

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΣΕ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ

Σενή, Αρχόντω¹, Γάκη - Παπαναστασίου, Καλλιόπη², Κατσαφάδος, Πέτρος³, Καρύμπαλης, Ευθύμιος⁴

¹Γεωγράφος, Βάμβα 45, Προφ.Ηλία Πειραιά 18533, email: andyseni@yahoo.gr

²Αναπλ. Καθηγήτρια, Εθνικό και Καποδιστριακό Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Παν/πολη Ζωγράφου 15784 Αθήνα, email: gaki@geol.uoa.gr

³Λέκτορας, Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 176-71, email: pkatsaf@hua.gr

⁴Επικ. Καθηγητής, Χαροκόπειο Παν/μιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Ελ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα – Αθήνα 176-71, email: karymbalis@hua.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εφαρμογή μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της διακινδύνευσης σε πλημμυρικά φαινόμενα τμήματος του νομού Μαγνησίας. Για τον εντοπισμό και την χαρτογραφική απεικόνιση των τρωτών στις πλημμύρες περιοχών ελήφθησαν υπόψη παράμετροι όπως η υφή του υδρογραφικού δικτύου, η χωρική κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης, οι μορφολογικές κλίσεις του ανάγλυφου, η συγκέντρωση της ροής, η λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής και οι χρήσεις γης. Οι παράμετροι του ανάγλυφου και του υδρογραφικού δικτύου αντλήθηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής, που προέκυψε μετά την ψηφιοποίηση αναλογικών τοπογραφικών χαρτών κλίμακας 1:50.000, ενώ οι χρήσεις γης από το Corine LandCover. Οι μεταβλητές αυτές ενσωματώθηκαν σε ένα Γ.Σ.Π. με σκοπό τη βαθμονόμησή τους και την συνεκτίμησή τους για τη δημιουργία ενός τελικού χάρτη επικινδυνότητας όλης της υπό μελέτη περιοχής. Ο χάρτης παρουσιάζει τη διαβάθμιση κινδύνου στις ευάλωτες στα πλημμυρικά φαινόμενα περιοχές και οδηγεί στη διατύπωση συγκεκριμένων προτάσεων για την διαχείριση του χώρου ως προς τον υπό μελέτη φυσικό κίνδυνο.

FLOOD HAZARD ASSESSMENT FOR MAGNISIA PREFECTURE

Seni, Archonto¹, Gaki - Papanastassiou, Kaliopi², Katsafados, Petros³, Karymbalis, Efthimios⁴

¹Geographer, 45 Vamva Str., Prof. Iliia Piraeus 18533, email: andyseni@yahoo.gr

²Associate Professor, National & Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology & Geoenvironment, Dep. of Geography-Climatology, Univ. Campus Zografou 15784 Athens, email: gaki@geol.uoa.gr

³Lecturer, Harokopio University, Department of Geography, 70 El. Venizelou Av., Kalithea Athens 176-71, email: pkatsaf@hua.gr

⁴Assistant Professor, Harokopio University, Department of Geography, 70 El. Venizelou Av., Kalithea Athens 176-71, email: karymbalis@hua.gr

Abstract

In this paper a flood hazard assessment methodology is applied for the prefecture of Magnisia. In order to estimate susceptibility to flood hazard and create a final map of high risk areas the parameters of drainage texture, spatial distribution of annual precipitation, morphological slope of the relief, flow accumulation, lithology of the geological formations within the study area as well as land use cover were considered and analyzed. Relief and drainage network parameters were derived from the Digital Elevation Model (D.E.M.) of the area which was produced after the digitization of analogue topographic maps at the scale of 1:50.000 while land uses were obtained from the Corine LandCover database. All the above mentioned variables were entered in a G.I.S. in order to rank them and calculate the final flood hazard for each pixel of the area. Finally a flood hazard map for the study area was created showing the most prone to floods areas of the

prefecture. This map can be a useful tool for the decision makers and the planning of flood protection measures.

Λέξεις κλειδιά: Επικινδυνότητα, πλημμύρες, Γ.Σ.Π., νομός Μαγνησίας
Key words: Hazard, floods, G.I.S., Magnissia prefecture

