

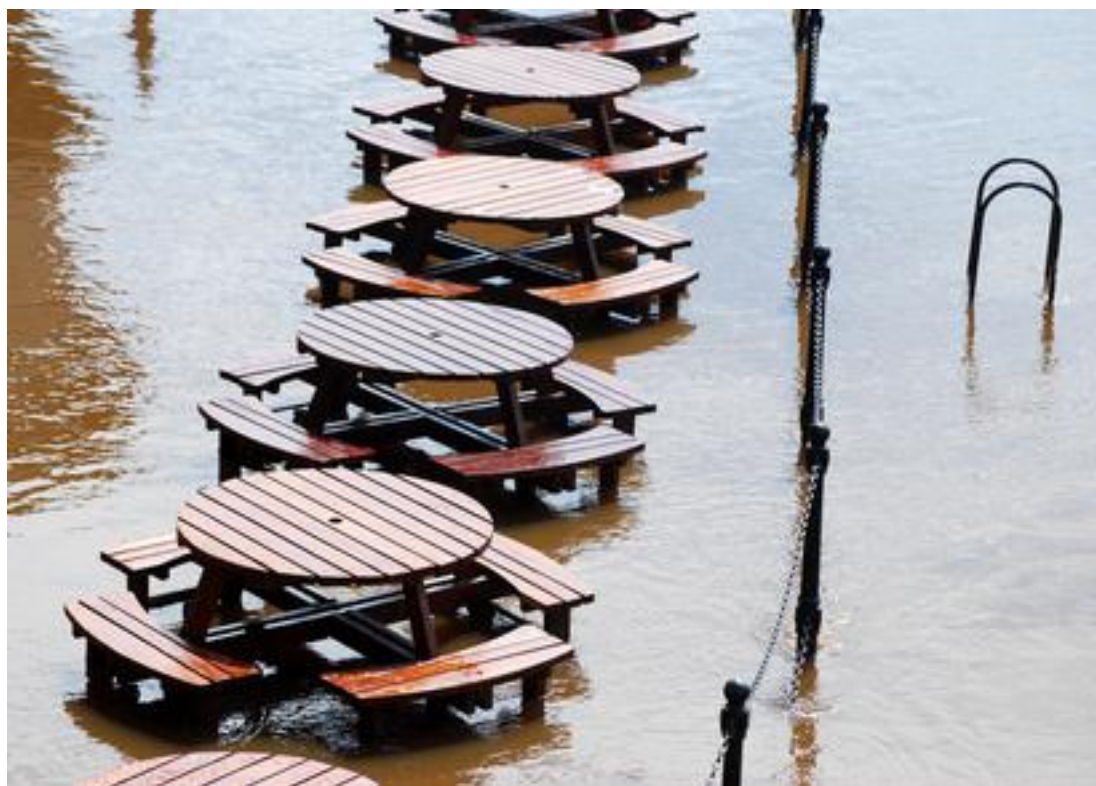


ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πλημμυρικός Κίνδυνος στο Θριάσιο Πεδίο

Ζωή Κρούσκα

Επιβλέπων Καθηγητής: Ισαάκ Παρχαρίδης



Αθήνα, Μάιος 2014

*Αφιερώνεται στους γονείς μου
που βρίσκονται πάντα δίπλα μου
και στηρίζουν τις επιλογές μου*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ισαάκ Παρχαρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον κ. Σταύρο Ρούμελη και τον κ. Κλεομένη Καλογερόπουλο, Διδακτορικούς φοιτητές του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου, για την πολύτιμη βοήθεια τους στο πρακτικό μέρος της εργασίας.

Τέλος, τους συμφοιτητές μου στο ΠΜΣ του τμήματος Γεωγραφίας, κατεύθυνση «Γεωπληροφορικής» με τους οποίους περάσαμε μια ιδιαίτερη χρονιά άψογης συνεργασίας και ανάπτυξης δυνατών φιλικών δεσμών. Εύχομαι καλή τύχη στις προσπάθειες σας από εδώ και πέρα.

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον για τα ακραία φαινόμενα, που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όπως βροχοπτώσεις με έντονη ραγδαιότητα οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση έντονων πλημμυρικών φαινομένων. Με σκοπό τη διερεύνηση και εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου θεσπίστηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο η Οδηγία 2007/60/EK, σύμφωνα με την οποία όλα τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ οφείλουν να εκπονήσουν μελέτη για τη διαχείριση και αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην οικονομία, την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και την πολιτιστική κληρονομιά.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής του Θριάσιου πεδίου ως προς το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Η περιοχή επιλέχθηκε εξαιτίας των ιστορικά έντονων πλημμυρών που έχουν καταγραφεί αλλά και λόγω της οικονομικής σπουδαιότητας που παρουσιάζει καθώς έχει εξελιχθεί σε μία από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες. Τα σημαντικότερα αστικά κέντρα που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης είναι της Ελευσίνας, του Ασπροπύργου και της Μαγούλας.

Με τη βοήθεια της τεχνολογίας των ΓΣΠ και τις μεθόδους της πολυκριτηριακής ανάλυσης εξετάζονται τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης όπως η υδρολογία, η γεωλογική και γεωμορφολογική διαμόρφωση και η κάλυψη γης, αποσκοπώντας στον εντοπισμό και τη χαρτογραφική απεικόνιση των τρωτών στις πλημύρες περιοχών.

Η παραπάνω διαδικασία οδηγεί στη δημιουργία του χάρτη εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου, δηλαδή στον προσδιορισμό των περιοχών εκείνων, οι οποίες σε μια ενδεχόμενη έντονη βροχόπτωση θα παρουσιάσουν υψηλό κίνδυνο εμφάνισης πλημμύρας. Η κατάρτιση του χάρτη κινδύνου μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη διερεύνηση των δυνητικών αρνητικών οικονομικών, κοινωνικών και οικολογικών συνεπειών που συνδέονται με την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου στην περιοχή καθώς και στη λήψη κατάλληλων μέτρων πρόληψης και διαχείρισης του φυσικού κινδύνου εστιάζοντας στις ευαίσθητες υποδομές της περιοχής.

Abstract

In recent decades there is great scientific interest in extreme phenomena associated with climate change, such as rainfall and intense rain which have resulted in intense floods. In order to investigate and assess the flood risk adopted by the European Parliament Directive 2007/60/EC, according to which all Member States of the EU are required to conduct a study on the management and flood risk assessment with the aim of reducing negative effects on the economy, human health, the environment and cultural heritage.

The subject of this thesis is to create a methodological framework for assessing the vulnerability of the region Thriassion as to the possibility of floods occurring. The area was chosen because of its historically high flood on record but also because of the economic importance has since been developed into one of the largest industrial zones. The principal cities included in the study area are Eleusis, Aspropyrgos and Magoula.

With the help of GIS technology and methods of multicriteria analysis examined the morphological characteristics of the study area such as hydrology, geological and geomorphological configuration and land cover, to the identification and mapping of areas vulnerable to floods.

This process leads to the creation of the map assessment of flood risk in the area of Thriassion plain, namely the identification of those areas, in which a possible heavy rainfall would present a high risk of flooding. The establishment of the risk map can significantly help in investigating the potential adverse economic, social and ecological consequences associated with floods occurring in the region and to take appropriate measures to prevent and manage natural hazards focusing on vulnerable infrastructure in the area.

Περιεχόμενα

κεφάλαιο 1	6
1. Εισαγωγή.....	6
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής	6
1.2 Πλημμύρες	7
1.3 Πλημμύρες στον Ελλαδικό χώρο	8
1.4 Λογισμικό - Πηγές δεδομένων- Διαδικασία Υλοποίησης.....	11
κεφάλαιο 2	12
2. Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών	12
2.1 Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και διαχείριση των πλημμυρών	12
2.2 Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ στην Ελλάδα.....	15
κεφάλαιο 3	16
3. Περιγραφή περιοχής μελέτης	16
3.1 Εισαγωγή.....	16
3.2 Φυσική γεωγραφία.....	17
κεφάλαιο 4	24
4. Υδρολογικά μοντέλα με τη χρήση Γ.Σ.Π.....	24
4.1 Εισαγωγή.....	24
4.2 Παρουσίαση εντολών υδρολογικής ανάλυσης	25
κεφάλαιο 5	28
5. Πολυκριτηριακή ανάλυση.....	28
5.1 Εισαγωγή.....	28
5.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	28
κεφάλαιο 6	33
6. Μέθοδος MAUT	33
6.1 Εισαγωγή.....	33
6.2 Εφαρμογή μεθόδου MAUT.....	35
κεφάλαιο 7	38
7. Μέθοδος ΑΗΡ.....	38
7.1 Εισαγωγή.....	38
7.2 Εφαρμογή μεθόδου ΑΗΡ	42

κεφάλαιο 8	48
8. Κατάρτιση χαρτών πλημμύρας	48
8.1 Εισαγωγή.....	48
8.2 Παρουσίαση πρωτογενών δεδομένων.....	50
8.3 Υδρολογική ανάλυση	53
8.4 Δημιουργία επιπέδου κριτηρίων με τη μέθοδο Maut	56
8.5 Σύνθεση παραμετρικών χαρτών κατά Maut	64
8.6 Δημιουργία επιπέδων κριτηρίου με τη μέθοδο ΑΗΡ	67
8.7 Σύνθεση παραμετρικών χαρτών κατά ΑΗΡ	75
8.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων	78
κεφάλαιο 9	83
9. Συμπεράσματα- Προτάσεις.....	83
9.1 Συμπεράσματα.....	83
9.2 Προτάσεις	84
Κεφάλαιο 10.....	85
10. Βιβλιογραφία.....	85
Ξένες αναφορές	85
Ελληνικές αναφορές	87
Ηλεκτρονικές πηγές	88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	89

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Δεδομένα εργασίας	11
Πίνακας 2: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ.....	14
Πίνακας 3: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας- ΥΔ 06 : Αττική.....	16
Πίνακας 4: Μέσες ετήσιες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών	18
Πίνακας 5: Μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμού Ελευσίνας (mm) για τα έτη 2008-2013.....	18
Πίνακας 6: Μελέτες πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση ή όχι πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	30
Πίνακας 7: Μελέτες διαχείρισης περιβαλλοντικών θεμάτων με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	31
Πίνακας 8: Κατάταξη και κανονικοποίηση εναλλακτικών κατά τη μέθοδο MAUT.....	37
Πίνακας 9: καθορισμός βαρύτητας των κριτηρίων κατά τη μέθοδο <i>swing weight approach</i>	37
Πίνακας 10: Ενδεικτικός πίνακας συγκρίσεων κατά ζεύγη	39
Πίνακας 11: Συγκριτική κλίμακα του Thomaw Saaty σε απόλυτους αριθμούς	40
Πίνακας 12: Τιμές του RI για διαφορετικές τιμές του n	42
Πίνακας 13: Καθορισμός κριτήρια και εναλλακτικών	43
Πίνακας 14: Σύγκριση των κριτηρίων κατά ζεύγη και καθορισμός βαρών.....	44
Πίνακας 15: Έλεγχος του δείκτη συνέπειας.....	44
Πίνακας 16: Καθορισμός σπουδαιότητας εναλλακτικών και βαρύτητας κριτηρίων	47
Πίνακας 17: Πρωτογενή δεδομένα εργασίας	50
Πίνακας 18: Ενοποίηση κωδικών Corine για τη δημιουργία τριών κατηγοριών	50

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1-1: Διάγραμμα υδρολογικού κύκλου	7
Σχήμα 1-2: Υδατικά διαμερίσματα Χώρας	9
Σχήμα 1-3: Μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm	10
Σχήμα 1-4: Αριθμός πλημμυρικών γεγονότων	10
Σχήμα 3-1: Περιοχή Θριάσιου πεδίου	17
Σχήμα 3-2: Γραφική απεικόνιση χρήσεων γης στο Θριάσιο πεδίο	19
Σχήμα 3-3: Γεωγραφική κατανομή των χρήσεων γης στο Θριάσιο πεδίο.....	20
Σχήμα 3-4: Ρέματα στο Θριάσιο πεδίο	21
Σχήμα 3-5: Πετρώματα της περιοχής του Θριάσιου πεδίου	22
Σχήμα 4-1: Εργαλεία του ArcGIS για την Υδρολογική Ανάλυση	25
Σχήμα 4-2: (α) προφίλ του ΨΜΕ με τοπική ταπείνωση, (β) προφίλ του νέου ΨΜΕ μετά την εκτέλεση της εντολής Fill	26
Σχήμα 4-3: Αντιστοιχία τιμών της εντολής flow direction με τη διεύθυνση ροής	26
Σχήμα 4-4: Απεικόνιση του υπολογισμού συσσωρευτικής ροής	27
Σχήμα 6-1: Εφαρμογή της μεθόδου MAUT.....	35
Σχήμα 7-1: Ενδεικτική μορφή ιεράρχησης	39
Σχήμα 7-2: Διαγραμματική απεικόνιση του υπό μελέτη φαινομένου	43
Σχήμα 8-1: Διάγραμμα βημάτων υλοποίησης εργασίας	49
Σχήμα 8-2: Εφαρμογή φίλτρου στο ΨΜΕ	52
Σχήμα 8-3: Ζώνες απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο και ορισμός κανονικοποιημένων τιμών	57
Σχήμα 8-4: Καθορισμός τάξεων του επιπέδου της κλίσης εδάφους και ορισμός κανονικοποιημένων τιμών.....	58
Σχήμα 8-5: Πίνακας δεδομένων του επιπέδου χρήσεων γης.....	60
Σχήμα 8-6: Μετατροπή αρχείου διανυσματικής μορφής σε ψηφιδωτή.....	60
Σχήμα 8-7: Πίνακας δεδομένων του επιπέδου της γεωλογίας	62
Σχήμα 8-8: Μετατροπή διανυσματικού αρχείου σε ψηφιδωτό.....	63
Σχήμα 8-9: Σύνθεση παραμετρικών χαρτών με συντελεστή βαρύτητας	65
Σχήμα 8-10: Καθορισμός των τιμών των εναλλακτικών σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους κατά τη μέθοδο AHP	68
Σχήμα 8-11: Απόδοση της σπουδαιότητας για τις εναλλακτικές του κριτηρίου της κλίσης του εδάφους	70
Σχήμα 8-12: Δημιουργία πεδίου στον πίνακα δεδομένων και εκτέλεση πράξεων εντός αυτού.....	72
Σχήμα 8-13: Μετατροπή του διανυσματικού επιπέδου χρήσεων γης σε ψηφιδωτό.....	72
Σχήμα 8-14: Δημιουργία πεδίου στον πίνακα δεδομένων και εκτέλεση πράξεων εντός αυτού.....	74
Σχήμα 8-15: Σύνθεση κριτηρίων με τα αντίστοιχα βάρη τους	76
Σχήμα 8-16: Κανονικοποίηση τιμών του τελικού παραγόμενου επιπέδου	77

Ευρετήριο χαρτών

Χάρτης 1: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου	51
Χάρτης 2: Χρήσεις γης στο Θριάσιο πεδίο.....	51
Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης του Θριάσιου πεδίου	52
Χάρτης 4: Κατεύθυνση ροής υδάτων.....	53
Χάρτης 5: Συγκέντρωση υδάτων	54
Χάρτης 6: Αποτύπωση κύριου υδρογραφικού δικτύου	55
Χάρτης 7: Ζώνες απόστασης από ρέμα	57
Χάρτης 8: Κλίση εδάφους κατηγοριοποιημένη σε τάξεις	59
Χάρτης 9: Χρήσεις γης κατηγοριοποιημένες σε τάξεις.....	61
Χάρτης 10: Γεωλογικοί σχηματισμοί του Θριάσιου πεδίο κατηγοριοποιημένοι σε τάξεις ...	63
Χάρτης 11: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας (μέθοδος MAUT).....	66
Χάρτης 12: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας ορίζοντας τις τάξεις των κριτηρίων βάσει των παγκοσμίως αποδεκτών τιμών (μέθοδος MAUT)	66
Χάρτης 13: Ζώνες απόστασης από ρέμα βάσει του κινδύνου εκδήλωσης πλημμύρας κατά ΑΗΡ	69
Χάρτης 14: Ζωνοποίηση της κλίση του εδάφους βάσει του κινδύνου εκδήλωσης πλημμύρας κατά ΑΗΡ	70
Χάρτης 15: Χρήσεις γης κατηγοριοποιημένες σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους κατά την ΑΗΡ	73
Χάρτης 16: Σχηματισμοί πετρωμάτων κατηγοριοποιημένοι βάσει της σπουδαιότητας τους κατά την ΑΗΡ.....	75
Χάρτης 17: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας (μέθοδος ΑΗΡ).....	77
Χάρτης 18: Κατάταξη των περιοχών του Θριάσιου πεδίου σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας κατά τη μέθοδο MAUT	79
Χάρτης 19: Κατάταξη των περιοχών του Θριάσιου πεδίου σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας κατά τη μέθοδο ΑΗΡ	80
Χάρτης 20: Σημαντικές υποδομές και εγκαταστάσεις του Θριάσιου πεδίου και κατάταξη της περιοχής σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας κατά τη μέθοδο MAUT	81
Χάρτης 21: Σημαντικές υποδομές και εγκαταστάσεις του Θριάσιου πεδίου και κατάταξη της περιοχής σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας κατά τη μέθοδο ΑΗΡ.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο διπλωματικής

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής του Θριάσιου πεδίου ως προς το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Συνεπώς, η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στον προσδιορισμό των περιοχών εκείνων, οι οποίες σε μια ενδεχόμενη έντονη βροχόπτωση θα παρουσιάσουν μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου.

Για τη χαρτογραφική απεικόνιση των ευάλωτων περιοχών ως προς την εκδήλωση πλημμύρας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σταθμισμένης πολυκριτηριακής χαρτογραφικής υπέρθεσης επιπέδων με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS για την κατασκευή ενός απλοποιημένου μοντέλου αποτίμησης των περιοχών ως προς την επιδεκτικότητα τους σε πλημμύρα.

Για το σκοπό αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε υδρογραφική μελέτη της περιοχής για τον καθορισμό του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης. Στην συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμορφολογία της περιοχής και το υδρογραφικό δίκτυο αναπτύχθηκαν δύο μοντέλα πολυκριτηριακής ανάλυσης, το πρώτο με την εφαρμογή της θεωρίας πολυκριτηριακών χρησιμότητων (MultiAttribute Utility Theory-MAUT) και το δεύτερο με τη διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process- AHP).

Η συμβολή της δημιουργίας τέτοιων μοντέλων είναι σημαντική για τη λήψη ορθών μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των συνεπειών των φυσικών καταστροφών. Ωστόσο η ανάπτυξη μοντέλων με τη χρήση παραμέτρων που λαμβάνουν χώρα σε φυσικές διεργασίες αποτελεί δύσκολο εγχείρημα με αμφίβολα αποτελέσματα. Για το λόγο αυτό στην παρούσα διπλωματική εργασία τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν είναι εννοιολογικά, δηλαδή βασίζονται στην επιλογή παραμέτρων από το χρήστη. Η ακρίβεια των μοντέλων στηρίζεται στην ακρίβεια της ρύθμισης των παραμέτρων και στη σωστή επιλογή των τιμών τους με βάση μετρημένα στοιχεία ή εμπειρικές γνώσεις. Το πλεονέκτημα των εννοιολογικών μοντέλων είναι η απλότητα τους, η οποία επιτρέπει την προσομοίωση πολύπλοκων φυσικών διεργασιών με έντονη χωρική ανομοιογένεια μέσω ενός μικρού αριθμού παραμέτρων.

Στην παρούσα εργασία αρχικά γίνεται μια γενική αναφορά στο φαινόμενο της πλημμύρας, ακολουθεί το θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών και η περιγραφή της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο για την υδρογραφική μελέτη της λεκάνης απορροής και καθορίζεται το γενικό πλαίσιο των

μεθόδων της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Ακολουθεί η παρουσίαση των δεδομένων και η εφαρμογή των μοντέλων, και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Τέλος, γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα μέσω των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν και παρουσιάζονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

1.2 Πλημμύρες

Οι φυσικές καταστροφές σε διεθνή κλίμακα προκαλούν σημαντικές υλικές ζημιές και ανθρώπινα θύματα. Τα τελευταία χρόνια έχουν ενταθεί οι προσπάθειες ανάλυσης και μελέτης των φυσικών φαινομένων και των καταστροφών που προκαλούν, δυστυχώς όμως δεν ισχύει το ίδιο όσον αφορά και την ικανότητά μας να μειώσουμε τις επιπτώσεις αυτών (Smith, 1996).

Τα στοιχεία του υδρολογικού κύκλου (σχήμα 1-1) που συμμετέχουν στις πλημμύρες είναι (Γκικόκας, 2009) :

- Η βροχόπτωση στην οποία οφείλεται η απορροή
- Η κατακράτηση του νερού από τα φυτά και το έδαφος
- Η εξάτμιση ποσότητας νερού από το έδαφος, τα φυτά και τις λίμνες
- Η δυνατότητα διήθησης του νερού στο έδαφος



Σχήμα 1-1: Διάγραμμα υδρολογικού κύκλου

Πηγή: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html> US Geological Survey

Σύμφωνα με την 2007/60/ΕΚ Οδηγία, πλημμύρα είναι η προσωρινή κάλυψη του εδάφους με νερό, που σε φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από αυτό. Οι πλημμύρες

αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Οι κυριότερες αιτίες, που τις προκαλούν, είναι οι εξής (Λέκκας, 2000):

- Ραγδαίες και παρατεταμένες βροχές (φθινοπωρινές πλημμύρες)
- Ταχεία τήξη χιονιών και παγετώνων (πλημμύρες της άνοιξης)
- Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, λόγω παλιρροιακών φαινομένων
- Εφόρμηση της θάλασσας στην ξηρά, λόγω τσουνάμι
- Απότομη διάρρηξη φράγματος τεχνητής λίμνης

Οι περισσότερες πλημμύρες είναι αποτέλεσμα δράσης της συνολικής ποσότητας και κατανομής της βροχόπτωσης, της περατότητας του πετρώματος ή του εδάφους και της τοπογραφίας. Στον Ελλαδικό χώρο οι καταστροφικότερες πλημμύρες συχνά είναι αποτέλεσμα σπάνιων, μεγάλων και έντονων καταιγίδων (Λέκκας, 2000).

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, ωστόσο η ανάλυση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και εδαφολογικών συνθηκών της λεκάνης απορροής βοηθούν στη λήψη ορθών μέτρων για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου.

1.3 Πλημμύρες στον Ελλαδικό χώρο

Η Ελλάδα παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα στο ανάγλυφο της καθώς και μεγάλης έκτασης ακτογραμμή, χαρακτηριστικά τα οποία συμβάλουν στην εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας του ανάγλυφου και της διαφορετικότητας των χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής και στα πλαίσια εφαρμογής της 2007/60/ΕΚ Οδηγίας και σύμφωνα με την αρ. 706/16-07-2010 Απόφασης της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων καθορίστηκαν 14 υδατικά διαμερίσματα (σχήμα 1-2)(πίνακας 1- παραρτημα)

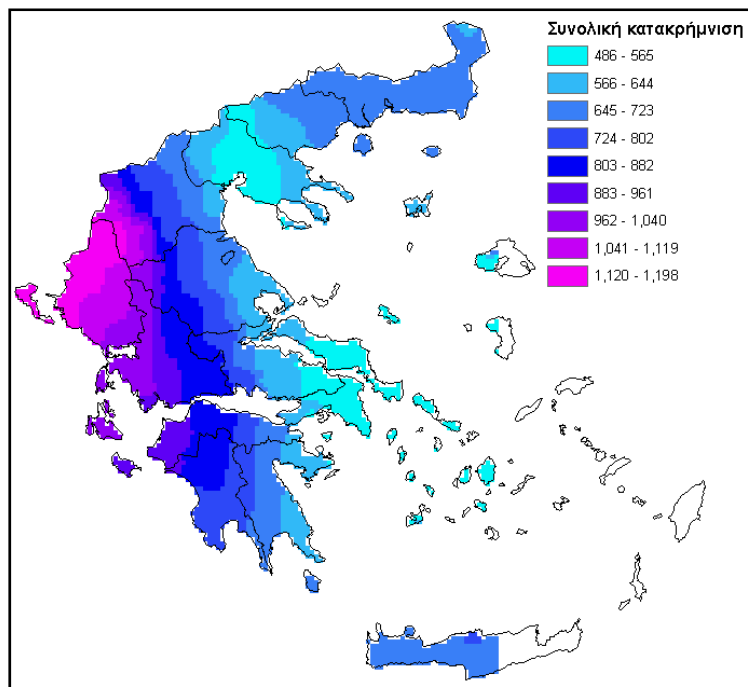
Στον Ελλαδικό χώρο παρατηρείται έντονη διακύμανση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (σχήμα 1-3) με τη δυτική Ελλάδα να παρουσιάζει αυξημένες βροχοπτώσεις σε σύγκριση με την ανατολική. Η παρατήρηση αυτή αποδίδεται κατά κύριο λόγο στην οροσειρά της Πίνδου. Ωστόσο, η εκδήλωση πλημμυρικών συμβάντων δεν σχετίζεται άμεσα με τη μέση ετήσια βροχόπτωση, αλλά με την ένταση, τη διάρκεια των βροχοπτώσεων και το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής. Γι' αυτόν τον λόγο, παρότι το ύψος βροχής στην δυτική χώρα είναι μεγαλύτερο απ' ότι στην ανατολική, τα πλημμυρικά γεγονότα στην ανατολική είναι πυκνότερα (σχήμα 1-4).



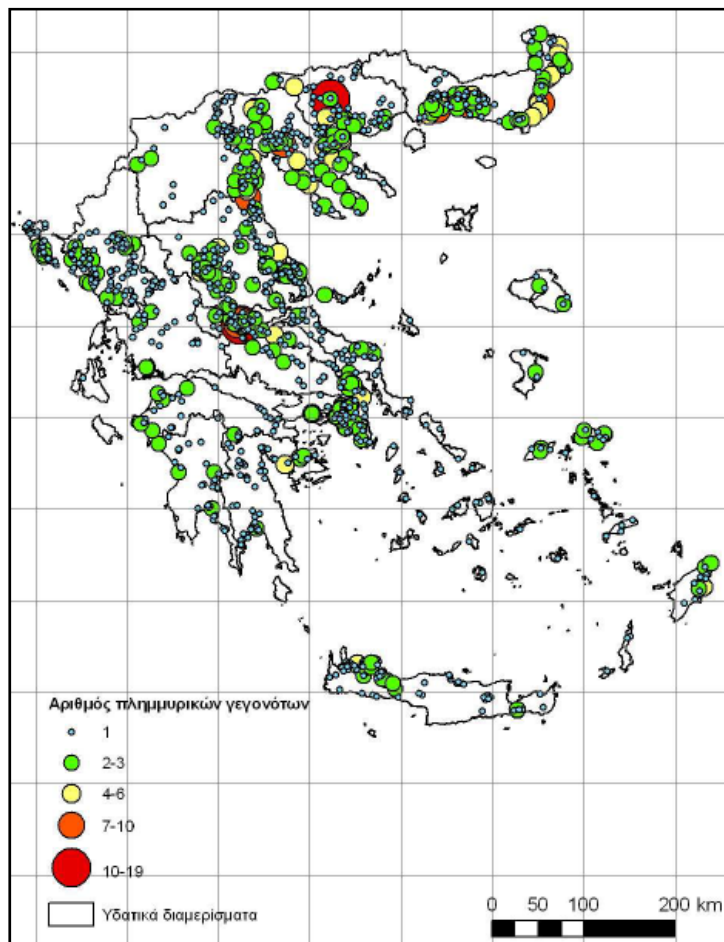
Σχήμα 1-2: Υδατικά διαμερίσματα Χώρας

Πηγή: (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

Στο υδατικό διαμέρισμα της Αττικής (GR06), όπου βρίσκεται και η περιοχή μελέτης, παρατηρείται μεγάλος αριθμός πλημμυρικών γεγονότων. Η παρατήρηση αυτή ως ένα βαθμό αποδίδεται στο αστικό περιβάλλον της περιοχής που έχει ως συνέπεια την αύξηση του ποσοστού της αδιαπέρατης επιφάνειας (στέγες, πεζοδρόμια και τσιμέντο). Γενικά η αστικοποίηση αυξάνει την επιφανειακή απορροή και κατά επέκταση, τον κίνδυνο πλημμύρας (Λέκκας, 2000).



Σχήμα 1-3: Μέση ετήσια βροχόπτωση σε mm
 Πηγή: <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr> ΕΤΥΜΠ



Σχήμα 1-4: Αριθμός πλημμυρικών γεγονότων
 Πηγή: (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

1.4 Λογισμικό - Πηγές δεδομένων- Διαδικασία Υλοποίησης

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης είναι το πρόγραμμα ArcGIS της ESRI που απαρτίζεται από ένα σύνολο προγραμμάτων χρήσιμων για τη διαχείριση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών και το λογισμικό της Microsoft Office 2007 (word, excel, power point, visio) για τη γραφή του κειμένου, την παρουσίαση και τη δημιουργία διαγραμμάτων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τους αρμόδιες φορείς του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων τους για την κατάρτιση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης των Κινδύνων Πλημμύρας σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/EK (πίνακας 1).

Τα δεδομένα αυτά είναι σε διανυσματική ή ψηφιδωτή μορφή και η επεξεργασία τους έγινε με τη χρήση του ArcMap 9.3.

Πίνακας 1: Δεδομένα εργασίας

Δεδομένα	Τύπος αρχείου	Γεωμετρία
Χρήσεις γης	Διανυσματικό	Πολύγωνο
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	Ψηφιδωτό	Φατνίο/ Εικονοστοιχείο (pixel)
Γεωλογία	Διανυσματικό	Πολύγωνο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών

2.1 Οδηγία 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και διαχείριση των πλημμυρών

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο τον Οκτώβριο του 2007 εξέδωσαν την Οδηγία 2007/60/ΕΚ, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας αποσκοπώντας στη μείωση των αρνητικών κοινωνικών, οικονομικών, πολιτιστικών και περιβαλλοντικών συνεπειών. Με την Οδηγία αυτή δημιουργείται το ευρωπαϊκό πλαίσιο για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, το οποίο επεκτείνει την Οδηγία Πλαίσιο (2000/60/ΕΚ) για τα Νερά αλλά και συντονίζεται στενά με αυτήν. Οι διαδικασίες που ορίζονται στις δυο οδηγίες αποσκοπούν στον καθορισμό κοινών συνεργιών και κοινού οφέλους για την εξασφάλιση της αποτελεσματικής και εύλογης χρήσης των υδάτινων πόρων. Ο συντονισμός των δυο οδηγιών αποτελεί την ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής ποταμών.

Με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ θεσπίζεται το πλαίσιο για τη διαχείριση και αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα (Κεφ. 1, αρθ.1)

Στα πλαίσια της Οδηγίας αποσαφηνίζεται η έννοια της πλημμύρας και του κινδύνου πλημμύρας (Κεφ. 1, αρθ.2)

- «πλημμύρα» ορίζεται 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 εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.
- «κίνδυνος πλημμύρας» είναι 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 με αυτή την πλημμύρα.

Η Οδηγία στο πλαίσιο της εφαρμογής της προβλέπει τρία στάδια για τη διαχείριση του φαινομένου της πλημμύρας από τα κράτη μέλη της Ε.Ε., την προκαταρκτική εκτίμηση του φαινομένου, τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου πλημμύρας και τέλος την εκπόνηση σχεδίου διαχείρισης του κινδύνου πλημμύρας.

Το Κεφάλαιο II (αρθ. 4) αναφέρεται στην *προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας* με στόχο τον προσδιορισμό των περιοχών με μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Στο πλαίσιο της αξιολόγησης περιλαμβάνονται

1. Χάρτες της περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού στην κατάλληλη κλίμακα, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών και των υπολεκανών απορροής ποταμών, οι οποίοι περιγράφουν τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και τη χρήση γης
2. περιγραφή των πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, στις οικονομικές δραστηριότητες και στο περιβάλλον, όταν υπάρχει ακόμη πιθανότητα παρόμοιων μελλοντικών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένων της έκτασης της πλημμύρας, των οδών αποστράγγισης και της αξιολόγησης των αρνητικών επιπτώσεων που προκάλεσαν
3. περιγραφή των σημαντικών πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν, εκ των οποίων θα μπορούσαν, ενδεχομένως, να προβλεφθούν οι σημαντικές αρνητικές συνέπειες παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον.

Το δεύτερο στάδιο διαχείρισης του κινδύνου πλημμύρας, βάση του Κεφαλαίου III (αρθ. 6), προβλέπει τη δημιουργία *χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου πλημμύρας* για τις περιοχές που σύμφωνα με την προκαταρκτική εκτίμηση παρουσίασαν υψηλή πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας.

Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας διαχωρίζονται σύμφωνα με τα ακόλουθα πλημμυρικά σενάρια σε (παρ. 3):

- Χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων
- Μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναληπτικότητας ≥ 100 χρόνια)
- Υψηλής πιθανότητας

Για κάθε σενάριο παρουσιάζονται τα εξής υδραυλικά χαρακτηριστικά

- η έκταση της πλημμύρας
- το βάθος του νερού
- η ταχύτητα ροής του νερού.

Στους χάρτες κινδύνου πλημμύρας περιγράφονται οι δυνητικές αρνητικές συνέπειες που προκαλούνται από το πιθανό πλημμυρικό φαινόμενο εξετάζοντας

- τον πιθανό αριθμό κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν
- τον τύπο της οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή

- εγκαταστάσεις που πιθανολογείται ότι μπορεί να αποτελέσουν πηγή ρύπανσης σε ενδεχόμενη πλημμύρα καθώς και προστατευόμενες περιοχές που ενδέχεται να πληγούν
- άλλες πληροφορίες που το κράτος μέλος θεωρεί χρήσιμες, όπως η επισήμανση των περιοχών όπου υπάρχει το ενδεχόμενο πλημμυρών με αυξημένο ποσοστό μεταφερόμενων ιζημάτων και πλημμυρών που παρασύρουν υπολείμματα και πληροφορίες για πιθανές άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης.

Τέλος, σύμφωνα με το Κεφάλαιο IV (αρθ. 7) προβλέπεται η εκπόνηση *σχεδίου διαχείρισης του κινδύνου πλημμύρας*, με σκοπό την πρόληψη και τη μείωση των αναφερομένων στους χάρτες κινδύνου, αρνητικών κοινωνικών, οικονομικών, πολιτιστικών και περιβαλλοντικών συνεπειών.

