

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ



**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ
ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΣΠ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μερταράκη Ιωάννα

Τριμελής Επιτροπή:

Καθ. Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Δρ. Κουργιαλάς Νεκτάριος

Καθ. Νικολαΐδης Νικόλαος

Χανιά, Απρίλιος 2016

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μελέτη στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος με θέμα «Προσδιορισμός Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με χρήση χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS».

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίηση της.

Πρώτα από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Καρατζά Γεώργιο για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που μου έδειξε.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Κουργιαλά Νεκτάριο με τον οποίο είχαμε εξαιρετική συνεργασία και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του για την βαθύτερη κατανόηση του θέματος στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μου.

Επιπροσθέτως, τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στον Καθηγητή Νικολαΐδη Νικόλαο που δέχτηκε να είναι μέλος της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας μου.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες στις φίλες και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλον αυτό τον καιρό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Μιχάλη και Ρένα, καθώς επίσης και τον αδερφό μου Γιώργο, που με υπομονή και κουράγιο προσέφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου και της Διπλωματικής εργασίας.

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια μου.

Μερταράκη Ιωάννα

Χανιά, Απρίλιος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή επικεντρώνεται στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα με χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Ως περιοχή μελέτης έχει επιλεγεί ο Ελλαδικός χώρος, που ιστορικά έχει πληγεί από σειρά σημαντικών και καταστροφικών πλημμυρών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας στον Ελλαδικό χώρο, σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), με χρήση διαφόρων θεματικών χαρτών-παραγόντων που εμπλέκονται στη δημιουργία ενός πλημμυρικού φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, για την εύρεση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση και απεικόνιση επτά διαφορετικών θεματικών χαρτών σε περιβάλλον ΓΣΠ. Οι παράγοντες που συνδυάζονται σε περιβάλλον ΓΣΠ προκειμένου να προσδιοριστούν χωρικά οι περιοχές εκείνες, οι οποίες είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα είναι: α) η ένταση της βροχόπτωσης, β) το υψόμετρο, γ) η κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, δ) οι χρήσεις γης, ε) η συσσώρευση επιφανειακής ροής, στ) η εδαφική διαβρωσιμότητα και ζ) η υδατοϊκανότητα του εδάφους. Η πλημμυρική επικινδυνότητα για κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες κατηγοριοποιείται σε πέντε τάξεις: Πολύ Χαμηλή (1), Χαμηλή (2), Μέτρια (3), Υψηλή (4), και Πολύ Υψηλή(5).

Εν συνεχεία, οι παραπάνω παράγοντες συνδυάζονται και επεξεργάζονται με χρήση κατάλληλων αλγορίθμων Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων (ANN) στη Γλώσσα Προγραμματισμού Matlab (εργαλειοθήκη nntool). Αναλυτικότερα, στα πλαίσια της εκπαίδευσης των Τεχνιτών Νευρωνικών Δικτύων συνδυάζεται η χωρική κατανομή των ιστορικών πλημμυρικών σημείων στον Ελλαδικό χώρο με τους προαναφερόμενους επτά εμπλεκόμενους στην δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων θεματικούς χάρτες. Προσδιορίζεται έτσι χωρικά η πλημμυρική επικινδυνότητα στην Ελληνική επικράτεια. Τα τελικά αποτελέσματα επαληθεύτηκαν από ιστορικά πλημμυρικά γεγονότα που έχουν συμβεί στον Ελλαδικό χώρο τα τελευταία 100 χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	6
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	6
1.1 Εισαγωγή	6
1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ.....	9
1.3 Κλιματική αλλαγή και πλημμύρες.....	10
1.4 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων.....	10
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	12
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	12
2.1 Γενικά.....	12
2.2 Κλιματολογικά στοιχεία – Κλίμα	13
2.3 Χλωρίδα – Πανίδα	14
2.3.1 Χλωρίδα.....	14
2.3.2 Πανίδα	15
2.4 Γεωγραφία.....	15
2.5 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί	16
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	18
ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	18
3.1 Εισαγωγή στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα	18
3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων	19
3.3 Πεδία Εφαρμογής Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων	21
3.4 Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα και Matlab.....	22
4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	23
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	23
4.1 Γενικά.....	23
4.2 Δομή Δεδομένων	25
4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΓΣΠ (GIS)	25
4.4 Χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας.....	26

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	28
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	28
6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	34
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	34
6.1 Χάρτες.....	34
6.1.1.Χάρτης Έντασης Βροχόπτωσης – Modified Fourier Index (MFI) map.....	34
6.1.2 Χάρτης Υψομέτρων – Elevation map.....	41
6.1.3 Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου – slope map.....	43
6.1.4 Χάρτης Χρήσεων Γης – land use map.....	45
6.1.5 Χάρτης Συσσώρευσης Ροής – flow accumulation map.....	47
6.1.6 Χάρτης Διαβρωσιμότητας – Erodibility map.....	50
6.1.7 Χάρτης υδατοϊκανότητας εδάφους – available water capacity.....	53
6.2 Matlab	56
6.2.1 Γενικά.....	56
6.2.2 Συνοπτική περιγραφή διαδικασίας στη Matlab.....	56
6.2.3 Εκπαίδευση Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου	59
6.3 Τελικός χάρτης – Επαλήθευση	67
7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ	77
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	77
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙΤΟΠΟΙ	83

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Χάρτης Καλλικρατικών Δήμων Ελλάδας. Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ).....	13
Εικόνα 2: Υδρολιθολογικός Χάρτης Ελλάδας, (Υπουργείο Ανάπτυξης, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού, Αθήνα 1996).	17
Εικόνα 3: Χάρτης Ιστορικών Πλημμυρικών Δεδομένων, (Diakakis et al., 2012).....	30
Εικόνα 4: Χάρτης Συχνότητας Εμφάνισης Πλημμυρικού Φαινομένου, ανά 100 km ² , (Diakakisetal., 2012)	32
Εικόνα 5: Μετεωρολογικοί Σταθμοί της Ελλάδας (www.meteorologia.gr).....	35
Εικόνα 6: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Ένταση της Βροχόπτωσης στην Ελλάδα	40
Εικόνα 7: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στην Ελλάδα .	42

Εικόνα 8: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Κλίση του Εδαφικού Ανάγλυφου στην Ελλάδα	44
Εικόνα 9: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις Γης στην Ελλάδα	46
Εικόνα 10: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τη Συσσώρευση Επιφανειακής Ροής στην Ελλάδα.....	48
Εικόνα 11: Πλημμυρική Επικινδυνότητα Θεσσαλίας και Θερμαϊκού Κόλπου με βάση τη Συσσώρευση Επιφανειακής Ροής	49
Εικόνα 12: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Διαβρωσιμότητα στην Ελλάδα.....	52
Εικόνα 13: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Υδατοϊκανότητα του Εδάφους στην Ελλάδα	54
Εικόνα 14: Σημειακό αρχείο τύπου shapefile (shp)	58
Εικόνα 15: Άνοιγμα εργαλειοθήκης για την έναρξη της εκπαίδευσης του Δικτύου	60
Εικόνα 16: Εισαγωγή παραμέτρων που λαμβάνουν χώρα στην εκπαίδευση του Δικτύου ...	61
Εικόνα 17: Προσδιορισμός συνάρτησης εκπαίδευσης καθώς και αριθμό νευρώνων	62
Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ροής της εκπαίδευσης του Δικτύου	63
Εικόνα 19: Εισαγωγή παραμέτρων εκπαίδευσης Δικτύου	63
Εικόνα 20: Καθορισμός epochs και έναρξη εκπαίδευσης Δικτύου	64
Εικόνα 21: Διαδικασία εκπαίδευσης.....	65
Εικόνα 22: Γραφική απεικόνιση απόδοσης μοντέλου	66
Εικόνα 23: Έναρξη προσομοίωσης για εξαγωγή τελικών δεδομένων	67
Εικόνα 24: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted.....	69
Εικόνα 25: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Spline	71
Εικόνα 26: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Kriging	73
Εικόνα 27: Τελικός χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα	75

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Διαδικασία εξαγωγής δείκτη MFI	38
Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα	55
Πίνακας 3: Υπόδειγμα κατηγοριοποίησης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας	59
Πίνακας 4: Εκτίμηση Μεθόδων.....	74

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

1.1 Εισαγωγή

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα, που συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης, δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση (Βαχαβιώλος, 2011). Θεωρούνται από τους πιο συχνούς και καταστρεπτικούς τύπους φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έκθεση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας σε κίνδυνο, η καταστροφή έργων υποδομής, γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, η έντονη διάβρωση εδαφών και η ρύπανση των υδάτων είναι μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις τους. Επηρεάζουν το μεγαλύτερο μέρος της ανθρωπότητας και έχουν ως αποτέλεσμα τις περισσότερες ζημιές από κάθε άλλου είδους φυσικές καταστροφές (Downton, 2001; Golian, 2010). Τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι αυτά που προκαλούν το ένα τρίτο των εκτιμώμενων ζημιών από φυσικές καταστροφές παγκοσμίως (Pilon, 2004). Οι πλημμύρες καταγράφουν σημαντικά ποσοστά ανάμεσα στα άλλα είδη καταστροφών τόσο σε απόλυτο αριθμό συμβάντων, όσο και σε ότι αφορά τις οικονομικές απώλειες. Πιο συγκεκριμένα, οι πλημμύρες αντιστοιχούν στο 26% του αριθμού των μεγάλης κλίμακας φυσικών καταστροφικών μεταξύ των ετών 1950 και 2002, ευθύνονται για το 8% των θανάτων και το 27% του συνολικού οικονομικού κόστους από φυσικές καταστροφές για την ίδια περίοδο (Munich, 2002).

Τα διαφορετικά είδη πλημμύρας που μπορούν να λάβουν χώρα σε μια περιοχή είναι τα ακόλουθα (Παπανικολάου, 2011):

- Πλημμύρες ποταμών
- Αστραπιαίες ή αιφνίδιες πλημμύρες
- Παράκτιες πλημμύρες
- Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων
- Πλημμύρες που συνδέονται με το υπόγειο νερό (στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο)
- Πλημμύρες λιμνών

Οι αιφνίδιες πλημμύρες (flashfloods) στη Μεσόγειο είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος πλημμύρας, γιατί ευνοείται από τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις κλιματικές παραμέτρους (Παπανικολάου και Διακάκης, 2011). Η έντονη βροχόπτωση είναι αιτία

κατολίσθησης και μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες καταστροφές σε περίπτωση μιας αιφνίδιας πλημμύρας (Lin, 1999). Οι αιφνίδιες πλημμύρες που συμβαίνουν ξαφνικά και τις περισσότερες φορές με ελάχιστη προειδοποίηση είναι και οι πιο επικίνδυνες (Kourgialas et al., 2012). Όπως είναι γνωστό η απόκτηση ενός αξιόπιστου συστήματος πρόβλεψης πλημμύρας δεν είναι εύκολη υπόθεση, δεδομένου ότι οι βροχοπτώσεις είναι από τα πιο δύσκολα στοιχεία του υδρολογικού κύκλου για πρόβλεψη (French et al., 1992). Η αιφνίδια πλημμύρα είναι το αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διαταραχών που συνδέονται με ραγδαίες βροχοπτώσεις και με μεγάλα ποσά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα (WMONo 1072, 2011). Πολλοί παράγοντες ευθύνονται για την εκδήλωση μιας ξαφνικής πλημμύρας, αυτοί είναι: η ένταση της βροχόπτωσης και η διάρκεια της, η τοπογραφία του εδάφους, οι συνθήκες του εδάφους, η φυτοκάλυψη, η καταστροφή των δασών και η αστικοποίηση. Οι αιφνίδιες πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα και έχουν σαν αποτέλεσμα ταχεία ύψωση νερού, το οποίο μπορεί στο πέρασμα του να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε κτίρια, γέφυρες, να παρασύρει αυτοκίνητα, να ξεριζώσει δέντρα κλπ, (Καυκαλά, 2014). Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του κινδύνου από πλημμύρες εστιάζει στην πρόγνωση πλημμυρών (flood forecasting), στην έγκαιρη προειδοποίηση, στο σχεδιασμό των χρήσεων γης και στην αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες. Δομικά και μηχανικά μέτρα (φράγματα, κανάλια και άλλα) είναι υπό σκέψη λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών τους μειονεκτημάτων (Golian et al., 2010).

Η αύξηση, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, των πλημμυρικών φαινομένων στα όρια οικιστικών περιοχών οφείλεται στον περιορισμό της κοίτης των ρεμάτων, στο φραγμό των κοιτών, στη μείωση των δασικών εκτάσεων λόγω των πυρκαγιών και στη μείωση της κατείσδυσης εντός του αστικού περιβάλλοντος (Λέκκας, 2000; Stathis, 2004).

Επίσης τα πλημμυρικά φαινόμενα με την απόθεση σημαντικών ποσοτήτων φερτών υλών δημιουργούν προβλήματα στην ομαλή ανάπτυξη των πληγέντων περιοχών και οδηγούν σε ορισμένες περιπτώσεις σε εκτεταμένα φαινόμενα ρύπανσης/μόλυνσης, καθώς διευκόλυναν την κυκλοφορία λυμάτων, βαρέων μετάλλων και άλλων μολυσματικών ουσιών μέσω των πλημμυρικών υδάτων. Οι περιοχές που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις πλημμύρες είναι συνήθως (Βαχαβιώλος, 2011):

- κλειστές υδρολογικές λεκάνες με μεγάλες κλίσεις και αδιαπέρατους γεωλογικούς σχηματισμούς

- πεδιάδες που αποστραγγίζονται από ποταμούς με μικρή παροχετευτικότητα
- αστικές περιοχές όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα αλλάζει τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών θεωρούνται και στον Ελληνικό χώρο τα πλημμυρικά φαινόμενα, τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και από πλευράς κόστους σε ανθρώπινες ζωές. Τα θύματα από πλημμυρικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο μεταξύ 1887- 1994 ανήλθαν στα 216 (Νικολαΐδου, 1995). Εκτός όμως από τις ανθρώπινες ζωές οι πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις και στις ιδιωτικές περιουσίες (οικίες, καταστήματα, βιομηχανίες), στην γεωργία, στην κτηνοτροφία, στις υποδομές (τεχνικά έργα, οδικό δίκτυο) και στα δίκτυα κοινής ωφελείας.

Η Ελλάδα πλήττεται κατά κύριο λόγο από πλημμυρικά γεγονότα που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της έντονης γεωγραφικής μεταβλητότητας των κλιματικών στοιχείων (εναλλαγή ξηράς θάλασσας) (Γκιόκας, 2009). Η συνεχής επέκταση της δόμησης στην παράκτια ζώνη κάτω από την πίεση της αύξησης του πληθυσμού και της συσσώρευσης δραστηριοτήτων σ' αυτή τη ζώνη δημιουργεί συνθήκες άμεσης πρόκλησης πλημμυρών, που είναι γνωστές ως στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods), οι οποίες λόγω του μικρού χρόνου εκδήλωσης σε σχέση με την έναρξη της βροχής είναι δύσκολο να προβλεφθούν, αλλά κυρίως δύσκολο να αντιμετωπισθούν (Τσακίρης, 2005). Αυτού του είδους πλημμύρες αποτελούν από τους καταστροφικότερους τύπους πλημμυρικών γεγονότων. Άλλοι παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν τον πλημμυρικό κίνδυνο παρουσιάζονται παρακάτω (Λέκκας, 2009):

- Ο δραστικός περιορισμός της κοίτης των ρευμάτων στις οικιστικές περιοχές λόγω της ανεξέλεγκτης δόμησης.
- Ο φραγμός των κοιτών από τη δόμηση, την απόρριψη υλικών πάσης φύσεως ή και την άστοχη κατασκευή τεχνικών έργων.
- Η συρρίκνωση των δασικών εκτάσεων από τις πυρκαγιές και την αποψίλωση που βρίσκονται περιμετρικά των λεκανών απορροής.
- Η μείωση της κατείδυσης και η παράλληλη αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω της κάλυψης της εδαφικής επιφάνειας από την αστικοποίηση.

- Η αποσπασματική κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας που δεν είναι συμβατά με το περιβάλλον (φυσικό και ανθρωπογενές) και τις εξελισσόμενες κλιματολογικές συνθήκες.

Για την αντιμετώπιση των πλημμυρών κρίνεται αναγκαία η δημιουργία πλημμυρικών χαρτών καθώς και χαρτών που να αναφέρουν τις ενδεικτικές ζημιές από πλημμύρες. Για να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρών σε μια περιοχή πρέπει να ενεργοποιηθούν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις γεωγραφικές και υδρολογικές συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής (Τσακίρης, 2005).

1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK

Η αυξητική τάση των αρνητικών επιπτώσεων από πλημμύρες στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα οδήγησε στην ανάγκη θέσπισης πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Στόχος της συγκεκριμένης οδηγίας είναι η μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα.

Στα πλαίσια της οδηγίας αναπτύχθηκαν και οι ακόλουθοι ορισμοί (www.ypeka.gr):

1. «πλημμύρα»: η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να δημιουργηθούν πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.
2. «κίνδυνος πλημμύρας»: ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.

Με βάση τη συγκεκριμένη οδηγία είναι απαραίτητη η προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας βασιζόμενη σε διαθέσιμες ή ευκόλως υπολογιζόμενες πληροφορίες όπως καταγραφές και μελέτες για μακροπρόθεσμες εξελίξεις, ιδίως επιπτώσεις από την αλλαγή του κλίματος. Στην αξιολόγηση περιλαμβάνονται: α) η δημιουργία χαρτών λεκανών απορροής, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών και των υπολεκανών απορροής ποταμών, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, τη γεωλογία, τις χρήσεις γης, τις θέσεις των υδατορρευμάτων και τα γενικότερα υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους,

β) περιγραφή των πλημμυρικών γεγονότων που σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις, όπως ανθρώπινες απώλειες, ζημιές σε καλλιέργειες και αστικές υποδομές, γ) προσδιορισμός των πιο επικίνδυνων πλημμυρικά περιοχών σε επίπεδο λεκάνης απορροής, προκειμένου να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μείωσης των αρνητικών συνεπειών από επερχόμενα πλημμυρικά φαινόμενα, δ) αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφισταμένων τεχνητών υποδομών προστασίας από τις πλημμύρες, η θέση των κατοικημένων περιοχών και των περιοχών οικονομικής δραστηριότητας καθώς και οι μακροπρόθεσμες εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της αλλαγής του κλίματος στη συχνότητα εμφάνισης συμβάντων πλημμύρας (www.ypoka.gr).

1.3 Κλιματική αλλαγή και πλημμύρες

Πολλές έρευνες παγκοσμίως υποστηρίζουν ότι μια κλιματική μεταβολή μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αύξηση πλημμυρικού κινδύνου, που σημαίνει ότι αυτά τα δυο μεγέθη συσχετίζονται (Τζήμα, 2014). Περίπου το 20% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε υδρολογικές λεκάνες που στα πλαίσια επικείμενων κλιματικών αλλαγών είναι πιθανό να αυξηθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος (Kleinen et al., 2007). Μια από τις πιο σταθερές προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων είναι η αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων, γεγονός που δύναται να συμβάλλει στην αύξηση του κινδύνου ξαφνικών πλημμυρών (Kundzewicz et al, 2005). Αναλυτικότερα, συχνότερα πλημμυρικά φαινόμενα σε περίπτωση κλιματικής αλλαγής δύναται να συναντήσουμε στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη, μέσες στη βόρεια και μικρότερες σε συχνότητα στη νότια (Behrens et al., 2010).

1.4 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εφαρμόσιμη προσέγγιση για την στρατηγική διαχείρισης των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο η οποία στηρίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ. Ένα αξιόπιστο πλάνο διαχείρισης πλημμυρών αποτελείται από δυο συνιστώσες: α) τη ορθή στρατηγική διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων και β) τον καθορισμό των περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες (Kourgialas&Karatzas, 2011).

Οι κύριες αιτίες για την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων όπως έχουμε ήδη αναφέρει είναι η κλιματική αλλαγή, οι αλλαγές στις χρήσεις γης και η ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό, σύμφωνα και με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ ότι 100% αντιπλημμυρική προστασία δεν είναι εφικτή. Εφικτή είναι μόνο η αξιολόγηση και η διαχείριση της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων (Kourgialas & Karatzas, 2011).

Για να γίνει μια ορθή διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων είναι απαραίτητα τα ακόλουθα : (α) μέτρα πριν τις πλημμύρες, (β) πρόβλεψη πλημμυρών και (γ) μέτρα μετά τις πλημμύρες.

Μέτρα πριν τις πλημμύρες περιλαμβάνουν τη φυσική, θεσμική και κοινωνική υποδομή για την βιώσιμη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Οι στρατηγικές διαχείρισης για την αποφυγή των πλημμυρών συμπεριλαμβάνουν:

τεχνικά μέτρα για τον έλεγχο των πλημμυρών (μικρά φράγματα και έργα για τη διατήρηση και σταθεροποίηση στις όχθες των ποταμών),

ρυθμιστικά μέτρα, μέσω της ανάπτυξης κανονισμών για τον προγραμματισμό των χρήσεων γης και της ορθής χωροταξίας αυτών. Σημαντικό είναι επίσης ο σχεδιασμός των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας να αρχίζει από την ανάντη και να επεκτείνεται μέχρι και την κατάντη περιοχή.

Πρόβλεψη Πλημμύρας - Σύστημα Προειδοποίησης (FFWS), περιλαμβάνει το σχεδιασμό δικτύου τηλεμετρικών σταθμών για την καταγραφή της βροχόπτωσης, των μετεωρολογικών παραμέτρων και της παροχής των υδατορευμάτων. Αυτό το σύστημα θα πρέπει επίσης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και προγραμματισμού εκκένωσης. Ένα σύστημα πρόβλεψης - προειδοποίησης πλημμυρικού κινδύνου χρησιμοποιείται προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος κινητοποίησης, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ελαχιστοποίησης των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και περιορισμού των καταστροφών σε περιουσίες.

Μέτρα μετά την πλημμύρα, προωθούν τη γρήγορη αποκατάσταση των περιοχών που έχουν πληγεί από πλημμύρες και περιλαμβάνουν μέτρα ανακούφισης, μέτρα αποκατάστασης της ζημιωθείσας υποδομής και μέτρα αναθεώρησης της αποτελεσματικότητας του αντιπλημμυρικού συστήματος (Kourgialas & Karatzas, 2011).

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά

Η Ελλάδα βρίσκεται στο νοτιότερο άκρο της Ευρώπης, στο νοτιότερο τμήμα της Βαλκανικής χερσονήσου. Έχει ακτές στην Ανατολική Μεσόγειο, όπου βρίσκεται το μεγαλύτερο νησί της χώρας, η Κρήτη. Συνορεύει στα βορειοανατολικά με την Αλβανία, στα βόρεια με την ΠΓΔΜ και τη Βουλγαρία και στα βορειοανατολικά με την Τουρκία. Στα δυτικά βρέχεται από το Ιόνιο Πέλαγος, στα ανατολικά από το Αιγαίο Πέλαγος και στα νότια από το Λιβυκό Πέλαγος.

Έχει το μεγαλύτερο μήκος ακτής της μεσογείου μόλις 13.676 km. Αποτελείται από πολλά νησιωτικά συμπλέγματα (2.500 από τα οποία τα 165 κατοικούνται), όπως η Κρήτη, τα Δωδεκάνησα, οι Κυκλάδες, τα Επτάνησα κ.α.

Η Ελλάδα βρίσκεται μεταξύ τριών ηπείρων την Ευρώπη, την Ασία και την Αφρική με αποτέλεσμα από την Αρχαιότητα να αποτελέσει ένα σημαντικό πολιτιστικό και εμπορικό κέντρο. Αιτία πολλών πολέμων ήταν αυτή η στρατηγική της θέση, γιατί είχε να αντιμετωπίσει πολλούς κατακτητές κατά το παρελθόν.



Εικόνα 1: Χάρτης Καλλικρατικών Δήμων Ελλάδας. Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (ΟΚΧΕ)

Διοικητικά η Ελλάδα χωρίζεται σε 13 Περιφέρειες που διαμορφώθηκε από το πρόγραμμα Καλλικράτης. Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή (2011) ο μόνιμος πληθυσμός της Ελλάδας είναι 10.815.197 κάτοικοι. Η συνολική έκταση της είναι 131.957 km². Η χώρα γενικά δεν είναι πυκνοκατοικημένη (81,97 κατ/km²) και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι καλύπτεται με πολλές ορεινές περιοχές με λίγα οροπέδια καθώς επίσης και ότι το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας αποτελείται από νησιά. Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της βρίσκεται στην πρωτεύουσα της, την Αθήνα, και ακολουθούν τα υπόλοιπα αστικά κέντρα όπως Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο και Λάρισα (<https://el.wikipedia.org>).

2.2 Κλιματολογικά στοιχεία – Κλίμα

Το κλίμα της Ελλάδας χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό με ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια. Βρίσκεται μεταξύ των παραλλήλων του 34^{ου} και 42^{ου}

ημισφαιρίου και παρουσιάζει μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο. Διαιρείται σε τέσσερις κατηγορίες(www.abettergreece.com):

- Υγρό μεσογειακό (δυτική Ελλάδα, δυτική Πελοπόννησος, πεδινά και ημιορεινά της Ηπείρου)
- Ξηρό μεσογειακό (Κυκλάδες, παραλιακή Κρήτη, Δωδεκάνησα, ανατολική Πελοπόννησος, Αττική, πεδινές περιοχές ανατολικής Στερεάς)
- Ηπειρωτικό (δυτική Μακεδονία, εσωτερικά υψίπεδα ηπειρωτικής Ελλάδας, βόρειος Έβρος)
- Ορεινό (ορεινές περιοχές με υψόμετρο μεγαλύτερο από 1.500m στη βόρεια Ελλάδα, μεγαλύτερο από 1.800m στην κεντρική Ελλάδα και μεγαλύτερο από 2.000m στην Κρήτη)

Η μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων, πάντα στα πλαίσια του Μεσογειακού κλίματος, οφείλεται στην τοπογραφική διαμόρφωση της χώρας που έχει μεγάλες διαφορές υψομέτρου, υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της ηπειρωτικής χώρας καθώς και εναλλαγή ξηράς θάλασσας. Σε λίγες μόνο χώρες του κόσμου συναντάμε τέτοιου είδους κλιματικές αλλαγές σε περιοχές που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους(από το ξηρό κλίμα ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της βόρειας και δυτικής Ελλάδας).

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί σε δυο κυρίως εποχές: α) την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από μέσα Οκτωβρίου έως τέλος Μαρτίου με ψυχρότερους μήνες τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο και β) τη θερμή και άνομβρη περίοδο που διαρκεί από την Απρίλιο έως τον Οκτώβριο (www.abettergreece.com).