1 Εισαγωγή

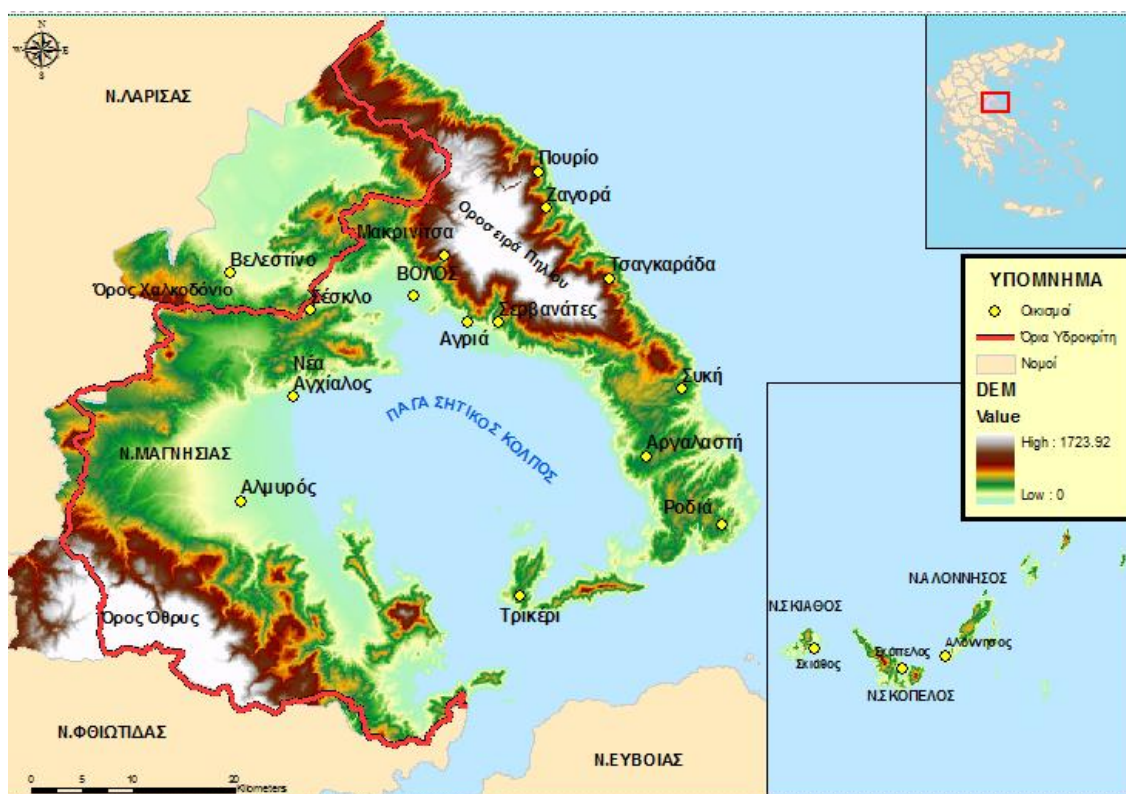
Τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι μια φυσική διεργασία που συνέβαινε και θα συμβαίνει πάντα όταν η ένταση και η ποσότητα της βροχόπτωσης υπερβαίνει την ικανότητα του εδάφους να απορροφήσει και των κοιτών του υδρογραφικού δικτύου να αποστραγγίσουν το νερό. Οι πλημμυρικές παροχές αποτελούν έναν φυσικό κίνδυνο που μπορεί να εξελιχτεί σε φυσική καταστροφή όταν απειλεί κατοικημένες ή οικονομικά σημαντικές περιοχές.

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες εκτίμησης της επικινδυνότητας περιοχών σε πλημμυρικά φαινόμενα δίνοντας έμφαση σε διάφορες παραμέτρους και λαμβάνοντας υπόψη το ιστορικό της εκάστοτε μελετώμενης περιοχής (Forte et al., 2005, Δημητρίου, 2007). Σε αρκετές περιπτώσεις τα αίτια των πλημμυρών είναι συνδυασμός των φυσικών χαρακτηριστικών των υδρογραφικών δικτύων, των λεκανών απορροής, των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων και επεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον (Μαρουκιάν κ.α., 2005, Καρύμπαλης κ.α., 2005, Γάκη-Παπαναστασίου κ.α., 2008).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της επικινδυνότητας του νομού Μαγνησίας στα πλημμυρικά φαινόμενα λαμβάνοντας υπόψη τα βροχομετρικά χαρακτηριστικά, τη γεωλογική και γεωμορφολογική διαμόρφωση της περιοχής και της αλληλεπίδρασης με το νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και τέλος τις χρήσεις γης σαν αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Επιχειρείται ο εντοπισμός και η αποτύπωση των περιοχών με το σημαντικότερο πρόβλημα ως προς τις πλημμύρες αξιοποιώντας την τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και τις τεχνικές της θεματικής χαρτογραφίας. Η κατασκευή του χάρτη επικινδυνότητας πλημμυρών για το νομό Μαγνησίας μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη λήψη κατάλληλων μέτρων πρόληψης και διαχείρισης του φυσικού αυτού κινδύνου.

Ο νομός Μαγνησίας βρίσκεται στη Θεσσαλία (Σχήμα 1). Καλύπτει έκταση 2.636 km² και ο συνολικός πληθυσμός του ανέρχεται σε 206.955 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Στα ανατολικά – βορειοανατολικά όρια του νομού βρίσκεται η οροσειρά του Πηλίου (1445 m), νότια βρίσκεται το όρος Όθρυς (1645 m) ενώ δυτικά το όρος Χαλκοδόσιο (725 m). Η περιοχή μελέτης συμπεριλαμβάνει και τα νησιά Σκιάθο, Σκόπελο και Αλόνησο. Μεταξύ των ορεινών όγκων του Πηλίου και της Όθρυς βρίσκεται η πεδιάδα του Αλμυρού. Μορφολογικά η περιοχή μελέτης μπορεί να διαιρεθεί σε τρία τμήματα: ένα ορεινό που καταλαμβάνει το 45 % της συνολικής έκτασης του νομού Μαγνησίας, ένα ημιορεινό με 25 % και ένα πεδινό που αντιστοιχεί στο 30 % της συνολικής έκτασης. Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα του νομού Μαγνησίας και οριοθετείται από την υδροκριτική γραμμή των λεκανών απορροής των υδρογραφικών δικτύων που καταλήγουν στον Παγασητικό κόλπο και το Αιγαίο πέλαγος.

