

FLOOD HAZARD ASSESSMENT IN TECTONICALLY ACTIVE AREAS

Emm. Andreadakis* & I. Fountoulis*

Abstract

Flood risk management is a task bond to water resources management throughout the European Union, and it includes flood hazard maps for all regions. The different nature of floods (riverine, flash or coastal) rather prevents the uniform application of a single methodology of hazard mapping. Especially flash floods, a common disastrous phenomenon in Greece, have to be dealt with in focus. Human intervention on runoff, e.g. land use, hydraulic works and transportation networks, are important factors influencing the onset of floods. However, floods are primarily natural processes which largely control the sediment feed of plains, river terraces, fans and deltas. The question of transfer and deposition can be dealt with as a problem of energy and impulse transformation. The pace of transformation of the dynamic energy of runoff water into kinetic energy for any local base level is the driving force for the process of flash floods. On the basis of two factors, that is, the transformation of dynamic to kinetic energy and the transformation of the nature of water impulse (mass vs velocity, depending on the slope angle), a methodology is proposed for the spatial distribution of flood hazard. The first factor indicates the energy level of each (sub-) basin and the second indicates areas where slope angle favors mass in expense of velocity in water impulse. Tectonically active regions exhibit very high spatial differentiation of tectonic (especially vertical) movements. Adjacent tectonic blocks may have contrasting vertical movement vectors, in relation to the base level. This fact has significant consequences on the hydrological networks and basins (mean altitude, mean slope, asymmetry etc). This particularity, on which flash flood phenomena are largely due to, provides the tools for the hazard mapping through the spatial calculations of the intrinsic flood hazard, which is introduced in this paper. The distribution of intrinsic flood hazard, combined with climatic or weather data (spatial distribution of average yearly precipitation or daily precipitation) provides spatial distribution of flood hazard. The methodology is based on the use of morphometric data for the calculation of intrinsic flood hazard with GIS tools for the initial hazard maps, and if precipitation data are available, it can conclude to climatic or daily flood hazard maps, based on average yearly precipitation or daily precipitation. A simplified application of the method for Lakonia area (Peloponnesus, Greece) has provided reliable results regarding recent past flood events. Moreover, the conclusions deriving from the methodology, regarding morphotectonics are very useful for the interpretation of the landscape evolution of the area, and in accordance with similar results of other researchers.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ
ΕΝΕΡΓΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ**

Εμμ. Ανδρεαδάκης* & Ι. Φουντούλης*

Περίληψη

Η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου αποτελεί στόχο συνδεδεμένο με τη συνολική διαχείριση των υδατικών πόρων σε όλη την Ε.Ε., που περιλαμβάνει χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας για κάθε περιοχή. Η διαφορετική φύση των πλημμυρών (παραποτάμιες, ξαφνικές, παράκτιες) μάλλον δεν επιτρέπει την εφαρμογή ενιαίας μεθοδολογίας εκτίμησης για όλες τις περιοχές. Ειδικά οι ξαφνικές πλημμύρες αποτελούν συχνό καταστροφικό φαινόμενο στην Ελλάδα και χρήζουν

* National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of Geology and Geoenvironment, Department of Dynamic, Tectonic & Applied Geology, Panepistimioupolis Zografou, EL 15784 Athens, andreadk@geol.uoa.gr, fountoulis@geol.uoa.gr.

* Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 15784 Αθήνα, andreadk@geol.uoa.gr, fountoulis@geol.uoa.gr

ιδιαίτερης αντιμετώπισης. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο ανθρώπινος παράγοντας και ειδικότερα οι χρήσεις και η κάλυψη γης, όπως και οι κάθε είδους παρεμβάσεις στο υδρογραφικό δίκτυο συμβάλλουν σημαντικά στην εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Παρά ταύτα, οι πλημμύρες δεν παύουν να αποτελούν κατεξοχήν φυσικές διεργασίες οι οποίες, μεταξύ άλλων, καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και την τροφοδοσία με ιζήματα των πλημμυρικών πεδίων, όπως είναι οι ποτάμιες αναβαθμίδες και τα αλλουβιακά ριπίδια, ή τα δέλτα. Το ζήτημα της μεταφοράς και της απόθεσης των ιζημάτων όμως, είναι καθαρά ενεργειακό. Ο ρυθμός της εκτόνωσης της δυναμικής ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης σε μια λεκάνη μέσω της μετατροπής της σε κινητική και η τελική (ή προσωρινή) απόσβεση αυτής της ενέργειας σε ένα τοπικό βασικό επίπεδο, αποτελούν την κινητήρια δύναμη της διεργασίας της πλημμύρας. Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μια μέθοδος χωρικής κατανομής αυτής της τάσης, με βάση δύο βασικούς παράγοντες: αφενός τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας που αποκτά το νερό της βροχόπτωσης στην επαφή του με το ανάγλυφο ανάλογα με το υψόμετρο πρόσπτωσης, σε κινητική, σε σχέση με τα τοπικά βασικά επίπεδα που διαμορφώνουν οι μορφολογικές κλίσεις της περιοχής και αφετέρου τη μεταβολή της φύσης της ορμής κατά μήκος της διαδρομής του νερού, που ανάλογα με την κλίση της μορφολογίας ενισχύει είτε τον παράγοντα της ταχύτητας είτε αυτόν της μάζας (ανύψωση στάθμης). Ο πρώτος παράγοντας δίνει την ενεργειακή στάθμη κάθε λεκάνης και το ρυθμό εκτόνωσής της (ισχύς), ενώ ο δεύτερος υποδεικνύει τις περιοχές όπου η φύση της ορμής ενισχύει την εκδήλωση της πλημμύρας (συγκέντρωση μάζας). Οι τεκτονικά ενεργές περιοχές έχουν την ιδιαιτερότητα να παρουσιάζουν πολύ ισχυρές διαφοροποιήσεις στις τεκτονικές (ιδιαίτερα τις κατακόρυφες) κινήσεις όμορων τεκτονικών τεμαχίων. Εφαπτόμενα τεκτονικά τεμάχια είναι δυνατόν να έχουν ακόμα και αντίθετο πρόσημο στην κατακόρυφη συνιστώσα της κίνησής τους, σε σχέση με το βασικό επίπεδο (π.χ. τη στάθμη της θάλασσας). Το γεγονός αυτό έχει άμεσες και αδρές επιπτώσεις στις λεκάνες (μέση κλίση και μέσο υψόμετρο, ασυμμετρία, μορφολογικές κλίσεις κ.λπ.), στα υδρογραφικά δίκτυα και γενικά στη γεωμορφολογία της περιοχής. Αυτή η ιδιαιτερότητα, στην οποία οφείλονται εν πολλοίς τα φαινόμενα των ξαφνικών πλημμυρών, παρέχει και τα εργαλεία για τη μελέτη της χωρικής διαφοροποίησης της «ενδογενούς (ή εσωτερικής) πλημμυρικής επικινδυνότητας». Ο συνδυασμός αυτής της χωρικής διαφοροποίησης με «εξωγενή» στοιχεία με κυρίαρχο το κλίμα, δίνει με σημαντική ακρίβεια την κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε περιοχές με έντονη τεκτονική δραστηριότητα. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση μορφομετρικών στοιχείων του αναγλύφου σε περιβάλλον GIS, για τον υπολογισμό της ενδογενούς πλημμυρικής επικινδυνότητας ως φυσικού μεγέθους με μονάδες ισχύος, είτε ως γενική τάση κατανομημένη στην περιοχή έρευνας, είτε ως δυναμικά μεταβαλλόμενο μέγεθος κατά τη διάρκεια ενός καιρικού συμβάντος. Η εφαρμογή που έγινε ήδη στην περιοχή της Λακωνίας με τη δημιουργία του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, έδωσε αξιόπιστα αποτελέσματα, και οι συνέπειες των υπολογισμών συνεισφέρουν σημαντικά στοιχεία στην ερμηνεία της μορφοτεκτονικής εξέλιξης της περιοχής, όπως τα ριπίδια του ανατολικού ρηξιγενούς περιθωρίου του Ταυγέτου, νοτιοδυτικά της Σπάρτης.

1. Το πρόβλημα της χαρτογραφικής απεικόνισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας

Ένας σημαντικός στόχος σε εθνικό και διεθνές επίπεδο είναι η επιτυχημένη διαχείριση των φυσικών καταστροφών, ειδικά εν όψει των αυξανόμενων επιπτώσεών τους τα τελευταία χρόνια και υπό το φάσμα των κλιματικών αλλαγών που περιγράφονται διεθνώς. Οι πλημμύρες ειδικά, έχουν αποτελέσει αντικείμενο ειδικής οδηγίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2007/60), που εύλογα συνδέεται με την οδηγία – πλαίσιο για το νερό (2000/60), έτσι ώστε η διαχείριση των πλημμυρών να ενταχθεί στο συνολικό σχεδιασμό της διαχείρισης των υδάτων. Κρίσιμο εργαλείο για τη διαχείριση των πλημμυρών, και υποχρέωση πλέον των κρατών – μελών όλης της Ε.Ε., αποτελούν οι χάρτες διακινδύνευσης (risk maps), που με τη σειρά τους προκύπτουν από το συνδυασμό των χαρτών τρωτότητας (vulnerability maps) και των χαρτών κινδύνου ή επικινδυνότητας (hazard maps).

Ενώ όμως η χαρτογράφηση τρωτότητας βασίζεται σε στοιχεία άμεσα χαρτογραφήσιμα που σχετίζονται εν πολλοίς με το είδος, την αξία και την ευαισθησία της ανθρώπινης δραστηριότητας στην εκάστοτε περιοχή και παραμετροποιούνται με απλές μεθοδολογίες, δεν συμβαίνει το ίδιο με τη χαρτογράφηση της φυσικής παραμέτρου, δηλαδή της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Σε κάθε περίπτωση, φαίνεται ότι δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί η ίδια μεθοδολογία προσέγγισης της

πλημμυρικής επικινδυνότητας για κάθε τύπο πλημμύρας. Οι ποτάμιες (riverine floods), οι ξαφνικές (flash floods) και οι παράκτιες πλημμύρες (coastal floods) σε καμιά περίπτωση, παρόλο που βεβαίως όλες προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις, δεν είναι όμοια φαινόμενα ως προς το μηχανισμό εκδήλωσης, τους νόμους που τις διέπουν και τελικά την ενδεικνυόμενη προσέγγιση ως προς τη μελέτη και τη διαχείριση.