Κάθε κράτος μέλος οφείλει να εκτελέσει τα παραπάνω στάδια και να δημοσιοποιήσει τα αποτελέσματα μέσα σε συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα όπως αυτό ορίζεται στην Οδηγία (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ
Έναρξη ισχύος της Οδηγίας (άρθρο 18)	26/11/2007
Νομοθετικές ρυθμίσεις για τη συμμόρφωση Κρατών Μελών με την Οδηγία (άρθρο 17 παρ.1)	26/11/2009
Θέσπιση τεχνικών υποδειγμάτων (άρθρο 11) για:	
▪ Την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας	22/12/2009
▪ Τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και τους χάρτες κινδύνου πλημμύρας	22/12/2011
▪ Τα σχέδια των κινδύνων πλημμύρας	22/12/2013
Προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας (άρθρο 4, παρ.4)	22/12/2011
Κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας (άρθρο 6, παρ.8)	22/12/2013
Εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας (άρθρο 7, παρ.5)	22/12/2015

Επανεξέταση και εφόσον απαιτείται επικαιροποίηση (άρθρο 14):

- | | |
|--|--|
| ▪ της προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνου πλημμύρας (παρ.1) | 22/12/2018
και εν συνεχεία
ανά εξαετία |
| ▪ των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και των χαρτών κινδύνου πλημμύρας (παρ.2) | 22/12/2019
και εν συνεχεία
ανά εξαετία |
| ▪ των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και των χαρτών κινδύνου πλημμύρας και των σχεδίων διαχείρισης συμπεριλαμβανομένων και των στοιχείων του Β μέρους του Παραρτήματος (παρ.3) | 22/12/2021
και εν συνεχεία
ανά εξαετία |
-

2.2 Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ στην Ελλάδα

Με την ΚΥΑ 31822/1542/Ε103 (ΦΕΚ1108/Β/21-07-2010) ενσωματώθηκε στο εθνικό δίκαιο η Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την «Αξιολόγηση και Διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας». Το Φεβρουάριο του 2012 αρχίζει η εκπόνηση της πρώτης δράσης που αφορά στην προκαταρκτική εκτίμηση των κινδύνων πλημμύρας για τις λεκάνες απορροής ποταμών και τον προσδιορισμό των περιοχών με σοβαρή πιθανότητα πλημμύρας.

Το Μάρτιο του 2012 υποβάλλονται στην ευρωπαϊκή βάση δεδομένων [EIONET](#) οι διαθέσιμες πληροφορίες-καταγραφές πλημμυρών που σημειώθηκαν στο παρελθόν (ιστορικές πλημμύρες) και προκάλεσαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν το πρώτο στάδιο εφαρμογής της εν λόγω ΚΥΑ και Οδηγίας.

Το Νοέμβριο του 2013 υποβλήθηκαν στην ευρωπαϊκή βάση [EIONET](#):

- τα επικαιροποιημένα δεδομένων για τις ιστορικές πλημμύρες που καταγράφονται στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας και έχουν προκάλεσαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις και
- οι Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας για το σύνολο της επικράτειας.

Έτσι ολοκληρώνεται η «Προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας» και ο προσδιορισμός των «Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας» ανά Υδατικό Διαμέρισμα. Επόμενο στάδιο είναι η κατάρτιση του Χάρτη Κινδύνου Πλημμύρας, του Χάρτη Επικινδυνότητας Πλημμύρας και τα Σχεδία Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας για τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Περιγραφή περιοχής μελέτης

3.1 Εισαγωγή

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής καθώς και τα χαρακτηριστικά του υδρογραφικού δικτύου επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε αυτή. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε η περιοχή του Θριάσιου πεδίου, με κύρια αστικά κέντρα την Ελευσίνα και τον Ασπρόπυργο, η οποία αποτελεί τμήμα του υδατικού διαμερίσματος της Αττικής (GR06) βάσει της 2007/60/ΕΚ Οδηγίας.

Η επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής έγινε λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της, κατά πρώτον τα έντονα πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί κατά το παρελθόν και κατά δεύτερον η εξέλιξη της περιοχής σε οικονομικό κέντρο, καθώς αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές ζώνες της Αττικής, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη μελέτης της περιοχής ως προς την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το χαρακτηρισμό της περιοχής ως Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας στα πλαίσια εφαρμογής της Οδηγίας και συγκεκριμένα κατά την «Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας» (πίνακας 3).

Πίνακας 3: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας- ΥΔ 06 : Αττική

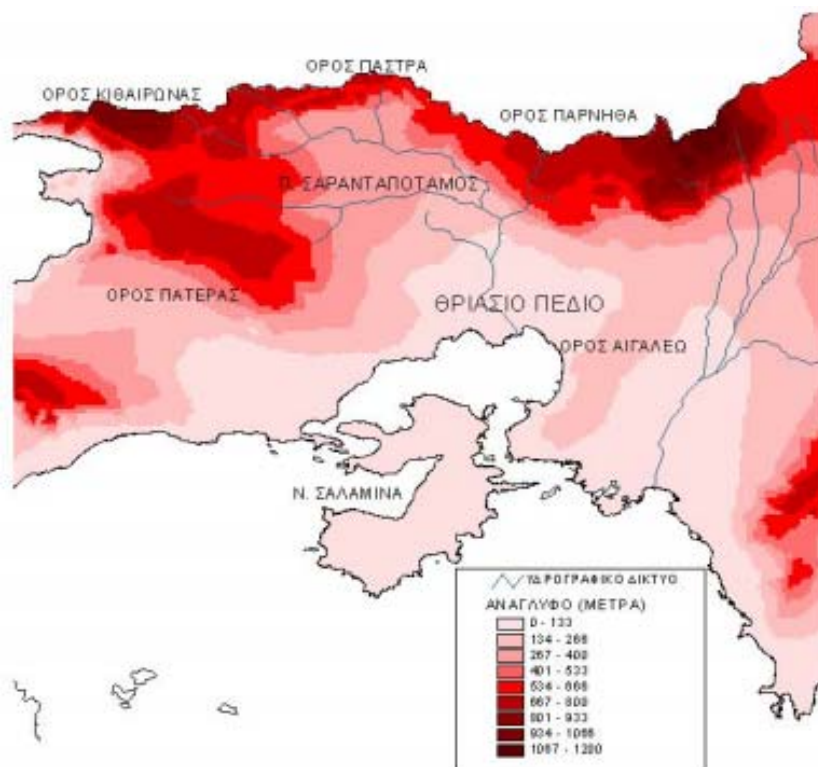
Πηγή: (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

α/α	Ονομασία	Κωδικός	Έκταση (km ²)
1	Χαμηλή ζώνη Λουτρακίου	GR06RAK0002	11
2	Χαμηλή ζώνη Μεγάρων-Ν. Περάμου	GR06RAK0004	48
3	Χαμηλή ζώνη Ασπροπύργου-Ελευσίνας	GR06RAK0005	94
4	Λεκάνη π. Κηφισού	GR06RAK0011	213
5	Παράκτιες περιοχές Γλυφάδας-Βούλας	GR06RAK0012	17
6	Χαμηλή ζώνη λεκάνης τεχνητής λίμνης Μαραθώνα	GR06RAK0006	47
7	Περιοχή των Μεσογείων	GR06RAK0003	162

3.2 Φυσική γεωγραφία

Γεωμορφολογία

Το Θριάσιο πεδίο εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα του νομού Αττικής. Το βόρειο τμήμα της περιοχής συνορεύει με το Νομό Βοιωτίας ενώ νότια βρέχεται από τον Κόλπο της Ελευσίνας. Η περιοχή μελέτης παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα με το μεγαλύτερο τμήμα της να αποτελεί εκτεταμένη πεδιάδα ήπιου αναγλύφου, με μέση τοπογραφική κλίση 2%, περικλειόμενη από ορεινά τμήματα περιμετρικά. Το Θριάσιο πεδίο οριοθετείται βόρεια από το όρος Πάστρα (1016m), βορειοδυτικά από το όρος Κιθαιρώνας (1408m), νοτιοδυτικά από το όρος Πατέρας, ανατολικά από το όρος Πάρνηθα (1413m) και νότια από τους λόφους Ράχη Σωτήρος (432m) και Κορυφή (384m) (σχήμα 3-1) (Μαριολάκος κ.α., 2001). Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πλούσια υδροφορία τόσο σε υπόγεια όσο και σε επιφανειακά ύδατα με τα σημαντικότερα ρέματα να είναι αυτό του Σαρανταπόταμου, το ρέμα Γιαννούλας και το ρέμα Σούρες. Τα ρέματα αυτά συγκεντρώνουν τις απορροές των γύρω ορεινών όγκων διασχίζουν το Θριάσιο πεδίο και εκβάλλουν στην παραλία Ασπροπύργου-Ελευσίνας.



Σχήμα 3-1: Περιοχή Θριάσιου πεδίου

Πηγή: <http://itia.ntua.gr/getfile/800/1/documents/Thriasio3.pdf>

Κλίμα

Το κλίμα στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό με εξαίρεση τα υψηλά σημεία της λεκάνης όπου είναι ορεινό. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 17 °C και 19 °C ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα, ενώ το ετήσιο θερμομετρικό εύρος είναι περίπου 19 °C. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται

από 300mm έως 400mm (δεδομένα ετών 1950-2001 από τους σταθμούς Ελευσίνας, Μεγάρων και Αστεροσκοπείου Αθηνών) και οι ημέρες βροχής ετησίως κυμαίνονται μεταξύ 50 με 100 (Κουτσογιάννης & Μαμάσης, 2001). Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται ενδεικτικά οι μέσες ετήσιες τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών από τους σταθμούς Ελευσίνας, Μεγάρων και Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Από τις μετρήσεις του σταθμού Ελευσίνας για τα έτη 2008-2013 (πίνακας 5) προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι στα 350mm ενώ οι μήνες κατά τους οποίους σημειώνονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής είναι ο Δεκέμβριος (66,5 mm) και ο Φεβρουάριος (67,78 mm).

Πίνακας 4: Μέσες ετήσιες τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών

Πηγή: (Κουτσογιάννης & Μαμάσης, 2001)

	Αστεροσκοπείο Αθηνών	Ελευσίνα	Μέγαρα
Θερμοκρασία (°C)	17.7	18.1	18
Βροχόπτωση (mm)	389	385	440
Σχετική Υγρασία (%)	62	55	62
Ημέρες με Βροχή	60	75	65
Ημέρες με Χιόνι	3.3	5.0	0.5
Ημέρες με Χαλάζι	2.8	0.5	0.2

Πίνακας 5: Μηνιαίες βροχοπτώσεις σταθμού Ελευσίνας (mm) για τα έτη 2008-2013

Πηγή: (Ε.Μ.Υ., 2014), επεξεργασία: ίδια

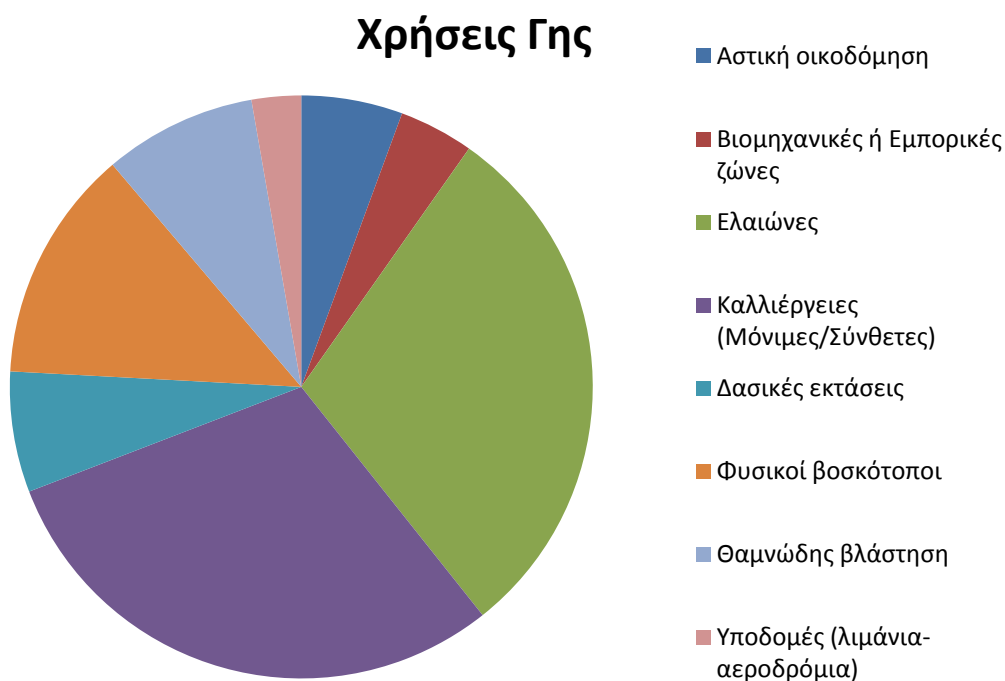
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΕΤΟΣ
2008-2009	0,7	34,3	53,6	94,3	17	42,6	15,2	3,9	5	42,9	0	58	367,5
2009-2010	33,8	24,5	75,5	17,8	32,2	17,9	0	3	10,1	0	0	13,7	228,5
2010-2011	95,5	4	18,3	58,8	80,9	43,7	24,3	19,8	41,6	0	0	4,3	391,2
2011-2012	29,9	0	57,7	34,2	107,8	7,7	7,5	14,4	0	0	34,9	12,8	306,9
2012-2013	26,2	51,6	127,4	78,7	101	10	9,6	11,9	39,5	0	0	0	455,9
Μ.ΤΙΜΗ	37,22	22,88	66,5	56,76	67,78	24,38	11,32	10,6	19,24	8,58	6,98	17,76	350

Χρήσεις γης

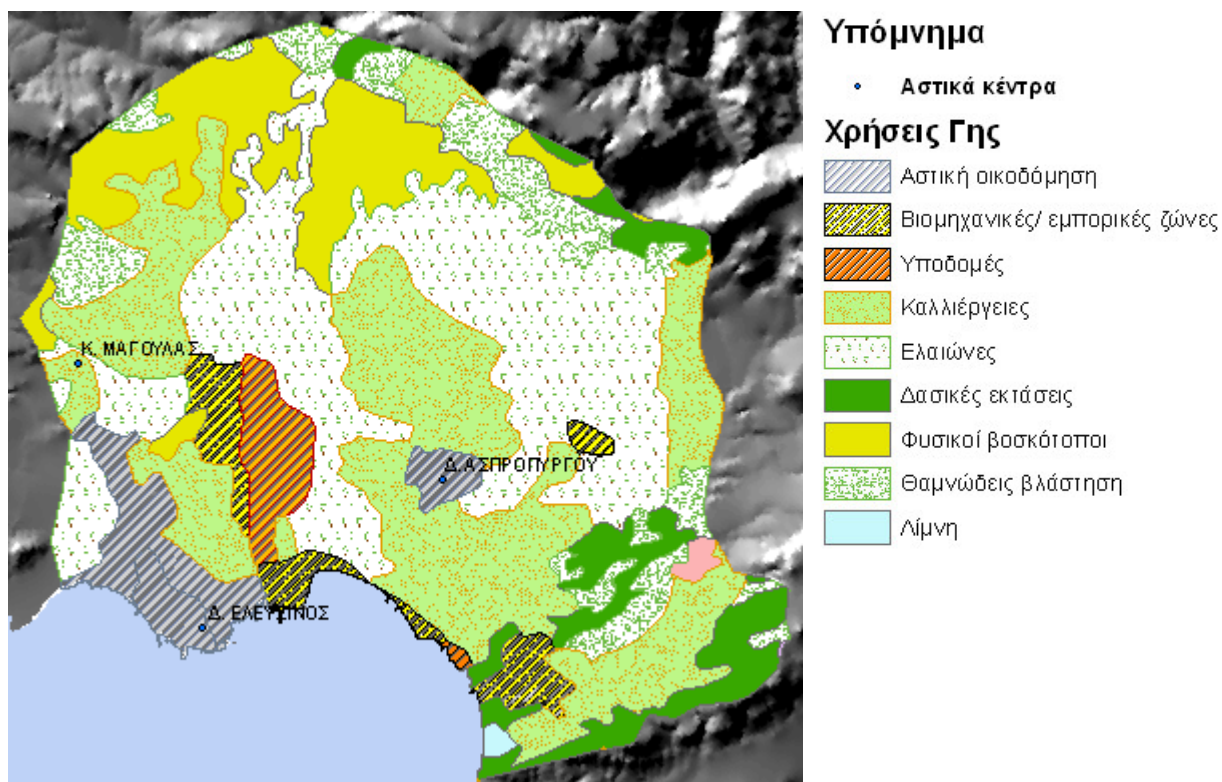
Οι χρήσεις γης ανήκουν στα χαρακτηριστικά εκείνα που μεταβάλλονται με το χρόνο κυρίως εξαιτίας της μεταβολής των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη αστικοποίηση της περιοχής, με κύριους αστικούς πόλους την Ελευσίνα και τον Ασπρόπυργο, ενώ η περιοχή έχει εξελιχθεί σε ένα υπέρ-τοπικό πόλο συγκέντρωσης σημαντικών μονάδων βιομηχανίας και βιοτεχνίας, αποθήκευσης και μεταφοράς αγαθών. Στο Θριάσιο πεδίο υπάρχει άναρχη ανάπτυξη ποικίλων δραστηριοτήτων καθώς κατοικία, γεωργία, βιομηχανία και λιμενικές διευκολύνσεις συνυπάρχουν, ενώ υπέρ-τοπικό οδικό δίκτυο διασχίζει τις πόλεις.

Το γράφημα και ο χάρτης (σχήμα 3-2 & 3-3) παρουσιάζουν την κατανομή των διαφόρων χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2005 σύμφωνα με την ευρωπαϊκή κωδικοποίηση Corine.

Η γεωργία και η κτηνοτροφία παρουσιάζουν το υψηλότερο ποσοστό συμμετοχής στην υδρολογική λεκάνη. Ελαιώνες και καλλιέργειες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της πεδινής περιοχής ενώ οι φυσικοί βοσκότοποι αναπτύσσονται στην περιοχή με μεγαλύτερο υψόμετρο. Η αστική δόμηση καθώς και οι βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες καταγράφονται κοντά στην παράκτια ζώνη.



Σχήμα 3-2: Γραφική απεικόνιση χρήσεων γης στο Θριάσιο πεδίο

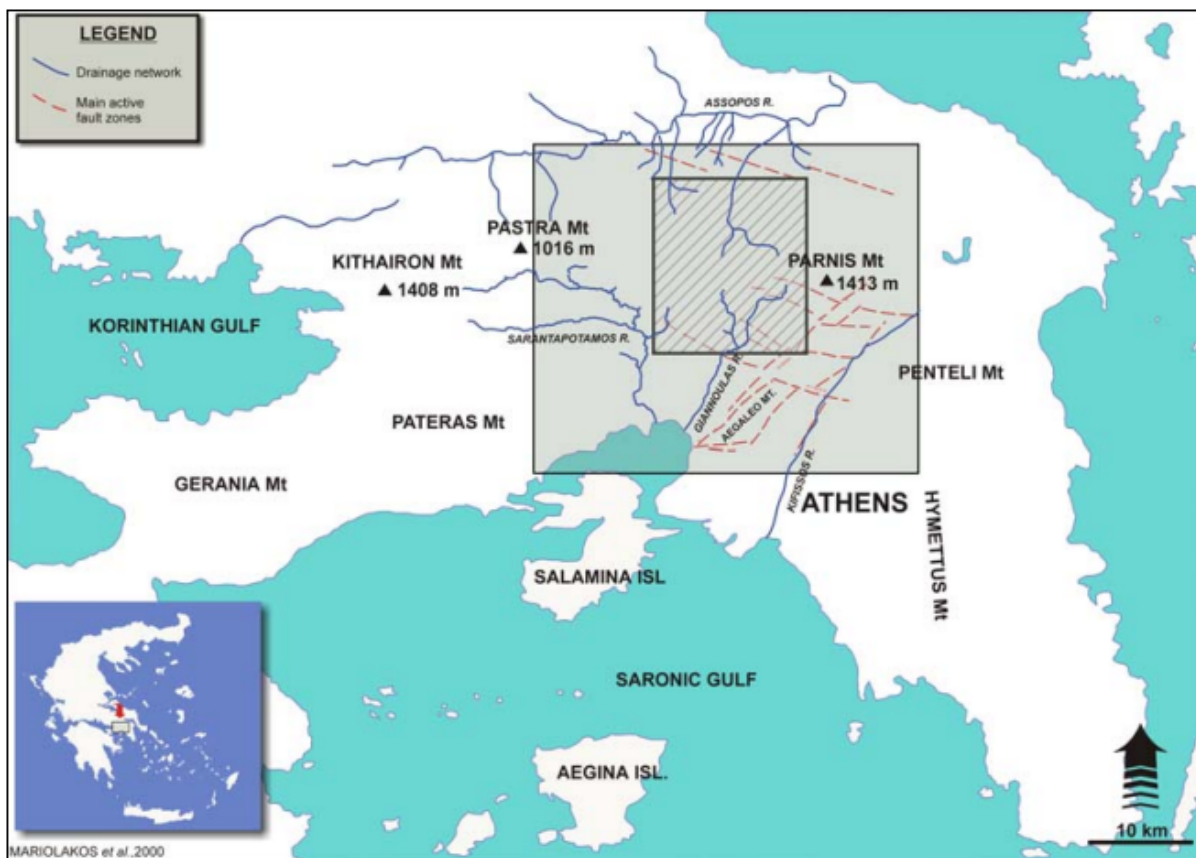


Σχήμα 3-3: Γεωγραφική κατανομή των χρήσεων γης στο Θριάσιο πεδίο

Υδρογραφικό δίκτυο

Το Θριάσιο πεδίο έχει πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο (σχήμα 3-4) με τους κυριότερους χειμάρρους να είναι 1) το «Ρεματάκι» που αναπτύσσεται στο ΒΑ και Α τμήμα της περιοχής και στο οποίο συμβάλλει το ρέμα «Στενό» και «Μαυριώρας» (στη βιβλιογραφία συναντάται και ως Μαύρης Ώρας), 2) στην κεντρική περιοχή το ρέμα «Γιαννούλας» (ή Αγ. Γεωργίου) και 3) στο ΒΔ και Δ τμήμα, ο «Σαρανταπόταμος» με κυριότερους παραποτάμους τα ρέματα «Κηφισού», «Αγ. Βλασίου» και «Μεγάλο Κατερίνι», καθώς και το ρέμα «Σούρες» με κυριότερους παραποτάμους τα ρέματα «Μικρό Κατερίνι» και «Κατσιμίδι» (Καράμπελα, 1997).

Η διαμόρφωση κάθε υδρογραφικού δικτύου είναι συνάρτηση του αναγλύφου, του υπεδάφους, των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή και του χρόνου. Η περιοχή μελέτης αποτελείται κυρίως από ανθρακικά πετρώματα, τα οποία διαβρώνονται εύκολα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δευτερεύοντες κλάδοι παίρνοντας μορφή δενδριτικού τύπου.



Σχήμα 3-4: Ρέματα στο Θριάσιο πεδίο
 Πηγή: (Μαριολάκος κ.α., 2001)

Υδροπερατότητα των σχηματισμών

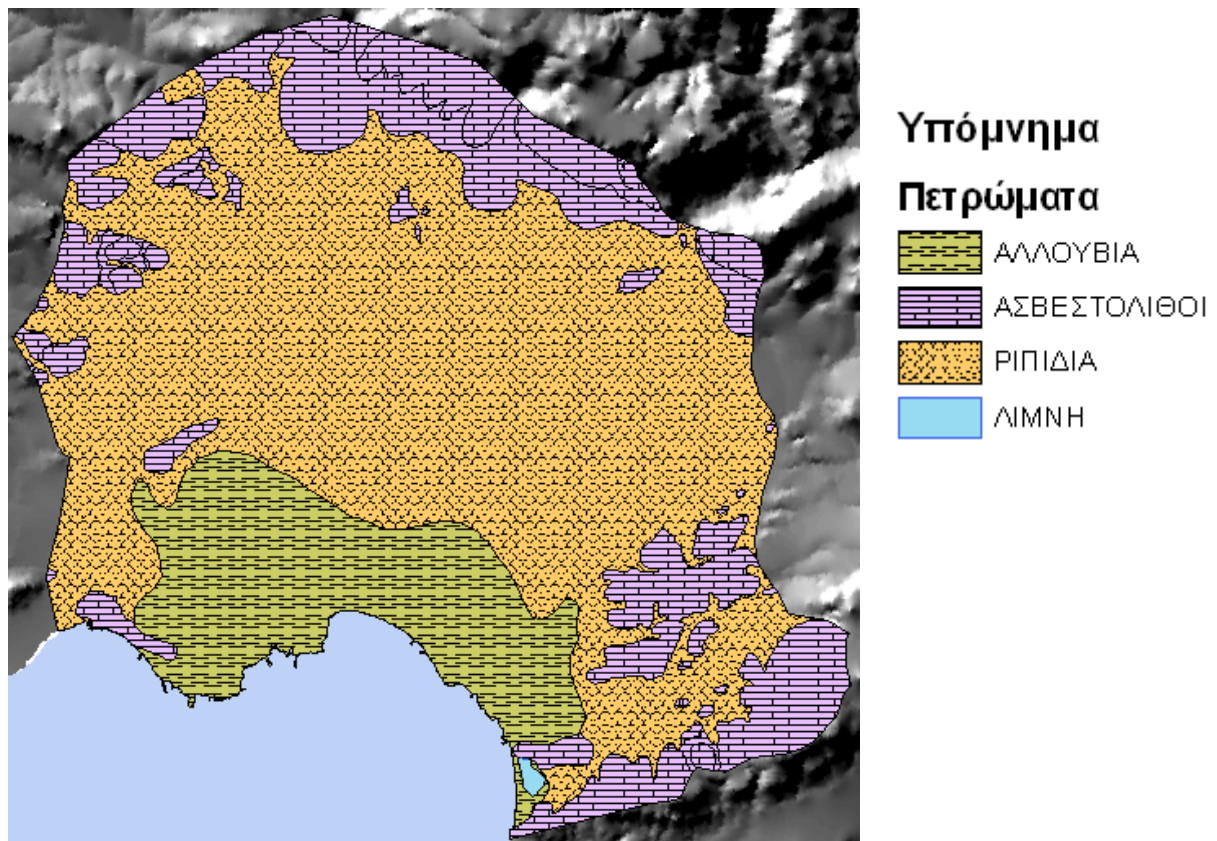
Το Θριάσιου πεδίου αποτελείται από τρεις κύριους σχηματισμούς (σχήμα 3-5). Στις βόρειες και βορειοανατολικές περιοχές αναπτύσσονται κυρίως ασβεστολιθικοί σχηματισμοί, το κεντρικό και μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής καταλαμβάνεται από ριπίδια χειμάρρων και κώνους κορημάτων, ενώ στο νότιο τμήμα της περιοχής συναντώνται αλλουβιακά πετρώματα.

Οι ασβεστόλιθοι που αναπτύσσονται στην περιοχή αποτελούν σχηματισμούς πολύ υδροπερατούς, λόγω έντονης τεκτονικής διάρρηξης και καρστικοποίησης. Τοπικά, όπου υπάρχει αυξημένη δολομιτική συμμετοχή, ο βαθμός καρστικοποίησης μειώνεται. Αν και υδρολογικά ο σχηματισμός αναπληρώνεται πολύ ικανοποιητικά η τεκτονική του δομή επιτρέπει τον σχηματισμό κορεσμένης ζώνης στην οριακή περιοχή του σχηματισμού με το υπόβαθρο του (Κούνης, 1981, μέσω Καράμπελα, 1997).

Οι αλλουβιακές προσχώσεις αποτελούνται από ανομοιογενείς φερτές ύλες (ασβεστολιθικά τεμάχια με μικρή αναλογία κερατολιθικών κροκαλών), συνδέονται με ερυθροκάστανο

αργιλοψαμμιτικό υλικό και περικλείουν ερυθρή άργιλο, η οποία είναι αδιαπέραστη. Καλύπτουν την πεδινή έκταση του Θριάσιου πεδίου, με κατανομή των αδρομερών υλικών στην περίμετρο και το στενό τμήμα κάθε κοιλάδας και των άμμων και της ιλύος στην έξοδο της προς την κατεύθυνση της θάλασσας, καθώς και στα πρανή των ασβεστολιθικών κλιτύων (Καράμπελα, 1997).

Τα ριπίδια και οι κώνοι κορημάτων είναι αποθέσεις που συναντώνται σε περιοχές που βρίσκονται κατάντη των εξόδων των χειμάρρων. Εκεί, λόγω απότομης μείωσης της κλίσης της κοίτης, η ταχύτητα των ρεόντων υδάτων ελαττώνεται απότομα, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της μεταφορικής ικανότητας των υδάτων και την απόθεση των, μεταφερόμενων από αυτά, φερτών υλικών. Τα ριπίδια αποτελούνται από ασβεστολιθικές λατύπες ποικίλου μεγέθους, άργιλους, αμμούχους άργιλους και άμμους τα οποία είναι συνδεδεμένα με ασβεστοαργιλικό υλικό και αποτελούν σχηματισμούς αρκετά υδροπερατούς (Καράμπελα, 1997).



Σχήμα 3-5: Πετρώματα της περιοχής του Θριάσιου πεδίου

Ιστορικό πλημμυρικών συμβάντων

Στους νεότερους χρόνους η πρώτη πλημμύρα στην περιοχή καταγράφηκε το 1953 με την υπερχειλίση του Σαρανταπόταμου και το 1963 με την υπερχειλίση του χειμάρρου Σούρες.

Το Νοέμβριο του 1977 οι χείμαρροι Αγίου Γεωργίου και Μαυριώρας απείλησαν την Παραλία Ασπροπύργου προκαλώντας καταστροφές σε σπίτια, βιοτεχνίες και καλλιέργειες. Ειδικά ο χείμαρρος Αγίου Γεωργίου ή Γιαννούλας απείλησε τα κρατικά διυλιστήρια. Τα ίδια προβλήματα παρουσιάστηκαν και ένα μήνα μετά, το Δεκέμβριο του 1977.

Η πέμπτη και μεγαλύτερη καταστροφή σημειώθηκε το Φεβρουαρίου 1978, όταν η γέφυρα Κουραμάνη, κοντά στο αεροδρόμιο, φράχτηκε από κορμούς δένδρων και φερτά υλικά, με αποτέλεσμα τον πνιγμό εκατοντάδων ζώων και τον αποκλεισμό των κατοίκων της περιοχής. Μεγάλες ζημιές λόγω της πλημμύρας προκλήθηκαν σε σπίτια και βιοτεχνίες, ενώ η οδική και η σιδηροδρομική συγκοινωνία διακόπηκε για αρκετές ώρες. Μετά τα παραπάνω συμβάντα έγινε σημαντική προσπάθεια επίλυσης των πλημμυρικών προβλημάτων στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου, με τη μελέτη και κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας.

Ωστόσο, μετά τη ραγδαία ανάπτυξη και την αναπόφευκτη αλλαγή των χρήσεων γης της περιοχής του Θριάσιου πεδίου τα προβλήματα αντιπλημμυρικής προστασίας επανήλθαν. Τα τελευταία χρόνια τα πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή είναι ακόμα πιο έντονα. Η πλέον καταστροφική πλημμύρα καταγράφηκε στις 26 Ιανουαρίου 1996 η οποία έπληξε κυρίως τους Δήμους Ελευσίνας και Μάνδρας. Ο τραγικός απολογισμός αυτής της πλημμύρας ήταν ο θάνατος δύο ανθρώπων, η καταστροφή αυτοκινήτων και περιουσιών, η υποχώρηση του οδοστρώματος και η ακινητοποίηση αμαξοστοιχιών του ΟΣΕ. Όλες οι καταστροφές προκλήθηκαν από υπερχειλίσεις των χειμάρρων Σαρανταπόταμου, Σούρες και Αγ. Γεωργίου. (Νικολόπουλος, 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Υδρολογικά μοντέλα με τη χρήση Γ.Σ.Π

4.1 Εισαγωγή

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems-GIS), αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η σύνδεση των χωρικών δεδομένων με περιγραφικά δεδομένα παρέχοντας τη δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, μετασχηματισμού και απεικόνισης των χωρικών στοιχείων σε ψηφιακό περιβάλλον (Burrough & McDonell, 1998). Το πεδίο εφαρμογής των Γ.Σ.Π είναι ευρύ καθώς η παράμετρος της χωρικής πληροφορίας υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα σε πλήθος παραγόντων η επεξεργασία των οποίων απαιτείται για τη διαχείριση θεμάτων και τη λήψη αποφάσεων.

Η μελέτη των πλημμυρών αποτελεί ένα πολύπλοκο χωρικό ζήτημα η ανάλυση του οποίου απαιτεί τη δημιουργία υδρολογικού μοντέλου για τη διαχείριση του φαινομένου και τη λήψη ορθών μέτρων προστασίας. Η δημιουργία υδρολογικού μοντέλου βασίζεται στην προσομοίωση της βροχόπτωσης και την επίδραση της απορροής στη συγκέντρωση των επιφανειακών υδάτων. Τα υδρολογικά μοντέλα συνδυάζουν πολλά επιμέρους θεματικά επίπεδα όπως τοπογραφικά, γεωμορφολογικά, εδαφολογικά και επίπεδα χρήσεων γης τα οποία απαιτούν εξειδικευμένο λογισμικό για την κατάλληλη διαχείριση τους.

Το κύριο στοιχείο της υδρολογικής ανάλυσης είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το οποίο μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες για το ανάγλυφο και τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής αλλά και για την κίνηση και τη συγκέντρωση των υδάτων. Για το λόγο αυτό τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους¹ σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι η βάση για τις υδρολογικές εφαρμογές.

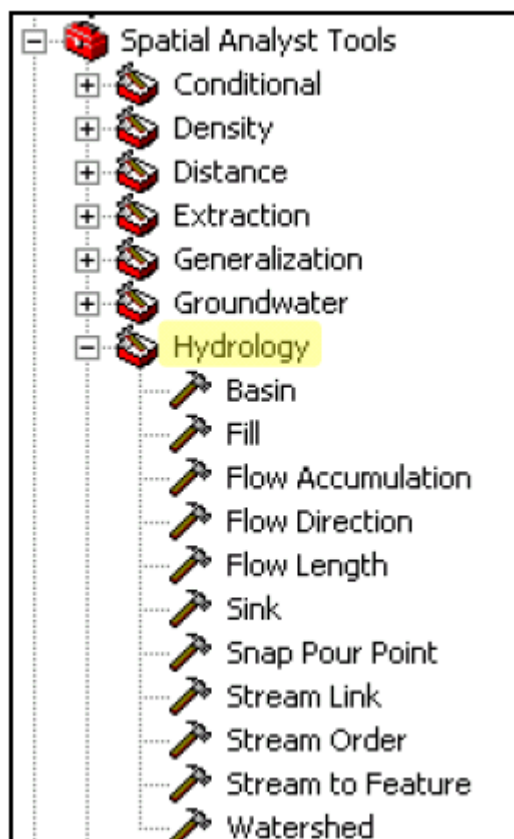
Τα κύρια εργαλεία που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας ολοκληρωμένης υδρολογικής εφαρμογής είναι αρχικά η χάραξη της λεκάνης απορροής μέσω της εύρεσης του υδροκρίτη, η χάραξη του υδρογραφικού δικτύου, η εύρεση της κατεύθυνσης ροής του νερού, η εύρεση της συγκεντρωτικής ροής καθώς και ο υπολογισμός του μήκους ροής. (Fairfield & Leymarie, 1991; Montgomery & Foufoula-Georgiou, 1993; Tarboton et al., 1991)

¹ Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model- DEM) ονομάζεται ένας κάρναβος δειγματοληψίας ή μια ψηφιδωτού τύπου (raster) αναπαράσταση της συνεχούς μεταβολής του αναγλύφου (DeMers, 2000).

