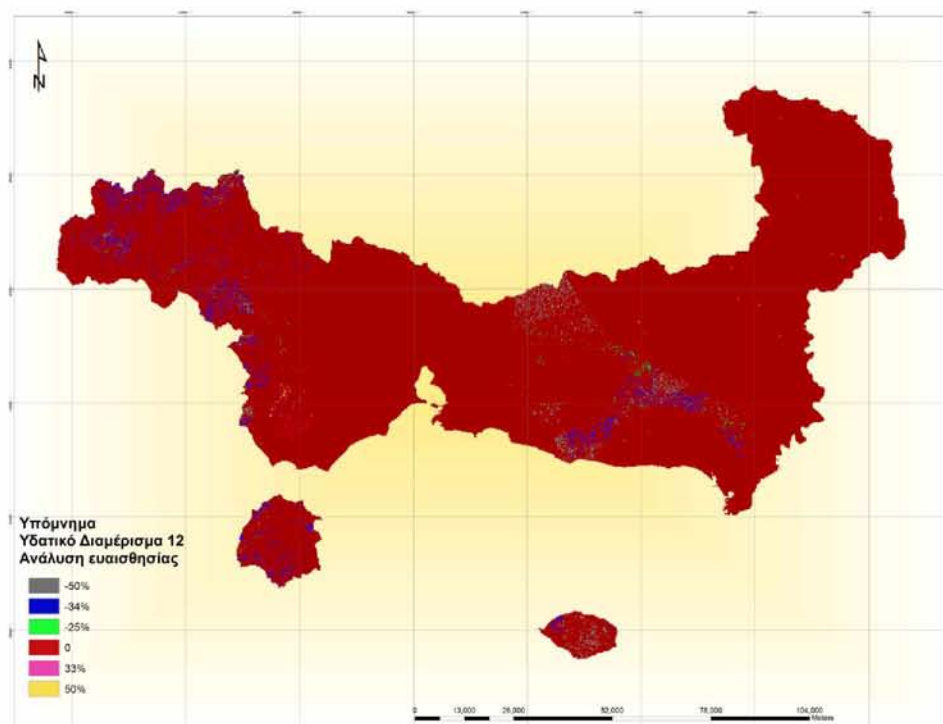
Εικόνα 32: Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 10.

Η επικινδυνότητα πλημμύρας στην περίπτωση 1 (δείκτης Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009) για το υδατικό διαμέρισμα 10 (Εικόνα 32) παρουσιάζει κυρίως μηδενική μεταβολή. Εξαίρεση αποτελεί το δυτικό και νοτιοδυτικό τμήμα όπου παρουσιάζονται περιοχές με αύξηση επικινδυνότητας 33% (δυτικά) και περιοχές με 50% αύξηση της επικινδυνότητας (νοτιοανατολικά).



Εικόνα 33: Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 11.

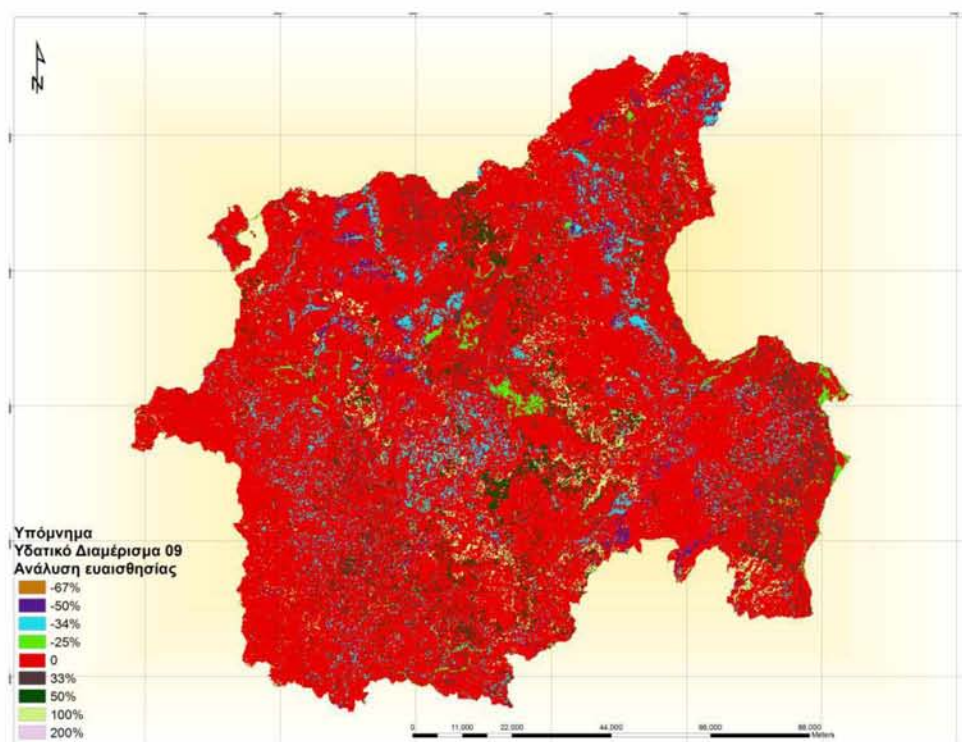
Στο υδατικό διαμέρισμα 11 της Εικόνα 33 απεικονίζονται σημαντικές μεταβολές σε όλο το τμήμα του. Οι περιοχές που παρουσιάζονται με μείωση επικινδυνότητας πάνω από 30% καλύπτουν το βόρειο και το νότιο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος. Ωστόσο, οι περιοχές που παρουσιάζουν αύξηση του κινδύνου πάνω από 30 % ταυτίζονται με εκτάσεις όπου παρατηρείται θαλάσσια ζώνη και θαμνότοπους στο κεντρικό, δυτικό και νότιο τμήμα του διαμερίσματος.



Εικόνα 34: Περίπτωση 1- Ποσοστό μεταβολής του δείκτη Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009 για το υδατικό διαμέρισμα 12.

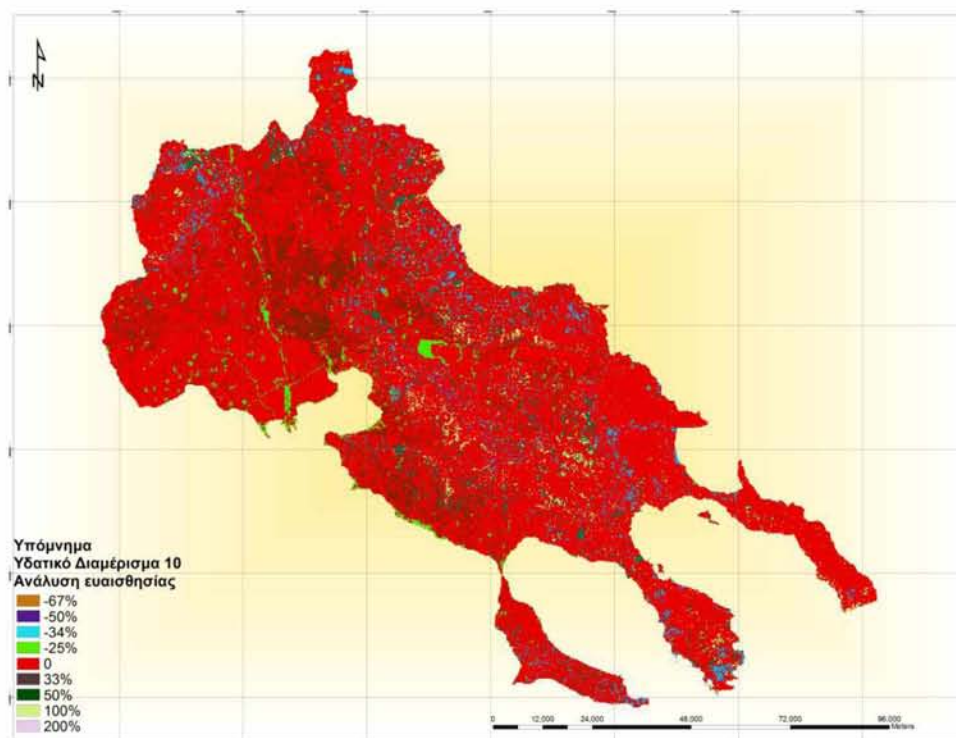
Η επικινδυνότητα πλημμύρας στην περίπτωση 1 (δείκτης Mfi δεκαετιών 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2009) δεν χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα από έντονες μεταβολές για το υδατικό διαμέρισμα 12 με εξαίρεση το δυτικό και νοτιοανατολικό τμήμα όπου παρουσιάζονται περιοχές με μείωση επικινδυνότητας 34% και στα δύο τμήματα του διαμερίσματος λόγω της αντικατάστασης των καλλιεργειών από χέρσα γη και θαμνότοπους σε ημιορεινά τμήματα.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση ευαισθησίας στην οποία υπολογίστηκε το ποσοστό μεταβολής της επικινδυνότητας με την χρήση του δείκτη Mfi 1994-2004 και χρήσεις γης 2009 σε σχέση με τον δείκτη Mfi 1985-1995 με χρήσεις γης 2000 για κάθε υδατικό διαμέρισμα.



Εικόνα 35: Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη *mfi* δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμέρισμα 09.

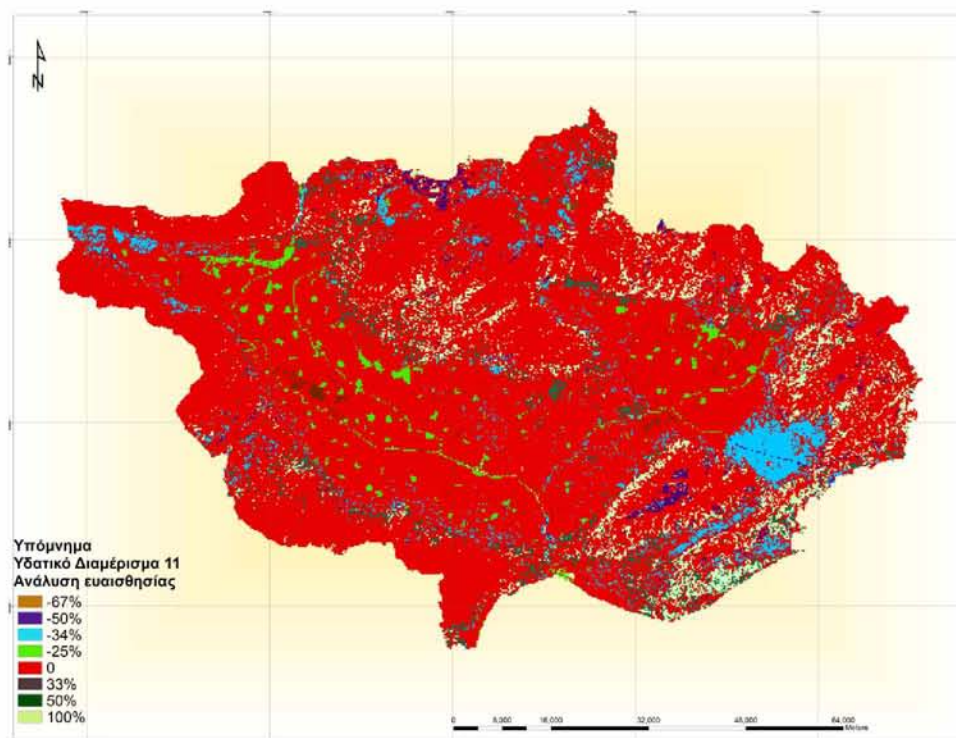
Στην περίπτωση 2, η επικινδυνότητα πλημμύρας (δείκτης *Mfi* 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 και 2009) για το υδατικό διαμέρισμα 09 (Εικόνα 35) παρουσιάζει περιοχές οι οποίες συνοδεύονται από την μείωση της επικινδυνότητας του πλημμυρικού φαινομένου με ποσοστό κυρίως -34% και -25%. Ωστόσο, αύξηση της επικινδυνότητας εντοπίζεται με ποσοστό 50% και 33% στις κεντρικές και νοτιοανατολικές περιοχές του υδατικού διαμερίσματος 09.



Εικόνα 36: Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη mfi δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμέρισμα 10.

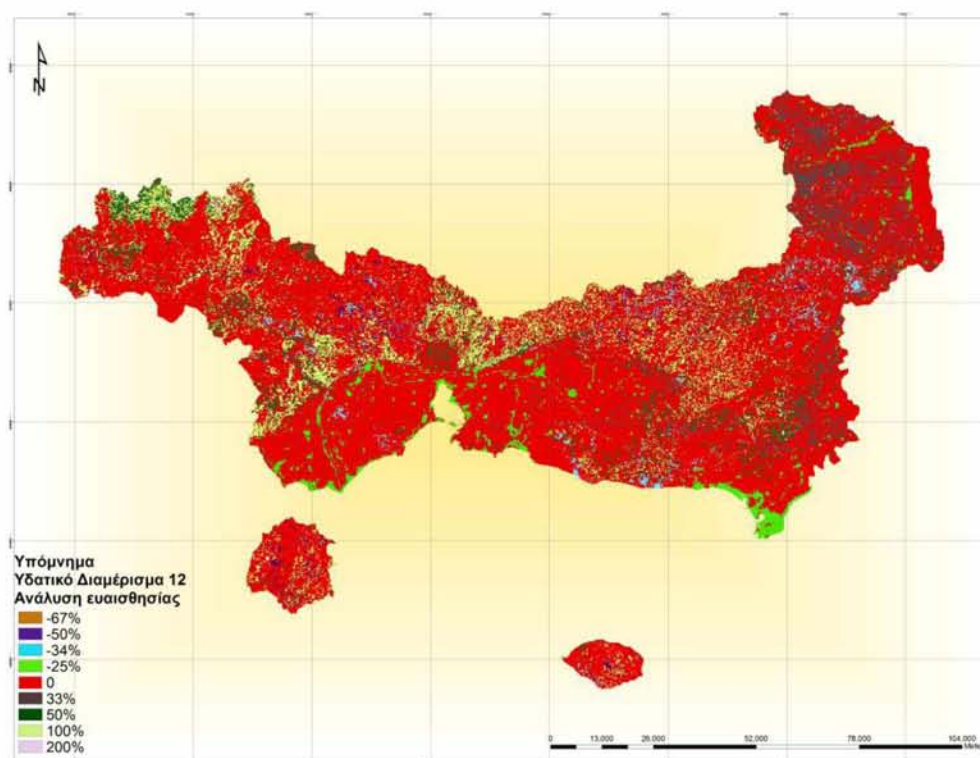
Στο υδατικό διαμέρισμα 10 (Εικόνα 36) για την περίπτωση 2 (δείκτης Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 και 2009) οι μεταβολές της επικινδυνότητας της πλημμύρας κατέχουν διάφορες διακυμάνσεις. Συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη έκταση έκταση του διαμερίσματος έχει μηδενική μεταβολή. Ωστόσο, η επικινδυνότητα αυξάνεται κυρίως κατά 33% στα κεντρικά και βορειοκεντρικά της περιοχής του διαμερίσματος ενώ σημαντική έκταση στο υδατικό διαμέρισμα 10 καταλαμβάνει η μείωση της επικινδυνότητας με ποσοστό -25%.