Στην Ελλάδα οι ξαφνικές πλημμύρες είναι συχνά φαινόμενα, με μεγάλη διασπορά και με καταστροφικές επιπτώσεις, και είναι αναγκαία η κατάρτιση μιας μεθοδολογίας που να περιγράφει το μηχανισμό εκδήλωσης και να καταλήγει στη χωρική κατανομή της επικινδυνότητας.

Ένα πρόβλημα που ανακύπτει στην χαρτογραφική απεικόνιση της πλημμυρικής επικινδυνότητας ειδικά για τις ξαφνικές πλημμύρες, είναι ότι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συνήθως είτε εφαρμόζονται μόνο κατά μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου (Stream Power, Instant Unit Hydrograph κ.λπ.), οπότε δεν καλύπτουν όλη την έκταση της ερευνώμενης περιοχής, είτε αποτελούν αποτελέσματα πολυπαραμετρικής ανάλυσης και εξαρτώνται από τους παράγοντες που έχουν εισαχθεί στα μοντέλα και από την εκ προοιμίου αξιολόγησή τους. Ως αποτέλεσμα, είναι δυνατόν, ανάλογα με τον τρόπο που εφαρμόζεται η μέθοδος, να προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Εξάλλου, ειδικά στο θέμα των πλημμυρών, εισάγεται συχνά ως παράγοντας και το στοιχείο του «ιστορικού», που εξαναγκάζει τα αποτελέσματα να υποδείξουν κυρίως περιοχές που ήδη έχουν εκδηλωθεί φαινόμενα, ανάλογα με τα υφιστάμενα στοιχεία και βασισμένα στην ακρίβεια και στο βάθος χρόνου των στοιχείων αυτών. Ακόμα, είναι δύσκολα διακριτό ποια φαινόμενα είναι καταρχήν φυσικά και πότε έχει παίξει σημαντικό ρόλο ο ανθρώπινος παράγοντας. Ένα «βεβαρυμένο» ιστορικό, μπορεί κάλλιστα να οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον ανθρώπινο παράγοντα. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι, οι πλέον διαδεδομένες μεθοδολογίες στη μελέτη των πλημμυρών χρησιμοποιούν δεδομένα βροχόπτωσης - απορροής, τα οποία γενικά λείπουν στην Ελλάδα είτε ως σύγχρονα στοιχεία, είτε ως αξιόπιστες χρονοσειρές.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα εφαρμογής του υπολογισμού του Stream Power σε περιβάλλον GIS δείχνουν εξάρτηση των τιμών από την κλίμακα του καννάβου, πράγμα που δείχνει ότι χρειάζεται προσοχή όταν συγκρίνονται μοντέλα διάβρωσης ενέργειας χειμάρρου που προέρχονται από διαφορετική ανάλυση καννάβου (Finlayson & Montgomery, 2003). Άλλωστε, το θέμα της επίδρασης της κλίμακας στα αποτελέσματα των ποσοτικών υπολογισμών στα υδρογραφικά δίκτυα έχει επισημανθεί και παλαιότερα (Μαρσιολάκος & Λέκκας 1974, Mariolakos et al. 1976, Mariolakos 1981). Σημειωτέον ότι, αυτό που ενδιαφέρει εδώ δεν είναι τόσο ο ρυθμός διάβρωσης ή η παροχή ιζήματος, αλλά πώς οι συνθήκες που ευνοούν την πλημμύρα μεταβάλλονται από θέση σε θέση μέσα σε μια λεκάνη απορροής, και πού μεγιστοποιούνται. Το ερώτημα που τίθεται είναι εάν υπάρχει ένα φυσικό μέγεθος που να περιγράφει την πλημμυρική επικινδυνότητα αντικειμενικά, τουλάχιστον ως προς το σκέλος της φυσικής διεργασίας, δηλαδή ανεξάρτητα από την άμεση ανθρώπινη παρέμβαση.

Ξεκινώντας καταρχήν από την ίδια την ορθότητα της ιδέας της πλήρους κάλυψης μιας περιοχής με ποσοτικά στοιχεία εκτίμησης ως προς την πλημμυρική επικινδυνότητα, θα πρέπει να επισημανθεί ότι η μελέτη μόνο πάνω στο υδρογραφικό δίκτυο, περιορίζεται από την κλίμακα του βασικού χάρτη που χρησιμοποιείται. Όσο πιο λεπτομερής είναι η κλίμακα τόσο περισσότεροι κλάδοι απεικονίζονται, σε βαθμό που να θεωρείται ότι η διάσταση του υδρογραφικού δικτύου (που χαρτογραφικά αποτελείται από μονοδιάστατες γραμμές) είναι μεταξύ 1 και 2, δηλαδή τείνει να καλύψει όλη την επιφάνεια του αναγλύφου (Mandelbrot 1982, Tokunaga 2003). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε σημείο του αναγλύφου μπορεί να θεωρείται καταρχήν δυνάμει επικίνδυνο για πλημμύρα, ως σημείο συγκέντρωσης νερού. Ο Chase (1992) αναφέρει ότι σε οριζόντιες κλίμακες μέχρι δεκάδες χιλιόμετρα, και με ανάλυση κάποιες εκατοντάδες μέτρα, στην πραγματικότητα δεν υπάρχει σημείο που να μην περιλαμβάνει πλαγιές και κοίτες, ενώ η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου δεν είναι για την κλίμακα αυτή ιδιαίτερα δόκιμη έννοια. Άρα θεωρητικά τουλάχιστον, η πλημμυρική επικινδυνότητα θα μπορούσε να απεικονιστεί για κάθε σημείο μιας περιοχής, αν υπήρχε μια κατάλληλη μέθοδος υπολογισμού. Αυτό που χρειάζεται είναι να καταρτιστεί μια μεθοδολογία, που με τα λιγότερα δυνατά στοιχεία, να δίνει τα πλέον αντικειμενικά αποτελέσματα, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο.

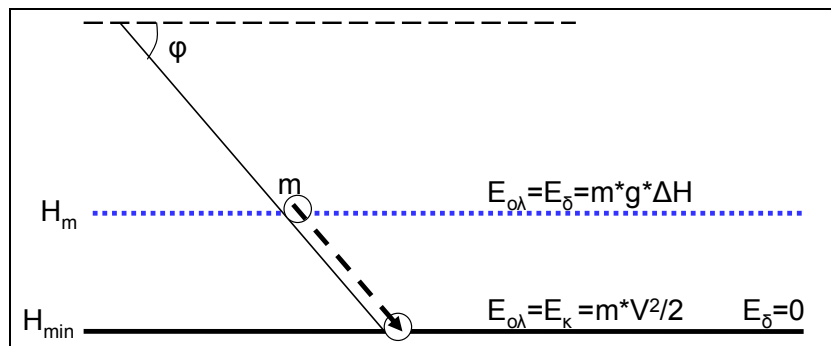
2. Παραδοχές και γεωλογική κλίμακα χρόνου

Η μελέτη του φαινομένου της πλημμύρας γίνεται συνήθως στην κλίμακα χρόνου του ίδιου του φαινομένου, και χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα που προσομοιώνουν την απορροή σε σχέση με τις διαστάσεις των κοιτών και σε σχέση με το χρόνο, με ακρίβεια ανάλογη με την ακρίβεια των εισερχόμενων δεδομένων.

Αν γίνει μια προσέγγιση όμως με βάση τη γεωλογική χρονική κλίμακα, τότε το φαινόμενο έχει «στιγμαία» ή «ακαριαία» φύση, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλοποιήσεις και παραδοχές που δεν είναι αποδεκτές για την κλίμακα χρόνου της διάρκειας ενός πλημμυρικού γεγονότος.

Από αυτήν την οπτική γωνία, το φαινόμενο μπορεί να περιγραφεί σαν την ολίσθηση μιας μάζας (ίσης με τη μάζα του νερού της βροχόπτωσης) από το σημείο που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, μέχρι το επίπεδο βάσης. Αν η προσέγγιση αυτή θεωρείται υπερβολικά απλουστευτική, πρέπει να υπενθυμιστεί ότι κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με την προσέγγιση της φύσης του φωτός ως κυματικής ή σωματιδιακής, ανάλογα με τις ανάγκες των υπολογισμών.

Το συμβάν της πλημμύρας, είναι μέρος της φυσικής διεργασίας της μεταφοράς και απόθεσης του προϊόντος της αποσάθρωσης, και ως τέτοιο, είναι πρωτίστως θέμα ενέργειας. Η μεταφορά και η απόθεση εξαρτώνται θεμελιωδώς από την ενέργεια του νερού της βροχόπτωσης, και την κατανάλωσή της κατά τη διαδρομή του από τα ανάντη προς τα κατόντη. Το νερό της βροχής, από τη στιγμή της πρόσπτωσής του στη γήινη επιφάνεια, έχει ήδη μια συγκεκριμένη ποσότητα δυναμικής ενέργειας, σε σχέση με οποιοδήποτε κατόντη σημείο. Αν θεωρήσουμε μια οποιαδήποτε περιοχή συγκέντρωσης (λεκάνη), τότε αυτή η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από τη διαφορά του υψόμετρου πρόσπτωσης της βροχής από το υψόμετρο του σημείου συγκέντρωσης, δηλαδή του στομίου της λεκάνης (Εικ. 1).



Εικ. 1 – Μετατροπή της συνολικής ενέργειας από μόνο δυναμική σε μόνο κινητική, σε σχέση με ένα τοπικό βασικό επίπεδο.

Κατά τη διαδρομή του νερού προς το σημείο συγκέντρωσης, η δυναμική ενέργεια (ως προς τη συγκεκριμένη στάθμη αναφοράς) μετατρέπεται σε κινητική, και στο στόμιο της λεκάνης, έχει ολοκληρωθεί η μεταβολή της φύσης αυτού του ποσού ενέργειας. Είναι φανερό ότι για κάθε σημείο συγκέντρωσης, υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν αυτή την ενεργειακή μεταβολή:

- Το **συνολικό ποσό της ενέργειας ΔE** που μετατρέπεται από δυναμική σε κινητική, και
- Ο **χρόνος Δt** μέσα στον οποίο γίνεται αυτή η μετατροπή.

Το πηλίκο $\Delta E / \Delta t$ που προκύπτει, είναι **μοναδικό για κάθε σημείο της μορφολογίας, για μια δεδομένη μάζα βροχόπτωσης**. Σε πρώτη φάση λοιπόν, αν μπορούσε να υπολογιστεί αυτή η ποσότητα για κάθε σημείο της περιοχής, θα έδινε ένα αντικειμενικό μέτρο του ρυθμού με τον οποίο η δυναμική ενέργεια της βροχόπτωσης «εκτονώνεται» μέσω της κίνησης, για κάθε σημείο.