4.2 Παρουσίαση εντολών υδρολογικής ανάλυσης

Τα ΓΣΠ διαθέτουν πληθώρα εργαλείων για την επεξεργασία δεδομένων σε συνδυασμό με τα υδρολογικά μοντέλα και τη χαρτογραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Το εργαλείο *Hydrology* (σχήμα 4-1) του ArcGIS είναι αυτό με το οποίο επεξεργαζόμαστε τα δεδομένα των υδρολογικών μοντέλων.

ArcToolbox: Spatial analyst tools > Hydrology



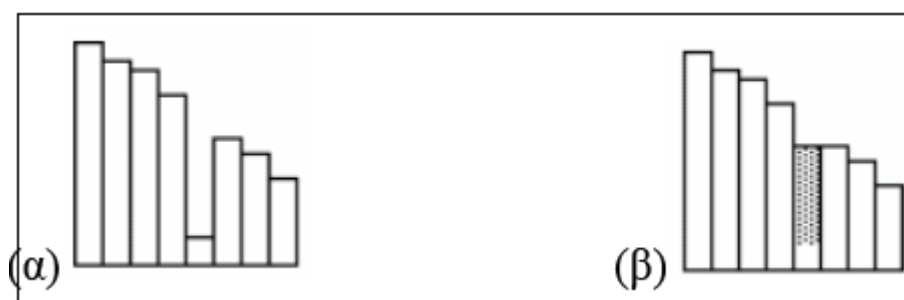
Σχήμα 4-1: Εργαλεία του ArcGIS για την Υδρολογική Ανάλυση

Πηγή: Περιβάλλον ArcMap

Παρουσίαση των υδρολογικών εντολών και των λειτουργιών τους

❖ Εντολή **Fill**

Η εντολή αυτή αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας υδρολογικής ανάλυσης και έχει να κάνει με την πλήρωση του ΨΜΕ. Είναι πιθανό το ΨΜΕ να παρουσιάζει κάποιες τοπικές ταπεινώσεις του αναγλύφου οι οποίες οφείλονται κυρίως σε σφάλματα και ατέλειες και κρίνεται σκόπιμο να εξαλειφθούν. Με την εντολή Fill δημιουργείται ένα νέο ΨΜΕ παρόμοιο με το αρχικό στο οποίο όμως οι τοπικές πολύ χαμηλές τιμές υψομέτρου, οι οποίες δεν συνάδουν με τις τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων, έχουν αντικατασταθεί με υψηλότερες σύμφωνα με εκείνες των γειτονικών κελιών (σχήμα 4-2).



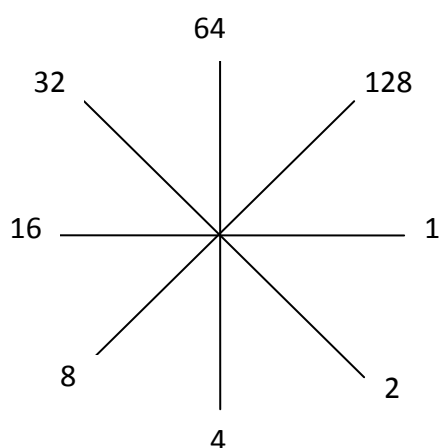
Σχήμα 4-2: (α) προφίλ του ΨΜΕ με τοπική ταπείνωση, (β) προφίλ του νέου ΨΜΕ μετά την εκτέλεση της εντολής Fill

❖ Εντολή **Flow Direction**

Με την εντολή αυτή υπολογίζεται η διεύθυνση ροής. Για κάθε pixel ελέγχονται οι τιμές υψομέτρου των οκτώ γειτονικών του και καθορίζεται η διεύθυνση ροής από το pixel με το μεγαλύτερο υψόμετρο προς εκείνο με το μικρότερο συνυπολογίζοντας και τη μεταξύ τους απόσταση.

Η απορροή των εικονοστοιχείων που βρίσκονται στο σύνορο της επιφάνειας μελέτης διοχετεύεται στη διεύθυνση με τη μεγαλύτερη θετική κλίση. Αν η υψομετρική διαφορά είναι μηδενική ή αρνητική τότε η απορροή θα διοχετευτεί έξω από την επιφάνεια μελέτης.

Το επίπεδο (layer) που εμφανίζεται μετά την εκτέλεση της εντολής flow direction παίρνει τις τιμές 1,2,4,8,16,32,64,128. Κάθε μια από αυτές τις τιμές αντιστοιχεί και σε διαφορετική διεύθυνση ροής (σχήμα 4-3).



Τιμή της Flow Direction	Διεύθυνση Ροής
64	Βόρεια
128	Βορειοανατολική
1	Ανατολική
2	Νοτιοανατολική
4	Νότια
8	Νοτιοδυτική
16	Δυτική
32	Βορειοδυτική

Σχήμα 4-3: Αντιστοιχία τιμών της εντολής flow direction με τη διεύθυνση ροής

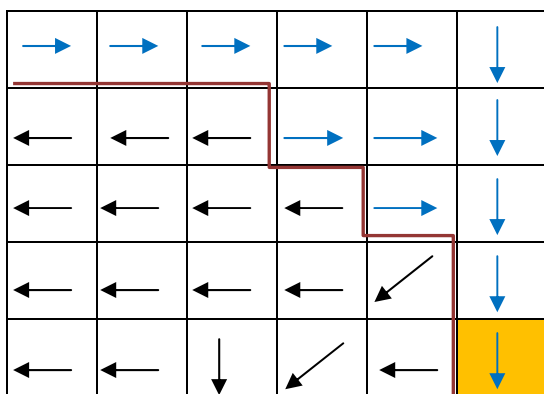
❖ Εντολή **Flow Accumulation**

Η εντολή αυτή μας δίνει την πληροφορία σχετικά με το ποια pixels παρουσιάζουν μεγάλη συσσώρευση νερού. Συγκεκριμένα, στο επίπεδο που δημιουργείται κάθε pixel κατέχει μια τιμή που αντιστοιχεί στον αριθμό των pixels διαμέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Για την εκτέλεση της εντολής απαιτείται πρώτα ο καθορισμός της διεύθυνσης ροής (flow direction) μέσω της οποίας αποκαλύπτεται και ο αριθμός των εικονοστοιχείων από τα οποία θα διέρθει το νερό προκειμένου να καταλήξει σε κάθε κελί.

Επομένως για περιοχές κοντά στις κορυφογραμμές, δηλ. στον υδροκρίτη, αναμένονται τιμές κοντά στο 0, ενώ για κεντρικές κοίτες των ποταμών αναμένονται πολύ υψηλές τιμές.

Μια απλοποιημένη μορφή για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης ροής (flow accumulation) φαίνεται στο σχήμα 4-4, όπου κάθε τετράγωνο αντιστοιχεί σε ένα εικονοστοιχείο και η διεύθυνση του βέλους δείχνει τη διεύθυνση ροής του νερού που διέρχεται από το συγκεκριμένο εικονοστοιχείο. Αν υποθέσουμε ότι το pixel για το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τη συσσώρευση είναι αυτό με το κίτρινο φόντο τότε θα λέγαμε ότι βάση της διεύθυνσης ροής των υπόλοιπων εικονοστοιχείων συλλέγει νερό από 12 pixels, αυτά με τα μπλε βελάκια. Ενώ ο υδροκρίτης είναι η κόκκινη γραμμή.

Επομένως η εντολή flow accumulation μας δίνει πληροφορία για την τιμή συσσώρευσης επιφανειακής ροής για το εκάστοτε εικονοστοιχείο.



Σχήμα 4-4: Απεικόνιση του υπολογισμού συσσωρευτικής ροής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Πολυκριτηριακή ανάλυση

5.1 Εισαγωγή

Η πολυκριτηριακή ανάλυση περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους (όπως Αναλυτική Ιεράρχηση (AHP), Σταθμισμένη Άθροιση (weighted summation) κ.α.), που επιτρέπουν σε ένα πλήθος κριτηρίων σχετιζόμενων με ένα συγκεκριμένο στόχο να βαθμονομηθούν από ειδικούς, ομάδες ενδιαφέροντος και/ή ομάδες συμφερόντων σύμφωνα με το βαθμό καταλληλότητας ή σπουδαιότητας (Dodgson et al., 2000; Malczewski, 2004). Η επιλογή βαρών για κάθε κριτήριο μέσω της παραπάνω διαδικασίας συναινεί στη λήψη αποφάσεων επιτρέποντας την ενσωμάτωση πολλών διαφορετικών απόψεων.

Οι τεχνικές πολλαπλών κριτηρίων είναι ιδιαίτερα χρήσιμες σε καταστάσεις που για τη λήψη αποφάσεων υπάρχει μεγάλος αριθμός εναλλακτικών θέσεων, ή υπάρχει μεγάλος αριθμός κριτηρίων που πρέπει να ληφθούν υπόψη, ή όπου κρίνεται απαραίτητη η λήψη αντικειμενικών αποφάσεων βάσει υποκειμενικών κριτηρίων που ορίζουν οι εμπλεκόμενοι φορείς.

Ο συνδυασμός της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της βάσης ΓΣΠ παρέχει τέσσερα βασικά πλεονεκτήματα.

1. Επιτρέπει την εκτέλεση πολύπλοκων μοντέλων που απαρτίζονται από ποικίλα κριτήρια τα οποία σχετίζονται με το στόχο
2. Επιτρέπει τον καθορισμό των τιμών που δίνονται στα βάρη των κριτηρίων που συμμετέχουν στην ανάλυση
3. Παρέχει ένα συστηματικό και ημι-αντικειμενικό πλαίσιο ανάλυσης
4. Έχει όλα τα πλεονεκτήματα της χρήσης των εργαλείων του GIS

5.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία σχετικά με την πολύκριτηριακή ανάλυση (Multicriteria Analysis-MCA) (Bana E Costa C., 1990; Zimmermann & Gutsche, 1991; Vincke, 1992; Munda, 1995; Belton & Stewart, 2002). Τα περισσότερα συγγράμματα εστιάζουν στην μαθηματική ανάλυση, στους κανόνες λήψης αποφάσεων και στις διάφορες μεθόδους προσέγγισης της MCA, όπως MAUT, Outranking, AHP, PROMETHEE, MAOBETH, κ.λ.π

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, η χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα νέο σχετικά πεδίο που εξακολουθεί να αναπτύσσεται βελτιώνοντας και τις εφαρμογές του GIS

(Malczewski, 2006). Ο συνδυασμός της MCA και του GIS αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης του βιβλίου του (Malczewski, 1999) επιπλέον στο άρθρο του (Malczewski, 2006) γίνεται πλήρης αναφορά και κατηγοριοποίηση των μελετών που αφορούν στη χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση.

Ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις εφαρμογής της MCA γενικότερα και ειδικά της χωρικής MCA για τη διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας. Οι Brouwer & Van Ek (2004) αξιολογούν τους τρόπους διαχείρισης του κινδύνου εκτεταμένης πλημμύρας στην Ολλανδία με την MCA και τη χρήση του λογισμικού DEFINTE (Janssen et al., 2003). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η κρατική υπηρεσία DEFRA χρησιμοποίησε την MCA και συγκεκριμένα τη μέθοδο MAUT για την εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας και τον καθορισμό των μέτρων προστασίας από τις πλημμύρες (RPA, 2004; Penning-Rowsell et al., 2003). Στη Γερμανία, στο κρατίδιο της Σαξονίας, η MCA χρησιμοποιήθηκε για την ιεράρχηση των κρατικών υποδομών ως προς την προστασία τους από τις πλημμύρες (Socher et al., 2006). Τέλος, οι (Bana E Costa et al., 2004) χρησιμοποιούν τη μέθοδο MAOBETH της MCA για την αξιολόγηση εναλλακτικών μέτρων ελέγχου των πλημμυρών στην Πορτογαλία.

Ωστόσο, όλες οι παραπάνω μελέτες δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη χωρική διάσταση της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Λίγες είναι οι μελέτες στις οποίες έχει χρησιμοποιηθεί η χωρική MCA για τη μελέτη επικινδυνότητας και τη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου. Ενδεικτικά αναφέρεται η μελέτη των (Tkach & Simonovic, 1997) η οποία αναλύει την χωρική κατανομή των πολλαπλών επιπτώσεων των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων προστασίας από τις πλημμύρες στο Red River Basin, χρησιμοποιώντας μια τεχνική πολυκριτηριακής ανάλυσης (Compromise Programming- CP) σε βάση GIS. Το 2005 οι Simonovic & Nirupama, εξελίσσουν αυτή την προσέγγιση με την ενσωμάτωση ενός συνόλου ελέγχων με στόχο την ορθή επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης. Μια μάλλον παρόμοια προσέγγιση, επίσης, βασισμένη σε χωρικά πρότυπα, χρησιμοποιείται από τους (Thinh & Vogel, 2006) για την εκτίμηση των χρήσεων γης, στη Δρέσδη, λαμβάνοντας ως κριτήριο και τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας.

Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται μελέτες πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση ή όχι της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Meyer et al., 2007). Και στον πίνακα 7 παρουσιάζονται μελέτες διαχείρισης περιβαλλοντικών θεμάτων με τη χρήση διαφόρων πολυκριτηριακών μεθόδων (Kiker et al., 2005).

Από τις διάφορες πολυκριτηριακές μεθόδους που αναφέρθηκαν παραπάνω επιλέχθηκε η προσέγγιση MAUT και η AHP για την μελέτη του πλημμυρικού κινδύνου στο Θριάσιο πεδίο.

Πίνακας 6: Μελέτες πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση ή όχι πολυκριτηριακής ανάλυσης
 Πηγή: (Meyer et al., 2007)

Publication	MCA	Flood Risk	Spatial MCA	Criteria	Participation	AHP	CP	Promethee	Electre	Hasse	MAUT	Macbeth	Uncertainty
(Akter & Simonovic 2005)	X	X			X								X
(Bana E Costa 1990)	X				X			X	X		X		
(Bana E Costa et al. 2004)	X	X		X								X	
(Belton & Stewart 2002)	X					X		X	X		X		
(Brouwer & van Ek 2004)	X	X		X							X		
(Brüggemann et al. 1999)	X									X			
(De Bruijn 2005)		X		X									
(Drechsler 1999)	X							X					X
(DTLR 2001)	X					X		X	X		X		
(Horlitz et al. 2004)	X										X		
(Janssen et al. 2003)	X					X			X		X		
(Keeney & Raiffa 1993)	X										X		X
(Malczewski 1999)	X		X			X	X				X		
(Malczewski 2006)	X		X										
(Malczewski et al. 2003)	X		X		X	X							
(Merz & Buck 1999)	X				X	X	X	X			X		X
(Messner et al. 2006)	X				X								
(Munda 1995)	X					X		X	X		X		X
(Munda 2006)	X				X								
(Olfert 2006)		X		X									
(Omann 2004)	X							X			X	X	
(Penning-Rowsell et al. 2003)	X	X		X							X		
(Pudenz et al. 2000)	X									X			
(Rauschmayer & Wittmer 2006)	X				X								
(Rauschmayer 2001)	X							X					
(RPA 2004)	X	X		X	X						X		
(Simon 2003)	X									X			
(Simonovic & Nirupama 2005)	X	X	X	X			X						X
(Socher et al. 2006)	X	X											
(Soerensen et al. 2004)	X									X			
(Strager & Rosenberger 2006)	X		X		X	X							
(Thinh & Hedel 2004)	X		X				X						X
(Thinh & Vogel 2006)	X	X	X				X						
(Tkach & Simonovic 1997)	X	X	X	X			X						
(Vincke 1992)	X					X		X	X		X		
(Zimmermann & Gutsche 1991)	X					X		X	X		X		

Πίνακας 7: Μελέτες διαχείρισης περιβαλλοντικών θεμάτων με τη χρήση πολυκριτηριακής ανάλυσης

Πηγή: (Kiker et al., 2005)

Application area	Method	Decision context	Funding agency	Citation
Prioritization of sites/ areas for industrial/ military activity	AHP + GIS	Land condition assessment for allocation of military training areas	U.S. Army Engineering Research and Development Center	Mendoza et al. (2002)
	AHP + GIS	Selection of boundaries for national park	International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, The Netherlands	Sharifi et al. (2002)
	PROMETHEE	Waste management activities in Canada	Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada	Vaillancourt and Waaub (2002)
	ELECTRE + GIS	Land management: develop a land suitability map for housing in Switzerland	Swiss National Foundation for Research (FNRS)	Joerin and Musy (2000)
	AHP + GIS	Landfill siting		Siddiqui et al. (1996)
	MAUT + GIS	Selection of park boundaries	USDOE	Keisler and Sundell (1997)
Environmental/remedial technology selection	SMART	Choosing a remedial action alternative at Superfund site	U.S. Army Corps of Engineers	Wakeman (2003)
	MAUT	Selection of management alternative Missouri River	University of Missouri—Columbia, USA	Prato (2003)
	MAUT + AHP	Regulation of water flow in a lake–river system	Academy of Finland	Hamalainen et al. (2001)
	MAUT	Offsite emergency management following a nuclear accident (such as the Chernobyl accident)	European Commission, Ukraine	Ehrhardt and Shershakov (1996); Hamalainen et al. (2000)
Environmental impact assessment	Review	Review of MCDA use for EIAs in Netherlands	Vrije University, The Netherlands	Janssen (2001)
	AHP	Socioeconomic impact assessment for a construction project in India	Indira Gandhi Institute of Development Research, India	Ramanathan (2001)
	ELECTRE	Highway environmental appraisal in Ireland	Dublin Institute of Technology; University College Dublin, Ireland	Rogers and Bruen (1998)
	AHP and MAUT/SMART	Environmental impact assessment of 2 water development projects on a Finnish river	Finnish Environmental Agency; Helsinki University of Technology	Marttunen and Hamalainen (1995)
	PROMETHEE	Prioritization of EIAs in Jordan	Staffordshire University, United Kingdom	Al-Rashdan et al. (1999)
Natural resource management	AHP	Natural park management	USDA Forest Services	Schmoldt et al. (1994); Peterson et al. (1994); Schmoldt and Peterson (2001b)
	AHP	Management of small forest in North Carolina, USA	USDA Forest Services	Rauscher et al. (2000)

Application area	Method	Decision context	Funding agency	Citation
	MAUT	Management of spruce budworm in Canadian forests	National Science and Engineering Research Council of Canada	Levy et al. (2000)
	AHP, MAUT, and outranking	Forestry planning in Finland	Finnish Academy of Sciences; Finnish Forest Research Institute	Kangas et al. (2001)
	MAUT	Improvement of habitat suitability measurements	Finnish Forest Research Institute	Store and Kangas (2001)
	AHP	Environmental vulnerability assessment for mid-Atlantic region	USEPA/USDOE	Tran et al. (2002)
	Weighting	Management of marine protected areas in Tobago	U.K. Department of International Development	Brown et al. (2001)
	MAUT	Fisheries management: select among alternative commercial fishery opening days	Fisheries and Ocean, Canada	McDaniels (1995)
	AHP, MAUT, and outranking	Fisheries management		Mardle and Pascoe (1999)

PROMETHEE = Preference Ranking Organization METHOD for Enrichment Evaluations, ELECTRE = Elimination Et Choix Traduisant la Realite, AHP = Analytical Hierarchy Process; GIS = Geographic Information System, MAUT = MultiAttribute Utility Theory, MCDA = MultiCriteria Decision Analysis, EIA = Environmental Impact Assessment, USDA = U.S. Department of Agriculture, USDOE = U.S. Department of Energy, SMART = Simple MultiAttribute Rating Technique.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Μέθοδος MAUT

6.1 Εισαγωγή

Το γενικό πλαίσιο της μεθόδου MAUT είναι η παραγωγή σταθμισμένου βάρους για κάθε κριτήριο ή εναλλακτική που σχετίζεται με το φαινόμενο μελέτης. Συνεπώς επιλέγεται ένα σύνολο κριτηρίων που σχετίζονται με τον επιδιωκόμενο στόχο και ορίζονται βάρη για κάθε κριτήριο. Το κάθε κριτήριο χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο εναλλακτικών οι οποίες συγκρινόμενες μεταξύ τους βαθμονομούνται. Στη μέθοδο αυτή τόσο τα βάρη των κριτηρίων όσο και η ταξινόμηση των εναλλακτικών επαφίεται στην εμπειρία του μελετητή. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Ταξινόμηση των εναλλακτικών σε κλίμακα από το 0 ως το 1
2. Υπολογισμός της απόδοσης της εναλλακτικής σύμφωνα με το καθορισμένο βάρος του κριτηρίου που ανήκει.

Το βάρος που θα δοθεί σε κάθε κριτήριο ορίζει το βαθμό στον οποίο το κάθε κριτήριο επηρεάζει τη συνολική αξιολόγηση. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των βαρών με διαφορετικές παραδοχές, σε όλες όμως ισχύει ότι τα βάρη κανονικοποιούνται ώστε το άθροισμα τους να είναι ίσο με τη μονάδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχουν πολυκριτηριακές αναλύσεις οι οποίες δεν λαμβάνουν υπόψη βάρη. Ωστόσο αυτές οι προσεγγίσεις οδηγούν σε συμπεράσματα με μεγάλη πιθανότητα λάθους.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των βαρών είναι γνωστή ως *swing weight approach*. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη διακύμανση των κριτηρίων και περιλαμβάνει τρία απλά στάδια (Malczewski, 1999; RPA, 2004) :

- i. Κατάταξη: η αρχική υπόθεση είναι ότι όλα τα κριτήρια βρίσκονται στο χαμηλότερο επίπεδο. Ο μελετητής πρέπει να αποφασίσει ποιο από τα κριτήρια προτιμά να πάρει την υψηλότερη τιμή και αυτό το κριτήριο κατατάσσεται πρώτο, το επόμενο δεύτερο κλπ.
- ii. Σχετική σπουδαιότητα: στο πρώτο κριτήριο δίνεται μια τιμή, π.χ. 100 (η υψηλότερη), ο μελετητής πρέπει να αποφασίσει τη σχετική σημασία της μεταβολής από το χαμηλότερο στο υψηλότερο επίπεδο του δεύτερου κριτηρίου σε σχέση με το πρώτο (π.χ. 80). Η διαδικασία αυτή ακολουθείται για όλα τα κριτήρια.
- iii. Κανονικοποίηση: οι τιμές που προέκυψαν στο δεύτερο βήμα κανονικοποιούνται ως προς το άθροισμα τους, όπως φαίνεται παρακάτω

$$W_1 = \frac{100}{100 + 80 + 60}$$

$$W_2 = \frac{100}{100 + 80 + 60}$$

$$W_3 = \frac{100}{100 + 80 + 60}$$

W_1, W_2, W_3 το κανονικοποιημένο βάρος του πρώτου, του δεύτερου και του τρίτου κριτηρίου αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει το άθροισμα των βαρών να ισούται με τη μονάδα.

$$\sum W_i = 1$$

3. Προσθήκη όλων των σταθμισμένων κριτηρίων για την αποτίμηση του στόχου
Το γενικό μοντέλο της μεθόδου είναι

$$U_i = \sum_j W_j * U_{ij}$$

Όπου U_i είναι η απόδοση της εναλλακτικής i , U_{ij} είναι η τιμή της εναλλακτικής i στο κριτήριο j και W_j είναι το βάρος του κριτηρίου j

4. Κανονικοποίηση των τιμών

Η κανονικοποίηση των τιμών μπορεί να γίνει με τρεις μεθόδους την *simple additive weighting approach*, την *function approach* και την *utility function approach*.

Η κανονικοποίηση με τη διαδικασία *simple additive weighting* περιλαμβάνει το μετασχηματισμό της τιμής μέσω μίας γραμμικής διαδικασίας, είτε διαιρώντας την τιμή με τη μέγιστη απόδοση, είτε διαιρώντας τη διαφορά της τιμής από την ελάχιστη απόδοση με τη διακύμανση των αποδόσεων.

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{max}}$$

και

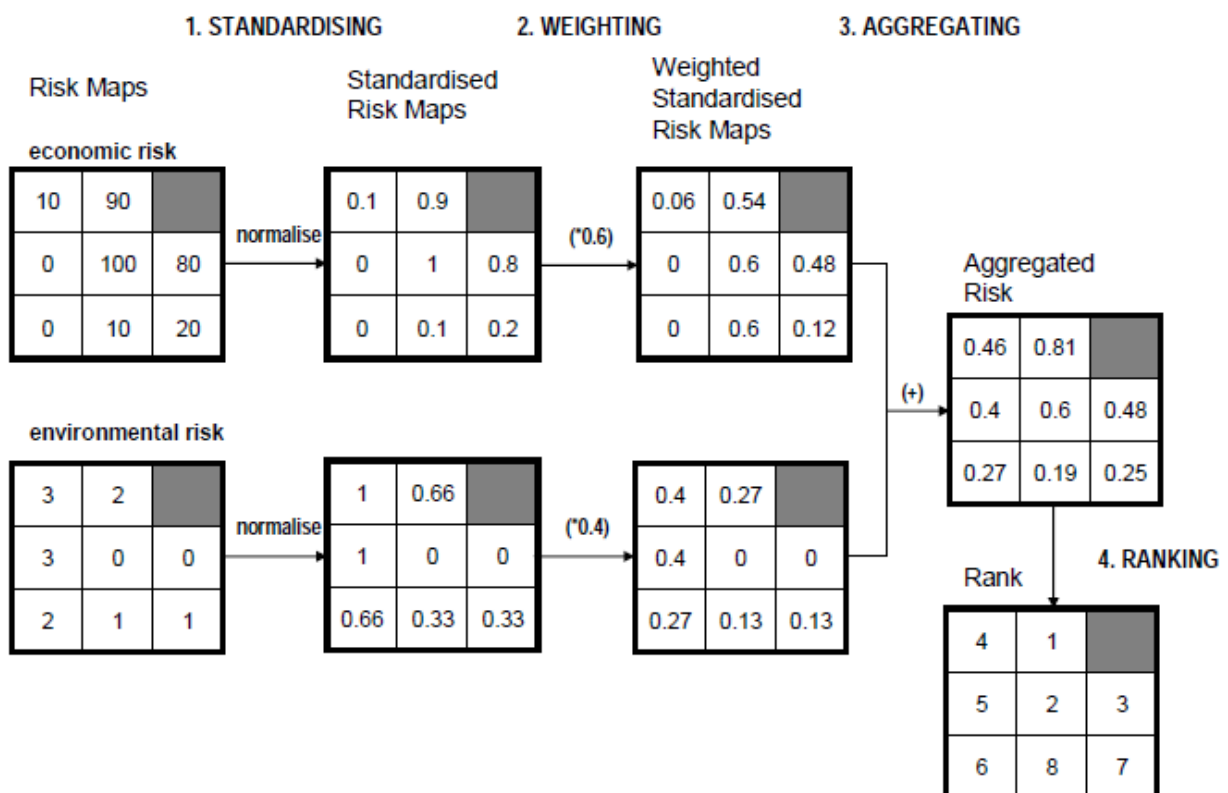
$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_j^{min}}{X_j^{max} - X_j^{min}}$$

Όπου X'_{ij} η κανονικοποιημένη τιμή της εναλλακτικής i του κριτηρίου j , X_{ij} η τιμή της εναλλακτικής i του κριτηρίου j , X_j^{max} και X_j^{min} η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του κριτηρίου j (Meyer et al., 2007).

6.2 Εφαρμογή μεθόδου MAUT

Η μέθοδος MAUT μπορεί να έχει εφαρμογή και σε χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση (Malczewski, 1999). Η διαδικασία αποτυπώνεται στο σχήμα 6-1 για ένα υποθετικό παράδειγμα μελέτης πλημμυρικού κινδύνου. Έστω ότι έχουμε δυο ψηφιδωτά (raster) αρχεία που αφορούν τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από μια πιθανή πλημμύρα, τα αρχεία αυτά αποτελούν τα κριτήρια για τη συγκεκριμένη μελέτη και η τιμή της κάθε ψηφίδας την εναλλακτική του κριτηρίου. Αρχικά ταξινομούμε τις εναλλακτικές, στη συνέχεια τις σταθμίζουμε με τα βάρη του κάθε κριτηρίου. Τέλος αθροίζουμε τα σταθμισμένα κριτήρια και κανονικοποιούμε το αποτέλεσμα αν κρίνεται απαραίτητο.

Στην περίπτωση μελέτης της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο Θριάσιο πεδίο οι χρήσεις γης, η κλίση του εδάφους, η γεωλογία και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο αποτελούν τα συσχετιζόμενα κριτήρια για το υπό μελέτη φαινόμενο ενώ το κάθε κύτταρο (raster) ή πολύγωνο (polygon) του εκάστοτε κριτηρίου αποτελεί την εναλλακτική αυτού.



Σχήμα 6-1: Εφαρμογή της μεθόδου MAUT

Πηγή (Meyer et al., 2007) βασισμένο στο (Malczewski, 1999)

Έχοντας ορίσει τα κριτήρια αξιολόγησης όπως και τις εναλλακτικές αυτών μπορούμε να προχωρήσουμε στην ταξινόμηση των εναλλακτικών σε κλίμακα από 0 έως 1. Η ταξινόμηση έγινε αρχικά με μια ποιοτική κατάταξη των εναλλακτικών σε τέσσερις κατηγορίες βάσει της εκθεσιμότητας τους στο πλημμυρικό φαινόμενο:

1. Very High Vulnerability (VH)
2. High Vulnerability (H)
3. Medium Vulnerability (M)
4. Low Vulnerability (L)

Στόχος της μελέτης είναι η κατάρτιση του χάρτη τρωτότητας σε πλημμύρα, ώστε να εντοπιστούν οι πιο ευάλωτες σε πλημμύρα περιοχές. Για το σκοπό αυτό και επειδή στη συνέχεια θα οριστούν τα βάρη του κάθε κριτηρίου απαραίτητη είναι η ποσοτικοποίηση των χαρακτηρισμών VH, H, M, L. Το εύρος των τιμών που δίνεται σε κάθε εναλλακτική βάσει του χαρακτηρισμού που της έχει αποδοθεί είναι :

$$VH= 100- 80$$

$$H= 79- 55$$

$$M= 54- 30$$

$$L= 29- 5$$

Μετά την ποσοτική κατάταξη των εναλλακτικών ακολουθεί η κανονικοποίηση των τιμών με τη διαδικασία *simple additive weighting*.

Η κατάταξη και η κανονικοποίηση των εναλλακτικών δίνεται στον πίνακα 8.

Ο τελικός χάρτης αποτίμησης του φαινομένου μελέτης προκύπτει από τη σύνθεση των σταθμισμένων κριτηρίων. Το κρίσιμο ερώτημα που προκύπτει είναι ποια βαρύτητα δίνεται σε κάθε κριτήριο. Η απλούστερη προσέγγιση θα ήταν να δοθεί η ίδια βαρύτητα σε όλα τα κριτήρια, αλλά αυτό ενέχει μεγάλη πιθανότητα εσφαλμένου αποτελέσματος, ειδικά όταν ο στόχος είναι η εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου, όπου το κάθε κριτήριο έχει τη δική του βαρύνουσα σημασία. Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν να ζητηθεί από όλους τους ενδιαφερόμενους φορείς να καθορίσουν τα βάρη των κριτηρίων και με συμψηφισμό αυτών να προκύψει η καταλληλότερη τιμή (Malczewski, 1999).

Στην παρούσα μελέτη τα βάρη των κριτηρίων υπολογίστηκαν σύμφωνα με τη μέθοδο *swing weight approach*. Η κλίση του εδάφους θεωρήθηκε το πιο σημαντικό κριτήριο και ακολούθησε η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, οι χρήσεις γης και τέλος η γεωλογία της περιοχής (πίνακας 9)

Πίνακας 8: Κατάταξη και κανονικοποίηση εναλλακτικών κατά τη μέθοδο MAUT

Κριτήρια	Εναλλακτικές	Ποιοτική κατάταξη	Ποσοτική κατάταξη	Κανονικοποίηση
Κλίση εδάφους	0-2%	VH	95	1
	2-7%	H	70	0.74
	7-15%	M	50	0.53
	>15%	L	10	0.11
Χρήσεις γης	Αγροτική περιοχή	M	40	0.47
	Αστική περιοχή	VH	85	1
	Δασική περιοχή	L	7	0.08
Γεωλογία	Αλλούβια	H	68	1
	Ασβεστόλιθοι	M	40	0.59
	Ριπίδια	L	15	0.22
Υδρογραφικό δίκτυο	100m	VH	87	1
	200m	H	62	0.71
	300m	L	20	0.23

Πίνακας 9: καθορισμός βαρύτητας των κριτηρίων κατά τη μέθοδο *swing weight approach*

Κριτήρια	Σχετική σπουδαιότητα	Βάρη (Κανονικοποίηση)
Κλίση εδάφους	100	0.34
Υδρογραφικό δίκτυο	85	0.28
Χρήσεις γης	70	0.24
Γεωλογία	40	0.14
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	295	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Μέθοδος AHP

7.1 Εισαγωγή

Η Μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process-AHP) αναπτύχθηκε από τον Thomas Saaty γύρω στο 1970, στόχος της είναι η οργάνωση των δεδομένων σε μια «ιεραρχική δομή», έτσι ώστε να διευκολύνεται η ορθή λήψη αποφάσεων. Η ιεραρχική δομή αυτής της μεθόδου δείχνει τις σχέσεις του στόχου, των κριτηρίων (criteria) και των εναλλακτικών επιλογών (alternatives) και επιτρέπει τη χρησιμοποίηση εμπειρικών δεδομένων, αλλά και υποκειμενικών κρίσεων του αποφασίζοντα. Γενικά επιτρέπει στο χρήστη να εκτιμήσει τη βαρύτητα των διαφόρων κριτηρίων και τη σπουδαιότητα των εναλλακτικών, ώστε να μπορέσει να λάβει μία απόφαση.

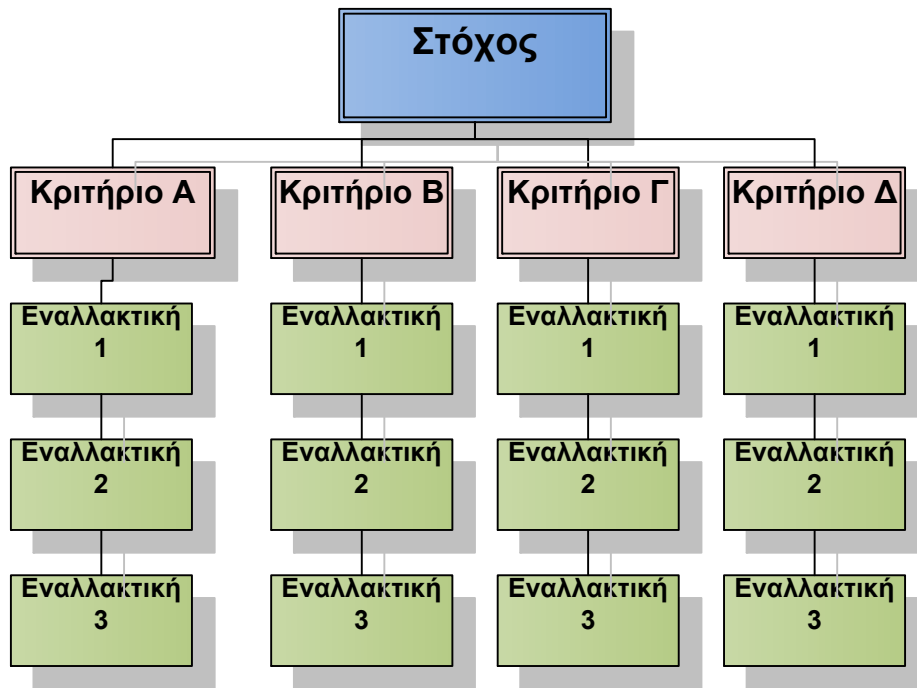
Η μέθοδος της αναλυτικής ιεράρχησης είναι μια δομημένη ποσοτική διαδικασία, έχει πολυκριτηριακό χαρακτήρα, παρέχει τη δυνατότητα αξιοποίησης τόσο ποιοτικών όσο και ποσοτικών δεδομένων και είναι κατάλληλη για λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας υποκειμενικές αξιολογήσεις ειδικών (Παπαδόπουλος κ.α., 2008)

Η διαδικασία που ακολουθείται κατά την εφαρμογή της AHP στηρίζεται στα παρακάτω βήματα

1. Δομή προβλήματος. Ορισμός του προβλήματος και καθορισμός των ζητούμενων πληροφοριών για την επίλυση του, δηλαδή αποσύνθεση του προβλήματος σε επιμέρους υποπροβλήματα πετυχαίνοντας έτσι την απλούστευση του. Σε αυτό το στάδιο καθορίζονται τα κριτήρια και οι εναλλακτικές του προβλήματος (σχήμα 7-1).