2.3 Χλωρίδα – Πανίδα

2.3.1 Χλωρίδα

Η χλωρίδα της Ελλάδας είναι από τις πλουσιότερες της Ευρώπης και περιλαμβάνει το 30% περίπου της χλωρίδας της Μεσογείου (<http://ebooks.edu.gr/modules/>).

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας μεταξύ τριών ηπείρων (Ευρώπη, Ασία, Αφρική), το μεσογειακό κλίμα, η ποικιλομορφία των γεωλογικών υποστρωμάτων, οι δαντελωτές ακτογραμμές με τα χιλιάδες νησιά, οι καθαρές θάλασσες και η υψομετρική διαβάθμιση, δημιούργησαν τις συνθήκες ανάπτυξης μιας ποικιλίας οικοσυστημάτων και βιοτόπων μοναδικών στον κόσμο.

Με τον όρο χλωρίδα εννοούμε το σύνολο των διαφόρων ειδών φυτών που απαντούν σε μία περιοχή. Η ελληνική χλωρίδα περιλαμβάνει περίπου 6.000 είδη και υποείδη φυτών, από τα οποία περίπου 1.100 είναι ενδημικά, δηλαδή δεν υπάρχουν πουθενά αλλού στη γη. Ένα άλλο χαρακτηριστικό της ελληνικής χλωρίδας είναι το πλήθος των αυτοφυών αρωματικών και φαρμακευτικών φυτών της. Η ελληνική χλωρίδα στο μεγαλύτερο μέρος της περιλαμβάνει κυρίως τη δασική βλάστηση που απαρτίζεται από δέντρα και θάμνους. Η σύνθεση της κυρίως αποτελείται από κωνοφόρα, πλατύφυλλα, θαμνώνες μεγάλης εξάπλωσης και αρκετά άλλα φυτικά είδη που χαρακτηρίζουν και διαμορφώνουν τις ζώνες της δασικής βλάστησης (<http://ebooks.edu.gr/modules/>).

2.3.2 Πανίδα

Η πανίδα της Ελλάδας είναι ιδιαιτέρως πλούσια για τα ευρωπαϊκά δεδομένα το οποίο οφείλεται στη γεωγραφική της τοποθέτηση στα όρια τριών ηπείρων και δύο κύριων βιογεωγραφικών περιοχών, στον πλούσιο οριζόντιο και κάθετο διαμελισμό της και στο μεγάλο εύρος των ενδιαιτημάτων που προσφέρει. Βασικό στοιχείο του πλούτου αυτού αποτελεί ο αυξημένος ενδημισμός και η γεωγραφική διαφοροποίηση των περισσοτέρων ζωικών ομάδων (<http://www.mani.org.gr/>).

Στην Ελλάδα έχουν αναγνωριστεί πάνω από 1.200 είδη σπονδυλωτών ζώων και 30.000 είδη ασπονδύλων. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν 50.000 είδη ζώων, με έναν ενδημισμό που φθάνει το 25% περίπου. Η πλειοψηφία των ειδών ανήκουν στα έντομα, τα οποία είναι και τα πλέον άγνωστα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για την πολυπληθέστερη ζωική ομάδα, τα Κολεόπτερα, μόλις τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει η καταγραφή συγκεντρωτικών στοιχείων για ορισμένες μόνο οικογένειες και για τη νότια Ελλάδα κατά κύριο λόγο, και παρόλα αυτά έχουν ήδη γίνει γνωστά 649 ενδημικά είδη (<http://www.mani.org.gr/>).

2.4 Γεωγραφία

Η χώρα περικλείεται από το Ιόνιο, το Αιγαίο, το Λιβυκό Πέλαγος και το Λύκιο Πέλαγος. Το Αιγαίο περιέχει πολυάριθμα νησιά, ανάμεσά τους την Εύβοια, τη Λέσβο, τη Ρόδο και τα νησιωτικά συμπλέγματα των Κυκλάδων και των Δωδεκανήσων, ενώ νότια βρίσκεται η Κρήτη, το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο μεγαλύτερο της Μεσογείου. Νότια της Κρήτης είναι η Γαύδος, το νοτιότερο νησί της Ελλάδας και της Ευρώπης. Τα κυριότερα νησιά του Ιονίου είναι η Κέρκυρα, η Κεφαλονιά, η Λευκάδα και η Ζάκυνθος. Νοτιοανατολικά, μεταξύ Ρόδου και Καστελόριζου, εκτείνεται το Λύκιο Πέλαγος. Η Ελλάδα έχει μήκος ακτών 13.676 χιλιόμετρα, που θεωρείται εξαιρετικά μεγάλο, και οφείλεται κυρίως στο πλήθος των αναρίθμητων νησιών, τα οποία είναι περισσότερα

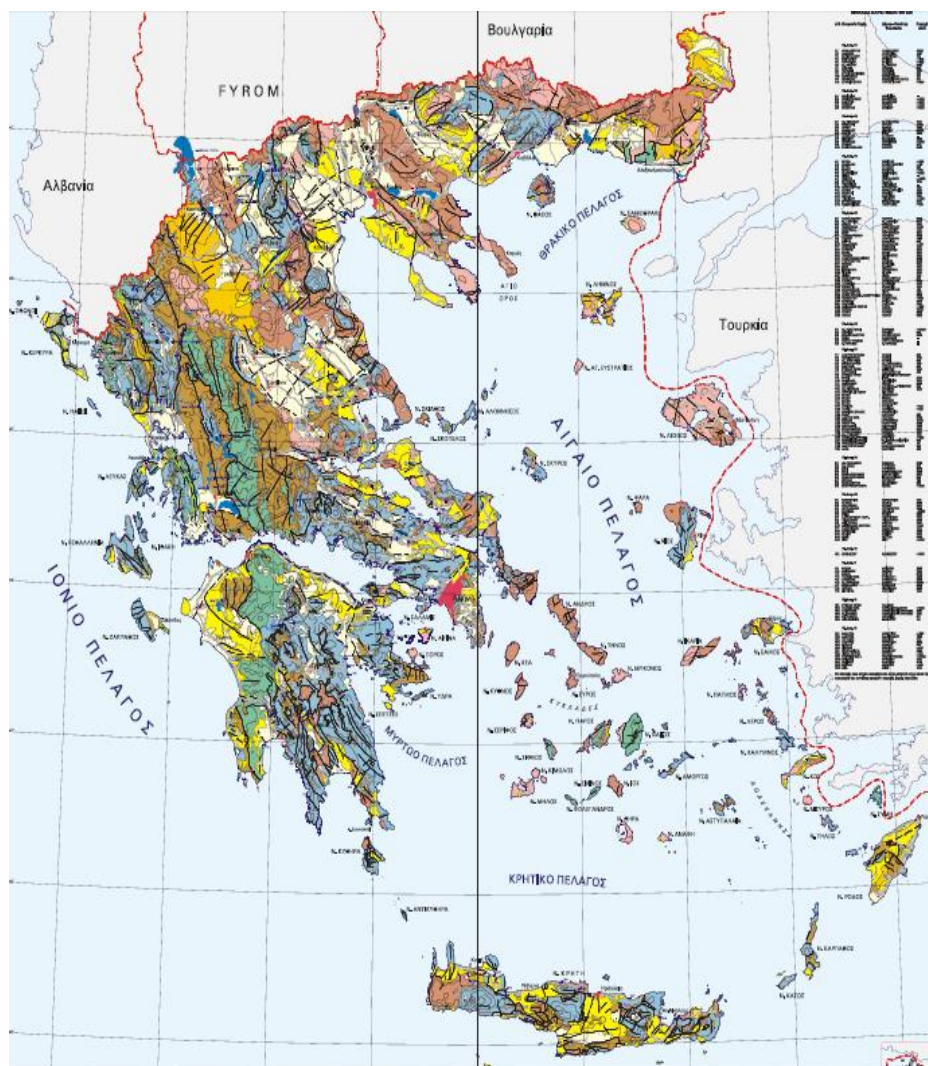
από 2.500 ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας με την Ευρωπαϊκή. Έχει μήκος συνόρων που πλησιάζει τα 1.228 χιλιόμετρα. Οι μεγαλύτερες πεδιάδες είναι της Λάρισας στην Θεσσαλία και των Γιαννιτσών στην Κεντρική Μακεδονία (TheWorld Factbook, CIA).

Το έδαφος της Ελλάδας είναι κατά κύριο λόγο ορεινό ή λοφώδες. Μεγάλο μέρος του είναι ξηρό και βραχώδες, ενώ μόνο το 20,45% του εδάφους είναι καλλιεργήσιμο. Το υψηλότερο βουνό της χώρας είναι ο Όλυμπος με υψόμετρο 2.018m, ακολουθούν ο Σμόλικας, ο Βόρας κ.α. Στο ηπειρωτικό τμήμα της χώρας βρίσκονται οι περισσότερες λίμνες της με μεγαλύτερη εκείνη της Τριχωνίδας με επιφάνεια 96 km² και ακολουθούν η Βόλβη, η Κερκίνη κ.α.

Πολλοί ποταμοί διαρρέουν την Ελλάδα, σε μερικούς από τους μεγαλύτερους, τα Δέλτα που σχηματίζουν στην εκροή τους προς την θάλασσα αποτελούν σημαντικούς υδροβιότοπους, όπως αυτοί του Αλιάκμονα (μήκος 297km) και του Έβρου (μήκος 204km). Ποταμοί όπως ο Πηνειός στην Θεσσαλία, υδροδοτούν μεγάλες γεωργικές εκτάσεις με την βοήθεια καναλιών, ενώ σε άλλα έχουν δημιουργηθεί τεχνητές λίμνες για τη λειτουργία υδροηλεκτρικών εργοστασίων. Ένα αμφιλεγόμενο για οικολογικούς λόγους σχέδιο των τελευταίων δεκαετιών, είναι η εκτροπή του Αχελώου από τη νότια Πίνδο για την αντιμετώπιση του υδατικού προβλήματος της Θεσσαλίας.

2.5 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί

Η Ελλάδα αποτελείται από ποικίλους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί αυτοί δεν ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή. Ένα μεγάλο ποσοστό καταλαμβάνουν τα αδιαπέρατα γεωλογικά στρώματα, σχηματισμοί δηλαδή οι οποίοι δεν αφήνουν το επιφανειακό νερό να εισχωρήσει στον υπόγειο υδροφόρο, καθώς επίσης και τα καρστικά πετρώματα. Οι καρστικοί σχηματισμοί δομούνται από ευδιάλυτα ανθρακικά πετρώματα με χαρακτηριστικό ανάγλυφο, που είναι αποτέλεσμα της μηχανικής και χημικής δράσης του νερού. Η διάλυση των πετρωμάτων από το νερό προκαλεί διεύρυνση των κοιλοτήτων εντός του πετρώματος, αύξηση της διαπερατότητάς του και δυνατότητα μεταβίβασης διαμέσου αυτού μεγάλων ποσοτήτων νερού. Τα καρστικά πετρώματα έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο γενικότερα και τον Ελλαδικό ειδικότερα μιας και συνεισφέρουν καταλυτικά στον εμπλουτισμό και την μεταφορά του υπόγειου υδατικού δυναμικού (Μαυροκεφαλίδου, 2005).



Εικόνα 2: Υδρολιθολογικός Χάρτης Ελλάδας, (Υπουργείο Ανάπτυξης, Διεύθυνση Υδατικού Δυναμικού, Αθήνα 1996).

Στην Εικόνα 1, με καφέ και ροζ αποχρώσεις απεικονίζονται οι αδιαπέρατοι σχηματισμοί, όπως Φλύσχης, Μεταμορφωμένα πετρώματα, Πλουτώνια και Ηφαιστειακά πετρώματα. Οι καρστικοί σχηματισμοί απεικονίζονται με μπλε και πράσινες αποχρώσεις και χωρίζονται σε: 1) Ασβεστόλιθους και μάρμαρα εκτεταμένης ανάπτυξης, μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας, 2) Ασβεστόλιθους και μάρμαρα περιορισμένης ανάπτυξης, κυμαινόμενης υδροπερατότητας και 3) Τριαδικά ασβεστολιθικά λατυποπαγή της Ιονίου ζώνης, μικρής έως μέτριας υδροπερατότητας. Τέλος, σε κίτρινες αποχρώσεις συναντάμε πορώδεις σχηματισμούς οι οποίοι με τη σειρά τους διακρίνονται σε: 1) Κοκκώδεις προσχωματικές αποθέσεις κυμαινόμενης υδροπερατότητας, 2) Κοκκώδης μη προσχωματικές αποθέσεις μέτριας έως πολύ μικρής υδροπερατότητας και 3) Κοκκώδης μολασσικές αποθέσεις σχετικά μικρής υδροπερατότητας.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΤΕΧΝΗΤΑ ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

3.1 Εισαγωγή στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος για να εκτελέσει αναγνώριση προσώπων, δηλαδή να αναγνωρίσει γνωστά μας πρόσωπα σε άγνωστα περιβάλλοντα, χρειάζεται περίπου 100-200 χιλιοστά του δευτερολέπτου, ενώ ένας πολύ ισχυρός σύγχρονος ηλεκτρονικός υπολογιστής θα χρειαζόταν ίσως ολόκληρες ημέρες για να εκτελέσει μια τέτοια λειτουργία (Churchland, 1986). Ο ανθρώπινος εγκέφαλος υπερισχύει. Υπάρχουν δύο λόγοι για αυτό: η δυνατότητα εκπαίδευσης και η παράλληλη επεξεργασία των δεδομένων (Τσεκουρά, 2004). Η ικανότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου να φτιάχνει από πολύ μικρή ηλικία και διαρκώς να διορθώνει κανόνες (αυτό που συνήθως ονομάζουμε εμπειρία), καθώς και η δυνατότητά του για μαζική παράλληλη επεξεργασία δεδομένων, του δίνει πλεονέκτημα απέναντι στους σημερινούς σειριακούς υπολογιστές σε πολλά προβλήματα που απαιτούν λύση σε πραγματικό χρόνο (real time) (Λιβιέρης, 2008).

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούν μια προσπάθεια προσέγγισης της λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου από μια μηχανή προσομοίωσης. Με τον όρο Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΤΝΔ) εννοούμε ένα μαθηματικό μοντέλο που αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων υπολογιστικών στοιχείων, οι οποίοι ονομάζονται νευρώνες (neurons, Processing Units - PUs), που συνδέονται μεταξύ τους και είναι οργανωμένα σε στρώματα (layers) (Πλαγιανάκος, 2002). Χρησιμοποιείται ο όρος «τεχνητό», για το λόγο ότι οι υπολογισμοί γίνονται με τη χρήση ηλεκτρονικών και όχι βιολογικών στοιχείων (Τσεκουρά, 2004). Η ιστορία των τεχνητών νευρωνικών δικτύων κατά πολλούς άρχισε το 1873, όταν ο ψυχολόγος Alexander Bain πρότεινε τη μελέτη του ανθρώπινου εγκεφάλου σαν ένα δίκτυο που μεταδίδει σήματα (signal transmitting network) (Πλαγιανάκος, 2002).

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούνται από απλά στοιχεία που λειτουργούν σε παράλληλη διάταξη, αυτό σημαίνει ότι εκτελούν έναν μεγάλο αριθμό από διάφορες ενέργειες συγχρόνως. Κάθε νευρώνας έχει πολλές εισόδους αλλά μόνο μια έξοδο, η οποία μπορεί να αποτελέσει με τη σειρά της είσοδο για άλλους νευρώνες (Λυκοθανάσης, 2014). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα ΤΝΔ μιμούνται τη δράση ενός βιολογικού δικτύου

νευρώνων, όπου ο κάθε νευρώνας δέχεται σήματα από διαφορετικούς γειτονικούς νευρώνες (Kohonen, 1988). Η εφαρμογή της τεχνολογίας νευρωνικών δικτύων για την αντιμετώπιση κάποιου προβλήματος περιλαμβάνει τον καθορισμό των στοιχείων του ΤΝΔ, όπως της αρχιτεκτονικής, της τοπολογίας, των παραμέτρων με τις οποίες γίνεται η εκπαίδευση και τη μέθοδο εκπαίδευσης (Τσεκουρά, 2004).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένα νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από ένα πλήθος νευρώνων που συνδέονται μεταξύ τους. Ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι νευρώνες, καθορίζει την αρχιτεκτονική του δικτύου. Η επιλογή αρχιτεκτονικής, αποτελεί απόφαση ιδιαίτερης σημασίας στη σχεδίαση ενός νευρωνικού δικτύου, μιας και παίζει καθοριστικό ρόλο στην ικανότητα του νευρωνικού δικτύου να επιλύει συγκεκριμένα προβλήματα και επιπλέον συνδέεται στενά με τους αλγόριθμους εκπαίδευσης που χρησιμοποιούνται. Οι κυριότερες κατηγορίες αρχιτεκτονικής νευρωνικών δικτύων είναι (Τσορτανίδης, 2005):

- Δίκτυα εμπρός τροφοδότησης ενός επιπέδου
- Δίκτυα εμπρός τροφοδότησης πολλών επιπέδων
- Αναδρομικά δίκτυα
- Δίκτυα με δομή δικτυωτού.

3.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων

Τα ΤΝΔ έχουν μία συμπαγής παράλληλα κατανομημένη δομή καθώς επίσης και μια ικανότητα μάθησης, στοιχεία που κάνουν δυνατή την επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων. Τα πλεονεκτήματα των Νευρωνικών Δικτύων στηρίζονται στις ακόλουθες ιδιότητες που έχουν (Haykin, 1994):

- **Μη-γραμμικότητα.** Ένα Νευρωνικό Δίκτυο μπορεί να είναι γραμμικό ή μη γραμμικό. Η μη- γραμμικότητα είναι πολύ σημαντική ιδιότητα, ιδιαίτερα αν ο φυσικός μηχανισμός για την παραγωγή των σημάτων εισόδου είναι μη-γραμμικός.
- **Σχεδιασμός Εισόδου-Εξόδου.** Ένα συνηθισμένο παράδειγμα μάθησης που καλείται επιβλεπόμενη μάθηση. Σε αυτή τη μέθοδο τα συναπτόμενα βάρη ενός Νευρωνικού Δικτύου αλλάζουν εφαρμόζοντας κάθε φορά ένα σύνολο από παραδείγματα εκπαίδευσης. Κάθε παράδειγμα αποτελείται από ένα μοναδικό σήμα εισόδου και την επιθυμητή απόκριση. Η εκπαίδευση του δικτύου επαναλαμβάνεται για πολλά παραδείγματα, μέχρι το δίκτυο να φτάσει σε μια σταθερή κατάσταση, όπου πλέον

δεν γίνονται αλλαγές στα βάρη. Έτσι το δίκτυο μαθαίνει από τα παραδείγματα, κατασκευάζοντας ένα σχεδιασμό εισόδου-εξόδου για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

- **Προσαρμοστικότητα.** Τα Νευρωνικά Δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να προσαρμόζουν τα βάρη τους στις αλλαγές του περιβάλλοντός τους. Πιο συγκεκριμένα, ένα Νευρωνικό Δίκτυο είναι εκπαιδευμένο να λειτουργεί σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον και μπορεί εύκολα να ξανά εκπαιδευτεί και να χειριστεί μικρές αλλαγές των προτύπων. Επίσης, όταν ένα Νευρωνικό Δίκτυο λειτουργεί σε ένα μη-στάσιμο περιβάλλον, μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να αλλάζει τα συναπτόμενα βάρη του σε πραγματικό χρόνο.
- **Αποδεικτική Απόκριση.** Τα εκπαιδευμένα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα μπορούν όχι μόνο να ταξινομούν και να τοποθετούν τα πρότυπα εισόδου σε κλάσεις, αλλά επιπρόσθετα δίνουν και το βαθμό εμπιστοσύνης αυτής της απόφασης. Αυτό βοηθάει αργότερα να απορρίψουμε κάποια ανεπιθύμητα δείγματα και βελτιώνει την απόδοση του συστήματος.
- **Συναφής Πληροφορία.** Κάθε νευρώνας του Δικτύου επηρεάζεται από την συνολική δραστηριότητα όλων των άλλων νευρώνων. Συνεπώς εκ φύσεως ένα Νευρωνικό Δίκτυο ασχολείται με συναφείς πληροφορίες.
- **Αντοχή σε σφάλματα.** Ένα Νευρωνικό Δίκτυο έχει την δυνατότητα να είναι ανεκτικό στο λάθος και να κάνει σωστούς υπολογισμούς, χωρίς μεγάλα σφάλματα, με την έννοια ότι η απόδοσή του μειώνεται κάτω από αντίξοες λειτουργικές συνθήκες.
- **Υλοποισιμότητα σε VLSI (Very Large Scale Integration).** Η μαζικά παράλληλη φύση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων τα καθιστά ιδανικά για υλοποίηση σε υλικό με χρήση της τεχνολογίας ολοκλήρωσης πολύ μεγάλης κλίμακας (VLSI). Η συμπαγής παράλληλη φύση του Νευρωνικού Δικτύου, κάνει δυνατή την υλοποίηση του σε VLSI τεχνολογία, έτσι ώστε τα νευρωνικά δίκτυα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- **Ομοιομορφία Ανάλυσης και Σχεδιασμού.** Οι νευρώνες των Νευρωνικών Δικτύων είναι στην ουσία επεξεργαστές πληροφοριών. Οι νευρώνες με την μια μορφή τους ή την άλλη αντιπροσωπεύουν ένα κοινό συστατικό σε όλα τα Νευρωνικά Δίκτυα. Αυτή η ομοιότητα των Νευρωνικών Δικτύων όσο αφορά τους νευρώνες, δίνει την δυνατότητα διαφορετικές εφαρμογές των Νευρωνικών Δικτύων να μοιράζονται διάφορες θεωρίες και αλγόριθμους εκμάθησης.

Ως μειονεκτήματα των ΤΝΔ μπορούν να θεωρηθούν τα παρακάτω:

- Δεν υπάρχουν σαφείς κανόνες για την ανάπτυξη ΤΝΔ για οποιαδήποτε εφαρμογή.
- Δεν υπάρχει γενικός τρόπος για την ερμηνεία της εσωτερικής λειτουργίας του δικτύου και δεν λαμβάνουν υπόψη τους το φυσικό σύστημα.
- Η εκπαίδευση μπορεί να είναι δύσκολη ή αδύνατη.
- Η ικανότητα γενίκευσης είναι δύσκολα προβλέψιμη.

3.3 Πεδία Εφαρμογής Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων

Τα νευρωνικά δίκτυα κατασκευάζονται για να λύσουν τα προβλήματα που δεν μπορούν να λυθούν χρησιμοποιώντας τους συμβατικούς αλγορίθμους. Τέτοια προβλήματα είναι συνήθως προβλήματα βελτιστοποίησης ή ταξινόμησης. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν εφαρμοστεί στην επίλυση ποικίλων προβλημάτων. Παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικές από τις βασικές εφαρμογές των ΤΝΔ σε διάφορους τομείς Επιστήμης και Τεχνολογίας (Πλαγιανάκος, 2002; Τσεκουρά, 2004).

- *Αεροπλοΐα.* Δημιουργία προγραμμάτων προσομοίωσης και αυτόματων πιλότων, συστήματα ελέγχου πτήσης, εντοπισμός ελαττωμάτων σε μέρη των αεροπλάνων.
- *Βιολογία.* Χρησιμοποιείται ώστε να βοηθήσει στην κατανόηση του εγκεφάλου και άλλων συστημάτων, για τη δημιουργία μοντέλων αμφιβληστροειδούς χιτώνα και κοχλίας.
- *Γεωλογία.* Ανάλυση πετρωμάτων σε ορυχεία, ανάλυση μόλυνσης περιβάλλοντος, ανάλυση ύπαρξης πετρελαίου σε γεωλογικούς σχηματισμούς, ανάλυση και μορφολογία σεισμικού σήματος.
- *Επιχειρήσεις.* Αξιολόγηση υποψηφίων για κάποια θέση, αναγνώριση γραφικού χαρακτήρα, βελτιστοποίηση συστήματος κράτησης θέσεων σε μεταφορικά μέσα.
- *Ιατρική.* ανάλυση καρδιογραφήματος, ιατρική διάγνωση και επεξεργασία ιατρικής εικόνας.
- *Κατασκευές.* Αυτόματος έλεγχος, έλεγχος γραμμής παραγωγής, έλεγχος ποιότητας, επιλογή τμημάτων κατά το στάδιο της συναρμολόγησης, ρομποτική.
- *Οικονομία.* Ανάλυση αγοράς μετοχών, υπολογισμός κινδύνου σε δάνεια και υποθήκες, εκτίμηση φερεγγυότητας δανειζόμενου πελάτη, ασφάλεια συναλλαγών, αναγνώριση πλαστογραφιών, μετάφραση χειρόγραφων εντύπων, εκτίμηση ακίνητης περιουσίας, εκτίμηση τιμών μετοχών και συναλλάγματος.
- *Περιβάλλον.* Πρόγνωση καιρού, ανάλυση τάσεων και καιρικών συνθηκών.

- *Άμυνα*. Υποβρύχια ανίχνευση ναρκών, χειρισμός μη επανδρωμένων οχημάτων και αεροπλάνων, ανάλυση και κατηγοριοποίηση σήματος radar, αναγνώριση και σκόπευση στόχων, βελτιστοποίηση αξιοποίησης αποθεμάτων.
- *Υπολογιστές*. Αναγνώριση φωνής, κειμένου, χειρονομιών και πιστοποίηση ταυτότητας, μετατροπή κειμένου σε ομιλία, δρομολόγηση πληροφοριών σε δίκτυα υπολογιστών.

3.4 Τεχνικά Νευρωνικά Δίκτυα και Matlab

Η Matlab είναι μια γλώσσα προγραμματισμού εύκολη στη χρήση της. Δίνει τη δυνατότητα στους διάφορους χρήστες να δημιουργούν και να προσαρμόζουν τη γλώσσα στις δικές τους απαιτήσεις και εφαρμογές, χωρίς να χρειάζεται να προγραμματίσουν από την αρχή (Σταματιαδη, 2003).