Εικόνα 37: Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη mfi δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμέρισμα 11.

Στην περίπτωση 2, (δείκτης Mfi 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 και 2009) για το υδατικό διαμέρισμα 11, η επικινδυνότητα πλημμύρας (Εικόνα 37) παρουσιάζει μεγάλο ποσοστό μείωσης κατά 34% και κατά 25% στο κεντρικό και το δυτικό τμήμα της υπό μελέτη περιοχής. Ωστόσο, η αύξηση της επικινδυνότητας της περιοχής καλύπτει το νότιο τμήμα του κατά 50 % καθώς και το ανατολικό κατά 100%.



Εικόνα 38: Περίπτωση 2- Ποσοστό μεταβολής χρήσεων γης για την χρονική περίοδο 2000-2009 με δείκτη *mfi* δεκαετίας 1994-2004 για το υδατικό διαμέρισμα 12

Η περίπτωση 2 (δείκτης *Mfi* 1985-1995 και 1994-2004 με χρήσεις γης 2000 και 2009) για το υδατικό διαμέρισμα 12 (Εικόνα 38) χαρακτηρίζεται κυρίως από μηδενική μεταβολή της επικινδυνότητας. Ωστόσο στην παράχθια ζώνη του διαμερίσματος παρουσιάζεται μείωση της επικινδυνότητας του φαινομένου κατά 25%, ενώ στο ανατολικό τμήμα εντοπίζεται αύξηση κατά 50%.

Πίνακας 17: Στατιστικά στοιχεία ανάλυσης ευαισθησίας

Ανάλυση Ευαισθησίας	min	max	mean	std
Περίπτωση 1 Υδατικό διαμέρισμα 09	-50	100	-0.433	14.8
Περίπτωση 1 Υδατικό διαμέρισμα 10	-50	100	0.97	7.4
Περίπτωση 1 Υδατικό διαμέρισμα 11	-67	200	-1.61	20.7
Περίπτωση 1 Υδατικό διαμέρισμα 12	-50	50	-1.11	6.7
Περίπτωση 2 Υδατικό διαμέρισμα 09	-67	200	2.97	22.87
Περίπτωση 2 Υδατικό διαμέρισμα 10	-67	200	4.7	20.65
Περίπτωση 2 Υδατικό διαμέρισμα 11	-67	100	4.9	27.2
Περίπτωση 2 Υδατικό διαμέρισμα 12	-67	200	12.1	32.5

Στον πίνακα 17 παρατηρείται ότι η μεταβολή της επικινδυνότητας πλημμύρας τόσο με βάση τη βροχόπτωση (περίπτωση 1) όσο με βάση τις χρήσεις γης (περίπτωση 2) δεν είναι ιδιαίτερα έντονη. Ο χάρτης μεταβολής της επικινδυνότητας πλημμύρας με διαφορετικό MFI και ο αντίστοιχος με τις διαφορετικές χρήσεις γης (Εικόνες 31-38) παρουσιάζουν ότι τα μεγαλύτερα τμήματα όλων των υδατικών διαμερισμάτων έχουν μηδενική μεταβολή. Σχετικά με την πρώτη περίπτωση, η μεταβολή του κινδύνου στα υδατικά διαμερίσματα 9, 11 και 12 είναι μειούμενη με ποσοστά μέσης μεταβολής -0.433, -1.61 και -1.11, αντίστοιχα. Αντίθετα, το υδατικό διαμέρισμα 10 εμφανίζει θετικό πρόσημο στη μέση μεταβολή του με ποσοστό 0.97 %. Οι παραπάνω μεταβολές αφορούν όλους τους προαναφερθέντες παράγοντες με τις χρήσεις γης του 2009 και το δείκτη MFI των δεκαετιών 1994-2004 και 1985-1995. Αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση, όλα τα υδατικά διαμερίσματα παρουσιάζουν θετικά πρόσημα μέσης ποσοστιαίας μεταβολής. Τη μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή (αύξηση) πλημμυρικού κινδύνου εμφανίζει το υδατικό διαμέρισμα 12 (+12.1%), στη συνέχεια ακολουθούν τα διαμερίσματα 10 και 11 με παρόμοια ποσοστά μεταβολής (4.7% και 4.9%), με το διαμέρισμα 9 να μεταβάλλεται (αυξάνεται) κατά 2.97%. Αυτά τα αποτελέσματα αφορούν την μεταβολή της επικινδυνότητας πλημμύρας με κοινό πράγοντα MFI της δεκαετίας 1994-2004 αλλά διαφορετικό χάρτη χρήσεων γης (του

2009 και του 2000, αντίστοιχα). Επομένως, η επίδραση των αλλαγών χρήσεων γης κατά την δεκαετία 2000 – 2009 στις περιοχές μελέτης είναι πολύ μεγαλύτερη από την επίδραση της μεταβολής του δείκτη MFI (έντασης της βροχόπτωσης) στην περίοδο 85-95 με 94-04.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της πρώτης μεθοδολογίας, συμπεραίνεται ότι στο υδατικό διαμέρισμα 09, η μεγάλη επικινδυνότητα πλημμύρας που χαρακτηρίζει το κεντρικό και ανατολικό τμήμα της οφείλεται στην παρουσία των υδάτινων σωμάτων στα πεδινά τμήματα της υδρολογικής λεκάνης που καλύπτονται κυρίως από καλλιέργειες και οικισμούς. Από γεωλογικής άποψης παρατηρείται ότι τα τεταρτογενή ιζήματα εμφανίζονται να είναι περισσότερο ευάλωτα στο φαινόμενο σε σχέση με τα βραχώδη. Επιπλέον, στα ανατολικά η αύξηση της επικινδυνότητας της πλημμύρας οφείλεται στην χωρικά μεγαλύτερη ένταση της βροχόπτωσης στο τμήμα αυτό, κατά την δεκαετία 1994-2004. Ωστόσο στα δυτικά και στα βορειοδυτικά του υδατικού διαμερίσματος η μείωση του κινδύνου της πλημμυρογένεσης οφείλεται περισσότερο στην ελάττωση της βροχόπτωσης κατά την ίδια δεκαετία και λιγότερο στις χρήσεις γης όπου δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές.

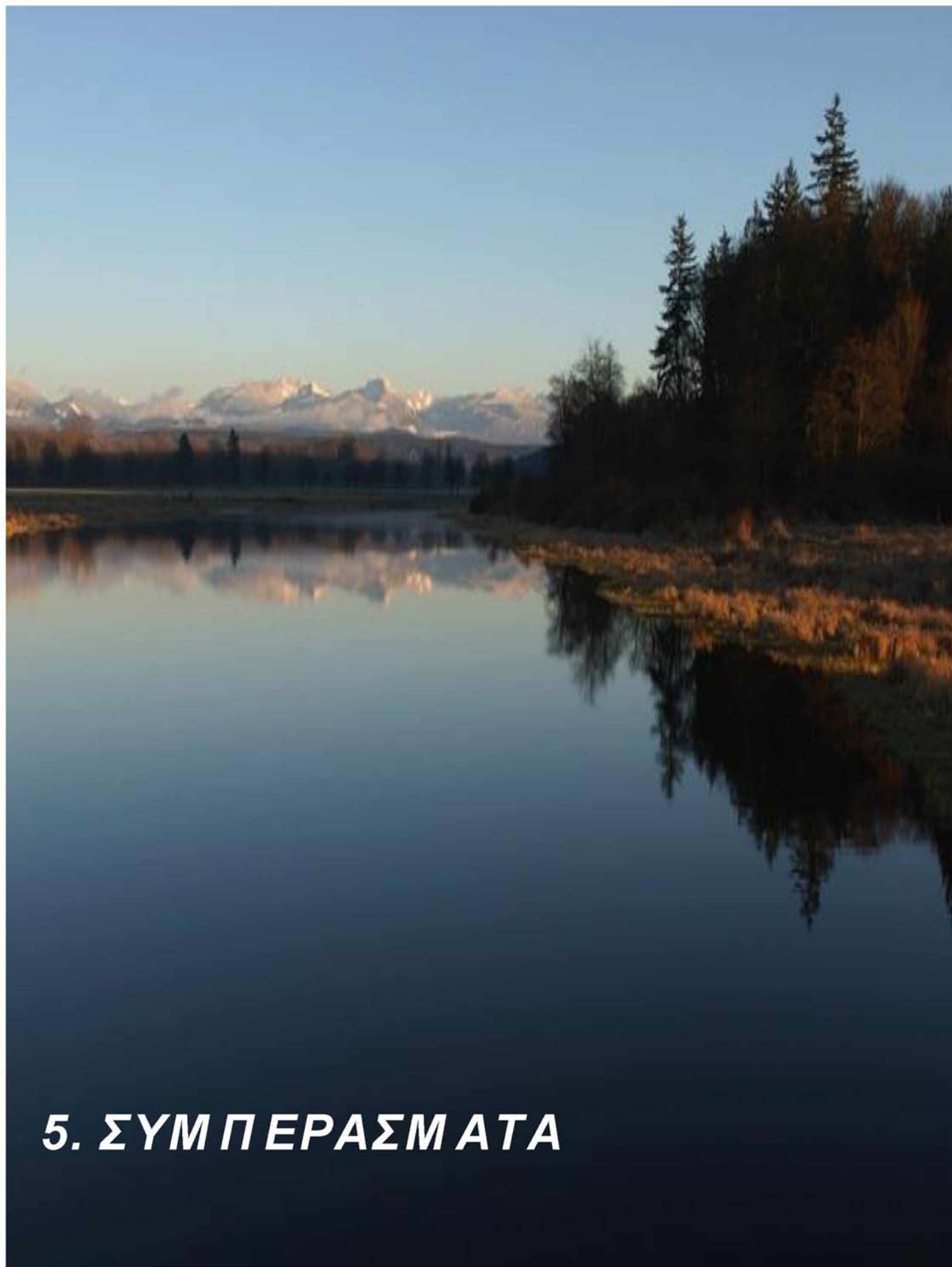
Στο υδατικό διαμέρισμα 10 δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές στην επικινδυνότητα της πλημμύρας. Εξάιρεση αποτελεί το δυτικό και το νότιο τμήμα του υδατικού διαμερίσματος 10 όπου η επικινδυνότητα του φαινομένου αυξάνεται κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1994-2004 (σε σχέση με την περίοδο 1985-1995) λόγω αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης και αντικατάσταση της καλλιεργήσιμης γης με χέρσα γη και θαμνότοπους.

Στο υδατικό διαμέρισμα 11 η αύξηση της έκτασης του κινδύνου πλημμυρογένεσης οφείλεται στην μεγάλη ένταση της βροχόπτωσης κατά την διάρκεια της δεκαετίας 1994-2004. Την ίδια δεκαετία παρατηρείται αύξηση των δασικών εκτάσεων στα ανατολικά με αποτέλεσμα την μείωση της επικινδυνότητας της πλημμύρας στην συγκεκριμένη περιοχή. Τέλος, κατά την χρονική περίοδο 1994-2004, στα βορειοδυτικά του υδατικού διαμερίσματος 11 παρατηρείται μείωση της έκτασης των υδάτινων σωμάτων (Λ. Κερκίνη) και κάλυψη της από χέρσα γη και θάμνοτοπους που οδηγεί στην μείωση του κινδύνου της πλημμύρας.

Στο υδατικό διαμέρισμα 12, η ένταση της βροχόπτωσης κατά την δεκαετία 1994-2004 αυξήθηκε σε μεγάλο βαθμό και συντέλεσε στην αύξηση της επικινδυνότητας στο

βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής η οποία ενισχύθηκε και από την αύξηση της αγροτικής γης στο τμήμα αυτό. Μείωση του κινδύνου εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά και κεντρικά του διαμερίσματος 12, η οποία συνοδεύεται από την αύξηση μικτών δασικών εκτάσεων και την εγκατάλειψη καλλιεργούμενων εκτάσεων κατά την περίοδο 1985 - 2004.

Ως προς την ανάλυση ευαισθησίας που ακολούθησε για την πρώτη μεθοδολογία του Kourgialas & Karatzas (2011), υπέδειξε ότι η εναλλαγή του δείκτη MFI (1994-2004 και 1985-1995, πρώτη περίπτωση) και των χρήσεων γης (Corine 2009 και Corine 2000, δεύτερη περίπτωση) για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας μεταβολής του κινδύνου πλημμύρας στην περιοχή του Έβρου δεν προκάλεσε ιδιαίτερη μεταβολή στον εν λόγω κίνδυνο. Παρά το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα τμήματα των υδατικών διαμερισμάτων χαρακτηρίζονται από μηδενική μεταβολή όσον αφορά τον κίνδυνο πλημμύρας και στις δύο περιπτώσεις, ενδεικτικά αναφέρεται ότι στην πρώτη περίπτωση (μεταβολή βροχόπτωσης) εντοπίστηκε μια τάση μείωσης του κινδύνου ενώ στη δεύτερη περίπτωση εμφανίστηκε μια τάση αύξησης (μεταβολή χρήσεων γης). Αυτό συνέβη διότι, η ένταση της βροχόπτωσης (δείκτης MFI) σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης παρουσίασε μια σχεδόν σταθερή τιμή μεταξύ των περιόδων 85-95 και 94-04 ενώ οι αλλαγές στις χρήσεις γης την ίδια περίοδο ήταν σημαντικές. Έτσι προέκυψε ότι η επίδραση των εν λόγω αλλαγών χρήσεων γης στην επικινδυνότητα πλημμύρας ήταν πολύ μεγαλύτερη από ότι η επίδραση της βροχόπτωσης και αύξησε την επικινδυνότητα κατά περίπου 6% στο διάστημα 1985-2004.