Σύμφωνα με τον Thomas Saaty, η δομή της ιεραρχίας θα πρέπει (Saaty, 1990)

- Να αντιπροσωπεύει το πρόβλημα όσο το δυνατόν περισσότερο
- Να λαμβάνει υπ' όψη το εξωτερικό περιβάλλον
- Να εντοπίζει στοιχεία που συμβάλλουν στην επίλυση του προβλήματος
- Να περιλαμβάνει όλους τους συμμετέχοντες στο πρόβλημα



Σχήμα 7-1: Ενδεικτική μορφή ιεράρχησης

2. Σύγκριση κατά ζεύγη. Δημιουργία πίνακα σύγκρισης εναλλακτικών σε σχέση με το κάθε κριτήριο και πίνακα σύγκρισης κριτηρίων σε σχέση με τον τελικό στόχο.

Τα στοιχεία κάθε επιπέδου της ιεραρχίας συγκρίνονται κατά ζεύγη μεταξύ τους ως προς το βαθμό προτίμησης σε σχέση με τα γονικά τους στοιχεία. Για παράδειγμα, οι εναλλακτικές του κάθε κριτηρίου (σχήμα 7-1) συγκρίνονται ανά δύο με γνώμονα την καλύτερη ικανοποίηση του κριτηρίου. Στη συνέχεια, τα κριτήρια ανά δύο συγκρίνονται ως προς την ικανοποίηση του συνολικού στόχου.

Δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό πίνακες σύγκρισης ζευγών, τόσοι όσα και τα στοιχεία του προβλήματος. Ο πίνακας 10 παρουσιάζει έναν ενδεικτικό πίνακα, όπου συγκρίνονται ανά δύο τα κριτήρια της ιεραρχικής δομής του σχήματος 7-1 ως προς την ικανοποίηση του απώτερου στόχου.

Πίνακας 10: Ενδεικτικός πίνακας συγκρίσεων κατά ζεύγη

Στόχος	Κριτήριο Α	Κριτήριο Β	Κριτήριο Γ	Κριτήριο Δ
Κριτήριο Α	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}
Κριτήριο Β	α_{21}	α_{22}	α_{23}	α_{24}
Κριτήριο Γ	α_{31}	α_{32}	α_{33}	α_{34}
Κριτήριο Δ	α_{41}	α_{42}	α_{43}	α_{44}

Η τυπική ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί για τη συμπλήρωση του πίνακα είναι ποια από τα δύο κριτήρια i, j είναι σημαντικότερο για την ικανοποίηση του στόχου και πόσο σημαντικότερο είναι (Saaty, 1977). Τα στοιχεία a_{ij} του πίνακα δηλώνουν την προτίμηση του κριτηρίου i έναντι του κριτηρίου j και πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζουν πόσες φορές πιο σημαντικό είναι το ένα κριτήριο από το άλλο.

Για κάθε πίνακα κατά ζεύγη συγκρίσεων ισχύει $a_{ii}=1$, αφού αναφέρεται σε σύγκριση του κριτηρίου i με τον εαυτό του. Επίσης, αν το κριτήριο i είναι σημαντικότερο από το j τότε $a_{ij}>1$ ενώ αν το j είναι σημαντικότερο το i , τότε $a_{ij}<1$. Τέλος, για κάθε $i \neq j$, ισχύει $a_{ij}=1/a_{ji}$.

Για να μπορέσουν να πραγματοποιηθούν οι συγκρίσεις των κριτηρίων ανά ζεύγη, με αναφορά στο στόχο, και των εναλλακτικών ανά ζεύγη, με αναφορά στο κριτήριο, είναι απαραίτητη μία αριθμητική κλίμακα που υποδεικνύει πόσες φορές πιο σημαντικό-ισχυρό είναι το ένα στοιχείο σε σχέση με το άλλο, με το οποίο συγκρίνεται.

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζεται η αριθμητική αυτή συγκριτική κλίμακα, όπως την όρισε ο Thomas Saaty (Saaty, 2008).

Πίνακας 11: Συγκριτική κλίμακα του Thomaw Saaty σε απόλυτους αριθμούς

Πηγή: (Saaty, 2008)

Αριθμητική κλίμακα	Ορισμός	Επεξήγηση
1	Ίσης σημαντικότητας	Τα δύο στοιχεία συνεισφέρουν εξίσου
2	Ασθενής σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	ή σχεδόν εξίσου στον στόχο
3	Μέτρια σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η κρίση κλίνουν ελαφρά υπέρ του ενός στοιχείου
4	Μέτρια προς ισχυρή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	
5	Ισχυρή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Η εμπειρία και η κρίση κλίνουν έντονα υπέρ του ενός στοιχείου
6	Αρκετά ισχυρή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	
7	Πολύ ισχυρή σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι το ένα στοιχείο είναι σημαντικότερο του άλλου
8	Σχεδόν απόλυτη σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	
9	Απόλυτη σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου	Όλα τα στοιχεία επιβεβαιώνουν σε απόλυτο βαθμό την υπεροχή του ενός στοιχείου

3. Υπολογισμός του συντελεστή σπουδαιότητας για κάθε εναλλακτική και στη συνέχεια για κάθε κριτήριο, ελέγχοντας πάντα το δείκτη συνέπειας.

Σε αυτό το στάδιο υπολογίζονται για κάθε κόμβο της ιεραρχικής δομής οι σχετικές προτεραιότητες (w) σε σχέση με το γονικό στοιχείο. Έστω ότι ο αποφασίζων γνωρίζει τα βάρη $w_1, w_2, \dots, w_n$ των κόμβων $A_1, A_2, \dots, A_n$. Τότε ο πίνακας σύγκρισης ανά ζεύγη θα ήταν ο εξής:

$$A = \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix}$$

Ενώ το διάνυσμα των βαρών σε διάταξη στήλης θα ήταν:

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix}$$

Για τον πίνακα A ισχύει $A_w = nw$, όπου n είναι το πλήθος των συγκρινόμενων κόμβων. Επίσης, κάθε πίνακας $A = (a_{ij})$, όπου $a_{ij} = w_i/w_j$ για κάθε $i, j = 1, \dots, n$ θεωρείται συνεπής όταν ισχύει $a_{jk} = a_{ik} / a_{ij}$, για κάθε $i, j, k = 1, \dots, n$.

Ο παραπάνω πίνακας A , όπου όλα τα βάρη είναι γνωστά, ικανοποιεί το κριτήριο της συνέπειας. Όμως στην πραγματικότητα ο χρήστης δεν είναι σε θέση να γνωρίζει ακριβώς τα βάρη $w_1, w_2, \dots, w_n$, παρά μόνο εκτιμήσεις αυτών.

Επομένως, ο πίνακας A δεν είναι απόλυτα συνεπής και σύμφωνα με τη θεωρία των ιδιοτιμών (*eigenvalue theory*), η εκτίμηση του διανύσματος των βαρών δίνεται από τη σχέση $Aw' = \lambda_{\max} w'$, όπου $\lambda_{\max}$ είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του ασυνεπούς πίνακα A . Το διάνυσμα w' αποτελεί προσέγγιση του πραγματικού διανύσματος βαρών w , ενώ αποδεικνύεται ότι $\lambda_{\max} > n$ (Saaty, 1990).

Έλεγχος συνέπειας

Η ασυνέπεια σε έναν πίνακα συγκρίσεων μπορεί να αποδοθεί από την τιμή $\lambda_{\max} - n$, που εκτιμά την απόκλιση των συγκρίσεων από τη συνεπή προσέγγιση (Saaty, 1990). Στο γεγονός αυτό βασίζεται ο υπολογισμός του δείκτη συνέπειας CI (*consistency index*), που προκύπτει από τη σχέση

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

Στη συνέχεια ο λόγος συνέπειας CR (*consistency ratio*) δίνεται από το λόγο του CI προς τον τυχαίο δείκτη συνέπειας RI

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Οι τιμές του RI προκύπτουν από τις μέσες τιμές του CI για τυχαίους πίνακες και απεικονίζονται στον πίνακα 12 (Triantaphyllou & Mann, 1995).

Αν η τιμή του CR είναι μικρότερη από 0,1 ($CR < 0,1$) τότε η εκτίμηση του w από το w' γίνεται αποδεκτή. Σε διαφορετική περίπτωση επιχειρείται βελτίωση της συνέπειας (Saaty, 1990).

Πίνακας 12: Τιμές του RI για διαφορετικές τιμές του n

Πηγή: (Triantaphyllou & Mann, 1995)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

4. Σύνθεση των σταθμισμένων κριτηρίων για την επίτευξη του τελικού στόχου.

Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία των συγκρίσεων των εναλλακτικών και των κριτηρίων καθώς και τον υπολογισμό της σπουδαιότητας και των βαρών τους αντίστοιχα, το επόμενο βήμα στη διαδικασία της AHP είναι η σύνθεση των στοιχείων. Η σύνθεση εκτελείται ξεκινώντας από τα χαμηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας και ανεβαίνοντας προς τα πάνω. Έτσι, για τη βαθμίδα των εναλλακτικών πολλαπλασιάζουμε την εναλλακτική με το συντελεστή σπουδαιότητας της και αθροίζουμε όλα τα παραγόμενα γινόμενα για το κάθε κριτήριο. Με το τέλος αυτής της διαδικασίας έχουμε τα σύνθετα κριτήρια, τα οποία με τη σειρά τους τα πολλαπλασιάζουμε το καθένα με το αντίστοιχο βάρος του. Το άθροισμα του γινομένου των σύνθετων κριτηρίων με τα αντίστοιχα βάρη τους μας οδηγεί στο στόχο του προβλήματος.

7.2 Εφαρμογή μεθόδου AHP

Η μέθοδος της Αναλυτικής Ιεράρχησης δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα μοντέλο που θα τον βοηθήσει στη λήψη της καλύτερης δυνατής απόφασης. Το πρώτο στάδιο στην ανάλυση του προβλήματος είναι ο καθορισμός του γενικού στόχου, των κριτηρίων και υποκριτηρίων, αν υπάρχουν, καθώς και των εναλλακτικών επιλογών.

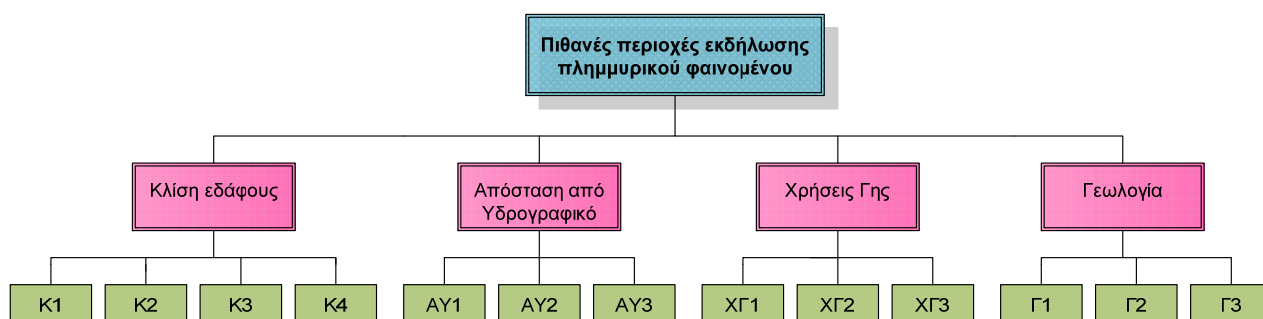
Στόχος στην παρούσα μελέτη είναι ο προσδιορισμός των περιοχών οι οποίες σε μια ενδεχόμενη έντονη βροχόπτωση θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου. Για το σκοπό αυτό θα αποτιμηθούν τα κριτήρια:

- Κλίση εδάφους
- Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο
- Χρήσεις γης
- Γεωλογία

τα οποία σχετίζονται με το υπό μελέτη φαινόμενο, καθώς και οι εναλλακτικές του κάθε κριτηρίου (πίνακας 13). Επίσης παρουσιάζεται διαγραμματικά το μοντέλο και η ιεράρχηση που ακολουθήθηκε (σχήμα 7-2).

Πίνακας 13: Καθορισμός κριτήρια και εναλλακτικών

Κριτήρια	Κλίση εδάφους	Απόσταση από Υδρογραφικό	Χρήσεις Γης	Γεωλογία
Εναλλακτικές	$K_1 = 0-2\%$	$AY_1 = 100m$	$XΓ_1 =$ Αστική περιοχή	$\Gamma_1 =$ Αλλουβιακά πετρώματα
	$K_2 = 2-7\%$	$AY_2 = 200m$	$XΓ_2 =$ Αγροτική περιοχή	$\Gamma_2 =$ Ασβεστολιθικά πετρώματα
	$K_3 = 7-15\%$	$AY_3 = 300m$	$XΓ_3 =$ Δασική περιοχή	$\Gamma_3 =$ Ριπίδια
	$K_4 > 15\%$	$AY_4 > 300m$		



Σχήμα 7-2: Διαγραμματική απεικόνιση του υπό μελέτη φαινομένου

Στη συνέχεια ακολουθεί η σύγκριση κατά ζεύγη για κάθε βαθμίδα της ιεραρχίας ως προς τα γονικά τους στοιχεία καθώς και ο έλεγχος του δείκτη συνέπειας των βαρών με τη διαδικασία που αναφέρθηκε αναλυτικά στην παράγραφο 7.1.

Όπως και με τη μέθοδο MAUT έτσι και κατά την AHP το κριτήριο με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα ως προς την επίτευξη του στόχου είναι η κλίση του εδάφους και ακολουθεί η απόσταση από το υδρογραφικό, οι χρήσεις γης και τέλος η γεωλογία. Συνεπώς, η κλίση του εδάφους είναι απόλυτα πιο σημαντική έναντι της γεωλογίας, ενώ παρουσιάζει αρκετά ισχυρή σημαντικότητα έναντι των χρήσεων γης και είναι μέτρια πιο σημαντική συσχετιζόμενη με την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Ανάλογα, το υδρογραφικό

δίκτυο θεωρήθηκε πολύ ισχυρά σημαντικότερο έναντι της γεωλογίας και μέτρια πιο ισχυρό ως προς τις χρήσεις γης. Τέλος οι χρήσεις γης παρουσιάζουν ασθενή σημαντικότητα σε σύγκριση με τη γεωλογία της περιοχής.

Για την ποσοτική μεταφορά των παραπάνω θεωρήσεων στον πίνακα συγκρίσεων των κριτηρίων χρησιμοποιήθηκε η αριθμητική κλίμακα όπως την όρισε ο Thomas Saaty (πίνακας 11).

Ο πίνακας συγκρίσεων, ο αναλυτικός υπολογισμός των βαρών των κριτηρίων καθώς και ο έλεγχος του δείκτη συνέπειας αυτών παρουσιάζεται αναλυτικά στον πίνακα 14 & 15, παρατηρούμε ότι το άθροισμα των βαρών ισούται με τη μονάδα και ο δείκτης συνέπειας (CR) ισούται με $0.02 < 0.10$, συνεπώς τα βάρη των κριτηρίων είναι συνεπή.

Πίνακας 14: Σύγκριση των κριτηρίων κατά ζεύγη και καθορισμός βαρών

ΚΡΙΤΗΡΙΑ (Κ _ι)	Κλίση εδάφους	Υδρογρα- φικό	Χρήσεις γης	Γεωλογία
Κλίση εδάφους	1	3	6	9
Υδρογραφικό	0,33	1	4	7
Χρήσεις γης	0,16	0,25	1	2
Γεωλογία	0,11	0,14	0,5	1

Άθροισμα στηλών (Σ _Σ)	1,60	4,39	11,5	19	Άθροισμα γραμμών Σ _Γ	Βάρη (Σ _Γ /4)	
Κ _ι / Σ _Σ	0,625	0,683	0,522	0,474	2,304	0,576	Κλίση
	0,206	0,228	0,348	0,368	1,150	0,288	Υδρογ.
	0,100	0,057	0,087	0,105	0,349	0,087	Χρήσεις
	0,069	0,032	0,043	0,053	0,197	0,049	Γεωλογ.
ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΒΑΡΩΝ						1	

Πίνακας 15: Έλεγχος του δείκτη συνέπειας

ΒΑΡΗ (B _i)	0,576	0,288	0,087	0,049	Άθροισμα	Άθροισμα / B _i
K_i * B_i	1*0,576	3*0,288	6*0,087	9*0,049	2,403	2,403/0,576=4,172
	0,33*0,576	1*0,288	4*0,087	7*0,049	1,169	1,169/0,288=4,059
	0,16*0,576	0,25*0,288	1*0,087	2*0,049	0,349	0,349/0,087=4,011
	0,11*0,576	0,14*0,288	0,5*0,087	1*0,049	0,196	0,196/0,049=4

$$\Lambda = \frac{4,172 + 4,059 + 4,011 + 4}{4} = 4,060$$

$$CI = \frac{4,060 - 4}{4 - 1} = 0,02$$

$$CR = \frac{0,02}{0,90} = 0,02 < 0,10 \text{ αποδεκτό}$$

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία για τη σύγκριση των εναλλακτικών κατά ζεύγη σε σχέση με τα κριτήρια και ο έλεγχος της συνέπειας για τον καθορισμό της σπουδαιότητας των εναλλακτικών του κάθε κριτηρίου.

1. Σε σχέση με το κριτήριο της κλίσης του εδάφους

		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	Σπουδαιότητα
(0-2%)	K ₁	1	2	6	8	0,5345
(2-7%)	K ₂	1/2	1	4	5	0,3040
(7-15%)	K ₃	1/6	1/4	1	3	0,1075
(>15%)	K ₄	1/8	1/5	1/3	1	0,0540
Άθροισμα βαρών						1

$$C.R. = 0,04 < 0,10 \text{ αποδεκτό}$$

2. Σε σχέση με την απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο

		AY ₁	AY ₂	AY ₃	Σπουδαιότητα
(100m)	AY ₁	1	4	5	0,6807
(200m)	AY ₂	1/4	1	2	0,2014
(300m)	AY ₃	1/5	1/2	1	0,1179
Άθροισμα βαρών					1

$$C.R. = 0,02 < 0,10 \text{ αποδεκτό}$$

3. Σε σχέση με τις χρήσεις γης

		$\chi\Gamma_1$	$\chi\Gamma_2$	$\chi\Gamma_3$	Σπουδαιότητα
(αστική περιοχή)	$\chi\Gamma_1$	1	6	9	0,7644
(αγροτική περιοχή)	$\chi\Gamma_2$	1/6	1	3	0,1658
(δασική περιοχή)	$\chi\Gamma_3$	1/9	1/3	1	0,0698
Άθροισμα βαρών					1

C.R. = 0,05 < 0,10 αποδεκτό

4. Σε σχέση με την γεωλογία της περιοχής

		Γ_1	Γ_2	Γ_3	Σπουδαιότητα
(αλλουβιακά)	Γ_1	1	5	9	0,7482
(ασβεστολιθικά)	Γ_2	1/5	1	3	0,1804
(ριπίδια)	Γ_3	1/9	1/3	1	0,0714
Άθροισμα βαρών					1

C.R. = 0,03 < 0,10 αποδεκτό

Μετά τη σύγκριση των εναλλακτικών και των κριτηρίων και τον υπολογισμό της σπουδαιότητας και των βαρών αντίστοιχα ακολουθεί η σύνθεση των στοιχείων ξεκινώντας από τη χαμηλότερη βαθμίδα. Οι περιοχές με μεγάλη επιδεκτικότητα σε πλημμύρα προκύπτουν από τη σύνθεση των κριτηρίων με τα αντίστοιχα βάρη τους. Για την υλοποίηση της σύνθεσης των στοιχείων χρησιμοποιείται η κλίμακα κανονικοποίησης των κατηγοριών όπως ορίστηκε στον πίνακα 8, παράγραφος 6.2.

Στον πίνακα 16 φαίνονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου της ΑΗΡ.

Πίνακας 16: Καθορισμός σπουδαιότητας εναλλακτικών και βαρύτητας κριτηρίων

Κριτήρια	Εναλλακτικές	Ποσοτική κατάταξη	Κανονικοποίηση	Σπουδαιότητα εναλλακτικών	Βάρη κριτηρίων
Κλίση εδάφους	0-2%	95	1	0,5345	0,576
	2-7%	70	0.74	0,3040	
	7-15%	50	0.53	0,1075	
	>15%	10	0.11	0,0540	
Χρήσεις γης	Αγροτική περιοχή	40	0.47	0,1658	0,087
	Αστική περιοχή	85	1	0,7644	
	Δασική περιοχή	7	0.08	0,0698	
Γεωλογία	Αλλούβια	68	1	0,7482	0,049
	Ασβεστόλιθοι	40	0.59	0,1804	
	Ριπίδια	15	0.22	0,0714	
Υδρογραφικό δίκτυο	100m	87	1	0,6807	0,288
	200m	62	0.71	0,2014	
	300m	20	0.23	0,1179	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

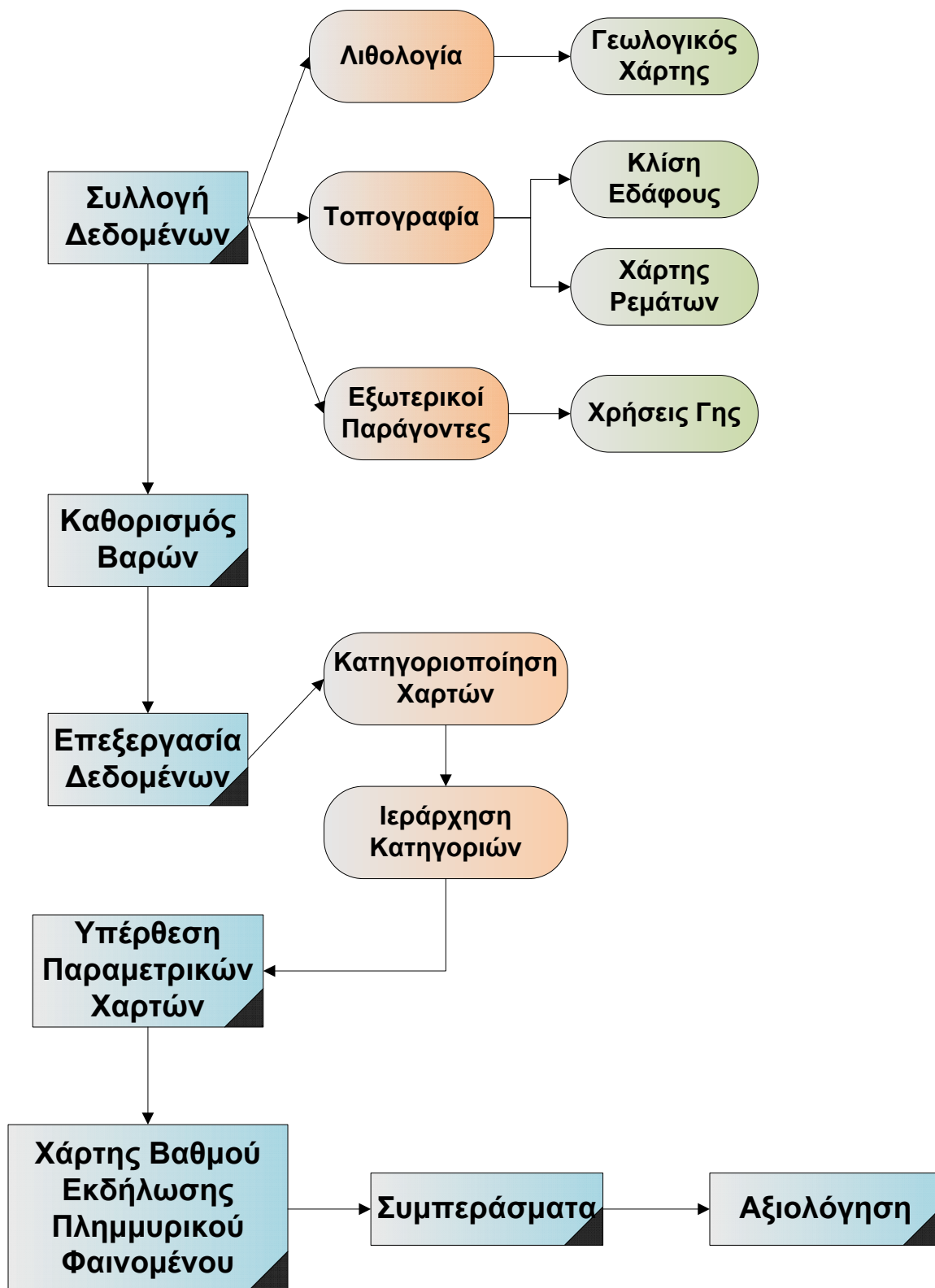
8. Κατάρτιση χαρτών πλημμύρας

8.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν ώστε να καταρτιστούν οι χάρτες εκτίμησης της τρωτότητας για την περιοχή του Θριάσιου πεδίου ως προς το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Στόχος του κεφαλαίου είναι ο προσδιορισμός των περιοχών εκείνων που παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο κατά την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου.

Συνοπτικά η διαδικασία περιλαμβάνει τη συλλογή των δεδομένων που είναι οι χρήσεις γης, η γεωλογία και το ΨΜΕ της περιοχής του Θριάσιου πεδίου. Από την επεξεργασία του ΨΜΕ εξάγουμε το χάρτη κλίσεων του εδάφους ενώ από την υδρολογική ανάλυση αυτού προκύπτει ο χάρτης ρεμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί η κατηγοριοποίηση και η ιεράρχηση των στοιχείων σύμφωνα με τη σπουδαιότητα των εναλλακτικών και τη βαρύτητα των κριτηρίων όπως έχει καθοριστεί στα παραπάνω κεφάλαια (παράγραφος 6.2 και 7.2). Με την υπέρθεση των παραμετρικών χαρτών καταλήγουμε στον τελικό χάρτη προσδιορισμού της επιδεκτικότητας των περιοχών ως προς την εκδήλωση πλημμύρας.

Στο σχήμα 8-1, περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της διαδικασίας.



Σχήμα 8-1: Διάγραμμα βημάτων υλοποίησης εργασίας

8.2 Παρουσίαση πρωτογενών δεδομένων

Στον πίνακα 17 φαίνονται τα πρωτογενή δεδομένα και η γεωμετρία αυτών. Από το ΨΜΕ (χάρτης 1) παρατηρούμε ότι το Θριάσιο πεδίο αποτελεί μια εκτεταμένη πεδιάδα με μικρούς ορεινούς όγκους στα βόρεια και ανατολικά της περιοχής με μέγιστο υψόμετρο τα 607μ.

Ο χάρτης των χρήσεων γης (χάρτης 2) έχει προκύψει από την ενοποίηση συναφών κωδικών σύμφωνα με την ευρωπαϊκή κωδικοποίηση Corine (πίνακας 2Π- παράρτημα) έτσι ώστε να προκύψουν τρεις κατηγορίες περιοχών, αστικές, αγροτικές και δασικές. Η κατηγοριοποίηση αυτή φαίνεται στον πίνακα 18.

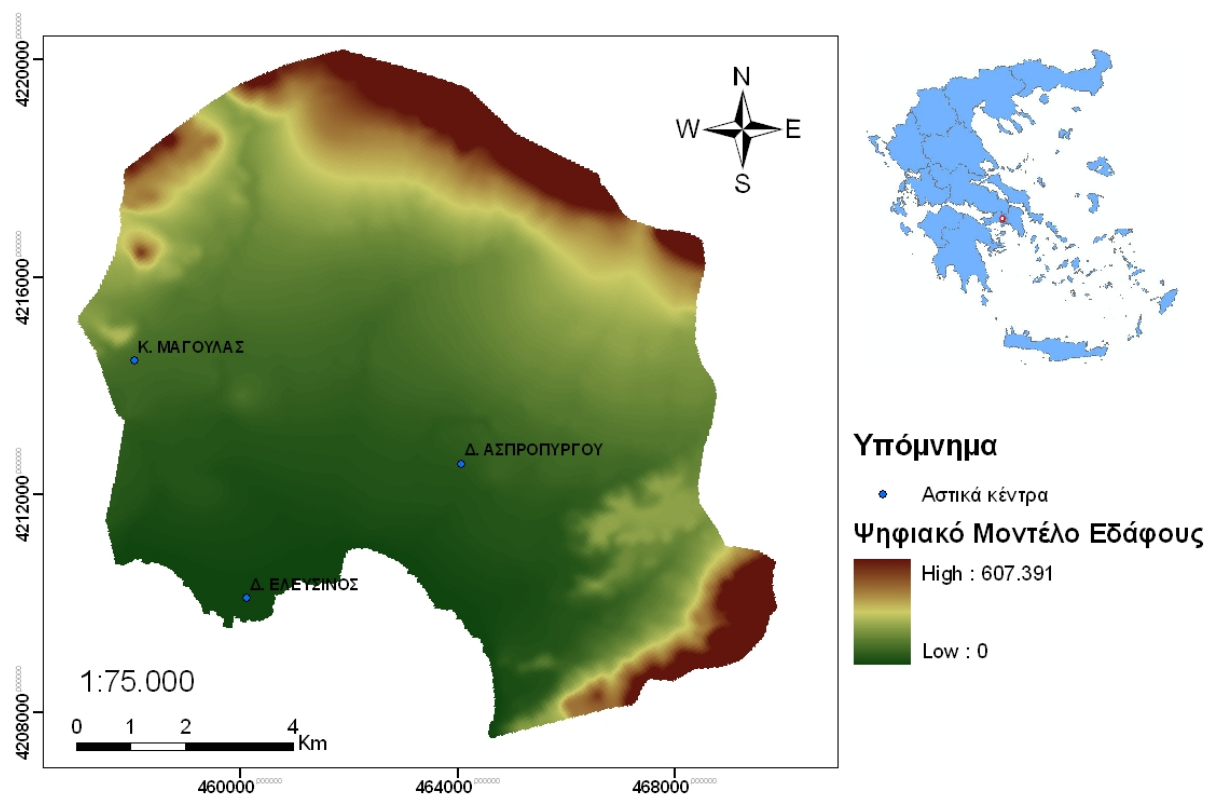
Από το γεωλογικό χάρτη (χάρτης 3) στην μεγαλύτερη και πεδινή έκταση της λεκάνης εντοπίζονται ριπίδια χειμάρρων, στις ορεινές περιοχές βόρεια και ανατολικά υπάρχουν ασβεστολιθικά πετρώματα ενώ νότια στο μεγαλύτερο τμήμα της παράκτιας ζώνης συναντώνται αλλουβιακά πετρώματα.