Η Matlab είναι ένα λογισμικό πακέτο για υψηλής απόδοσης αριθμητικούς υπολογισμούς (numerical computations). Παρέχει στο χρήστη ένα διαδραστικό περιβάλλον με χιλιάδες ενσωματωμένες συναρτήσεις, κατάλληλες για την υλοποίηση απαιτητικών υπολογιστικών αναλύσεων, γραφημάτων καθώς επίσης και για την παραγωγή διαφόρων *animations*. Επιπλέον, η Matlab προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης σε ποικίλα πεδία εφαρμογών με τη αξιοποίηση της υψηλού επιπέδου γλώσσας προγραμματισμού, την οποία διαθέτει σε όλες τις εκδόσεις της. Το όνομα MATLAB προέρχεται από τις λέξεις MATrix και LABoratory (Σταματιαδη, 2003). Η Matlab αποτελεί ένα εξελιγμένο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της επιστήμης όπως τη μηχανική, την ιατρική, τις θετικές επιστήμες (Μαθηματικά – Φυσική), την οικονομία καθώς και γενικά τη βιομηχανική παραγωγή (Ballabioetal., 2009).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιείται η εργαλειοθήκη των ΤΝΔ (nntool) σε περιβάλλον Matlab 2013 (Math Works). Οι αλγόριθμοι που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση των ΤΝΔ παρέχονται από τη Matlab μέσω της εργαλειοθήκης nntool. Τα δεδομένα εισάγονται από φύλλο excel και αποθηκεύονται σε φάκελο της Matlab. Η εφαρμογή και εκτέλεση του μοντέλου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω του παραθύρου εντολών της Matlab, που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να εκτελέσει όλα τα βήματα της ανάλυσης (δηλαδή φόρτωση και προετοιμασία δεδομένων, σχεδιασμός μοντέλου υπολογισμού, εκπαίδευση, πρόβλεψη του δείγματος, και γραφική ανάλυση των αποτελεσμάτων (Ballabioetal., 2009).

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

4.1 Γενικά

Τα Γεωγραφικά συστήματα Πληροφοριών αποτελούν ολοκληρωμένα συστήματα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης πληροφορίας που αναφέρεται σε φαινόμενα που εξελίσσονται στο γεωγραφικό χώρο (Goodchild, 1985). Λόγω των αυξημένων δυνατοτήτων σε θέματα χειρισμού και επεξεργασίας δεδομένων το GIS χρησιμοποιείται με αυξητικούς ρυθμούς για τη διαχείριση δεδομένων, έτσι ώστε να αναπτύξει υδρολογικές και υδραυλικές προσομοιώσεις για τη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου και την ελαχιστοποίηση των συνεπειών που μπορεί να επιφέρουν.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή κατά την ξένη ορολογία Geographic Information System (GIS) είναι συστήματα βασιζόμενα σε υπολογιστικό εξοπλισμό το οποίο χαρτογραφεί και αναλύει «αντικείμενα» που υφίστανται στην επιφάνεια της γης (και όχι μόνο) καθώς και γεγονότα που συμβαίνουν σε δεδομένη χρονική πραγματικότητα στον γεωγραφικό της χώρο (Burrough, 1986; Κουτσόπουλος, 2002).

Το ArcGIS Desktop είναι ένα λογισμικό χωρικής ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων και είναι διαθέσιμο σε 3 εκδόσεις:

ArcView: Το οποίο μπορεί να προσφέρει αναλυτική χρήση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, όπως επίσης και χαρτογράφηση και ανάλυση των δεδομένων αυτών.

ArcEditor: Το οποίο περιέχει τις δυνατότητες του ArcView καθώς επίσης και τις δυνατότητες δημιουργίας και διόρθωσης δεδομένων.

ArcInfo: Το οποίο περιέχει τις δυνατότητες του ArcView και ArcEditor καθώς και επιπλέον εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων.

Κάθε μια από τις εκδόσεις του ArcGIS περιέχει 3 βασικές εφαρμογές το ArcMap, το ArcCatalog και το ArcToolBox. Το ArcMap αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του ArcGIS Desktop και έχει τις δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας χαρτών, εμφάνισης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, αναζήτησης και επιλογής χωρικών δεδομένων, δημιουργίας γραφημάτων και διαμόρφωσης χαρτών για εκτύπωση. Σχεδιάστηκε για να καλύψει τις ανάγκες που προκύπτουν από τη μεριά του χαρτογράφου, για την παραγωγή θεματικών χαρτών κάθε μορφής και περιεχομένου, όπως και εφαρμογών GIS. Στην

εφαρμογή ArcCatalog ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να έχει πρόσβαση και να διαχειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα. Τέλος με την εφαρμογή ArcToolBox ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει χωρικά δεδομένα από μια μορφή σε μια άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του (Τσουχλαράκη και Αχιλλέως, 2010).

Στην παρούσα μελέτη, πρόκειται να γίνει προσδιορισμός των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Ο προσδιορισμός αυτός θα γίνει με χρήση του λογισμικού ArcGIS Desktop και πιο συγκεκριμένα της έκδοσης ArcView 9.3 της εταιρίας ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών παρέχουν τις ακόλουθες δυνατότητες:

- Ψηφιοποίηση δεδομένων, δηλαδή την εισαγωγή σημείων, γραμμών, πολυγώνων
- Αποθήκευση δεδομένων, δηλαδή την αποθήκευση πολλαπλών χαρακτηριστικών και το συσχετισμό αριθμητικών και γραφικών δεδομένων
- Επεξεργασία δεδομένων, δηλαδή τον εντοπισμό σφαλμάτων, τον συνδυασμό των δεδομένων με νέα δεδομένα, τη μετατροπή των x,y συντεταγμένων της ψηφιοποίησης σε πραγματικές συντεταγμένες, την ένωση δυο ή περισσότερων χαρτών κ.α.
- Ανάλυση δεδομένων, δηλαδή την δημιουργία πολυγώνων γύρω από σημεία ή γραμμές, την μέτρηση μηκών και εκτάσεων, τη δυνατότητα εφαρμογής μοντέλων κ.α.
- Εξαγωγή δεδομένων στην οθόνη, την εκτύπωση κ.α.

Τα γεωγραφικά δεδομένα που εισάγονται μέσω της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και αφού υποστούν τις απαραίτητες διορθώσεις, χρησιμοποιούνται από τα ΓΣΠ. Αυτά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Σε χωρικά δεδομένα, τα οποία χαρακτηρίζονται από τη θέση τους στο χώρο και διακρίνονται σε:
 - i. Σημειακά επίπεδα πληροφοριών που εντοπίζονται στον γεωγραφικό χώρο με την χρήση γεωγραφικών συντεταγμένων π.χ γεωτρήσεις
 - ii. Γραμμικά επίπεδα πληροφοριών, π.χ ισοϋψείς καμπύλες, ρήγματα κ.α.
 - iii. Επιφανειακά επίπεδα πληροφοριών/πολύγωνα, τα οποία καταλαμβάνουν μια κλειστή έκταση, π.χ οικισμοί, εδαφολογικές και λιθολογικές ενότητες κ.α.

- iv. Δεδομένα ανάγλυφου ή τρισδιάστατα, τα οποία καταλαμβάνουν όχι μόνο μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αλλά εκτείνονται και στο χώρο. Έχουν δηλαδή μήκος, πλάτος και ύψος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Ανάγλυφου (χάρτης υψομέτρων) (Digital Elevation Model/ DEM).
- Σε μη χωρικά δεδομένα, τα οποία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες ή τις τιμές μιας χωρικής θέσης (Αστάρας, 2007).

4.2 Δομή Δεδομένων

Τα χωρικά δεδομένα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για χρήση από τα ΓΣΠ. Κατά την ψηφιοποίηση διατηρούνται τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Τα ψηφιακά δεδομένα καταχωρούνται είτε σε μορφή καννάβου (raster) είτε σε μορφή διανύσματος ή πολυγώνου (vector) (Αστάρας, 2007).

4.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΓΣΠ (GIS)

Τα πλεονεκτήματα των ΓΣΠ περιγράφονται παρακάτω (Αστάρας, 2007):

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μικρό χώρο
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό, κατά κοινοτική ή δημοτική περιφέρεια κλπ
- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών
- Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά, επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις κλπ
- Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα
- Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δυο ή περισσότερους περιόδους
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος απ' ότι με τις κλασικές μεθόδους.

Τα μειονεκτήματα των ΓΣΠ περιγράφονται παρακάτω:

- Το κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και οι τεχνικές υποστήριξης και συντήρησης αυτού είναι αρκετά υψηλό
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού
- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων (Ασάρας, 2007).

4.4 Χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Η ανάγκη εκτίμησης της επικινδυνότητας μιας περιοχής όσον αφορά διάφορα φαινόμενα και ιδιαίτερα τις φυσικές καταστροφές (ρύπανση υπόγειου νερού, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.) υπήρχε από πολύ παλιά αλλά άρχισε να εφαρμόζεται σαν πρακτική τη δεκαετία του 60 με την ισχυροποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τη δημιουργία εξειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφίας (Kourgialas & Karatzas, 2011). Τα ΓΣΠ εμφανίζονται να είναι το πιο υποσχόμενο τεχνολογικά εργαλείο για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, δεδομένου ότι ενσωματώνει όλες τις τεχνικές αξιολόγησης χωρικών δεδομένων (Ologunorisa, 2005).

Η τρωτότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα ορίζεται ως ο βαθμός της ευαισθησίας στην εμφάνιση ζημιών από επικίνδυνα σχετικά με το νερό φαινόμενα. Για να προσδιοριστεί η πλημμυρική τρωτότητα, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι πηγές κινδύνου από μια ξαφνική εκδήλωση βροχόπτωσης και να εντοπιστούν οι εξαιρετικά επικίνδυνες περιοχές. Η κλασική προσέγγιση για την σκιαγράφηση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες με διαφορετικά επίπεδα κινδύνου βασίζεται στην εφαρμογή της υδρολογικής-υδραυλικής μοντελοποίησης. Ωστόσο, για περιοχές όπου οι εκτιμήσεις είναι δαπανηρές και χρονοβόρες δεν είναι δυνατή η υδρολογική-υδραυλική προσομοίωση, έτσι είναι απαραίτητη η χρήση ενός αποτελεσματικού εργαλείου για την σκιαγράφηση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες. Για τη σύνθεση των δεδομένων και τη χαρτογράφηση των σχέσεων μεταξύ των επικίνδυνων φυσικών φαινομένων απαιτείται η χρήση εργαλείων όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Τα GIS έχουν εξελιχθεί σε τρεις γενικούς τομείς εφαρμογής: (α) ως βάση δεδομένων πληροφοριών, (β) ως ένα αναλυτικό εργαλείο, ένα μέσο για τον καθορισμό των λογικών και μαθηματικών σχέσεων μεταξύ χαρτών για την παραγωγή νέων χαρτών και (γ) ως ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων (Kourgialas&Karatzas, 2011).

Για να ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο στόχο ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, πρέπει να αξιολογηθούν διάφορα κριτήρια που αναφέρονται ως «πολλαπλά - κριτήρια αξιολόγησης» ή απλά «μοντελοποίηση» (Kourgialas&Karatzas, 2011). Οι πολλαπλοί στόχοι που απαιτούνται κατά την πολυκριτηριακή ανάλυση, προϋποθέτουν αναλυτικά εργαλεία που περιγράφουν και αξιολογούν ένα πρόβλημα στις πολλές διαστάσεις του, διατυπώνουν και εξετάζουν τις διαφορετικές πτυχές του προβλήματος, αξιολογούν τη σημασία και τη σχετικότητα αυτών των πτυχών με συνεπή τρόπο και περιλαμβάνουν τις απόψεις πολλών διαφορετικών υπευθύνων για τη λήψη αποφάσεων (Carlssonetal., 1983; Lahdelmaetal., 2000). Η ενσωμάτωση των πολλαπλών κριτηρίων ανάλυσης (MCA) σε ένα πλέγμα καννάβου σε περιβάλλον GIS, παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια και ευελιξία στην απόφαση εύρεσης και ανάλυσης των περιοχών που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα.

Στην παρούσα μελέτη, για τον εντοπισμό των περιοχών της Ελλάδος οι οποίες κινδυνεύουν από πλημμυρικά φαινόμενα δημιουργούνται επτά διαφορετικοί θεματικοί χάρτες με χρήση των ΓΣΠ. Έπειτα, με το συνδυασμό τους (χρήση εργαλαιοθήκης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων σε περιβάλλον Matlab) εξάγεται ένας τελικός συνθετικός χάρτης που εμπεριέχει τις περιοχές που κινδυνεύουν από πλημμυρικά φαινόμενα, με βαθμό επικινδυνότητας 1-5 (πολύ χαμηλό - πολύ υψηλό). Τα πολλαπλά κριτήρια που εμπλέκονται για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι οι επτά επιμέρους θεματικοί χάρτες θα περιέχουν το βαθμό επικινδυνότητας για πλημμύρες ανάλογα με: την Ένταση της βροχόπτωσης, το Υψόμετρο, την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, τις Χρήσεις γης, τη Συσσώρευση επιφανειακής ροής, τη Διαβρωσιμότητα του εδάφους και την Υδατοϊκανότητα του εδάφους.

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τον προσδιορισμό των πλημμυρικά επικινδυνων περιοχών στην Ελλάδα, δημιουργήθηκε ο χάρτης διαβάθμισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε περιβάλλον GIS ArcMap. Ο τελικός αυτός χωρικός χάρτης προέκυψε από το συνδυασμό επτά (7) επιμέρους θεματικών χαρτών, που σχετίζονται άμεσα με τα πλημμυρικά φαινόμενα. Οι θεματικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν: 1) την Ένταση βροχόπτωσης (Rainfall intensity), 2) την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου (Slope), 3) το Υψόμετρο (Elevation), 4) τις Χρήσεις γης (Land use), 5) τη Συσσώρευση επιφανειακής ροής (Flow accumulation), 6) τη Διαβρωσιμότητα του εδάφους (Erodibility), 7) την Υδατοϊκανότητα του εδάφους (Available water capacity). Όλοι αυτοί οι παράγοντες-χάρτες γεωαναφέρθηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα ΕΓΣΑ '87. Τα επίπεδα χωρικής πλημμυρικής επικινδυνότητας περιγράφονται ως η πιθανότητα να έχουμε πλημμυρικό γεγονός μέσα σε ένα υδρολογικό έτος:

- 2% πιθανότητα (20-year flood) - Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 1% πιθανότητα (100-year flood) - Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,5% πιθανότητα (200-year flood) - Μέτρια Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,2% πιθανότητα (500-year flood) - Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- < 0,2% πιθανότητα (>500-year flood) - Πολύ Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα

Κάθε ένας από τους 7 θεματικούς χάρτες, ο οποίος περιγράφει την επίδραση του στην πλημμυρική επικινδυνότητα, μετατρέπεται με τη χρήση των ΓΣΠ σε σημειακό αρχείο τύπου shapefile . Έτσι εξάγονται επτά σημειακοί χάρτες όπου κάθε σημείο περιγράφει μια από τις 5 προαναφερόμενες κατηγοριοποιήσεις σχετικά με την πλημμυρική επικινδυνότητα (Πολύ Χαμηλή– Πολύ Υψηλή)) με συγκεκριμένες συντεταγμένες. Η εξαγωγή των σημείων σε φύλλο excel χρησιμοποιείται σαν δείγμα (sample) στην εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου.

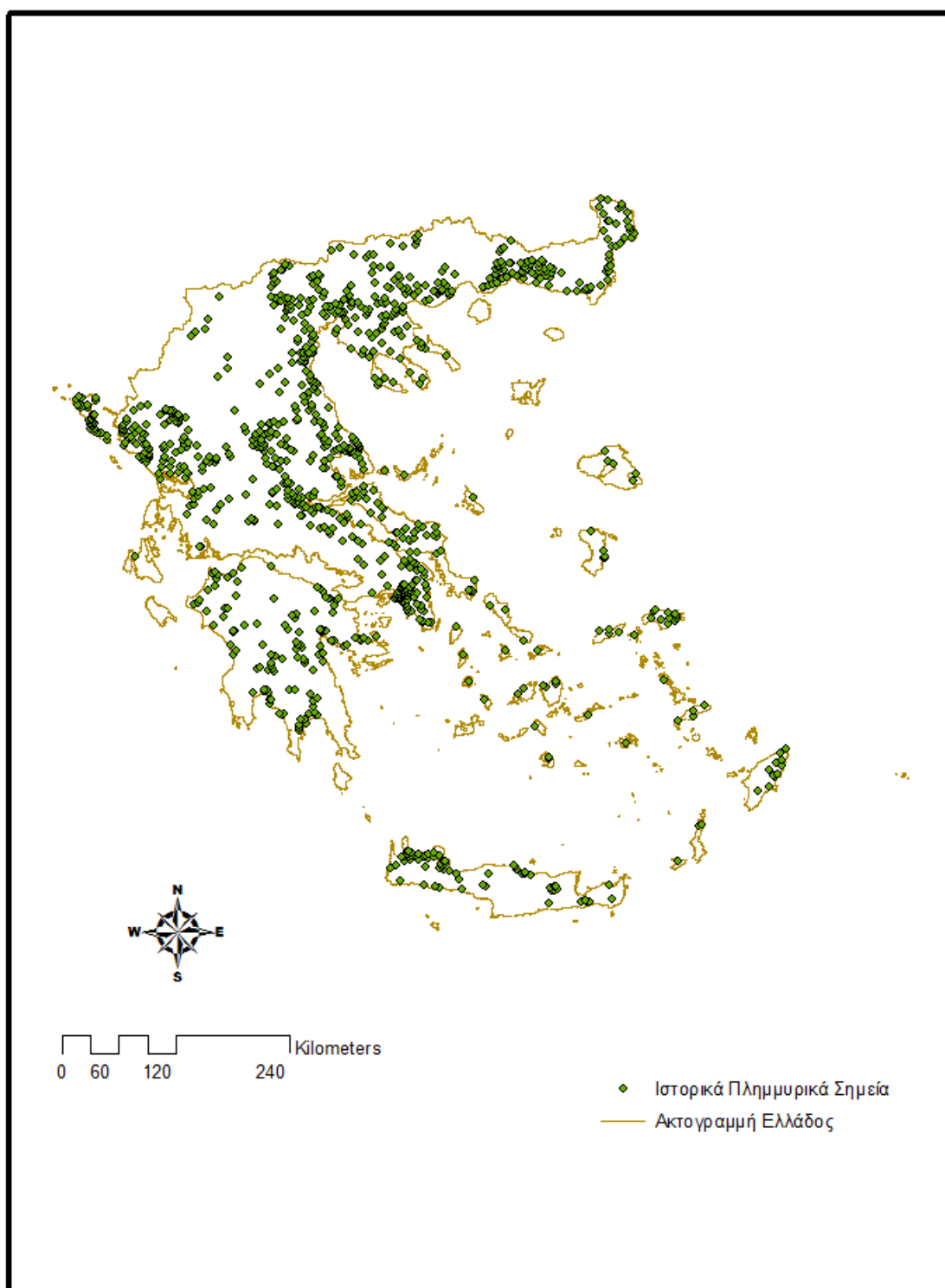
Ο καθορισμός της επίδρασης του κάθε παράγοντα χωριστά στην πλημμυρική επικινδυνότητα δεν δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα της ολικής επίδρασης. Έτσι, η ολοκληρωμένη συσχέτιση όλων των παραγόντων μαζί, είναι απαραίτητη προκειμένου να δημιουργηθεί ο τελικός χωρικός χάρτης πλημμυρικού κινδύνου. Καθώς οι διάφοροι παράγοντες/θεματικοί χάρτες δεν έχουν το ίδιο βαθμό επίδρασης, μια πολυκριτηριακή προσέγγιση θα πρέπει να ακολουθηθεί προκειμένου να ενσωματωθούν αυτές οι αλληλεπιδράσεις. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού

Matlab, κάνοντας χρήση της εργαλειοθήκης nntool. Τα δεδομένα ταξινομήθηκαν ανάλογα με την πλημμυρική τους επικινδυνότητα (Πολύ Χαμηλή – Πολύ Υψηλή) σε φύλλο excel και εισήχθησαν στη Matlab ώστε να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της εκπαίδευσης των τεχνικών νευρωνικών δικτύων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πλημμύρες αποτελούν μια συχνή φυσική καταστροφή. Πλημμύρα συμβαίνει λόγω ραγδαίων βροχοπτώσεων και ισχυρών καταιγίδων, από το ανέβασμα της στάθμης των ποταμών, το λιώσιμο των πάγων κ.α. Στον Ελλαδικό χώρο είναι καταγεγραμμένα πληθώρα από πλημμυρικά συμβάντα στην πάροδο των χρόνων. Στην Εικόνα 10 παρουσιάζονται ιστορικά πλημμυρικά σημεία που καταγράφηκαν τα τελευταία 100 χρόνια. Όπως φαίνεται στην συγκεκριμένη εικόνα (Εικόνα 10) οι πιο επιρρεπείς περιοχές σε πλημμυρικά συμβάντα είναι (Diakakis et al., 2012):

- κυρίως πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές της Βόρειας και Ανατολικής Ελλάδας. Ενώ, ο μεγαλύτερος αριθμός συμβάντων ανά θέση καταγράφεται στον ποταμό Έβρο, στις πεδιάδες Ξάνθης-Κομοτηνής, στην πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα, στη Θεσσαλονίκη, στην πεδιάδα Κατερίνης, στη Θεσσαλική πεδιάδα, στην κοιλάδα του ποταμού Σπερχειού στα Χανιά της Κρήτης και στη Ρόδο.
- Στη δυτική Ελλάδα πλημμύρες καταγράφονται κυρίως στη νήσο Κέρκυρα, στην κλειστή λεκάνη Ιωαννίνων, στις πεδινές περιοχές του ποταμού Καλαμά και των ποταμών Αχέροντα, Λούρου και Αράχθου. Επίσης μεγάλος αριθμός συμβάντων καταγράφεται στο λεκανοπέδιο Αττικής.

Για την εκπαίδευση του Τεχνικού Νευρωνικού Δικτύου σε περιβάλλον Matlab γίνεται η χρήση των παραπάνω ιστορικών πλημμυρικών δεδομένων για όλη την Ελληνική επικράτεια.

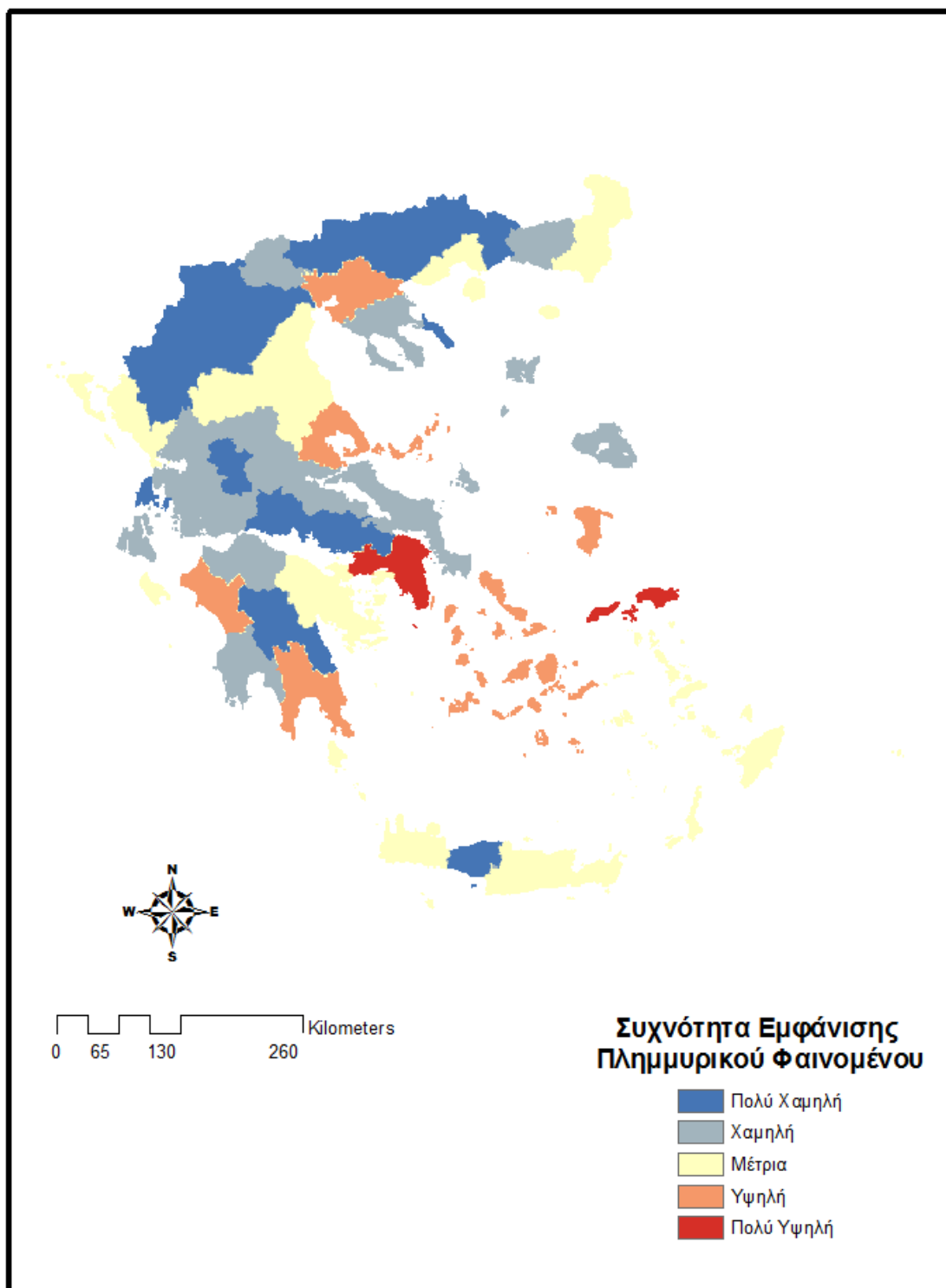


Εικόνα 3: Χάρτης Ιστορικών Πλημμυρικών Δεδομένων, (Diakakis et al., 2012)

Αναλυτικότερα, με βάση το 70% των παραπάνω ιστορικών πλημμυρικών σημείων και τη χωρική κατανομή αυτών στους επτά προαναφερόμενους παράγοντες/χάρτες (άμεσα εμπλεκόμενους στη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων) υλοποιείται η εκπαίδευση του

Τεχνικού Νευρωνικού Δικτύου προκειμένου να εξαχθεί ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας για την Ελληνική επικράτεια.

Όπως προαναφέρθηκε τα παραπάνω ιστορικά πλημμυρικά δεδομένα αναφέρονται στην χρονική περίοδο των τελευταίων 100 ετών κατηγοριοποιούνται δηλαδή, σύμφωνα με τα επίπεδα χωρικής επικινδυνότητας που αναφέρθηκαν παραπάνω, στις περιοχές Υψηλής και Πολύ Υψηλής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας. Προκειμένου όμως το Τεχνικό Νευρωνικό Δίκτυο να εκπαιδευτεί και στις περιοχές με Μέτρια έως Πολύ Χαμηλή Πλημμυρική συχνότητα θεωρούμε τυχαία σημεία τα οποία κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τον χάρτη συχνότητας εμφάνισης πλημμύρας στην Ελληνική επικράτεια για τις κατηγορίες Μέτριας, Χαμηλής και πολύ Χαμηλής πλημμυρικής συχνότητας (Εικόνα 4). Στην Εικόνα 4 περιγράφεται ο χάρτης συχνότητας εμφάνισης πλημμύρας ανά 100km^2 επιφάνειας σύμφωνα με βιβλιογραφικές πηγές (Diakakis et al., 2012).