## **5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Οι πλημμύρες είναι μια σημαντική απειλή για το περιβάλλον, όπως έχει αποδειχθεί μετά από πολλά παγκόσμια γεγονότα πλημμυρικού φαινομένου κατά την τελευταία δεκαετία. Η χαρτογράφηση της επικινδυνότητας πλημμύρας και η εκτίμησή της προϋποθέτουν την κατανόηση της φύσης και των χαρακτηριστικών του κινδύνου ώστε να ληφθεί η κατάλληλη απόφαση για τη διαχείριση του φαινομένου. Ωστόσο, το πρόβλημα της εκτίμησης της επικινδυνότητας της πλημμύρας δεν είναι πάντα μια απλή υπόθεση. Σήμερα, οι εκτιμήσεις κινδύνων πλημμύρας μπορούν να διερευνηθούν με χρήση GIS χρησιμοποιώντας ποιοτικές και ποσοτικές τεχνικές. Υπάρχουν πολλές ποιοτικές και ποσοτικές τεχνικές χρήσιμες για την ανάλυση της σχέσης μεταξύ των πλημμυρών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν.

Στην συγκεκριμένη εργασία αξιολογήθηκαν δύο μέθοδοι εκτίμησης της επικινδυνότητας πλημμύρας στην Βόρεια Ελλάδα. Στην πρώτη μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκαν έξι παράγοντες στην πολυκριτηριακή ανάλυση, η συσσώρευση ροής, η κλίση, οι χρήσεις γης, η ένταση της βροχόπτωσης, η γεωλογία και το υψόμετρο. Κάθε παράγοντας που εν δυνάμει συντελεί στην πλημμύρα αποτυπώθηκε με έναν συντελεστή βαρύτητας ανάλογα με την συνεισφορά του στην επικινδυνότητα του φαινομένου. Ο χάρτης επικινδυνότητας δημιουργήθηκε από την αλγεβρική πρόσθεση των προαναφερθέντων παραγόντων. Τέλος, η περιοχή μελέτης χωρίζεται σε τέσσερις ζώνες επικινδυνότητας πλημμύρας, δηλαδή, πολύ χαμηλή, χαμηλή, μεσαία και υψηλή. Οι υψηλές ζώνες κινδύνου διανέμονται κυρίως σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο και μεγάλες τιμές βροχοπτώσεων.

Στην δεύτερη μεθοδολογία, οι παράγοντες που συντέλεσαν στην εκτίμηση της επικινδυνότητας πλημμύρας είναι το υψόμετρο, ο δείκτης κάλυψης βλάστησης, ο δείκτης δικτύου αποστράγγισης, ο δείκτης διερχόμενης πλημμύρας και η βροχόπτωση. Ο χάρτης επικινδυνότητας δημιουργήθηκε και σε αυτήν την περίπτωση από την αλγεβρική πρόσθεση των προαναφερθέντων δεικτών. Στην συγκεκριμένη μεθοδολογία ο πλημμυρικός κίνδυνος της Βόρειας Ελλάδας χωρίζεται σε πέντε ζώνες επικινδυνότητας δηλαδή πολύ χαμηλή, χαμηλή, μεσαία και υψηλή και πολύ υψηλή.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια διαθέσιμων δορυφορικών εικόνων της υπό μελέτη περιοχής, πραγματοποιήθηκε επικύρωση των αποτελεσμάτων των δύο μεθοδολογιών στην περιοχή του ποταμού Έβρου. Η προαναφερθείσα επικύρωση υπέδειξε ότι τα αποτελέσματα της πρώτης μεθοδολογίας είναι πολύ πιο ακριβή και αξιόπιστα, τουλάχιστον σε ότι αφορά τις εν λόγω πλημμυρισμένες περιοχές. Επιπρόσθετα, η

ανάλυση ευαισθησίας που εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα της πρώτης μεθοδολογίας, απέδειξε ότι ο κίνδυνος της πλημμυρικής επικινδυνότητας επηρεάζεται πολύ περισσότερο από τις μεταβολές των χρήσεων γης και λιγότερο από τη βροχόπτωση που σημειώνεται στην εκάστοτε περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, οι μεταβολές των χρήσεων γης αύξησαν την επικινδυνότητα κατά περίπου 6% στο διάστημα 1985-2004.

Παρόλη την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε χαρακτηρίζεται και από κάποιες αδυναμίες. Κάποια ενδεχόμενα σφάλματα στα δεδομένα, η έλλειψη περισσότερων διαθέσιμων δεδομένων ή ψηφιακών δεδομένων εδάφους υψηλής ανάλυσης δημιουργούν εμπόδια κατά την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης αλλά και στην ακρίβειά τους. Κάποιες ενέργειες που θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν στο μέλλον ως εξέλιξη και βελτίωση της παρούσας εργασίας, θα ήταν η χρήση πιο λεπτομερών δεδομένων (μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής ανάλυσης). Επιπροσθέτως, περισσότερα δεδομένα τηλεπισκόπισης από πλημμυρικά γεγονότα θα οδηγούσαν στην αξιολόγηση και την περαιτέρω ακρίβεια της μεθόδου ενώ θα ήταν χρήσιμο να επιχειρηθεί μια βελτίωση των συντελεστών βαρύτητας και προσαρμογή τους στα Ελληνικά δεδομένα προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα και ακρίβεια της μεθόδου.

Παρά τους περιορισμούς αυτούς, η συγκεκριμένη διατριβή μπορεί να οδηγήσει σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Με βάση αυτά, καθίσταται δυνατή η πρόβλεψη των περιοχών που θεωρούνται πιο πιθανό να πλημμυρίσουν και η σωστή λήψη αποφάσεων από τις τοπικές αρχές. Η εν λόγω μεθοδολογία αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο που δίνει τη δυνατότητα στις τοπικές αρχές να προειδοποιούνται για την επικινδυνότητα του πλημμυρικού φαινομένου και να διαθέτουν πόρους στα πλαίσια ενός τοπικού προγράμματος εκτίμησης των πλημμυρών.

Αξίζει να τονιστεί, ότι απομένει μεγάλο μέρος έρευνας με σκοπό τη βελτίωση της εκτίμησης των κινδύνων πλημμύρας. Προτείνεται να γίνουν προσπάθειες για τη δημιουργία υψηλής ανάλυσης ψηφιακών δεδομένων εδάφους στις ζώνες που χαρακτηρίζονται από υψηλό κίνδυνο ώστε να βελτιωθεί η αξιολόγηση της επικινδυνότητας πλημμύρας και να ενισχυθεί η παραγωγή αλληλένδετων χαρτών. Επιπλέον, άλλοι γεωγραφικοί παράγοντες όπως η συχνότητα των πλημμυρών και οι κοινωνικοοικονομικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθητοποίησης του κοινού για την πρόληψη των πλημμυρών, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν ως



σημαντικά κριτήρια στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, για την καλύτερη αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας και τη χαρτογράφησή τους. Τέλος, η συγκεκριμένη ερευνητική προσπάθεια είναι μόνο ένα από τα πρώτα βήματα στην περιφερειακή αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας της Βόρειας Ελλάδας και είναι απαραίτητο να δοθεί συνέχεια με μελέτες σε μεγαλύτερη κλίμακα.

## **6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**



Ελληνική Βιβλιογραφία:

- ΙΣΤΑΜΕ. Ενημερωτικό Δελτίο, τεύχος 16, Βρυξέλλες, 18 Ιανουαρίου 2006, «Κοινωνία πράσινης ανάπτυξης»
- Μιμίκου Μ.(2004), Σημειώσεις μαθήματος «Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2004
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, 2007. Για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Πάνου, Ε.(2008), «Το πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα - διαχείριση πλημμυρών στα πλαίσια της οδηγίας πλαίσιο 2000/60: η περίπτωση του Πηνειού Θεσσαλίας», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Αθήνα 2008
- Τσακίρης Π. (2009), «Εκτίμηση οικονομικών ζημιών από πλημμύρες. Μελέτη περίπτωσης, Διευθέτηση ρέματος Ραφήνας»
- Φώτης, Γ.Ν (2010), Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Εκδόσεις Γκοβόστη, Αθήνα

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

- Camarasa B., A. M. & Beltran S., (2001), Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain. *Catena* 45(3), 229–249
- Correia F., Rego F., Saraiva M., Ramos I. (1998), Coupling GIS with hydrologic and hydraulic flood modelling. *Water Resour Manag* 12, 229–249
- Dikau R. (1989), The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In, Raper, J. (Ed.), *Three Dimensional Application in Geographic Information Systems*, Taylor and Francis, London, 51-77
- Eimers, J. L., Weaver, J. C., Terziotti, S. & Midgette, R. W. (2000), Methods of rating unsaturated zone and watershed characteristics of public water supplies in North Carolina. Raleigh, NC, *Water Resour. Invest. Report* 99–4283
- Fernández D.S., Lutz M.A.,(2009), Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis, *Engineering Geology* 111 (2009) 90–98
- Georgakakos, K., P., Guetter, A., K., Sperfslage, J., A., 1997, Estimation of Flash Flood Potential for large areas. *IAHS Publication No. 239*, 87-100

- Hajkiewicz S., Collins K. (2007), A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resource Management* 21,1553–1566
- He B., Zhang H., Zhang S, Ding GP (2002), GIS-based risk evaluation for flood disaster in Hubei province. *J Nat Disasters* 11(4), 84–89, in Chinese
- Islam A. El Sayed H, Bastawesy M., GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt, National Authority for Remote Sensing and Space Sciences (NARSS), Cairo, Egypt
- Kourgialas & Karatzas (2011), Estimating Flood Inundation And The Consequent Economic Losses In The Koiliaris River Basin In Crete, Greece
- Kwak, Y. & Kondoh, A. (2008), A study on the extraction of multifactor influencing floods from RS image and GIS data; a case study in Nackdong basin, S. Korea. Beijing: *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII (Part B8)*, 421–426
- Learn H., 2008, Scientific journey to Natural Hazards and Disasters (Shield Project) Φυσικοί Κίνδυνοι: Πλημμύρες και καταγίδες. (<http://www.learnhazards.org/5.php?l=gr>)
- Malby, A. R., Whyatt, J. D., Timmis, R. J., Wilby, R. J. & Orr, H. G. (2007), Long-term variations in orographic rainfall: analysis and implications for upland catchments. *Hydrol. Sci. J.* 52(2), 276–291.
- Lekkas, E. (2009), Landslide hazard and risk in geologically active areas. The case of the caldera Santorini volcano island complex. *International Association For Engineering Geology*, 417-423, Chengdu
- Mao Dh. (2001), Comprehensive assessment and analysis on the risk degree of flood-waterlogging
- Meyer V., Scheuer S., Haase D. (2008), A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany, *Nat Hazards* (2008) 48, 17–3
- Morgan, R. P. C. (2005), Soil Erosion and Conservation. Oxford, Blackwell Publishing Ltd in Dongting Lake region. *J Nat Disasters* 10(4), 104–107, in Chinese.
- Okoduwa, A. I. (1999). An Application of GIS to Flood Prediction, A Case Study of Benin City, Nigeria. Unpublished B. Sc. Dissertation, Department of Geography and Planning University of Benin, Nigeria.
- Pistrika A., Tsakiris G., 2007, Flood Risk Assessment, A Methodological Framework Centre for the Assessment of Natural Hazard & Proactive Planning, National Technical University of Athens, Greece
- Schultz B., 2006, Opportunities and threads for lowland development. Concepts for water management, flood protection and multifunctional land use, 9th Inter-Regional

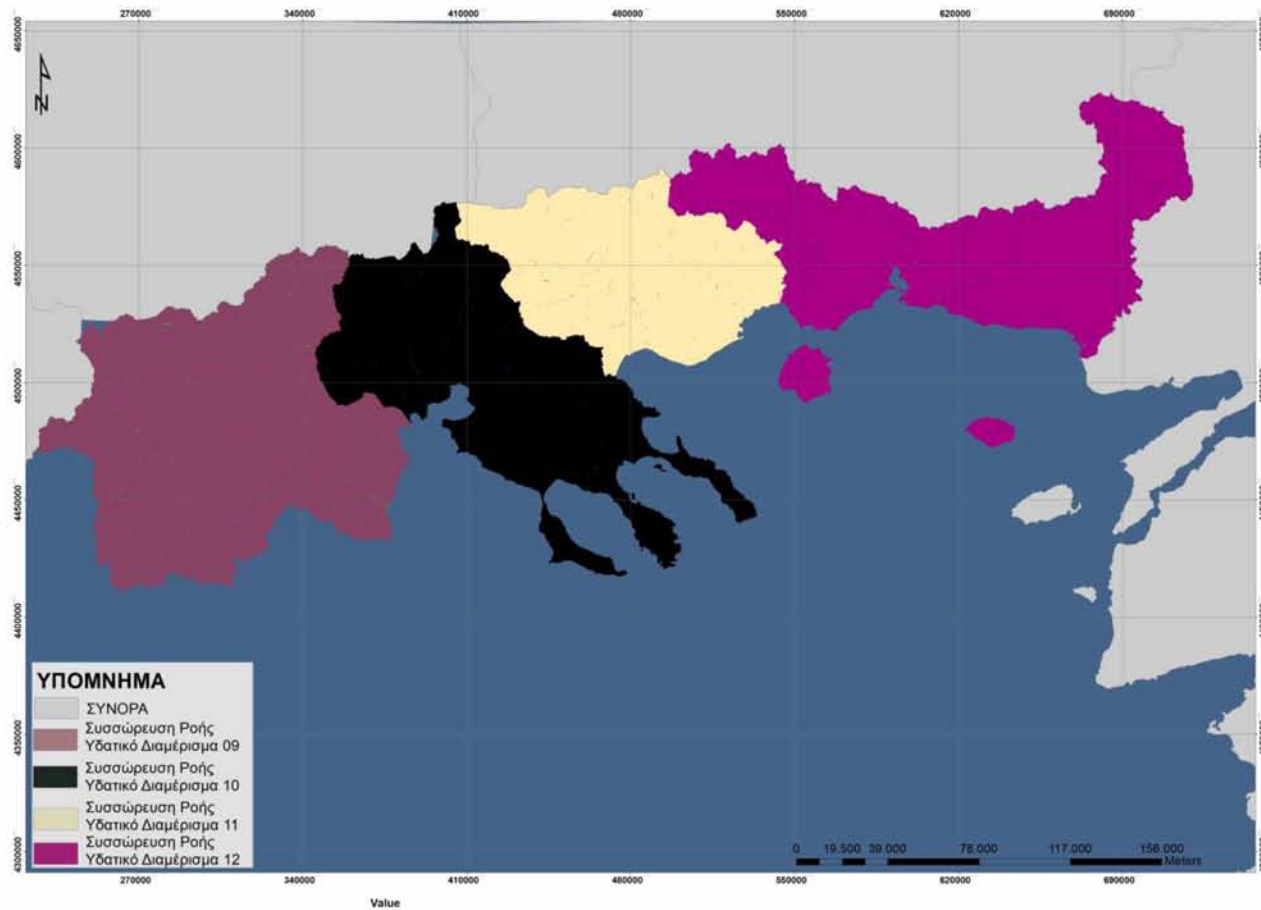
- Conference on Environment-Water ENVROWATER 2006, 17-19 May, Delft, the Netherlands, Keynote address, 15
- Schäuble, H., Marinoni, O. & Hinderer, M. (2008), A GIS-based method to calculate flow accumulation by considering dams and their specific operation time. *Comput. Geosci.* 34(6), 635–646
  - Silverman Bw. (1986), Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London
  - Smith, K. (1996), «Environmental Hazards, Assessing risk and reducing disaster». Routledge, London and New York
  - Svoboda, A. (1991), Changes in flood regime by use of the modified curve number method. *Hydrol. Sci. J.* 36(5), 461–470
  - Tang C, Zhu J. (2005), A GIS based regional torrent risk zonation. *Acta Geograph Sin* 60(1), 87–94, in Chinese
  - Toraichi K, Yang K, Kamada M, Mori R. (1988), Two-dimensional spline interpolation for image reconstruction. *Pattern Recogn* 21(3), 275–284
  - Tucci, E., (2007), Urban Flood Management, World Meteorological Organization, WMO/TD-No 1372
  - Wan Q. et al (1999), Analysis and evaluation for flood disaster system. Science, Beijing in Chinese
  - Wang Y., Zhongwn L. , Tang Z. , Zeng G. (2011) , A Gis-Based Multi-Criteria Approach For Flood Risk Assessment In The Dongting Lake Region, Hunan, Central China
  - Weiguo J.,Lei D., Luyao C., Jianjun W., Jing L.,(2008), Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics, *Natural Science* 19 (2008) 1419–1425
  - Werner M. (2004), Spatial flood extent modelling: a performance-based comparison. Delft University Press, Delft
  - Yahaya, S., Ahmad, N. & Abdalla, R.F. (2010), Multicriteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are River basin, Nigeria. *Eur. J. Sci. Res.* 42(1), 71–83
  - Zerger, A. (2002), Examining GIS decision utility for natural hazard risk modelling. *Environ. Model. Software* 17(3), 287–294