Πίνακας 17: Πρωτογενή δεδομένα εργασίας

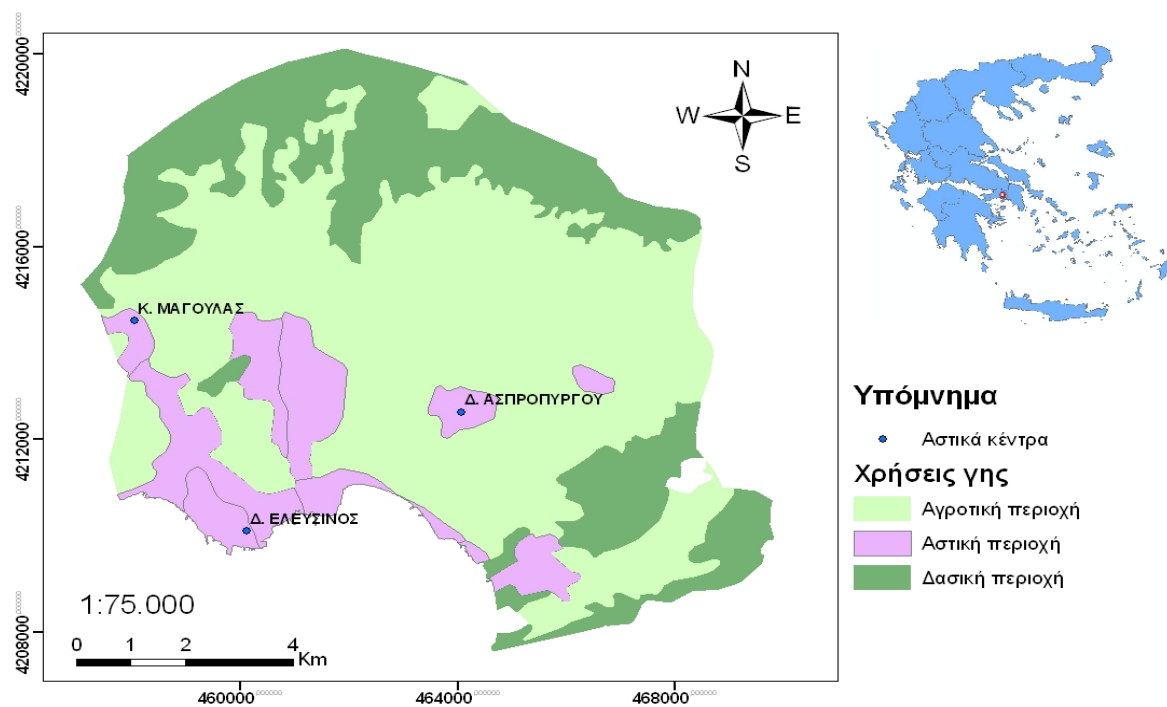
Δεδομένα	Τύπος αρχείου	Γεωμετρία
Χρήσεις γης	Διανυσματικό	Πολύγωνο
Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	Ψηφιδωτό	Φατνίο/ Εικονοστοιχείο (25*25 pixel size)
Γεωλογία	Διανυσματικό	Πολύγωνο

Πίνακας 18: Ενοποίηση κωδικών Corine για τη δημιουργία τριών κατηγοριών

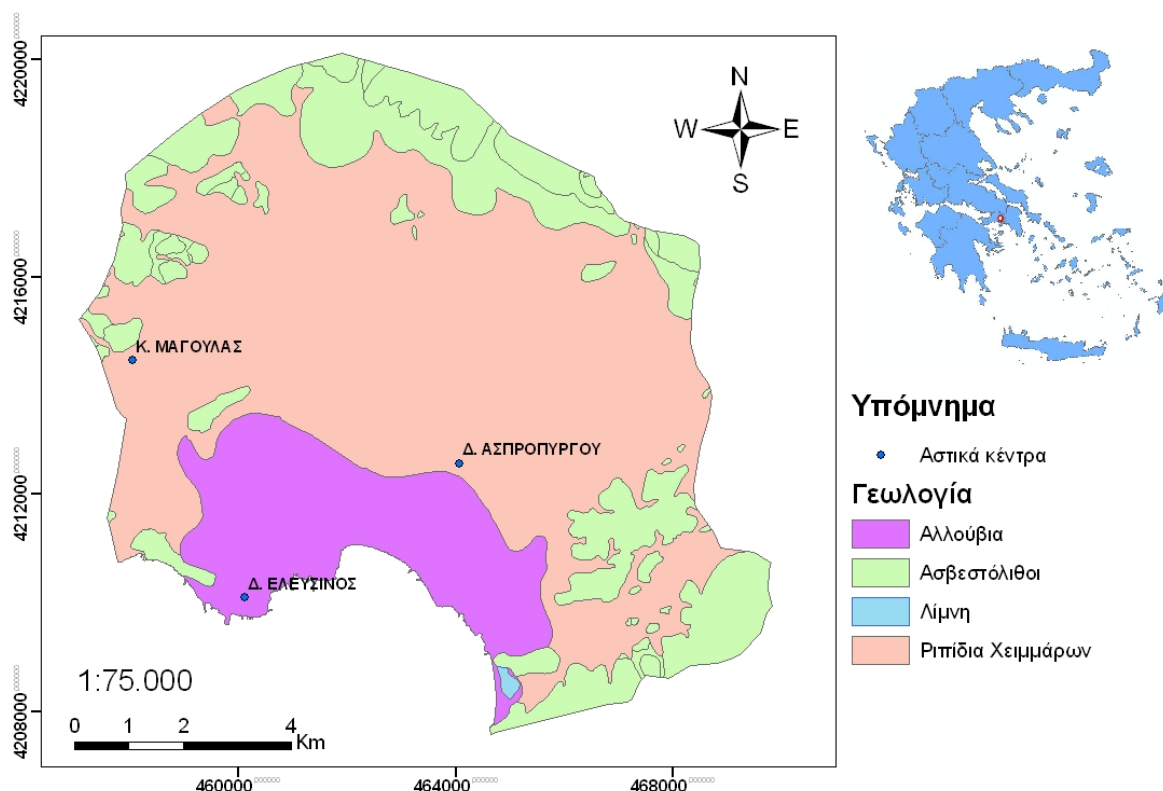
Κατηγορία	Κωδικοί Corine	Κατηγορία	Κωδικοί Corine	Κατηγορία	Κωδικοί Corine
Αστική	111	Αγροτική	222	Δασική	312
περιοχή	112	περιοχή	223	περιοχή	323
	121		241		324
	123		242		333
	124		244		321



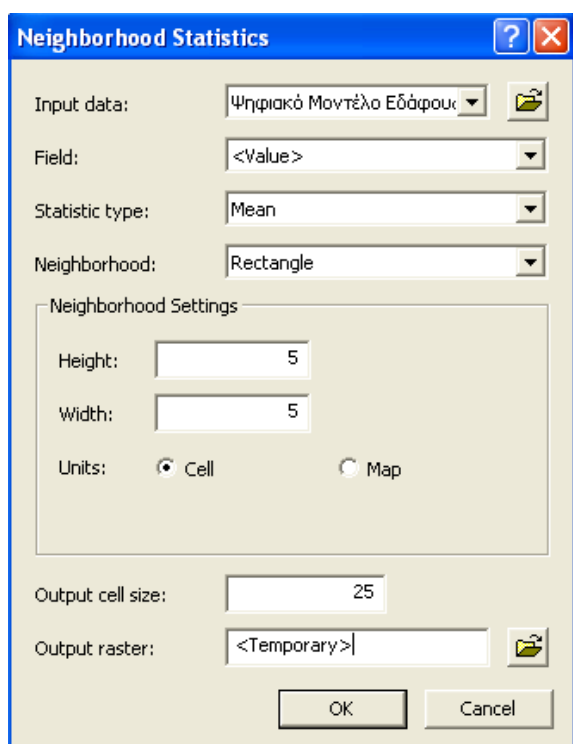
Χάρτης 1: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου



Χάρτης 2: Χρήσεις γης στο Θριάσιο πεδίο



Χάρτης 3: Γεωλογικός χάρτης του Θριάσιου πεδίου



Σχήμα 8-2: Εφαρμογή φίλτρου στο ΨΜΕ

Πηγή: Περιβάλλον ArcMap

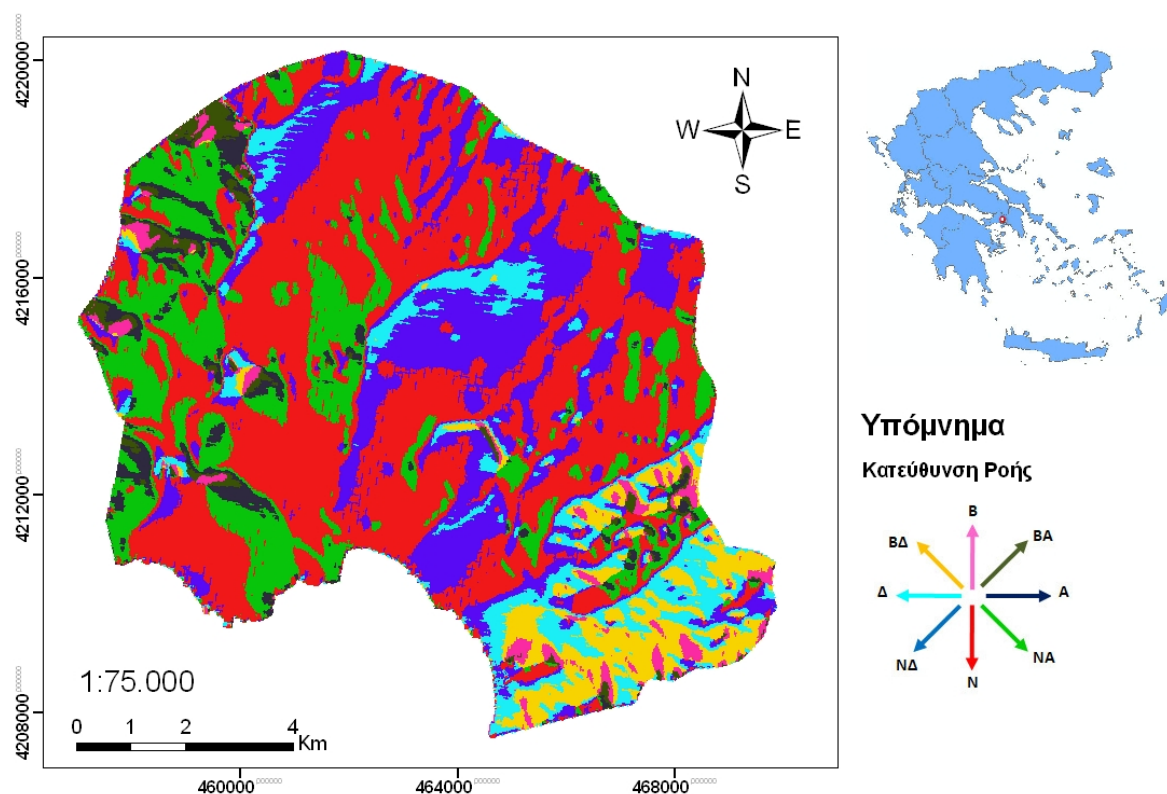
Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους στην πρωτογενή του μορφή παρουσιάζει «θόρυβο» και κρίθηκε απαραίτητη μέσω του spatial analyst η εφαρμογή φίλτρου (σχήμα 8-2) πριν την εξαγωγή των παραγόμενων επιπέδων (κλίση εδάφους, υδρολογία), συνεπώς στο εξής όπου γίνεται αναφορά στο ΨΜΕ εννοείται αυτό που έχει προκύψει μετά την εφαρμογή του φίλτρου.

8.3 Υδρολογική ανάλυση

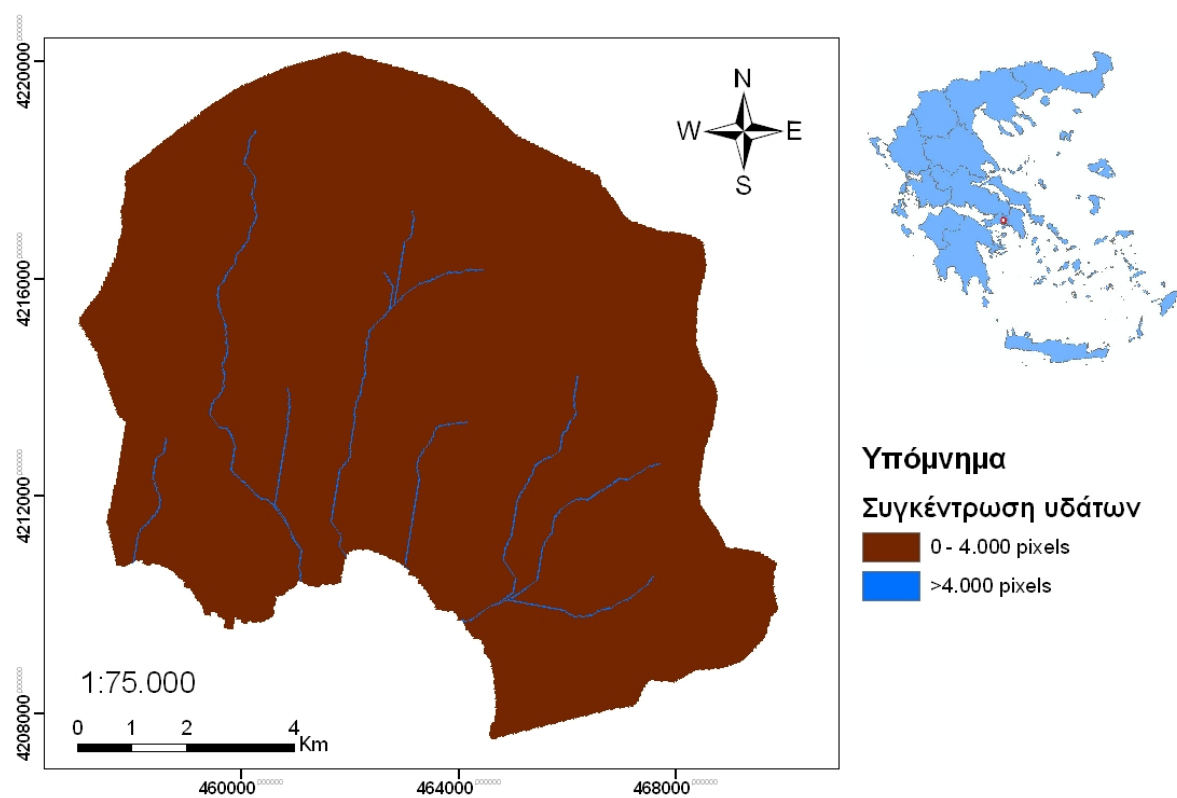
Η υδρολογική ανάλυση της περιοχής του Θριάσιου πεδίου αποσκοπεί στη χαρτογραφική απεικόνιση των ρεμάτων. Για αυτό το σκοπό θα εκτελεστούν οι εντολές Fill, Flow direction και Flow accumulation, του spatial analyst tools > Hydrology μέσω του arctoolbox (αναλυτική περιγραφή των εντολών στην παράγραφο 4.2). Από την παραπάνω διαδικασία εξάγεται ο χάρτης της κατεύθυνσης ροής των υδάτων (χάρτης 4) και ο χάρτης των ρεμάτων (χάρτης 5).

Παρατηρούμε ότι η κύρια διεύθυνση ροής των υδάτων είναι η νότια, αυτό οφείλεται στη μείωση του υψομέτρου από βορρά προς νότο και εξηγεί την κατάληξη των υδάτων στη θάλασσα. Από το επίπεδο της κατεύθυνσης ροής εξάγεται το επίπεδο συγκέντρωσης ροής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι η μέθοδος της υδρολογικής ανάλυσης είναι αυτοματοποιημένος τρόπος υπολογισμού επομένως εν έχει κινδύνους. Ο ορισμός τάξεων για το επίπεδο της συγκέντρωσης γίνεται με υποκειμενικά κριτήρια, ωστόσο από τη βιβλιογραφική μελέτη αλλά και την υπαίθρια παρατήρηση της περιοχής προκύπτει ότι ο διαχωρισμός στα 4000pixels αποδίδει καλύτερα την πραγματική εικόνα.

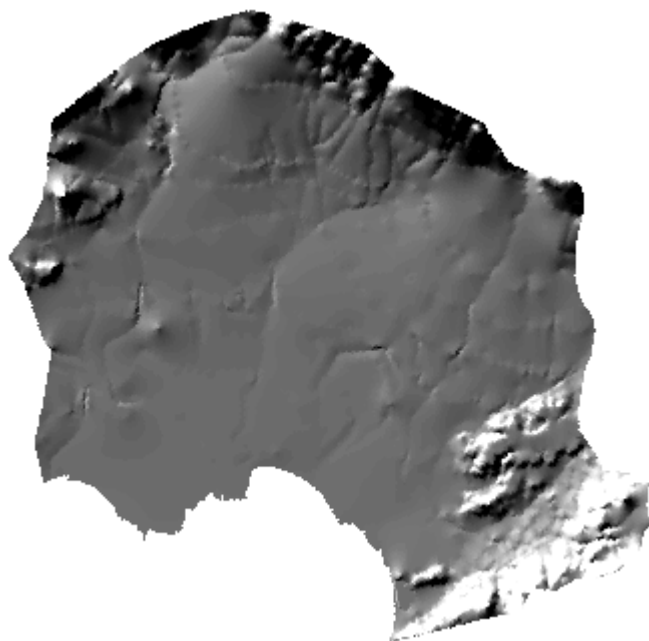
Ο συνδυασμός του επιπέδου συγκέντρωσης και της παρατήρησης του αναγλύφου της περιοχής μελέτης οδήγησε στην αποτύπωση του κύριου υδρογραφικού δικτύου (χάρτης 6).



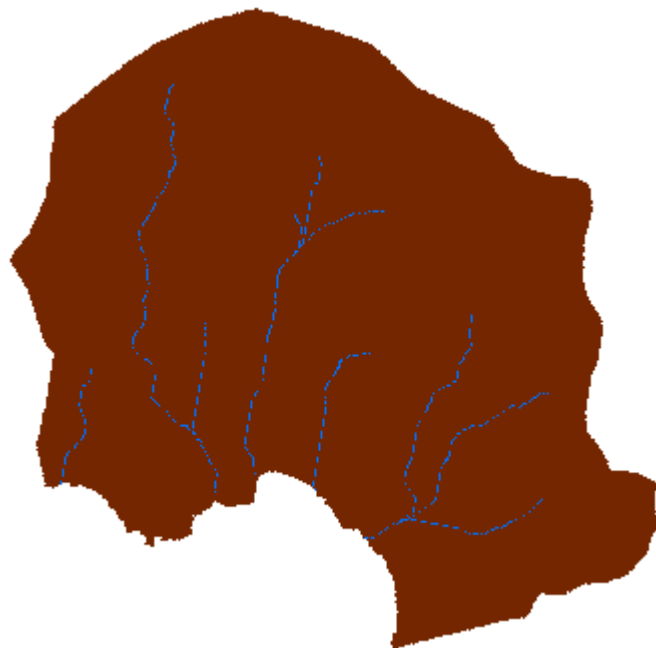
Χάρτης 4: Κατεύθυνση ροής υδάτων



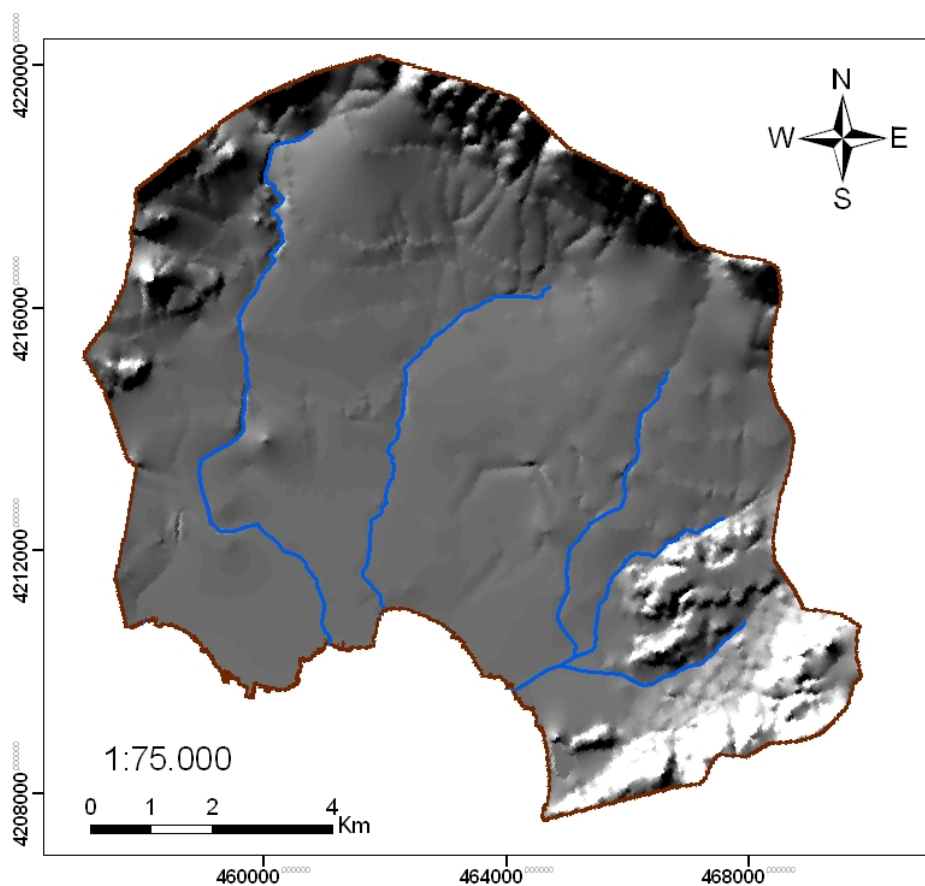
Χάρτης 5: Συγκέντρωση υδάτων



Ανάγλυφο εδάφους



Συγκέντρωση υδάτων



Υπόμνημα

— Ρέμα

Ανάγλυφο εδάφους

High
Low

Συγκέντρωση υδάτων

0 - 4.000 pixels
>4.000 pixels

Χάρτης 6: Αποτύπωση κύριου υδρογραφικού δικτύου

8.4 Δημιουργία επιπέδου κριτηρίων με τη μέθοδο Maut

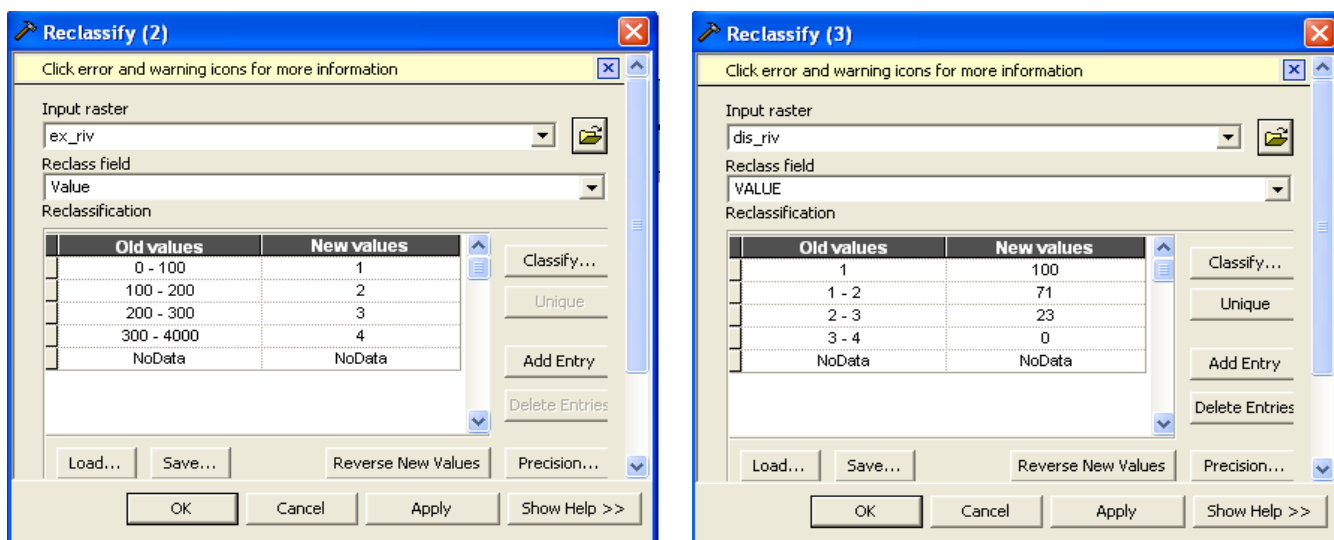
Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο

Από την υδρολογική ανάλυση της περιοχής μελέτης εξήχθησαν τα ρέματα του Θριάσιου πεδίου. Κριτήριο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποτελεί η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η επιλογή του συγκεκριμένου κριτηρίου έγινε γιατί από την καταγραφή των ιστορικών πλημμυρών της περιοχής παρατηρήθηκε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός πλημμυρών καταγράφηκε ύστερα από υπερχειλίση κάποιου ρέματος.

Με την εντολή Euclidean distance δημιουργήθηκαν ζώνες απόστασης από τα ρέματα. Λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία της περιοχής επιλέχθηκε η δημιουργία τριών ζωνών 100μ., 200μ. και 300μ. (σχήμα 8-3), τα σημεία που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 300μ. δεν λαμβάνονται υπόψη για το συγκεκριμένο κριτήριο καθώς δεν θεωρείται πιθανό να σημειωθεί σε αυτά πλημμύρα η οποία θα οφείλεται σε υπερχειλίση κάποιου ρέματος. Ακολούθησε η κατηγοριοποίηση των τάξεων σύμφωνα με τις κανονικοποιημένες τιμές της κλίμακας που ορίστηκε στον πίνακα 8 της παράγραφο 6.2². Η εντολή reclassify μέσω της οποίας γίνεται η κατηγοριοποίηση δεν μπορεί να δεχτεί δεκαδικές τιμές για αυτό εισάγονται οι κανονικοποιημένες τιμές πολλαπλασιασμένες με το 100 (σχήμα 8-3).

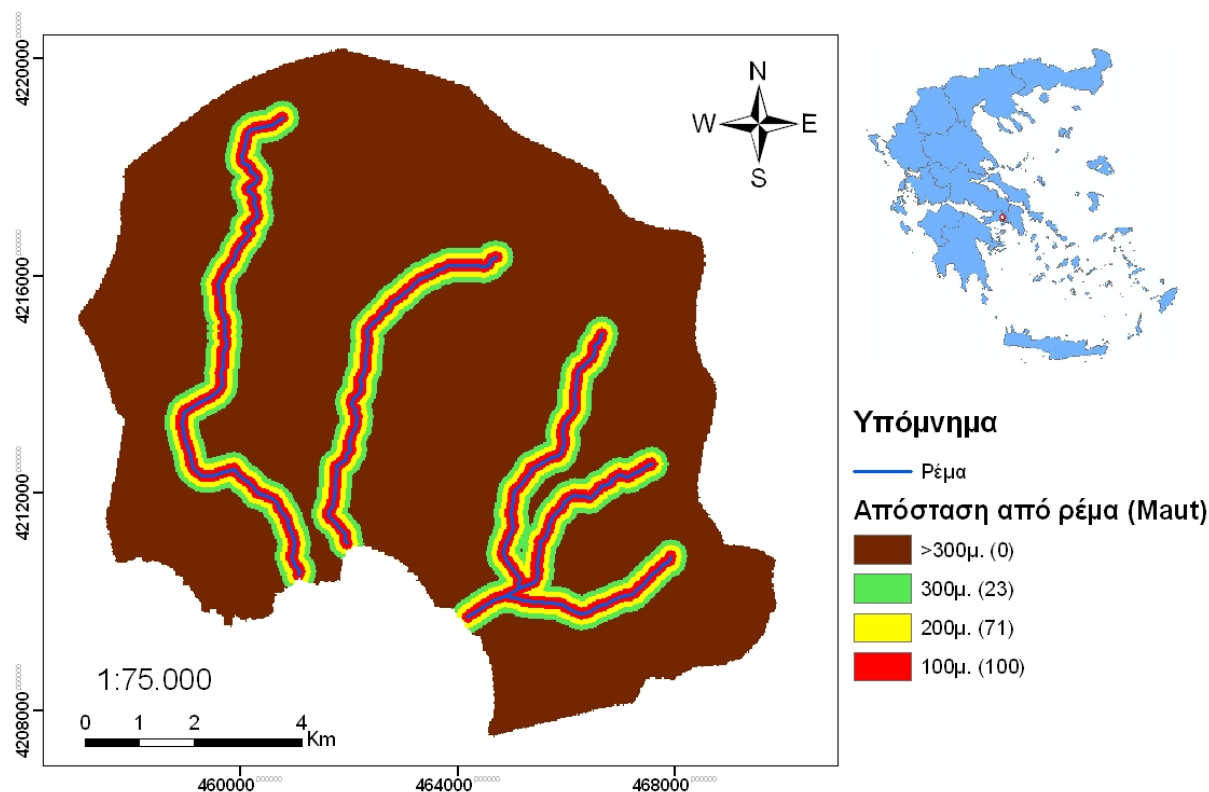
² Πίνακας 8 της παραγράφου 6.2. για την κατάταξη και κανονικοποίηση των εναλλακτικών κατά την μέθοδο Maut

Κριτήρια	Εναλλακτικές	Ποιοτική κατάταξη	Ποσοτική κατάταξη	Κανονικοποίηση
Κλίση εδάφους	0-2%	VH	95	1
	2-7%	H	70	0.74
	7-15%	M	50	0.53
	>15%	L	10	0.11
Χρήσεις γης	Αγροτική περιοχή	M	40	0.47
	Αστική περιοχή	VH	85	1
	Δασική περιοχή	L	7	0.08
Γεωλογία	Αλλούβια	H	68	1
	Ασβεστόλιθοι	M	40	0.59
	Ριτίδια	L	15	0.22
Υδρογραφικό δίκτυο	100m	VH	87	1
	200m	H	62	0.71
	300m	L	20	0.23



Σχήμα 8-3: Ζώνες απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο και ορισμός κανονικοποιημένων τιμών

Στο χάρτη 7, αποτυπώνονται οι ζώνες των 100μ., 200μ. και 300μ. απόστασης από τα ρέματα και οι κανονικοποιημένες τιμές της κάθε κατηγορίας. Οι περιοχές με απόσταση μέχρι 100μ. (κόκκινη ζώνη) από την κοίτη του ρέματος παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας λόγω υπερχειλίσσης του ρέματος για αυτό και τους αποδίδεται η τιμή 100. Το επίπεδο αυτό αποτελεί ένα από τα τέσσερα κριτήρια που θα ληφθεί υπόψη για τη δημιουργία του τελικού χάρτη εκτίμησης των επικίνδυνων για εμφάνιση πλημμύρας περιοχών του Θριάσιου πεδίου.

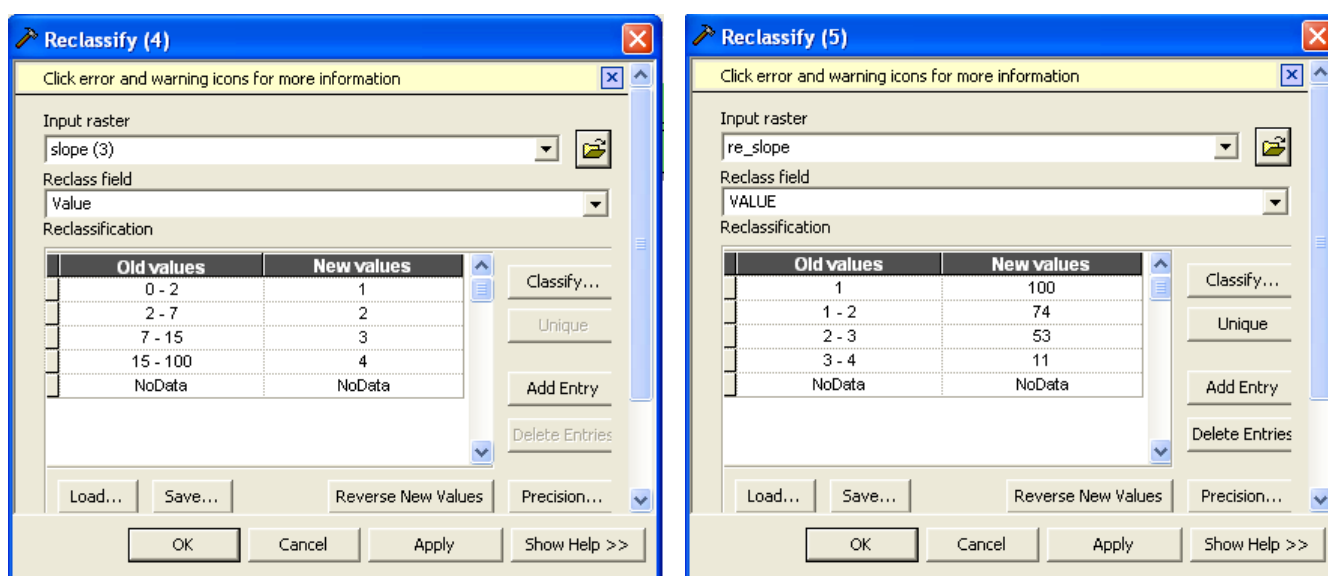


Χάρτης 7: Ζώνες απόστασης από ρέμα

Κλίση εδάφους

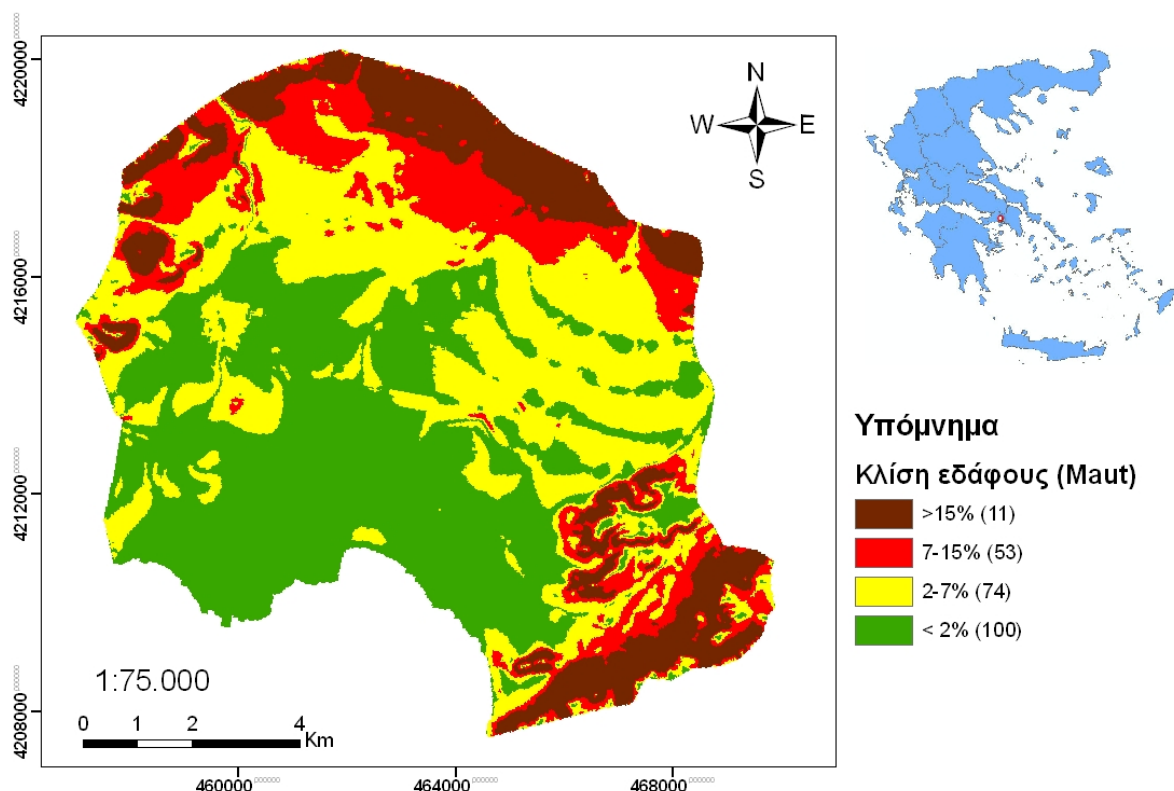
Η κλίση του εδάφους κατέχει σημαντικό ρόλο στη μελέτη πλημμυρικού φαινομένου καθώς στις περιοχές με χαμηλή κλίση παρατηρείται μείωση της ροής και συγκέντρωση των υδάτων με αποτέλεσμα την αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμύρας.

Από το ΨΜΕ με την εκτέλεση της εντολής slope εξάγουμε την κλίση του εδάφους σε ποσοστό επί τοις εκατό και ταξινομούμε αυτή σε τέσσερις τάξεις. Από την παγκόσμια βιβλιογραφία είναι κοινά αποδεκτός ο διαχωρισμός της κλίσης σε <5%, 5-10%, 10-30% και >30%. Ωστόσο, επειδή το Θριάσιο πεδίο κατά τη μεγαλύτερη έκταση του χαρακτηρίζεται από χαμηλές κλίσεις η παραπάνω ταξινόμηση δεν κρίνεται κατάλληλη καθώς σε μια τάξη θα περιλαμβάνονταν το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Έτσι, επιλέχθηκε η ταξινόμηση της κλίσης βάσει των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της σε 4 τάξεις, < 2%, 2-7%, 7-15% και >15% (σχήμα 8-4) και ακολούθησε η κατηγοριοποίηση των τάξεων σύμφωνα με τις κανονικοποιημένες τιμές του πίνακα 8 της παραγράφου 6.2.



Σχήμα 8-4: Καθορισμός τάξεων του επιπέδου της κλίσης εδάφους και ορισμός κανονικοποιημένων τιμών

Στο χάρτη 8 των κλίσεων του εδάφους παρατηρούμε ότι η ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου πεδίου χαρακτηρίζεται από μικρές κλίσεις. Στα πλαίσια της μελέτης, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο τμήμα της πεδιάδας που είναι σχεδόν επίπεδο, κλίση μικρότερη του 2%, καθώς λόγω αυτού του χαρακτηριστικού παρατηρείται μείωση της ροής των υδάτων και συνεπώς αύξηση της συσσώρευσης και του ύψους του νερού.



Χάρτης 8: Κλίση εδάφους κατηγοριοποιημένη σε τάξεις

Χρήσεις γης

Η επιφανειακή κάλυψη του εδάφους επηρεάζει σημαντικά την εμφάνιση ή μη πλημμυρικού φαινομένου. Μια αστική ή βιομηχανική περιοχή, περιοχές όπου το έδαφος είναι καλυμμένο με μη υδροπερατά υλικά, όπως τσιμέντο, ασφάλτο, κ.α. παρουσιάζει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας συγκριτικά με μια δασική ή αγροτική περιοχή όπου ποσότητα των κατακρημνισμάτων κατεισδύει στο έδαφος με αποτέλεσμα τη μείωση της επιφανειακής ροής.