Εικόνα 4: Χάρτης Συχνότητας Εμφάνισης Πλημμυρικού Φαινομένου, ανά 100 km², (Diakakis et al., 2012)

Κάθε ένα ιστορικό πλημμυρικό σημείο (με τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες) περιγράφεται από τη συχνότητα εμφάνισης πλημμύρας. Η χωρική κατανομή αυτών των ιστορικών πλημμυρικών σημείων στους αντίστοιχους 7 παράγοντες / θεματικούς χάρτες, που εμπλέκονται άμεσα στην εμφάνιση πλημμυρών, προσδιορίζει για

κάθε ένα πλημμυρικό σημείο μια αντίστοιχη πλημμυρική επικινδυνότητα (πολύ χαμηλή – πολύ υψηλή). Δημιουργείται έτσι μια βάση δεδομένων όπου κάθε ένα ιστορικό πλημμυρικό σημείο περιγράφεται από διαφορετικό βαθμό πλημμυρικής επικινδυνότητας για κάθε ένα από τους επτά (7) μελετούμενους παράγοντες/θεματικούς χάρτες (Input). Η βάση δεδομένων αυτή χρησιμοποιείται στην συνέχεια για την εκπαίδευση των τεχνικών νευρωνικών δικτύων σε περιβάλλον Matlab. Τα δεδομένα εισόδου εισάγονται στη Matlab από την οποία προκύπτει ένας πολύ καλός στατιστικός δείκτης εκπαίδευσης του συστήματος.

Μετά την εκπαίδευση του Τεχνικού Νευρωνικού Δικτύου, οι επτά (7) θεματικοί χάρτες μετατρέπονται σε σημειακά αρχεία. Οπότε κάθε ένας από τους επτά (7) χάρτες που περιγράφει τα πέντε επίπεδα πλημμυρικής επικινδυνότητας μετατρέπεται σε σημειακό αρχείο όπου κάθε σημείο περιγράφει την αντίστοιχη πλημμυρική επικινδυνότητα. Στην συνέχεια, τα επτά (7) σημειακά αρχεία εισάγονται στο ήδη εκπαιδευμένο Τεχνικό Νευρωνικό Δίκτυο, σε μορφή excel, προκειμένου στην συνέχεια να εξαχθεί ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σημειακή μορφή, ο σημειακός δηλαδή χάρτης που περιγράφει την συχνότητα εμφάνισης πλημμύρας στην Ελληνική επικράτεια. Κάθε σημείο ανήκει σε μία κατηγορία συχνότητας εμφάνισης πλημμύρας. Έπειτα, τα στοιχεία αυτά εισάγονται σε περιβάλλον GIS και με την επιλογή της κατάλληλης μέθοδο χωρικής παρεμβολής εξάγεται ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας σε μορφή καννάβου.

Στο στάδιο της χωρικής παρεμβολής (interpolation), σε περιβάλλον GIS, εφαρμόζονται 3 διαφορετικές μέθοδοι, (Inverse Distance Weighting, Spline, Kriging). Η επιλογή της πιο αξιόπιστης μεθόδου χωρικής παρεμβολής πραγματοποιείται με βάση το στατιστικό δείκτη (RMSE) για κάθε μια μέθοδο παρεμβολής. Για την επαλήθευση του τελικού πλημμυρικού χάρτη χρησιμοποιείται το υπόλοιπο 30 % των ιστορικών πλημμυρικών σημείων στην Ελληνική επικράτεια.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

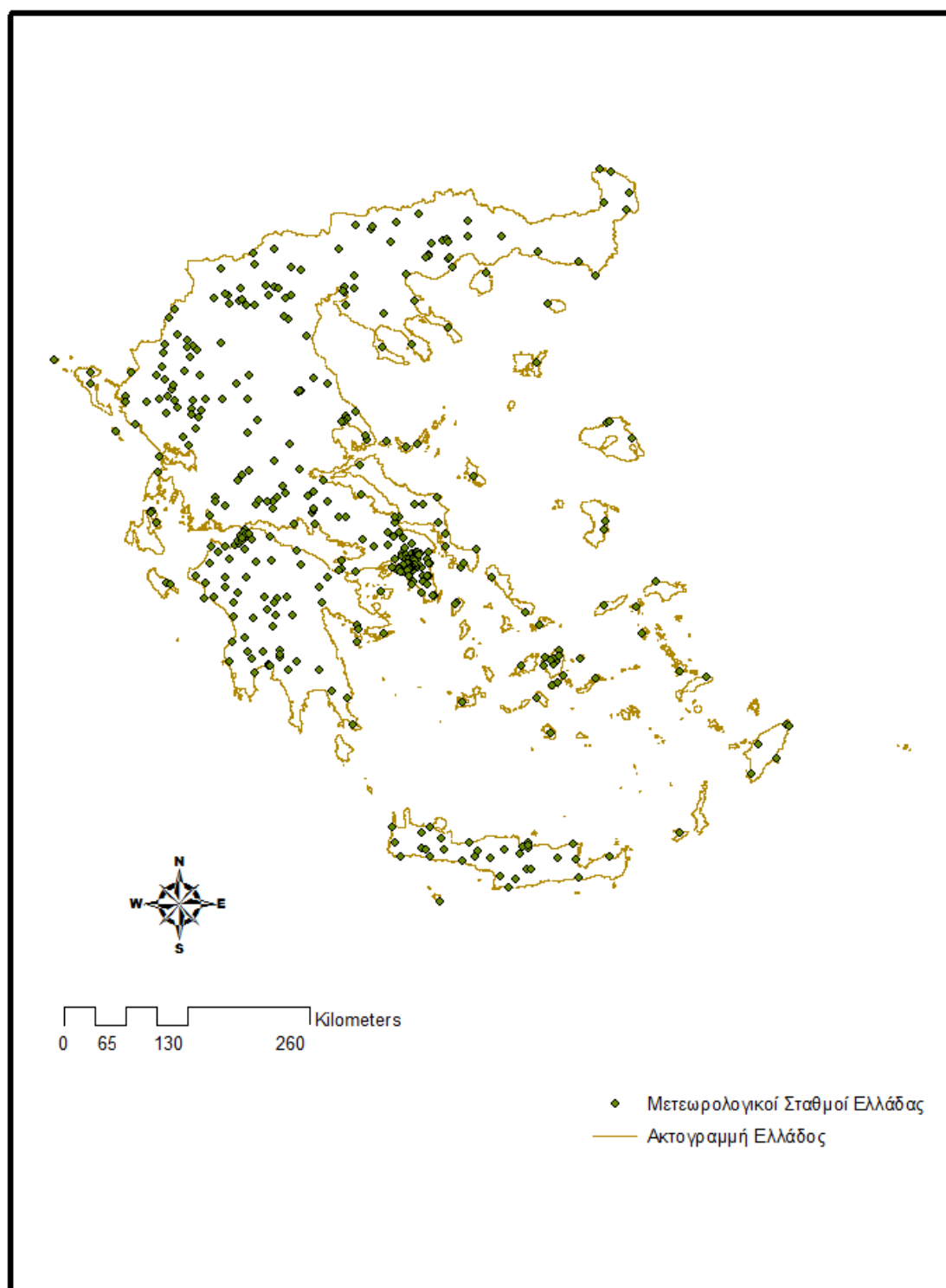
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 Χάρτες

6.1.1.Χάρτης Έντασης Βροχόπτωσης – Modified Fourier Index (MFI) map

Ένας από τους πιο σημαντικούς δυναμικούς παράγοντες στην εκδήλωση πλημμυρών είναι η ένταση της βροχόπτωσης (Amadio et al., 2003; Georgakakos, 2006; Norbiato et al., 2008; Golian et al., 2010). Οι καταιγίδες υψηλής έντασης, τείνουν να δημιουργούν πολύ μεγαλύτερους όγκους απορροής από ότι οι καταιγίδες χαμηλής έντασης (Martin-Vide et al., 1999).

Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της βροχόπτωσης τόσο πιθανότερη είναι η εμφάνιση πλημμυρικού φαινομένου. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν βροχομετρικά δεδομένα από 402 μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελληνική επικράτεια (www.meteorologia.gr) με σκοπό τη δημιουργία του τελικού χάρτη έντασης της βροχόπτωσης (rainfall intensity). Τα δεδομένα αφορούν κυρίως τις χρονικές περιόδους 2006-2015.



Εικόνα 5: Μετεωρολογικοί Σταθμοί της Ελλάδας (www.meteorologia.gr)

Παρακάτω γίνεται αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που πρέπει να ακολουθηθεί για την κατασκευή του χάρτη έντασης βροχής με βάση τη χρήση του δείκτη MFI(Modified Fourier Index) σε περιβάλλον ΓΣΠ.

Αρχικά ορίζεται ο δείκτης MFI (Modified Fourier Index), ο οποίος εκφράζει το άθροισμα της μέσης μηνιαίας έντασης της βροχόπτωσης για κάθε ένα σταθμό (Εξίσωση 1). Ο δείκτης MFI δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$MFI = \sum_1^{12} \frac{p^2}{P} \quad (1)$$

Όπου, p = είναι ο μέσος όρος της μηνιαίας βροχόπτωσης

και P = ο μέσος όρος της ετήσιας βροχόπτωσης

Έτσι για κάθε μετεωρολογικό σταθμό βρέθηκε ο δείκτης MFI που τον χαρακτηρίζει.

Ο πίνακας 1 που ακολουθεί παρουσιάζει σε φύλλο excel τον προσδιορισμό του δείκτη MFI για 2 ενδεικτικούς σταθμούς της Ελληνικής επικράτειας για την χρονική περίοδο (2007-2015).

Αμφίκλεια	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	TOTAL	MFI
2007	17,2	136,0	75,1	8,4	47,2	27,6	0,6	6,8	54,0	78,2	93,8	93,9	638,8	
2008	16,4	50,2	59,8	31,6	13,2	25,4	5,0	11,2	63,0	51,2	93,4	129,0	549,4	
2009	134,8	75,4	102,4	22,0	12,4	2,0	36,8	0,4	80,2	106,2	62,8	155,3	790,7	
2010	146,6	112,4	115,6	14,2	41,8	64,0	13,0	0,0	51,6	152,2	52,4	48,8	812,6	
2011	69,0	181,8	162,0	113,7	34,4	82,8	0,8	1,0	11,2	177,9	48,4	80,8	963,8	95,9
2012	73,2	265,4	89,6	69,4	50,8	0,2	15,4	20,2	136,6	70	141,4	269,6	1201,8	
2013	130,8	147	72,4	17,4	107,8	12,6	24,6	0	2	70,4	208,3	175,4	968,7	
2014	100,2	101,9	132,2	107,6	16,4	29,6	32	7,4	122,8	99,6	64,8	124,4	938,9	
2015	106,2	183	171,8	70,8	68,8	154	73,2	46,6	147	142,8	59,8	48	1272,0	
M.O.	88,3	139,2	109,0	50,6	43,6	44,2	22,4	10,4	74,3	105,4	91,7	125,0	904,1	
Άρτα	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠΤ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	TOTAL	MFI
2007	66,6	96,8	82,6	48,8	45,7	35,2	0,0	0,6	105,6	164,9	204,4	102,4	953,6	
2008	101,2	46,4	96,2	47,2	14,2	27,4	13,0	0,0	118,8	148,4	155,2	243,8	1011,8	
2009	378,6	157,0	203,0	122,0	30,4	54,4	5,8	29,0	35,8	264,2	295,2	191,1	1766,5	
2010	217,0	294,4	144,8	46,8	89,8	55,6	5,6	0,0	181,2	319,8	295,6	209,0	1859,6	

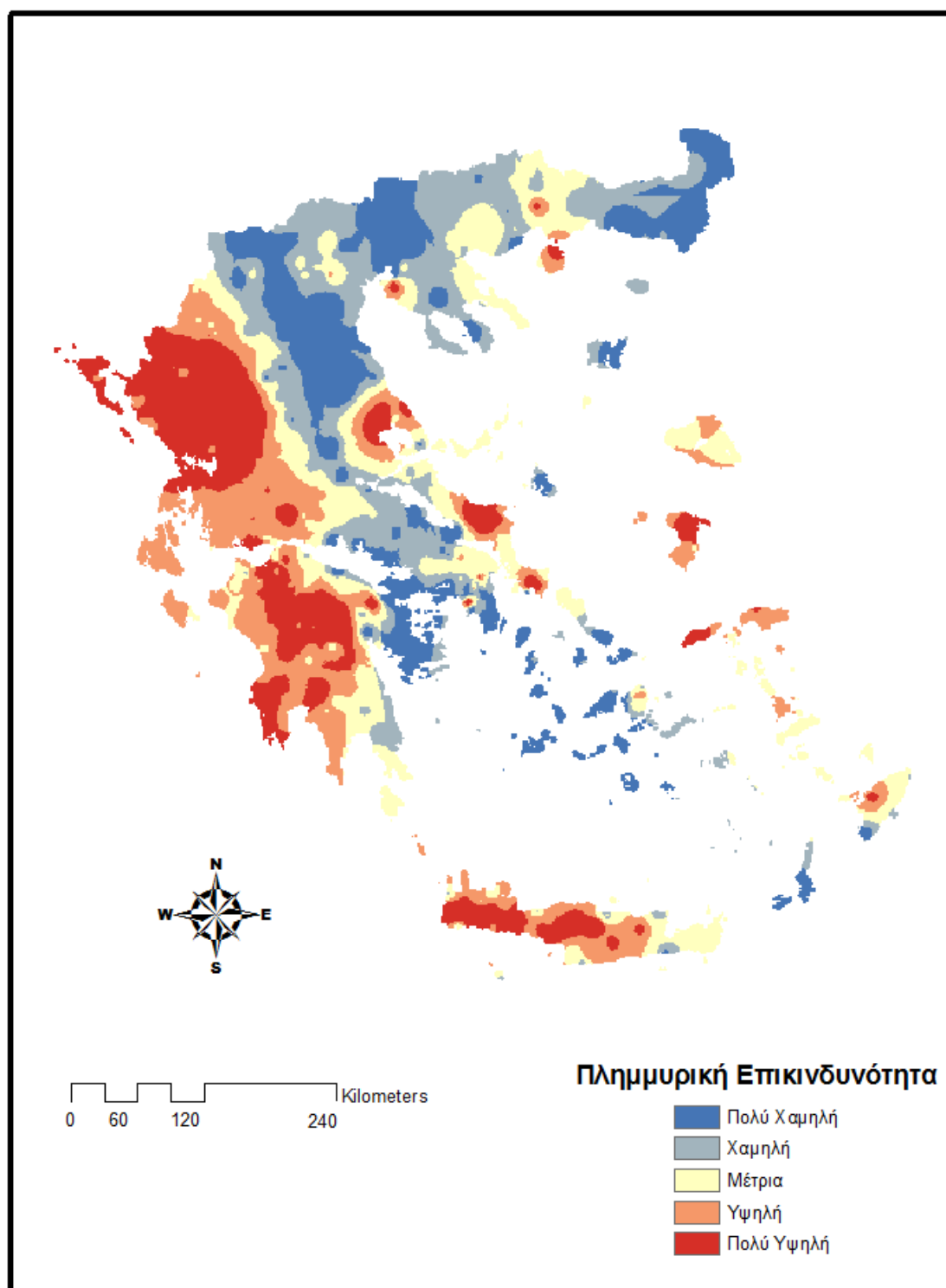
2011	89,5	95,8	174,2	42,6	104,2	49,8	3,2	1,0	46,0	199,2	0,6	220,2	1026,3	154,0
2012	99,4	207,6	205	224,4	140,8	6,2	0,2	13	77	190,1	150,8	323,4	1637,9	
2013	397,2	213,2	165,6	32,4	57,2	28,8	2,8	2,6	96,4	59,8	290,3	65,6	1411,9	
2014	179,7	85	135,4	125,8	81,2	49,8	10,8	1,6	120,4	134,8	194,4	282	1400,9	
2015	217,1	178,9	135,7	31	21,8	64,3	19	38,2	129	138	151	0	1124,0	
M.O.	194,0	152,8	149,2	80,1	65,0	41,3	6,7	9,6	101,1	179,9	193,1	181,9	1354,7	

Πίνακας 1: Διαδικασία εξαγωγής δείκτη MFI

Η χωρική απεικόνιση της έντασης της βροχόπτωσης και ο συσχετισμός της με την πλημμυρική επικινδυνότητα για κάθε σημείο της Ελλάδας πραγματοποιείται με τη διαδικασία χωρικής παρεμβολής (interpolation) των τιμών του δείκτη MFI (Modified Fourier Index) για κάθε ένα από τους 402 μελετούμενους μετεωρολογικούς σταθμούς στην Ελληνική επικράτεια.

Αναλυτικότερα, σε περιβάλλον GIS εισάγεται αρχικά το σημειακό αρχείο των σταθμών, το οποίο περιέχει την ποιοτική πληροφορία με τις τιμές του δείκτη MFI για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια με χρήση της εντολής Interpolation to Raster και τη μέθοδο χωρικής παρεμβολής Spline για τις τιμές του δείκτη MFI δημιουργείται ένα αρχείο καννάβου που περιγράφει τη διακύμανση της έντασης βροχόπτωσης (δείκτης MFI) στην Ελληνική επικράτεια.

Η κατηγοριοποίηση της διακύμανσης των τιμών του δείκτη MFI γίνεται σε 5 κλάσεις (classification method–Quantile), έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που εξάγεται να περιέχει πέντε κλίμακες από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή ένταση βροχής). Οι πέντε αυτές κλάσεις περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας για το συγκεκριμένο θεματικό χάρτη (Εικόνα 6). Η κατηγοριοποίηση αυτή περιγράφεται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, όσο πιο αυξημένη είναι η ένταση της βροχόπτωσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, άρα η διακύμανση των τιμών του δείκτη MFI που ανήκουν στην κλάση με πολύ υψηλή ένταση βροχής περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου.



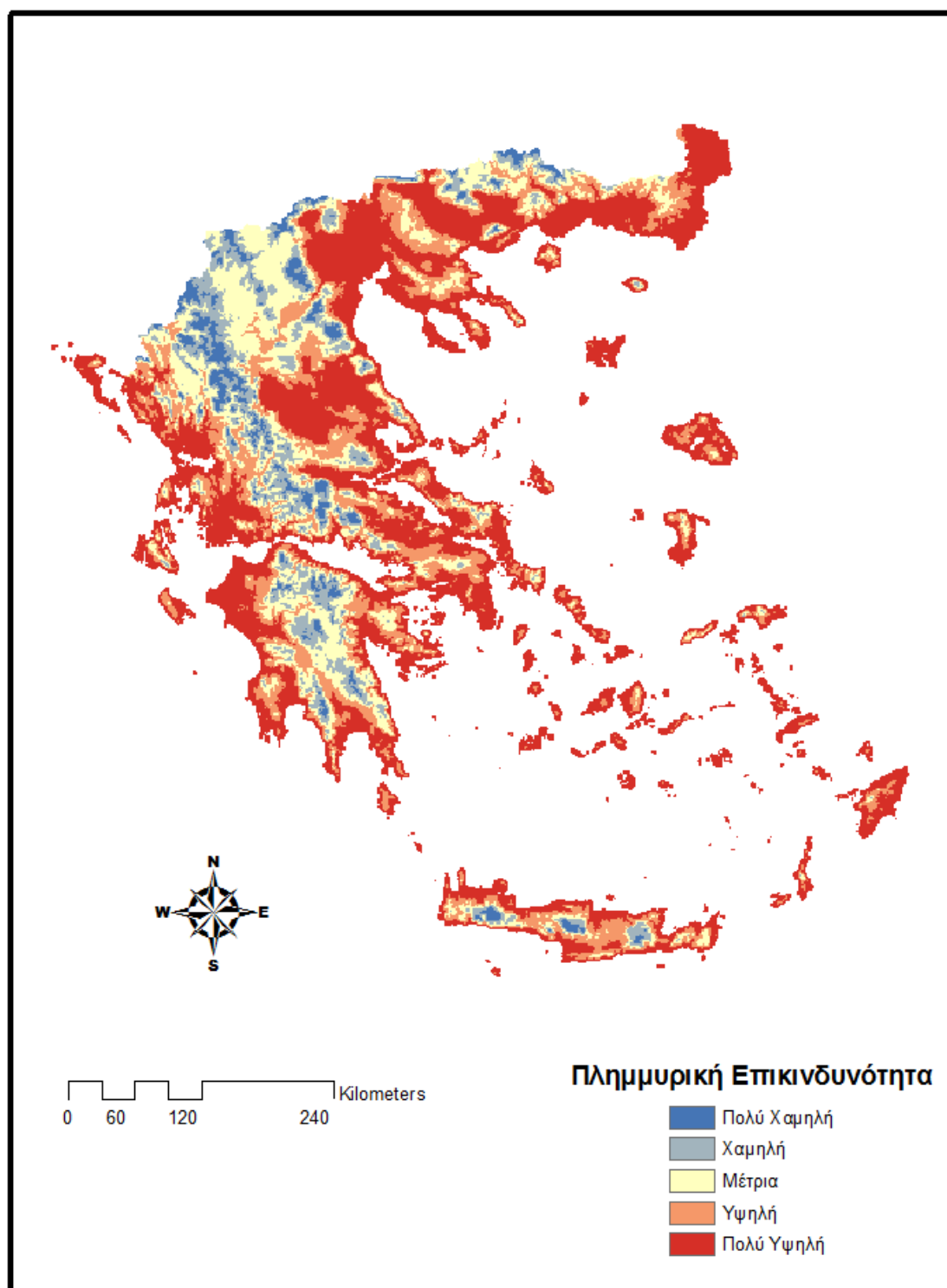
Εικόνα 6: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Ένταση της Βροχόπτωσης στην Ελλάδα

6.1.2 Χάρτης Υψομέτρων – Elevation map

Η μορφολογία του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στη εμφάνιση των πλημμυρικών φαινομένων και στον προσδιορισμό των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε αυτά. Από τη μία πλευρά, τοπογραφικοί παράγοντες έχουν άμεση επίδραση στο μέγεθος της ροής και στην ταχύτητα απορροής. Από την άλλη πλευρά, οι κατάντη περιοχές είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες μιας και συσσωρεύουν τις μεγαλύτερες ποσότητες νερού. Οι περιοχές αυτές έχουν ως επί το πλείστον χαμηλό υψόμετρο (Masoud, 2012).

Ο συνηθέστερος και πιο διαδεδομένος τρόπος απεικόνισης του ανάγλυφου της γήινης επιφάνειας, είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Ανάγλυφου [Digital Elevation Model (DEM)]. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους είναι μια εξαιρετική πηγή, εξαγωγής τοπογραφικών παραγόντων που ευθύνονται για την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων μιας περιοχής. Το DEM πρέπει να έχει μεγάλη ακρίβεια, καθώς από τα αποτελέσματά του θα επηρεάσει σημαντικά τις περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες (Pradhan, 2009).

Με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους της Ελλάδος δημιουργήθηκε ο ακόλουθος θεματικός χάρτης που παρουσιάζει την διαβάθμιση της πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τα υψόμετρα (Εικόνα 7). Αναλυτικότερα, η κατηγοριοποίηση των υψομέτρων της Ελλάδας πραγματοποιήθηκε σε 5 κλάσεις (classification method – Natural Breaks), από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Οι πέντε αυτές κλάσεις των υψομέτρων του εδαφικού ανάγλυφου περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας για το συγκριμένο παράγοντα. Με βάση τη βιβλιογραφία όσο πιο μικρά είναι τα υψόμετρα τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος να εμφανιστεί ένα πλημμυρικό φαινόμενο σε σχέση με τις ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Το πλημμυρικό κύμα φορτίζεται στα πιο υψηλά υψόμετρα και εν συνεχεία εκτονώνεται στα χαμηλότερα υψόμετρα. Άρα η διακύμανση των τιμών των πιο χαμηλών υψομέτρων περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου (Masoud, 2012).



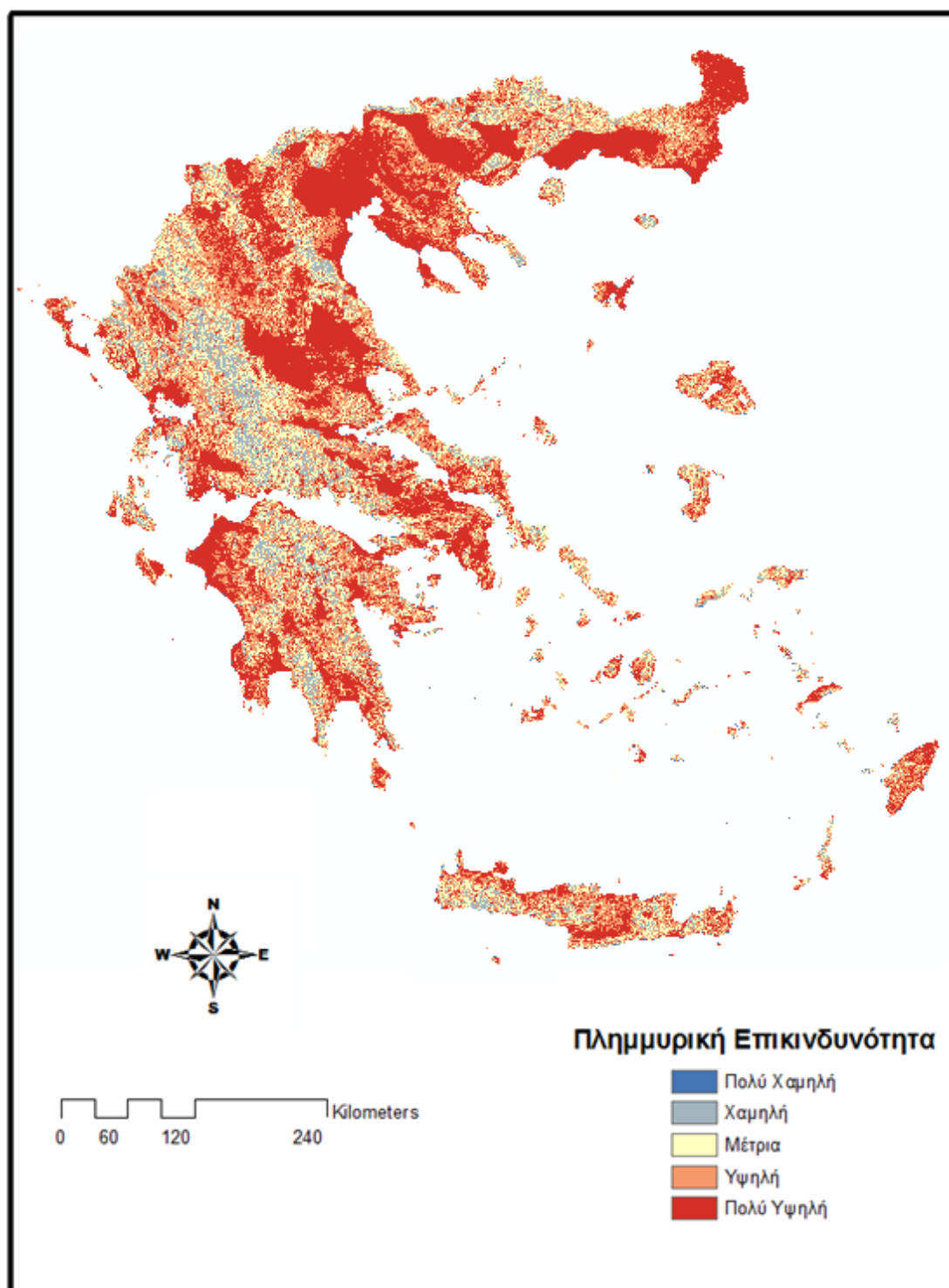
Εικόνα 7: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στην Ελλάδα

6.1.3 Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου – slope map

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας είναι οι κλίσεις εδαφικού ανάγλυφου στις εκάστοτε περιοχές της Ελλάδας. Το DEM παρέχει τη δυνατότητα να γίνει μαθηματικοποίηση της γεωμετρία της επιφάνειας του εδάφους, ώστε να εξαχθούν μεγάλης ακρίβειας θεματικοί χάρτες, όπως ο χάρτης των κλίσεων του εδαφικού ανάγλυφου. Με τη χρήση του DEM και των κατάλληλων αλγορίθμων σε περιβάλλον ΓΣΠ δημιουργείται ο χάρτης κλίσεων του τοπογραφικού ανάγλυφου. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους [Digital Elevation Model (DEM)] της Ελλάδας και με τη βοήθεια του λογισμικού 3-D Analyst γίνεται εξαγωγή του χάρτη της πλημμυρικής επικινδυνότητας σύμφωνα με την κλίση του εδάφους. Η κατηγοριοποίηση γίνεται όπως έχει ήδη αναφερθεί σε 5 κλάσεις (classification method – Natural Breaks), έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.