- Zhou C., Wan Q., Huang S. (2000), A GIS-based approach to flood risk zonation. Acta Geograph Sin 55 (1), 15–24, in Chinese

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

## ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΡΩΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

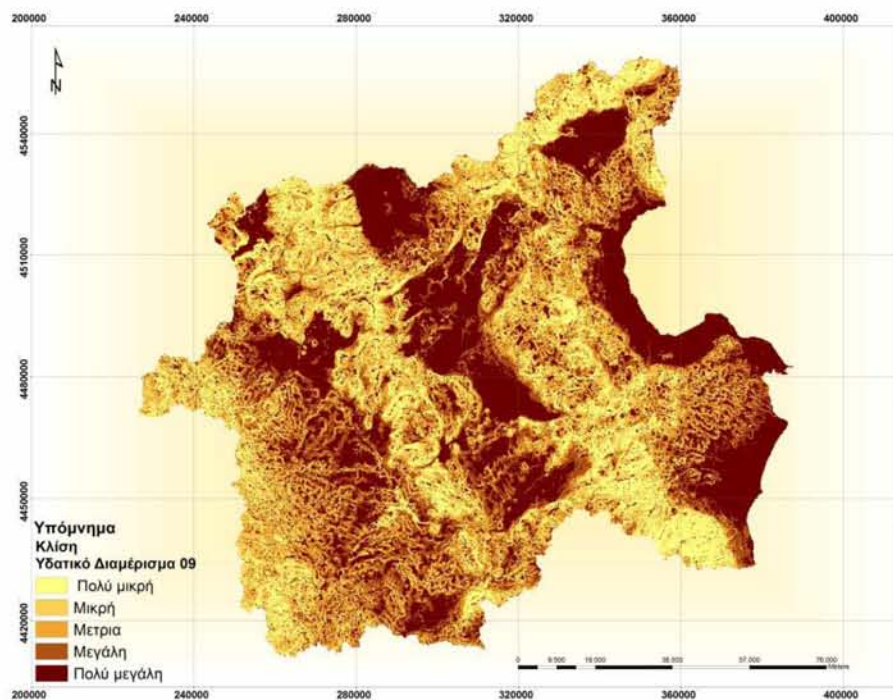
### Ι.1 Συσσώρευση Ροής



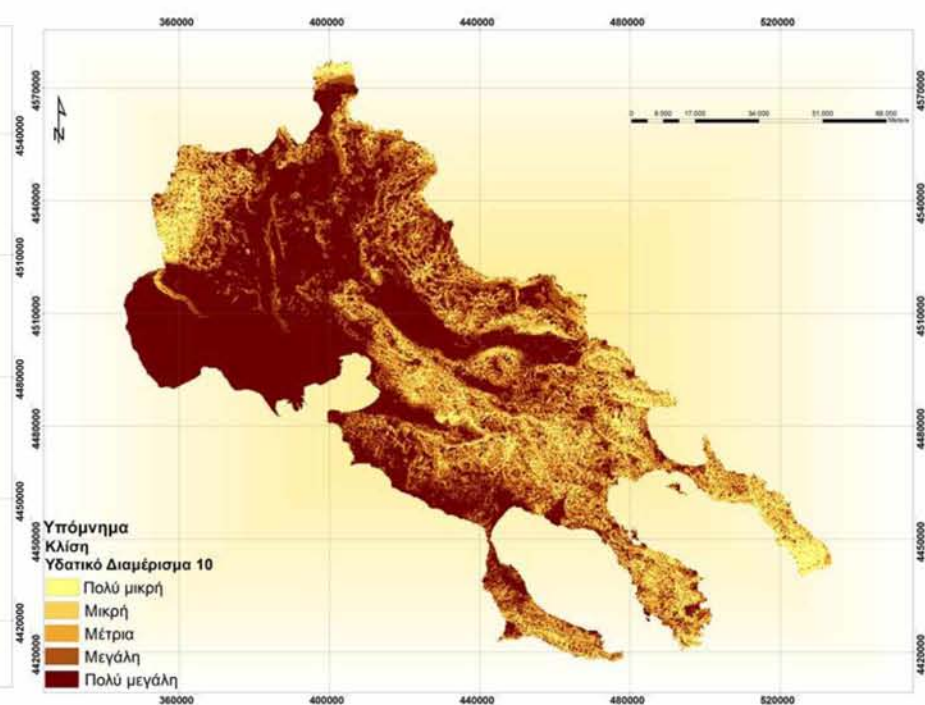
Εικόνα 39:Χάρτης συσσώρευσης ροής στη Βόρεια Ελλάδα.



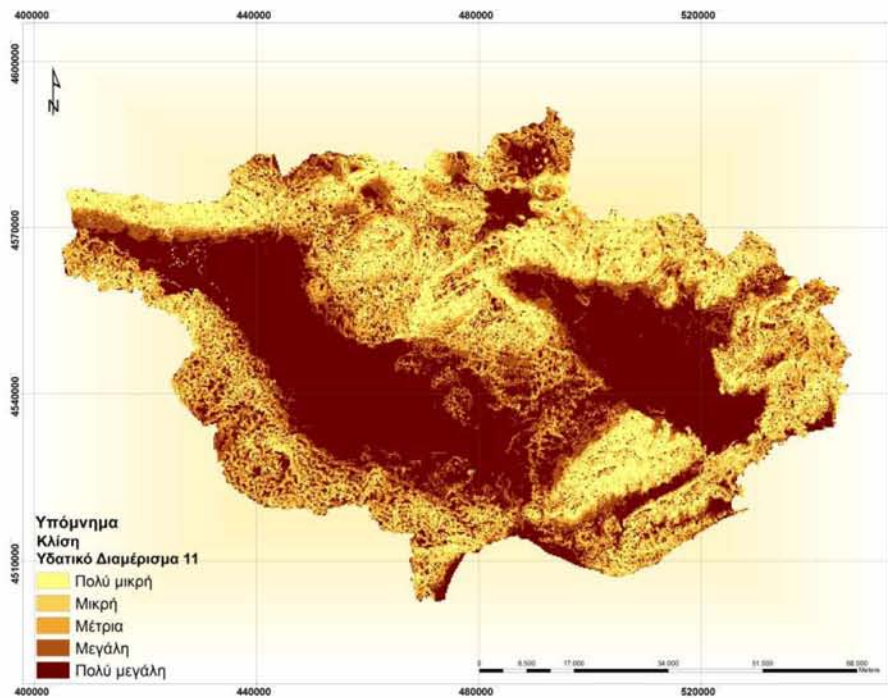
## Ι.2 Κλίση



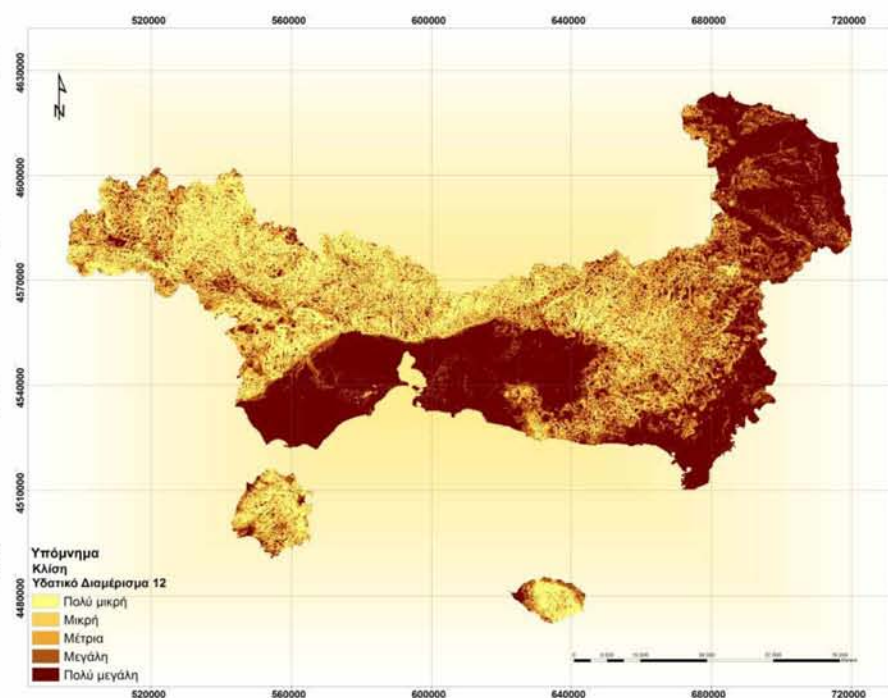
Εικόνα 40: Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 09.



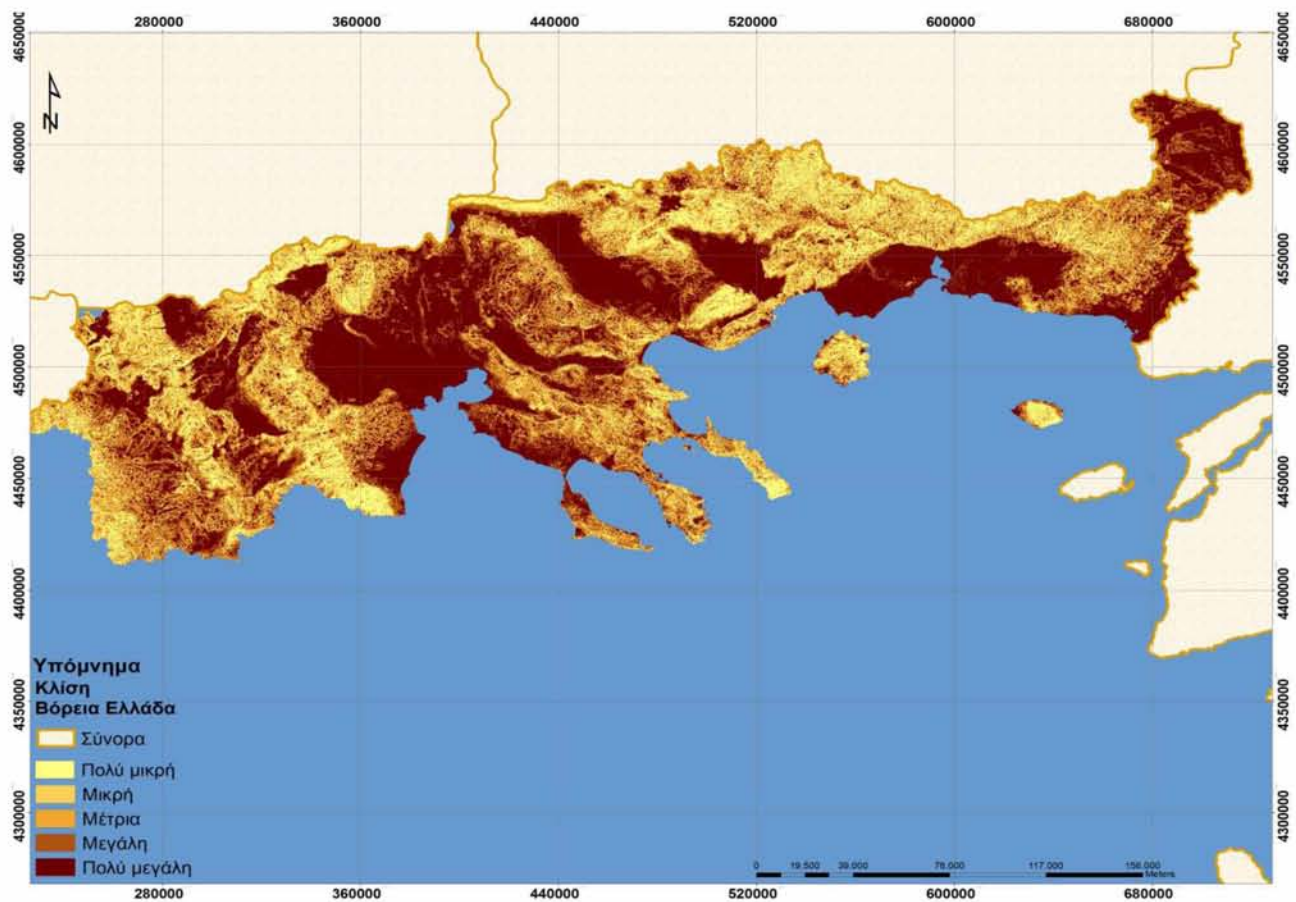
Εικόνα 41: Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 10.



Εικόνα 42: Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 11.