3. Η κρίσιμη παράμετρος της μορφολογικής κλίσης

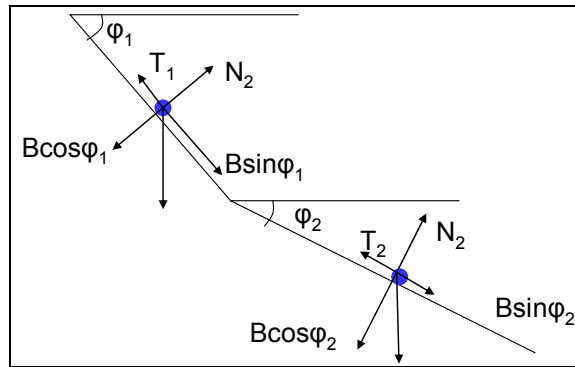
Ο παραπάνω υπολογισμός μπορεί να παρέχει ένα μέτρο της ισχύος της αποστράγγισης σε όλη την περιοχή. Το μέτρο αυτό όμως δεν αποτελεί μέτρο της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Το γεγονός

ότι ένα σημείο του αναγλύφου παρουσιάζει υψηλό ρυθμό μεταβολής της ενέργειας από δυναμική σε κινητική, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι εκεί θα εκδηλωθεί πλημμύρα.

Ο ορισμός της πλημμύρας θα χρησιμοποιηθεί εδώ για να προσανατολιστεί η μεθοδολογία των υπολογισμών: «Πλημμύρα είναι η ανύψωση της στάθμης των νερών ποταμού, λίμνης, ή θάλασσας και η έξοδός τους από την κοίτη τους, οφείλεται συνήθως στις κλιματολογικές συνθήκες και ενισχύεται από τη μορφολογία του εδάφους». Πράγματι, το αν η ποσότητα του νερού που αποστραγγίζεται θα υπερβεί σε κάποιο σημείο την ικανότητα παροχέτευσης μιας κοίτης, εξαρτάται πρωτίστως από την ίδια την ποσότητα του νερού. Από ποιον παράγοντα εξαρτάται όμως **το σημείο** στο οποίο θα γίνει η υπέρβαση;

Το γεγονός ότι οι πλημμύρες εκδηλώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές δείχνει ότι αυτές δεν είναι τυχαίες, και μάλιστα είναι αποτυπωμένες στη γεωλογία και τη γεωμορφολογία με τις χαρακτηριστικές γεωμορφές των αναβαθμίδων και των ριπιδίων.

Η ανύψωση της στάθμης του νερού σε κάποιο σημείο, σημαίνει ότι αυξάνεται η μάζα που διέρχεται σε συγκεκριμένο χρόνο από τη συγκεκριμένη διατομή. Στην πραγματικότητα, κατά την πορεία του νερού από τις υψηλές προς τις χαμηλές περιοχές, συμβαίνει μια κρίσιμη μεταβολή, που δεν είναι άλλη από τη μεταβολή της κλίσης της μορφολογίας (Εικ. 2).



Εικ. 2 – Μεταβολή των δυνάμεων που ασκούνται σε μια μάζα που ολισθαίνει σε κεκλιμένο επίπεδο, όταν μεταβληθεί η κλίση του επιπέδου.

Αν αναλυθούν οι δυνάμεις που ασκούνται σε μια μάζα κατά την κίνησή του σε δύο επικλινείς επιφάνειες με διαφορετική κλίση, σε άξονες παράλληλα και κάθετα προς τις επιφάνειες αυτές, τότε ($0 \leq \phi \leq 90^\circ$):

$$\phi_1 > \phi_2 \Leftrightarrow \cos \phi_1 < \cos \phi_2 \Leftrightarrow nB \cos \phi_1 < nB \cos \phi_2 \Leftrightarrow T_1 < T_2$$

Δηλαδή η εξωτερική τριβή είναι ανάλογη του συνημιτόνου της γωνίας κλίσης της μορφολογίας. Εξάλλου, η συνιστώσα του βάρους του νερού παράλληλα προς το κεκλιμένο επίπεδο, είναι ανάλογη του ημιτόνου της γωνίας κλίσης ($B \sin \phi$). Στον παράλληλο προς το κεκλιμένο επίπεδο άξονα, οι δυνάμεις που ασκούνται είναι:

$$\Sigma F = B \sin \phi - nB \cos \phi = mg(\sin \phi - n \cos \phi)$$

Αυτό σημαίνει ότι η επιτάχυνση του νερού είναι:

$$\gamma = g(\sin \phi - n \cos \phi)$$

Στην περίπτωση που $\phi=90$ (κρημνός), τότε $\gamma=g$, ενώ αν $\phi=0$ (επίπεδο), $\gamma=-ng$.

Στο σημείο ακριβώς που μεταβάλλεται η κλίση από ϕ_1 σε ϕ_2 , λαμβάνει χώρα μια μεταβολή της επιτάχυνσης, με βάση τη σχέση:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\sin \phi_1 - n \cos \phi_1}{\sin \phi_2 - n \cos \phi_2}$$

Αυτή η σχέση έχει ως συνέπεια να υπάρχει κάποια γωνία κλίσης, η οποία εξαρτάται από το συντελεστή τριβής n , για μικρότερες τιμές από την οποία η επιτάχυνση γίνεται αρνητική (επιβράδυνση). Το σημείο αυτό είναι εκεί όπου η γωνία κλίσης είναι τέτοια ώστε $\sin \phi = n \cos \phi$.

Για συντελεστές τριβής από 0.01 ως 0.1, η γωνία αυτή είναι από 1 ως 5 μοίρες, γεγονός που συμφωνεί με τις ήπιες μορφολογικές κλίσεις των πλημμυρικών πεδίων γενικά.

Στο σημείο που μεταβάλλεται η γωνία κλίσης όμως, εφόσον λαμβάνει χώρα μεταβολή της επιτάχυνσης, τότε μεταβάλλεται και η ταχύτητα.

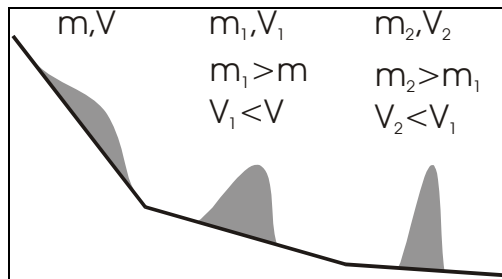
Αν θεωρήσουμε ότι η μεταβολή αυτή γίνεται σε ένα χρονικό διάστημα Δt , τότε:

$$V_1 = \gamma_1 \Delta t \text{ και } V_2 = \gamma_2 \Delta t.$$

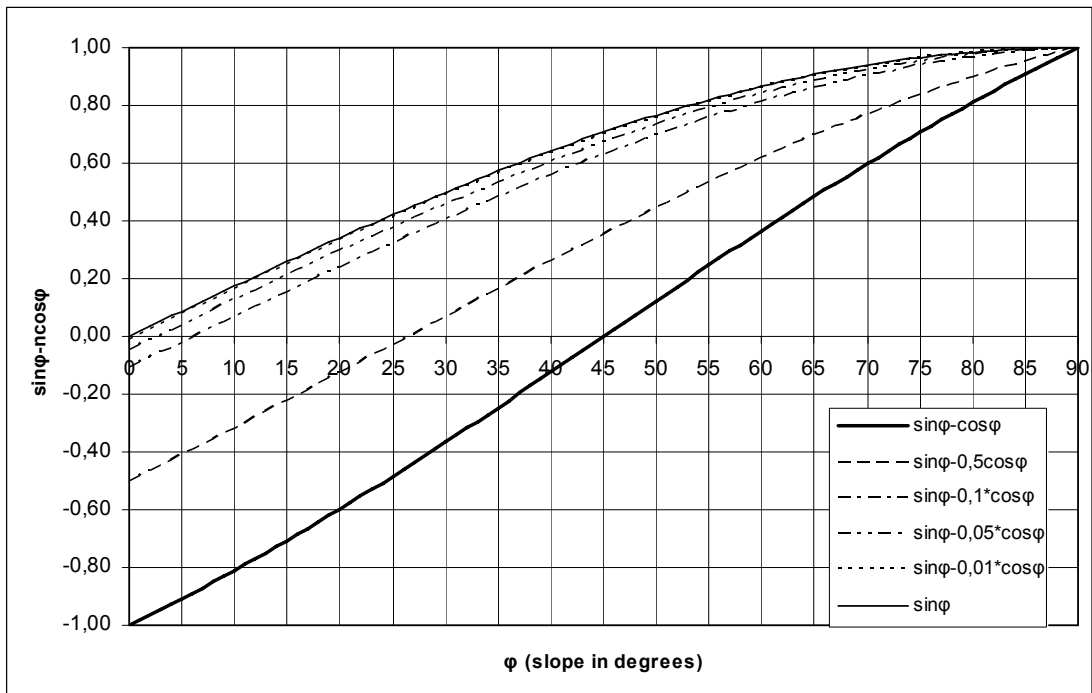
Με βάση την Αρχή Διατήρησης της Ορμής για την περιοχή ακριβώς πριν και ακριβώς μετά το σημείο αλλαγής της κλίσης, πρέπει $J_1 = J_2$, οπότε $m_1 V_1 = m_2 V_2$ και κατά συνέπεια:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin \phi_1 - n \cos \phi_1}{\sin \phi_2 - n \cos \phi_2}$$

Δηλαδή με κάθε μεταβολή της μορφολογικής κλίσης αυξομειώνεται αντίστοιχα η ποσότητα της μάζας, και συνεπώς ανάλογα και η στάθμη (Εικ.3).



Εικ. 3 – Μεταβολή της φύσης της ορμής του νερού στα σημεία αλλαγής της μορφολογικής κλίσης. Όπου μειώνεται η μορφολογική κλίση, συσσωρεύεται η μάζα και μειώνεται η ταχύτητα.



Εικ. 4 – Γραφική παράσταση της συνάρτησης $\sin \phi - n \cos \phi$ για διάφορες τιμές n (1, 0.5, 0.1, 0.01, 0).