Ως κλίση εδαφικού ανάγλυφου ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της επιφάνειας και ενός οριζόντιου σημείου αναφοράς. Γενικά, αν και οι απότομες πλαγιές παράγουν πιο γρήγορες ροές, οι πλημμύρες έχουν την τάση να συμβαίνουν σε ήπιες κλίσεις. Ο συγκεκριμένος παράγοντας είναι πολύ σημαντικός για την υδρολογία (Gomez & Kanzoglu, 2005).

Σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση προσδιορίζεται η επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου βασιζόμενη στις κλίσεις του εδαφικού ανάγλυφου. Πιο συγκεκριμένα, στο θεματικό χάρτη των κλίσεων, όσο πιο μικρή κλίση παρουσιάζει το έδαφος τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, αφού το νερό δεν μπορεί να αλλάξει επίπεδο, άρα η διακύμανση των τιμών των κλίσεων που ανήκουν στην πολύ χαμηλή ζώνη περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου (Εικόνα 8).

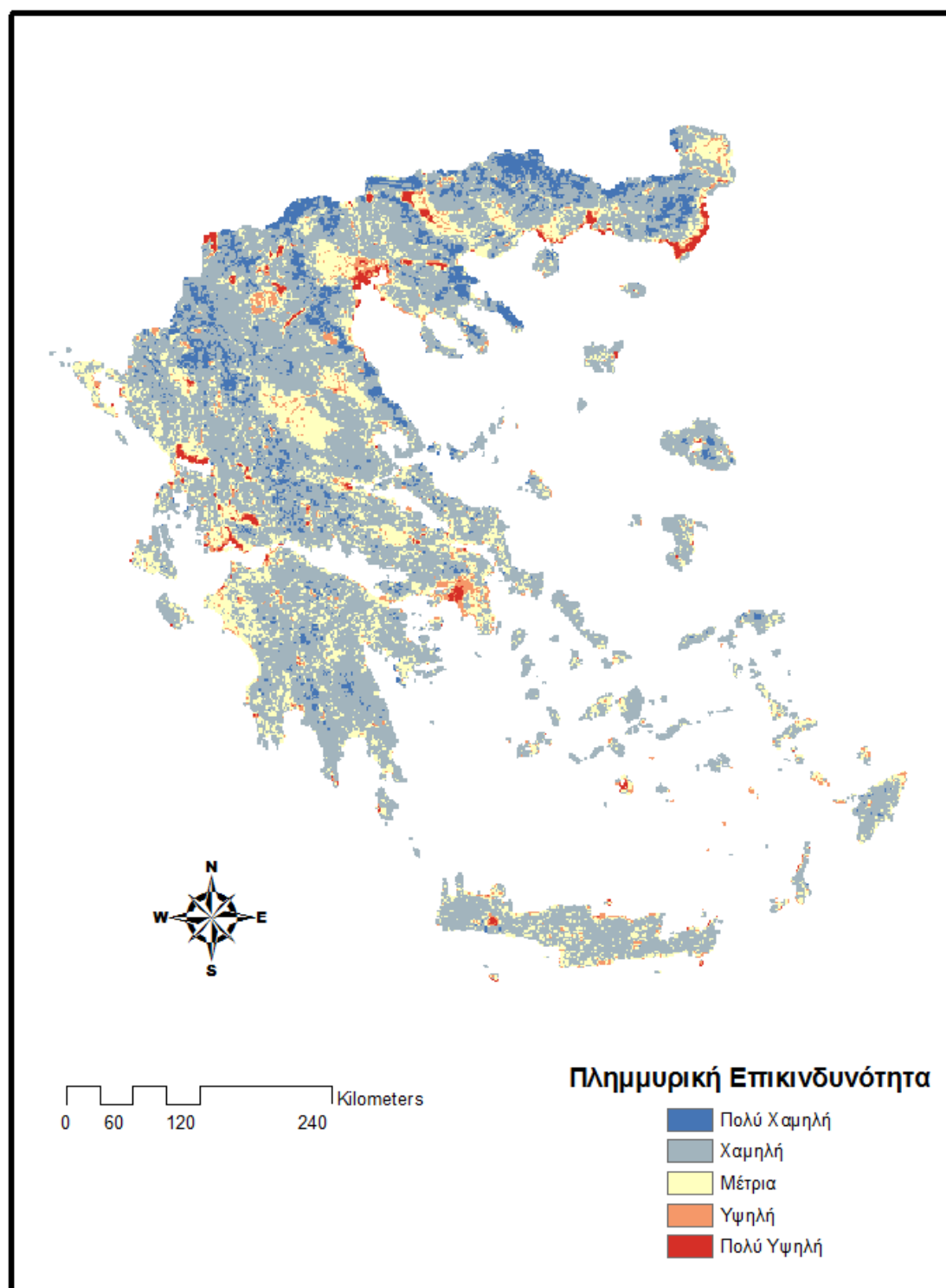


Εικόνα 8: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Κλίση του Εδαφικού Ανάγλυφου στην Ελλάδα

6.1.4 Χάρτης Χρήσεων Γης – land use map

Οι χρήσεις γης και το είδος της κάλυψης αποτελούν δυο από τους πιο βασικούς παράγοντες που ευθύνονται για την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Η εμφάνιση της πλημμύρας είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας της βλάστησης. Η βροχή που πέφτει στις άγονες πλαγιές ρέει γρηγορότερα πάνω στην επιφάνεια τους σε σύγκριση με τις δασικές περιοχές. Κατά συνέπεια, ορισμένες χρήσεις γης (π.χ. αστικές χρήσεις γης, καμένες εκτάσεις, εκτάσεις με αραιή βλάστηση) έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη απορροή σε σύγκριση με παρόμοιες περιοχές που καλύπτονται από πυκνή βλάστηση (Masoud, 2012).

Ο προσδιορισμός του πλημμυρικού κινδύνου με βάση τις χρήσεις γης για την Ελλάδα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Corine 2000. Το πολυγωνικό αρχείο (shp) μετατράπηκε σε αρχείο καννάβου τύπου (raster). Η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης σε 5 κλάσεις έγινε με βάση τη συμβολή της κάθε μιας χρήσης γης στην εμφάνιση πλημμυρικού κινδύνου (πολύ χαμηλή – πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Έτσι διαμορφώνεται ο τελικός χάρτης χρήσεων γης σε σχέση με τον πλημμυρικό κίνδυνο (Εικόνα 9). Εύκολα γίνεται αντιληπτό, ότι στη ζώνη της πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας βρίσκονται οι χρήσεις γης που σχετίζονται με αστικές – βιομηχανικές περιοχές καθώς επίσης βραχώδης και καμένες εκτάσεις. Αντίθετα, στην πολύ χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα εντάσσονται τα μικτά δάση και γενικότερα περιοχές με υψηλή βλάστηση.

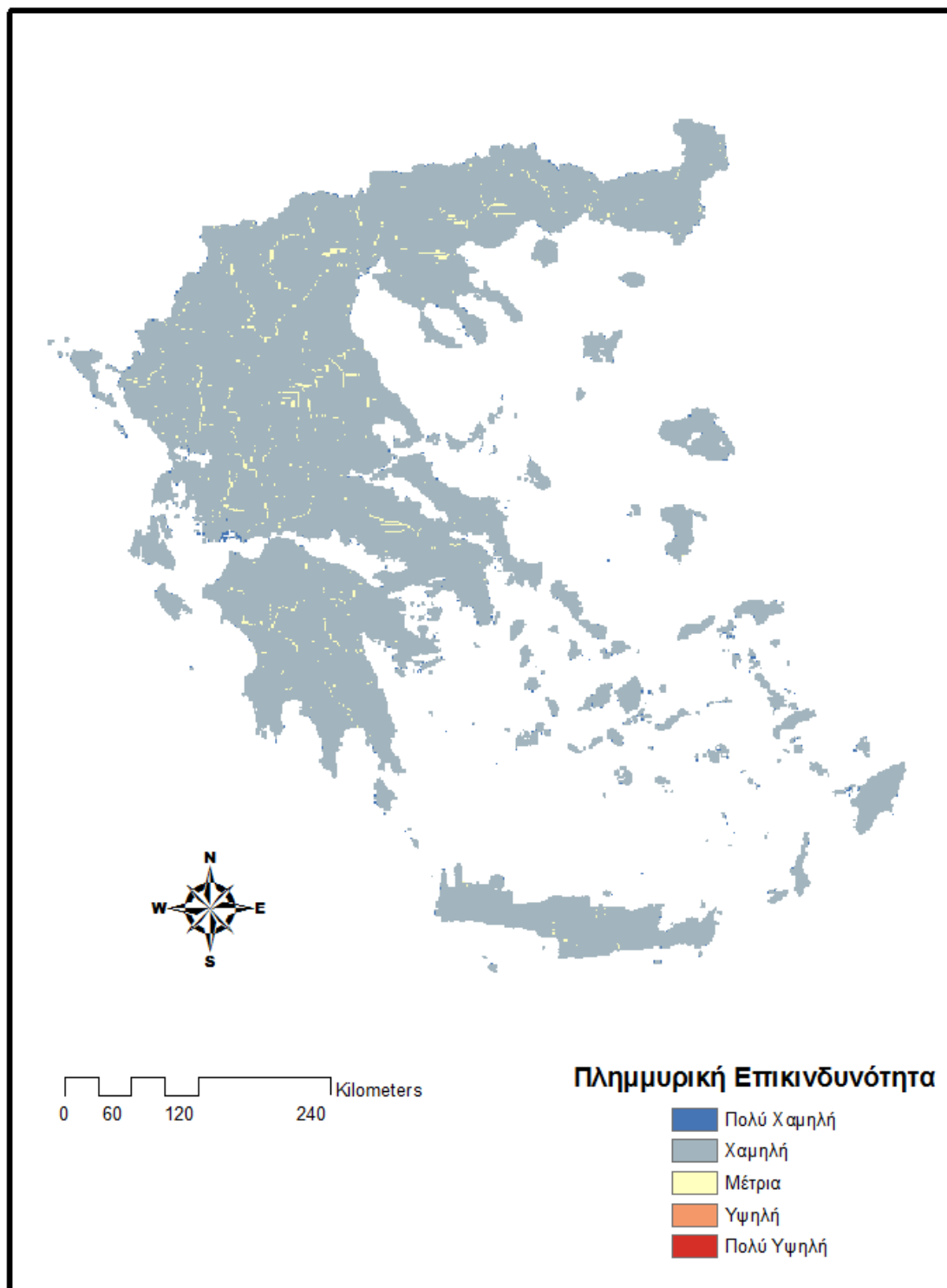


Εικόνα 9: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις Γης στην Ελλάδα

6.1.5 Χάρτης Συσσώρευσης Ροής – flow accumulation map

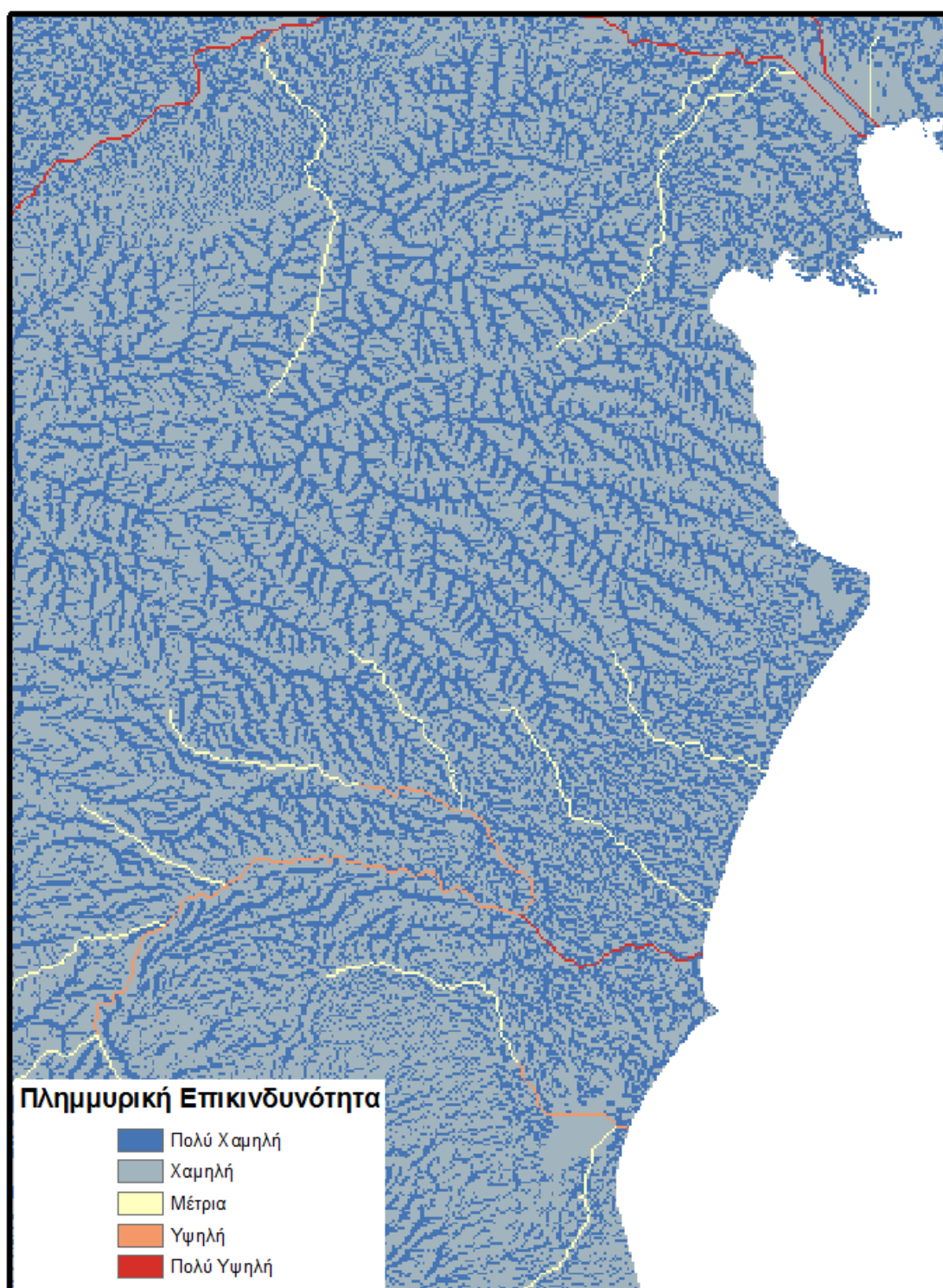
Περιοχές υψηλής συσσώρευσης επιφανειακής ροής είναι και πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής (σημεία σημαντικής συγκέντρωσης του επιφανειακού νερού), καθορίζει τον αριθμό των κελιών τα οποία συνεισφέρουν υδρολογικά σε κάθε ένα κελί τύπου raster της περιοχής μελέτης. Ο εν λόγω ο χάρτης συγκέντρωσης ροής δημιουργήθηκε με βάση το χάρτη διεύθυνσης ροής σε συνδυασμό με τον κατάλληλο αλγόριθμο (Flow accumulation - ArcHydro). Στο δημιουργούμενο χάρτη συγκέντρωσης ροής, τα κελιά με υψηλή τιμή συγκέντρωσης ροής (pixels), είναι περιοχές σημαντικής συγκέντρωσης του επιφανειακού νερού (Kourgialas&Karatzas, 2011).

Η κατηγοριοποίηση της διακύμανσης των τιμών της συσσώρευσης ροής έγινε σε 5 κλάσεις (classification method – Quantile), έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Οι πέντε αυτές κλάσεις της συσσώρευσης επιφανειακής ροής περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλη συσσώρευση ροής παρουσιάζει μια περιοχή τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, άρα η διακύμανση των υψηλών τιμών της συσσώρευσης ροής περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τη Συσσώρευση Επιφανειακής Ροής στην Ελλάδα

Στην Εικόνα 11 δίνεται έμφαση στη συσσώρευση ροής στην περιοχή της Θεσσαλίας και του Θερμαϊκού κόλπου έτσι ώστε να εντοπιστεί η διαφορά στην διαβάθμιση της. Με έντονο κόκκινο χρώμα φαίνονται οι περιοχές με πολύ υψηλή επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου σε σχέση με το παράγοντα συσσώρευσης ροής.



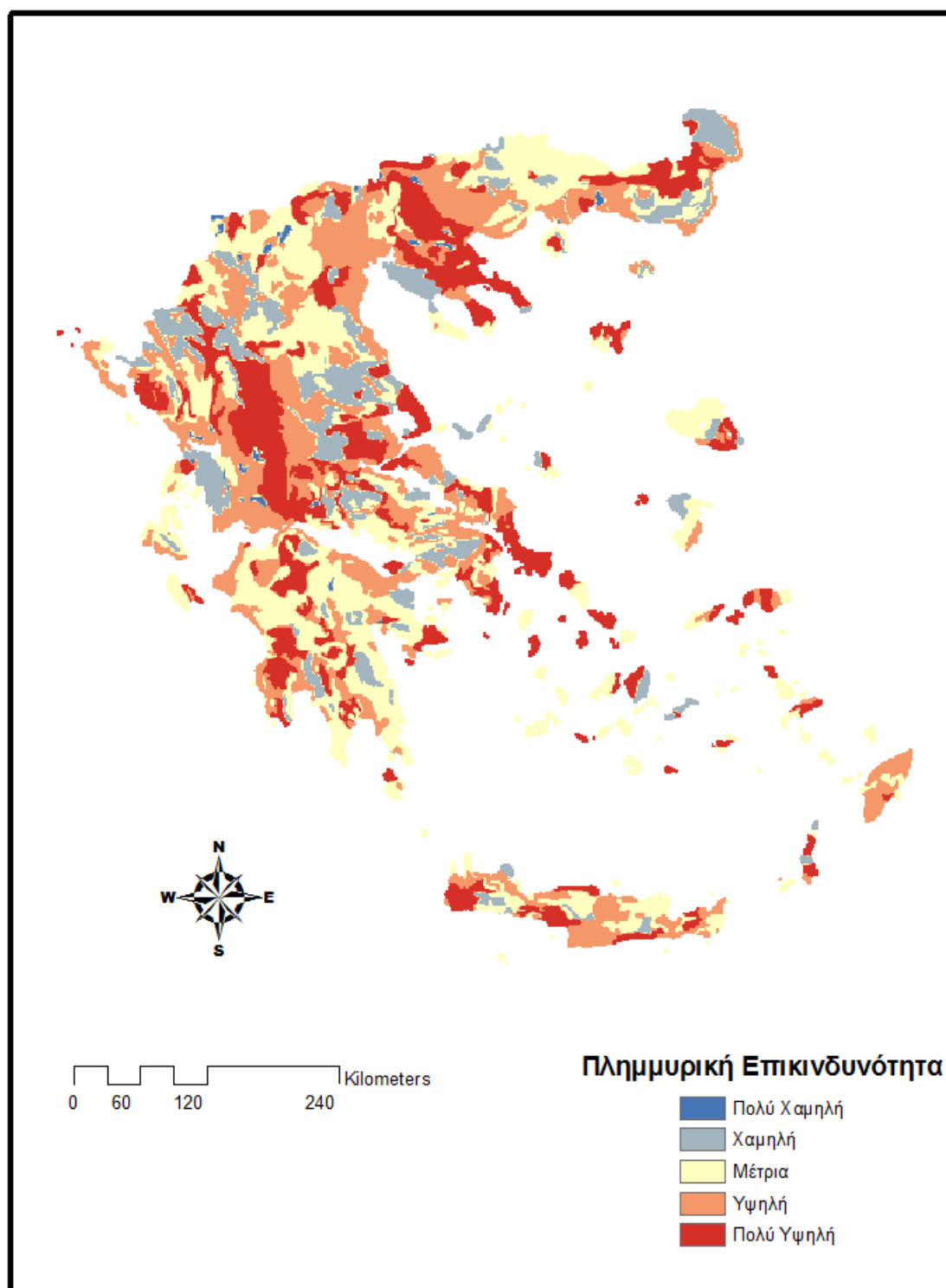
Εικόνα 11: Πλημμυρική Επικινδυνότητα Θεσσαλίας και Θερμαϊκού Κόλπου με βάση τη Συσσώρευση Επιφανειακής Ροής

6.1.6 Χάρτης Διαβρωσιμότητας – Erodibility map

Με τον όρο διάβρωση εννοούμε την προσοδευτική, με την πάροδο του χρόνου, αποσύνθεση των υλικών του εδάφους υπό την επίδραση φυσικών ή και χημικών παραγόντων, όπως του ανέμου, του νερού, του πάγου ή ακόμη και των ζωντανών οργανισμών. Είναι μία φυσική διαδικασία με σημαντικές διακυμάνσεις παγκοσμίως στην συχνότητα εμφάνισής της, η οποία εξαρτάται από διάφορους κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες, πέρα από τους κλιματικούς παράγοντες. Η διάβρωση του εδάφους είναι ένα σοβαρό πρόβλημα που απειλεί τον τομέα της γεωργίας και του φυσικού περιβάλλοντος (Pimentel, 2009). Έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια αύξηση της διάβρωσης του εδάφους στην περιοχή της Μεσογείου. Αυτό έχει οδηγήσει τους ερευνητές στην ανάπτυξη μοντέλων ικανών να μελετήσουν από μεμονωμένα χωράφια μέχρι τεράστιες λεκάνες απορροής (Bou et al., 2008). Σε ορισμένα μέρη της περιοχής της Μεσογείου η διάβρωση έχει φτάσει σε μη αναστρέψιμο στάδιο (Kouli et al., 2009). Αν και η διάβρωση του εδάφους χαρακτηρίζεται ως ένα φυσικό φαινόμενο, ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως για παράδειγμα η γεωργία, μπορούν να το επιταχύνουν ακόμα περισσότερο (Karydas et al., 2009). Οι χωρικές και ποσοτικές πληροφορίες για τη διάβρωση του εδάφους, συμβάλλουν σημαντικά στη διαχείριση της προστασίας του εδάφους, στον έλεγχο της διάβρωσης του και γενικά στη διαχείριση κάθε λεκάνης απορροής (Prasannakumar et al., 2011). Ο ρυθμός της διάβρωσης του εδάφους επηρεάζεται κυρίως από τη φυτοκάλυψη, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, τις κλιματικές μεταβλητές και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Πέραν αυτών όμως, η ανθρώπινη επίδραση μεταβάλλει την εδαφοκάλυψη, που με την σειρά της έχει σαν αποτέλεσμα να επηρεάζεται ο ρυθμός διάβρωσης του εδάφους καθώς η πυκνότητα της βλάστησης, λειτουργεί ως παράγοντας παρεμπόδισης της διάβρωσης του εδάφους, λόγω της ικανότητάς της να συγκρατεί μεγάλο όγκο ύδατος. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους σχετίζεται άμεσα με την πλημμυρική επικινδυνότητα, αφού το νερό αποτελεί τον βασικό παράγοντα διάβρωσής του. Περιοχές με αυξημένη διαβρωσιμότητα είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα, ενώ ο βαθμός διάβρωσης εξαρτάται από την συνεκτικότητα του εδάφους, όσο λιγότερο συνεκτικό είναι το εδαφικό υπόστρωμα τόσο πιο εύκολα μπορεί να παρασυρθεί από την ροή του νερού και να συμβάλλει στην δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων (Jinren & Yingkui, 2003).

Η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τη διαβρωσιμότητα του εδάφους έγινε χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων EuropeanSoilDataCenter (ESDAC). Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά του χάρτη σε περιβάλλον GIS και

προσεκτική ψηφιοποίηση των πολυγώνων τα οποία αποδίδουν την πολύ μικρή έως πολύ μεγάλη συνεκτικότητα του εδάφους. Η γεωαναφορά είναι μια χαρτογραφική διαδικασία όπου ένα σύνολο από δεδομένα χωρικής μορφής αλλάζει σύστημα αναφοράς και μεταφέρεται στο σύστημα αναφοράς της μελέτης που εκπονείται (Τσουχλαράκη και Αχιλλέως, 2011). Ο χάρτης διαβρωσιμότητας δίνει τις περιοχές όπου λόγω των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών κινδυνεύουν περισσότερο ή λιγότερο από πλημμυρικά φαινόμενα, ανάλογα με την συνεκτικότητα του εδάφους. Η κατηγοριοποίηση της διακύμανσης των τιμών της διαβρωσιμότητας γίνεται σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Πιο συγκεκριμένα, στη ζώνη της πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας συναντάμε περιοχές με υψηλή αντίστοιχα εδαφική διαβρωσιμότητα (Εικόνα 12).