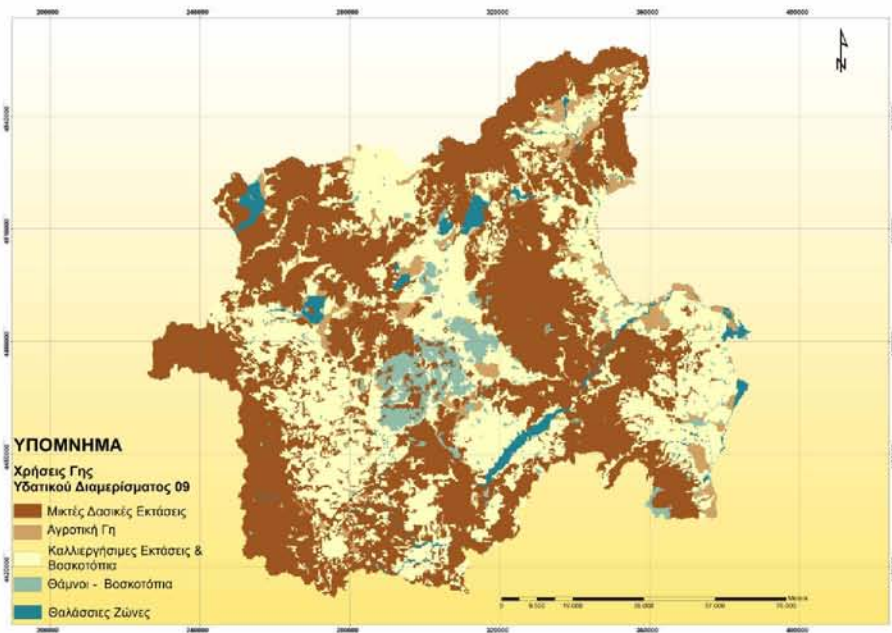


Εικόνα 43: Χάρτης κλίσης υδατικού διαμερίσματος 12.

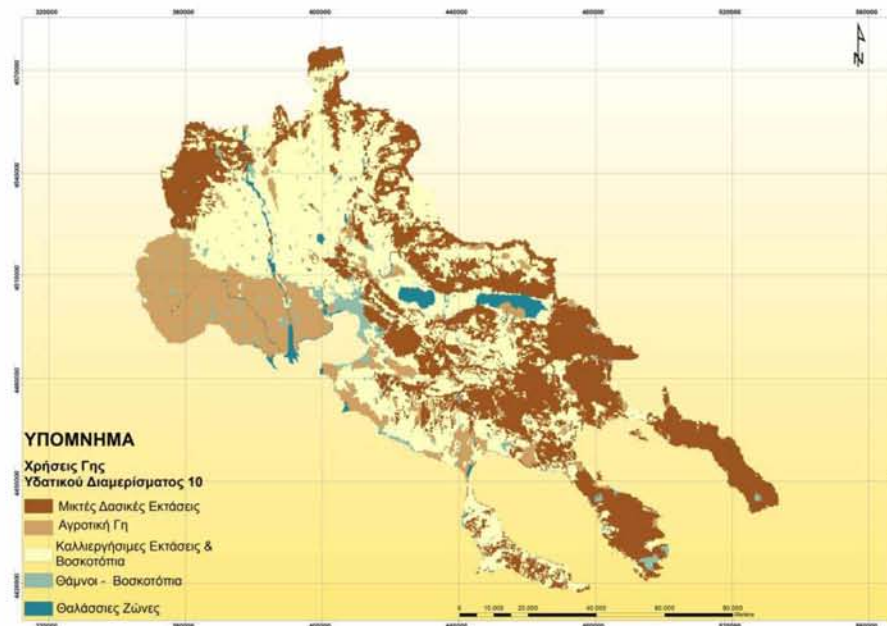


Εικόνα 44: Χάρτης κλίσης Βόρειας Ελλάδας.

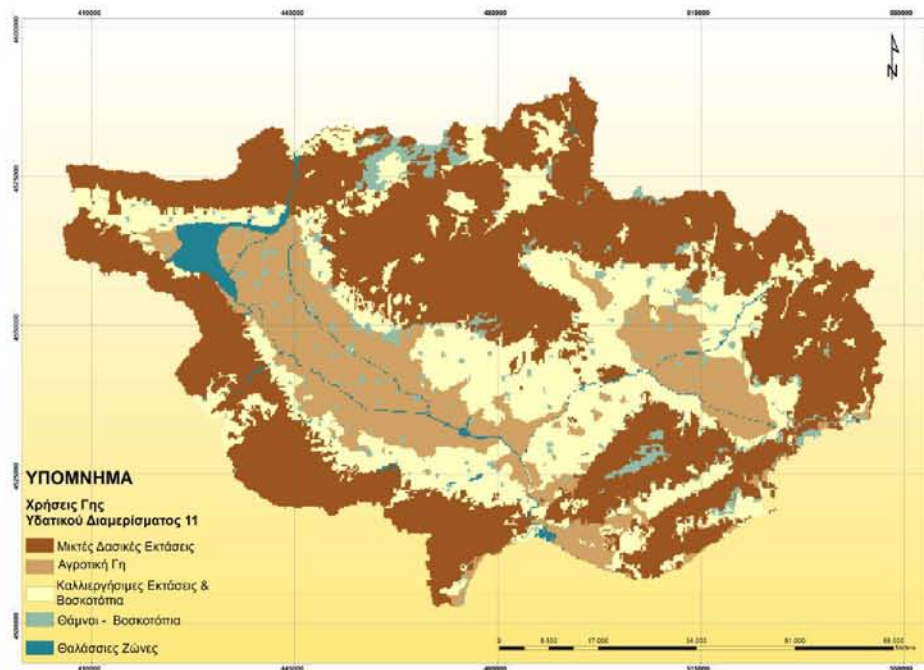
### 1.3 Χρήσεις γης 2000



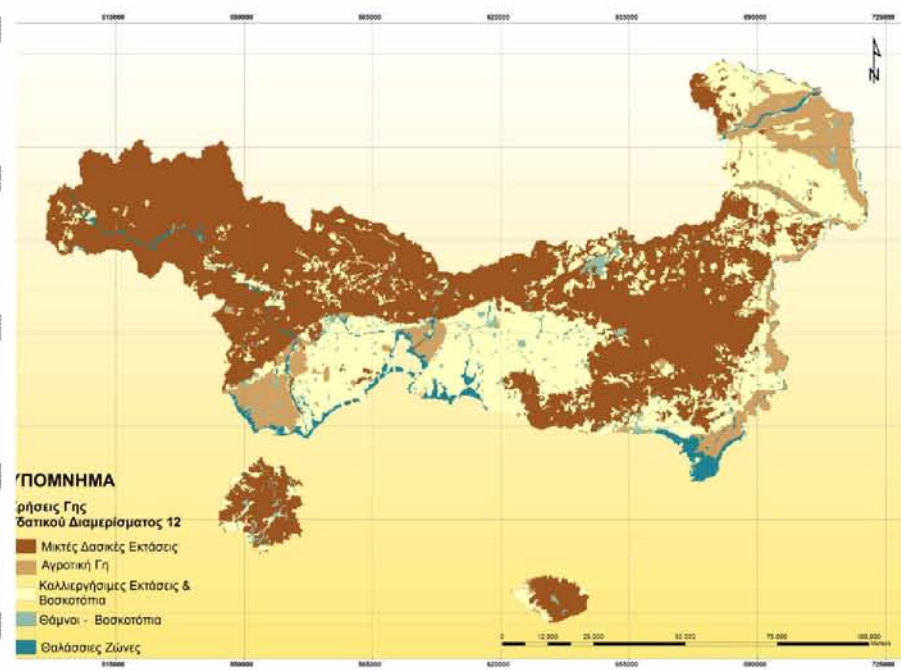
Εικόνα 45: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 09.



Εικόνα 46: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 10.

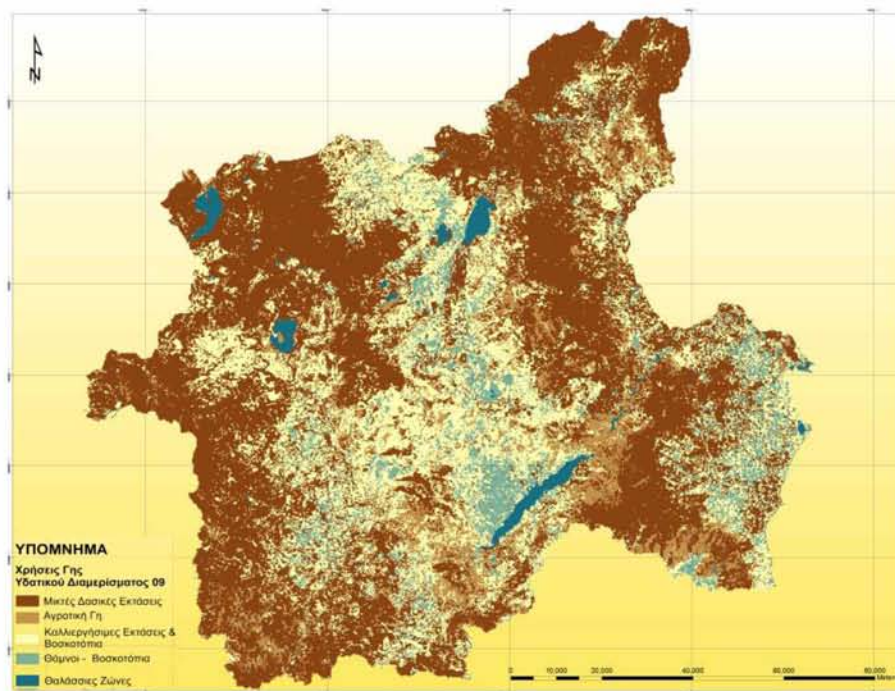


Εικόνα 47: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 11

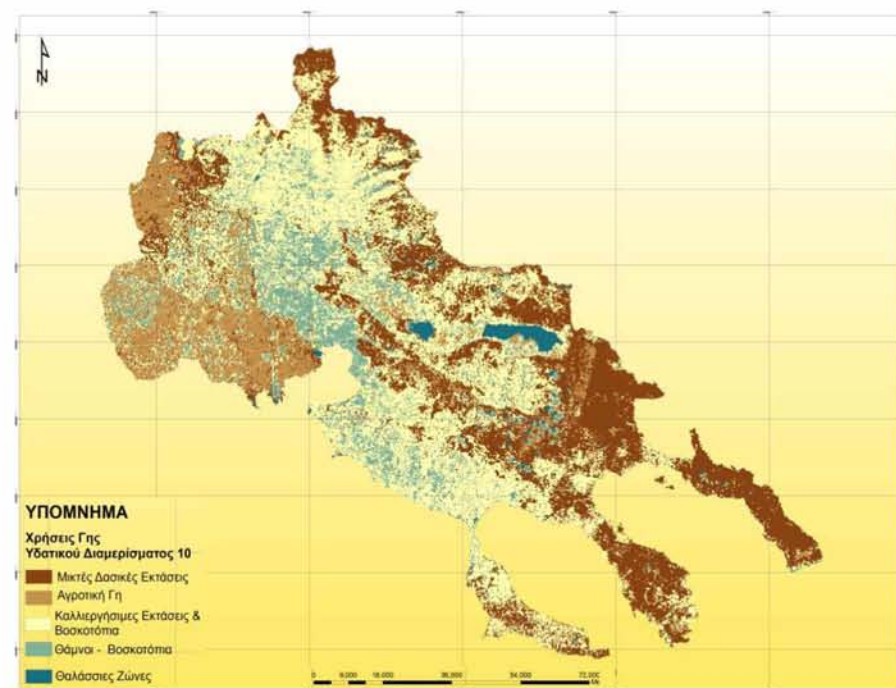


Εικόνα 48: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 12.

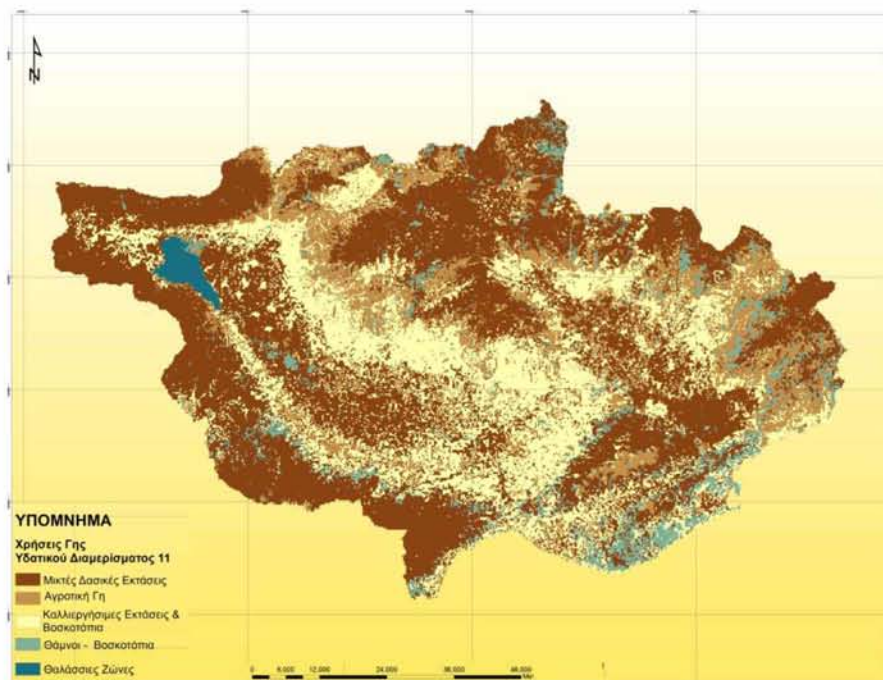
### 1.4 Χρήσεις γης 2009



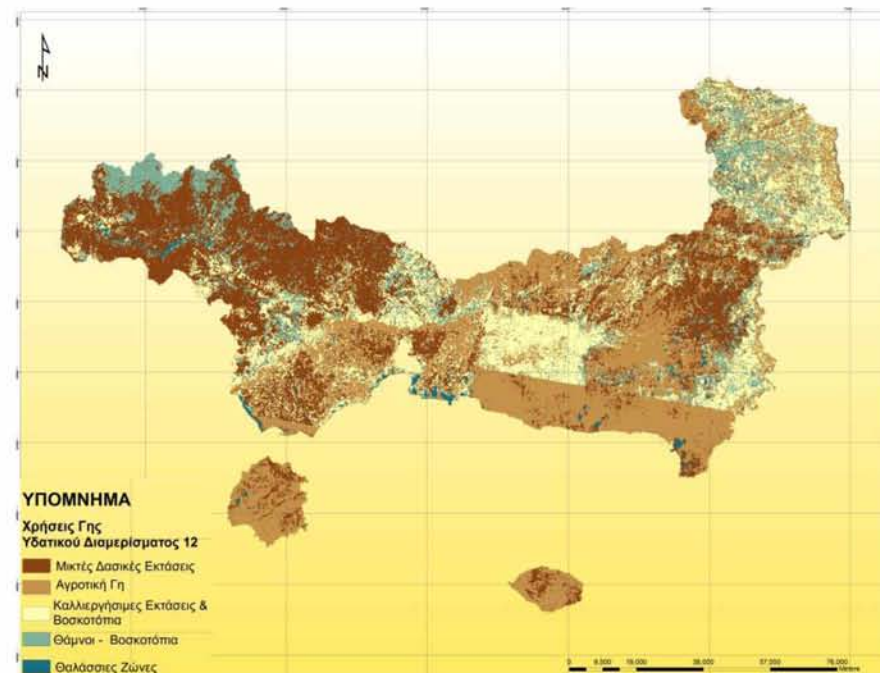
Εικόνα 49: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 09.