Η περιοχή μελέτης εμφανίζει ένα πλούσιο υδρογραφικό δίκτυο η μορφή και η υφή του οποίου ελέγχεται κυρίως από τη λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής. Στις περιοχές των μεταμορφωμένων πετρωμάτων τα δίκτυα εμφανίζουν μεγάλη υδρογραφική συχνότητα και πυκνότητα ενώ αντίθετα οι ασβεστολιθικές περιοχές αποστραγγίζονται από αραιότερα υδρογραφικά δίκτυα. Στις περιοχές των μαργών, όπου ευνοείται η οπισθοδρομούσα διάβρωση, τα υδρογραφικά δίκτυα έχουν παράλληλη μορφή και μεγάλα μήκη κοιτών. Παράλληλης μορφής είναι και τα μικρά δίκτυα που αποστραγγίζουν τις βόρειες και ανατολικές πλαγιές του Πηλίου κυρίως λόγω των μεγάλων μορφολογικών κλίσεων και του αδιαπέρατου χαρακτήρα των πετρωμάτων.



Σχήμα 1. Χάρτης του Νομού Μαγνησίας. Η κόκκινη γραμμή οριοθετεί την περιοχή μελέτης και συμπίπτει με τον υδροκρίτη των λεκανών των υδρογραφικών δικτύων του νομού που εκβάλλουν στη θάλασσα

2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή του χάρτη επικινδυνότητας του νομού Μαγνησίας σε πλημμυρικά φαινόμενα βασίζεται στην κατασκευή θεματικών χαρτών για κάθε μία από τις πέντε παραμέτρους που κρίθηκαν ως καθοριστικές για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Οι παράμετροι που θεωρήθηκαν σημαντικές για την εκδήλωση πλημμυρών είναι οι εξής: η συγκέντρωση ροής που σχετίζεται άμεσα με τη γεωμορφολογία και τη γεωλογία της περιοχής, η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, η μορφολογική κλίση του ανάγλυφου, η λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών που καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τους συντελεστές κατείσδυσης και απορροής και οι χρήσεις γης που αντικατοπτρίζουν τις ανθρώπινες δραστηριότητες και καθορίζουν με τη σειρά τους το συντελεστή απορροής και κατά συνέπεια τις πλημμυρικές παροχές.

Για την εκτίμηση της μορφολογικής κλίσης του αναγλύφου και τη συγκέντρωση ροής χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:50.000 με ισοδιάσταση 20 m. Μετά τη γεωαναφορά των χαρτών στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 ψηφιοποιήθηκαν οι ισούψεις καμπύλες, τα υψομετρικά σημεία και το υδρογραφικό δίκτυο (με έμφαση στην φορά ψηφιοποίησης) και δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (D.E.M.) του νομού.

Για την επεξεργασία των δεδομένων, τους υπολογισμούς και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων με τη μορφή θεματικών χαρτών καθώς και τη σχεδίαση του τελικού χάρτη επικινδυνότητας του νομού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Arc GIS Desktop 9.x. Ο χάρτης μορφολογικών κλίσεων της περιοχής προέκυψε από το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους με τη συμβολή των επεκτάσεων 3D Analyst, Spatial Analyst του παραπάνω λογισμικού.

Για την κατασκευή του χάρτη συγκέντρωσης ροής χρησιμοποιήθηκε το υδρολογικό μοντέλο ArcHydro. Αρχικά αποκλείστηκαν τα σημεία τοπικής ταπείνωσης του αναγλύφου που προκαλούν προβλήματα στην υδρολογική ανάλυση. Χρησιμοποιήθηκε κλίμακος κελιών με διάσταση 25 m και υπολογίστηκε η διεύθυνση ροής (flow direction) για κάθε κελί με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους (DEM). Με τον τρόπο αυτό βρέθηκαν τα σημεία σημαντικής συγκέντρωσης του νερού της επιφανειακής απορροής. Από τον χάρτη διεύθυνσης ροής, μέσω του κατάλληλου αλγόριθμου (flow accumulation), προέκυψε ο χάρτης συσσώρευσης ροής ο οποίος υποδεικνύει τον αριθμό των κελιών που συμβάλλουν υδρολογικά σε κάθε κελί του κλίμακος της περιοχής μελέτης. Η σχεδίαση του χάρτη αυτού θεωρήθηκε σημαντική για την εκτίμηση του τελικού χάρτη επικινδυνότητας στις

πλημμύρες αφού δείχνει το φορτίο νερού που δέχεται κάθε σημείο της περιοχής μελέτης (Σχήμα 3Α).

Για την εκτίμηση της συνεισφοράς της βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης ετήσιας βροχόπτωσης που καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1980-2001 (22 έτη). Τα κλιματικά αυτά δεδομένα προέρχονται από τα πλεγματικά πεδία ανάλυσης του ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast) σε ανάλυση 0,25X0,25 deg (~30km). Για την δημιουργία του χάρτη ετήσιας βροχόπτωσης εφαρμόστηκε η μέθοδος παρεμβολής Inverse Distance Weighted.

Για την παράμετρο της λιθολογίας πραγματοποιήθηκε εργασία πεδίου ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκαν τα φύλλα των γεωλογικών χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών κλίμακας 1:50.000 που καλύπτουν την περιοχή μελέτης και αφού γεωαναφέρθηκαν ψηφιοποιήθηκαν τα πολύγωνα που απεικονίζουν τους γεωλογικούς σχηματισμούς που καλύπτουν το νομό. Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνεται από συνολικά 15 γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι ομαδοποιήθηκαν με κριτήριο τη συμπεριφορά τους στο νερό αν δηλαδή είναι διαπερατοί, ημιπερατοί ή αδιαπέρατοι στο νερό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Η ομαδοποίηση οδήγησε σε 5 κατηγορίες που περιλαμβάνουν 1) χαλαρές ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, 2) ασβεστόλιθους, 3) μάρμαρα - κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, 4) κροκαλοπαγή - μάργες, 5) μεταμορφωμένα πετρώματα.