Για τις τιμές των πραγματικών μορφολογικών κλίσεων, δηλαδή από 0° - 90° , η παραπάνω συνάρτηση έχει φυσική σημασία μόνο για τιμές του συντελεστή τριβής από 0 ως 1, ενώ μια συνήθης τιμή π.χ. για τους τσιμεντένιους αγωγούς είναι γύρω στο 0.01. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζονται μερικές χαρακτηριστικές καμπύλες της συνάρτησης $\sin\phi - n\cos\phi$, για διάφορες τιμές του συντελεστή τριβής. Παρατηρούνται τα εξής:

- Η επιτρεπτή διακύμανση της καμπύλης είναι στο διάστημα ανάμεσα στις καμπύλες που συμβολίζονται με συνεχή γραμμή, για $n=0$ (οπότε $\sin\phi - n\cos\phi = \sin\phi$) και $n=1$ (οπότε $\sin\phi - n\cos\phi = \sin\phi - \cos\phi$).
- Για τις συνήθεις φυσικές τιμές, δηλαδή $n < 0.1$, η τιμή γωνίας της μορφολογικής κλίσης για μικρότερες τιμές από την οποία γίνεται αρνητική η τιμή της συνάρτησης (δηλαδή η επιτάχυνση γίνεται επιβράδυνση) είναι από 6° και κάτω. Αυτή η διαπίστωση δικαιολογεί και τις συνήθεις μορφολογικές κλίσεις των πλημμυρικών πεδίων, ιδιαίτερα στα ριπίδια των περιθωρίων.
- Για την τιμή $n=0.01$, η καμπύλη της συνάρτησης σχεδόν ταυτίζεται με την καμπύλη της συνάρτησης $\sin\phi$.

Από τα παραπάνω ανακύπτει μια επιπλέον ενδιαφέρουσα συνέπεια, ότι δηλαδή ανεξάρτητα από την τραχύτητα του εδάφους (δηλαδή ανεξάρτητα από το συντελεστή τριβής) η μάζα (στάθμη) αυξάνεται όσο μειώνεται η κλίση της μορφολογίας.

Εφόσον λοιπόν το πλημμυρικό φαινόμενο εκδηλώνεται εκεί που συνδυάζεται ο υψηλός ρυθμός εκτόνωσης της ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης με τις ευνοϊκές μορφολογικές συνθήκες, τότε ένα μέγεθος που περιγράφει αντικειμενικά την πλημμυρική επικινδυνότητα, είναι ουσιαστικά

$$\text{ο λόγος } \frac{\Delta E}{\sin\phi \cdot \Delta t}$$

4. Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί της ποσότητας $\frac{\Delta E}{\sin\phi \cdot \Delta t}$ μπορούν να γίνουν με κατάλληλο αλγόριθμο για κάθε

σημείο μιας περιοχής, θεωρώντας το σημείο ως στόμιο λεκάνης και κάνοντας τους υπολογισμούς που ακολουθούν, με βάση την ανάντη περιοχή. Αυτή η μέθοδος βέβαια, φαίνεται αρκετά δαπανηρή σε υπολογιστική ισχύ και χρόνο. Είναι όμως δυνατό να γίνει μια πολύ πιο πρακτική και μάλλον εξίσου αξιόπιστη προσέγγιση, με τη βοήθεια της ταξινόμησης του υδρογραφικού δικτύου και των αντίστοιχων λεκανών.

Εφόσον οι τιμές $\Delta E/\Delta t$ είναι μοναδικές για κάθε σημείο, επιλέγονται όλα τα στόμια όλων των λεκανών κάθε τάξης, ως βάση των υπολογισμών και στη συνέχεια γίνεται στατιστική προβολή στα μεσοδιαστήματα μεταξύ των σημείων. Σε κάθε στόμιο λεκάνης δηλαδή, εκτελούνται οι υπολογισμοί ως προς ολόκληρη την ανάντη λεκάνη, ανεξάρτητα με τις υπολεκάνες που περιέχονται σ' αυτήν. Είναι προφανές ότι όσο πιο λεπτομερές είναι το αρχικό τοπογραφικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται, και όσο μικρότερης τάξης (αν είναι δυνατόν και 1^{ns}) λεκάνης χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, τόσο πιο ακριβείς είναι οι υπολογισμοί. Ο χάρτης που προκύπτει είναι ενδεικτικός της χωρικής κατανομής της ισχύος της απορροής που προέρχεται από μια συγκεκριμένη βροχόπτωση.

Για τον υπολογισμό είναι αναγκαία η προσέγγιση των τιμών ΔE και Δt .

$$\Delta E = m \cdot g \cdot \Delta H = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Delta H, \text{ όπου:}$$

ρ : η πυκνότητα του νερού (1000 kg/m^3)

V : ο όγκος του νερού της βροχόπτωσης

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

Δεχόμαστε ότι όλη η βροχόπτωση πέφτει στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης, H_m . Τότε το νερό της βροχής έχει μια δυναμική ενέργεια, ως προς το επίπεδο του στομίου της λεκάνης, ίση με $E_s = m \cdot g \cdot \Delta H$ (Εικ. 5), όπου:

m : η μάζα του νερού της βροχής

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

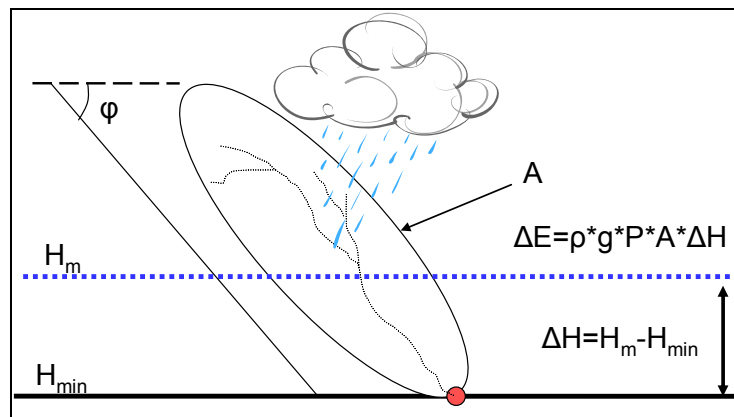
ΔH : η υψομετρική διαφορά μεταξύ μέσου υψομέτρου και υψομέτρου του στομίου.

Αλλά $V = P \cdot A$, όπου:

P : το ύψος βροχής (m)

A : η έκταση της λεκάνης (m^2)

Οπότε η $\Delta E = \rho \cdot V \cdot g \cdot \Delta H$ γίνεται $\Delta E = \rho \cdot g \cdot P \cdot A \cdot \Delta H$



Εικ. 5 – Υπολογισμός της δυναμικής ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης σε μια λεκάνη, σε σχέση με το τοπικό βασικό επίπεδο.

Για τον υπολογισμό του Δt , θα χρησιμοποιήσουμε τους υπολογισμούς των χρόνων συγκέντρωσης:

Από τον τύπο του Kirpich:

$$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$$

όπου:

L : μήκος κύριου κλάδου της λεκάνης και

S : η κλίση της λεκάνης με βάση το ολικό ανάγλυφο

Από τον τύπο του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

όπου:

ΔH : διαφορά του υψομέτρου του σημείου από το μέσο υψόμετρο της λεκάνης,

L : μήκος κύριου κλάδου της λεκάνης και

A : η έκταση της λεκάνης.

Παρατηρούμε ότι εκτός από το ύψος βροχής, την επιτάχυνση της βαρύτητας και την πυκνότητα του νερού, όλα οι υπόλοιποι παράγοντες αποτελούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε λεκάνης. Άρα, για τον παράγοντα $A \cdot \Delta H / \Delta t$, παρατηρούμε τα εξής:

- εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (έκταση, κλίση, μήκος, μέσο υψόμετρο, υψόμετρο στομίου),
- δεν εξαρτάται από το κλίμα (ύψος βροχής P),
- είναι χαρακτηριστικός για κάθε λεκάνη,
- έχει μονάδες παροχής (όγκος/χρόνος).

Συνεπώς υπάρχει ενδογενώς σε κάθε περιοχή μια στατική χωρική κατανομή αυτού του παράγοντα που δεν εξαρτάται από το ύψος βροχής. Αυτή η χωρική κατανομή μπορεί να αποτυπωθεί χαρτογραφικά με τη μορφή καννάβου (GRID) ή δικτύου ακανόνιστων τριγώνων (TIN) σε GIS.

Η χωρική κατανομή του ύψους βροχής (P) μαζί με τη χωρική κατανομή του παράγοντα $A \cdot \Delta H / \Delta t$ (ως γινόμενο $\rho \cdot g \cdot P \cdot A \cdot \Delta H / \Delta t$ για κάθε στόμιο λεκάνης), δίνει την κατανομή του $\Delta E / \Delta t$ στο χάρτη.

Αν διαιρέσουμε την τιμή $A \cdot \Delta H / \Delta t$ με το ημίτονο της γωνίας κλίσης της μορφολογίας ($\sin \phi$) σημείο προς σημείο (διαιρώντας τις τιμές του καννάβου της ποσότητας $A \cdot \Delta H / \Delta t$ με τις τιμές του καννάβου των μορφολογικών κλίσεων), τότε έχουμε ένα αντικειμενικό μέτρο της «μορφολογικής προδιάθεσης» της περιοχής για την εκδήλωση πλημμύρας, καθώς από τους παράγοντες που δεν λαμβάνονται υπόψη, οι ρ , g είναι σταθερές και ο παράγοντας P είναι η βροχόπτωση. Ο νέος καννάβος απεικονίζει την χωρική κατανομή του μεγέθους $\frac{A \cdot \Delta H}{\sin \phi \cdot \Delta t}$, το

οποίο ορίζεται ως εξής:

«Η Εσωτερική/intrinsic (ή ενδογενής/endogenous) πλημμυρική επικινδυνότητα ενός σημείου μιας υδρολογικής λεκάνης ορίζεται ως το πηλίκο του γινομένου της έκτασης της ανάντη περιοχής (A) επί τη διαφορά του υψόμετρου του σημείου από το μέσο υψόμετρο της ανάντη περιοχής (ΔH), προς το γινόμενο του ημιτόνου της γωνίας μορφολογικής κλίσης στο σημείο ($\sin \phi$) επί το χρόνο συγκέντρωσης του νερού στο σημείο (Δt):

$$FH_i = \frac{A \cdot \Delta H}{\sin \phi \cdot \Delta t} \quad (1)$$

Η ενδογενής (ή εσωτερική) πλημμυρική επικινδυνότητα έχει διαστάσεις παροχής (όγκος/χρόνος).»