Εικόνα 50: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 10.

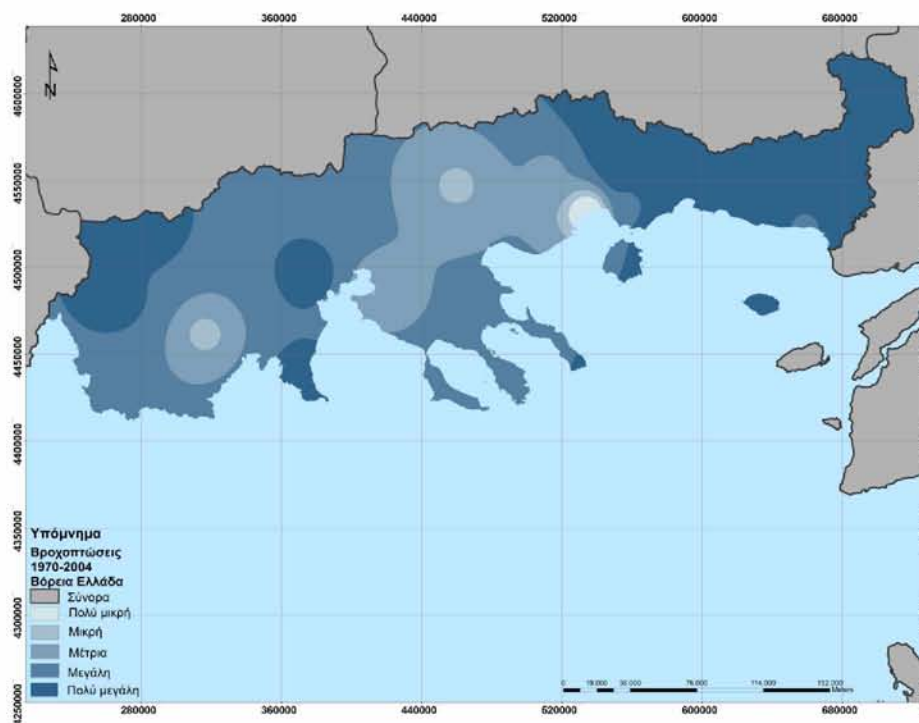


Εικόνα 51: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 11.

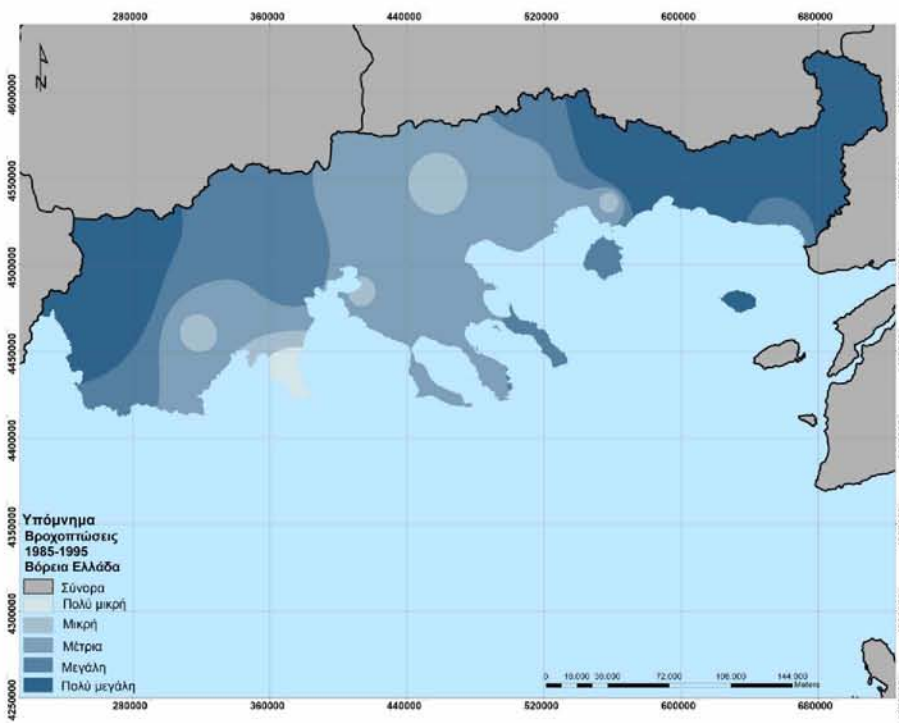


Εικόνα 52: Χάρτης χρήσεων γης υδατικού διαμερίσματος 12.

### 1.5 Ένταση βροχόπτωσης

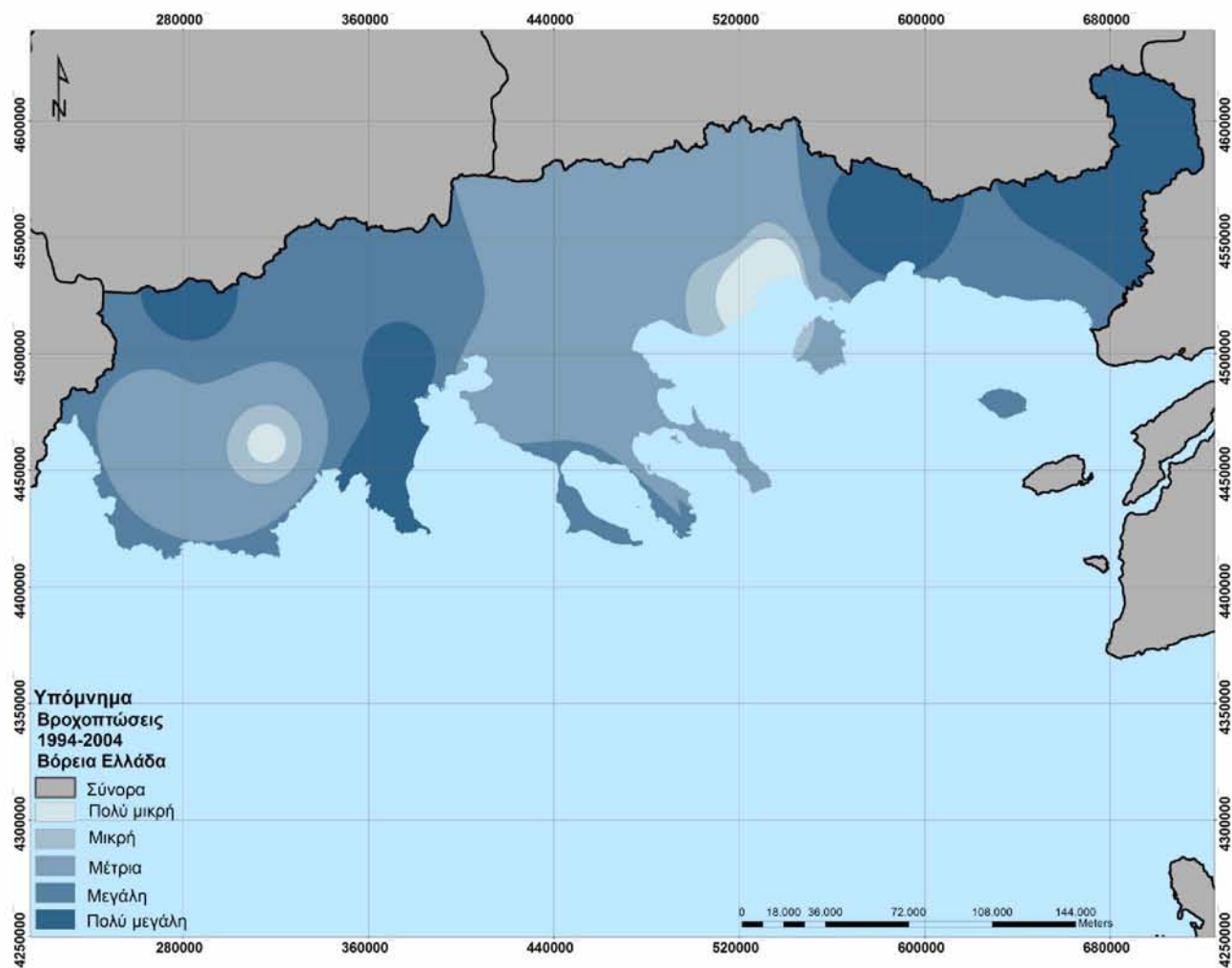


Εικόνα 53: Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα από 1970-2004.



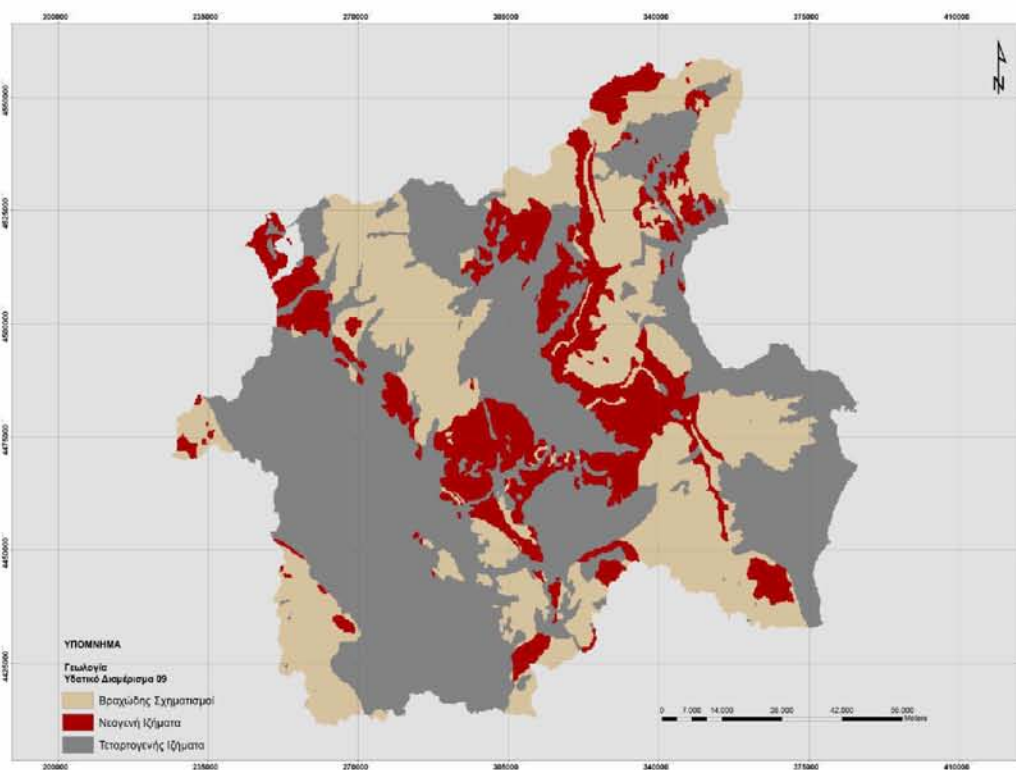
Εικόνα 54: Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα από 1985-1995



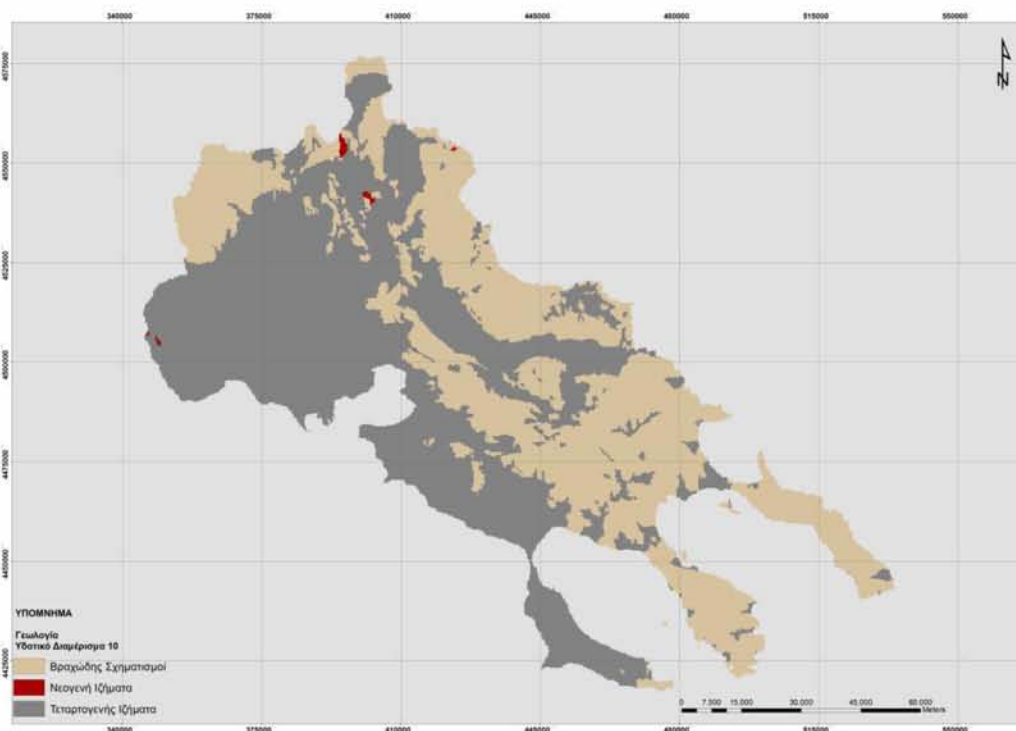


Εικόνα 55: Χάρτης έντασης βροχόπτωσης για τη Βόρεια Ελλάδα από 1994-2004.