Όπως αναφέρθηκε η ανθρωπογενής δραστηριότητα αντικατοπτρίζεται στις χρήσεις γης οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν την αποστράγγιση μιας περιοχής. Τα δεδομένα για τις χρήσεις γης ελήφθησαν από τον αντίστοιχο χάρτη κάλυψης γης του ευρωπαϊκού προγράμματος Corine LandCover και επιβεβαιώθηκαν στο ύπαιθρο. Σύμφωνα με το χάρτη στο νομό Μαγνησίας οι χρήσεις γης περιλαμβάνουν 29 κατηγορίες. Οι χρήσεις γης ανάλογα με το αν προστατεύουν από τις πλημμύρες όπως δάση, γεωργική γη, ή αντίθετα τις ευνοούν όπως αραιή βλάστηση και οικισμοί, ομαδοποιήθηκαν σε 4 κατηγορίες.

Για κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους έγινε βαθμονόμηση με τη χρήση συντελεστών βαρύτητας λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική βιβλιογραφία (Δημητρίου, 2007) με βάση το αν ευνοείται ή δεν ευνοείται η εκδήλωση της πλημμύρας. Στις κατηγορίες της κάθε παραμέτρου δόθηκαν ακέραιες τιμές (από 0 έως 10) με υψηλότερες τιμές στις κατηγορίες εκείνες που θεωρείται ότι συμβάλλουν στην εκδήλωση πλημμυρών. Η κατηγοριοποίηση αυτή οδήγησε στους αντίστοιχους θεματικούς (για κάθε μεταβλητή) χάρτες που απεικονίζουν τις περισσότερο ευάλωτες ως προς την εκάστοτε παράμετρο περιοχές του νομού Μαγνησίας.

Στη συνέχεια εκτιμήθηκε το ποσοστό επίδρασης κάθε μιας από τις παραμέτρους στο φαινόμενο της πλημμύρας. Έτσι περισσότερο σημαντική για την εκτίμηση της τελικής τιμής επικινδυνότητας θεωρήθηκε η συγκέντρωση ροής (με επίδραση 35%), ακολουθεί η ετήσια βροχόπτωση (25% επίδραση), η μορφολογική κλίση (20%) και τέλος η γεωλογία-λιθολογία (10%) και οι χρήσεις γης (10%). Ακολούθησε η συνένωση των θεματικών χαρτών με αλγεβρική πρόσθεση των τιμών βαρύτητας κάθε κελιού και προέκυψε ο χάρτης επικινδυνότητας στις πλημμύρες. Η κατηγοριοποίηση του παραγόμενου τελικού χάρτη οδήγησε στον εντοπισμό των περιοχών που είναι περισσότερο επιδεκτικές στον πλημμυρικό κίνδυνο.

3. Αποτελέσματα

Οι τιμές συγκέντρωσης ροής που εκτιμήθηκαν κυμαίνονται από 0 έως 508,446 τιμές ανά pixel και ο νομός χωρίστηκε σε πέντε κατηγορίες τα όρια τιμών των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 1. Ο θεματικός χάρτης που αφορά την κατηγοριοποίηση σε σχέση με τη συγκέντρωση ροής δείχνει ότι οι περιοχές με το σημαντικότερο πρόβλημα εντοπίζονται κατά μήκος των κεντρικών κοιτών των μεγαλύτερων υδρογραφικών δικτύων του νομού. Συγκεκριμένα εκείνων που αποστραγγίζουν της βόρειες κλιτύες του όρους Όθρυος και διασχίζουν την πεδιάδα του Αλμυρού αλλά και των δικτύων που αποστραγγίζουν τις νότιες πλαγιές του Πηλίου καταλήγοντας στην πεδινή έκταση νοτιοδυτικά του ορεινού όγκου, όπου βρίσκεται η πόλη του Βόλου. Η αυξημένη συγκέντρωση ροής στα τμήματα αυτά των κεντρικών κοιτών των υδρογραφικών δικτύων οφείλεται στη συμβολή σημαντικού αριθμού κλάδων μικρών τάξεων και μεγάλης κλίσης. Επίσης υψηλή συγκέντρωση ροής εμφανίζουν και οι κεντρικοί κλάδοι τόσο των υδρογραφικών δικτύων που αποστραγγίζουν τις βόρειες και ανατολικές πλαγιές του Πηλίου και απορρέουν άμεσα στο Αιγαίο πέλαγος, όσο και των μεγαλύτερων δικτύων των μεγαλύτερων σε έκταση νησιών του νομού.