Με γνώμονα τα παραπάνω δημιουργήθηκαν τρεις τάξεις για το επίπεδο των χρήσεων γης, αυτή της αστικής, της αγροτικής και της δασικής περιοχής (παράγραφος 8.1). Στον πίνακα δεδομένων του επιπέδου των χρήσεων γης (σχήμα 8-5) προστέθηκαν δυο πεδία και καταγράφηκαν οι κανονικοποιημένες τιμές της κλίμακας 0-1 όπως έχουν οριστεί στον πίνακα 8 της παραγράφου 6.2.

Το επίπεδο της χρήσης γης στην πρωτογενή του μορφή είναι διανυσματικό, για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η υπέρθεση των παραμετρικών χαρτών να γίνει με αρχεία ψηφιδωτής μορφής, οπότε με την εντολή polygon to raster (σχήμα 8-6) και μέσω του πεδίου των κανονικοποιημένων τιμών (LU_nor_100) μετατρέπεται το αρχικό διανυσματικό αρχείο σε ψηφιδωτό.

Attributes of Χρήσεις γης

FID	Shape *	COR	area km2	categories	land use n	LU nor 100
6	Polygon	223	10,14	Αγροτική περιοχή	0,47	47
12	Polygon	223	16,03	Αγροτική περιοχή	0,47	47
14	Polygon	241	2,584956	Αγροτική περιοχή	0,47	47
15	Polygon	242	14,27	Αγροτική περιοχή	0,47	47
24	Polygon	222	0,209546	Αγροτική περιοχή	0,47	47
38	Polygon	241	5,419681	Αγροτική περιοχή	0,47	47
40	Polygon	223	1,575431	Αγροτική περιοχή	0,47	47
42	Polygon	223	2,89781	Αγροτική περιοχή	0,47	47
45	Polygon	244	4,420515	Αγροτική περιοχή	0,47	47
47	Polygon	242	2,424076	Αγροτική περιοχή	0,47	47
16	Polygon	121	1,636167	Αστική περιοχή	1	100
17	Polygon	121	0,304604	Αστική περιοχή	1	100
19	Polygon	112	0,914899	Αστική περιοχή	1	100
21	Polygon	124	2,71338	Αστική περιοχή	1	100
25	Polygon	121	1,072028	Αστική περιοχή	1	100
30	Polygon	121	1,277808	Αστική περιοχή	1	100
32	Polygon	123	0,125212	Αστική περιοχή	1	100
41	Polygon	242	0,680082	Αστική περιοχή	1	100
44	Polygon	112	3,694712	Αστική περιοχή	1	100
48	Polygon	111	1,223658	Αστική περιοχή	1	100
0	Polygon	321	0,031954	Δασική περιοχή	0,08	8
1	Polygon	324	2,533724	Δασική περιοχή	0,08	8
2	Polygon	323	0,798011	Δασική περιοχή	0,08	8
4	Polygon	312	0,327891	Δασική περιοχή	0,08	8
5	Polygon	312	0,190639	Δασική περιοχή	0,08	8
7	Polygon	324	0,595058	Δασική περιοχή	0,08	8
8	Polygon	321	4,753529	Δασική περιοχή	0,08	8
9	Polygon	321	0,746643	Δασική περιοχή	0,08	8
10	Polygon	312	0,968742	Δασική περιοχή	0,08	8

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 52)

Σχήμα 8-5: Πίνακας δεδομένων του επιπέδου χρήσεων γης

Polygon to Raster (3)

Input Features
land_use.shp (2)

Value field
LU_nor_100

Output Raster Dataset
F:\GIS\ptuxiaki\lood-risk\norm_LUse

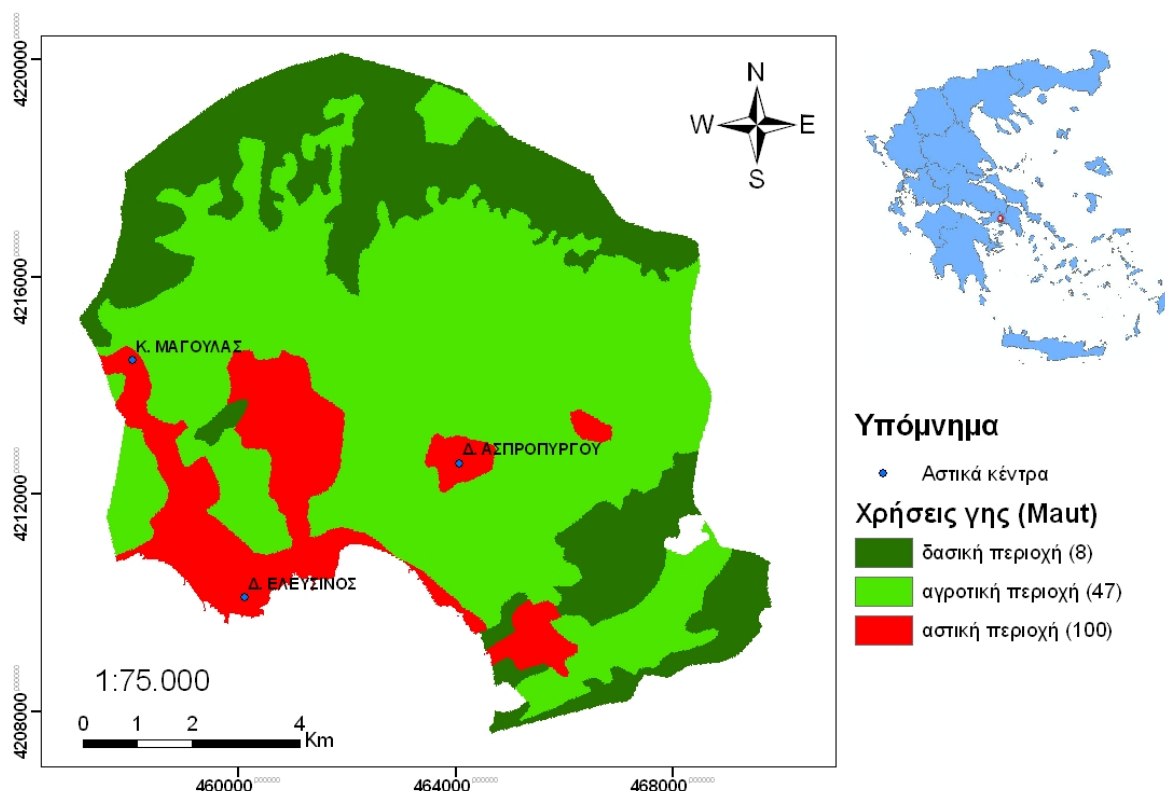
Cell assignment type (optional)
CELL_CENTER

Priority field (optional)
NONE

Cellsize (optional)
25

OK Cancel Apply Show Help >>

Σχήμα 8-6: Μετατροπή αρχείου διανυσματικής μορφής σε ψηφιδωτή



Χάρτης 9: Χρήσεις γης κατηγοριοποιημένες σε τάξεις

Ο χάρτης 9, αποτελεί το κανονικοποιημένο κριτήριο των χρήσεων γης της περιοχής του Θριάσιου πεδίου. Σε κάθε εναλλακτική έχει δοθεί μια αντιπροσωπευτική τιμή βάσει της εκθεσιμότητας της στο πλημμυρικό φαινόμενο. Με κόκκινο (και κανονικοποιημένη τιμή 100) απεικονίζονται οι αστικές περιοχές οι οποίες αποτελούν την πιο επικίνδυνη ζώνη για εμφάνιση πλημμύρας.

Γεωλογία

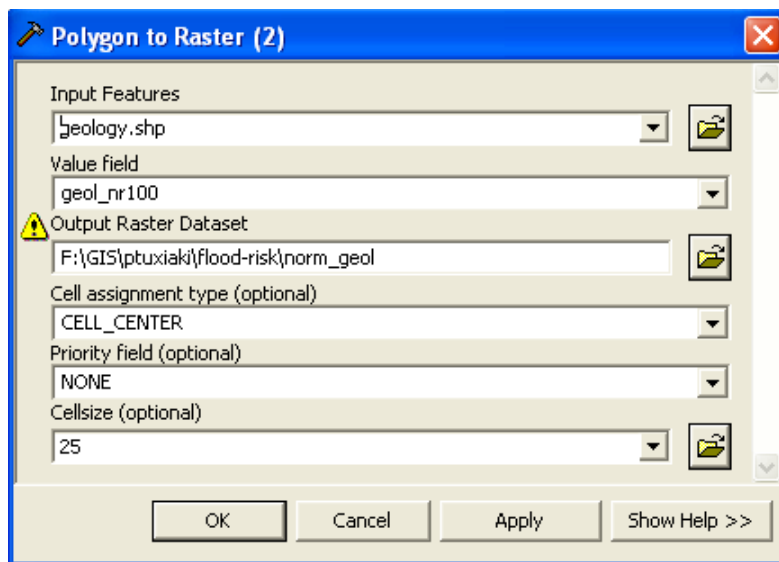
Το είδος των γεωλογικών σχηματισμών συμβάλλει στην εμφάνιση πλημμύρας. Συγκεκριμένα, η υδροπερατότητα των πετρωμάτων επηρεάζει τον όγκο της επιφανειακής απορροής. Στην περιοχή του Θριάσιου πεδίου συναντώνται τρεις σχηματισμοί πετρωμάτων τα αλλουβιακά, τα ασβεστολιθικά και τα ριπίδια χειμάρρων/κώνοι κορημάτων. Συγκρινόμενα μεταξύ τους βάσει της υδροπερατότητας τους τα ριπίδια αποτελούν αρκετά υδροπερατούς σχηματισμούς, τα ασβεστολιθικά πετρώματα χαρακτηρίζονται από μέτρια υδροπερατότητα, ενώ τα αλλουβία είναι σχεδόν αδιαπέρατα. Κατά συνέπεια μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας θα αναμενόταν στην περιοχή που συναντώνται αλλουβιακά πετρώματα και μικρότερη σε αυτή με σχηματισμούς από ριπίδια χειμάρρων.

Βάσει της υδροπερατότητας των πετρωμάτων της περιοχής έγινε η κατηγοριοποίηση αυτών σύμφωνα με την κλίμακα που ορίστηκε στον πίνακα 8 της παραγράφου 6.2. Το επίπεδο της γεωλογίας όπως και των χρήσεων γης στην πρωτογενή του μορφή είναι διανυσματικό, οπότε οι κανονικοποιημένες τιμές των εναλλακτικών καταγράφονται στον πίνακα δεδομένων (σχήμα 8-7) και ακολουθεί η μετατροπή του επιπέδου σε ψηφιδωτή μορφή (σχήμα 8-8).

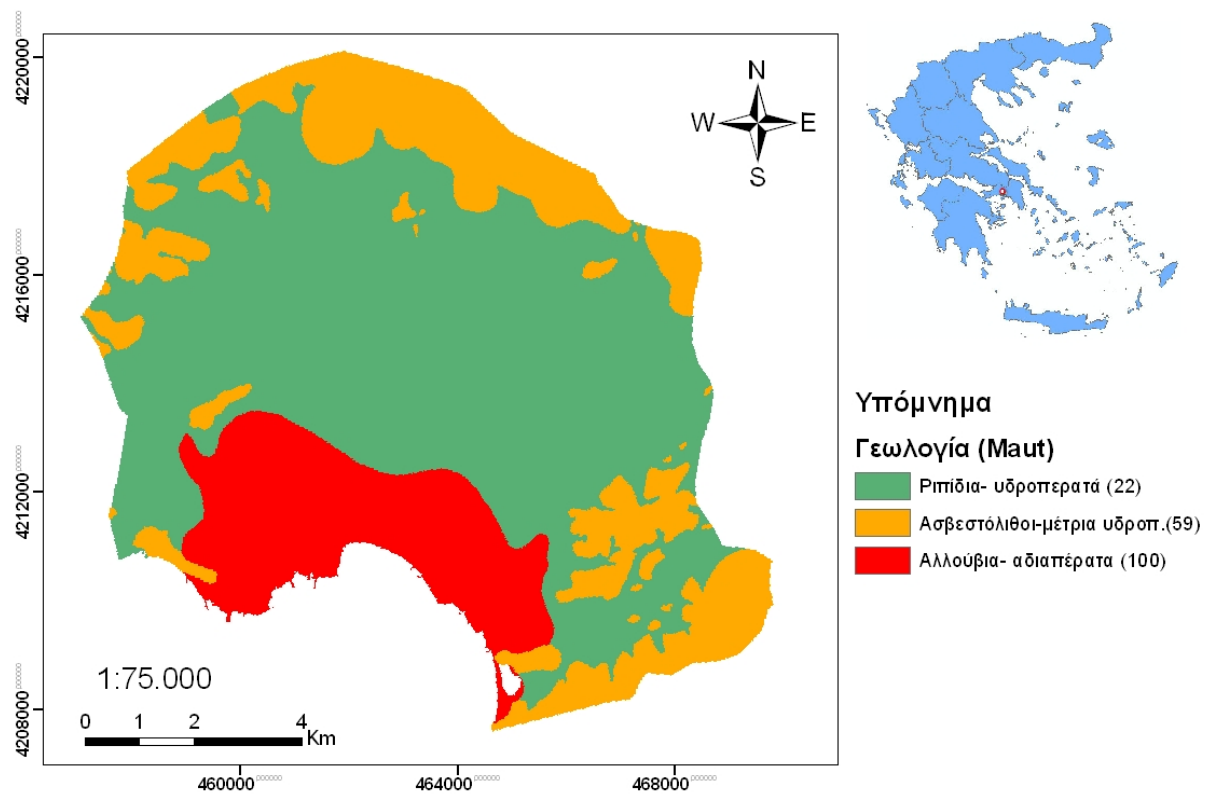
Από το γεωλογικό χάρτη (χάρτης 10) παρατηρούμε ότι τα αδιαπέρατα πετρώματα βρίσκονται στη νότια πλευρά της περιοχής μελέτης οπότε βάσει αυτού του κριτηρίου αναμένεται το νότιο τμήμα να εμφανίζει μεγαλύτερη τρωτότητα σε πλημμύρα. Ωστόσο το επίπεδο της γεωλογίας αποτελεί το ένα από τα τέσσερα εξεταζόμενα κριτήρια για το υπό μελέτη φαινόμενο.

Attributes of Γεωλογία							
FID	Shape *	objectid	lithology	area km2	geol nor	geol nr100	
18	Polygon	91802	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,064265	0,59	59	
19	Polygon	91808	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,133888	0,59	59	
20	Polygon	91832	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,009222	0,59	59	
21	Polygon	91833	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,004383	0,59	59	
22	Polygon	91849	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,085075	0,59	59	
23	Polygon	91855	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,015854	0,59	59	
24	Polygon	91863	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,160102	0,59	59	
25	Polygon	91889	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,107968	0,59	59	
26	Polygon	91903	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,007036	0,59	59	
27	Polygon	91904	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,161749	0,59	59	
28	Polygon	91914	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,148791	0,59	59	
29	Polygon	91916	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,150451	0,59	59	
30	Polygon	91918	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,031654	0,59	59	
31	Polygon	91971	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,299955	0,59	59	
32	Polygon	91980	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,044053	0,59	59	
33	Polygon	92037	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,015916	0,59	59	
34	Polygon	92039	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,363632	0,59	59	
35	Polygon	92137	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,012159	0,59	59	
36	Polygon	92175	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,013294	0,59	59	
37	Polygon	92215	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,021961	0,59	59	
38	Polygon	92299	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,01583	0,59	59	
39	Polygon	92333	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,147601	0,59	59	
40	Polygon	92391	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,019736	0,59	59	
41	Polygon	92446	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,01544	0,59	59	
42	Polygon	92447	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,009024	0,59	59	
43	Polygon	92458	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,033068	0,59	59	
44	Polygon	92488	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,050534	0,59	59	
45	Polygon	92499	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,147642	0,59	59	
46	Polygon	92511	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,424178	0,59	59	
47	Polygon	92551	ΛΙΜΝΗ	0,140688	0	0	
48	Polygon	91709	ΡΙΠΙΔΙΑ, ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ	61,71	0,22	22	
49	Polygon	92081	ΑΛΛΟΥΒΙΑ	16,16	1	100	
50	Polygon	92086	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	4,447077	0,59	59	
51	Polygon	92301	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,538817	0,59	59	

Σχήμα 8-7: Πίνακας δεδομένων του επιπέδου της γεωλογίας



Σχήμα 8-8: Μετατροπή διανυσματικού αρχείου σε ψηφιδωτό



Χάρτης 10: Γεωλογικοί σχηματισμοί του Θιράσιου πεδίο κατηγοριοποιημένοι σε τάξεις

8.5 Σύνθεση παραμετρικών χαρτών κατά Maut

Από τα πρωτογενή δεδομένα εξάγαμε τα επίπεδα που αποτελούν τα κριτήρια για τον καθορισμό των ευάλωτων σε πλημμύρα περιοχών του Θριάσιου πεδίου. Ταξινομήθηκαν οι εναλλακτικές των κριτηρίων και κατηγοριοποιήθηκαν βάσει των κανονικοποιημένων τιμών μιας κλίμακας που ορίστηκε με τιμές από 0 μέχρι 1, έτσι προέκυψαν τα επίπεδα των κριτηρίων. Για την δημιουργία του τελικού χάρτη αποτίμησης του φαινομένου μελέτης μένει η σύνθεση των κριτηρίων λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη τους. Στην κλίση του εδάφους και στην απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο δόθηκε η μεγαλύτερη σπουδαιότητα αφού κατά την κρίση του μελετητή θεωρήθηκε ότι οι περιοχές με χαμηλή κλίση και αυτές που βρίσκονται πιο κοντά σε ρέμα έχουν αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας. Στον πίνακα 9 της παραγράφου 6.2. που παρατίθεται στη συνέχεια καταγράφονται τα βάρη του εκάστοτε κριτηρίου.

Η σύνθεση των παραμετρικών χαρτών των κριτηρίων λαμβάνοντας υπόψη και τα βάρη τους γίνεται με την εντολή *weighted sum* (σχήμα 8-9). Τα βάρη των κριτηρίων κατά τη σύνθεση των επιπέδων διαιρούνται με 100 (διότι κατά την κατηγοριοποίηση των εναλλακτικών οι κανονικοποιημένες τιμές είχαν πολλαπλασιαστεί με 100) ώστε ο τελικός χάρτης που προκύπτει να έχει τιμές στην παγκοσμίως αποδεκτή κλίμακα 0-1³.

Ο χάρτης 11, που προκύπτει κατατάσσει τις περιοχές του Θριάσιου πεδίου σε κατηγορίες σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας. Παρατηρούμε ότι οι περιοχές με πολύ αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου είναι αυτές που συνδυάζουν τις μέγιστες τιμές και στα τέσσερα κριτήρια, δηλαδή πρόκειται για αστικές περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ρέματα σε περιοχή με χαμηλή κλίση και τα πετρώματά τους είναι μη υδροπερατά. Επιπλέον παρατηρούμε ότι η αστική περιοχή της Κ.Μαγούλας και μεγάλο τμήμα της αστικής ζώνης του Δ.Ασπροπύργου δεν βρίσκονται στη ζώνη υψηλού κινδύνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο τελικός χάρτης έχει προκύψει από τη σύνθεση των τεσσάρων κριτηρίων σύμφωνα με τη βαρύτητα που τους αποδόθηκε και κατά την οποία το κριτήριο των χρήσεων γης κατατάσσεται τρίτο, έναντι της κλίσης του εδάφους και της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο που έχουν τη μεγαλύτερη βαρύτητα για το φαινόμενο μελέτης. Για αυτό το λόγο οι περιοχές που βρίσκονται νότια (βάσει του χάρτη κλίσεων του εδάφους έχουν τη μικρότερη κλίση) και κοντά στο υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζουν πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης πλημμύρας.

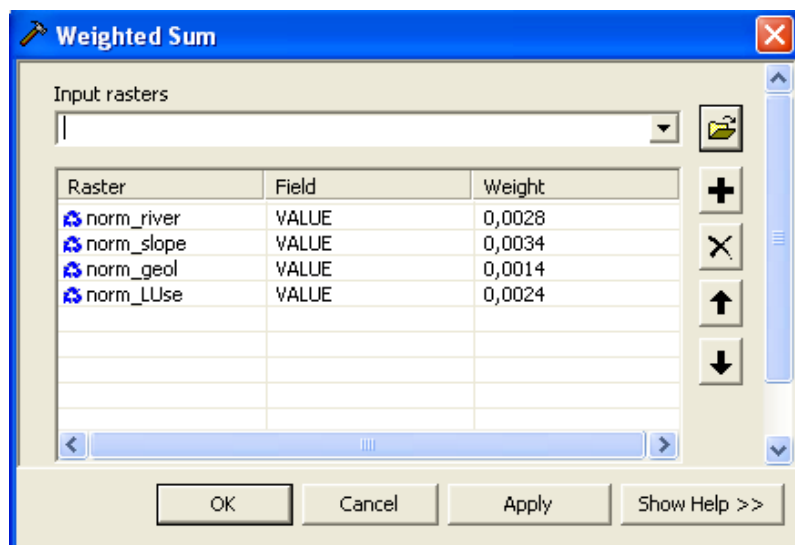
Ο χάρτης 12, απεικονίζει το αποτέλεσμα της εφαρμογής της παραπάνω διαδικασίας ορίζοντας τις εναλλακτικές της κλίσης του εδάφους βάσει της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, δηλαδή <5%, 5-10%, 10-30% και >30% και τις εναλλακτικές της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο στα 300μ., 700μ. και 1000μ. Παρατηρούμε ότι οι περιοχές που παρουσιάζουν πολύ υψηλό και υψηλό κίνδυνο για την εμφάνιση πλημμύρας

³ Στο παράρτημα απεικονίζονται διαγραμματικά μέσω του MODEL BUILDER η εκτέλεση της διαδικασίας στο ArcGIS.

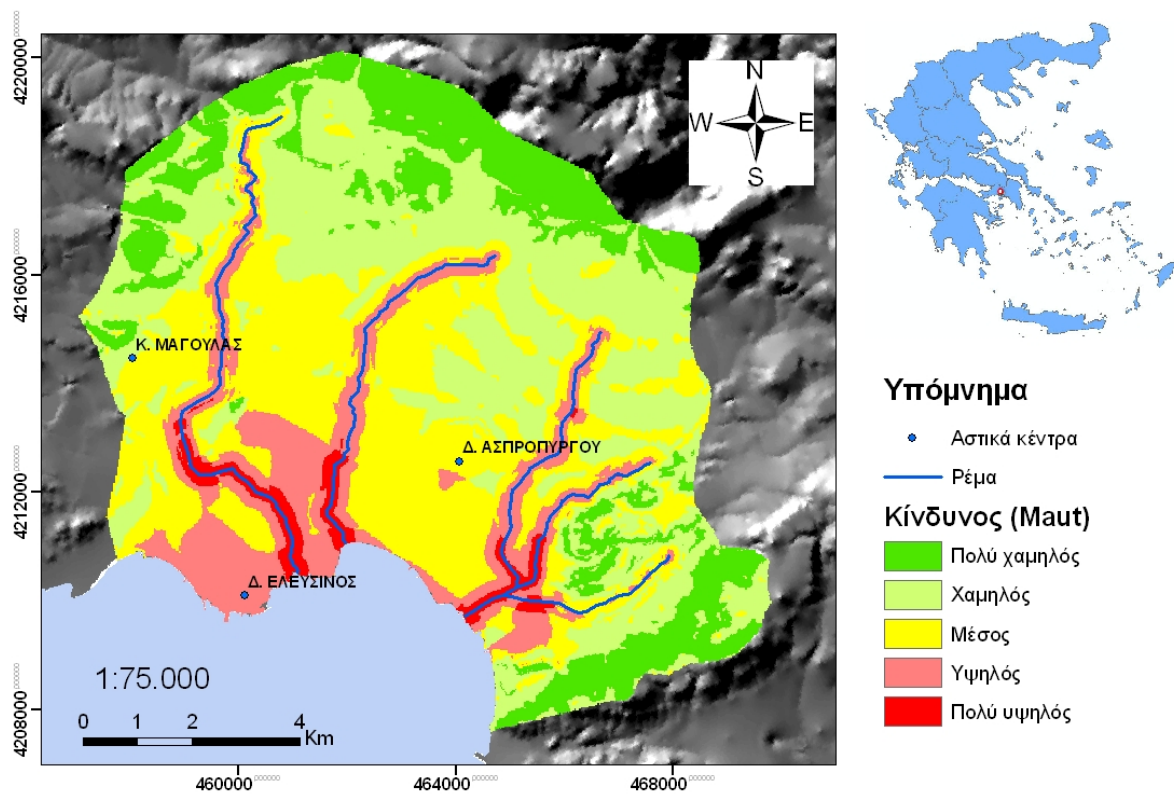
καταλαμβάνουν τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, γεγονός που δεν διευκολύνει την αξιοποίηση του αποτελέσματος για τη λήψη μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας της περιοχής του Θριάσιου πεδίου. Συνεπώς ορθώς επιλέχθηκε η μελέτη να εφαρμοστεί ακολουθώντας τον ορισμό των εναλλακτικών βάσει των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης.

(Πίνακας 9, παραγράφου 6.2)

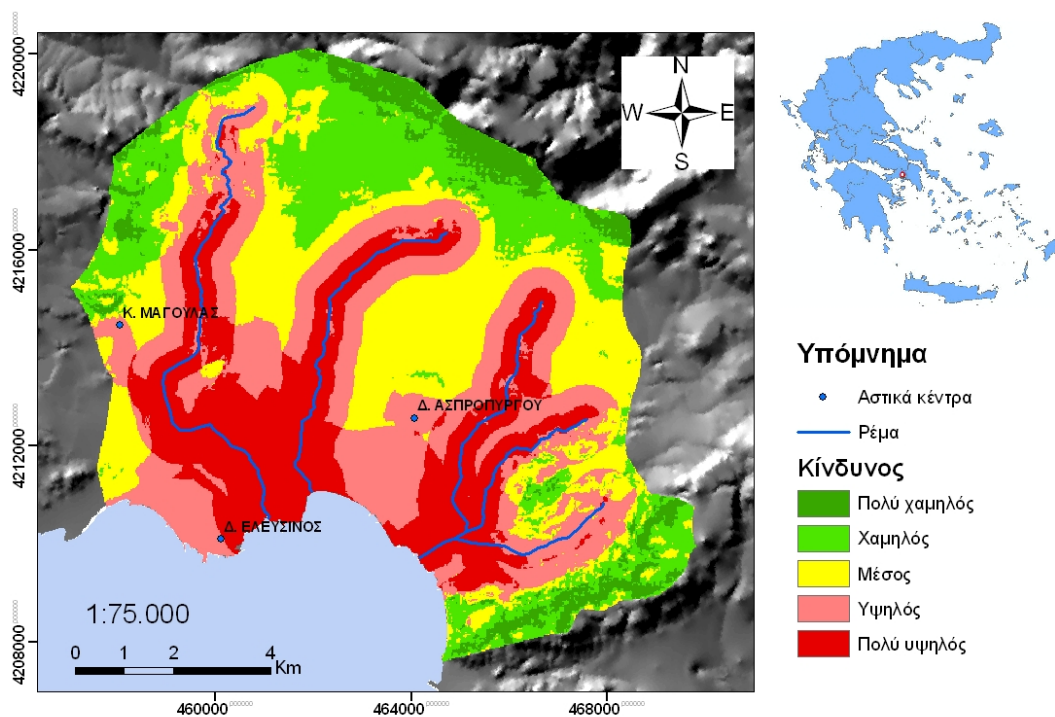
Κριτήρια	Σχετική σπουδαιότητα	Βάρη (Κανονικοποίηση)
Κλίση εδάφους	100	0.34
Υδρογραφικό δίκτυο	85	0.28
Χρήσεις γης	70	0.24
Γεωλογία	40	0.14
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	295	1



Σχήμα 8-9: Σύνθεση παραμετρικών χαρτών με συντελεστή βαρύτητας



Χάρτης 11: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας (μέθοδος MAUT)



Χάρτης 12: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας ορίζοντας τις τάξεις των κριτηρίων βάσει των παγκοσμίως αποδεκτών τιμών (μέθοδος MAUT)

8.6 Δημιουργία επιπέδων κριτηρίου με τη μέθοδο AHP

Για τη δημιουργία των επιπέδων των τεσσάρων κριτηρίων που λαμβάνονται υπόψη για τη μελέτη του φαινομένου με τη μέθοδο AHP διατηρούνται οι ίδιες εναλλακτικές στην κλίμακα και τις κανονικοποιημένες τιμές που τους δόθηκαν κατά την εξέταση του φαινομένου με τη μέθοδο Maut. Η σπουδαιότητα των εναλλακτικών του εκάστοτε κριτηρίου καθώς και τα βάρη των κριτηρίων δίνονται στον πίνακα 16 της παραγράφου 7.2⁴.

Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο

Για το κριτήριο της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο έχουν ήδη οριστεί τρεις ζώνες 100μ., 200μ. και 300μ. (οι εναλλακτικές του κριτηρίου), και έχουν ταξινομηθεί σε κλίμακα από 0-1. Για τη δημιουργία του επιπέδου του κριτηρίου της απόστασης από τα ρέματα πρέπει να υπολογιστεί η κάθε εναλλακτική με την αντίστοιχη τιμή σπουδαιότητας που της αποδόθηκε μετά τη διαδικασία σύγκρισης κατά ζεύγη.

Για παράδειγμα η εναλλακτική της απόστασης των 100μ. από το ρέμα έχει τιμή $(1 \cdot 0,6807) \cdot 100 = 68$, οι τιμές πολλαπλασιάζονται με το 100 και στρογγυλοποιούνται καθώς

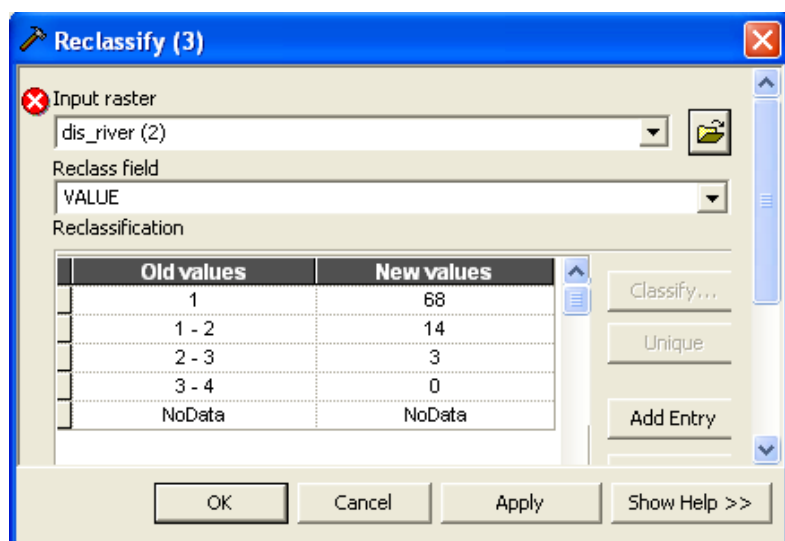
⁴ Πίνακας 16 της παραγράφου 7.2. ορισμός της σπουδαιότητας των εναλλακτικών και της βαρύτητας των κριτηρίων κατά τη μέθοδο της AHP

Κριτήρια	Εναλλακτικές	Ποσοτική κατάταξη	Κανονικοποίηση	Σπουδαιότητα εναλλακτικών	Βάρη κριτηρίων
Κλίση εδάφους	0-2%	95	1	0,5345	0,576
	2-7%	70	0.74	0,3040	
	7-15%	50	0.53	0,1075	
	>15%	10	0.11	0,0540	
Χρήσεις γης	Αγροτική περιοχή	40	0.47	0,1658	0,087
	Αστική περιοχή	85	1	0,7644	
	Δασική περιοχή	7	0.08	0,0698	
Γεωλογία	Αλλουβιακά	68	1	0,7482	0,049
	Ασβεστολιθικά	40	0.59	0,1804	
	Ριτίδια	15	0.22	0,0714	
Υδρογραφικό δίκτυο	100m	87	1	0,6807	0,288
	200m	62	0.71	0,2014	
	300m	20	0.23	0,1179	

η εντολή reclassify δεν δέχεται δεκαδικές τιμές. Αντίστοιχα προσδιορίζονται οι τιμές και των υπόλοιπων εναλλακτικών (σχήμα 8-10).

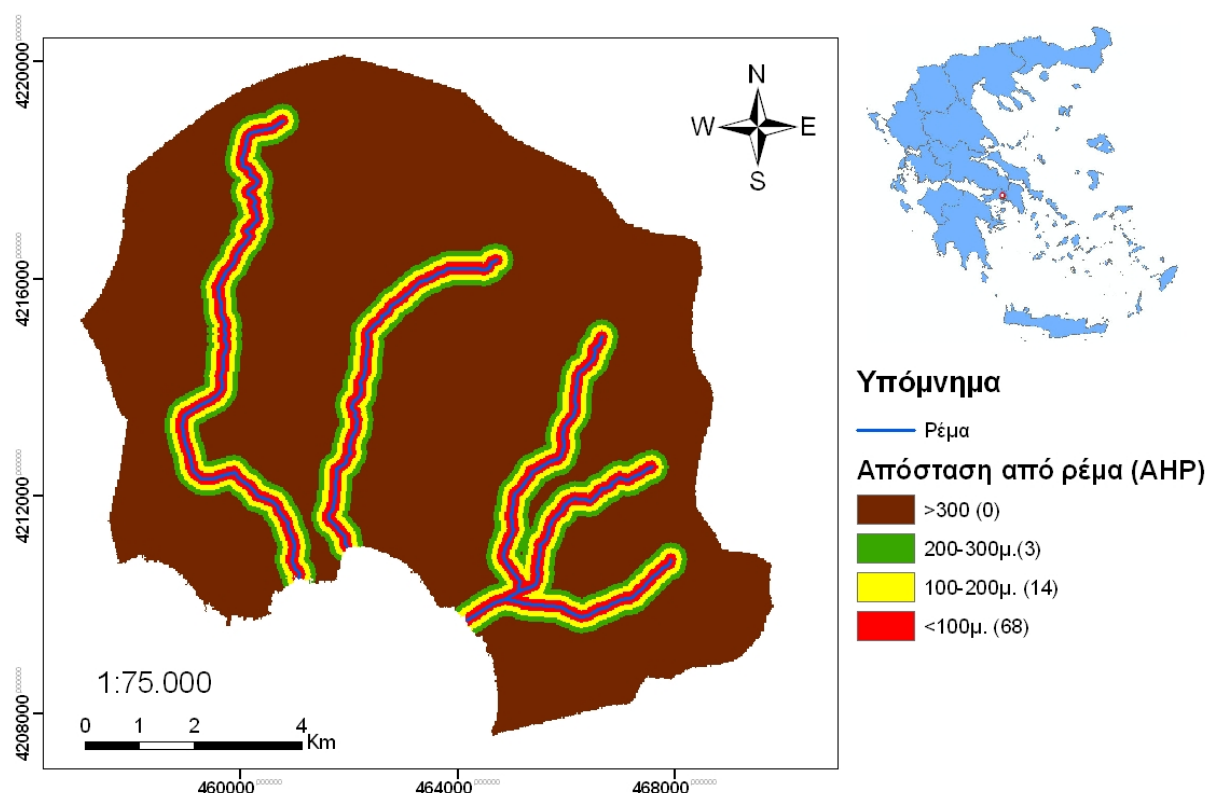
Το επίπεδο (χάρτης 13) που προκύπτει αποτελεί το κριτήριο της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο και δείχνει τις εναλλακτικές και τις τιμές τους σύμφωνα με την σπουδαιότητα που τους αποδόθηκε κατά την εφαρμογή της μεθόδου της AHP. Η ζώνη των 100μ. απόστασης από το ρέμα εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα καθώς θεωρείται η πιο ευάλωτη σε πλημμύρα περιοχή και η τιμή που παίρνει μετά και τον υπολογισμό της σπουδαιότητας της είναι 68 έναντι των υπόλοιπων δυο που η συμμετοχή τους στο κριτήριο της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο είναι μικρότερη, 14 και 3.