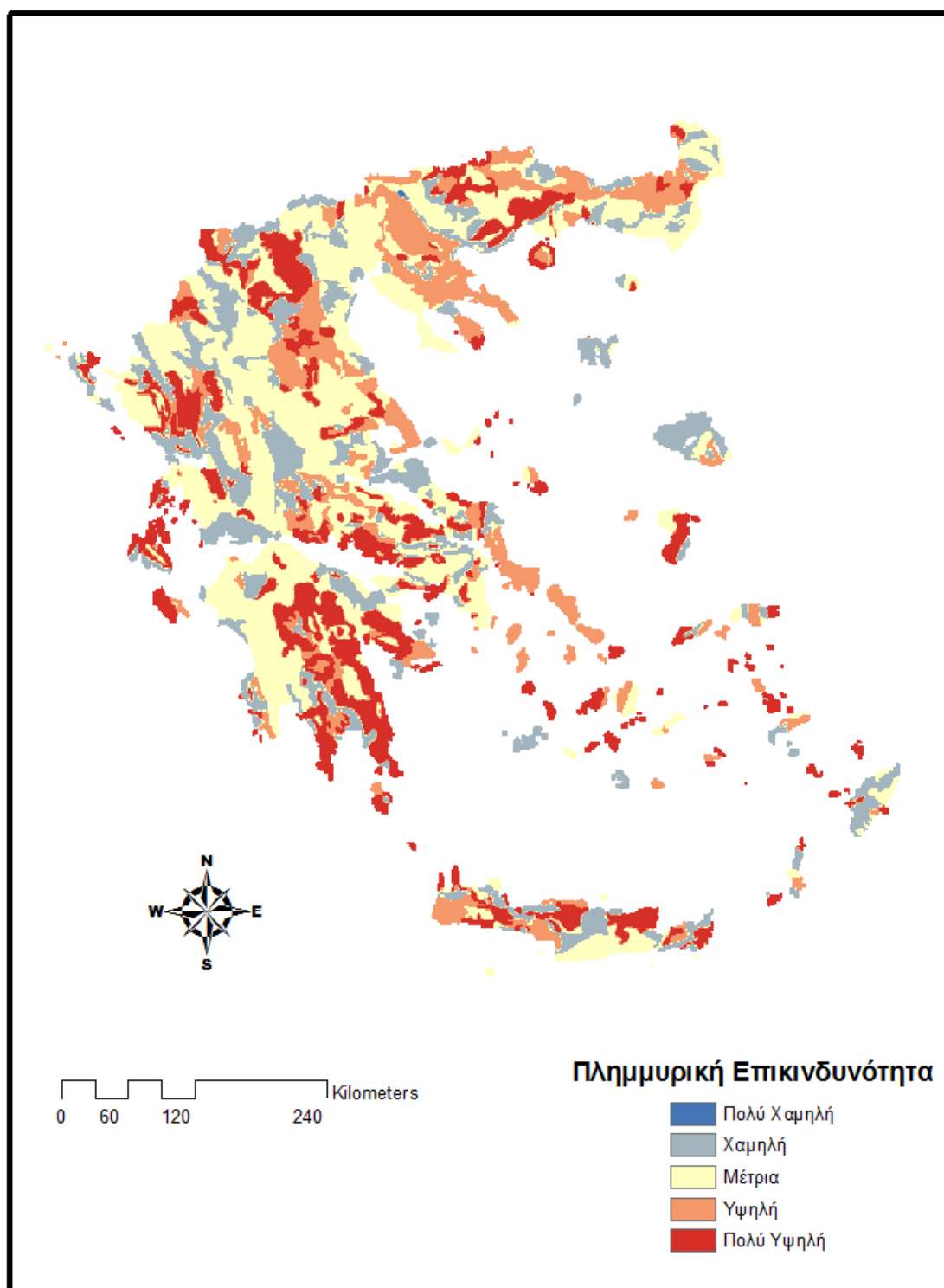


Εικόνα 12: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Διαβρωσιμότητα στην Ελλάδα

6.1.7 Χάρτης υδατοϊκανότητας εδάφους – available water capacity

Ως διαθέσιμη χωρητικότητα νερού (υδατοϊκανότητα) ορίζεται ένας γενικός δείκτης εδάφους, ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση των γεωργικών δυνατοτήτων και των περιβαλλοντικών κινδύνων μιας περιοχής (Van Diepen, 1993; Akinremi&McGinn, 1997; Wassenaar et al., 1999). Η διαθέσιμη χωρητικότητα νερού στο έδαφος προσδιορίζεται από έναν αριθμό μορφολογικών, φυσικών και υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους π.χ. το πάχος, το περιεχόμενο πέτρας, την πυκνότητα και την περιεκτικότητα σε νερό (Cazemier et al., 2001).

Σε περιοχές που υπάρχει πολύ χαμηλή διαθέσιμη χωρητικότητα νερού (~ 0 mm/m) υπάρχει πολύ υψηλός κίνδυνος εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου (συνήθως αστικές περιοχές, βραχώδεις εκτάσεις και γενικότερα περιοχές που αποτελούνται από αδιαπέρατα στρώματα). Αντίθετα, σε περιοχές με πολύ υψηλή διαθέσιμη χωρητικότητα νερού (> 190 mm/m) υπάρχει πολύ χαμηλός κίνδυνος εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου (περιοχές με υψηλή βλάστηση και γενικότερα πορώδη στρώματα). Το χάρτη εδαφικής υδατοϊκανότητας τον λάβαμε από τη βάση δεδομένων European Soil Data Center (ESDAC). Και σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιήθηκε γεωαναφορά του χάρτη σε περιβάλλον GIS και προσεκτική ψηφιοποίηση των πολυγώνων τα οποία αποδίδουν την πολύ μικρή έως πολύ μεγάλη διαθέσιμη χωρητικότητα νερού στο υπέδαφος. Η κατηγοριοποίηση της διακύμανσης των τιμών της διαθέσιμης χωρητικότητας νερού γίνεται σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σχέση με τον μελετούμενο παράγοντα (Εικόνα 13). Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 2.



Εικόνα 13: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Υδατοϊκανότητα του Εδάφους στην Ελλάδα

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα

Παράγοντας	Περιοχή Επίδρασης	Πλημμυρική Επικινδυνότητα
Ένταση Βροχόπτωσης (μονάδες MFI)	137 - 800	ΠολύΥψηλή
	106 - 137	Υψηλή
	79 - 106	Μέτρια
	65 - 79	Χαμηλή
	0 - 65	Πολύ Χαμηλή
Υψόμετρο (m)	0 - 263	ΠολύΥψηλή
	263 - 547	Υψηλή
	547 - 930	Μέτρια
	930 - 1.465	Χαμηλή
	1.465 - 2.458	Πολύ Χαμηλή
ΚλίσηΕδάφους (degree)	0 - 7.56	ΠολύΥψηλή
	7.56 - 14.83	Υψηλή
	14.83 - 23.00	Μέτρια
	23.00 - 33.28	Χαμηλή
	33.28 - 77.16	Πολύ Χαμηλή
ΧρήσειςΓης	Αστικές - Βιομηχανικές περιοχές, Βραχώδης και Καμένες εκτάσεις	ΠολύΥψηλή
	Περιοχέςμε αραιή βλάστηση	Υψηλή
	Καλλιεργούμενεςεκτάσεις και Βοσκοτόπια	Μέτρια
	Αγροτικές περιοχές	Χαμηλή
	Μικτάδάση	Πολύ Χαμηλή
ΣυσσώρευσηΡοής (pixels)	713750 - 1074824	ΠολύΥψηλή
	377867 - 713750	Υψηλή
	151147 - 377867	Μέτρια
	41985 - 151147	Χαμηλή
	0 - 41985	Πολύ Χαμηλή
Διαβρωσιμότητα Εδάφους	VeryStrong	Πολύ Υψηλή
	Strong	Υψηλή
	Moderate	Μέτρια
	Weak	Χαμηλή
	Very Weak	Πολύ Χαμηλή
Υδατοϊκανότητα εδάφους (AWC) (mm/m)	~ 0	Πολύ Υψηλή
	<100	Υψηλή
	100-140	Μέτρια
	140-190	Χαμηλή
	>190	Πολύ Χαμηλή

6.2 Matlab

6.2.1 Γενικά

Οι πλημμύρες είναι από τους πιο καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους που προκαλούν ζημιές και στη ζωή και την περιουσία κάθε χρόνο, έτσι είναι σημαντική η ανάπτυξη ενός μοντέλου, το οποίο προσδιορίζει τις περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Τα τελευταία χρόνια, οι προσεγγίσεις εξαγωγής δεδομένων, με τη βοήθεια των τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ΤΝΔ) χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τη μοντελοποίηση των πλημμυρών. Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης είναι να αναπτύξει ένα πλημμυρικό μοντέλο, με τη χρήση διαφόρων αιτιολογικών παραγόντων που σχετίζονται με τις πλημμύρες, χρησιμοποιώντας τεχνικές νευρωνικών δικτύων (ANN) και το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για την μοντελοποίηση και προσομοίωση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε αυτό το φαινόμενο. Το μοντέλο ANN για την παρούσα μελέτη αναπτύχθηκε σε MATLAB χρησιμοποιώντας επτά αιτιολογικούς παράγοντες πλημμύρας. Οι σχετικοί θεματικοί χάρτες (ένταση βροχοπτώσεων, υψόμετρο, κλίση εδαφικού ανάγλυφου, χρήσεις γης, συσσώρευση επιφανειακής ροής, διαβρωσιμότητα και διαθέσιμη χωρητικότητα νερού στο έδαφος) παράγονται όπως έχει ήδη αναφερθεί με τη χρήση GIS (Masoud et al., 2012).

6.2.2 Συνοπτική περιγραφή διαδικασίας στη Matlab

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε εξ αρχής, περιγράφεται εν συντομία παρακάτω (αναλυτική περιγραφή στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας). Αρχικά, για κάθε ένα από τα ιστορικά πλημμυρικά σημεία, τα οποία έχουν καταγραφεί τα τελευταία 100 χρόνια, προσδιορίστηκε η αντίστοιχη κλάση πλημμυρικής επικινδυνότητας για τους 7 μελετώμενους παράγοντες. Δημιουργείτε έτσι μια βάση δεδομένων όπου κάθε γεωγραφικό πλημμυρικό σημείο στην Ελληνική επικράτεια περιγράφεται από διαφορετικά επίπεδα πλημμυρικής επικινδυνότητας (πολύ ψηλό έως πολύ χαμηλό) για κάθε ένα από τους 7 μελετούμενους παράγοντες/θεματικούς χάρτες. Προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των δεδομένων εισόδου και για τις κλάσεις πλημμυρικής επικινδυνότητας που δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα (χαμηλή, πολύ χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα) προστέθηκαν τυχαία σημεία τα οποία και κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με τον χάρτη συχνότητας πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Το αρχείο αυτό (βάση δεδομένων του excel) χρησιμοποιείται στην συνέχεια για την εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου. Η εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού

δικτύου πραγματοποιείται με το 70% των ιστορικών πλημμυρικών σημείων της Ελληνικής επικράτειας.

Εν συνεχεία, μετά την εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου, χρησιμοποιήθηκε το πολυγωνικό αρχείο της Ελληνικής επικράτειας προκειμένου να μετατραπεί στο αντίστοιχο σημειακό αρχείο (32.236 σημεία) (Εικόνα 14) με τις αντίστοιχες γεωγραφικές συντεταγμένες για κάθε ένα σημείο. Στην συνέχεια για κάθε ένα από αυτά τα σημεία προσδιορίστηκε η αντίστοιχη κλάση πλημμυρικής επικινδυνότητας για τους 7 μελετώμενους παράγοντες (ενδεικτική απεικόνιση τιμών - Πίνακας 3). Δημιουργήθηκε έτσι μια βάση δεδομένων όπου κάθε γεωγραφικό σημείο της ελληνικής επικράτειας περιγράφεται από διαφορετικά επίπεδα πλημμυρικής επικινδυνότητας (πολύ ψηλό έως πολύ χαμηλό) για κάθε ένα από τους 7 μελετούμενους παράγοντες/θεματικούς χάρτες. Το αρχείο αυτό (βάση δεδομένων του excel) χρησιμοποιείται στην συνέχεια σαν δείγμα (sample) για την εξαγωγή του τελικού πλημμυρικού χάρτη για όλη την Ελληνική επικράτεια. Μετά την εξαγωγή του τελικού χάρτη διαβάθμισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας, το υπόλοιπο 30% των ιστορικών πλημμυρικών σημείων χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση αυτού.



Εικόνα 14: Σημειακό αρχείο τύπου shapefile (shp)

Πίνακας 3: Υπόδειγμα κατηγοριοποίησης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Σημείο	Κλίσεις	MFI	Συσσωρευση Ροής	Υψόμετρο	Χρήσεις Γης	AWC	Διάβρωση	X	Y
1	5	2	1	5	2	5	2	678988	4621951
2	5	2	1	5	2	3	2	680988	4621951
3	5	2	1	5	2	3	2	682988	4621951
4	5	2	1	5	2	3	2	684988	4621951
5	5	2	1	5	2	5	2	676988	4619951
6	5	2	1	5	2	5	2	678988	4619951
7	5	2	1	5	2	5	2	680988	4619951
8	5	2	1	5	2	3	2	682988	4619951
9	5	2	1	5	2	3	2	684988	4619951
10	5	2	1	5	2	3	2	686988	4619951

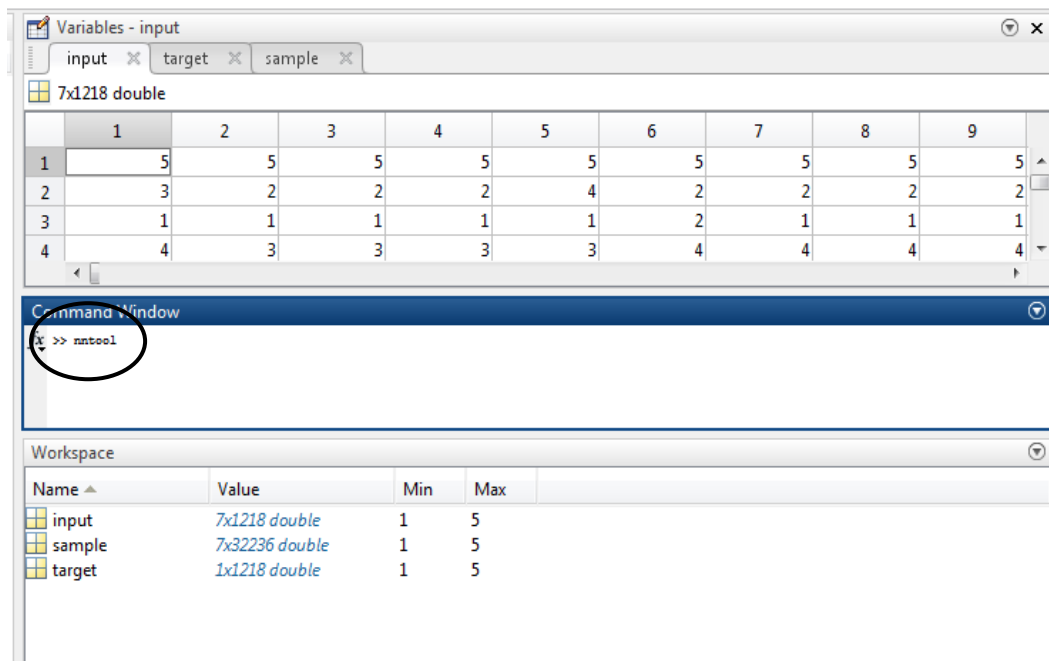
6.2.3 Εκπαίδευση Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου

Βασικό στάδιο για την εφαρμογή των Τεχνικών Νευρωνικών Δικτύων (ΤΝΔ) είναι η εκπαίδευση τους. Η μάθηση συνίσταται στον προσδιορισμό των κατάλληλων συντελεστών βάρους, ώστε το ΤΝΔ να εκτελεί τους επιθυμητούς υπολογισμούς, και πραγματοποιείται με τη βοήθεια αλγορίθμων που είναι γνωστοί ως κανόνες μάθησης. Ο ρόλος των συντελεστών βάρους μπορεί να ερμηνευτεί ως αποθήκευση γνώσης, η οποία παρέχεται μέσω παραδειγμάτων. Με αυτόν τον τρόπο τα νευρωνικά δίκτυα μαθαίνουν το περιβάλλον τους, δηλαδή το φυσικό μοντέλο που παρέχει τα δεδομένα (Λυκοθανάσης, 2014).

Η έννοια της εκπαίδευσης είναι πολύ ευρεία. Σε γενικές γραμμές η εκπαίδευση μπορεί να ορισθεί ως η κατάλληλη χρήση πληροφοριών για βελτίωση της συμπεριφοράς ενός συστήματος. Στην πιο συνηθισμένη περίπτωση των προβλημάτων απεικόνισης, η εκπαίδευση ορίζεται ως η τροποποίηση των παραμέτρων του τεχνητού νευρωνικού δικτύου, ώστε χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων να φτάσουμε σταδιακά στο επιθυμητό αποτέλεσμα, συγκρίνοντας την τρέχουσα απόκριση του δικτύου με την επιθυμητή απόκριση.

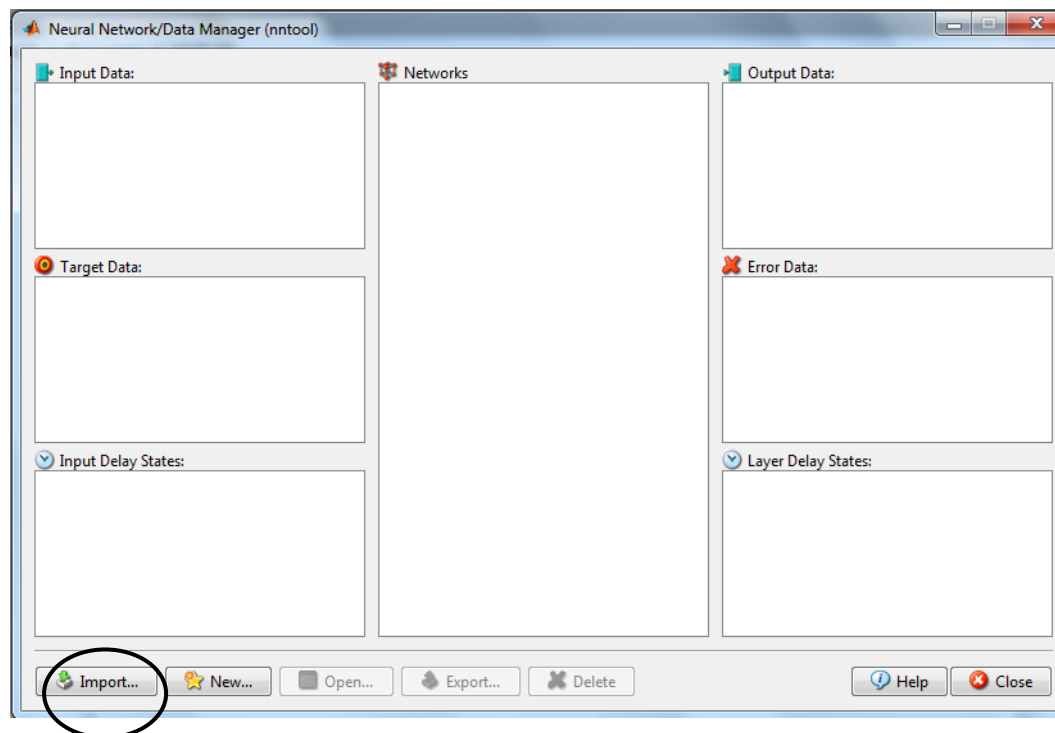
Το επίπεδο εισόδου (Input layer) αναφέρεται στην είσοδο του νευρωνικού δικτύου. Σε αυτό το σημείο εισέρχονται οι διάφορες μεταβλητές και παράμετροι, βάσει των οποίων το νευρωνικό δίκτυο θα «αποφασίσει» και θα εξάγει την απόφασή του αυτή στο επίπεδο εξόδου (output layer) του δικτύου. Παρακάτω φαίνεται το επίπεδο εισόδου καθώς και ο τρόπος που καλείται το νευρωνικό δίκτυο στο περιβάλλον της matlab (Εικόνα 15). Η εργαλειοθήκη που καλείται είναι η nntool, πίσω από την οποία κρύβεται ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση του δικτύου.

Η προσέγγιση συναρτήσεως με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων γίνεται συνήθως με feed-forwardback-propagation αλγόριθμους. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε η χρήση ενός feed-forwardback-propagation αλγόριθμο κυρίως για τον λόγο ότι μπορεί να συγκλίνει με λιγότερα δεδομένα από ότι ο άλλος αλγόριθμος.



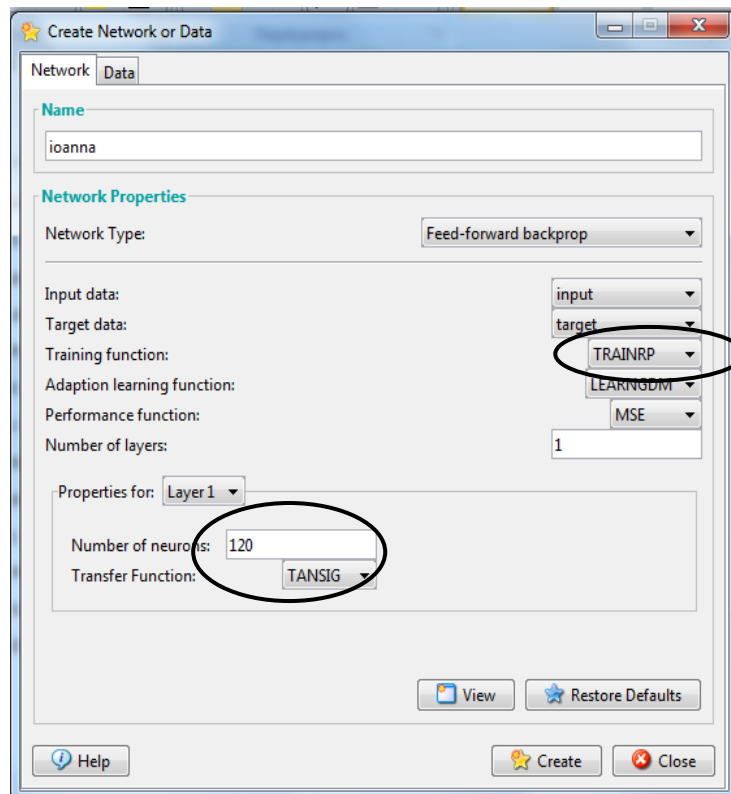
Εικόνα 15: Άνοιγμα εργαλειοθήκης για την έναρξη της εκπαίδευσης του Δικτύου

Η συνάρτηση καλείται και ανοίγει το παράθυρο διαλόγου όπου εισάγονται (import) οι παράμετροι που λαμβάνουν χώρα στην εκπαίδευση του δικτύου (Εικόνα 16).



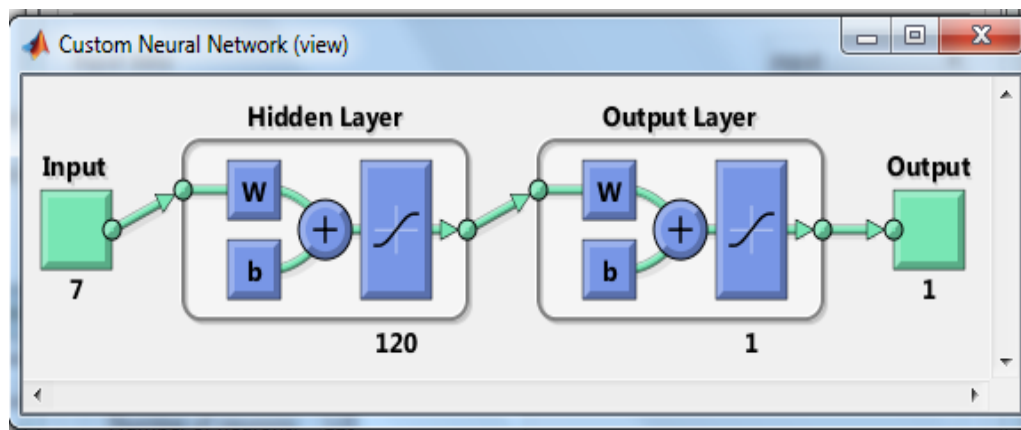
Εικόνα 16: Εισαγωγή παραμέτρων που λαμβάνουν χώρα στην εκπαίδευση του Δικτύου

Στη συνέχεια γίνεται η δημιουργία (new) του δικτύου που θα εκπαιδευτεί για να δώσει τα αποτελέσματα για τις περιοχές τις Ελλάδας που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα.



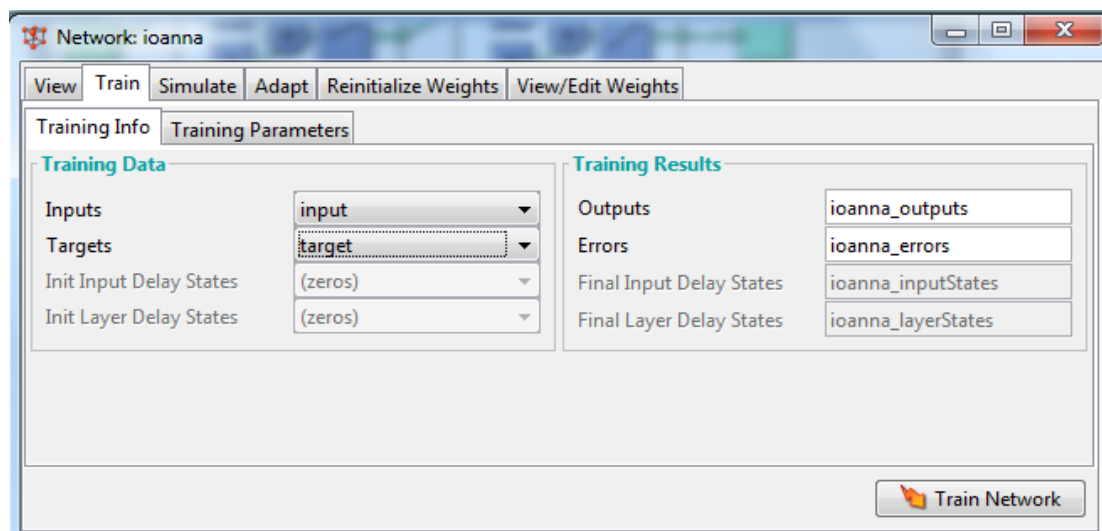
Εικόνα 17: Προσδιορισμός συνάρτησης εκπαίδευσης καθώς και αριθμό νευρώνων

Παρότι η συνάρτηση εκπαίδευσης `trainlm` είναι η ταχύτερη μέθοδος εκπαίδευσης σε μικρά δίκτυα, στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `trainrp`, γιατί είναι πιο αποτελεσματική στην εκπαίδευση μεγάλων δικτύων, όπου εμπεριέχονται πολλά βάρη. Στην παρούσα μελέτη, η συνάρτηση μεταφοράς που χρησιμοποιήθηκε είναι η `tagsig` που παράγει αποτελέσματα από -1 έως 1. Το κρυμμένο επίπεδο αποτελείται από νευρώνες, που ενώνουν το επίπεδο εισόδου με το επίπεδο εξόδου. Γενικά, κάθε νευρώνας δέχεται μία ή παραπάνω εισόδους και τις αθροίζει με σκοπό να παραχθεί μία έξοδος. Η κάθε είσοδος επηρεάζεται από το βάρος που τις αντιστοιχεί προτού αθροιστεί. Το άθροισμα τροφοδοτεί μία μη γραμμική συνάρτηση, γνωστή ως συνάρτηση ενεργοποίησης ή συνάρτηση μεταφοράς το αποτέλεσμα της οποίας αποτελεί την έξοδο του νευρώνα. Η έξοδος κάθε νευρώνα αποτελεί είσοδο για τους νευρώνες των επόμενων επιπέδων. Μετά από δοκιμές, ο αριθμός των 120 νευρώνων δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα (Εικόνα 17). Στη συνέχεια, δημιουργείται το δίκτυο (`create`).