Οι μορφολογικές κλίσεις που εκτιμήθηκαν κυμαίνονται από 0 έως 78,2515 %. Η περιοχή μελέτης ομαδοποιήθηκε σε τέσσερις κατηγορίες από χαμηλής έως πολύ υψηλής επικινδυνότητας (Πίνακας 1). Στον χάρτη βαθμονόμησης των κλίσεων του ανάγλυφου φαίνεται η γεωγραφική

κατανομή της παραμέτρου. Οι ορεινές περιοχές με πολύ έντονες μορφολογικές κλίσεις, δεν εμφανίζουν σημαντικό κίνδυνο πλημμύρας αφού το νερό της βροχής απορρέει κινούμενο με μεγάλη ταχύτητα προς τα πεδινά. Οι περισσότερο επιρρεπείς ως προς την παράμετρο αυτή περιοχές είναι οι παρυφές των ορεινών όγκων τόσο της Όθρυος όσο και του Πηλίου όπου οι κλίσεις αλλάζουν απότομα. Σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης στα ορεινά το νερό των υδρογραφικών δικτύων φθάνει στις περιοχές αυτές με σχετικά μεγάλη ταχύτητα και σε μεγάλη ποσότητα δεδομένου ότι οι μεγάλες κλίσεις δεν ευνοούν την κατείσδυση. Η μικρή όμως κλίση των κοιτών στην έξοδο από τους ορεινούς όγκους επιβραδύνει την κίνηση της επιφανειακής απορροής οδηγώντας στη συσσώρευσή της. Σημαντικό τμήμα του νομού ανήκει στην κατηγορία αυτή και χαρακτηρίζεται σαν υψηλού κινδύνου. Οι περιοχές που έχουν κατά καιρούς πληγεί από πλημμύρες βρίσκονται σε αυτή τη ζώνη.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μεταβλητών, βαθμονόμησης και τελικού συντελεστή βαρύτητας %.

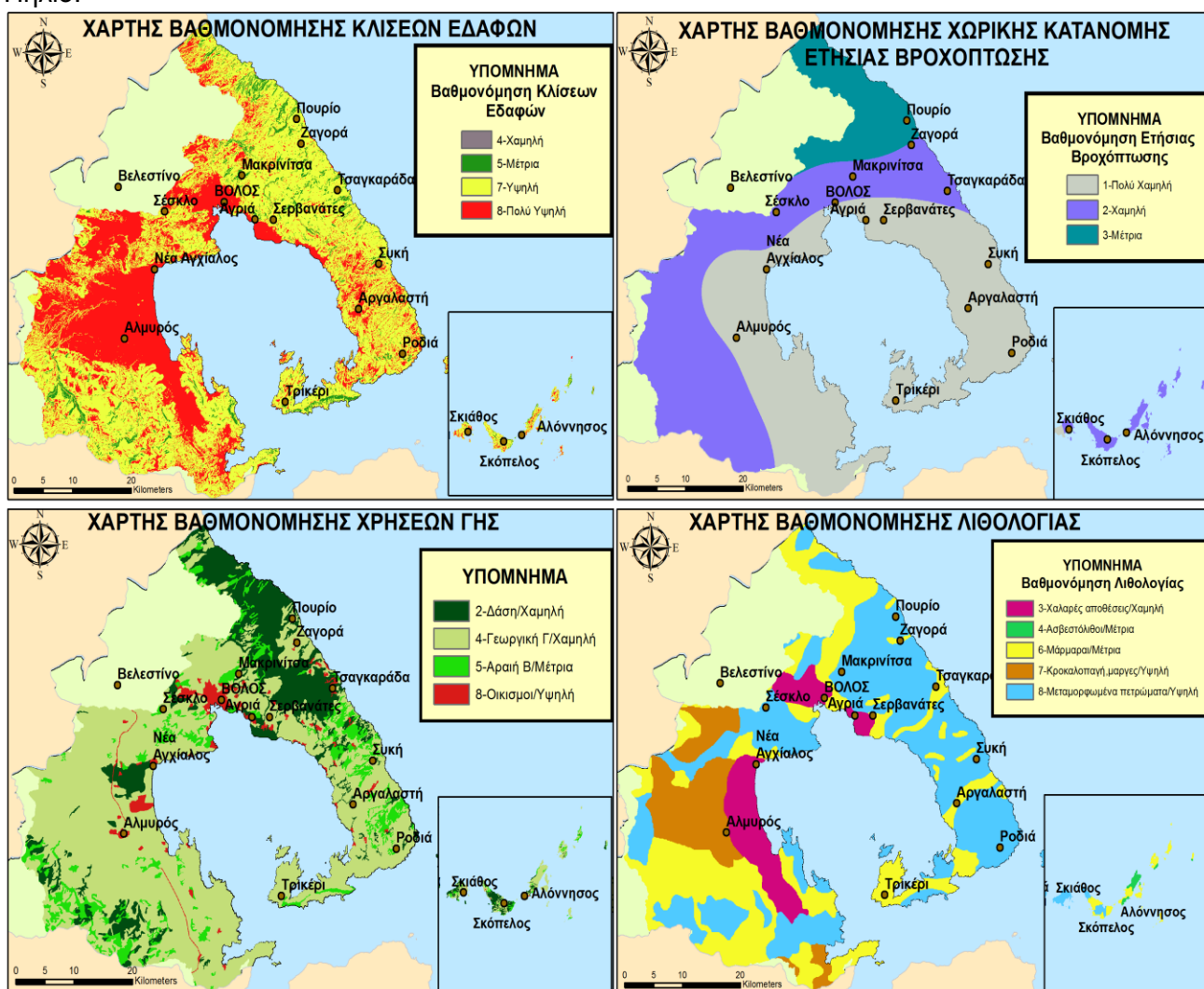
Μεταβλητές	Τιμές pixel	Βαθμονόμηση	Συντελεστής %
Συγκέντρωση ροής	200,159-508,446	10	35
	103,039-200,159	8	
	37,708-103,039	7	
	8,576-37,708	5	
	0-8,576	3	
Βροχόπτωση	366,517-358,413	3	25
	358,413-354,463	2	
	354,463-349,083	1	
	%		
Κλίσεις εδαφών	>76	4	20
	31-76	5	
	8-31	7	
	0-8	8	
Χρήσεις γης	Δάση	2	10
	Γεωργική γή	4	
	Αραιή βλάστηση	5	
	Οικισμοί	8	
Γεωλογία	Χαλαρές ποταμοχειμάρριες αποθέσεις	3	10
	Ασβεστόλιθοι	4	
	Μάρμαρα-κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι	6	
	Κροκαλοπαγή, μαργες	7	
	Μεταμορφωμένα πετρώματα	8	