Από τον ορισμό είναι φανερό ότι πρόκειται για ένα μέγεθος ανεξάρτητο από το εκάστοτε κλίμα της περιοχής και τις πιθανές μεταβολές του. Έτσι μπορεί να γίνει εκτίμηση της επικινδυνότητας για περιοχές ακόμα και χωρίς γνωστό ιστορικό πλημμυρών. Η χρήση των μορφομετρικών παραγόντων εξασφαλίζει τη συνεκτίμηση του γεωλογικού πλημμυρικού ιστορικού της περιοχής, δεν εξαρτάται όμως από τις τρέχουσες ή τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες.

Δεδομένου ότι το κλίμα μεταβάλλεται και ότι η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί στο μέλλον να αυξηθεί (IPCC 2007) αλλά και ότι μπορεί να παρουσιαστούν τέτοια σε ανύποπτο τόπο και χρόνο, πρόκειται για ένα χρήσιμο εργαλείο προκαταρκτικής χαρτογράφησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί η πρώτη φάση της εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας για την περιοχή έρευνας. Η συνέχεια περιλαμβάνει τη μετατροπή του χάρτη που προκύπτει, σε χάρτη «στρατηγικού σχεδιασμού» ή σε χάρτη «σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης».

Η περίπτωση του χάρτη «στρατηγικού σχεδιασμού» επιστρατεύει το βροχομετρικό δείκτη ως ποσό κατακρημνισμάτων στον υπολογισμό του ΔE , ενώ η περίπτωση του χάρτη «σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης» ενσωματώνει την τιμή του τρέχοντος αθροιστικού ύψους βροχής για ένα συγκεκριμένο γεγονός.

Πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το μέσο ετήσιο ύψος βροχής υπολογίζεται από εξίσωση βροχοβαθμίδας, εφόσον δηλαδή οι βροχοπτώσεις ακολουθούν ορογραφικό μοτίβο, τότε και πάλι εισέρχεται ο μορφολογικός παράγων στους υπολογισμούς.

Με την εισαγωγή του ύψους βροχής στην εξίσωση, είναι αναγκαία και η εισαγωγή της πυκνότητας στους τύπους. Συνεπώς, η «πλημμυρική επικινδυνότητα» εκφράζεται ως εξής:

«Η πλημμυρική επικινδυνότητα ενός σημείου μιας υδρολογικής λεκάνης ορίζεται ως το γινόμενο της εσωτερικής πλημμυρικής επικινδυνότητας του σημείου επί το ύψος βροχής στη λεκάνη επί την πυκνότητα του νερού:

$$FH = \rho \cdot P \cdot FH_i = \rho \cdot P \cdot \frac{A \cdot \Delta H}{\sin \phi \cdot \Delta t} \quad (2)$$

όπου:

ρ : η πυκνότητα του νερού (kg/m^3)

P: το ύψος βροχής (m),

Η πλημμυρική επικινδυνότητα εκφράζεται σε μονάδες ορμής ($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{sec}$).»

Στην ουσία, για κάθε σημείο της υδρολογικής λεκάνης και κάθε γεγονός βροχόπτωσης, η πλημμυρική επικινδυνότητα είναι ένα μέγεθος με διαστάσεις ορμής, που εξαρτάται από τη μορφολογία της περιοχής και το ύψος βροχής, αλλά ρυθμίζεται καθοριστικά από τη μορφολογική κλίση από σημείο σε σημείο.

Όταν ενσωματωθεί και η βροχόπτωση στους υπολογισμούς, στα σημεία συγκέντρωσης υπολογίζεται πλέον όχι η εσωτερική πλημμυρική επικινδυνότητα, αλλά η πλημμυρική επικινδυνότητα. Η χωρική κατανομή που προκύπτει από την προβολή δίνει τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Για την περίπτωση του στρατηγικού σχεδιασμού χρησιμοποιείται η εξίσωση της βροχοβαθμίδας $P = a \cdot H_m + P_0$, οπότε η πλημμυρική επικινδυνότητα ενσωματώνει το βροχομετρικό δείκτη, και μπορεί να χαρακτηριστεί ως «μέση» ή «κλιματική» πλημμυρική επικινδυνότητα (FH_c):

$$FH_c = \rho \cdot (a \cdot H_m + P_0) \cdot FH_i \quad (3)$$

Ακόμα και στις περιοχές που δεν υπάρχουν διαθέσιμα οποιαδήποτε βροχομετρικά στοιχεία, είναι δυνατό να κατασκευαστεί χάρτης ενδογενούς πλημμυρικής επικινδυνότητας, με βάση μόνο μορφομετρικά χαρακτηριστικά.

5. Εφαρμογή

Το χειμώνα του 2006-2007, με τη διαδικασία του επείγοντος, έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη συνεργασία του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, του ΕΛΚΕΘΕ και του Πανεπιστημίου Αθηνών (Φουντούλης κ.α, 2007). Η ερευνητική ομάδα του Πανεπιστημίου Αθηνών κινήθηκε σε δύο κατευθύνσεις, εκτός από την καθαρά γεωλογική σκοπιά του εντοπισμού πλημμυρικών πεδίων με βάση τις περιοχές των ολοκαινικών αποθέσεων και των ριπιδίων. Η μια κατεύθυνση ήταν ο υπολογισμός του Stream Power κατά μήκος κλάδων που θεωρούνταν ήδη «ύποπτου» για εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων ή ήδη είχαν εμφανίσει πλημμυρικά φαινόμενα και η κατασκευή των αντίστοιχων «στιγμιαίων μοναδιαίων υδρογραφημάτων». Η δεύτερη ήταν η χωρική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Στο στάδιο αυτό, η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

Σε πρώτη φάση έγινε υπολογισμός, για κάθε λεκάνη από 3η τάξη και άνω, των εξής παραμέτρων:

- Έκταση επιφάνειας λεκάνης,
- Ολικό ανάγλυφο,
- Μέσο υψόμετρο λεκάνης,
- Μέση κλίση λεκάνης,
- Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου,
- Συχνότητα υδρογραφικού δικτύου.

Σύμφωνα με το σκεπτικό που έχει ήδη περιγραφεί, θεωρήθηκε το στόμιο κάθε λεκάνης (από 3ης τάξης και άνω) ως το σημείο που η δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει σε κάθε σημείο της λεκάνης, έχει μετατραπεί σε κινητική και αντιμετωπίστηκε κάθε λεκάνη ως ενιαία οντότητα με ξεχωριστά χαρακτηριστικά, ασχέτως αν περιέχει λεκάνες μικρότερης τάξης ή περιέχεται σε λεκάνη μεγαλύτερης τάξης. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα να μην αγνοεί μεγάλες μεταβολές μεταξύ περιοχών που βρίσκονται σε μια μεγαλύτερης τάξης λεκάνη, για τους λόγους της υψηλής διακύμανσης της ενέργειας του αναγλύφου που προαναφέρθηκε.

Η δυναμική ενέργεια εξαρτάται, με ανάλογο τρόπο από:

- τη δεδομένη μάζα (στην προκειμένη περίπτωση του νερού που πέφτει σε μια λεκάνη). Η μάζα του νερού εξαρτάται και πάλι ανάλογα, από
 - την έκταση της λεκάνης και
 - το μέσο υψόμετρο της λεκάνης (λόγω της μεταβολής των βροχοπτώσεων με το υψόμετρο)
- την υψομετρική διαφορά από το επίπεδο βάσης, που εκφράζεται με ένα προσεγγιστικό τρόπο από το ολικό ανάγλυφο (μέγιστο μείον ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης).

Ο ρυθμός με τον οποίο εκτονώνεται η ενέργεια αυτή στο στόμιο της λεκάνης εξαρτάται από το ποσό της δυναμικής ενέργειας (ανάλογα) και από το χρόνο απόκρισης της λεκάνης (είτε εκφράζεται ως χρόνος συγκέντρωσης των υδάτων είτε ως χρόνος διαδρομής ροής), αντιστρόφως ανάλογα. Τόσο η προσέγγιση του Kirpich, όσο και η προσέγγιση του Giandotti, λαμβάνουν υπόψη είτε τη μέση κλίση της λεκάνης, είτε το ολικό ανάγλυφο, που υπεισέρχονται με αντίστροφο τρόπο στο μέγεθος του χρόνου συγκέντρωσης.

Σε κάθε περίπτωση δηλαδή, το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, $(\Delta E/\Delta t)$, αυξάνεται σε βαθμό τουλάχιστον ανάλογο προς τα παρακάτω μεγέθη:

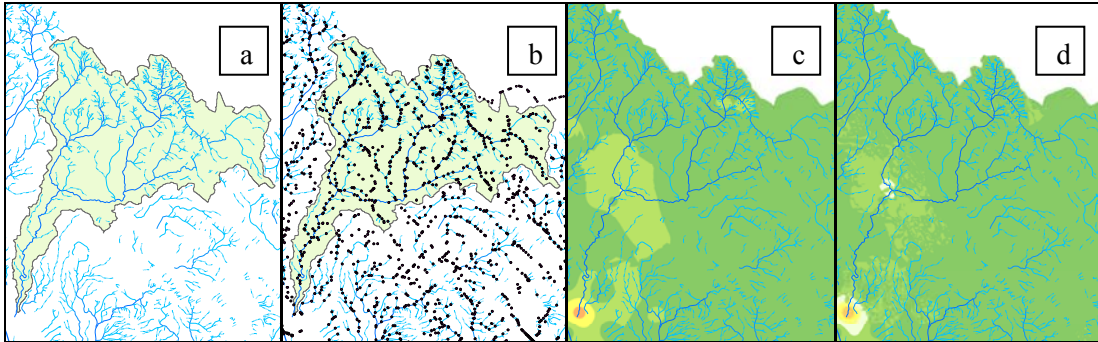
- Έκταση λεκάνης
- Μέσο υψόμετρο λεκάνης
- Μέση κλίση λεκάνης
- Ολικό ανάγλυφο.

Για να μεγιστοποιηθούν οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των στομιών των λεκανών, αυτοί οι παράγοντες ενσωματώθηκαν σε ένα γινόμενο, λειτουργώντας ως «ενισχυτές» ο καθένας για το σύνολο. Το γινόμενο αυτό δεν αποτελεί το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, αποτελεί όμως ένα πολύ καλά καθορισμένο ποσοτικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ των λεκανών.