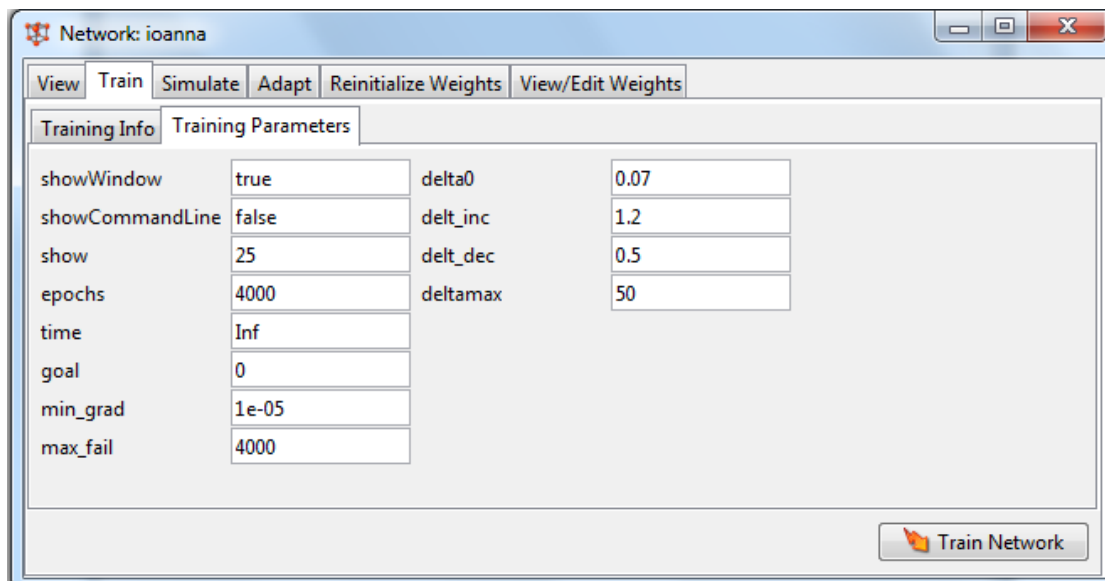
Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος ροής της εκπαίδευσης του Δικτύου

Το σχεδιάγραμμα απεικονίζει συνοπτικά τις επτά εισόδους (σημειακά δεδομένα από θεματικούς χάρτες), τα κρυμμένα επίπεδα , καθώς και τη μια έξοδο του δικτύου (Εικόνα 18).



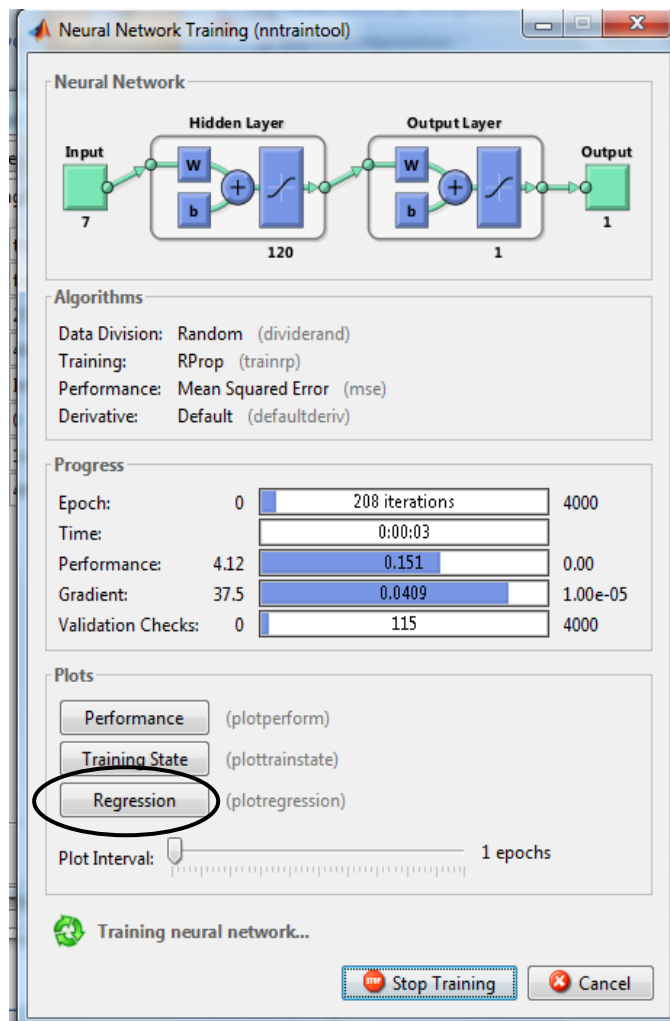
Εικόνα 19: Εισαγωγή παραμέτρων εκπαίδευσης Δικτύου

Ως δεδομένα εκπαίδευσης εισόδου, όπως έχει ήδη αναφερθεί εισάγονται τα δεδομένα των ιστορικών πλημμυρικών σημείων στην Ελληνική επικράτεια, σε φύλλο excel, ενδεικτικό τμήμα αυτού παρουσιάζεται στον Πίνακα 3. Ως δεδομένα στόχου εισάγεται μια βάση δεδομένων όπου κάθε γεωγραφικό ιστορικό πλημμυρικό σημείο στην Ελληνική επικράτεια περιγράφεται από διαφορετικά επίπεδα πλημμυρικής επικινδυνότητας (πολύ ψηλό έως πολύ χαμηλό) για κάθε ένα από τους 7 μελετούμενους παράγοντες/θεματικούς χάρτες. (Εικόνα 19).



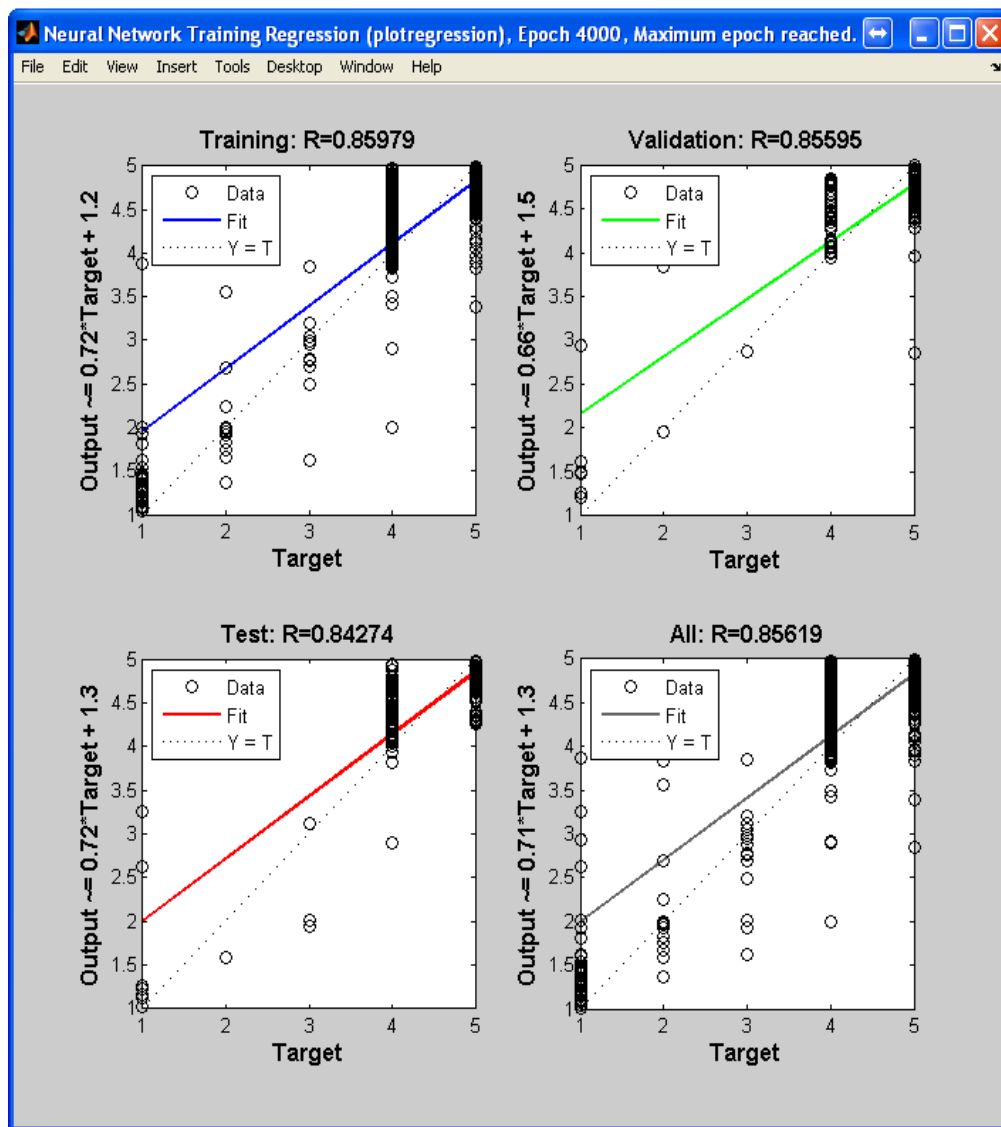
Εικόνα 20: Καθορισμός epochs και έναρξη εκπαίδευσης Δικτύου

Στην εφαρμογή του αλγορίθμου backpropagation, η εκπαίδευση επιτυγχάνεται με την παρουσίαση στο δίκτυο ενός συνόλου παραδειγμάτων εκπαίδευσης (Training Parameters). Η παρουσίαση όλων των προτύπων του συνόλου εκπαίδευσης μια φορά το καθένα ονομάζεται εποχή (epoch). Η διαδικασία εκπαίδευσης εκτελείται σε επαναλήψεις εποχών ως ότου τα βάρη του δικτύου σταθεροποιηθούν σε συγκεκριμένες τιμές, για τις οποίες η μέση τιμή του σφάλματος (για το σύνολο προτύπων εκπαίδευσης) συγκλίνει στην ελάχιστη τιμή της. Με τον όρο epoch ορίζουμε τους κύκλους εκπαίδευσης. Στην παρούσα προσομοίωση τα epochs ορίστηκαν ίσα με 4000 για να δώσουν καλύτερα αποτελέσματα, αφού με αυτόν τον τρόπο η επαλήθευση πραγματοποιείται περισσότερες φορές (Εικόνα 20).



Εικόνα 21: Διαδικασία εκπαίδευσης

Το παράθυρο εκπαίδευσης δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης διαγραμμάτων απόδοσης, κατάστασης εκπαίδευσης, ιστογράμματος λαθών, παρεμβολής (Εικόνα 21). Το διάγραμμα απόδοσης (Performance Plot) δείχνει πως βελτιώνεται το μέσο τετραγωνικό σφάλμα σε κάθε κύκλο εκπαίδευσης (epoch). Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία με την εντολή Regression εξάγονται τα διαγράμματα όπου φαίνεται αν τα αποτελέσματα έχουν μια καλή απόδοση.

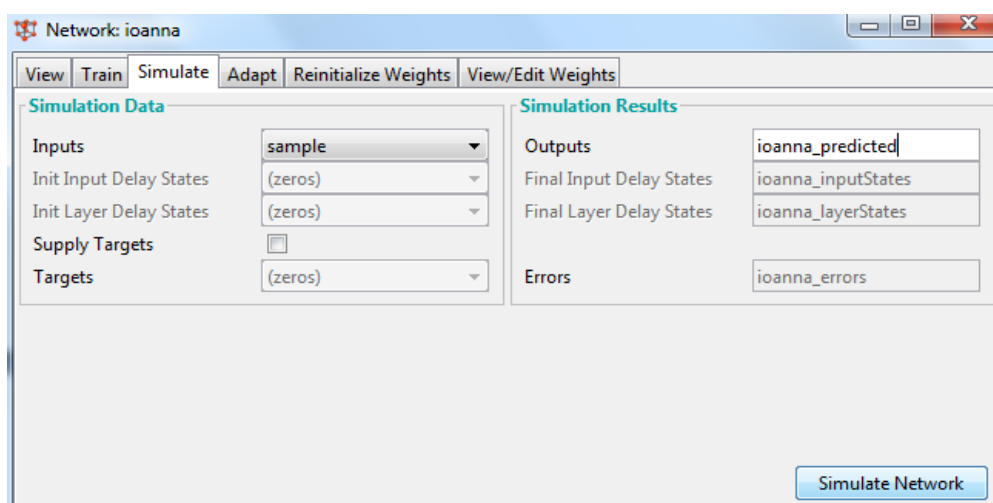


Εικόνα 22: Γραφική απεικόνιση απόδοσης μοντέλου

Τα τέσσερα διαγράμματα παρεμβολής (regression plot) (Εικόνα 22) αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα εκπαίδευσης ($R=0,859$), επαλήθευσης ($R=0,856$), εφαρμογής ($R=0,843$) και το τέταρτο είναι ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των δεδομένων μαζί. Το διάγραμμα παρεμβολής περιέχει τιμές που μετρούν την συσχέτιση μεταξύ των εξόδων και των στόχων. Η διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζει την τέλεια συσχέτιση. Η έντονη γραμμή παρουσιάζει την βέλτιστη προσαρμογή γραμμικής παρεμβολής μεταξύ εξόδων και στόχων. Τιμή R ίση με 1 δείχνει μια κοντινή σχέση, ενώ τιμή R ίση με 0 δείχνει μια τυχαία σχέση.

Τα αποτελέσματα της επαλήθευσης έδειξαν ικανοποιητική συμφωνία ανάμεσα στα προβλεπόμενα και τα πραγματικά πλημμυρικά δεδομένα. Ενδεικτικά, το συγκεντρωτικό διάγραμμα όλων των δεδομένων μαζί όπως προκύπτει από την εκπαίδευση του

συστήματος (Εικόνα 22) δίνει μια τιμή R της τάξεως του 0,86 η οποία είναι αρκετά ικανοποιητική.



Εικόνα 23: Έναρξη προσομοίωσης για εξαγωγή τελικών δεδομένων

Μετά την επιτυχή εκπαίδευση του τεχνητού νευρωνικού δικτύου, χρησιμοποιούνται ως δεδομένο προσομοίωσης (sample) η βάση δεδομένων που αφορά σημεία σε όλη την Ελληνική επικράτεια, όπου κάθε ένα σημείο προσδιορίζεται από την αντίστοιχη κλάση πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τους 7 μελετώμενους θεματικούς χάρτες. Η τελική διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί είναι η προσομοίωση (simulation), όπου και θα εξαχθούν τα τελικά αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση του δικτύου (Εικόνα 23). Τα αποτελέσματα αυτά εισάγονται στο GIS και με τη κατάλληλη μέθοδο χωρικής παρεμβολής απεικονίζεται ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Ελληνική επικράτεια.

6.3 Τελικός χάρτης – Επαλήθευση

Η χωρική παρεμβολή είναι μια συχνά χρησιμοποιούμενη GIS τεχνική για τη δημιουργία συνεχόμενης επιφάνειας από διακριτά σημεία. Πολλά φαινόμενα του πραγματικού κόσμου είναι συνεχόμενα – οι ανυψώσεις, το έδαφος, η θερμοκρασία κτλ. Η μοντελοποίηση της επιφάνειας για ανάλυση, δίνει μετρήσεις για ολόκληρη την επιφάνεια. Συνεπώς, το πεδίο των μετρήσεων επιλέγεται από ποικίλα σημεία κατά μήκος της επιφάνειας και οι ενδιάμεσες τιμές συμπεραίνονται από μια διαδικασία που ονομάζεται “παρεμβολή” (pro.arcgis.com). Για την εύρεση της αποτελεσματικότερης μεθόδου παρεμβολής χρησιμοποιήθηκε η εργαλειοθήκη Γεωστατιστικής Ανάλυσης (Geostatistical Analyst tool) σε περιβάλλον GIS. Το εργαλείο αυτό, μπορεί να δώσει το μέσο σφάλμα για κάθε μέθοδο παρεμβολής που θα χρησιμοποιηθεί, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πιο αξιόπιστη.

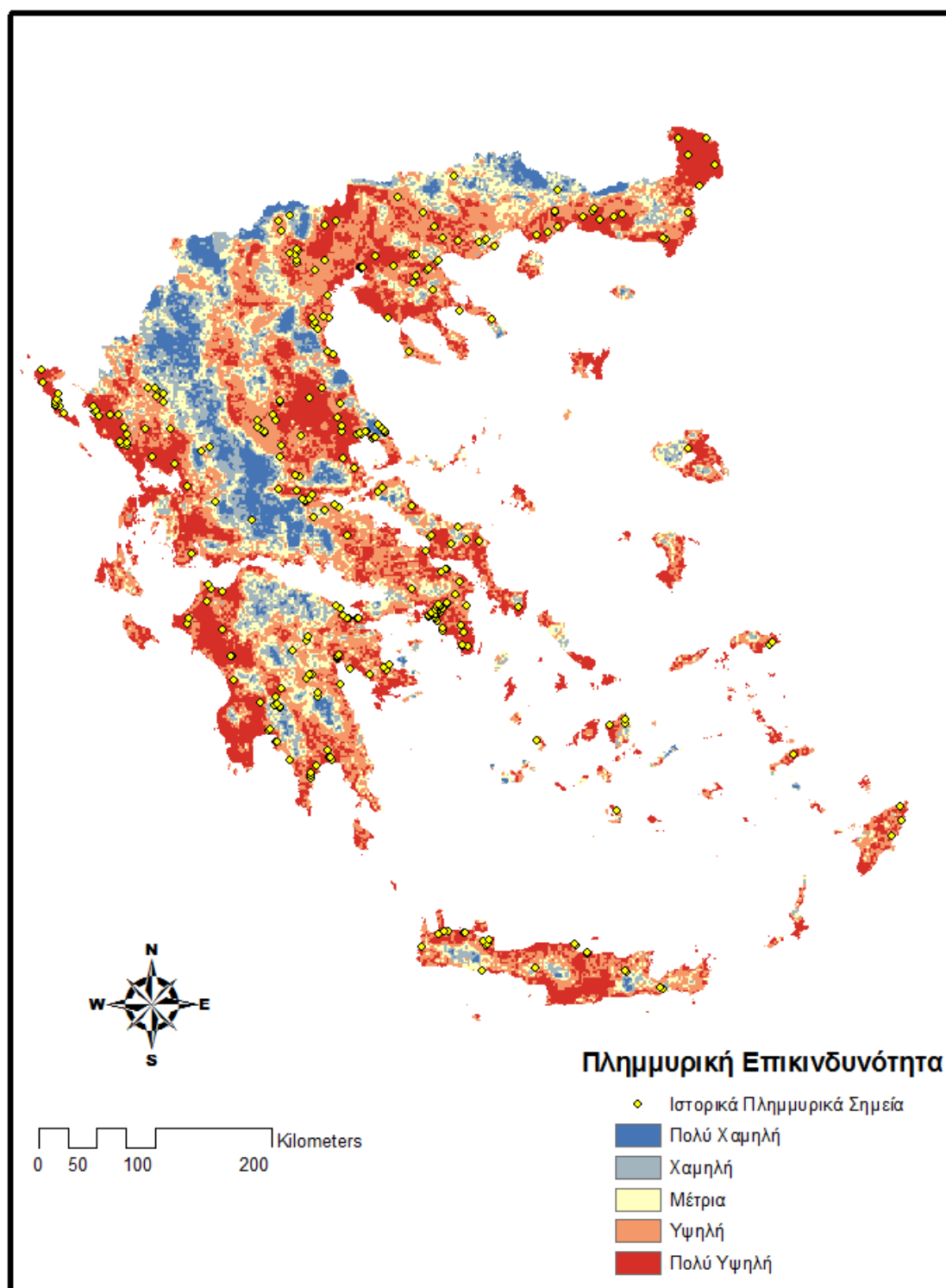
Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται τρεις μέθοδοι χωρικής παρεμβολής (interpolation)(pro.arcgis.com):

- Inverse Distance Weighted
- Spline
- Kriging

Μετά την απεικόνιση των αποτελεσμάτων των τριών παραπάνω μεθόδων προσδιορίστηκε ποια είναι η πιο κατάλληλη για την παρούσα μελέτη. Το μέγεθος κελιών (cell size) και στις τρεις μεθόδους ορίζεται 1000 X 1000μέτροι ώστε να παρουσιαστούν όσο το δυνατόν αναλυτικότερα αποτελέσματα.

Inverse Distance Weighted

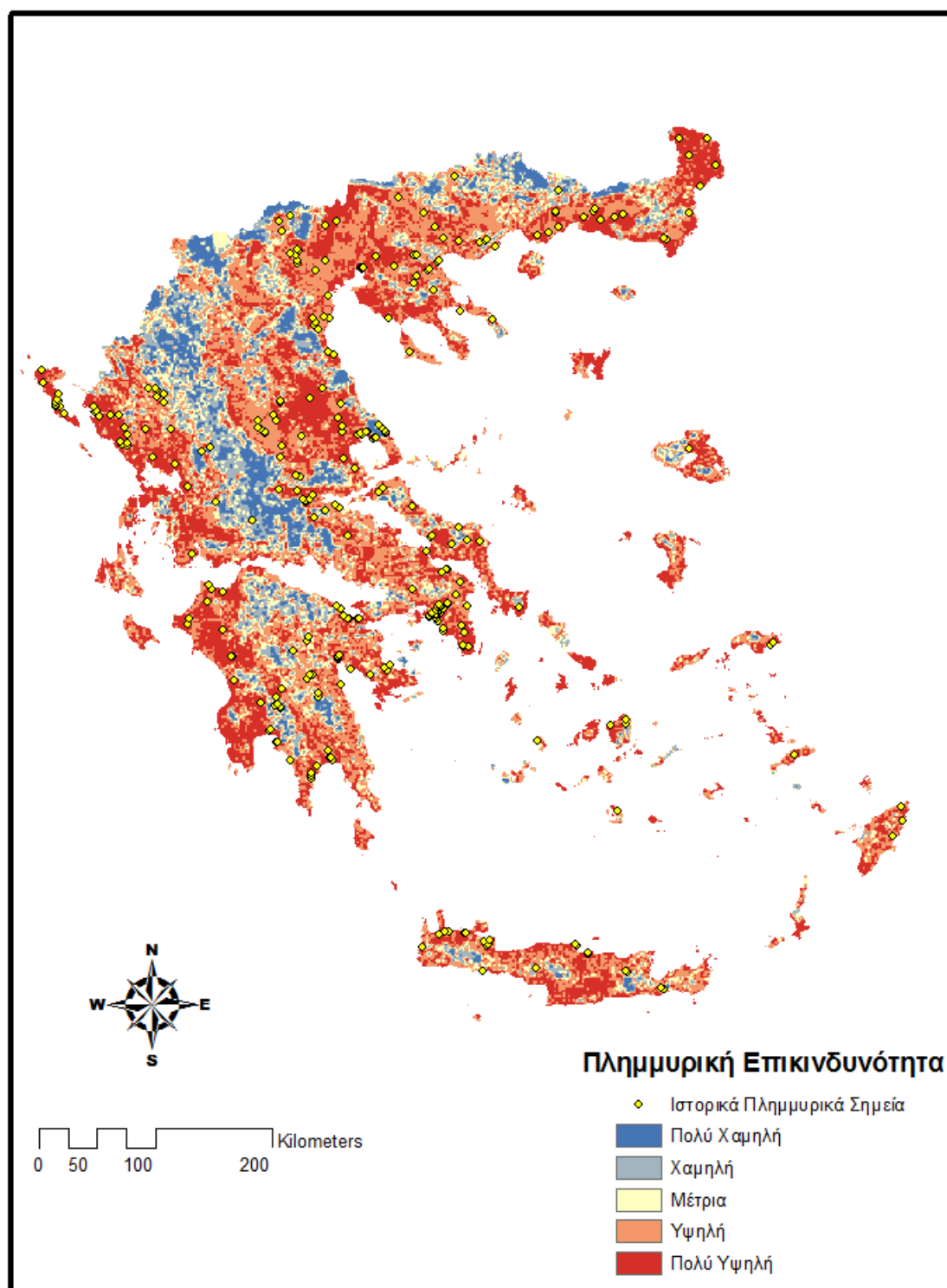
Η μέθοδος παρεμβολής IDW υπολογίζει τις τιμές των κελιών από το μέσο όρο των τιμών των σημειακών δεδομένων του δείγματος κοντά σε κάθε κελί επεξεργασίας. Όσο πιο κοντά είναι ένα σημείο στο κέντρο του κελιού που εκτιμάται, τόσο πιο μεγάλη επιρροή, ή βάρος, έχει η διαδικασία μέσης τιμής (pro.arcgis.com). Αναλυτικότερα, τα σημειακά δεδομένα με την αντίστοιχη πλημμυρική επικινδυνότητα που προέκυψαν με τη χρήση των ΤΝΔ, χρησιμοποιούνται ως αρχείο εισόδου για την εφαρμογή της συγκεκριμένης χωρικής παρεμβολής. Έτσι προσδιορίζεται, σε μορφή αρχείου raster, η πλημμυρική επικινδυνότητα στην Ελληνική επικράτεια. Η κατηγοριοποίηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται σε πέντε κλάσεις (Πολύ Χαμηλή – Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα), (classification method – Natural Breaks). Έπειτα εισάγεται στον χάρτη το υπόλοιπο 30% των ιστορικών πλημμυρικών σημείων έτσι ώστε να αξιολογηθεί αν ο αλγόριθμος λειτούργησε σωστά (Εικόνα 24). Από τα 474 Ιστορικά πλημμυρικά δεδομένα τα 22 δε βρίσκονται σε ζώνες Υψηλής και Πολύ Υψηλής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας (Πίνακας 4). Το ποσοστιαίο σφάλμα που παρουσιάζει η παρούσα μέθοδος χωρικής παρεμβολής είναι της τάξεως του 4,64%. Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος λειτούργησε αποτελεσματικά και το δίκτυο εκπαιδεύτηκε σωστά, ενώ η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν αποτελεσματική.