Ο χάρτης του σχήματος 2 απεικονίζει τη χωρική κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης για την περίοδο 1980-2001. Μεγαλύτερη ποσότητα ετήσιου ύψους βροχόπτωσης δέχονται βορειο-βορειοανατολικά τμήματα του νομού, ενώ μικρότερη νοτιοδυτικά, κεντρικά, ανατολικά ενώ το υπόλοιπο τμήμα του νομού και το μεγαλύτερο τμήμα των νησιών μέτρια. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση αποτελεί απλά μια ένδειξη του νερού που δέχεται η κάθε περιοχή σε ετήσια βάση με τη μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και δεν αφορά τη ραγδιαιότητα (ύψος βροχής ανά χρονικό διάστημα) που ίσως είναι σημαντικότερη παράμετρος για τη μελέτη μεμονωμένων όμως πλημμυρικών γεγονότων. Για τη γενική μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας που ακολουθείται στην εργασία αυτή η χωρική διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής θεωρήθηκε ότι αποτελεί μια ένδειξη της συνεισφοράς της παραμέτρου αυτής στην εκδήλωση πλημμύρων.

Η λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών (Σχήμα 2) που καταλαμβάνουν τις λεκάνες απορροής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενίσχυση ή τον περιορισμό της επιφανειακής απορροής σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων. Μετά την ομαδοποίηση των γεωλογικών σχηματισμών, με κριτήριο την υδροπερατότητά τους, ο νομός κατηγοριοποιήθηκε σε πέντε κατηγορίες με τις χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις να θεωρούνται ο πλέον περατός και άρα ο

σχηματισμός που επηρεάζει λιγότερο και τα μεταμορφωμένα πετρώματα (εκτός των μαρμάρων) να θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατα και οι περιοχές που καταλαμβάνονται από αυτά να θεωρούνται ως πολύ υψηλής επικινδυνότητας. Από το θεματικό χάρτη βαθμονόμησης των γεωλογικών σχηματισμών φαίνεται ότι μεγάλη έκταση των ορεινών και ημιορεινών περιοχών καταλαμβάνεται από σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται ημιπερατοί ή αδιαπέρατοι γεγονός που ενισχύει τη μεγάλη συγκέντρωση επιφανειακής απορροής στις κοίτες των δικτύων που καταλήγουν στις λιγότερο ευάλωτες ως προς την παράμετρο αυτή πεδινές περιοχές που καταλαμβάνονται από διαπερατές αλλουβιακές αποθέσεις.