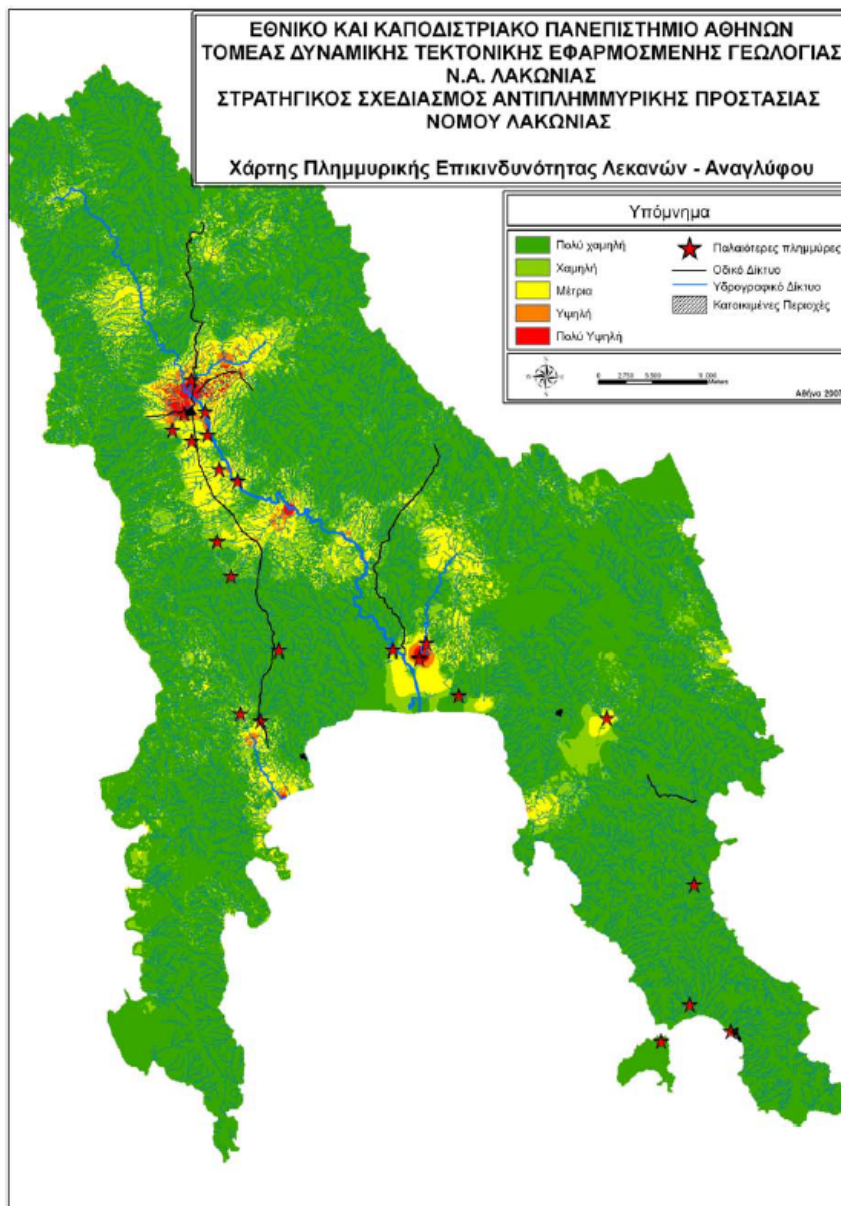
Αυτό το γινόμενο εφαρμόστηκε ως τιμή στις θέσεις των στομιών για να δημιουργηθεί ένας χάρτης χωρικής κατανομής αυτού του μεγέθους της ενέργειας λεκανών. Παρόλο που για τα εσωτερικά τμήματα των λεκανών 3ης τάξης ο χάρτης αυτός δεν έχει ουσιαστική σημασία (θα είχε αν υπήρχαν υπολογισμοί για τα στόμια 2ης τάξης, κ.ο.κ.), ωστόσο απεικονίζει αρκετά καλά τη μεταβολή στο εσωτερικό των λεκανών όλων των μεγαλύτερων τάξεων (4ης, 5ης, 6ης, κ.λπ και βέβαια στο μεταξύ τους χώρο (Εικ. 6).

Στο σημείο αυτό, και για να προσδιοριστούν καλύτερα οι περιοχές που φέρουν το μεγαλύτερο (με βάση πάντα τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους) κίνδυνο εκδήλωσης των πλημμυρών, ελήφθησαν υπόψη οι ίδιες οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, με το σκεπτικό ότι η εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων ευνοείται στις περιοχές με πολύ μικρές μορφολογικές κλίσεις, και δεν ευνοείται στις υπόλοιπες. Έγινε συνεπώς ένας επιπλέον υπολογισμός με στόχο να «ζυγιστεί» ο προηγούμενος χάρτης με βάση την τιμή των μορφολογικών κλίσεων.

Όπως εξηγήθηκε στα προηγούμενα, σε περιοχές με κλίση πάνω από 10% (6 μοίρες) δεν έχει νόημα η λεπτομερής ανάλυση, οπότε εφαρμόστηκε ένας επιπλέον παράγοντας ενίσχυσης του γινομένου που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως, ξεκινώντας από παράγοντα ενίσχυσης ίσο με μονάδα για τις περιοχές με κλίσεις πάνω από 10%, μέχρι τιμή 5 για τις περιοχές με κλίση 0-1%. Στο νέο χάρτη που προκύπτει (Χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας, Εικ. 7), η γενική μορφή της κατανομής είναι αρκετά παρόμοια, αλλά τόσο η σχετική αξιολόγηση ανάμεσα στις περιοχές, όσο και η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα.



Εικ. 6 – Διαδικασία χαρτογράφησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας: (α) χαρτογράφηση υδροκρίτη, (β) υπολογισμοί στα στόμια των υπολεκανών, (γ) προβολή σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης, (δ) τελικός χάρτης με συνυπολογισμό της μορφολογικής κλίσης (βλ. κείμενο).



Εικ. 7 – Εφαρμογή της μεθόδου εκτίμησης της ενδογενούς πλημμυρικής επικινδυνότητας στη Λακωνία (Φουντούλης κ.α, 2007).

Το αποτέλεσμα όπως αποτυπώνεται στον τελικό χάρτη, παρουσιάζει ορισμένα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα:

- Οι περιοχές μέτριας έως πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας σχεδόν ταυτίζονται με τις περιοχές που εμφανίζονται οι ολοκαινικοί σχηματισμοί, δηλαδή με τις περιοχές ενεργού απόθεσης κατά τα τελευταία 10000-12000 χρόνια.
- Επιβεβαιώνουν σε ποσοστό πάνω από 60% τα σημεία που έχουν παρατηρηθεί πρόσφατες πλημμύρες όπως έχουν απογραφεί από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας (Μανωλάκος & Παπαδουλάκης, 2007). Αυτό το ποσοστό θα μπορούσε να είναι μεγαλύτερο, με τις παρακάτω προϋποθέσεις:
 - ο να εφαρμοστεί η μέθοδος με μεγαλύτερη ακρίβεια, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα,
 - ο να εφαρμοστεί για τις λεκάνες από 2^{ης} ή και 1^{ης} τάξης.

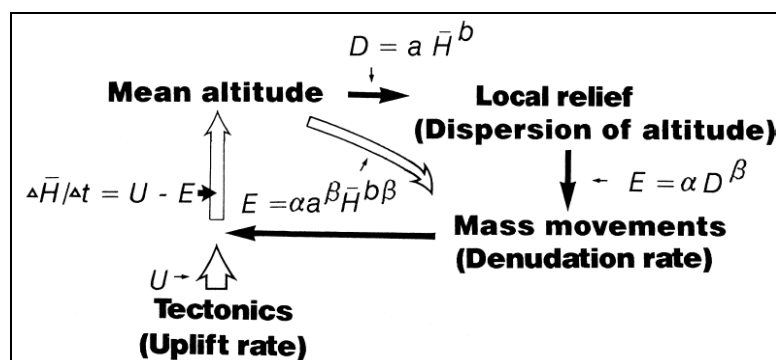
Επίσης, τα σημεία που δεν επιβεβαιώνονται οφείλονται συχνά σε ανθρώπινες παρεμβάσεις στις κοίτες (τεχνικά έργα, μπάζα κ.λπ.).

Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή η εφαρμογή δεν ήταν ακριβής ως προς τους υπολογισμούς όπως αναλύθηκαν στα προηγούμενα, όμως αποδείχθηκε ιδιαίτερα ταχεία ως μεθοδολογία, και αρκετά αξιόπιστη για το διαθέσιμο χρόνο και την κλίμακα εφαρμογής.