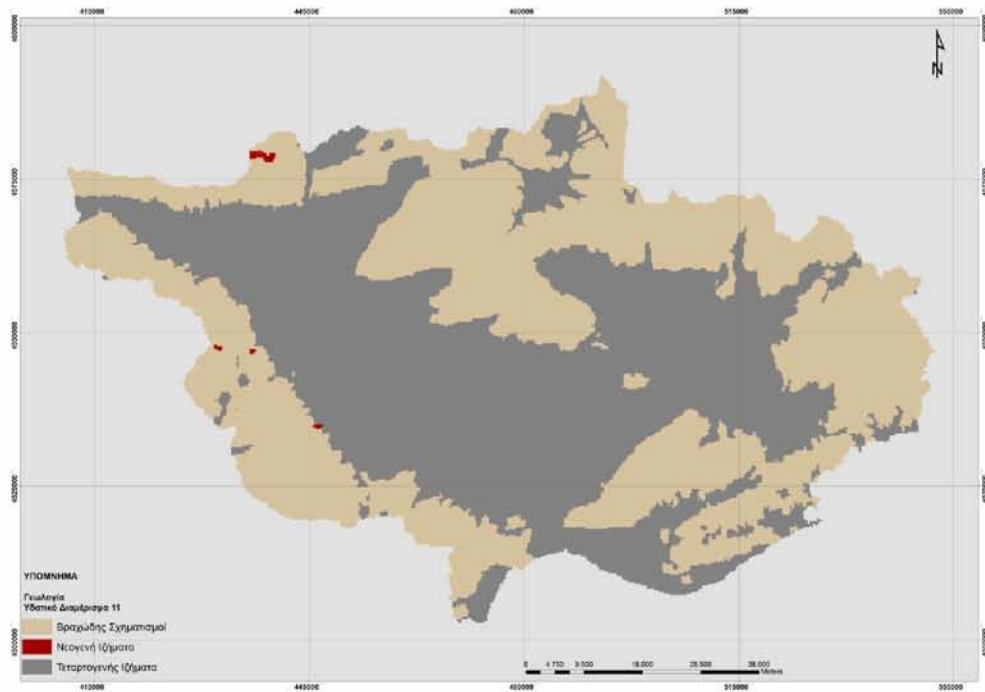
## 1.6 Γεωλογία



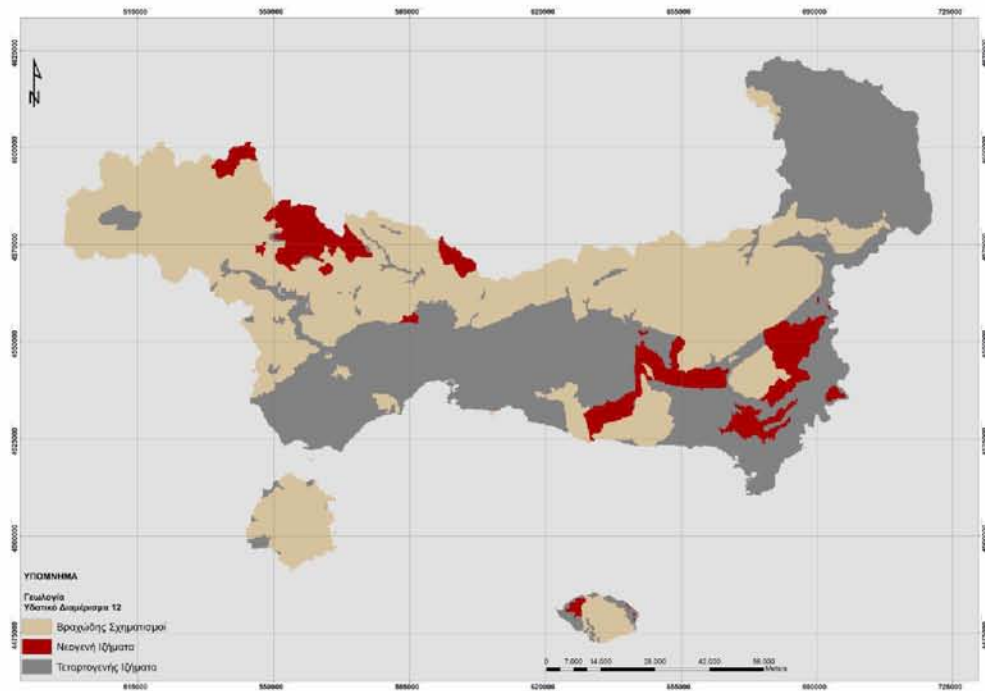
Εικόνα 56: Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 09



Εικόνα 57: Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 10

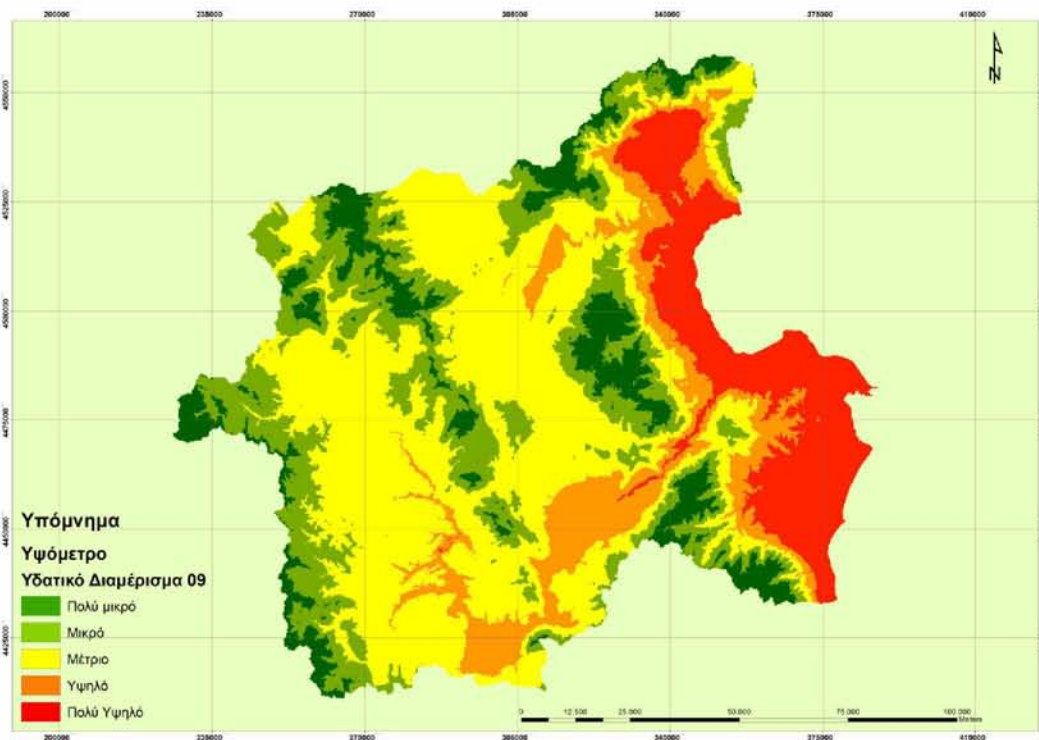


Εικόνα 58: Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 11

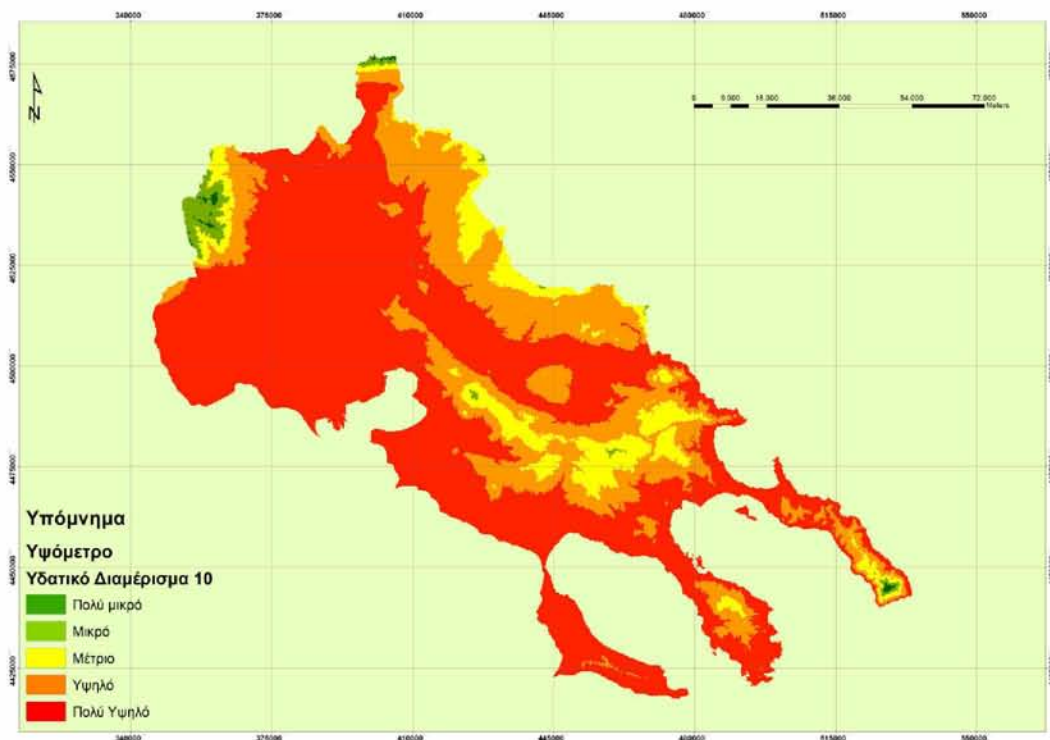


Εικόνα 59: Χάρτης Γεωλογίας Υδατικού Διαμερίσματος 12

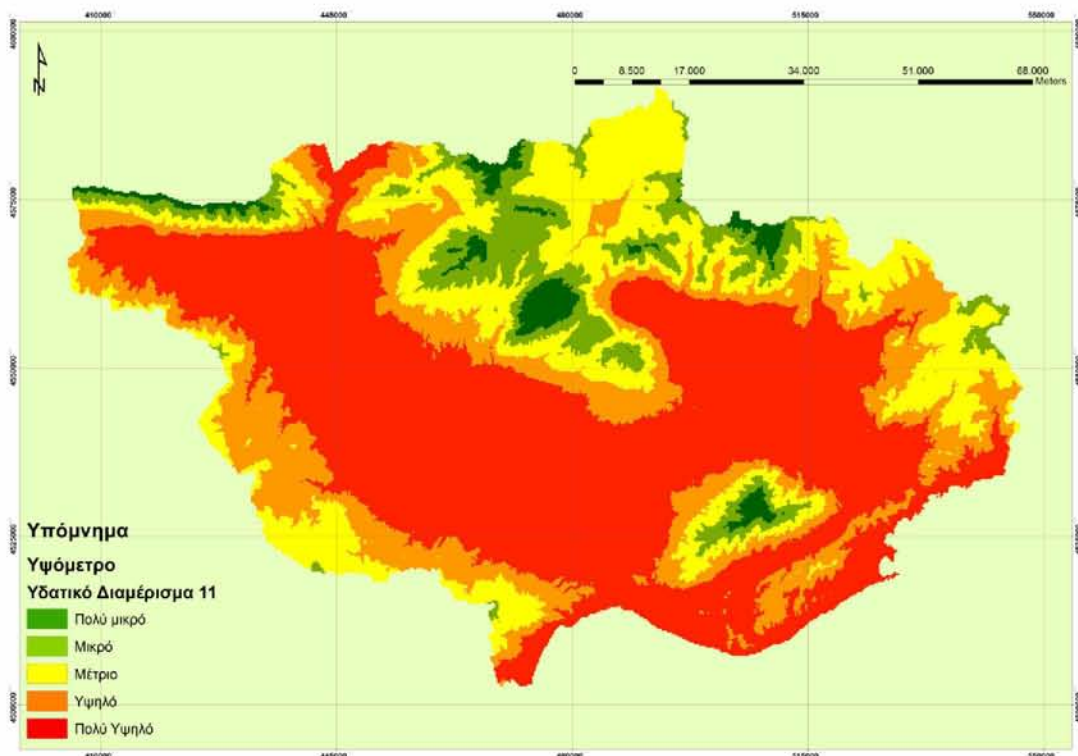
## 1.7 Υψόμετρο



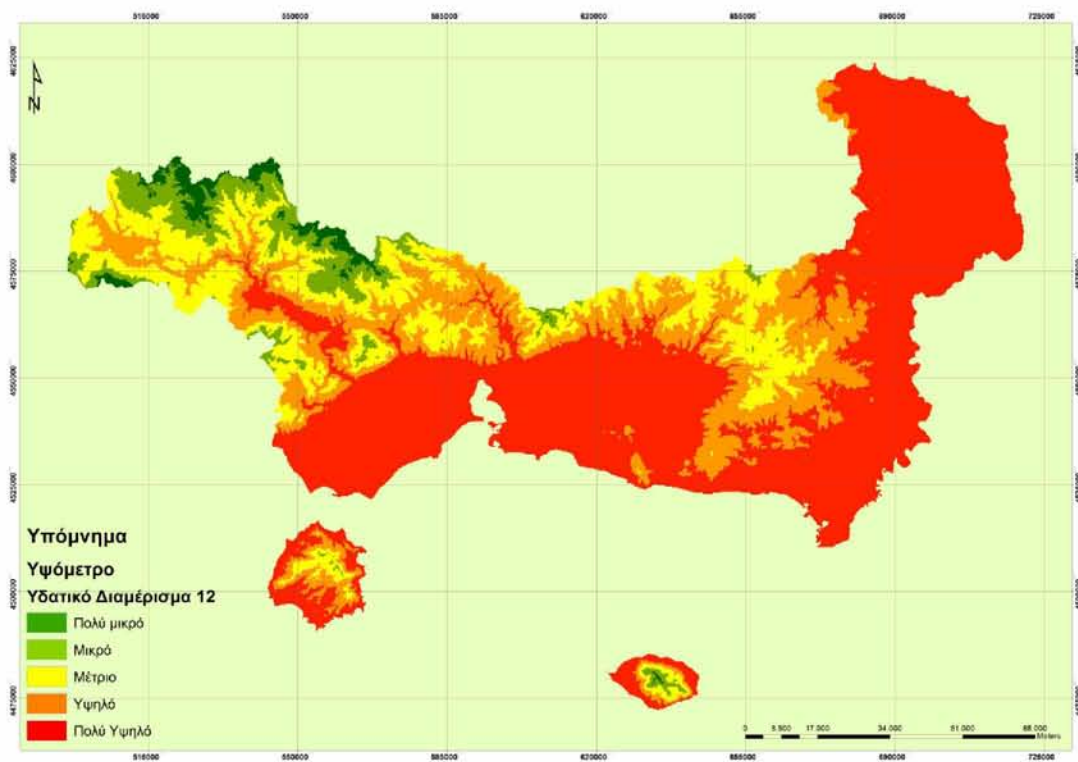
Εικόνα 60: Χάρτης Υψόμετρου Υδατικού Διαμερίσματος 09