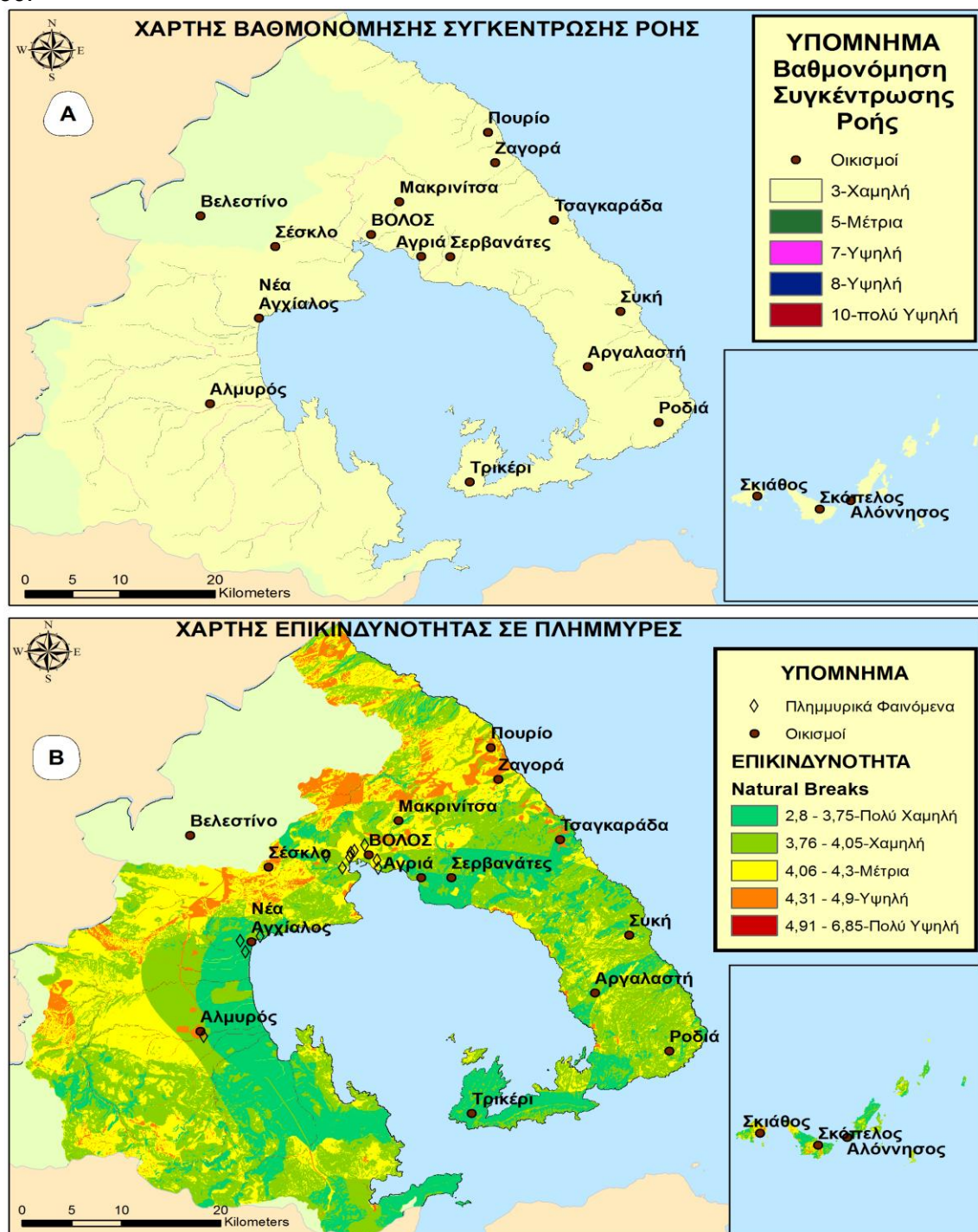
Οι χρήσεις γης διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην προστασία ή την υποβοήθηση των πλημμυρών. Οι χρήσεις γης ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις ομάδες με τους οικισμούς να θεωρούνται ως υψηλής επικινδυνότητας, λόγω της παρουσίας των στεγανών κατασκευών όπως είναι οι δρόμοι, τα πεζοδρόμια και τα κτίρια (Σχήμα 2). Οι αστικές περιοχές εντοπίζονται κυρίως στην πόλη του Βόλου, στον Αλμυρό στις ακτές του Παγασητικού κόλπου, στην Νέα Αγχίαλο και στους οικισμούς των νησιών. Το μεγαλύτερο μέρος του νομού χαρακτηρίζεται ως χαμηλής επικινδυνότητας αφού καλύπτεται κυρίως από καλλιέργειες καθώς και δασικές περιοχές όπως το Πήλιο.



Σχήμα 2. Χάρτες βαθμονόμησης κλίσεων εδαφών, χωρικής κατανομής ετήσιας βροχόπτωσης, λιθολογίας και χρήσεων γης.

Ο συνδυασμός των παραπάνω θεματικών χαρτών και η συνεκτίμηση των πέντε παραπάνω παραμέτρων ανά ρixel οδήγησαν στον τελικό χάρτη επικινδυνότητας πλημμυρών του νομού (Σχήμα 3B). Από τον χάρτη αυτό φαίνεται ότι πολύ υψηλή επικινδυνότητα εντοπίζεται στις περιοχές των οικισμών και σε χαρακτηριστικά σημεία του υδρογραφικού δικτύου (Σχήμα 3B), ενώ με υψηλή κυρίως σποραδικά στο δυτικό, βορειο-βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Μέτρια επικινδυνότητα παρουσιάζουν τμήμα των νησιών, οι περιοχές του Πηλίου και το μεγαλύτερο μέρος

του νομού Μαγνησίας. Επιπλέον χαρακτηρίζονται ως χαμηλής επικινδυνότητας οι νότιες περιοχές, οι ανατολικές περιοχές του Πηλίου, καθώς και το μεγαλύτερο τμήμα των νησιών. Οι περιοχές με πολύ χαμηλή επικινδυνότητα εντοπίζονται στις νότιες και ανατολικές περιοχές του Παγασητικού κόλπου.



Σχήμα 3.Α) Χάρτες βαθμολογίας συγκέντρωσης ροής Β) Χάρτης επικινδυνότητας σε πλημμύρες του Νομού Μαγνησίας στον οποίο απεικονίζονται και οι περιοχές με συχνή εμφάνιση πλημμυρών.

Οι οικισμοί οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου είναι οι Βόλος, Αλμυρός, Νέα Αγχίαλος, οικισμοί των νησιών και συγκεντρώνουν ένα σημαντικό μέρος της κοινωνικοοικονομικής δραστηριότητας του νομού. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν και τα σημεία στο χάρτη όπου έχουν παρατηρηθεί πλημμυρικά φαινόμενα στον Βόλο στον ποταμό Κρασιδίωνα, Άναυρο, Ξηριά και Σεσκουλιώτη, στον Αλμυρό και στην Νέα Αγχίαλο κατά το έτος 2006 και 2009. Βέβαια στην εκδήλωση πλημμυρών στις περιοχές αυτές συντελεί η παρουσία του τεχνητού καναλιού που διοχετεύει την επιφανειακή απορροή από την περιοχή της πρώην λίμνης Κάρλας που βρίσκεται βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης.