6. Διάβρωση, απόθεση και πλημμύρες στα τεκτονικά ενεργά περιθώρια

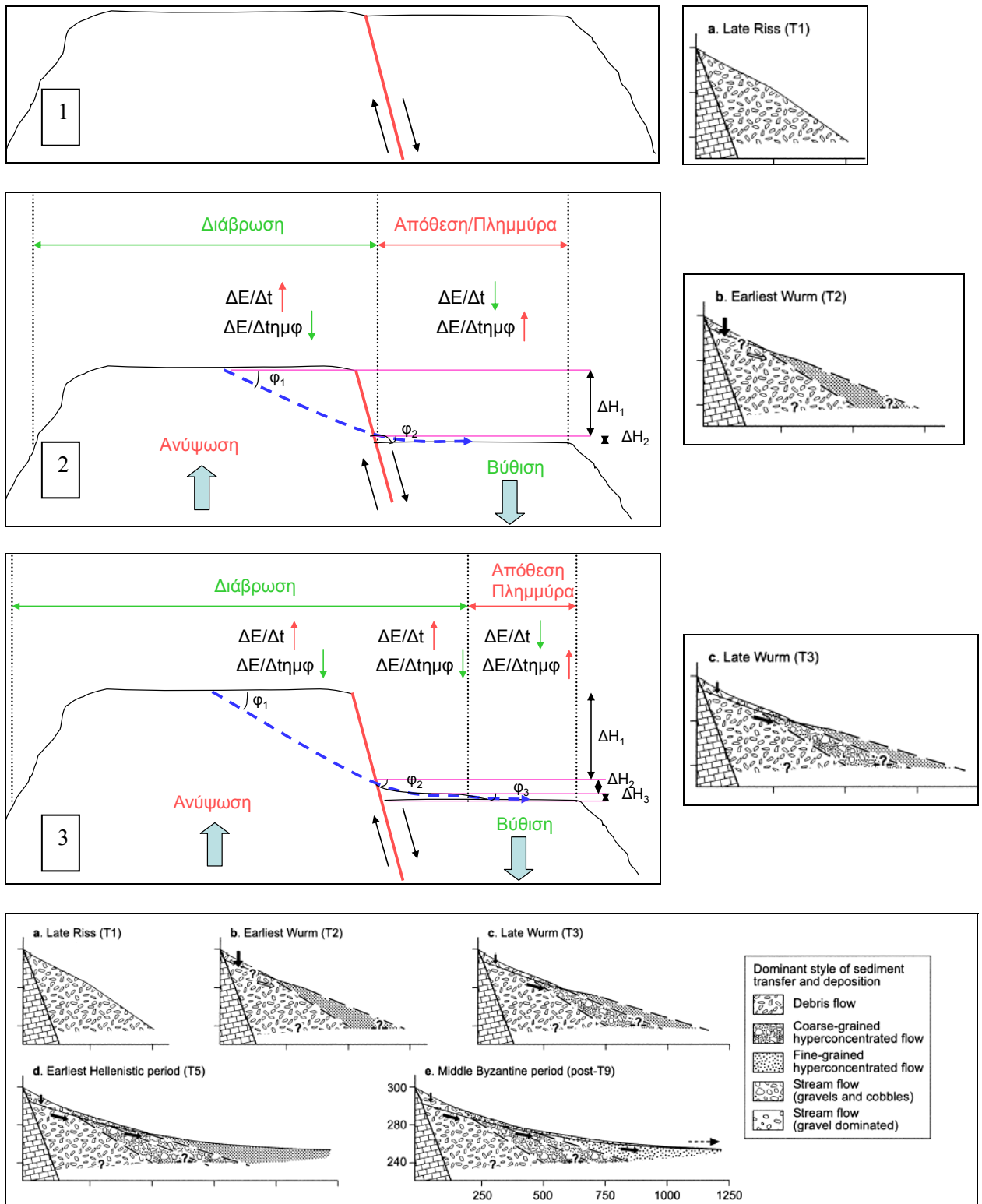
Η μέθοδος που περιγράφεται στην παρούσα εργασία παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ως προς την εφαρμοσιμότητά της ειδικά για τις τεκτονικά ενεργές περιοχές. Η έντονη χωρική διαφοροποίηση της κατακόρυφης συνιστώσας της κίνησης τόσο μεταξύ ρηξιτεμαχών, όσο και μέσα στο ίδιο ρηξιτέμαχος, αν υπάρχουν π.χ. φαινόμενα περιστροφών ρηξιτεμαχών, έχει άμεσο αντίκτυπο στην κατανομή των περιοχών διάβρωσης και απόθεσης (Φουντούλης 1994, Φουντούλης & Φούμελης 2001, Φουντούλης & Θεοχάρης 2002, Fountoulis et al 2007) και μάλιστα είναι δυνατή και η ποσοτική συσχέτισή τους (Ohmori 2003, Εικ. 8), οπότε έχει σημαντικό αντίκτυπο και στην κατανομή του πλημμυρικού κινδύνου (Sambaziotis & Fountoulis 2007).

Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι η εφόσον εξελίσσεται η (μορφοτεκτονική) γεωμετρία της περιοχής, δεν μπορεί παρά να μεταβάλλεται αντίστοιχα και η εσωτερική πλημμυρική επικινδυνότητα στο γεωλογικό χρόνο και, σε συνδυασμό με τον εκάστοτε κλιματικό τύπο, οι πλημμύρες που τελικά εκδηλώνονται. Κάθε μεταβολή στη σχετική κίνηση των ρηξιτεμαχών επιφέρει διαφοροποιήσεις στο ρυθμό διάβρωσης και απόθεσης από θέση σε θέση. Είναι αυτονόητο ότι οι κλιματικές μεταβολές και οι σχετικές μεταβολές στο επίπεδο βάσης ρυθμίζουν και αυξομειώνουν, μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν τα αποτελέσματα αυτής της διεργασίας (Schumm, 1993) η κινητήρια δύναμη του μηχανισμού όμως στις τεκτονικά ενεργές περιοχές, είναι σε κάθε περίπτωση η τεκτονική κίνηση, και ιδιαίτερα η κατακόρυφη συνιστώσα της.



Εικ. 8 – Σχηματικές σχέσεις μεταξύ ρυθμού τεκτονικής ανύψωσης, μορφομετρίας (υψομέτρου και τοπικού αναγλύφου) και διάβρωσης (Ohmori 2000 από Ohmori 2003).

Είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικές οι περιπτώσεις των ριπιδίων που αναπτύσσονται στα ρηξιγενή περιθώρια των νεοτεκτονικών λεκανών. Αν διερευνήσουμε τη μορφοτεκτονική εξέλιξη των περιθωρίων σε σχέση με τις μεταβολές που συμβαίνουν στην ενεργειακή στάθμη αλλά και στις μορφολογικές κλίσεις, ερμηνεύεται μια σειρά από φαινόμενα που συνδέονται κατά κανόνα με τέτοιες δομές (Εικ. 9).



Εικ. 9 – Μεταβολή των παραμέτρων της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε ενεργό ριζιγενές περιθώριο με κανονικό χαρακτήρα, με παράδειγμα από τον Ταΰγετο. Τα σχήματα των ριπιδίων του Ταΰγεται αναφέρονται στην περιοχή του Ξηροκαμπίου για την περίοδο από το Α. Πλειστόκαινο έως τους ιστορικούς (μεσο-βυζαντινούς) χρόνους, και προέρχονται από την εργασία των Pope et al, 2003. Οι λιθολογίες των αποθέσεων σχετίζονται άμεσα με το είδος της διεργασίας μεταφοράς και απόθεσης, που μπορεί να είναι ροή κορημάτων (debris flow), υπέρτυκνη ροή (hyperconcentrated flow), ροή χειμάρρου (stream flow) κ.λπ.

Αν θεωρήσουμε ένα ρηξιγενές περιθώριο κανονικού χαρακτήρα, τότε μπορεί να μελετηθεί η μεταβολή των μεγεθών που προσδιορίστηκαν παραπάνω, μέσω των χαρακτηριστικών τους παραμέτρων.

Στο αρχικό στάδιο (1):

- Η κατακόρυφη ανύψωση του ανερχόμενου τεμάχους έχει ως συνέπεια:
 - ο την αύξηση της μέσης κλίσης των λεκανών,
 - ο την αύξηση των μέσων υψομέτρων των επιμέρους λεκανών και
 - ο την αύξηση των υψομετρικών διαφορών με τα στόμια των λεκανών.
- Ο χώρος του ανερχόμενου ρηξιτεμάχους μετατρέπεται σε χώρο διάβρωσης.
- Στο κατερχόμενο τέμαχος (κατάντη του περιθωριακού ρήγματος)
 - ο μειώνεται η γωνία της μορφολογικής κλίσης και
 - ο ο χώρος μετατρέπεται σε χώρο απόθεσης, αμέσως κατάντη του ρήγματος.

Σε επόμενο στάδιο (2):

- Ανάντη του ρήγματος (στο ανερχόμενο τέμαχος) η διεργασία συνεχίζεται όπως προηγουμένως,
- Η διάβρωση προχωρά με επιπλέον αύξηση της μέσης κλίσης των λεκανών, των μέσων υψομέτρων και του ολικού αναγλύφου, άρα εξακολουθεί να αυξάνεται η ενέργεια του αναγλύφου.
- Κατάντη του ρήγματος, υπάρχει μια διαφοροποίηση.
 - ο Στην περιοχή που έχουν αποθεθεί τα ιζήματα του προηγούμενου σταδίου, δημιουργείται συνεχώς μια νέα μορφολογική επιφάνεια, με μέση κλίση μικρότερη βεβαίως από αυτήν του ανερχόμενου τεμάχους, αλλά μεγαλύτερη από την κατάντη περιοχή.
 - ο Όσο αυξάνεται η συσσώρευση του ιζήματος στον κώνο, αυξάνεται η κλίση της μορφολογικής επιφάνειας που αυτό σχηματίζει.
 - ο Το φαινόμενο αυτό προοδευτικά μετατρέπει την περιοχή απόθεσης του κώνου σε περιοχή διάβρωσης, και η απόθεση μετατοπίζεται κατάντη, εκεί που η κλίση του αναγλύφου είναι μικρότερη.

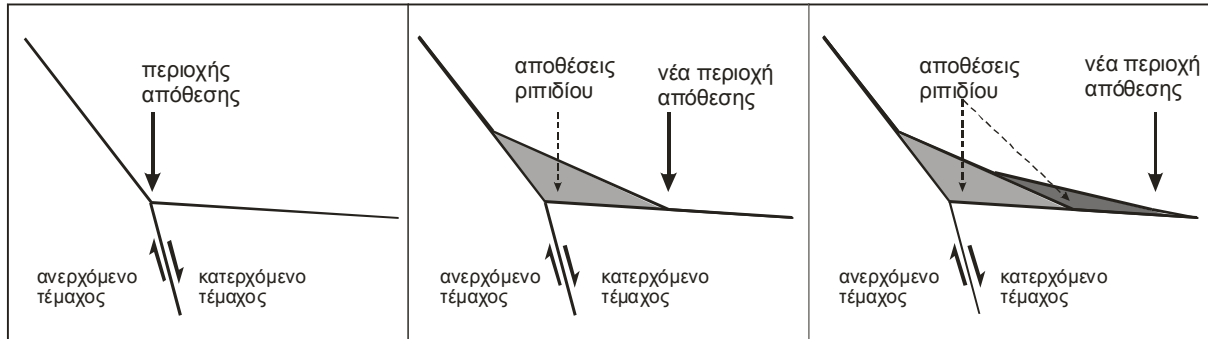
Σε κάθε επόμενο στάδιο (3), και όσο συνεχίζεται η διαφορική κίνηση των ρηξιτεμαχών ο χώρος διάβρωσης διευρύνεται και περιλαμβάνει την προηγούμενη περιοχή απόθεσης που έχει συσσωρευμένο ιζήμα και αυξημένη μορφολογική κλίση, ενώ μετατοπίζει την περιοχή απόθεσης, δηλαδή το ενεργό πλημμυρικό πεδίο, προς τον πόδα του κώνου και το εσωτερικό της λεκάνης.

Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας εξέλιξης έχουν δώσει οι Pope et al (2003) για τα ριπίδια του ανατολικού περιθωρίου του Ταϋγέτου (Σπάρτη). Από το Α. Πλειστόκαινο μέχρι και τους νεότερους ιστορικούς χρόνους, έχουν χρονολογηθεί αυτές οι μετατοπίσεις του πλημμυρικού πεδίου προς το εσωτερικό της λεκάνης της Σπάρτης, και φαίνεται ακριβώς αυτή η μετατόπιση που μόλις περιγράφηκε, με τα αρχαιότερα ιζήματα κοντά στο περιθώριο να διαβρώνονται και τα νεότερα να συσσωρεύονται προς τα κατάντη. Οι περιοχές αυτές, ανάλογα και με τις λιθολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί να είναι επιδεκτικές σε ροές κορημάτων ή υπέρπυκνες ροές (debris flows, hyperconcentrated flows, debris floods). Οι περιγραφές των λιθολογιών των ριπιδίων του Ταϋγέτου από τους Pope et al (2000, 2003) συνηγορούν σ' αυτό το συμπέρασμα, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει και θεωρητικές προσεγγίσεις για τον εντοπισμό των περιοχών απόθεσης και αυξημένης επικινδυνότητας (Gwo Fong Lin et al, 2004). Επίσης, παρόλο που η ένταση της λειτουργίας των ριπιδίων φαίνεται ότι εξαρτάται από παράγοντες όπως το κλίμα και η ανθρώπινη δραστηριότητα, οι περιοχές διάβρωσης και απόθεσης είναι συγκεκριμένες και έχουν κοινό παρονομαστή την συνεχή τεκτονική ανύψωση με διαφορετικούς ρυθμούς σε κάθε περιοχή, που έχει ως αποτέλεσμα την επανειλημμένη αναγέννηση της μορφολογίας.

Ο μηχανισμός που περιγράφηκε παραπάνω έχει ορισμένες συνέπειες, ως προς την επίδραση της τεκτονικής παραμόρφωσης στην πλημμυρική επικινδυνότητα:

- Η πλημμυρική επικινδυνότητα διαφοροποιείται σημαντικά εκατέρωθεν ρηγμάτων με σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης.
- Η πλημμυρική επικινδυνότητα αυξάνεται στο κατερχόμενο τέμαχος.
- Κατά τη μορφοτεκτονική εξέλιξη της περιοχής, το ενεργό πλημμυρικό πεδίο τείνει να μετατοπίζεται προς το εσωτερικό της λεκάνης και να απομακρύνεται από την περιοχή του ρήγματος (Εικ. 10).

- Όσο εξακολουθεί η διαφορική ανύψωση των ρηξιτεμαχών, αυξάνεται διαχρονικά η συνολική πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής, και ιδιαίτερα κατάντη του ρήγματος.
- Ο ρυθμός αύξησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας παρακολουθεί το ρυθμό ανύψωσης του ρηξιτεμάχου.



Εικ. 10 – Μηχανισμός προώθησης των ριπιδίων από τα ενεργά τεκτονικά περιθώρια προς το εσωτερικό των λεκανών.

Αυτή η τελευταία συνέπεια βοηθά και στην εξήγηση της σημαντικής διαφοροποίησης της εκδήλωσης πλημμυρών σε γειτονικές περιοχές, όπως για παράδειγμα μεταξύ ανατολικού και δυτικού τμήματος της λεκάνης του Ευρώτα, που είναι δύο περιοχές πολύ διαφοροποιημένες υδρολογικά (Ανδρεαδάκης 2007) και με διαφορετική γεωμορφολογική εξέλιξη (Riedl 1976). Στην δυτική περιοχή ο ρυθμός ανύψωσης είναι μεγαλύτερος, οδηγώντας σε μεγαλύτερες υψομετρικές διαφορές και μέσες κλίσεις, μεγαλύτερη αρχική στάθμη δυναμικής ενέργειας, μεγαλύτερη διαφορά στις μορφολογικές κλίσεις εκατέρωθεν του περιθωριακού ρήγματος και μικρότερο μήκος κλάδων από ό,τι στην ανατολική περιοχή, δηλαδή στο δυτικό περιθώριο του Πάρωνα.

7. Βιβλιογραφία

- Chase, C.G., 1992. Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography. In: R.S. Snow and L. Mayer (Editors), *Fractals in Geomorphology*. *Geomorphology*, **5**, 39-57.
- Finlayson, D. & Montgomery, D. (2003) Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems. *Geomorphology*, **53**, (2003) 147-164.
- Fountoulis I., Mavroulis S. & Theocharis D. (2007) The morphotectonic structure of the transitional zone between the Gortynia Mt. horst and the Pyrgos-Olympia basin (Central Western Peloponnese, Greece). *Proc. 11th Intern. Conference of Geol. Soc. Greece, Athens, 24-26 May 2007, Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXX/1, p.275-286.
- Gwo-Fong L., Lu-Hsien Ch. and Jun-Nan L. (2004) Reliability-Based Delineation of Debris-Flow Deposition Areas, *Natural Hazards*, **32**: 395-412, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- IPCC (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Mandelbrot, B. (1982) *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, New York, N.Y., 460 pp.
- Mariolagos, I. (1981) The influence of the map scale on the results of the quantitative geomorphological analysis; exemplified by Alfios river, Peloponnesus, Greece, *I.G.C.P-Report nr.146, Ann. Geol. de pays Helleniques*, **32**, 1981.
- Mariolagos, I., Papanikolaou, D. & Lekkas, S. (1976). Quantitative geomorphological analysis of drainage patterns in the Vth order of Alfios River (Peloponnesus, Greece). *Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Salzburg*, Bd. 6, s. 231-264, Salzburg 1976.
- Ohmori H. (1991) Change in the mathematical function type describing the longitudinal profile of a river through an evolutionary process. *Journal of Geology*, vol. 99, p. 97-110.
- Ohmori H. (2003) The Paradox of Equivalence of the Davisian End-Peneplain and Penckian Primary Peneplain. *Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives*,

- Eds. I. S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori and M. Hirano, pp. 3–32, TERRAPUB, Tokyo.
- Pope R., Wilkinson K. & Millington A. (2003) Human and Climatic Impact on Late Quaternary Deposition in the Sparta Basin Piedmont: Evidence from Alluvial Fan Systems. *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 18, No. 7, pp. 685–724.
- Pope, R. & Millington, A. (2000) Unravelling The Patterns of Alluvial Fan Development Using Mineral Magnetic Analysis: Examples From The Sparta Basin, Lakonia, Southern Greece. *Earth Surf. Process. Landforms* 25, 601-615.
- Riedl, H. (1976) Beitrage zur regionalen Geographie des Beckens von Sparta und seiner Nachbarraume unter besonderer Berücksichtigung der geomorphologischen Verhältnisse. *Beitrage zur Landeskunde von Griechenland*, (Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität Salzburg, 6), Salzburg, pp. 283-409.
- Sambaziotis, E. & Fountoulis, I. (2007) Estimation of flash flood hazard in the Pidima-Ar fara area (Messinia, Greece), based on the study of Instantaneous unitary Hydrographs, Longitudinal Profiles and Stream Power. *Proc. 11th International Conference of the Geological Society of Greece*, Athens, 24-26 May 2007, *Bull. Geol. Soc. Greece*, XXXX/4, p. 1621-1633.
- Schumm S. (1993) River Response to Baselevel Change: Implications for Sequence Stratigraphy. *The Journal of Geology*, **101**, p.279-294.
- Tokunaga E. (2003) Tiling Properties of Drainage Basins and Their Physical Bases. *Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives*, Eds. I. S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori and M. Hirano, pp. 147–166, TERRAPUB, Tokyo.
- Ανδρεαδάκης Εμμ. (2007) Διαχείριση υδατικών πόρων σε επίπεδο Καποδιστριακού Δήμου – Η περίπτωση του Δήμου Θεραπνών Λακωνίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, 340σ.
- Θεοχάρης Δ. & Φουντούλης Ι. (2002) Μορφομετρικοί δείκτες και ενεργές τεκτονικές δομές. Η περίπτωση της Σαλαμίνας. *Πρακτικά του πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας*, том. I σελ. 97-106.
- Μανωλάκος Π. και Παπαδουλάκης Β. (2007) Αποτύπωση πλημμυρικών καταστροφών στο Νομό Λακωνίας. Παράρτημα 1, στο: Νικολαΐδης Ν. και συνεργάτες, «Σχέδιο Διαχείρισης Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας», Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας, Σπάρτη. (LIFE-Environment 2005, ENVIFRIENDLY: Τεχνολογίες Φιλικές προς το Περιβάλλον για Αγροτική Ανάπτυξη, <http://www.envifriendly.tuc.gr>).
- Μαρσιολάκος, Η. & Λέκκας, Σ., (1974) Συγκριτικές Γεωμορφολογικές παρατηρήσεις επί των υδρογραφικών δικτύων του Ερύμανθου και του Λάδωνος. *Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών*, 49, σ. 238-250, Αθήνα 1974.
- Φουντούλης Ι. & Φούμελης Μ. (2001) Ασύμμετρη ανάπτυξη Υδρογραφικών Δικτύων παράγων αναγνώρισης περιστροφών νεοτεκτονικών ρηξιτεμαχών. Η περίπτωση των λεκανών Στουρναρορρέματος και Μπελεσίτσα (Ν. Φωκίδας) *Πρακτικά 9ου Συνεδρίου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, *Δελτίο Ελλην Γεωλ. Ετ.*, τ. XXXIV/1 σελ. 227-234.
- Φουντούλης Ι., Μαρσιολάκος Η., Ανδρεαδάκης Εμμ., Σαμπαζιώτης Ε., Καπουράνη Ε., Καραγκιόζη Ε. (2007) Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας. Παράρτημα 4, στο: Νικολαΐδης Ν. και συνεργάτες, «Σχέδιο Διαχείρισης Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας», Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας, Σπάρτη. (<http://www.evrotas.gr/archive.php>). (LIFE-Environment 2005, ENVIFRIENDLY: Τεχνολογίες Φιλικές προς το Περιβάλλον για Αγροτική Ανάπτυξη, <http://www.envifriendly.tuc.gr>).
- Φουντούλης Ι., Μαρσιολάκος Η., Ανδρεαδάκης Εμμ. (2007) Σχέδιο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Γεωπεριβαλλοντικών Προβλημάτων στις Πυρόπληκτες Περιοχές του Νομού Λακωνίας, 111 σελ., Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας, Σπάρτη. (<http://www.evrotas.gr/archive.php>).
- Φουντούλης, Ι. (1994) Νεοτεκτονική εξέλιξη της Κεντροδυτικής Πελοποννήσου. Διδακτορική διατριβή, Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΓΑΙΑ 7, 386 σ.