Εικόνα 24: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Inverse Distance Weighted

Spline

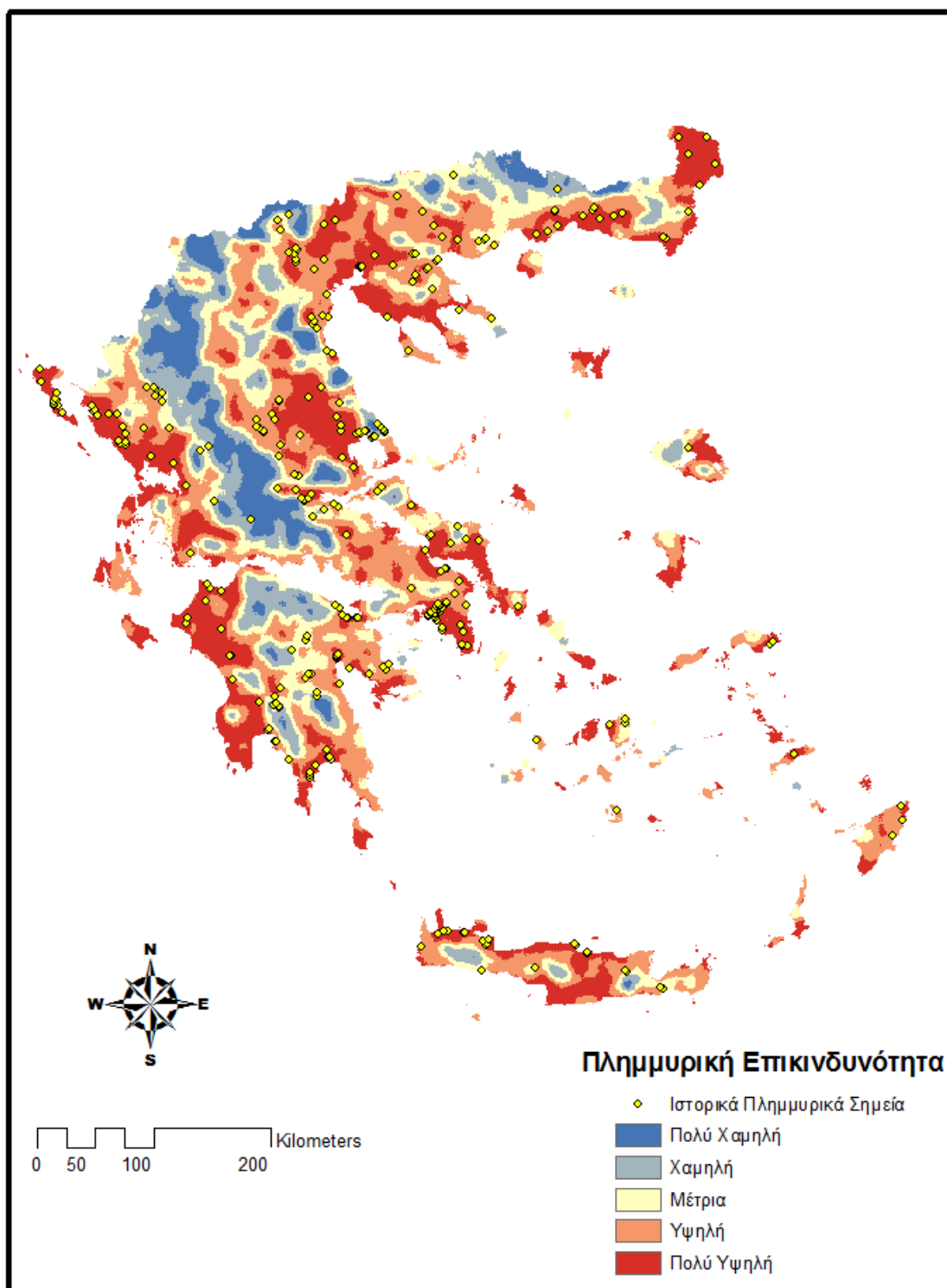
Η μέθοδος παρεμβολής Spline υπολογίζει τιμές χρησιμοποιώντας μια μαθηματική συνάρτηση που ελαχιστοποιεί τη συνολική επιφάνεια καμπυλότητας, με αποτέλεσμα μια λεία επιφάνεια που περνά από τα σημεία εισόδου (Εικόνα 25)(pro.arcgis.com). Αναλυτικότερα, τα σημειακά δεδομένα με την αντίστοιχη πλημμυρική επικινδυνότητα που προέκυψαν με τη χρήση των ΤΝΔ, χρησιμοποιούνται ως αρχείο εισόδου για την εφαρμογή της συγκεκριμένης χωρικής παρεμβολής. Έτσι προσδιορίζεται, σε μορφή αρχείου raster, η πλημμυρική επικινδυνότητα στην Ελληνική επικράτεια. Η κατηγοριοποίηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται σε πέντε κλάσεις (Πολύ Χαμηλή – Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα), (classification method – Natural Breaks). Έπειτα εισάγεται στον χάρτη το υπόλοιπο 30% των ιστορικών πλημμυρικών σημείων έτσι ώστε να αξιολογηθεί αν ο αλγόριθμος λειτούργησε σωστά (Εικόνα 25). Από τα 474 Ιστορικά πλημμυρικά δεδομένα μόνο τα 16 δε βρίσκονται σε ζώνες Υψηλής και Πολύ Υψηλής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας (Πίνακας 4). Το ποσοστιαίο σφάλμα που παρουσιάζει η παρούσα μέθοδος χωρικής παρεμβολής είναι της τάξεως του 3,37%. Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος λειτούργησε αποτελεσματικά και το δίκτυο εκπαιδεύτηκε σωστά, ενώ η μέθοδος παρεμβολής Spline ήταν πολύ αποτελεσματική.



Εικόνα 25: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Spline

Kriging

Η Kriging είναι μια γεωστατιστική διαδικασία που παράγει την κατ' εκτίμηση επιφάνεια από ένα διασκορπισμένο σύνολο σημείων με z-τιμές. Περισσότερο από ό, τι άλλες μεθόδους παρεμβολής, θα πρέπει να γίνει μια διεξοδική διερεύνηση της χωρικής συμπεριφοράς του φαινομένου που αντιπροσωπεύεται από τα z-τιμές πριν επιλεγεί η καλύτερη μέθοδος εκτίμησης για τη δημιουργία της επιφάνειας εξόδου (Εικόνα 26) (pro.arcgis.com). Αναλυτικότερα, τα σημειακά δεδομένα με την αντίστοιχη πλημμυρική επικινδυνότητα που προέκυψαν με τη χρήση των ΤΝΔ, χρησιμοποιούνται ως αρχείο εισόδου για την εφαρμογή της συγκεκριμένης χωρικής παρεμβολής. Έτσι προσδιορίζεται, σε μορφή αρχείου raster, η πλημμυρική επικινδυνότητα στην Ελληνική επικράτεια. Η κατηγοριοποίηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας πραγματοποιείται σε πέντε κλάσεις (Πολύ Χαμηλή – Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα), (classification method – Natural Breaks). Έπειτα εισάγεται στον χάρτη το υπόλοιπο 30% των ιστορικών πλημμυρικών σημείων έτσι ώστε να αξιολογηθεί αν ο αλγόριθμος λειτούργησε σωστά (Εικόνα 26). Από τα 474 Ιστορικά πλημμυρικά δεδομένα τα 44 δε βρίσκονται σε ζώνες Υψηλής και Πολύ Υψηλής Πλημμυρικής Επικινδυνότητας (Πίνακας 4). Το ποσοστιαίο σφάλμα που παρουσιάζει η παρούσα μέθοδος χωρικής παρεμβολής είναι της τάξεως του 9,28%. Αυτό σημαίνει ότι ο αλγόριθμος λειτούργησε αποτελεσματικά και το δίκτυο εκπαιδεύτηκε σωστά, όμως η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν σχετικά αποτελεσματική.



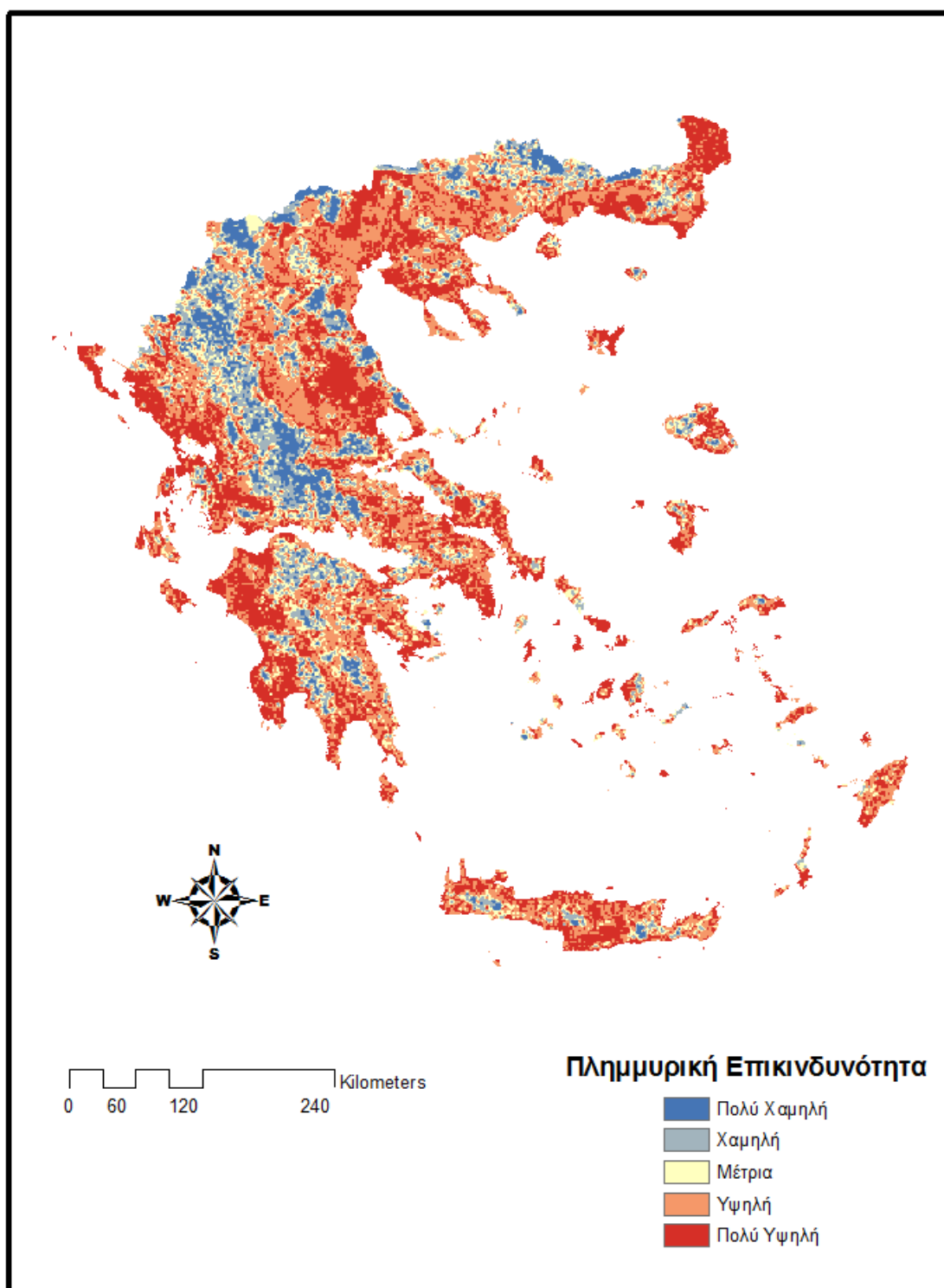
Εικόνα 26: Τελικός Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα με τη μέθοδο Kriging

Σύμφωνα με τα παραπάνω και συγκρίνοντας τους επιμέρους στατιστικούς δείκτες καλύτερα και αναλυτικότερα αποτελέσματα δίνει η χωρική παρεμβολή Spline. Η επαλήθευση του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας (μέθοδος τεχνητών νευρωνικών δικτύων) και της αντίστοιχης μεθόδου χωρικής παρεμβολής

πραγματοποιήθηκε με την παράθεση του 30% των υπολοίπων ιστορικών πλημμυρικών δεδομένων (καταγραφές των 100 τελευταίων ετών) στον τελικό χάρτη ώστε να διαπιστωθεί αν τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα «πέφτουν» στη ζώνη υψηλής ή και πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας. Το ποσοστιαίο σφάλμα που παρουσιάζεται στη μέθοδο Spline είναι της τάξεως του 3,37%. Με βάση τη συγκεκριμένη μέθοδο χωρικής παρεμβολής, παρακάτω παρουσιάζεται ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα (Εικόνα 27).

Πίνακας 4: Εκτίμηση Μεθόδων

Μέθοδος Χωρικής Παρεμβολής	Ποσοστιαίο Σφάλμα (%)	Ιστορικά Πλημμυρικά Σημεία εντός ζώνης Υψηλής Επικινδυνότητας
		Κατηγοριοποίηση Natural Breaks
IDW	4,64	452/474 εντός ζώνης Υψηλής Επικινδυνότητας
Spline	3,37	458/474 εντός ζώνης Υψηλής Επικινδυνότητας
Kriging	9,28	430/474 εντός ζώνης Υψηλής Επικινδυνότητας



Εικόνα 27: Τελικός χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στην Ελλάδα

Εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι αστικές περιοχές και οι πεδινές πλήττονται περισσότερο από τέτοιου είδους φυσικά φαινόμενα. Σύμφωνα με το τελικό χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας οι περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο από πλημμυρικά

φαινόμενα βρίσκονται στην κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά, τη δυτική Πελοπόννησο καθώς και τη νότια και βορειοδυτική Κρήτη.

7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πλημμύρες είναι φυσικά γεγονότα που δεν μπορούν να εξαλειφθούν ή να αποτραπούν. Μπορούν όμως να μετριαστούν και να μειωθούν οι αρνητικές τους επιπτώσεις. Ο κίνδυνος πλημμύρας είναι η πιθανότητα να λάβει χώρα ένα πλημμυρικό φαινόμενο που μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωής ή τραυματισμούς, ζημιές σε περιουσίες, κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις ή περιβαλλοντική υποβάθμιση. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και ως προς την πιθανότητα να συμβεί το πλημμυρικό φαινόμενο αλλά και ως προς τις επιπτώσεις που θα επιφέρει.

Για την ορθή διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων ιδιαίτερη σημασία έχει η εκτίμηση της χωρικής επικινδυνότητας πλημμυρικών φαινομένων με χρήση GIS. Η εκτίμηση αυτή εφαρμόστηκε στον Ελλαδικό χώρο, όπου καθορίστηκαν οι περιοχές εκείνες που είναι πιο επιρρεπείς στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Ο προσδιορισμός των περιοχών έγινε με τη διαβάθμιση του πλημμυρικού κινδύνου από Πολύ Υψηλή έως Πολύ Χαμηλή. Ο καθορισμός των περιοχών προέκυψε από την συνένωση επτά θεματικών χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας μέσω της εκπαίδευσης τεχνητού νευρωνικού δικτύου, με σκοπό την εξαγωγή του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας για την Ελλάδα. Οι θεματικοί χάρτες – παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: α) η ένταση της βροχόπτωσης, β) το υψόμετρο, γ) η κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, δ) οι χρήσεις γης, ε) η συσσώρευση επιφανειακής ροής, στ) η εδαφική διαβρωσιμότητα και ζ) η υδατοϊκανότητα του εδάφους.

Τα δεδομένα από τους παράγοντες – χάρτες εισήχθησαν στη Matlab και με χρήση της εργαλειοθήκης των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων (nntool) εκπαιδεύτηκαν και έδωσαν τον τελικό χάρτη Πλημμυρικής Επικινδυνότητας για την Ελλάδα. Τα αποτελέσματα της επαλήθευσης έδειξαν ικανοποιητική συμφωνία ανάμεσα στα προβλεπόμενα και τα πραγματικά πλημμυρικά δεδομένα. Ενδεικτικά, προκύπτει από την εκπαίδευση του συστήματος μια τιμή R της τάξεως του 0,86 η οποία είναι αρκετά ικανοποιητική.

Η εξαγωγή του τελικού χάρτη έγινε σε περιβάλλον GIS με την εφαρμογή της κατάλληλης χωρικής παρεμβολής. Ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Ελληνική επικράτεια στην συνέχεια επαληθεύτηκε με ιστορικά πλημμυρικά σημεία, γεγονός που καταδεικνύει ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία λειτουργεί αποτελεσματικά.

Σύμφωνα με το τελικό χάρτη οι περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο από πλημμυρικά φαινόμενα βρίσκονται στην κεντρική Μακεδονία, τη Θεσσαλία, την ανατολική Στερεά, τη δυτική Πελοπόννησο καθώς και τη νότια και βορειοδυτική Κρήτη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τα τοπικά και εθνικά κυβερνητικά σχέδια για την ανάπτυξη κατάλληλων σχεδίων και την δημιουργία υποδομών για την προστασία της ζωής και της περιουσίας των πολιτών.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Αστάρας Θ., 2007. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ψηφιακή Χαρτογραφία & Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Βαχαβιώλος Θ., 2011. Διπλωματική Εργασία, Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60.

Γκιοκάς, Α., 2009. Μεταπτυχιακή Εργασία, Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ.

Κατσάνος Ε., Διδακτικές Σημειώσεις, Βασικά στοιχεία για τη χρήση του MATLAB & Εφαρμογή σε προβλήματα κατασκευών.

Καυκαλά Ε., 2014. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Διερεύνηση με χρήση νέων τεχνολογιών των μεταβολών της δασικής κάλυψης περιοχών της ΒΔ Ελλάδας και πιθανές συνέπειες τους στις υποδομές των περιοχών αυτών.

Κουργιαλας Ν., 2010. Διδακτορική Διατριβή, Ολοκληρωμένη διαχείριση πρόβλεψη και αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων σε σύνθετες γεωμορφολογικά περιοχές και χρήση μαθηματικών μοντέλων και GIS.

Κουτσόπουλος, Κ., 2002. Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών & ανάλυση χώρου.

Λέκκας Ε., 2000. Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Β' Έκδοση. AccessPre-Press, Αθήνα.

Λέκκας Ε., 2009. Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών και Τεχνολογικών Καταστροφών, πρόγραμμα συμπληρωματικής εκπαίδευσης εξ' αποστάσεως, ΕΚΠΑ.

Λιβιέρης Ι., 2008. Μεταπτυχιακή Εργασία, Αποτίμηση Μεθόδων Εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και Εφαρμογές.

Λυκοθανάσης Σ., Γεωργοπουλος Ε., 2014. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Υπολογιστική Νοημοσύνη.

Μαυροκεφαλίδου Ε., 2005. Πτυχιακή εργασία, Μελέτη της ποιότητας νερού στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης του υπόγειου υδροφορέα περιοχής Βάμου.

Νικολαΐδου Μ., Χατζηχρίστου Ε., 1995. Διπλωματική Εργασία, Καταγραφή και αποτίμηση των καταστροφών από πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παπανικολάου Δ., Διακάκης Μ., 2011. Μεταβολές στην Ένταση και την Κατανομή των Φυσικών καταστροφών. Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής.

Πλαγιανάκος Β., 2002. Διδακτορική Διατριβή, Νέες Μέθοδοι Εκπαίδευσης Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, Βελτιστοποίησης και Εφαρμογές.

Σταματιαδη Θ., 2003. Διπλωματική εργασία, Εφαρμογή των Νευρωνικών δικτύων στις Τηλεπικοινωνίες Αναγνώριση σήματος.

Τζήμα Κ., 2014. Διπλωματική Εργασία, Διαχείριση Κινδύνου Πλημμύρας με Σκοπό την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή μέσω Υδραυλικών Μεθόδων και Τεχνολογιών GIS.

Τσακίρης Γ., 2005. Διαχείριση Πλημμυρικής Διακινδύνευσης.

Τσεκουρά Γ., 2004. Διπλωματική Εργασία, Εφαρμογή της μεθόδου των τεχνητών νευρωνικών δικτύων σε θέματα σηράγγων.

Τσορτανίδης Δ., 2005. Διπλωματική Εργασία, Αρχιτεκτονική και Εκπαίδευση Νευρωνικών Δικτύων με Γενετικούς Αλγόριθμους στην Πρόγνωση Οικονομικών Δεδομένων.

Τσουχαράκη Α. & Αχιλλέως Γ., 2011. Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη, το ArcGIS 9.3.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akinremi O.O., McGinn, S.M., 1997. Regional simulation of fall and spring soil moisture in Alberta. *Canadian Journal of Soil Science* 77, 431–442.

Alexakis D., Diofantos D., Hadjimitsis G., Agapiou A., 2013. Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus, *Atmospheric Research* 131, 108–124.

Amadio P., Mancini M., Menduni G., Rabuffetti D., Ravazzani G., 2003. A real-time flood forecasting system based on rainfall thresholds working on the Arno Watershed: definition and reliability analysis. In: *Proceedings of the 5th EGSPlinius Conference held at Ajaccio, Corsica, France*.

Ballabio D., Consonni V., Todeschini R., 2009. The Kohonen and CP-ANN toolbox: A collection of MATLAB modules for Self Organizing Maps and Counterpropagation Artificial Neural Networks, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 98, 115–122.

Behrens A., Georgiev A., Carraro M., 2010. Future Impacts of Climate Change across Europe. CEPS Working Document No. 324.

BouKheir R., Abdallah C., Khawlie M., 2008. Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS. *Eng. Geol.* 99, 239–254.

Burrough P.A., 1986. *Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment*. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.

Carlsson C., Kochetkov Y., 1983. *Theory and Practice of Multiple Criteria Decision Making*. North-Holland Publishing, New York.

Cazemier D.R., Lagacherie P., Martin-Clouaire R., 2001. Geoderma A possibility theory approach for estimating available water capacity from imprecise information contained in soil databases, *Geoderma* Vol. 103, 113–132.

Churchland P.S., *Neurophilosophy: Toward a unified science of the mind/brain*, MIT Press, Cambridge, 1986.

Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., 2012. *Floods in Greece, a statistical and spatial approach*, Nat Hazards DOI 10.1007/s11069-012-0090-z.

Downton MW., Pielke R., 2001. *Discretion without accountability: politics, flood damage, and climate*. Nat Hazards Rev 2(4):157–166.

French MN., Krajewski WF., Cuykendall RR., 1992. *Rainfall forecasting in space and time using a neural network*. Journal of Hydrology 137: 1 – 31.

Georgakakos K. P., 2006. *Analytical results for operational flash flood guidance*. J Hydrol 317:81– 103.

Golian S., Saghafian B., Maknoon R., 2010. *Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting*. Water Resour Manage, doi: 10.1007/s11269-010-9619-7.

Gomez H., Kavzoglu T., 2005. *Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela*. EngGeol 78(1–2):11–27.

Goodchild M. F., 1985. *Geographic Information Systems in Undergraduate Geography: A Contemporary Dilemma*, The Operational Geographer No 8.

Haykin S., 1994. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Macmillan Publishing Company, N.Y., ISBN 0-02-352761-7.

Jinren R.N., Yingkui K.L., 2003. *Approach to soil erosion assessment in terms of land-use structure changes*. J. Soil Water Conserv. 58 (3), 158–169.

Kleinen T., Petschel-Held G., 2007. *Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change*.

Kohonen T., 1988. *Self-Organization and Associative Memory*, Springer Verlag, Berlin.

Kouli M., Soupios P., Vallianatos F., 2009. *Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework*, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environ. Geol. 57, 483–497.

Kourgialas N., Karatzas G., 2011. *Flood management and a GIS modeling method to assess flood-hazard areas – a case study*, Hydrological Sciences Journal, 56:2, 212-225.

Kourgialas N., Karatzas G., Nikolaidis N., 2012. *Development of a thresholds approach for real-time flash flood prediction in complex geomorphological river basins*. Hydrological Processes 26, 1478 – 1494.

Kundzewicz Z.W., Ulbrich U., Brücher T., Graczyk D., Leckebusch G., Menzel L., Przymusińska I., Radziejewski M., Szwed M., 2005. Summer floods in central Europe: climate change track, *Natural Hazards*.

Lahdelma R., Salminen P., Hokkanen J., 2000. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management* 26.6, pp. 595 – 605.

Lin X., 1999. Flash floods in arid and semi-arid zones. *IHP-V Technical Documents in Hydrology*, No 23.

Martin-Vide J.P., Ninerola D., Bateman A., Navarro A., Velasco E., 1999. Runoff and sediment transport in a torrential ephemeral stream of the Mediterranean coast. *Journal of Hydrology* 225: 118–129.

Masoud B. K., Saied P., Biswajeet P., Ahmad Rodzi M., Wan Nor Azmin S., Abbas M., 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia *Environ Earth Sci.*, 67:251–264.

Munich Re., 2002. *Topics, an annual review of natural catastrophes*. Munich Reinsurance Company Publications, Munich.

Norbiato D., Borga M., Esposti S.D., Gaume E., Anquetin S., 2008. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: an assessment for gauged and ungauged basins, *J. Hydrology* 362:274–290.

Ologunorisa T. E., Abawua M. J., 2005. Flood Risk Assessment: A Review, *J. Appl. Sci. Environ. Mgt.* 9.1, pp. 57 – 63.

Pilon P.J., 2004. *Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR)*, Palais des Nations, Ch 1211 Geneva, Switzerland.

Pimental D., 2009. *World Soil Erosion and Conservation*. Cambridge University Press, p. 364.

Pradhan B., 2009. Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *Central Europe, J. Geoscience*, 1(1):120–129. doi:10.2478/v10085-009-0008-5.

Prasannakumar V., Vijith, H., Geetha, N., 2011. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology.

STATHIS D., 2004. Extreme rainfall-events and flood-genesis in Greece, In: 7PGC/HGS: 1-8, Oct 2004.

Strik D., Domnanovich A., Zani L., Braun R., Holubar P., 2005. Prediction of trace compounds in biogas from anaerobic digestion using the MATLAB Neural Network Toolbox, *Environmental Modelling & Software* 20 803–810.

The World Factbook, CIA.

Van Diepen C.A., 1993. Two alternative methods for evaluating crop yield potential in the European Community. Geoderma 60, 359–376.

Wassenaar T., Lagacherie P., Legros J.P., Rounsevell M., 1999. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. Climate Research 11, 209–220.

WMO No 1072, 2011. Manual on flood forecasting and warning.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

ebooks.edu.gr

el.wikipedia.org

pro.arcgis.com

www.ypeka.gr

www.abettergreece.com

www.mani.org.gr