Εικόνα 61: Χάρτης Υψόμετρου Υδατικού Διαμερίσματος 10



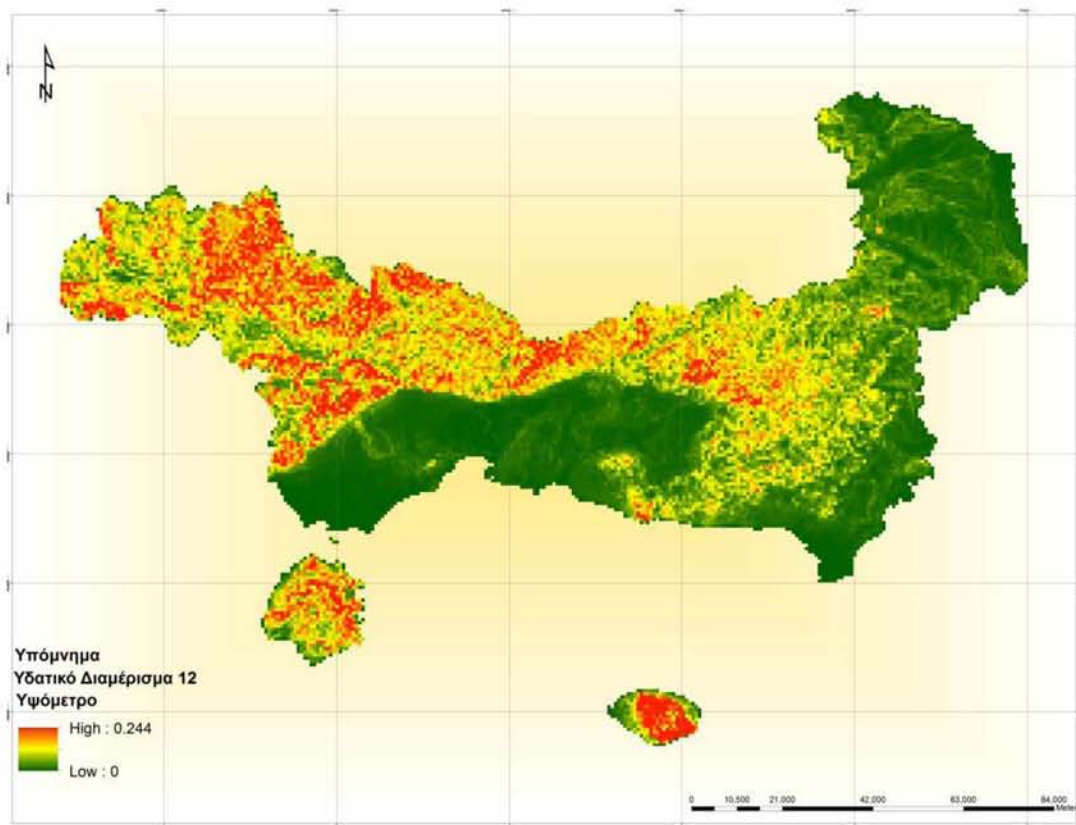
Εικόνα 62: Χάρτης Υψομέτρων Υδατικού Διαμερίσματος 11



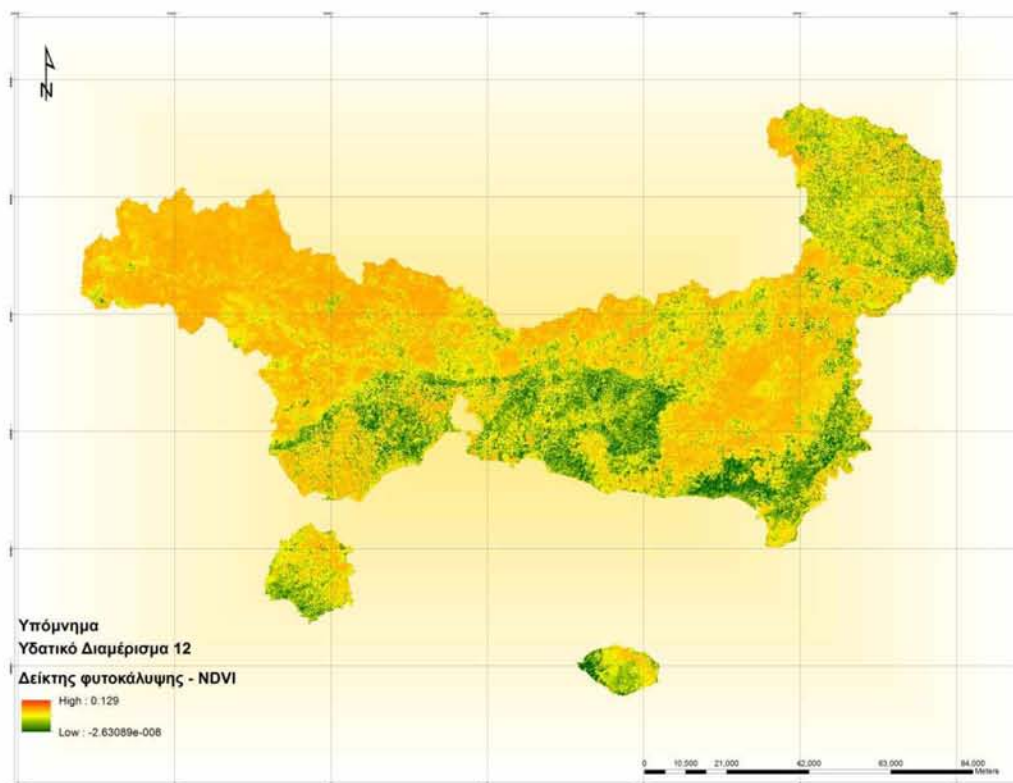
Εικόνα 63: Χάρτης Υψομέτρων Υδατικού Διαμερίσματος 12

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

# ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ



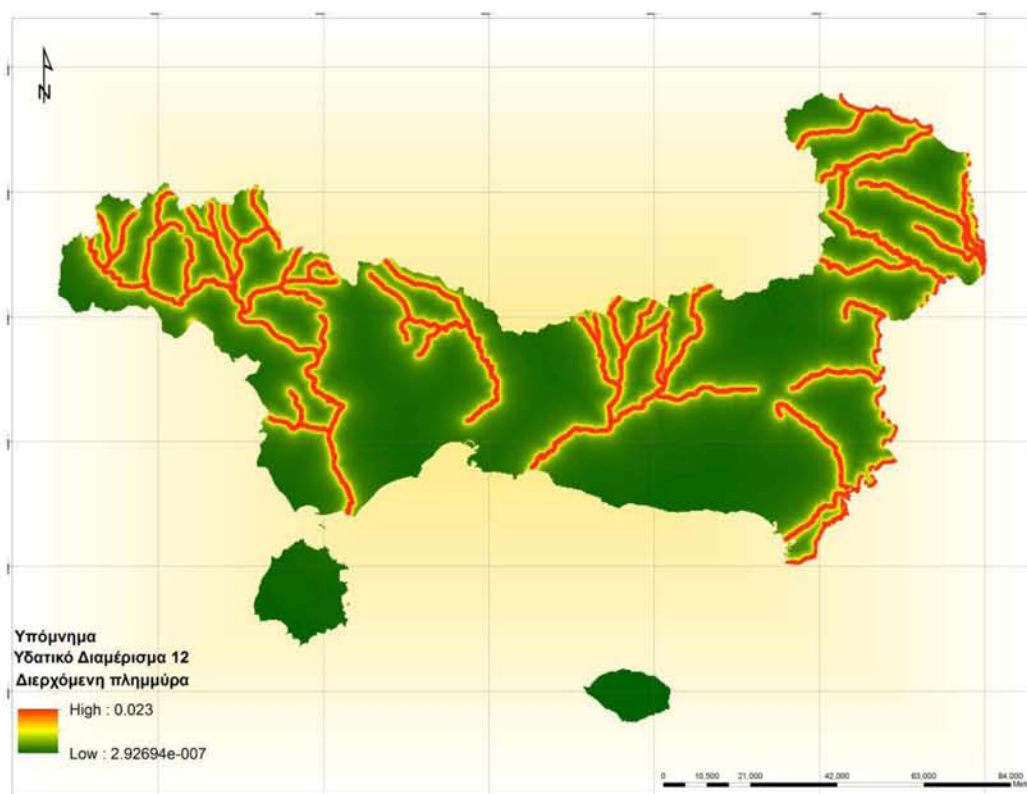
Εικόνα 64: Χάρτης υψομέτρου υδατικού διαμερίσματος 12



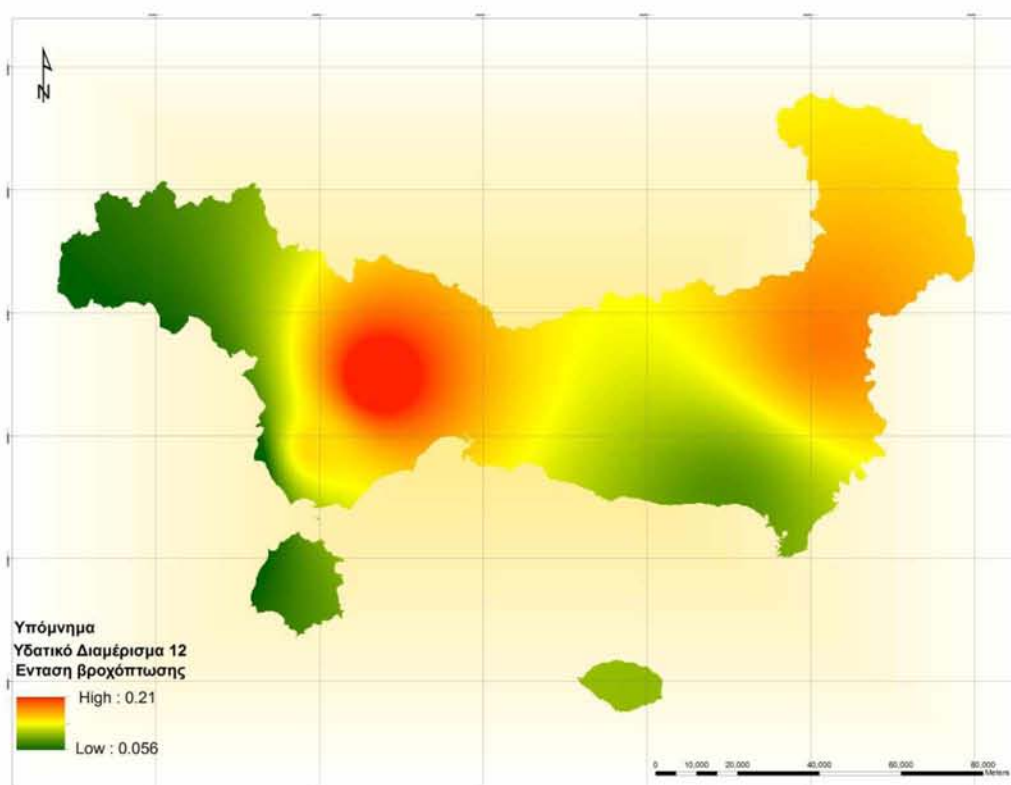
Εικόνα 65: Χάρτης δείκτη φυτοκάλυψης (NDVI) υδατικού διαμερίσματος 12

Εικόνα 66: Χάρτης δικτύου αποστράγγισης υδατικού διαμερίσματος 12



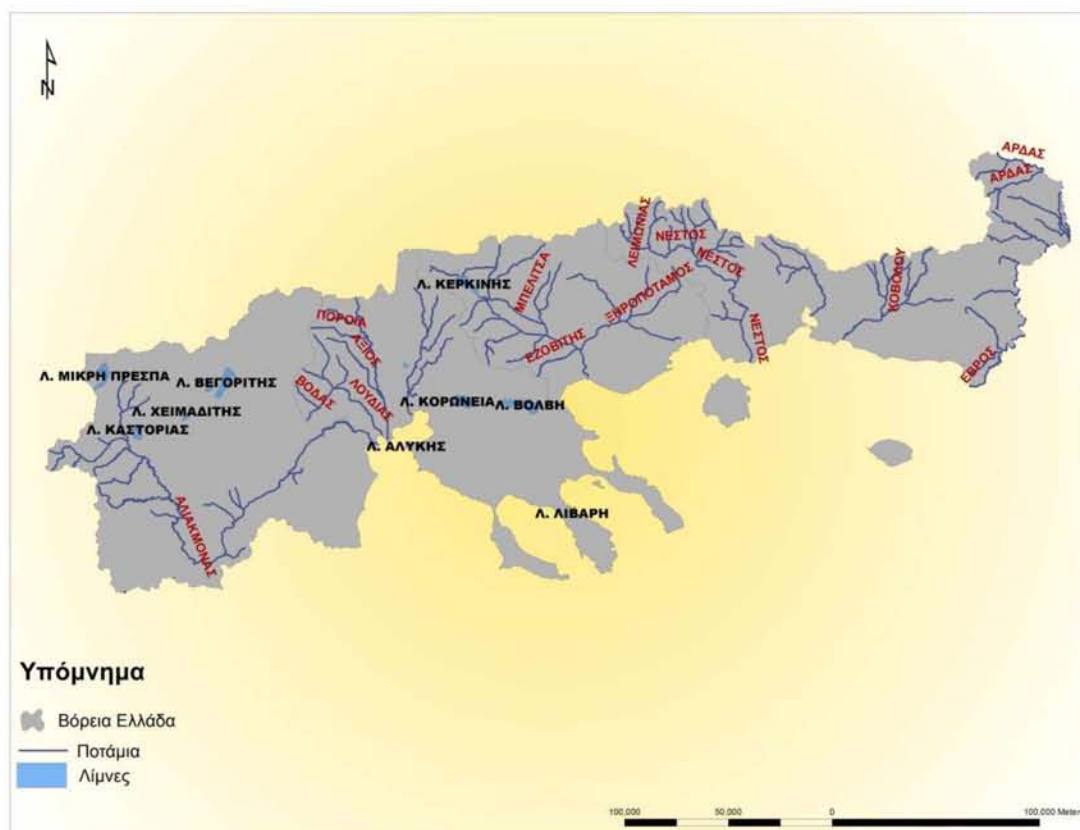


Εικόνα 67: Χάρτης διερχόμενης πλημμύρας υδατικού διαμερίσματος 12



Εικόνα 68: Χάρτης έντασης βροχόπτωσης υδατικού διαμερίσματος 12

*ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΠΟΤΑΜΙΑ ΚΑΙ ΛΙΜΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ*



*Εικόνα 69: Ποτάμια και λίμνες περιοχής μελέτης*