Παρατηρούμε ότι οπτικά ο χάρτης της απόστασης από το ρέμα είναι ίδιος και στις δυο μεθόδους αυτό συμβαίνει γιατί οι εναλλακτικές παρέμεναν ίδιες και η λογική απόδοσης του κινδύνου σε κάθε εναλλακτική είναι κοινή, ωστόσο κατά τη μέθοδο MAUT έγινε απλή ταξινόμηση των εναλλακτικών ενώ κατά την AHP αποδόθηκε βαθμός σπουδαιότητας ανάλογα με τη συμμετοχή τους στο κριτήριο.



Rowid	VALUE	COUNT
0	0	130713
1	3	10239
2	14	10509
3	68	11484

Σχήμα 8-10: Καθορισμός των τιμών των εναλλακτικών σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους κατά τη μέθοδο AHP



Χάρτης 13: Ζώνες απόστασης από ρέμα βάσει του κινδύνου εκδήλωσης πλημμύρας κατά ΑHP

Κλίση εδάφους

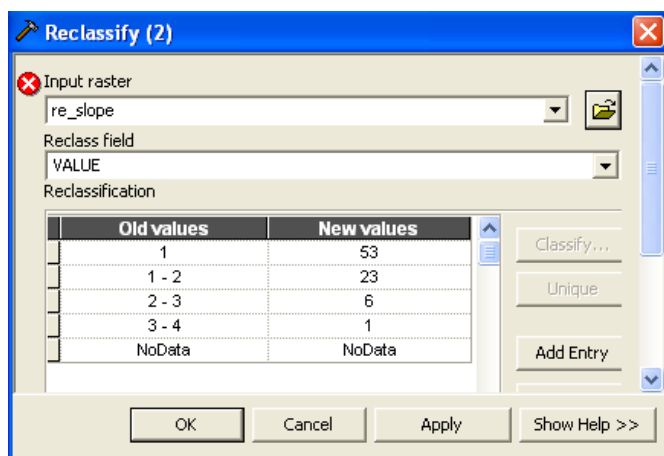
Η κλίση του εδάφους βάσει της τοπογραφίας της περιοχής έχει διαχωριστεί σε τέσσερις εναλλακτικές (<2%, 2-7%, 7-15% και >15%) οι οποίες έχουν κανονικοποιηθεί και συγκριθεί μεταξύ τους κατά ζεύγη, σύμφωνα με τη μέθοδο ΑHP, για τον προσδιορισμό της σπουδαιότητάς τους.

Από τη σύγκριση κατά ζεύγη προκύπτει ότι οι περιοχές με πολύ χαμηλή κλίση έχουν μεγαλύτερη συμβολή στο υπό μελέτη φαινόμενο έναντι των περιοχών που χαρακτηρίζονται από μεγάλη κλίση.

Για τη δημιουργία του επιπέδου του κριτηρίου της κλίσης ακολουθείται αντίστοιχη διαδικασία όπως και στο κριτήριο της απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο (σχήμα 8-11).

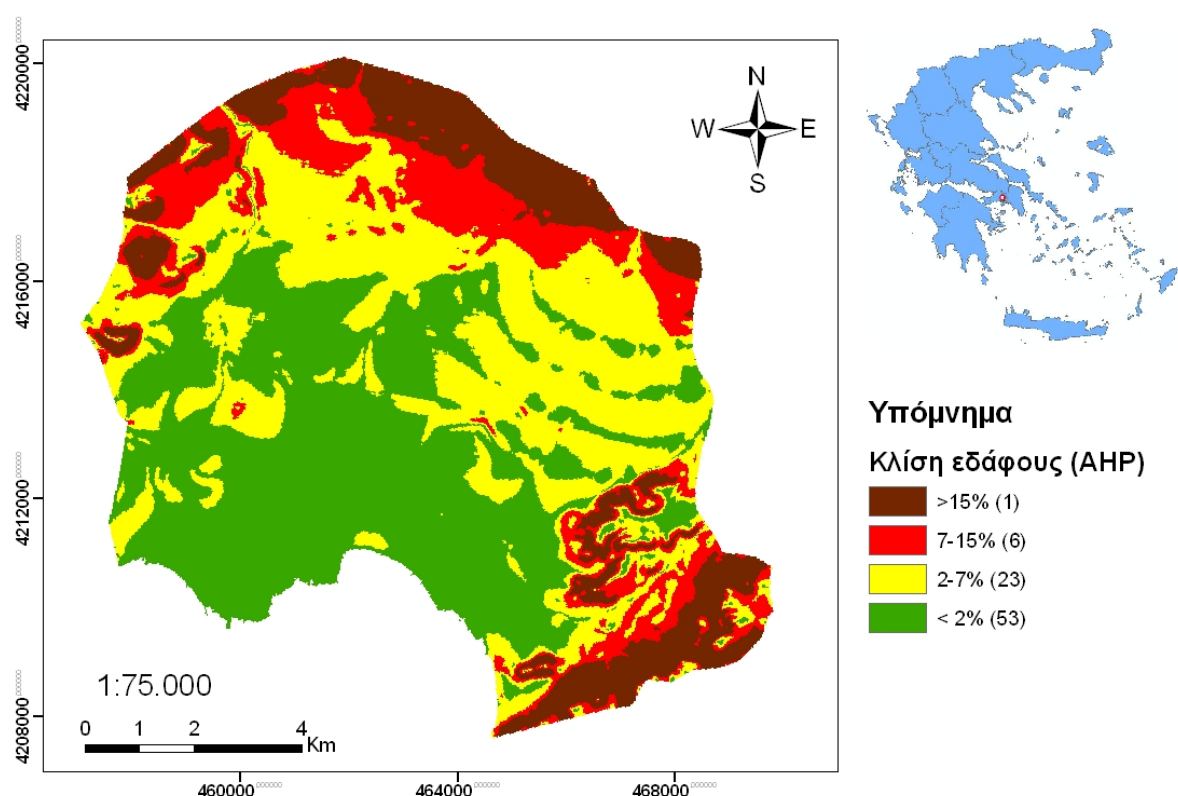
Το επίπεδο που προκύπτει βάσει των τιμών που αποδίδονται στις εναλλακτικές μετά και τον υπολογισμό της σπουδαιότητάς τους αποτελεί το κριτήριο της κλίσεως του εδάφους

(χάρτης 14). Οι περιοχές με χαμηλή κλίση έχουν τη μεγαλύτερη τιμή καθώς είναι αυτές που συμβάλλουν περισσότερο στην εμφάνιση πλημμύρας.



Rowid	VALUE *	COUNT
0	1	22869
1	6	24019
2	23	53132
3	53	63046

Σχήμα 8-11: Απόδοση της σπουδαιότητας για τις εναλλακτικές του κριτηρίου της κλίσης του εδάφους



Χάρτης 14: Ζωνοποίηση της κλίση του εδάφους βάσει του κινδύνου εκδήλωσης πλημμύρας κατά ΑΗΡ

Χρήσεις γης

Στο επίπεδο των χρήσεων γης έχουν δημιουργηθεί τρεις τάξεις, η αστική, η αγροτική και η δασική και στον πίνακα δεδομένων έχει προστεθεί το πεδίο με τις κανονικοποιημένες τιμές των τάξεων (παράγραφος 8.4). Από τη σύγκριση κατά ζεύγη των τριών εναλλακτικών του κριτηρίου των χρήσεων γης η αστική περιοχή είναι αυτή με το μεγαλύτερο βαθμό σπουδαιότητας έναντι της αγροτικής και δασικής περιοχής, καθώς λόγω της χρήσης της η αστική περιοχή εμφανίζει μεγαλύτερη πιθανότητα συγκέντρωσης επιφανειακών υδάτων άρα και εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου.

Για την παραγωγή του επιπέδου των χρήσεων γης με τη διαδικασία της μεθόδου της AHP πρέπει σε κάθε εναλλακτική να αποδοθεί η σπουδαιότητα που της αντιστοιχεί. Έτσι δημιουργείται ένα νέο πεδίο (add field) το RANK_LU, στο οποίο καταγράφεται η τιμή της κάθε εναλλακτικής όπως προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό (calculate field) της κανονικοποιημένης τιμής με τη σπουδαιότητα που της έχει αποδοθεί (σχήμα 8-12).

Μετατρέπουμε το διανυσματικό αρχείο σε ψηφιδωτό βάσει του πεδίου RANK_LU (σχήμα 8-13). Το επίπεδο που δημιουργείται αποτελεί το κριτήριο των χρήσεων γης το οποίο πολλαπλασιασμένο με το βάρος του και προστιθέμενο με τα υπόλοιπα τρία κριτήρια οδηγεί στον στόχο που είναι ο προσδιορισμός των ευάλωτων σε πλημμύρα περιοχών.

Στο χάρτη 15 αποτυπώνεται η συμβολή της κάθε εναλλακτικής στο κριτήριο των χρήσεων γης. Από τις τρεις εναλλακτικές η αστική περιοχή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα και ακολουθεί η αγροτική και τέλος η δασική περιοχή.

Add Field

Input Table: .and_use (2)

Field Name: RANK_LU

Field Type: DOUBLE

Field Precision (optional):

OK Cancel Apply Show Help >>

Select Layer By Attribute

Layer Name or Table View: .and_use

Selection type (optional): NEW_SELECTION

Expression (optional): "LU_nor_100" = 100

OK Cancel Apply Show Help >>

Calculate Field

Input Table: .and_use (5)

Field Name: RANK_LU

Expression: [LU_nor_100] * 0.7644

Expression Type (optional): VB

OK Cancel Apply Show Help >>

Attributes of Χρήσεις γης

FID	Shape *	COR	area km2	categories	land use n	LU nor 100	RANK LU
40	Polygon	223	1,575431	Αγροτική περιοχή	0,47	47	7,7973
42	Polygon	223	2,89781	Αγροτική περιοχή	0,47	47	7,7973
45	Polygon	244	4,420515	Αγροτική περιοχή	0,47	47	7,7973
47	Polygon	242	2,424076	Αγροτική περιοχή	0,47	47	7,7973
16	Polygon	121	1,636167	Αστική περιοχή	1	100	76,44
17	Polygon	121	0,304604	Αστική περιοχή	1	100	76,44
19	Polygon	112	0,914899	Αστική περιοχή	1	100	76,44
21	Polygon	124	2,71338	Αστική περιοχή	1	100	76,44
25	Polygon	121	1,072028	Αστική περιοχή	1	100	76,44
30	Polygon	121	1,277808	Αστική περιοχή	1	100	76,44
32	Polygon	123	0,125212	Αστική περιοχή	1	100	76,44
41	Polygon	242	0,680082	Αστική περιοχή	1	100	76,44
44	Polygon	112	3,694712	Αστική περιοχή	1	100	76,44
48	Polygon	111	1,223658	Αστική περιοχή	1	100	76,44
0	Polygon	321	0,031954	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
1	Polygon	324	2,533724	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
2	Polygon	323	0,798011	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
4	Polygon	312	0,327891	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
5	Polygon	312	0,190639	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
7	Polygon	324	0,595058	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
8	Polygon	321	4,753529	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
9	Polygon	321	0,746643	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584
10	Polygon	312	0,968742	Δασική περιοχή	0,08	8	0,5584

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 52 Selected)

Σχήμα 8-12: Δημιουργία πεδίου στον πίνακα δεδομένων και εκτέλεση πράξεων εντός αυτού

Polygon to Raster (3)

Input Features: χρήσεις γης

Value field: RANK_LU

Output Raster Dataset: f:\GIS\ptuxiakí\lood_thriasio\rank_lu

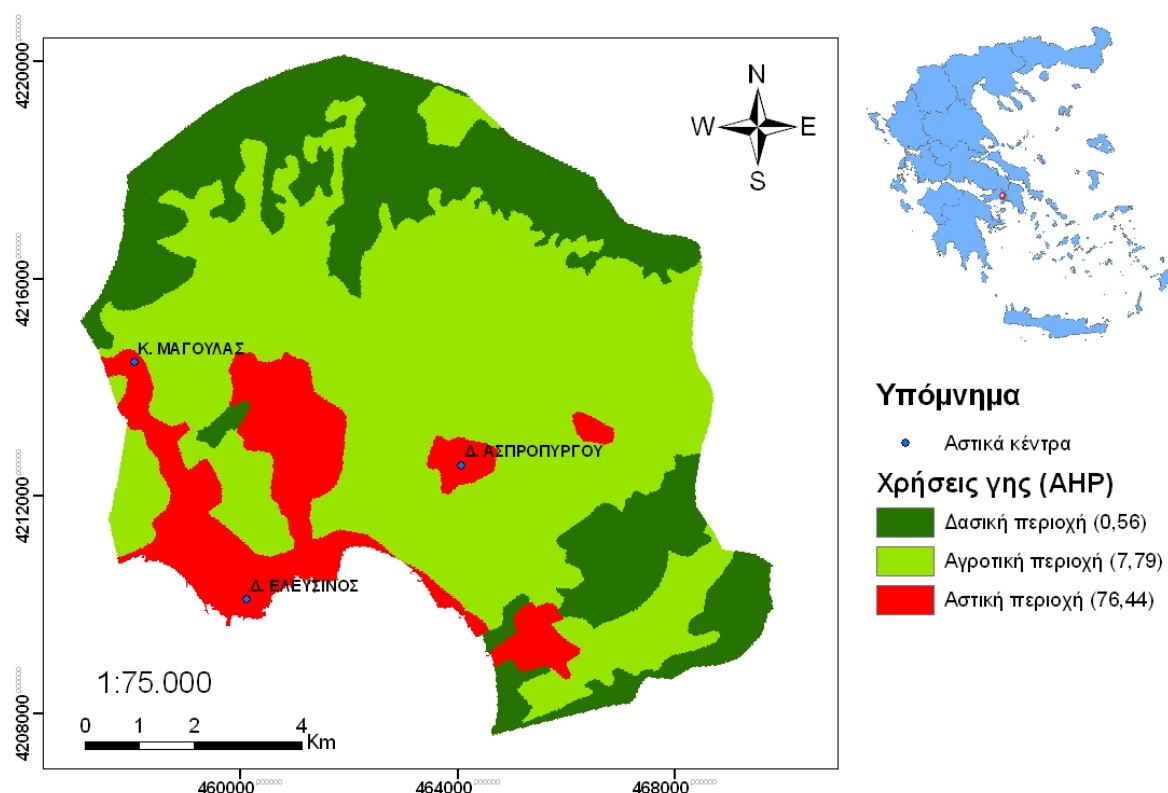
Cell assignment type (optional): CELL_CENTER

Priority field (optional): NONE

Cellsize (optional): 25

OK Cancel Apply Show Help >>

Σχήμα 8-13: Μετατροπή του διανυσματικού επιπέδου χρήσεων γης σε ψηφιδωτό



Χάρτης 15: Χρήσεις γης κατηγοριοποιημένες σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους κατά την ΑΗΡ

Γεωλογία

Το κριτήριο της γεωλογίας έχει τρεις εναλλακτικές που δημιουργήθηκαν βάσει του χαρακτηριστικού της υδροπερατότητας των πετρωμάτων. Οι εναλλακτικές είναι ριπίδια, ασβεστόλιθοι και αλλούβια. Συγκρίνοντας τις εναλλακτικές κατά ζεύγη βρίσκουμε το βαθμό σπουδαιότητας της κάθε εναλλακτικής ως προς το κριτήριο της γεωλογίας.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ανάλογη με αυτή που οδήγησε στο επίπεδο των χρήσεων γης (σχήμα 8-14). Το επίπεδο που δημιουργείται βάσει του πεδίου που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του βαθμού σπουδαιότητας με την κανονικοποιημένη τιμή της κάθε εναλλακτικής αποτελεί το κριτήριο της γεωλογίας.

Ο χάρτης 16 αποτελεί το κριτήριο της γεωλογίας το οποίο προέκυψε από τη σύγκριση κατά ζεύγη των εναλλακτικών τού με τη μέθοδο της ΑΗΡ. Στο κριτήριο αυτό τα ριπίδια που χαρακτηρίζονται από αυξημένη υδροπερατότητα έχουν το μικρότερο κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας συγκριτικά με τους άλλους δυο σχηματισμούς, για αυτό και η τιμή σπουδαιότητας που προέκυψε από τη σύγκριση κατά ζεύγη είναι μικρότερη.

Add Field (2)

Input Table
geology.shp

Field Name
RANK_Geo

Field Type
DOUBLE

Field Precision (optional)

Cancel Apply Show Help >>

Select Layer By Attribute (5)

Layer Name or Table View
geology (2)

Selection type (optional)
NEW_SELECTION

Expression (optional)
"geol_nr100" = 59

Cancel Apply Show Help >>

Calculate Field (5)

Input Table
geology (6)

Field Name
RANK_Geo

Expression
[geol_nr100] * 0.1804

Expression Type (optional)
VB

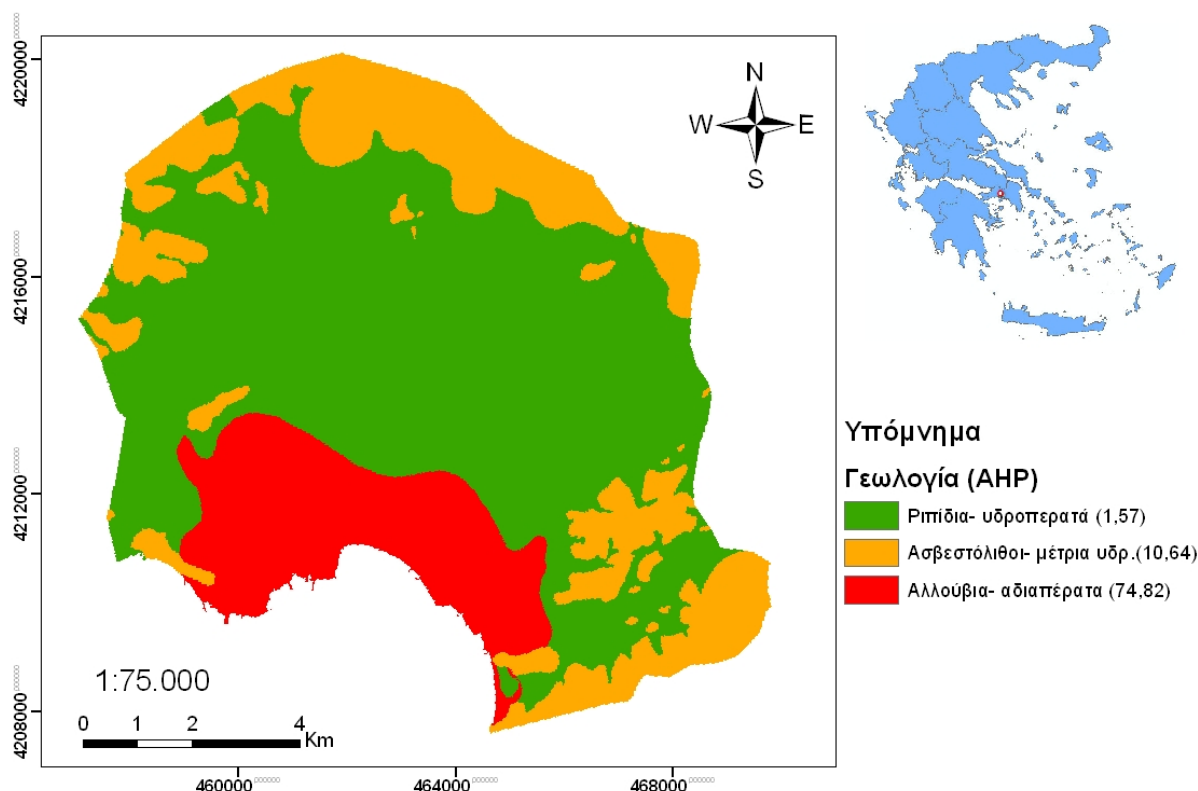
Cancel Apply Show Help >>

Attributes of Γεωλογία

lithology	area km2	geol nor	geol nr100	RANK_Geo
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,015916	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,363632	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,012159	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,013294	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,021961	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,01583	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,147601	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,019736	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,01544	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,009024	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,033068	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,050534	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,147642	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,424178	0,59	59	10,6436
ΛΙΜΝΗ	0,140668	0	0	0
ΡΙΠΙΔΙΑ, ΚΟΙΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ	61,71	0,22	22	1,5708
ΑΛΛΟΥΒΙΑ	16,16	1	100	74,82
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	4,447077	0,59	59	10,6436
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	0,538817	0,59	59	10,6436

Record: 1 Show: All Selected Records (0 out of 52)

Σχήμα 8-14: Δημιουργία πεδίου στον πίνακα δεδομένων και εκτέλεση πράξεων εντός αυτού.



Χάρτης 16: Σχηματισμοί πετρωμάτων κατηγοριοποιημένοι βάσει της σπουδαιότητάς τους κατά την ΑΗΡ

8.7 Σύνθεση παραμετρικών χαρτών κατά ΑΗΡ

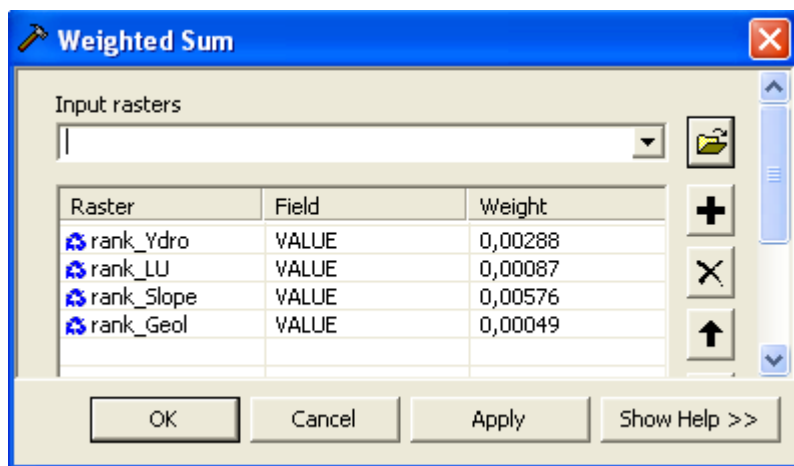
Από την προηγούμενη διαδικασία (μέθοδος MAUT) είχαν ταξινομηθεί οι εναλλακτικές των κριτηρίων και κατηγοριοποιηθεί βάσει των κανονικοποιημένων τιμών μιας κλίμακας που ορίστηκε με τιμές από 0 μέχρι 1. Οι εναλλακτικές αυτές συγκρίθηκαν κατά ζεύγη (ΑΗΡ) και τους αποδόθηκε ένας βαθμός σύμφωνα με τη σπουδαιότητα τους ως προς το κριτήριο. Παραγόμενα αυτής της διαδικασίας είναι τα τέσσερα επίπεδα των κριτηρίων του υπό μελέτη φαινομένου. Με τη μέθοδο της ΑΗΡ και συγκρίνοντας τα κριτήρια κατά ζεύγη ορίστηκαν τα βάρη του εκάστοτε κριτηρίου ως προς τον τελικό στόχο. Έτσι, η κλίση του εδάφους συγκρινόμενη κατά ζεύγη με τα υπόλοιπα κριτήρια θεωρήθηκε η πιο σημαντική, ακολουθεί η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο, οι χρήσεις γης και η γεωλογία (πίνακας 16 της παραγράφου 7.2).

Η σύνθεση των σταθμισμένων κριτηρίων λαμβάνοντας υπόψη το βάρος που αποδόθηκε στο εκάστοτε κριτήριο οδηγεί στη δημιουργία του τελικού χάρτη⁵ αποτίμησης της επιδεκτικότητας σε πλημμύρα για την περιοχή του Θριάσιου πεδίου, η διαδικασία αυτή

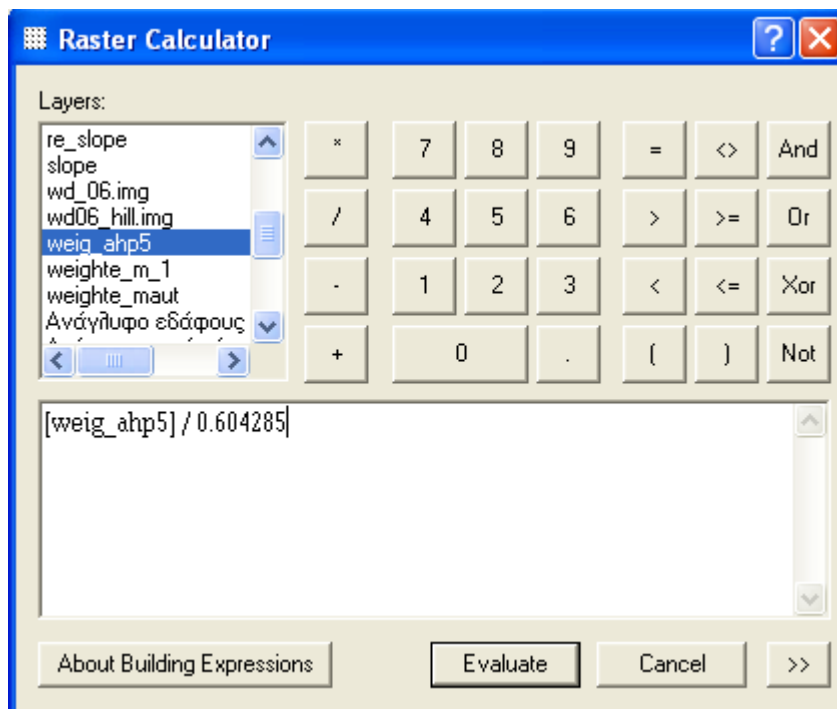
⁵ Στο παράρτημα απεικονίζεται διαγραμματικά μέσω του MODEL BUILDER η εκτέλεση της διαδικασίας στο ArcGIS

εκτελείται με την εντολή weighted sum (σχήμα 8-15). Τα βάρη των κριτηρίων κατά τη σύνθεση των επιπέδων διαιρούνται με 100 (διότι κατά την κατηγοριοποίηση των εναλλακτικών οι κανονικοποιημένες τιμές είχαν πολλαπλασιαστεί με 100) ώστε ο τελικός χάρτης που προκύπτει να έχει τιμές, στην παγκοσμίως αποδεκτή κλίμακα, 0-1. Η διακύμανση των τιμών του τελικού επίπεδου είναι 0-0.604285. Για την ορθή σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων κρίνεται απαραίτητη η αναγωγή του σε κλίμακα από 0-1, ο απλούστερος τρόπος επίτευξης αυτού είναι η διαίρεση των τιμών με τη μέγιστη τιμή του επιπέδου (μέθοδος simple additive weighting, παράγραφος 6.1)(σχήμα 8-16).

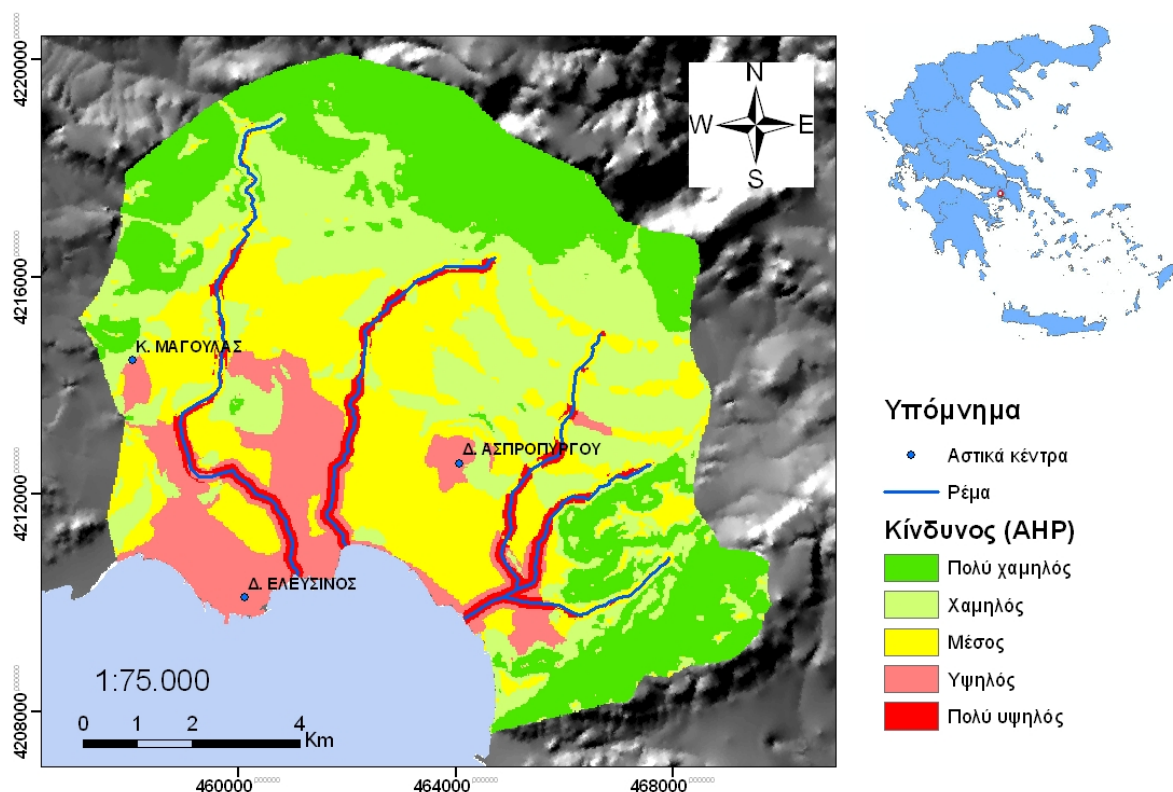
Το επίπεδο που προκύπτει (χάρτης 17) κατατάσσει τις περιοχές του Θριάσιου πεδίου σε κατηγορίες σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας. Παρατηρείται ότι οι περιοχές με σημαντικό κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας είναι οι παραποτάμιες και αστικές περιοχές ενώ το τμήμα του Θριάσιου πεδίου που παρουσιάζει πολύ χαμηλή κλίση στο μεγαλύτερο μέρος του ανήκει στην κατηγορία του μέσου κινδύνου. Εξετάζοντας μόνο τη βαρύτητα των κριτηρίων δεν θα μπορούσε να αιτιολογηθεί το αποτέλεσμα της σύνθεσης των χαρτών και αυτό γιατί η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και οι χρήσεις γης αποτελούν το δεύτερο και τρίτο σε σπουδαιότητα κριτήριο μετά την κλίση του εδάφους, ωστόσο οι τιμές των εναλλακτικών με τη μεγαλύτερη σπουδαιότητα για το εκάστοτε κριτηρίου διαφέρουν. Συνεπώς, μπορεί οι χρήσεις γης να αποτελούν το τρίτο σε σπουδαιότητα κριτήριο, η εναλλακτική όμως της αστικής περιοχής έχει τη μεγαλύτερη τιμή έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών όλων των κριτηρίων. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτή η σημαντικότητα εξέτασης του φαινομένου σε κάθε επίπεδο και όχι μόνο ως προς τα κριτήρια.



Σχήμα 8-15: Σύνθεση κριτηρίων με τα αντίστοιχα βάρη τους



Σχήμα 8-16: Κανονικοποίηση τιμών του τελικού παραγόμενου επιπέδου



Χάρτης 17: Κατάταξη της περιοχής του Θριάσιου πεδίο σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας (μέθοδος ΑΗΡ)

8.8 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων

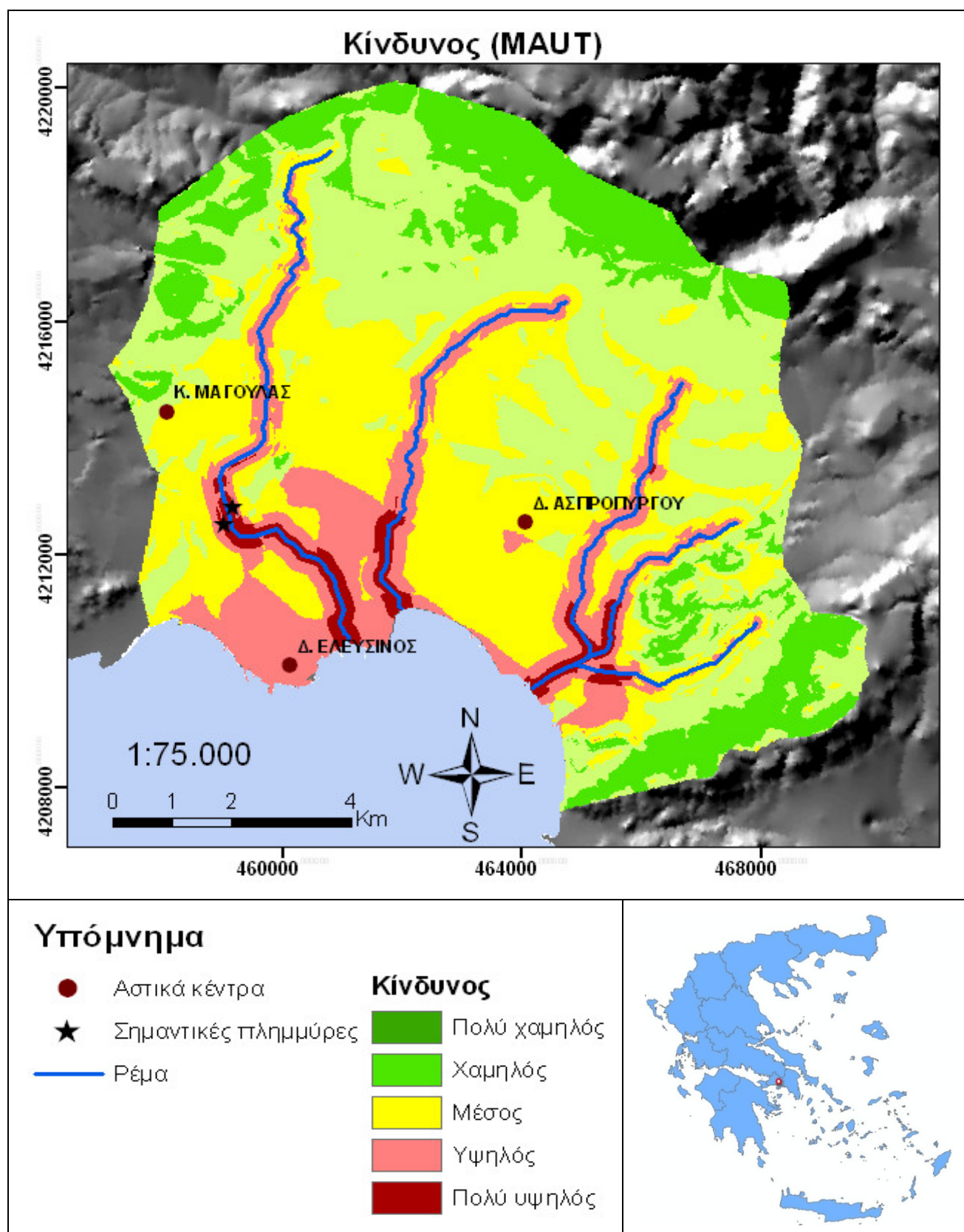
Ακολουθώντας δυο διαφορετικές μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης, τη μέθοδο πολυκριτηριακών χρησιμοτήτων (MAUT) και τη μέθοδο αναλυτικής ιεράρχησης (AHP) επιδιώχθηκε ο προσδιορισμός των τρωτών περιοχών ως προς το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμύρας στο Θριάσιο πεδίο. Τα κριτήρια και οι εναλλακτικές που εξετάστηκαν παρέμεναν ίδια καθώς και η προτεραιότητα του κάθε κριτηρίου ως προς τον τελικό στόχο. Ωστόσο λόγω της διαφορετικής προσέγγισης των δυο μεθόδων τα τελικά βάρη των κριτηρίων διέφεραν.