5. Συζήτηση - συμπεράσματα

Η μεθοδολογία που επιχειρήθηκε αποτελεί έναν τρόπο κατηγοριοποίησης της περιοχής μελέτης που αποτελεί τμήμα του νομού Μαγνησίας ανάλογα με την επικινδυνότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα. Η εφαρμογή της οδήγησε σε έναν τελικό χάρτη επικινδυνότητας όπου εντοπίζονται οι επιρρεπείς στις πλημμύρες περιοχές.

Εκτιμήθηκε ότι ένα ποσοστό 35 % της περιοχής που εντοπίζεται κυρίως στις νότιες περιοχές του νομού, στο Πήλιο, στις νότιες και ανατολικές περιοχές του Παγασητικού κόλπου καθώς και το μεγαλύτερο τμήμα των νησιών, χαρακτηρίζεται ως χαμηλής επικινδυνότητας κυρίως λόγω των έντονων μορφολογικών κλίσεων. Το 40 % χαρακτηρίζεται ως ενδιάμεσης επικινδυνότητας και εντοπίζεται στα δυτικά στα βόρεια, σε τμήματα των νησιών καθώς και σε ανατολικά τμήματα, το 20% ως υψηλή ενώ ένα μικρό ποσοστό 5% που εντοπίζεται στις περιοχές αυξημένης συγκέντρωσης ροής και σε αστικές περιοχές, όπως η πόλη του Βόλου και του Αλμυρού και τις περιοχές των νησιών εκτιμήθηκε ως πολύ υψηλή επικινδυνότητας. Είναι σημαντική η παρατήρηση ότι υπάρχει ουσιαστική ταύτιση των θέσεων των οικισμών με τις περιοχές που έχουν παρατηρηθεί πλημμύρες. Αυτό οφείλεται βέβαια και στο γεγονός ότι οι καταγραφές πλημμυρικών συμβάντων αφορούν περιοχές όπου η ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα είναι έντονη. Με άλλα λόγια μπορεί να πλημμυρίζουν και άλλες περιοχές που όμως λόγω έλλειψης οικισμών ή οικονομικά σημαντικών χρήσεων γης να μην ενδιαφέρουν.

Ο τελικός χάρτης επικινδυνότητας παρέχει μια πρώτη καταγραφή των περιοχών που παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα αποτελώντας ένα σημαντικό βοήθημα στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αντιπλημμυρική προστασία και θωράκιση της περιοχής. Η κλίμακα εφαρμογής της μεθόδου είναι καθοριστικής σημασίας. Μετά τον πρώτο εντοπισμό των ευάλωτων περιοχών σε επίπεδο νομού απαιτείται η λεπτομερέστερη προσέγγιση, καταγραφή και οριοθέτηση των περιοχών αυτών λαμβάνοντας υπόψη και τις υπάρχουσες κοινωνικοοικονομικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα των προσεγγίσεων αυτών θα μπορούσαν να βοηθήσουν την σχεδίαση και κατασκευή έργων αντιπλημμυρικής προστασίας τα οποία να περιλαμβάνουν ήπιες παρεμβάσεις ώστε να μην αλλοιώνεται το φυσικό περιβάλλον και να μη διαταράσσεται το υδρολογικό καθεστώς της περιοχής. Σημαντική θα είναι η συμβολή του παραγόμενου χάρτη επικινδυνότητας στην οριοθέτηση ζωνών προστασίας από τις πλημμύρες εντός των οποίων θα περιορίζονται ή ακόμη και απαγορεύονται συγκεκριμένες δραστηριότητες.

Προφανώς για την ορθή εκτίμηση και διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου απαιτείται η συλλογή όσο γίνεται λεπτομερέστερων βροχομετρικών και υδρολογικών στοιχείων. Η εγκατάσταση ενός δικτύου παρακολούθησης μετεωρολογικών και υδρολογικών παραμέτρων που να καλύπτει όλη την περιοχή θα βοηθούσε στην απόκτηση και στατιστική επεξεργασία σημαντικών στοιχείων αλλά και θα παρείχε τη δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης σχετικά με την εκδήλωση επικίνδυνων πλημμυρικών επεισοδίων.

Βιβλιογραφία

- Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Καρύμπαλης, Ε., Κατσαφάδος, Π., Μαρουκιάν, Χ. 2008: Διερεύνηση των φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών εκδήλωσης πλημμυρών στον κάτω ρου του χείμαρρου Ξηριά. Πρακτικά 8^{ου} Διεθνούς Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελλάδας, 455-464.
- Δημητρίου, Η., 2007: Εκτίμηση τρωτότητας του νομού Λακωνίας σε πλημμυρικά φαινόμενα. Τεχνική Έκθεση του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. προς την Επιτροπή «Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας».
- Forte, F., Penneta, L., Strobi, R.O., 2005: Historic records and GIS applications for flood risk analysis in the Salento peninsula (southern Italy). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **5**, 833-844.
- Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Μαρουκιάν, Χ., 2005: Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήλωση πλημμύρων. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τομ. XXXVIII: 171-181.
- Μαρουκιάν, Χ., Τσερμέγκα, Ε., Γάκη-Παπαναστασίου, Κ., Καρύμπαλης, Ε., 2005: Ο ρόλος των μορφομετρικών παραμέτρων και των ανθρωπογενών επεμβάσεων στην εκδήλωση πλημμυρών στον κάτω ρου του Κηφισού ποταμού (Λεκανοπέδιο Αττικής). Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, τόμος Ι: 289-299.