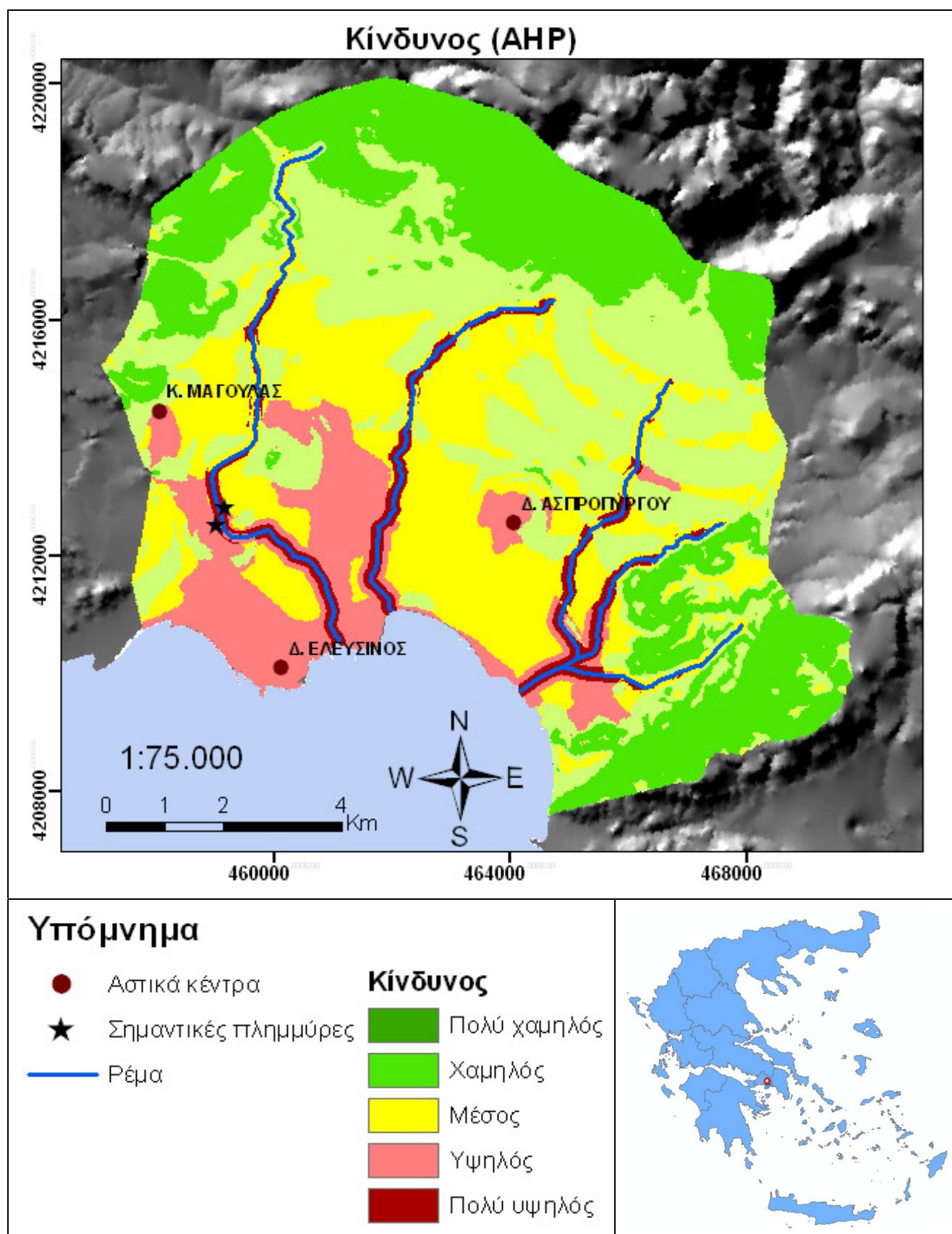
Η εφαρμογή της κάθε μεθόδου οδήγησε σε ένα τελικό χάρτη προσδιορισμού των ευάλωτων σε πλημμύρα περιοχών. Για την ορθή σύγκριση των χαρτών ακολούθησε η κανονικοποίηση των τιμών και η αναγωγή τους σε κλίμακα 0-1. Για την ταξινόμηση του τελικού επιπέδου σε κλάσεις επιλέχθηκε η μέθοδος των ισόποσων διαστημάτων (Equal interval) και ορίστηκαν πέντε κλάσεις. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου συστήνεται για την απεικόνιση φυσικών φαινομένων καθώς παρουσιάζει το φαινόμενο χωρίς να τονίζει τις ακραίες τιμές αυτού. Η επιλογή του αριθμού των κλάσεων έγινε με γνώμονα την ποσοτική κατάταξη αυτού σε περιοχές με πολύ υψηλό, υψηλό, μέσο, χαμηλό και πολύ χαμηλό κίνδυνο.

Από μακροσκοπική εξέταση των τελικών χαρτών (χάρτης 18 & 19) παρατηρείται σημαντική ταύτιση του βαθμού κινδύνου για το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Αυτό οφείλεται στο ότι τα εξεταζόμενα στοιχεία, κριτήρια και εναλλακτικές, και για τις δυο μεθόδους παρέμειναν ίδια ενώ κοινή παρέμεινε και η λογική που ακολουθήθηκε κατά την απόδοση βαρύτητας στα στοιχεία. Η διαφορετικότητα του τελικού χάρτη οφείλεται στο ότι κατά τη διαδικασία της Αναλυτικής Ιεράρχησης (AHP) πραγματοποιείται εξέταση και αξιολόγηση του φαινομένου σε δύο βαθμίδες, αυτή του κριτηρίου και αυτή των εναλλακτικών, σε αντίθεση με τη θεωρία των χρησιμοτήτων που εξετάζει το φαινόμενο μόνο στο επίπεδο των κριτηρίων (MAUT). Ωστόσο και στους δυο χάρτες παρατηρείται ότι οι καταγεγραμμένες από την Ειδική Γραμματεία Υδάτων σημαντικές πλημμύρες της περιοχής μελέτης βρίσκονται εντός της ζώνης πολύ υψηλού κινδύνου. Συνεπώς η εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου, όπως προέκυψε από την παραπάνω εφαρμογή, επιβεβαιώνεται από το σχετικό αρχείο πλημμυρών (ΥΠΕΚΑ, 2013).

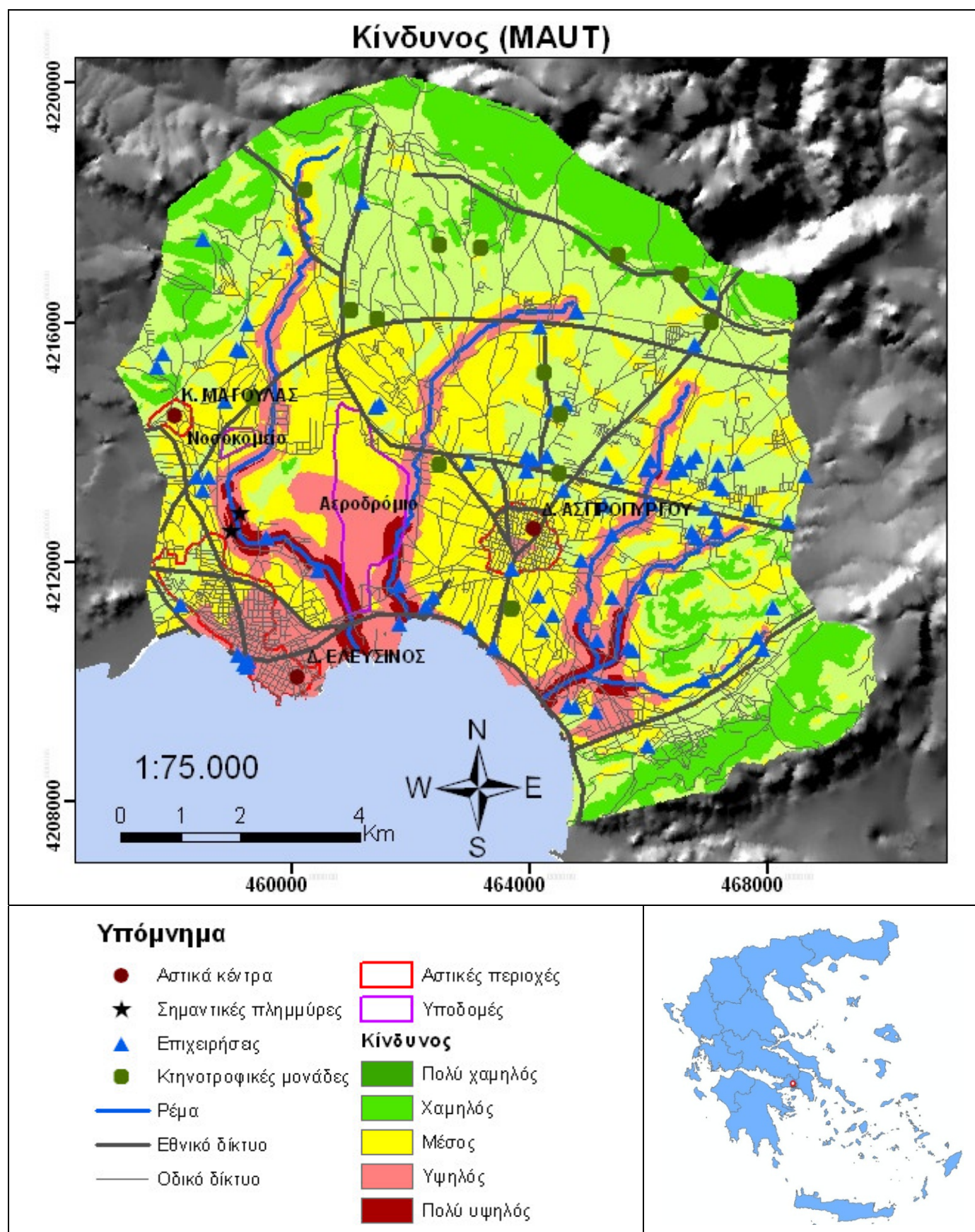
Για την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων ως προς τη λήψη ορθών μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης των συνεπειών των πλημμυρικών γεγονότων κρίνεται απαραίτητη η επί του τελικού χάρτη προβολή των σημαντικότερων υποδομών και εγκαταστάσεων της περιοχής μελέτης (χάρτης 20 & 21). Παρατηρώντας το χάρτη διαπιστώνεται ότι στις ζώνες πολύ υψηλού και υψηλού κινδύνου ως προς την εμφάνιση πλημμύρας βρίσκονται τα αστικά κέντρα του Δήμου Ελευσίνας και Ασπροπύργου αλλά και το αεροδρόμιο που αποτελεί σημαντική κοινωνική υποδομή. Επίσης επιχειρήσεις και βιομηχανικές μονάδες που βρίσκονται κυρίως στη νότια περιοχή κοντά στην παράκτια ζώνη ή παραπλεύρως των ρεμάτων διατρέχουν σημαντικό κίνδυνο να πληγούν από πλημμύρα. Η πιθανότητα

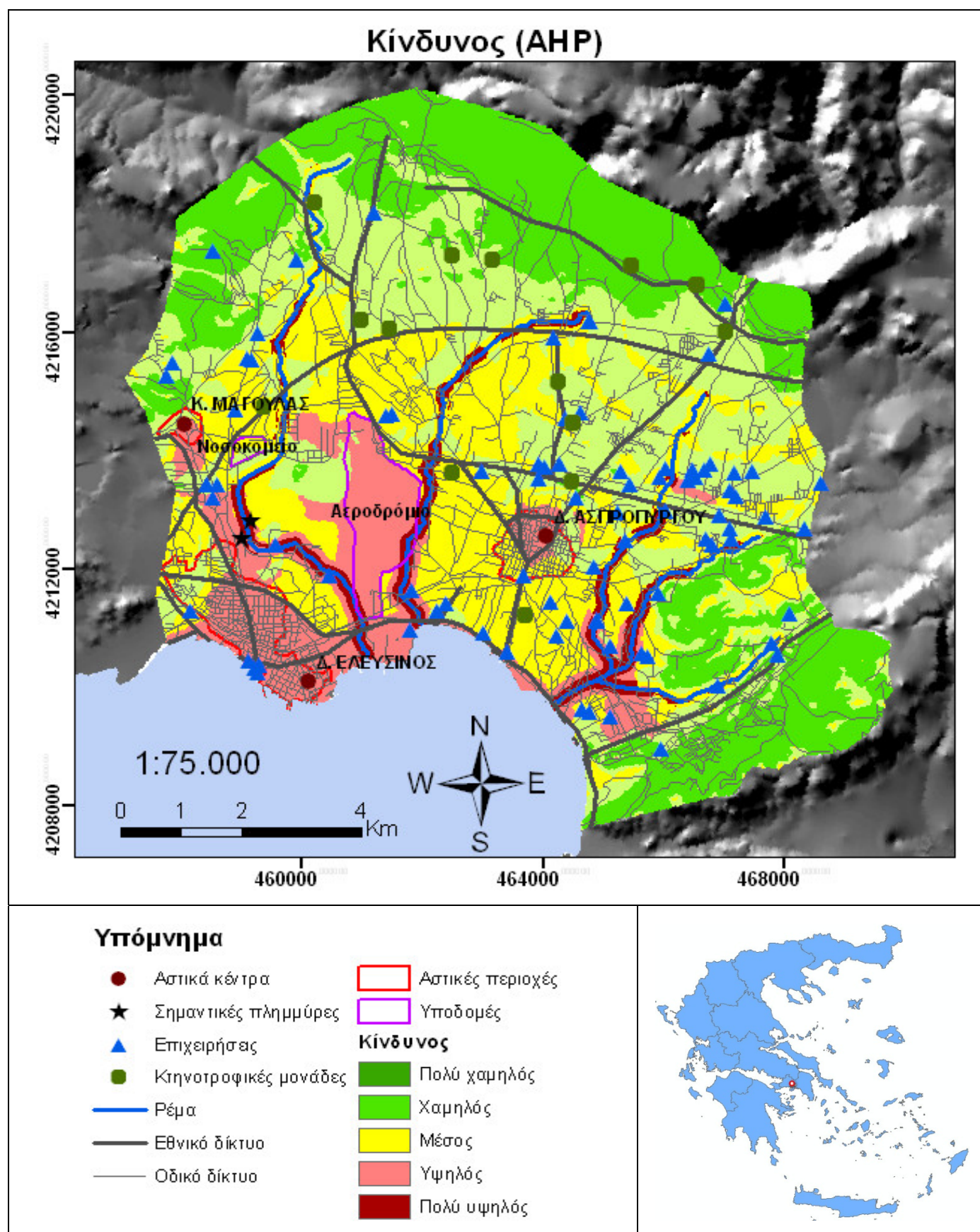
εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου μειώνεται για τις εγκαταστάσεις που βρίσκονται βορειότερα και μακριά από τα ρέματα.





Χάρτης 19: Κατάταξη των περιοχών του Θριάσιου πεδίου σύμφωνα με τον κίνδυνο εκδήλωσης πλημμύρας κατά τη μέθοδο ΑΗΡ





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9. Συμπεράσματα- Προτάσεις

9.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στην εκτίμηση της τρωτότητας της περιοχής του Θριάσιου πεδίου ως προς το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμυρικού φαινομένου. Κρίσιμο στάδιο της διαδικασίας είναι η επιλογή των κριτηρίων, ώστε να αντιπροσωπεύουν το πρόβλημα κατά το δυνατόν περισσότερο λαμβάνοντας υπόψη το εξωτερικό περιβάλλον και εντοπίζοντας στοιχεία που συμβάλλουν στην επίλυση του προβλήματος. Ωστόσο ο αριθμός τους πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός, ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Γι' αυτόν τον λόγο κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο κρίθηκε η πολυκριτηριακή ανάλυση (Multiple-criteria Analysis, MCA), η οποία επιτρέπει την επίτευξη ενός στόχου μέσω της βαθμονόμησης ενός πλήθους κριτηρίων σχετιζόμενων με το στόχο.

Επιπλέον, η θέσπιση βαρών για κάθε συμβαλλόμενο στοιχείο είναι μία βασική και ευαίσθητη διαδικασία, καθώς ορίζει το βαθμό στον οποίο το κάθε κριτήριο επηρεάζει τη συνολική αξιολόγηση. Για τον ορισμό των βαρών εφαρμόστηκαν δυο μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης, η θεωρία χρησιμότητας (MAUT) και η διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης (AHP). Κατά την πρώτη θεωρία το φαινόμενο εξετάζεται σε επίπεδο κριτηρίων και ορίζεται από τον μελετητή ο βαθμός συμμετοχής του εκάστοτε κριτηρίου στο υπό μελέτη φαινόμενο. Η διαδικασία της αναλυτικής ιεράρχησης εξετάζει το φαινόμενο, με τη διαδικασία της σύγκρισης κατά ζεύγη, σε κάθε επίπεδο ανάλυσης του, έτσι γίνεται βαθμονόμηση σε όλη τη δομή του φαινομένου, κριτήρια, υποκριτήρια, εναλλακτικές. Η μέθοδος της αναλυτικής ιεράρχησης περιλαμβάνει και τον έλεγχο συνέπειας των αποδιδόμενων από τον μελετητή βαρών/συντελεστών που εκτιμά την απόκλιση των συγκρίσεων από τη συνεπή προσέγγιση.

Τέλος, μέσω της χαρτογραφικής υπέρθεσης των σταθμισμένων επιπέδων έγινε ο προσδιορισμός του κινδύνου των περιοχών κατά την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου. Παρατηρήθηκε αρχικά ότι οι περιοχές, που παρουσιάζουν πολύ υψηλή τρωτότητα σε κάποια κατηγορία παραγόντων δεν παρουσιάζουν απαραίτητα το ίδιο υψηλή συνολική τρωτότητα, η οποία προκύπτει ουσιαστικά ως το άθροισμα των τιμών ανά κατηγορία σταθμισμένων κριτηρίων. Επίσης, η εκτίμηση της τρωτότητας με χρήση βαρών όπως έχουν οριστεί μέσα από την εφαρμογή διαφορετικών θεωριών δίνει διαφορετικά αποτελέσματα, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημασία της θέσπισης βαρών.

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικός παράγοντας, που μπορεί να προσθέτει, ως ένα βαθμό, αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των υπολογισμών, είναι τα δεδομένα, που προήλθαν από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους. Ειδικότερα, το Ψηφιακό

Μοντέλο Εδάφους παρουσίαζε «θόρυβο» σε βαθμό τέτοιο που επηρέαζε την υδρολογική ανάλυση και γι' αυτόν τον λόγο έγινε επεξεργασία των δεδομένων με βάση παραδοχές, οι οποίες περιγράφηκαν στην παράγραφο 8.2. Επιπροσθέτως, η ακρίβεια του καννάβου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (25 m) αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα, που εισάγει αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Όσον αφορά την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, παρατηρήθηκε ότι από μία πιθανή πλημμύρα θα μπορούσαν να υποστούν ζημιές κυρίως κατοικημένες περιοχές και ειδικά το νότιο τμήμα του αστικού κέντρου της Ελευσίνας και το κέντρο του Ασπροπύργου. Ιδιαίτερη μέριμνα χρειάζεται η εγκατάσταση του αεροδρομίου, η οποία βρίσκεται σε περιοχή υψηλού κινδύνου καθώς και το τμήμα της εθνικής οδού Αθηνών Κορίνθου στο ύψος της Χαλυβουργικής. Τέλος, αρκετές βιομηχανικές μονάδες που εδρεύουν στη νότια περιοχή του Θριάσιου πεδίου ή παραπλεύρως των ρεμάτων διατρέχουν υψηλό κίνδυνο πλημμύρας. Αντιθέτως, οι γεωργικές εκτάσεις και οι κτηνοτροφικές μονάδες βρίσκονται σε περιοχές μέσου και χαμηλού κινδύνου.

Η έλλειψη καταγραφής του συνόλου των πλημμυρικών γεγονότων που έχουν πλήξει την περιοχή του Θριάσιου πεδίου τα τελευταία χρόνια δεν μας επιτρέπει την αξιολόγηση του αποτελέσματος στην πραγματική του διάσταση. Ωστόσο, ο εντοπισμός των καταγεγραμμένων, από το υπουργείο, πλημμυρικών συμβάντων της περιοχής στη ζώνη υψηλού κινδύνου αποτελεί ένδειξη της ορθότητας των αποτελεσμάτων.

9.2 Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία μέσω των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν εκτελέστηκαν δυο σενάρια για τον προσδιορισμό της επιδεκτικότητας σε πλημμύρα της περιοχής του Θριάσιου πεδίου. Η προσέγγιση της χαρτογραφικής τρωτότητας των πλημμυρών μπορεί να συμβάλει στην οριοθέτηση των περιοχών που παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα.

Προτείνεται λοιπόν η διερεύνηση των δυνητικών αρνητικών οικονομικών, κοινωνικών και οικολογικών συνεπειών που συνδέονται με την εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου στην περιοχή.

Επιπλέον σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΕ μετά την κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου πλημμύρας ακολουθεί η εκπόνηση σχεδίου διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Συνεπώς, άλλη μια πρόταση είναι η εκπόνηση σχεδίου πρόληψης και ελαχιστοποίησης των αρνητικών συνεπειών που προκαλεί η πλημμύρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10. Βιβλιογραφία

Ξένες αναφορές

Akter T. & Simonovic S. P. (2005). "Aggregation of fuzzy views of a large number of stakeholders for multi-objective flood management decision-making.". *Journal of Environmental Management* 77(2), 133-143.

Bana E Costa C. A., Da Silva P. A. & Nunes Correia F. (2004). "Multicriteria Evaluation of Flood Control Measures: The Case of Ribeira do Livramento.". *Water Resources Management* 18(21), 263-283.

Bana E Costa C. (1990). *Reading in Multiple Criteria Decision Aid*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer Verlag.

Belton V. & Stewart T. J. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis - An Integrated Approach*. Boston, Dordrecht, London, Kluwer.

Brouwer R. & Van Ek R. (2004). "Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands.". *Ecological Economics* 50(1-2), 1-21.

Burrough P. A. & McDonell R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.

DeMers N. M. (2000). *Fundamental of Geographic Information Systems*. New York: John Wiley and Sons.

Dodgson J., Spackman M., Pearman A. D. & Phillips L. D. (2000). *Multi-Criteria Analysis: a Manual. Department of the Environment*. Transport and the Regions. London.

DTLR. (2001). *Multi-Criteria Analysis: a manual*.

Fairfield J. & Leymarie P. (1991). "Drainage Networks from grid digital elevation models". *Water Resources Research* 27(5), 709-717.

Janssen R., Herwijnen M. V. & Beinat E. (2003). *Definite - Case Studies and User Manual*. Amsterdam: Vrije Universiteit Amsterdam / IVM.

Keeney R. L. & Raiffa H. (1993). *Decisions with Multiple Objectives - Preferences and Value Tradeoffs*. Cambridge, Cambridge University Press.

- Kiker G. A., Bridges T. S., Varghese A., Seager T. P. & Linkov I. (2005). "Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making". *Integrated Environmental Assessment and Management* 1(2), 95-108.
- Malczewski J. (2004). "GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview". *Progress in Planning*, 3-65.
- Malczewski J. (2006). "GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature". *International Journal of Geographical Information Science* 20(7), 703-726.
- Malczewski J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. New York.
- Meyer V., Haase D. & Scheuer S. (2007). "GIS-based multicriteria analysis as decision support in flood risk management". *UFZ-Diskussionspapiere*.
- Montgomery D. R. & Foufoula-Georgiou E. (1993). "Channel network source representation using digital elevation models". *Water Resources Research* 29(12), 3925-3934.
- Munda G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment - Theory and Applications in Heidelberg*, Physica Verlag.
- Omann I. (2004). *Multi-Criteria Decision Aid As An Approach For Sustainable Development Analysis And Implementation*. Graz, Graz (272).
- Penning-Rowsell E., Johnson C., Tunstall S., Tapsell S., Morris J., Chatterton J. (2003). *The benefits of flood and coastal defence: techniques and data for 2003*. Enfield, Flood Hazard Research Centre .
- RPA. (2004). *Evaluating a multi-criteria analysis methodology for application to flood management and coastal defence appraisals*. R&D Technical Report. DEFRA.
- Saaty T. L. (1977). "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology* (15), 234-281.
- Saaty T. L. (2008). "Decision making with the analytic hierarchy process". *Services Sciences* (1), 83-98.
- Saaty T. L. (1990). "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process". *European Journal of Operational Research*, 9-26.
- Simonovic S. P. & Nirupama N. (2005). "A spatial multi-objective decision-making under uncertainty for water resources management.". *Journal of Hydroinformatics* 7(2), 117-133.
- Smith K. (1996). *Environmental Hazards, Assessing risk and reducing disaster*. London, New York: Routledge.

Socher M., Sieber H.-U., Müller G. & Wundrak P. (2006). "Verfahren zur landesweiten Priorisierung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Sachsen.". *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 50(3).

Tarboton D. G., Bras R. L. & Rodriguez-Iturbe I. (1991). "On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data". *Hydrological Processes* 5(1), 81-100.

Thinh N. X. & Vogel R. (2006). GIS-based multiple criteria analysis for land-use suitability assessment in the context of flood risk management. *InterCarto - InterGIS 12*. Berlin.

Tkach R. J. & Simonovic S. P. (1997). "A new approach to multi-criteria decision making in water resources.". *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 1(1), 25-43.

Triantaphyllou E. & Mann S. H. (1995). "Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: Some challenges". *International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice* 2(1), 35-44.

Vincke P. (1992). *Multicriteria Decision-aid*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, Wiley.

Zimmermann H.-J. & Gutsche L. (1991). *Multi-Criteria Analyse - Einführung in die Theorie der Entscheidungen bei Mehrfachzielsetzungen*. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer Verlag.

Ελληνικές αναφορές

Βαχαβιώλος Θ. (2011). "Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60". *Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Αθήνα*.

Γκιοκάς Α. (2009). "Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας". *Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Αθήνα*.

Ειδική Γραμματεία Υδάτων, (2012). "Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμυρών". ΥΠΕΚΑ. Αθήνα.

Ηλιόπουλος Β. Γ., Καρακωνσταντής Α. Ν., Μποζιονέλος Γ. Π., & Παρτσινέβελου Σ. (2011). "Μορφοτεκτονική- Σεισμοτεκτονική ανάλυση με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, Εφαρμογή στο Θριάσιο πεδίο".

Καράμπελα Α. (1997). "Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική μελέτη του Θριάσιου πεδίου". Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας.

Κουτσογιάννης Δ. & Μαμάσης Ν. (2001). "Υδρογεωλογική διερεύνηση ισχυρών βροχοπτώσεων και στερεοαπορροών του Θριάσιου πεδίου". *Ε.Μ.Π.*

Λέκκας Ε. Λ. (2000). "Φυσικές & Τεχνολογικές καταστροφές". Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Αθήνα.

Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Σιδεράς Χ. & Χατούπης Θ. (2001). "Μορφονεοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής". *Πρακτικά 9ου Συνέδριου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Δελτίο Ελλην Γεωλ. ΕΤ. , XXXIV/1, 183-190.

Νικολόπουλος Α. (2004). Ημερίδα: «Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής». ΤΕΕ .

Παπαδόπουλος Α., Χαλκιάς Χ. & Φάκας Α. (2008). "Η Επανεξέταση της Ελληνικής Υπαίθρου μέσα από Δυναμική Μεθοδολογική Προσέγγιση και την Αξιοποίηση των Γ.Σ.Π".

Σπυράκη Γ. (2010). "Συστήματα Λήψης Απόφασης- Μοντέλο Απόφασης Αξιολόγησης & Επιλογής Προσωπικού με τη Μέθοδο ΑΗΡ". Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο. Θεσσαλονίκη.

Ηλεκτρονικές πηγές

USGS(2014): <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html> US Geological Survey

ΙΤΙΑ (2014): <http://itia.ntua.gr/getfile/800/1/documents/Thriasio3.pdf>

ΕΤΥΜΠ (2014): <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr>

Ε.Μ.Υ. (2014):

http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/climatology_region_diagrams.html?dr_city=Elefsina.

ΥΠΕΚΑ. (2013): <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=252>, Υδατικού Πόροι, Πλημμύρες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

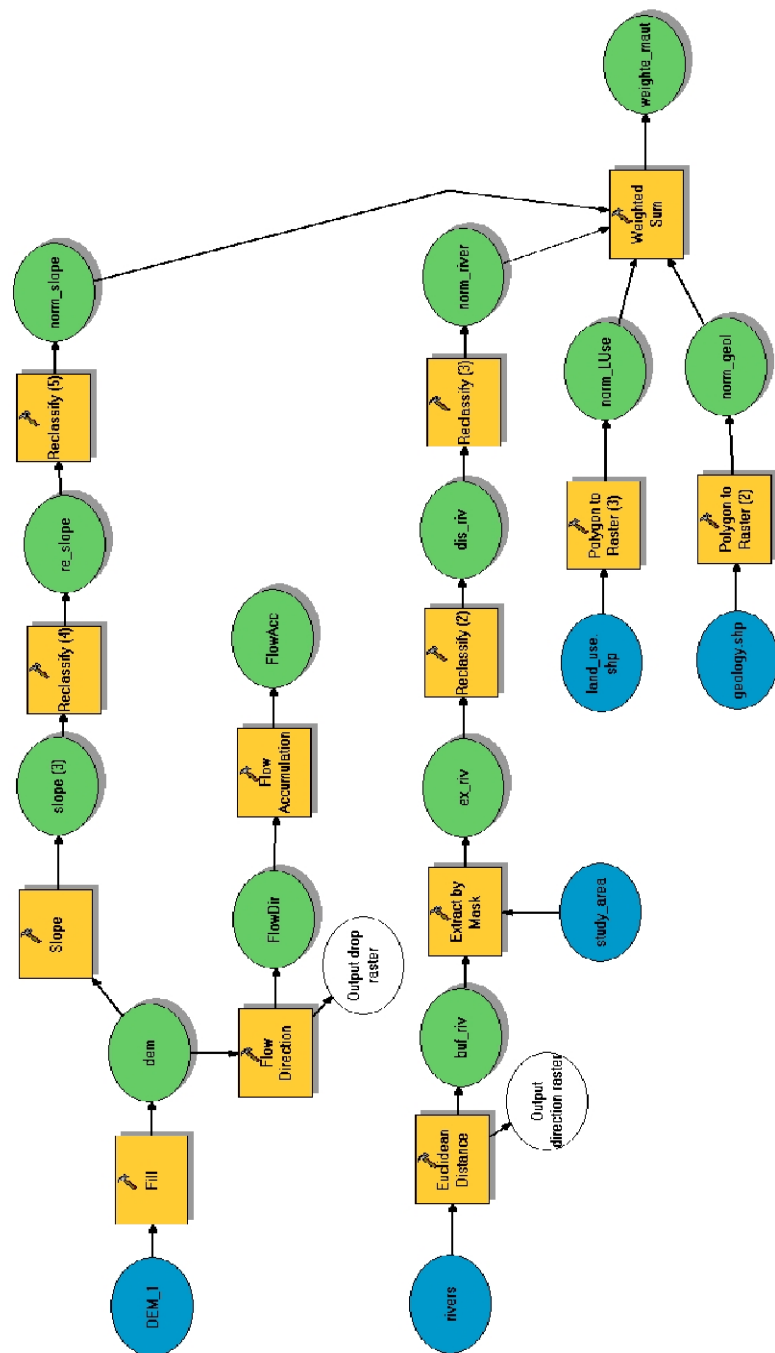
Πίνακας 1Π: Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας

Πηγή : (Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

Α/Α	ΤΙΤΛΟΣ	Αριθμός Σχεδίου
1	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 01 : Δυτική Πελοπόννησος	1
2	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 02 : Βόρεια Πελοπόννησος	2
3	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 03 : Ανατολική Πελοπόννησος	3
4	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 04 : Δυτική Στερεά Ελλάδα	4
5	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 05 : Ήπειρος	5
6	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 06 : Αττική	6
7	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 07 : Ανατολική Στερεά Ελλάδα	7
8	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 08 : Θεσσαλία	8
9	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 09 : Δυτική Μακεδονία	9
10	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 10 : Κεντρική Μακεδονία	10
11	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 11 : Ανατολική Μακεδονία	11
12	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 12 : Θράκη	12
13	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 13 : Κρήτη	13
14	Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας ΥΔ 14 : Νήσοι Αιγαίου	14

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες
122	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη
123	Ζώνες λιμένων
124	Αεροδρόμια
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών
132	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων
133	Χώροι οικοδόμησης
141	Περιοχές αστικού πράσινου
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
143	Αρχαιολογικοί χώροι
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη
213	Ορυζώνες
221	Αμπελώνες
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς
223	Ελαιώνες
231	Λιβάδια
241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας
243	Γη που καλύπτεται από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης
244	Αγροτικές δασικές περιοχές
311	Δάσος πλατυφύλλων
312	Δάσος κωνοφόρων
313	Μικτό δάσος
321	Φυσικοί βοσκότοποι
322	Θάμνοι και χερσότοποι
323	Σκληροφυλλική βλάστηση
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις
331	Παραλίες αμμόλοφοι αμμουδιές
332	Απογυμνωμένοι βράχοι
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις
335	Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
411	Βάλτοι στην ενδοχώρα
412	Τυρφώνες
421	Παραθαλάσσιοι βάλτοι
422	Αλυκές
423	Παλιρροιακά επίπεδα
511	Ροές υδάτων
512	Συλλογές υδάτων
521	Παράκτιες λιμνοθάλασσες
522	Εκβολές ποταμών
523	Θάλασσα και ωκεανός

Διαγραμματική απεικόνιση της εκτέλεσης της διαδικασίας στο ArcGIS (Υδρολογική ανάλυση & MAUT)



Διαγραμματική απεικόνιση της εκτέλεσης της διαδικασίας στο ArcGIS (AHP)

